AIHR AIIH
XXIV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
PUNTA DEL ESTE, URUGUAY, NOVIEMBRE 2010

UNA METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA COTA DE INUNDACIÓN EN LA ZONA COSTERA DEL CARIBE COLOMBIANO

Martínez, J.C.[1], Osorio, A. F.[1] Bernal, G.[1] y Agudelo, P. [2]

1. *Grupo de Investigación en Oceanografía e Ingeniería Costera (OCEANICOS). Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. email: jcmarti1@unalmed.edu.co*
2. *I-Consult. Medellín –Colombia. email: pablo.agudelo@aquayterra.com*

RESUMEN:

La cota de inundación definida como la máxima elevación que alcanza el mar en la costa por el efecto conjunto de las variables que se conjugan en las mareas y el oleaje, es un fenómeno aleatorio producto de la combinación de los diferentes procesos asociados con la dinámica marina; por lo tanto la determinación de la cota de inundación de la zona costera es un proceso complejo, pero básico para cualquier actuación que se quiera realizar en el litoral. En el Caribe colombiano no se tiene un estudio de cota de inundación que ayude a definir las áreas de aprovechamiento en lo que corresponde a la zona costera habitable, la pública y la de actuación en la protección de obras marinas. En este artículo se presenta una revisión histórica de trabajos desarrollados alrededor de mundo en este ámbito, la metodología empleada y resultados parciales obtenidos en el proceso del cálculo de la cota de inundación en la zona costera del Caribe Colombiano.

ABSTRACT:

The level of flooding defined as the maximum elevation that reaches the sea at the coast by the combined effect of variables that come together in tides and waves is a random phenomenon resulting from a combination of different processes associated with the marine dynamics. Determining the level of flooding of the coastal zone is a complex process but essential for any action to perform on the coast. In the Colombian Caribbean there is not a flood elevation study to help to define the areas corresponding to the inhabitable coastal area, public action or littoral protection works. This article presents a historical review of work carried out around the world in this field, the methodology and some results obtained in the process of calculating the level of flooding in the coastal area of the Colombian Caribbean.

PALABRAS CLAVES:

Mar Caribe Colombiano, cota de inundación, nivel del mar.

INTRODUCCIÓN

La cota de inundación es la máxima elevación que alcanza el mar en la costa por el efecto conjunto de las variables que afectan el nivel del mar; es un fenómeno aleatorio producto de la combinación de los diferentes procesos que ocurren debido a la dinámica marina. Desde hace varias décadas en diversas partes del mundo se han implementado metodologías con el fin de determinar la cota de inundación en la zona costera (Smith, 1982; Cannon, 2008). El único estudio sobre cota de inundación con que cuenta el país se realizó en el Pacífico (Agudelo et al., 2004). El procedimiento para su cálculo fue propuesto en España por Medina et al. (1997) y por Castillo (1998) en estudios que parten de los trabajos de Pugh y Vassie (1978), cuyos resultados se recogen en el Atlas de Inundación del Litoral Español (GIOC, 2001).

La determinación de la cota de inundación es un problema que involucra variables deterministas (marea astronómica, MA) y variables estocásticas (marea meteorológica, MM; tsunamis, TS; descargas fluviales, DF, run up, RU), así como otras cuya predicción no ha sido todavía esclarecida con certeza (cambio climático global, CCG; mares de leva, ML) o debe ser realizada mediante modelos acoplados océano-atmósfera de mayor escala (huracanes, H; El Niño oscilación del sur, ENOS). Por tanto para su definición se debe procesar la información disponible en las bases de datos mundiales y nacionales existentes (mareas, viento, oleaje, huracanes, etc.) de acuerdo con la metodología para determinar los niveles de cota de inundación.

El fenómeno de inundación en las costas puede ser representado de acuerdo con la Figura 1: en un instante determinado, la playa está caracterizada por un nivel de marea (NM) compuesto por la marea astronómica y la marea meteorológica (MA+MM) y una batimetría. Sobre dicho nivel de marea se encuentra el oleaje que, en función de sus características y de la batimetría de la playa, se propaga hacia la costa. Al alcanzar la costa, el oleaje rompe en la playa, produciéndose un movimiento de ascenso de la masa de agua a lo largo del perfil de playa conocido como run-up (RU).

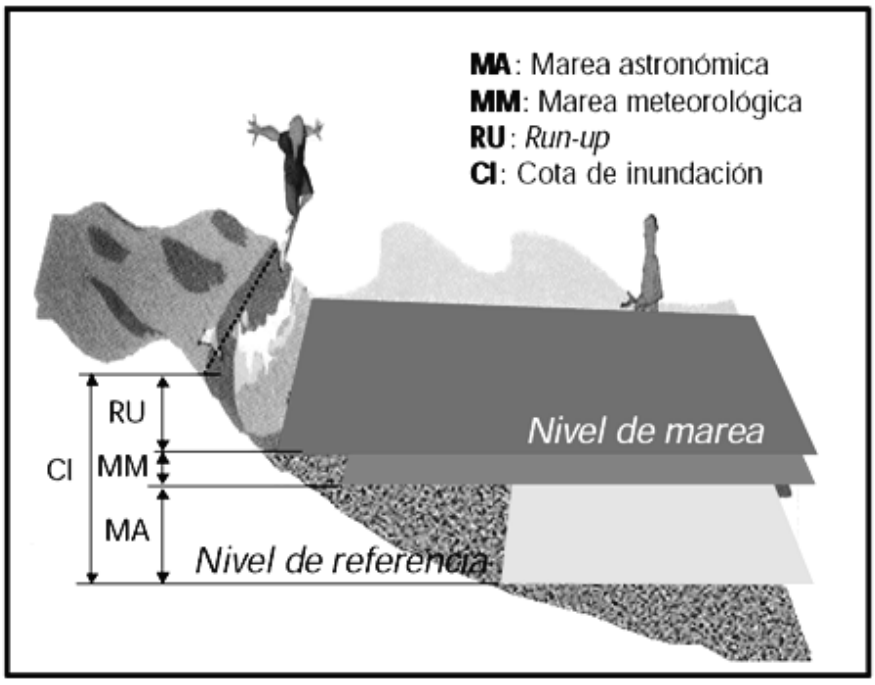

Figura 1. Esquema de cota de inundación (Tomado de GIOC, 2001)

El fenómeno de inundación presenta la complicación de que algunos de los factores (oleaje, viento…) son variables aleatorias y, por tanto, su presentación está sujeta a una determinada probabilidad. Por consiguiente, la determinación de la cota de inundación es un problema estocástico de extremos. Una de las consecuencias de que sea un problema estocástico, es que no existe un "límite determinista al que llegan las olas durante el peor temporal", sino que cada nivel tendrá "una probabilidad de ser sobrepasado en un temporal determinado". Por lo tanto, el objetivo que se plantea en la definición de la cota de inundación es la obtención de la función de distribución de la cota de inundación (GIOC, 2001).

