

## Sobreelevación del nivel del mar producida por el huracán Ike en cabo Lucrecia



### Sea level rise produced by Hurricane Ike in cape Lucrecia

<https://cu-id.com/2377/v31n3e05>

✉ Iliana Cruz Torres\*, 📧 Axel Hidalgo Mayo, 📧 Graciela Pérez Rivas

Centro Meteorológico Provincial de Holguín, Cuba. E-mail: [axel.hidalgo@hlg.insmet.cu](mailto:axel.hidalgo@hlg.insmet.cu), [graciela.perez@hlg.insmet.cu](mailto:graciela.perez@hlg.insmet.cu)

**RESUMEN:** Desde inicios del siglo XXI la variabilidad y el cambio climático han generado el incremento del peligro por inundación costera, en los asentamientos humanos situados cerca de la costa. Los ciclones tropicales son uno de los fenómenos meteorológicos que producen este tipo de eventos. Estudios realizados en la provincia cubana de Holguín constatan el incremento de la frecuencia de afectación por ciclones tropicales en este territorio. Ike es uno de los huracanes que han dejado una huella imborrable en la historia de la meteorología holguinera. Este sistema destaca por los grandes daños producidos a su paso por los fuertes vientos, la lluvia intensa y las inundaciones costeras, por lo que merece mención especial. La investigación tuvo como objetivo determinar aproximadamente la sobreelevación producida por Ike en la zona de cabo Lucrecia. Para ello se utilizaron datos del Centro Nacional de Huracanes y los reanálisis del ERA5, así como información de la base de datos del Centro Meteorológico Provincial. La marea astronómica fue determinada a partir del programa informático WXTide32 y para el cálculo de la surgencia se empleó la ecuación de emergencia y la ecuación implementada en el MODSUR (Modelo de Surgencia) en el año 2012. La sobreelevación en la zona de cabo Lucrecia, según la marca de agua y de acuerdo al cálculo empírico, alcanzó un valor aproximado en el orden de los 5.8 m y 6.5 m respectivamente, para un error relativo de 12%. La surgencia producida por Ike fue la causa principal de este fenómeno hidrometeorológico.

**Palabras clave:** huracán Ike, inundación costera, marea astronómica, rompiente de oleaje, surgencia de tormenta.

**ABSTRACT:** Since the beginning of the 21st century, climate variability and change have generated an increase in the danger of coastal flooding in human settlements located near the coast. Tropical cyclones are one of the meteorological phenomena that produce this type of events. Studies carried out in the Cuban province of Holguín confirm the increase in the frequency of being affected by tropical cyclones in this territory. Ike is one of the hurricanes that have left an indelible mark in the history of Holguín meteorology. This system stands out for the extensive damage caused in its path by strong winds, intense rain and coastal flooding, which is why it deserves special mention. The objective of the investigation was to determine approximately the elevation produced by Ike in the cape Lucretia area. For this, data from the National Hurricane Center and ERA5 reanalyses were used, as well as information from the Provincial Meteorological Center database. The astronomical tide was determined from the WXTide32 computer program and the emergence equation and the equation implemented in MODSUR (Upwelling Model) in 2012 were used to calculate the upwelling. The elevation in the cape Lucrecia area, according to the water mark and according to the empirical calculation, reached an approximate value in the order of 5.8 m and 6.5 m respectively, for a relative error of 12%. The upwelling produced by Ike was the main cause of this hydrometeorological phenomenon.

**Key words:** Hurricane Ike, coastal flooding, astronomical tide, storm surge, wave setup.

### INTRODUCCIÓN

Las inundaciones costeras por penetraciones del mar ocurren producto a la influencia de eventos sísmicos, volcánicos o meteorológicos (Mitrani *et al.*, 2012). Además, el nivel de la sobreelevación depende del sistema meteorológico que la genera y de su movimiento respecto a la línea costera, así como de las características físico-geográficas del área afectada (batimetría y pendiente del terreno).

