



Análisis de las inundaciones costeras ocurridas en áreas protegidas de Cuba durante el período 1981-2010

Analysis of coastal floods occurring in protected areas of Cuba during the period 1981-2010

MSc. Reinaldo Casals Taylor[✉], Lic. Pedro Jorge Pérez Osorio, MSc. Lorena Menéndez Fernández–Cueto

Centro de Meteorología Marina, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba

Resumen

En el presente trabajo se muestran análisis de las frecuencias anuales de ocurrencia de inundaciones costeras en seis sitios de intervención del Proyecto “Mejorando la prevención, control y manejo de especies exóticas invasoras en ecosistemas vulnerables en Cuba”. Fueron evaluados los casos moderados y fuertes de inundaciones costeras, tomados de las cronologías confeccionadas para las costas de Cuba por el Centro de Meteorología Marina, y mediante la interpretación de la información estadística obtenida sobre ocurrencias de estos eventos, se determinó que los sitios con afectaciones más frecuentes son los ubicados al sur de la región occidental de Cuba. Sin embargo, estas comunidades vegetales (manglares) han contribuido a mitigar la acción negativa de estos eventos, a pesar de que muestran signos de degradación por acciones naturales o antrópicas. Solo la costa sur de Península de Guanahacabibes, lugar de nidificación de tortugas, puede resultar afectada al avanzar el agua de mar, malográndose las nidadas. Se incluye una descripción de los patrones sinópticos asociados a la ocurrencia de eventos de marejadas fuertes, vinculados con la afectación de frentes fríos, ciclones tropicales y áreas de vientos fuertes debidas a la intensificación del gradiente de presión atmosférica en superficie. Se obtiene como resultado una caracterización de estos eventos en zonas de preservación de biodiversidad, y los posibles impactos, si estos ecosistemas están adaptados a su embate.

Palabras clave: inundaciones costeras, frecuencia de casos, frecuencias anuales, patrones sinópticos, Cuba

✉ Autor para correspondencia: *Reinaldo Casals Taylor*, Instituto de Meteorología, Centro de Meteorología Marina, La Habana, Cuba. Apartado postal 17032. E-mail: reinaldo.casals@insmet.cu

Recibido: 27 de septiembre de 2016

Aceptado: 24 de octubre de 2016

Abstract

In the present paper it is shown several analyses of coastal flood yearly frequencies in six monitoring sites of Research Project “Improving prevention, control and handling of exotic invaders species in Cuba’s vulnerable ecosystems”. There were evaluated coastal floods cases of moderate and strong intensities, taken from chronologies compiled for the Cuba coasts by the Marine Meteorology Center, and by means of the interpretation of the statistical information obtained about coastal floods occurrences, it was determined that sites with more frequent affectations are those located to the south of Cuba’s western region. Nevertheless, these vegetable communities (mangroves) have contributed to mitigate the negative action of these events, despite of degradation signs by natural or anthropogenic causes. Just southern coast of Guanahacabibes' Peninsula, place for turtle nesting may be affected when sea level rises due to weather causes. Also, it is included a description of the synoptic patterns associated with the occurrence heavy seas, linked with the influence of cold fronts, tropical cyclones and strong winds areas due to surface atmospheric pressure gradient intensifying.

Key words: coastal floods, case frequencies, annual frequencies, synoptic patterns, Cuba

Introducción

La ocurrencia de inundaciones costeras en Cuba ha tenido una estrecha relación con la frecuencia de afectación de vientos intensos asociados a fenómenos meteorológicos peligrosos, y a las características morfológicas y topográficas de las áreas costeras donde ocurren. La combinación de estos factores meteorológicos y físico – geográficos definen el peligro de inundaciones costeras.

El Instituto de Meteorología ha centrado su atención en la predicción de las inundaciones costeras y la evaluación de sus afectaciones a sitios poblados, lo que ha servido para generar acciones que ayuden los centros de gestión de desastres a mitigar los daños que éstas producen a la economía y la población.

Los trabajos iniciales sobre inundaciones costeras en Cuba comenzaron a describir casos notables por su intensidad en Ciudad de La Habana, haciendo énfasis en las

características del oleaje asociado a estos fenómenos ([Díaz et al., 1988](#)). [Mitrani et al. \(1984\)](#), obtuvo los regímenes del viento y oleaje extremos en la costa norte de La Habana, incluyendo los cálculos de transformación del oleaje para determinar la ubicación de las zonas de rompientes, aspecto importante para proyectar obras de protección al Malecón habanero. En 1996, Mitrani y Salas determinaron los períodos de retorno del oleaje extremo asociado a frentes fríos y huracanes alrededor de las costas de Cuba, y más tarde [Mitrani & Pérez \(1998\)](#), analizaron estrictamente la influencia de los ciclones tropicales sobre el régimen de oleaje extremo y la ocurrencia de inundaciones costeras en el litoral de La Habana.