El único estudio con que cuenta Colombia se realizó en el Pacífico (Agudelo et al, 2004); en el Caribe no se han realizado estudios de este tipo, lo cual es preocupante dada la importancia de esta zona en términos físicos y demográficos (la costa Caribe colombiana es una franja litoral de 1,600 Km de longitud donde habitan aproximadamente 2.8 millones de personas, MMA, 2000). Así, actualmente en el Caribe Colombiano se presenta un desconocimiento parcial en este tema. Debido a su ubicación geográfica y a la alta dinámica socioeconómica y ambiental que presenta, resulta importante, y oportuno desarrollar un estudio sobre la variabilidad espacio temporal de la cota de inundación que pueda utilizarse como criterio a la hora de tomar decisiones para el manejo integral de la zona costera (MIZC).

Varios autores alrededor del mundo han determinado la cota de inundación para ciertas regiones. En especial, Agudelo et al. (2004) para la costa Pacífica colombiana y Medina et al. (1997) y Castillo (1998) en España. Estos autores son los únicos que tienen en cuenta una combinación de variables que afectan la costa y definen la cota de inundación, a saber: La marea astronómica (MA), la marea meteorológica debida a presión y viento (MM) y el run-up (RU) producido por el oleaje al liberar su energía en el ascenso sobre la costa. Otros autores estudian el efecto en la cota de inundación de fenómenos específicos como los huracanes (Jelesnianski, 1992), los Tsunamis (Titov, 1997) y tormentas extratropicales (USACE, 1988).

METODOLOGIA

Como lo muestran la Figura 1 y Figura 2, la cota de inundación se calcula como la suma del nivel medio del mar, la sobrelevación por marea astronómica, la sobrelevación por marea meteorológica de viento y presión y el run-up producido por el oleaje.

$$SCI = NMM + SMA + SMM + R\mathrm{u} \qquad [1]$$

En la Figura 2 se presenta un esquema que resume en términos generales la metodología propuesta para el cálculo de series de cota de inundación, teniendo en cuenta calidad, cantidad y validez de las variables que se involucran. Partiendo de la base que la cota de inundación se calcula con la anterior ecuación lo que se pretende es dejar abierta una ventana y a medida que se tengan mayores y mejores mediciones de las variables la caracterización de la cota de inundación cada vez será mejor y más cercana a la realidad. El objetivo es entonces obtener independientemente series de dichas variables que puedan ser sumadas.

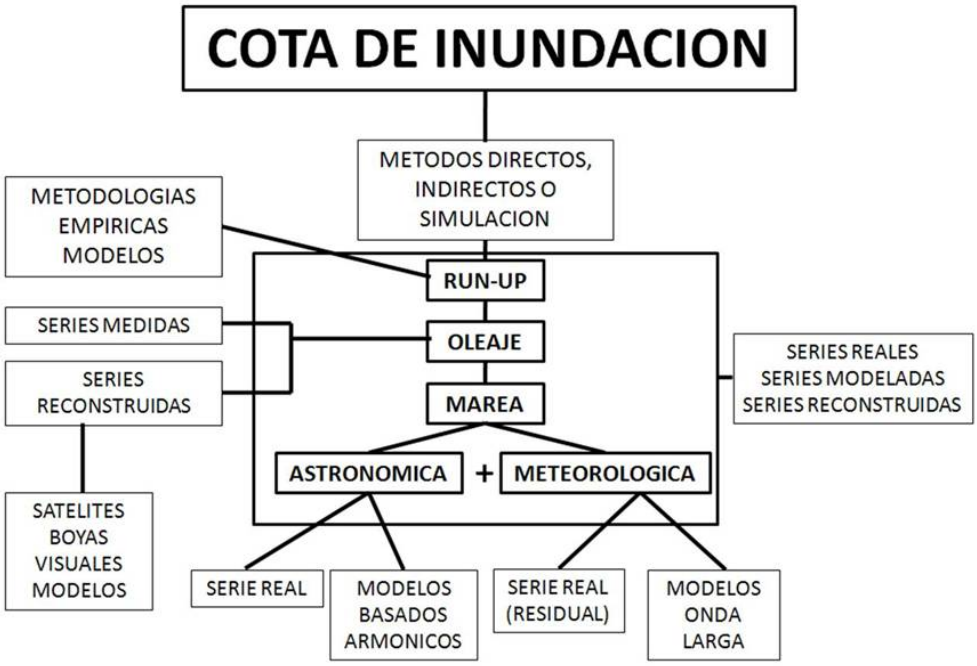

Figura 2. Esquema de las variables que influyen en el cálculo de la cota de inundación

En este caso se reconstruyeron las series de tiempo involucradas en el cálculo de la cota de inundación, la serie de marea (nivel de mar) compuesta por la marea astronómica y la marea meteorológica y las series de oleaje y run up para seis puntos establecidas en el Caribe colombiano (Ver Figura 3).