En la costa holguinera las inundaciones son generadas fundamentalmente por la combinación entre las bajas extratropicales y los anticiclones migratorios, sobre todo en presencia de un evento ENOS (El Niño-Oscilación del Sur). Las mayores inundaciones costeras en el área, son generadas por los ciclones tropicales que se desplazan de este a oeste, entre los 19° N y 24° N, con trayectorias que pasan por encima de la línea costera (Hidalgo, 2010; Pérez *et al.*, 2022).

\*Autor para la correspondencia: Iliana Cruz Torres, e-mail: [iliana.cruz@hlg.insmet.cu](mailto:iliana.cruz@hlg.insmet.cu)

Recibido: 03/12/2024

Aceptado: 03/08/2025

**Conflictos de interés:** Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

**Contribución de los autores:** Iliana Cruz Torres: obtención de los datos, realización de los cálculos, confección de los mapas, análisis de los resultados y redacción del cuerpo de la investigación. Axel Hidalgo Mayo: obtención de los datos, realización de los cálculos, análisis de los resultados y revisión del cuerpo de la investigación. Graciela Pérez Rivas: análisis de los resultados y revisión del cuerpo de la investigación.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

La variabilidad y el cambio climático han incrementado desde inicios del siglo XXI la tendencia de los peligros naturales. El retroceso de la línea costera, producto al calentamiento global, está incrementando el peligro de inundación costera en los asentamientos humanos ubicados cerca del mar, sobre todo en los pequeños estados insulares (Toimil *et al.*, 2016; Stocker *et al.*, 2013).

Según Hidalgo & Mitrani (2012), pudiera esperarse en Cuba que los episodios de inundación costera del tipo ligero lleguen a ser moderados, y estos, a su vez, alcancen la categoría de fuertes. También podría darse la ocurrencia de inundaciones con alturas de la ola inferiores a los valores límites actuales.

Estudios recientes realizados en Holguín reflejan un incremento en la frecuencia de afectación por ciclones tropicales (Cruz *et al.*, 2025), lo cual está en correspondencia con la investigación de Pérez *et al.* (2022), que reflejó el incremento de las inundaciones costeras moderadas y fuertes desde la década de los 80 hasta la actualidad. En consecuencia, el pronóstico de inundaciones costeras, por métodos empíricos, constituye una útil herramienta en la prevención del riesgo de inundación costera, ya que posibilita al gobierno cubano y a la Defensa Civil tomar las medidas pertinentes, con el fin de garantizar la protección de las vidas humanas y la infraestructura de la zona.

Las investigaciones realizadas en la provincia se han centrado en el tramo costero Gibara-Playa Guardalavaca (Hidalgo, 2010; Hidalgo & Mitrani, 2012, 2015; Pérez *et al.*, 2022), donde ocurren las inundaciones más representativas en el territorio. Moreno *et al.* (1998) refiere que, desde cabo Lucrecia a punta Maisí, excluyendo a Baracoa, existe una baja probabilidad de ocurrencia de estos eventos, debido a particularidades en la costa.

En la temporada ciclónica de 2008 el país sufrió los efectos de un total de cinco eventos, cuatro de los cuales afectaron la provincia Holguín (tres de forma indirecta: Fay, Gustav y Hanna, y uno de forma directa: Ike). El huracán Ike, merece mención especial por las numerosas lluvias, los fuertes vientos y las inundaciones costeras producidas a su paso. De acuerdo a estudios paleoclimáticos, constituye el primer huracán de gran intensidad en afectar la provincia Holguín (Planos *et al.*, 2013).

Los fuertes vientos generados por Ike dañaron la estación meteorológica Cabo Lucrecia, situada en el área de estudio, razón por la cual no existen registros al momento del impacto. Solo se cuenta con una marca de agua, encontrada en una de las paredes de la estación, y la información del Radar Doppler, ubicado en la loma del Paraíso, como evidencia de la afectación de este organismo.