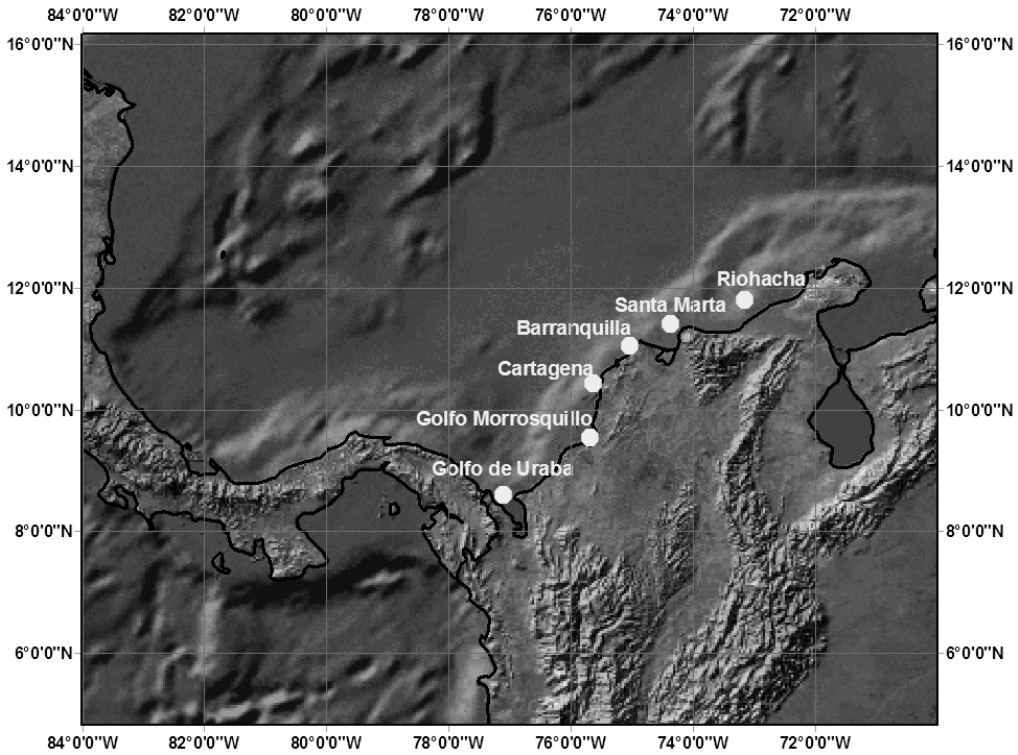

Figura 3. Zona de estudio

El nivel medio del mar se reconstruyó con base en la series de mareógrafos en el Caribe, con mayor periodo de registro y que pueden soportar la hipótesis de que el nivel medio mar es el promedio de la todas pleamares y todas las bajamares en una serie lo suficientemente larga que pueda aportar

todas la variaciones de al menos 18.3 años, correspondiente a un ciclo lunar completo (27 d 7 h 43 min). Se seleccionaron así las series de los mareógrafos de San Cristóbal en Panamá, Cartagena de Indias y Riohacha en Colombia.

Las series de marea astronómica se calcularon de la siguiente forma: a partir de las series de los mareógrafos alrededor del Caribe (Tabla 1) se procedió a calcular las componentes armónicas y la serie de marea astronómica de cada una; esta serie se calculó para 9, 12, 16 y 20 armónicos de la marea astronómica con el fin de observar cuales eran más representativos y que tanta importancia tenían en la construcción de la marea astronómica.

Tabla 1. Características de las series de los mareógrafos utilizados

Mareógrafo	Ubicación	Años de Registro	Longitud (Año)	(%)Faltantes	Resolución
Cartagena_A - Colombia	Lat:10.38 - Long:-75.53	1951-1993	43	12.22	Horaria
Cristóbal - Panamá	Lat:9 - Long:-79	1907-1997	91	2.05	Horaria
La Guaira - Venezuela	Lat:10.62 - Long:-66,87	1985-1994	10	3.07	Horaria
Maguey Island - USA	Lat:17.97 - Long:-67.04	1965-2004	40	3.12	Horaria
Gibara - Cuba	Lat:21.12 - Long:-76.12	1985-1992	8	0.21	Horaria
Port Royal - Jamaica	Lat:17.93 - Long:-76.85	1965-1971	7	1.31	Horaria
Cartagena_A - Colombia	Lat:10.38 - Long:-75.53	1951-1993	43	12.22	Horaria

Debido a que en los diferentes puntos de interés no se cuenta con información de mareógrafos, o ésta no es de óptima calidad o no es continúa en el tiempo, se usó un modelo de propagación de onda larga que resuelve las ecuaciones que rigen este fenómeno para así dar solución a la temporalidad y espacialidad de las series a reconstruir. Se utilizaron entonces dos modelos, el H2D y el FES 2004, para obtener el nivel del agua debido sólo a la marea astronómica. Con el FES 2004 se establecieron las condiciones de frontera o contorno de marea astronómica en el dominio de cómputo del modelo H2D por medio de series temporales horarias de marea astronómica y luego con el H2D se obtuvieron las series en cada uno de los puntos de interés. Los resultados fueron validados haciendo este cálculo en las localidades con mareógrafos y comparando las series de marea astronómica reconstruidas por armónicos de las mediciones y las series del modelo H2D.

La marea meteorológica se calculó utilizando dos formulaciones empíricas que tienen en cuenta la presión y el viento (Benavente et al., 2007), esta simplificación no tiene en cuenta que el nivel de marea meteorológica está también influenciado por el entorno y las diferentes variables que rodean la ubicación del mareógrafo. Para el caso concreto del mareógrafo de Cartagena de Indias, este sensor de nivel captura las señales debido a procesos de viento local, la variación de presión atmosférica, las brisas marinas, la descarga del canal del dique, y otros fenómenos con diferentes escalas temporales y espaciales. Sin embargo, para esta metodología, con el objeto de calcular la sobreelevación por efecto de la marea meteorológica se consideraron únicamente la presión atmosférica y el efecto del viento. Los efectos locales deberán ser objeto de otra investigación con mayor detalle.

La presión atmosférica actúa como barómetro inverso y tiende a bombear agua (“barometric setup”). Se considera que la subida del nivel del mar por descenso de la presión atmosférica es de 1 cm por cada milibar. De manera más precisa, esta sobreelevación puede calcularse mediante la expresión, con ΔP_a es la variación de la presión atmosférica y ?p es la densidad del agua del mar.

$$\Delta ?æ = \left(\Delta P_a\right) / \left(?æ g\right) \qquad [2]$$

Los vientos fuertes soplan hacia tierra sobre la superficie del mar apilando agua en la costa (“wind setup”). El efecto de apilamiento de agua por vientos normales a la costa se ha calculado utilizando

la expresión de Bowden (1983), con h representando la profundidad del nivel de base del oleaje ($h/L > 1/2$) y dx el recorrido de incidencia o "fetch" desde la zona donde se alcanza dicho nivel, $?D_s$ es la fuerza tangencial ejercida por el viento. $?D_s = ?D_a C_D W^2$. En esta expresión, W es la velocidad del viento, $?¶_a$ es la densidad del aire y C_D es una constante tabulada cuyo valor depende de la velocidad del viento (Bowden, 1983).

$$d?K/dx = ?!_s / g?!h \qquad [3]$$

El cálculo del run up está asociado al oleaje y en el caso del Caribe colombiano esta variable está definida por oleaje medio y oleaje extremal, debido a los huracanes, fenómenos de mar de leva y a los frentes fríos. Estas series fueron proporcionadas por una componente del proyecto "Estudio de aprovechamiento de la energía del oleaje en Isla Fuerte en el Caribe colombiano" (Ortega, 2010) y la metodología para su cálculo se desarrolló utilizando los datos de oleaje generado por medio de un reanálisis de esta variable a partir de un modelo de tercera generación llamado SWAN desarrollado en Delft University of Techonology en Holanda (Booij et al., 1999).

Se cuenta con las siguientes formulaciones empíricas para el cálculo del run up (en Sobey, 1996) y con variables confiables a la fecha para su cálculo en el Caribe colombiano, ya que las series de oleaje que simula el modelo SWAN aportan resultados adecuados en términos de altura de ola significante y periodo pico. Sin embargo, no se cuenta con una base de datos que aporte valores de pendiente de playas en Colombia, insumo fundamental para el cálculo del run up para el resto de las expresiones.

- Guza y Thornton (1981)

$$R_s = 0.87 H_\infty \qquad [5]$$

- Hollman y Sallenger (1985)

$$R_s = 0.307 (gH_\infty)^{0.5} T \tan \qquad [6]$$

- Mase (1989)

$$R_s = 0.725 g^{0.35} H_\infty^{0.65} (T \tan ?\%)^{0.7} \qquad [7]$$

- Nielsen y Hanslow (1991)

$$R_s = 0.02257 (gH_\infty)^{0.5} T + 0.17 H_\infty \quad \text{Si } \tan \quad < 0.1 \qquad [8]$$

$$R_s = 0.4447 (gH_\infty)^{0.5} T \tan \qquad \text{Si } \tan \quad > 0.1 \qquad [9]$$

donde: $H_\infty (m)$: Altura de ola en aguas profundas, $T(s)$: Periodo, $\tan ?E$: Pendiente de la playa

Teniendo en cuenta estas formulaciones, se utilizó la ecuación propuesta por Hollman (1985) que cuenta con un amplio rango de pendientes para el cálculo en playas disipativas y tiene la consideración que la influencia sobre la costa del run up decrece con la pendiente de la playa; la pendiente utilizada es igual a $\tan \quad = 0.1$ para realizar el cálculo. (Douglass en Mase, 1992).

Una vez obtenidos los términos individuales de la ecuación [1], se procedió al cálculo del nivel de cota de inundación para cada una de las localidades seleccionadas. Se presentan y discuten los resultados de la cota de inundación para la localidad de Cartagena.

RESULTADOS

La serie del mareógrafo de Panamá (Figura 4), a pesar de estar alejada del Caribe colombiano puede tomarse como referencia pues las variaciones del nivel cerca de las costas de Panamá y sus límites con Colombia son mínimos. Además, esta serie posee una longitud de registro de 91 años continuos, siendo la mayor serie de nivel horario en la zona de estudio y con muy poco porcentaje de faltantes que permite realizar este cálculo.

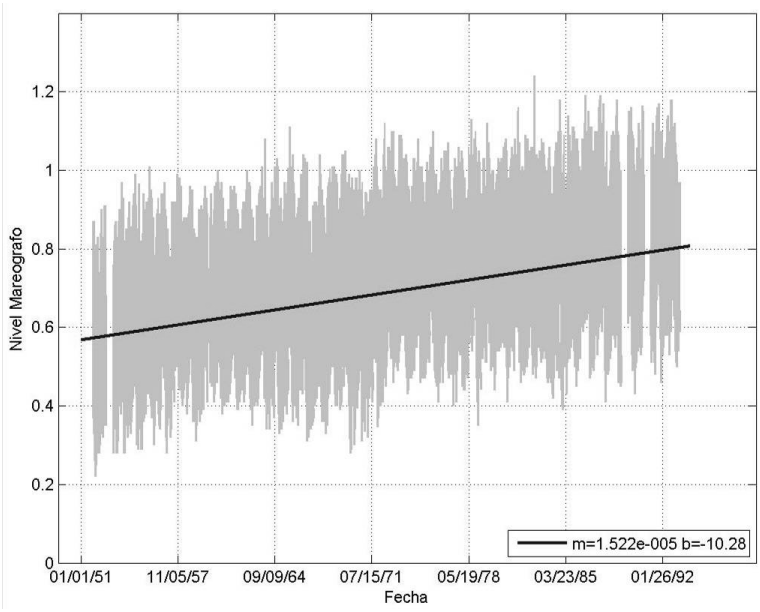

Figura 4. Nivel medio del mar en San Cristóbal - Panamá con tendencia lineal de ascenso de 0.16 mm/año

La serie de Cartagena posee una longitud de registro de 43 años continuos con muy poco porcentaje de faltantes que permite realizar este cálculo (Figura 5).