Según Hidalgo (2010), la sobreelevación ocurrida tras el paso de Ike en el tramo costero holguinero fue de aproximadamente de 2.30 m,

aunque en algunas zonas la sobreelevación pudo tener un valor diferente. Dado que la zona de cabo Lucrecia sufrió el primer contacto directo con el ojo del huracán Ike, se sospecha que en esta localidad la sobreelevación alcanzó un valor significativo, por ello el propósito de esta investigación es determinar de forma aproximada la altura de la sobreelevación del nivel del mar en esta área.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionó como caso de estudio la sobreelevación del nivel del mar provocada por el huracán Ike en un radio cercano a la estación meteorológica Cabo Lucrecia. Esta estación es la 78365 de la red nacional de estaciones y está ubicada en los 21° 04' N y 75° 37' W, a una altura de 4.0 m sobre el nivel del mar y a 40 m del litoral (Hidalgo & Mitrani, 2012; corroborados por el GIMO (Grupo de Instrumentos y Métodos de Observación Provincial)).

### Caracterización del tramo costero holguinero

Al analizar las características físico-geográficas en el tramo costero Gibara-Playa Guardalavaca se concluye que en esta zona predominan las costas acantiladas, rocosas en algunos tramos de costa, mientras que en otros son arenosas. La batimetría existente en la zona es propicia para la ocurrencia de inundaciones costeras por el efecto de *wave setup* (Hidalgo *et al.*, 2020). Desde punta Cayuelo hasta la bahía de Samá la costa presenta acantilados rocosos con alturas de 2.0 a 3.0 m; no obstante, en la costa de Banes, desde punta de Samá hasta cabo Lucrecia, la costa presenta acantilados bajos con alturas de 1.0-2.0 m (Corella, 2021).

### Huracán Ike

Ike constituyó la novena depresión tropical de la temporada de 2008. Se formó a partir de una onda tropical en el océano Atlántico, y se caracterizó por ser un amplio y potente huracán. Este sistema llegó a alcanzar la categoría 4 en la escala Saffir- Simpson de un máximo de 5 categorías.

La pared occidental del ojo del huracán Ike, penetró en la provincia Holguín por la localidad de cabo Lucrecia, en el municipio Banes, a las 21:01 horas del 7 de septiembre. El centro fue localizado a las 22:00 horas, justamente sobre cabo Lucrecia, con una parte en tierra y otra en el mar. Luego de consultar varias fuentes (Ballester & Rubiera, 2008; Ramos, 2009 e Hidalgo *et al.*, 2013) se puede decir que Ike tocó tierra con una intensidad que se correspondía al límite máximo de un huracán categoría 3 o al mínimo de un huracán categoría 4, esta información no se puede precisar porque no se disponen de datos de la estación meteorológica Cabo Lucrecia en el momento del impacto.

Según datos obtenidos del radar de Holguín los vientos huracanados, alrededor de la región central, alcanzaron en el momento del impacto, 193 km/h. La racha máxima estimada fue de 261 km/h sobre la ciudad de Banes (información proporcionada por el Grupo de Pronóstico Provincial). De acuerdo con el Dr. C. Orlando Rodríguez González, Jefe del Centro Nacional de Radares del INSMET, en comunicación personal con investigadores del Centro Meteorológico Provincial de Holguín, en ese momento, este radar no se encontraba en su modo de operación más óptimo (Hidalgo *et al.*, 2013).

En la provincia Holguín, Ike se desplazó por la zona costera de los municipios Banes, Rafael Freyre y Gibara, manteniendo una parte de la circulación sobre tierra y otra sobre el mar, conservando la misma intensidad. En cabo Lucrecia, El Güirito, Playa Caletones y Uverito las inundaciones se extendieron entre 750 m y 1500 m de la costa. En Gibara, gran parte del malecón quedó arrasado, las inundaciones costeras por penetración del mar tierra adentro en este poblado llegaron hasta 200 m, mientras en el polo turístico de Guardalavaca estas oscilaron entre 50 y 150 m. En Moa también se produjeron inundaciones severas (Grupo de Pronóstico Provincial).

### Fórmulas empleadas

La sobreelevación total se determinó a partir de la acción combinada de la surgencia de tormenta (donde se incluye el *wind setup*), el *wave setup* y la marea astronómica (ver [ecuación 1](#)),

$$\begin{aligned} \text{Marea de tormenta} &= \text{surgencia} \\ (\text{sobreelevación total}) &= (\text{wind setup}) \quad (1) \\ &+ \text{wave setup} + \text{marea astronómica} \end{aligned}$$

### Wave setup

Se utilizó la ecuación empleada por [Mitrani \*et al.\* \(2019\)](#) para determinar la sobreelevación por *wave setup* (ver [ecuación 2](#)),

$$\delta_b = \frac{g^{0.5}(h_0)^2 \tau}{64\pi(H_r)^{1.5}} \quad b \quad (2)$$

$\delta_b$  : sobreelevación por *wave setup*

$g$  : aceleración de la gravedad ( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ )

$h_0$  : altura de la ola en el punto de rompiente, que cumple el criterio de *Komar and Gaughan* para pendientes abruptas (USACE, 2002), donde  $h_0$  es la altura de ola significativa en aguas profundas, considerando que su relación con la longitud de onda en ese punto, es  $\frac{h_0}{\lambda_0} = \frac{1}{7}$ .

$\tau$ : período medio de la ola, que se conserva desde aguas profundas ([WMO, 1998](#)).

$H_r$ : profundidad del punto de rompiente, tomada por la recomendación de ([WMO, 1998](#)) como  $H_r = \lambda_0 / 4$ , donde  $\lambda_0$  es la longitud media de la ola en aguas profundas.

A la ecuación empleada habitualmente en el cálculo del *wave setup*  $\delta_b = (g^{0.5}(h_0)^2 \tau) / (64\pi(H_r)^{1.5})$ , [Mitrani \*et al.\* \(2019\)](#) hicieron un pequeño ajuste. Los investigadores, multiplicaron toda la expresión por el coeficiente  $b = (1.59)^2$ , ya que el análisis se realiza a partir del valor de la altura significativa, y esta no se corresponde con la longitud media de la ola y el período medio de la ola. Fue necesario entonces, rectificar el valor final de  $\delta_b$  como “sobreelevación sobre la altura significativa”.

### Marea astronómica

Se determinó a partir del *software* informático WXTide32 (versión 4.7.0.0).

### Surgencia

Se utilizaron en el cálculo de la surgencia, la expresión implementada en el MODSUR (Modelo de Surgencia) en el año 2012 y la ecuación de emergencia, [ecuaciones 3](#) y [7](#) respectivamente ([Montoro & Díaz, 2012](#)).

$$S = S_x + S_y + S_{\Delta P} \quad (3)$$

$S$ : sobreelevación por surgencia

$S_x$ : transporte directo por la acción del arrastre del viento o *wind setup*, normal a la costa ([ecuación 4](#))

$S_y$ : transporte de Ekman o marea de Coriolis ([ecuación 5](#))

$S_{\Delta P}$ : marea barométrica o efecto de barómetro invertido ([ecuación 6](#))

$$S_x = \frac{\rho_a C_d}{\rho g D} W_x^2 \times \ln \left( \frac{H}{S} \right) \quad (4)$$

$$S_y = \frac{f L W_y}{g} \sqrt{\frac{\rho_a C_d W_d}{\rho C_b |W_y|}} \quad (5)$$

$$S_{\Delta P} = \frac{P_a}{100} \quad (6)$$

$\rho_a$ : densidad del aire

$\rho$ : densidad del agua

$g$ : aceleración de la gravedad ( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ )

$C_d$ : coeficiente de arrastre superficial

$C_b$ : coeficiente de arrastre de fondo

$H$ : profundidad del mar en la posición donde se encuentra el ojo del ciclón

- $D = H + S$ : profundidad total  
 $W_d$ : velocidad del viento  
 $W_x$ : componente de la velocidad del viento perpendicular a la costa  
 $W_y$ : componente de la velocidad del viento paralelo a la costa  
 $X$ : distancia desde la pared del ojo del huracán hasta el punto de interés en la costa  
 $L$ : ancho de la plataforma insular  
 $P_a$ : diferencia de presión atmosférica en el punto de evaluación ante la afectación de un ciclón tropical con respecto a un valor normal (se puede considerar como valor de presión normal  $P = 1013 \text{ hPa}$ ).