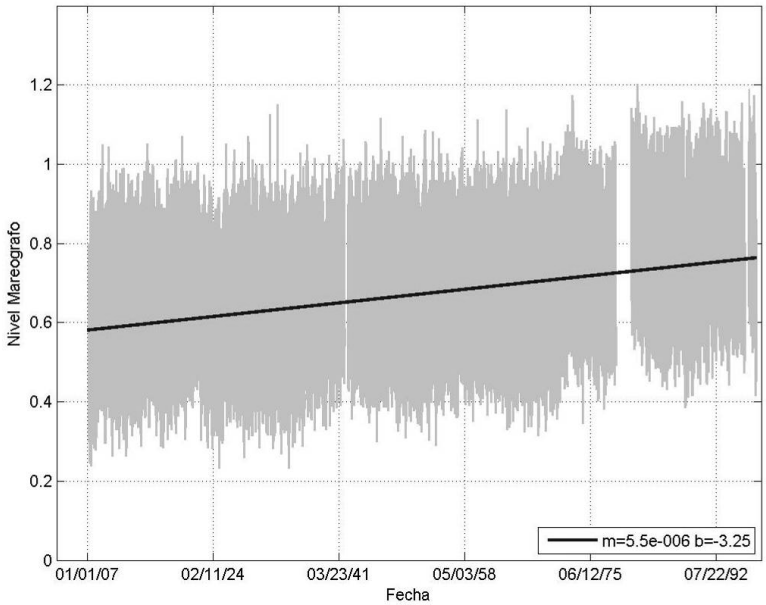

Figura 5. Nivel medio del mar en Cartagena de Indias – Colombia con tendencia lineal de ascenso de 0.45 mm/año

Por último se utilizó la serie de Riohacha (Figura 6) a pesar de que su resolución es mensual, su longitud de registro es apropiada, ya que con 17 años y tan solo con el 4 % de faltantes permite realizar el cálculo del nivel medio para esta serie.

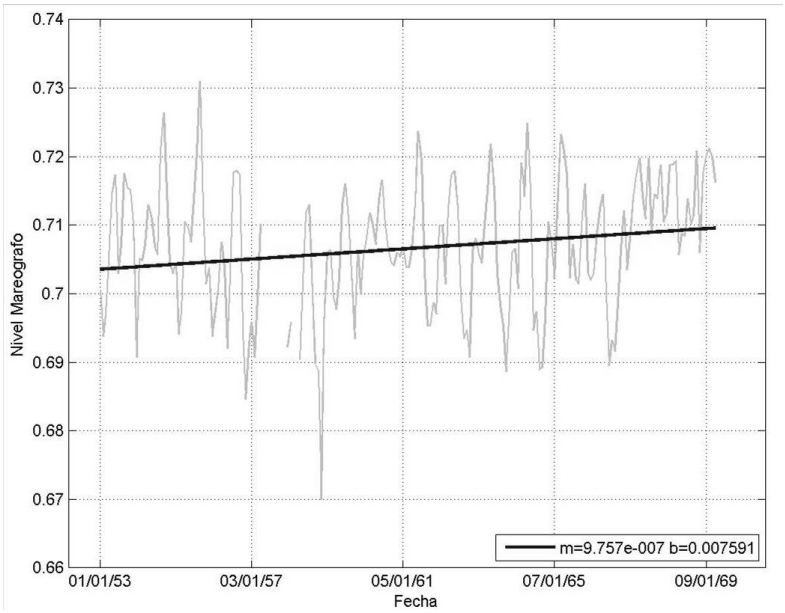

Figura 6. Nivel medio del mar en Riohacha – Colombia con tendencia lineal de ascenso no significativa.

Para cada una de las series anteriores la tendencia lineal de largo plazo (Figuras 4, 5 y 6) fue considerada la serie de nivel medio del mar para el Caribe SW (Panamá), central (Cartagena) y NE (Rioacha).

Como se observa en la ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. los resultados de marea astronómica para la estación de Cartagena simulada con H2D fueron cercanos a la serie real y la marea astronómica está siendo representada por el modelo en gran parte de la serie. Asimismo para las otras localidades del Caribe.

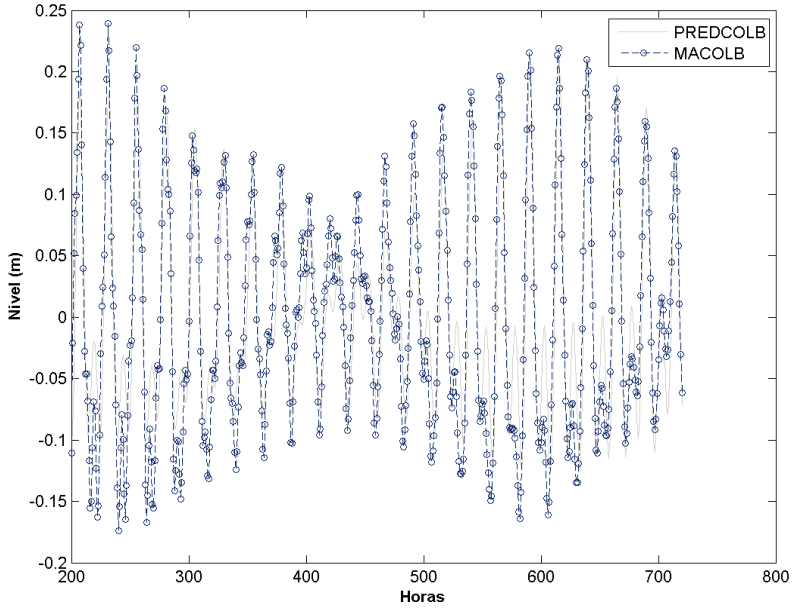

Figura 7. Marea astronómica reconstruida por medio del modelo H2D vs reconstrucción de la serie de marea astronómica por medio del análisis de armónicos a partir del mareógrafo en Cartagena de Indias

Por su parte, como primera aproximación, las series de marea meteorológica simuladas aportan información importante para la reconstrucción de este nivel. Así lo indica la comparación entre la marea meteorológica estimada con las formulaciones de viento y presión y el residuo de los mareógrafos sin la marea astronómica (p.e. para Cartagena, Figura 8). Como se explicó antes las series de marea meteorológica extraídas de los mareógrafos muestran sobreelevaciones no sólo debido a la presión y al viento, sino a otras ondas de frecuencias diferentes que la formulación no puede reproducir.

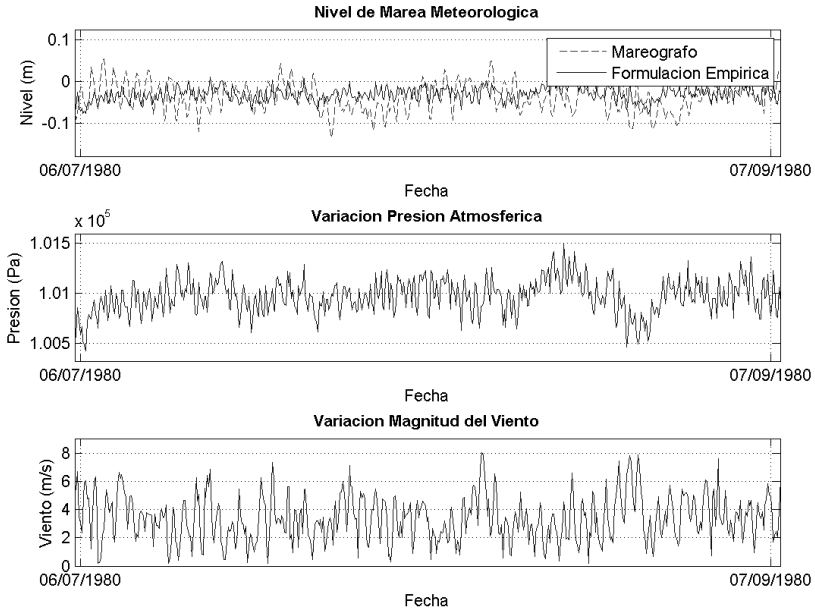

Figura 8. Nivel de Marea Meteorológica en Cartagena de Indias calculada mediante la formulación de Benavente, 2007 en comparación con el residuo meteorológico del mareógrafo (a), las variaciones de presión atmosférica (b) y del viento (c).

En cuanto al oleaje, la comparación entre las series generadas por el modelo SWAN y dos boyas de oleaje en Barranquilla y Puerto Bolívar (Figuras 9 y 10) muestra que en algunos casos el modelo no reproduce los extremos, pero en términos generales sigue la tendencia de las variaciones de la boya, observándose buenos resultados.

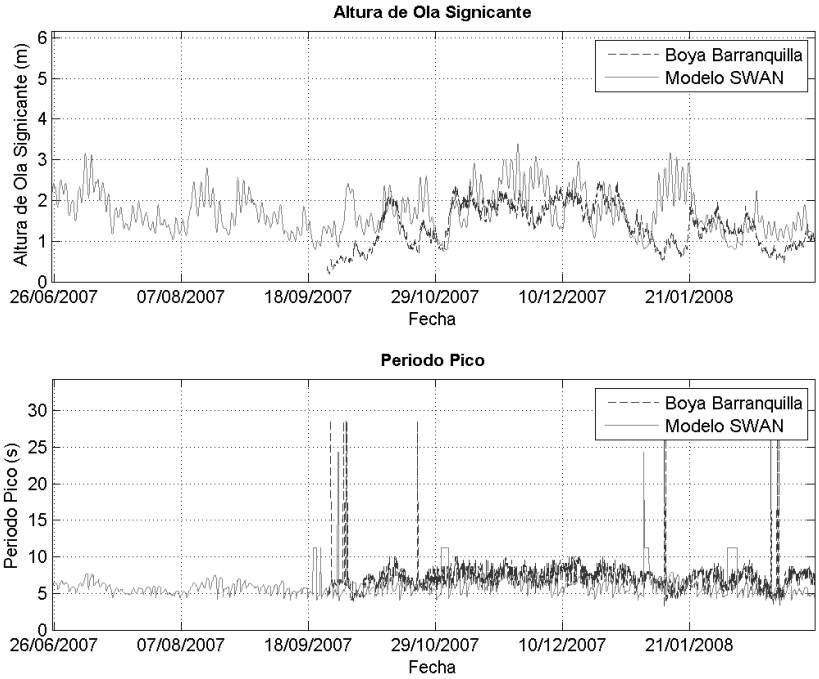

Figura 9. Series de altura de ola significante y periodo pico Boya Barranquilla vs Modelo SWAN

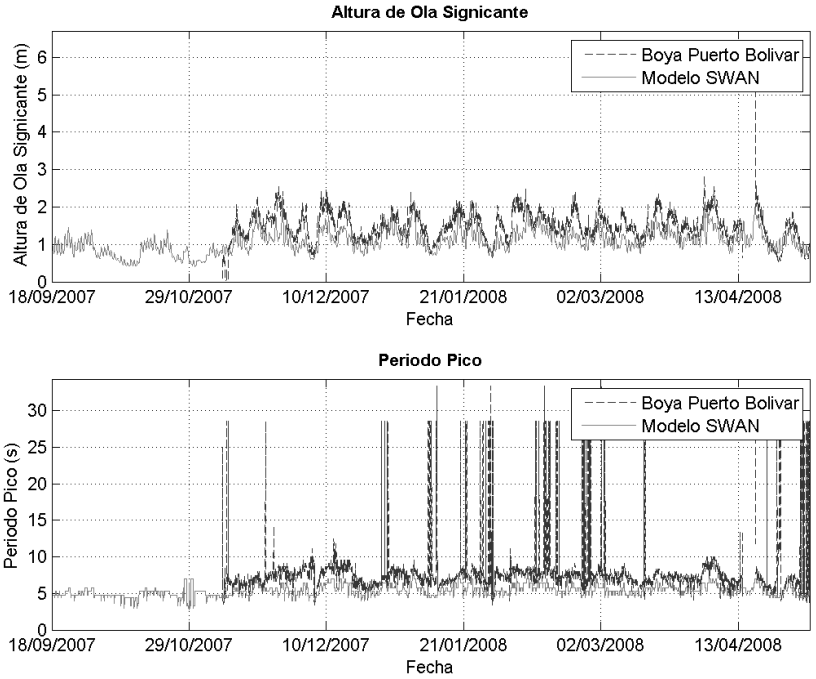

Figura 10. Series de altura de ola significante y periodo pico Boya Puerto Bolívar vs Modelo SWAN

Se realizó un ajuste por medio de cuantiles, esto representa una medida estadística de la posición de un valor en una distribución y la divide en intervalos iguales. Para realizar la correcciones se tomaron cuantiles de 0.1% de ambas series, y se graficaron uno contra otro. Al hacerlo, se obtienen gráficas semejantes a una línea recta, cuyos ajustes se presentan a continuación:

Para la altura de ola significante de la boya ubicada en Barranquilla se tiene un ajuste con un r^2=0.98 y un error cuadrático de 0.41 m.

$$Hs_{BOYA_BARR} = 0.8892 Hs_{SWAN} - 0.0755 \quad [10]$$

Para el periodo pico de la boya ubicada en Barranquilla se tiene un ajuste tiene un r^2=0.93 y un error cuadrático de 0.33 s.