La solución es bastante sensible al valor de  $C_d$ . En los resultados obtenidos por [Montoro & Díaz \(2012\)](#) sugiere tomar la parametrización de [Garratt \(1977\)](#), la misma se muestra a continuación:

$$C_d = 3.0 * 10^{-3} \quad (W_d > 33.5 \text{ m/s})$$

$$C_b = 2.5 * 10^{-3}$$

En la ecuación de emergencia ([ecuación 7](#)), utilizada por [Montoro & Díaz \(2012\)](#), para el cálculo de la surgencia se emplean los valores constantes contenidos en la [tabla 1](#).

$$S_{máx} = \ln\left(\frac{V_x^\alpha}{R_x^\beta}\right) + \gamma P_c \delta + (3.0 e^{\lambda V_t}) - 0.85385 \quad (7)$$

- $S_{máx}$ : surgencia máxima (m)  
 $V_x$ : viento máximo (km/h)  
 $R_x$ : radio de vientos máximos (km)  
 $P_c$ : presión mínima central (mb)  
 $V_t$ : velocidad de traslación (km/h)

**Tabla 1.** Constantes en la ecuación de emergencia

$$\begin{array}{lll} \alpha = 0.7373 & \gamma = 1.28405 * 10^{-23} & \lambda = -0.0765 \\ \beta = 0.474475 & \delta = 7.8990 & \text{Base de los} \\ & & \text{logaritmos} \\ & & \text{neperianos:} \\ & & e = 2.71828 \end{array}$$

## Datos utilizados y herramientas para su procesamiento

Los cálculos fueron realizados a partir de los datos de reanálisis del ERA5, y la base de datos del Centro Nacional de Huracanes correspondientes a los días 7 y 8 de septiembre de 2008. Para su procesamiento se utilizó el CDO (*Climate Data Operators*, por sus siglas en inglés) y Excel.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cálculos se realizaron para diferentes horarios. La [tabla 2](#) muestra los valores obtenidos. En la misma,  $\delta_b$  es la sobreelevación por *wave setup*;  $ma$ , el efecto de la marea astronómica;  $sur\_em$  y  $sur\_Mont$  hacen referencia a la surgencia estimada a partir de la ecuación de emergencia y la ecuación implementada en el MODSUR respectivamente; y  $T\_em$  y  $T\_Mont$  se refieren a la sobreelevación total calculada a partir de la suma de  $\delta_b$ ,  $ma$  y  $sur\_em$  y la suma de  $\delta_b$ ,  $ma$  y  $sur\_Mont$  respectivamente.

Ike impactó Holguín en el horario de la noche; sin embargo, ya desde la tarde se sintieron sus efectos en el territorio. En la [tabla 2](#) se aprecia como los mayores valores de la sobreelevación se corresponden con los horarios en que el huracán se encontraba más próximo al área de estudio ([figura 1](#)).

Según [Hidalgo \(2010\)](#), al paso de este organismo tropical por el norte de la provincia, las zonas costeras se vieron afectadas por los fuertes vientos y la surgencia fundamentalmente, la cual llegó ser del orden de 2.30 m, en lo que influyó también la marea astronómica en su fase de llenante. Aunque los valores obtenidos no coinciden con este estudio, ya que el autor citado estima la surgencia para un tramo costero mucho más amplio que el considerado en el presente análisis, cabe señalar que ambos resultados coinciden en que el mayor aporte a la sobreelevación total se debe a la surgencia de este huracán.

La surgencia calculada en la zona de cabo Lucrecia se considera máxima a juicio de los autores, ya que se puede asumir su incidencia perpendicular al tramo costero en su primer contacto con el territorio cubano. En su movimiento por los municipios Banes, Rafael Freyre y Gibara, se desplazó paralelo a la costa,

**Tabla 2.** Altura estimada de la sobreelevación en metros (m)

Fecha	UTC	$\delta_b$	ma	sur_em	sur_Mont	T_em	T_Mont
20080907	06	0.11	0.2	5.89	0.27	6.20	0.57
20080907	12	0.17	0.5	5.69	0.36	6.36	1.03
20080907	13	0.19	0.5	5.69	0.20	6.38	0.89
20080907	18	0.27	0.2	5.62	0.11	6.09	0.59
20080908	00	0.25	0.6	5.65	0.11	6.50	0.97
20080908	02	0.24	0.6	5.69	0.09	6.52	0.93
20080908	06	0.18	0.2	5.76	0.15	6.14	0.53

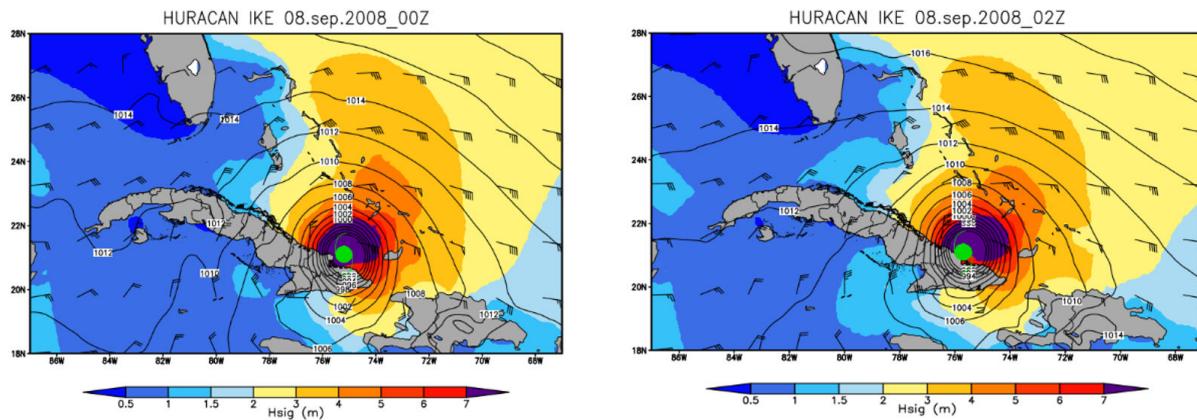


Figura 1. Posición de Ike a las 00 UTC y 02 UTC del 8 de septiembre de 2008

en cuyo caso el efecto de la surgencia debió ser un poco menor. No se puede ignorar el efecto del viento en el sector delantero de Ike, donde favoreció el arrastre del agua de mar hacia la costa.

Es importante considerar que las dimensiones de la surgencia dependen de varios elementos como la velocidad del viento, el radio de vientos máximos y el gradiente bárico entre el centro y la periferia del ciclón tropical. En estos elementos influyen el tamaño del evento y la presión central, la velocidad de traslación, el ángulo de la trayectoria con respecto a la línea costera y la forma del acuífero.

Además, [Mitrani \(2016\)](#) define la surgencia como una onda gravitacional larga de dimensión comparable al sistema que la genera; que posee una durabilidad de algunas horas, en dependencia, principalmente, del tamaño y la velocidad de traslación del ciclón, con una afectación, en promedio, de 100 km a 200 km de costa, durante alrededor de 6 horas. Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, la notable sobreelevación en el tramo costero holguinero tras el paso de Ike, también se asocia al tiempo de duración del movimiento del ojo de este organismo sobre la provincia (desde 21:01 horas del 07/09 - 01:16 horas del 08/09) y el tiempo de afectación total, de 30 horas (datos proporcionados por Grupo de Pronóstico Provincial).

Según datos del programa informático WXTide32, el mayor valor de la marea astronómica producida en la zona de cabo Lucrecia fue de 0.6 m aproximadamente. Las mareas en Cuba son apenas del orden de las decenas de centímetros. Sin embargo, siempre deben ser tomadas en cuenta, no solo por su aporte a la sobreelevación en el plano vertical sino porque en su fase de llenante la corriente, que se genera, favorece la acumulación de agua hacia la costa.

Al paso de Ike la luna se encontraba en los primeros días de la fase cuarto creciente ([SBK México, 2014](#)), por lo que la influencia lunar no fue significativa, ya que los mayores valores se corresponden con las fases de luna nueva y luna llena (marea de sicigia). No obstante, como la marea se encontraba en su fase de llenante la inundación se encontró favorecida.