$$Tp_{BOYA_BARR} = 1.241 Tp_{SWAN} - 0.2973 \quad [11]$$

Para la altura de ola significante de la boya ubicada en Puerto Bolívar se tiene un ajuste con un r^2=0.98 y un error cuadrático de 0.32 m.

$$Hs_{BOYA_PBOL} = 1.417 Hs_{SWAN} - 0.1565 \quad [12]$$

Para el periodo pico de la boya ubicada en Puerto Bolívar se tiene un ajuste con un r^2=0.98 y un error cuadrático de 1.36 s.

$$Tp_{BOYA_PBOL} = 1.818 Tp_{SWAN} - 2.844 \quad [13]$$

Estos ajustes se aplicaron de manera espacial debido a la ubicación de las series de las boyas existentes con respecto a las series de las boyas del modelo SWAN, se establecieron dos zonas para la aplicación de dichas correcciones como lo muestra la Figura 11. Para la región definida desde La Guajira a Santa Marta (2 series: Riohacha y Santa Marta) se calibró con la ecuación de corrección obtenida entre la serie de oleaje en Puerto Bolívar y la boya virtual del modelo SWAN en el mismo sitio. Para la zona definida desde Barranquilla hasta el Golfo de Urabá (4 series: Barranquilla, Cartagena, Golfo de Morrosquillo y Golfo de Urabá) se calibró con la ecuación de corrección obtenida entre la serie de oleaje en Barranquilla y la boya virtual del modelo SWAN en el mismo sitio.

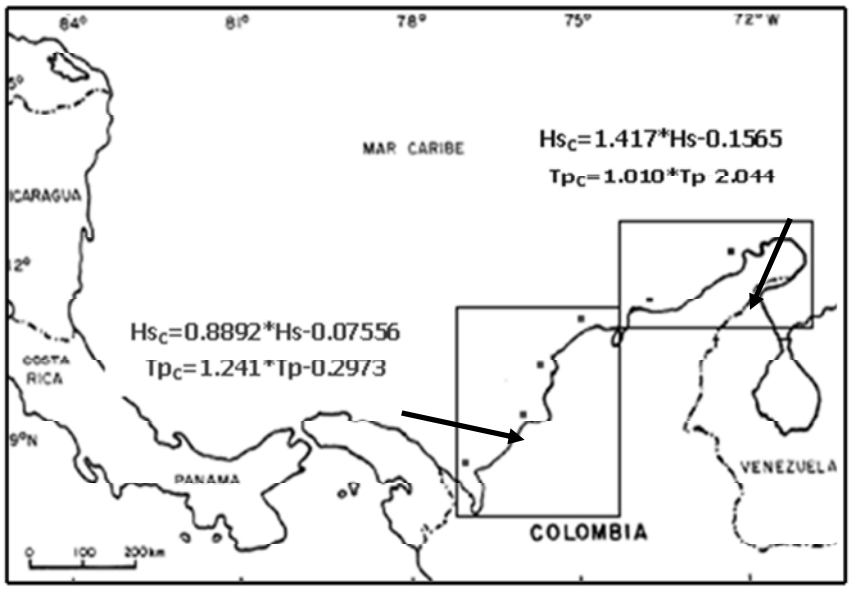

Figura 11. Zonas establecidas para la corrección de la series de oleaje generadas a partir del modelo SWAN

En la Figura 12 se observan las determinadas combinaciones de la altura de ola significante y de periodo pico con que se obtiene los valores de run up, estos se concentran entre los 0 y 2 m, existen adicionalmente ciertas combinaciones de altura de ola y periodo que no se presentan en la realidad y

que no permiten entonces que se establezca un run up asociado a dichas combinaciones, es por ello que estas series de run up se concentran entre los valores anteriormente mencionados.

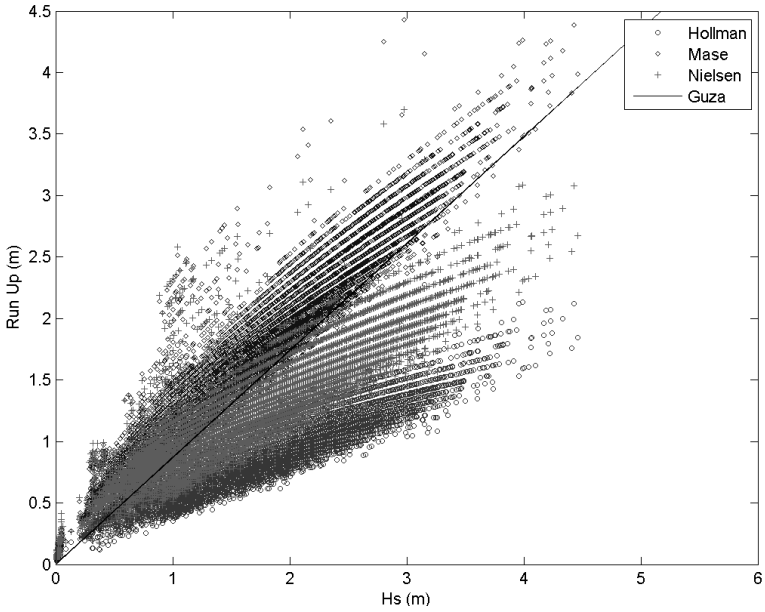

Figura 12. Variación del remonte (Ru) con la altura de ola para las cuatro fórmulas analizadas para la boya de Barranquilla

Una vez obtenidas las series de marea y run up (Figura 13), los resultados que se presentan a continuación son los resultados parciales para la zona de Cartagena en el cálculo de la cota de inundación del Caribe colombiano.