Una marca de agua encontrada en una de las paredes interiores de la estación Cabo Lucrecia refleja que el nivel del mar llegó a una altura aproximada de unos 5.8 m ([figura 2](#)), para una surgencia máxima de unos 5.0 m al restar los efectos de la marea astronómica y el *wave setup*. Según testimonio del Dr. C. Axel Hidalgo Mayo, investigador del Centro Meteorológico Provincial, dedicado a los estudios de Meteorología Marina, en la zona de Gibara-Playa Guardalavaca, la sobreelevación total alcanzó valores que oscilan entre 2.0 y 2.5 m.



Figura 2. Marca de agua en la estación Cabo Lucrecia. Fuente: [Hidalgo \(2016\)](#)

Los valores de la sobreelevación total obtenidos a partir de la ecuación de emergencia se corresponden aproximadamente con la marca de agua encontrada, con un error relativo de 12 %. Por lo que, aunque el valor no coincide con el determinado por [Hidalgo \(2010\)](#), puntualmente en el área de la estación se considera que sí ocurrió una sobreelevación del orden de unos 5 m, como bien evidencia la marca de agua.

Añadir que, la ecuación de emergencia, aunque tienda a sobreestimar el valor de la sobreelevación por surgencia, da una medida de la ocurrencia o no de la sobreelevación del nivel del mar; mientras que la ecuación implementada en el MODSUR tiende a subestimar el valor de la sobreelevación.

También es importante aclarar que, aunque se trató de trabajar con los datos lo más reales posibles no se pudo ignorar la propia incertidumbre introducida por los mismos.

## CONCLUSIONES

- Según la marca de agua y de acuerdo al cálculo empírico de la sobreelevación en la zona de cabo Lucrecia, esta alcanzó un valor aproximado en el orden de los 5.8 m y 6.5 m respectivamente, para un error relativo de 12%.
- El mayor aporte a la sobreelevación total se debe a la surgencia del huracán Ike; sin embargo, los efectos del *wave setup* y la marea astronómica no pueden ser ignorados.
- El alto valor de la surgencia está dado fundamentalmente por el ángulo de incidencia del huracán respecto a la costa, que en este caso se pude considerar perpendicular (surgencia máxima), y el tiempo prolongado que estuvo influyendo el sistema sobre el territorio holguinero (30 horas).
- La ecuación de emergencia, aunque tienda a sobreestimar el valor de la sobreelevación por surgencia, da una medida de la ocurrencia o no de la sobreelevación del nivel del mar; mientras que la ecuación implementada en el MODSUR tiende a subestimar el valor de la sobreelevación.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Ernesto Chang Bermúdez y Rodolfo del Toro Almenares, especialistas principales del Grupo de Pronóstico y Grupo de Instrumentos y Métodos de Observación, respectivamente, por proporcionar parte de los datos utilizados y de la información consultada; así como también, a la Dra. C. Ida Mitrani Arenal por motivar a la realización de este estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ballester, M. & Rubiera, J. 2008. *Temporada ciclónica de 2008 en el Atlántico Norte*. Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET). <http://www.insmet.cu/asp/genesis.asp?TB0=PLANTILLAS&TB1=TEMPORADA&TB2=/Temporadas/temporada2008.html>
- Cruz, I.; Pérez, G. & Hidalgo, A. 2025. *Climatología de los ciclones tropicales en la provincia Holguín en el período 1851-2023*. Revista Cubana de Meteorología, 31(1).
- Corella, C. C. 2021. La Costa Noroeste de Holguín (página 2). Monografías.com. Tomado de: <https://www.monografias.com/trabajos-pdf/costa-noroeste-holguin/costa-noroeste-holguin2.pdf>. Consultado el 19 de febrero de 2024.
- Garratt, J. R. 1977. *Review of drag coefficients over oceans and continents*. Monthly weather review, 105(7), 915-929.
- Hidalgo, A. 2010. *Características de las inundaciones costeras desde Gibara hasta Playa Guardalavaca*. Ciencias Holguín, Revista trimestral, vol. XVI, núm. 1, enero-marzo 2010, pp. 1-9 Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba Holguín, Cuba. ISSN: 1027-2127.
- Hidalgo, A. & Mitrani, I. 2012. "Particularidades hidrometeorológicas del litoral Gibara-Playa Guardalavaca". Revista Cubana de Meteorología, 18(2), 153-163
- Hidalgo, A.; Calzadilla, D. & Pérez, G. 2013. *Climatología de los ciclones tropicales en la provincia Holguín*. Ciencias Holguín, Revista trimestral, vol. XIX, núm. 3, julio-septiembre 2013. pp. 1-12 Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba Holguín, Cuba. ISSN 1027-2127.
- Hidalgo, A. & Mitrani, I. 2015. "Tendencias climáticas de las inundaciones costeras en el litoral Gibara-Playa Guardalavaca". Holguín, Cuba. Revista de Climatología. Vol. 15: 93-102 ISSN 1578-8768.
- Hidalgo, A. 2016. *Metodología para el estudio climático de las inundaciones costeras en Cuba*. Tesis en opción al grado académico de Máster en Ciencias Meteorológicas. Universidad de La Habana.
- Hidalgo, A.; Mitrani, I.; Ramírez, W.; Pérez, Y.; Córdova, O. L. & Machado, A. 2020. "Metodología para el estudio climático de las inundaciones costeras en Cuba. Aplicación en la costa norte de la región central y oriental". Revista Cubana de Meteorología, 26 (2), 1-15.
- Mitrani, I.; Díaz, O. O.; Vichot, A.; Hernández, I.; Hidalgo, A.; García, E. & Rodríguez, J. A. 2012. "Tendencias climáticas de las inundaciones costeras severas en áreas de Cuba". Revista Ciencias de la Tierra y del Espacio, 13(2), 68-84. ISSN: 1729-3790.
- Mitrani, I. 2016. "Representación de las inundaciones costeras en Cuba en condiciones severas, mediante modelos numéricos regionales" (Informe de resultado científico, Proyecto CITMA-AMA-INSMET). Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET).
- Mitrani, I.; Pérez, A.; Cabrales, J.; Povea, Y.; Hernández, M. & Díaz, O. O. 2019. *Coastal flood forecast in Cuba, due to hurricanes, using a combination of numerical models*. Revista Cubana de Meteorología, 25(2), 121-138.
- Montoro, P. E. & Díaz, O. O. 2012. *Propuesta de un modelo dinámico para el pronóstico de surgencia de huracanes en las costas de Cuba (MODSUR)*. Revista Cubana de Meteorología, 18(2), 164-177.

- Moreno, A.1998. “Desarrollo de las Técnicas de Predicción de las Inundaciones Costeras, Prevención y Reducción de su Acción Destructiva”. Informe Final del Proyecto Cuba, 94/003, 172.
- Pérez, L.; Hidalgo, A. & Valderá, N. 2022. “Variabilidad de las inundaciones costeras en Holguín ocasionadas por huracanes durante los siglos XIX-XXI”. Revista Cubana de Meteorología, 28(2).
- Planos, E. O.; Rivero, R. & Guevara, V. (eds.). 2013. “Impactos del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba” La Habana: Editorial AMA, 430 p., ISBN: 978-959-300-039-0.
- Ramos, L. E. 2009. *Huracanes: desastres naturales en Cuba*. Editorial Academia, pp: 1-192.
- SBK México. 2014. *Calendario Lunar*. <https://www.sbkMexico.com/calendarioLunar.php>
- Stocker, T.F.; Qin, D.; Plattner, G.K.; Tignor, M.; Allen, S.K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V. & Midgley, P.M. (eds.). 2013. “Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press, 203 p., ISBN: 978-92-9169-138-8.
- Toimil, A., Losada, I. J., & Camus, P. 2016. “Metodología para el análisis del efecto del cambio climático en la inundación costera: aplicación a Asturias”. Ribagua (Revista Iberoamericana del Agua), 3(2), 56-65.
- USACE (U.S. Army Corps of Engineers). 2002. “Coastal Engineering Manual, Part II, Chapter 4: Surf zone hydrodynamics”, pp.1-40. Disponible en: <https://www.publications.usace.army.mil/USACE-Publications/Engineer-Manuals/>. Consultado el 23 de septiembre de 2024.
- WMO. 1998. “Wave Analysis and Forecasting”. World Meteorological Organization, WMO - 702, Geneva, Switzerland, 168 pp.