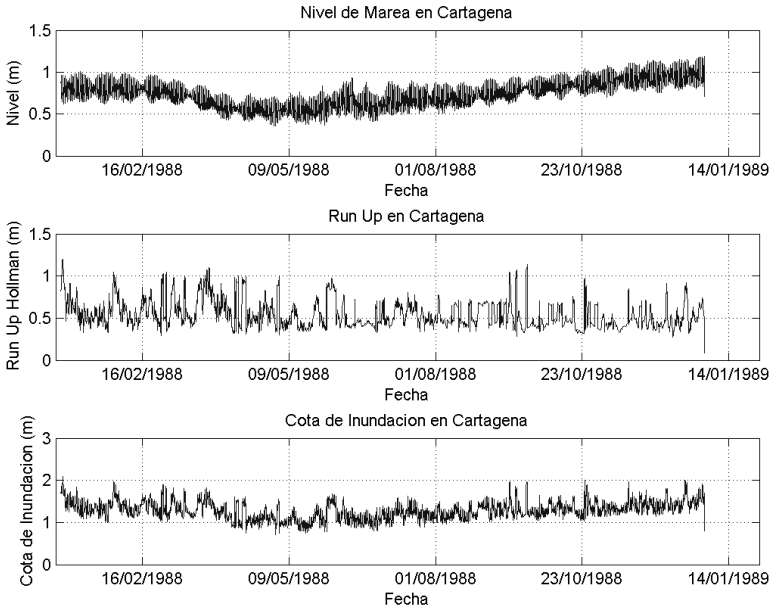

Figura 13. Series de Nivel de marea, run up (Hollman) y Cota de inundación en Cartagena de Indias

El nivel medio del mar en Cartagena de Indias posee una tendencia lineal de ascenso de 0.45 mm/año, esto representa un incremento significativo en 50 años de registro, es importante entonces tener en cuenta esta información en la formulación de políticas y el diseño de obras en la zona costera. El run up presentan valores máximos de 1.91 m, este valor resulta de la diferentes combinaciones de altura de ola significante, periodo pico y pendiente de playa cuyo valor se tomó

igual a tan ß=0.01, este valor se tomó como constante ya que no se contaba con información de dicho parámetro en las costas colombianas. Para la serie calculada de cota de inundación en Cartagena de Indias se observan valores máximos de 2.78 m. y medios de 1.38 m.

CONCLUSIONES

Los regímenes de inundación calculados constituyen una información de indudable valor para el diseño de actuaciones en el litoral. No obstante, es importante recordar que la elaboración de la información se ha realizado con limitaciones en los datos y/o admitiendo una serie de simplificaciones que el usuario debe tener en cuenta al momento de aplicar correctamente los resultados presentes.

Estos resultados deben entenderse referidos al cero del mareógrafo local.

Los resultados de estas modelaciones no tuvieron en cuenta las descargas de grandes ríos presentes en la zona de estudio: Magdalena, Sinú, Atrato, Canal del Dique.

El método propuesto proporciona una herramienta ingenieril para la determinación de la cota máxima de inundación basándose en registros de las variables, en reconstrucción de series de datos basados en técnicas estadísticas y en modelos numéricos. Esta estimación ha considerado gran parte de las variables que intervienen en el proceso del cálculo de cota de inundación. Variables como descargas de ríos, vientos locales, onda de largo plazo no se han considerado ya que no se cuenta con información primaria suficiente para considerar las variaciones que estas variables aportarían a la serie de cota de inundación.

Es importante destacar como la previsión e identificación de cuales localidades de la costa Caribe Colombia son más vulnerables frente a la llegada de temporales, ya que con este tipo de series de tiempo es posible establecer y permitir una mejor planificación de los usos del litoral, dada la gran importancia debido al gran desarrollo urbanístico y turístico que está transformando las costas en la actualidad.

REFERENCIAS

Agudelo, P., González, M., Medina, R. (2004). Determinación de la cota de inundación del pacífico colombiano. XXI *Congreso Latinoamericano de Hidráulica* São Pedro, Estado de São Paulo, Brasil. pp. 1-5.

Benavente et al. (2007). Sobreelevación debida a temporales y cambios producidos en las playas del litoral NE Marroquí. Rev. C. & G., 21 (1-1), 13-25.

Booij et al. (1996). SWAN User Manual - A third-generation wave model for coastal regions - Model description and validation. Faculty of Civil Engineering, Delft University of Technology, Delft, Netherlands. pp. 1-15.

Cannon, (2007). Northern New England Coastal Flooding. NOAA/National Weather Service Forecast Office. pp 1-5.

Castillo, M.C. (1998). Desarrollo de una metodología para la obtención de un atlas de cota de inundación en playas en el litoral español. Tesina de master. Universidad de Cantabria, Santander (España).

Douglass, S.L. (1992). Estimating extreme values of run-up on beaches. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, vol. 118, no. 2. American Society of Civil Engineers, pp. 220–224.

GIOC. (2001). Atlas de inundación del litoral peninsular español. Documento complementario. Ministerio de Medio Ambiente y Universidad de Cantabria. pp. II2-II15.

Jelesnianski, C.P, Chen, J., Shaffer, W.A. (1992). SLOSH: Sea, Lake, and Overland Surges from Hurricanes. U.S. Department of Commerce NOAA Technical Report NWS 48.
Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2000). Política nacional ambiental para el desarrollo sostenible de los espacios oceánicos y las zonas costeras e insulares de Colombia, pp. 63.
Medina, R., F.J. Méndez y M.C. Castillo. (1997).Determinación de la cota máxima de inundación en una playa. Jornadas Españolas de Puertos y Costas, Cádiz. pp. 789-801.
Ortega, S. (2010). Estudio de aprovechamiento de la energía del oleaje en Isla Fuerte en el Caribe colombiano. Universidad Nacional de Colombia.
Pugh, D.T. and J.M. Vassie. (1978). Extreme sea level from tide and surge probability.. Proc. 16th Coastal Eng. Conference, Hamburg. ASCE, Vol. 1, pp. 911-930.
Smith, T. (1982). The Sefton Coast Database, Universidad de Liverpool and the Borough Engineer and Surveyor of Sefton Metropolitan Borough Council, Part 1,. pp. 1-9, 38-40.
Sobey, R.J. (1996). Correlation between individual waves in a real sea state. Coastal Engineering, Vol. 27, pp. 223-242. En Documento Temático - Cota De Inundación: Atlas de inundación en el litoral peninsular Español. GIOC Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas. Universidad de Cantabria.
Titov, V.V. and Synolakis, C.E. (1997). Extreme inundation flows during the Hokkaido- Nansei-Oki tsunami. Geophys Res Lett.
US Army Corps of Engineers, New England Division. (1988). Tidal Flood Profiles – New England Coastline. Waltham, MA.