Varios estudios cronológicos han sido realizados para el litoral habanero desde entonces. [Rodríguez \(1988\)](#), presentó una cronología que se extendía desde 1986 hasta 1990, incluyendo un primer intento de escala de intensidades de las inundaciones

costeras, basada en los límites que alcanza el agua en las calles, [Pérez et al. \(1994\)](#), amplió esta cronología hasta 1994, además de analizar los factores físico – geográficos y patrones sinópticos asociados a las ocurrencias; además, agregó una caracterización estadística de la muestra. [Mitrani et al. \(1994\)](#), realizaron una caracterización Hidrometeorológica de la zona del Malecón Habanero en la que se incluyó el análisis de la sobre elevación del nivel del mar en la costa de Ciudad de La Habana.

[Portela \(1998\)](#), dio a conocer una serie cronológica de inundaciones costeras notables ocurridas en Ciudad de La Habana y otros lugares de Cuba, presentada para argumentar la necesidad de contar con un método para predecir la ocurrencia de inundaciones costeras en el país. En este trabajo se proponen escalas de intensidades de las inundaciones costeras basadas en las alturas de las olas, tanto para costas abruptas como para costas de pendiente suave. Por su parte, [Pérez et al., \(2001\)](#), elaboró un Sistema de Información y Referencia de las inundaciones costeras en la costa norte de la región occidental, donde se ofrecen los patrones sinópticos asociados a las inundaciones costeras en este tramo costero y se actualiza la cronología que comprende todo el siglo XX (período 1901 – 2000).

A diferencia de los ejemplos anteriores, por primera vez se realiza una caracterización de estos eventos en zonas de preservación de biodiversidad, con el fin de determinar posibles impactos, o si éstos ecosistemas están adaptados a su embate. Se tomaron como referencia los diferentes grados de peligro de inundaciones por surgencias de ciclones tropicales a que

están sometidos los sitios de intervención del Proyecto de Investigación “Mejorando la prevención, control y manejo de Especies Exóticas Invasoras (EEI)-INSMET en ecosistemas vulnerables en Cuba”, en base a los resultados de [Pérez et al. \(2009\)](#).

Las áreas de intervención del proyecto comparten tramos costeros con diferentes niveles de sensibilidad al peligro de inundaciones costeras. Se estableció una asociación entre ubicación de las áreas de intervención y los diferentes grados de peligro de incrementos del nivel del mar por sectores de costas. También se determinaron los patrones sinópticos principales a los cuales están asociados los eventos de oleajes extremos y las inundaciones asociadas, lo cual ha ayudado a ofrecer alertas tempranas para la acción de los órganos de manejo de desastres y diferentes instancias de gobierno.

El objetivo principal del trabajo es la caracterización de las frecuencias de afectación por inundaciones costeras en los sitios de intervención del citado proyecto de investigación, en cuanto a cantidad de casos y años de ocurrencia, como información que puede ser utilizada en las acciones conservacionistas territoriales.

Materiales y Métodos

Como referencia para analizar los eventos de inundaciones costeras y oleajes extremos ocurridos en los sitios de intervención ubicados en la región occidental de Cuba, se empleó la recopilación de [Pérez et al. \(2001\)](#), así como casos documentados en los archivos del Centro de Meteorología Marina sobre otros eventos ocurridos a lo largo de las costas de Cuba hasta 2010.

Además, se consultó la base de datos de

trayectorias de ciclones tropicales que abarca desde 1851 hasta el presente, en el sitio [National Weather Service \(2015\)](#), para comprobar casos y fechas.

Se realizó el análisis de casos de inundaciones costeras para el período 1981 – 2010 (30 años), base para el análisis del comportamiento de las variables climáticas definidas en el citado proyecto. Además, resultó conveniente que todos los sitios tuvieran series temporales de igual longitud para realizar comparaciones.

El análisis estadístico consistió en la determinación de la frecuencia con que se han producido una o más inundaciones costeras en el período fijado en cada sitio de intervención del citado proyecto, en base a la siguiente relación:

$$F = \frac{n \times m}{N \times M}$$

Siendo n la frecuencia de ocurrencia de 1, 2 o más inundaciones por año en la localidad, m es la cantidad de años en que han ocurrido inundaciones, N la longitud de la serie temporal y M es el total de inundaciones ocurridas en la localidad. De este modo, se obtienen las frecuencias con que han ocurrido una inundación por año, dos inundaciones por año, etc., y por supuesto, la frecuencia disminuye para los casos en que han ocurrido más de una inundación en un año.

Los mapas sinópticos medios que ilustran las diferentes situaciones extremas vinculadas a la ocurrencia de inundaciones costeras a lo largo de las costas de Cuba, fueron obtenidos a partir del análisis y promedio de los mapas diagnósticos, conservados en los archivos gráficos del Instituto de Meteorología. Algunas

situaciones corresponden a fechas específicas extraídas de los referidos archivos.

Situaciones sinópticas típicas asociadas a la ocurrencia de inundaciones costeras en los sitios de intervención del Proyecto EEI – INSMET

Al estar diseminados los sitios de intervención del Proyecto a lo largo de las costas de Cuba, todos los patrones sinópticos tipificados como causantes de inundaciones costeras están presentes en los análisis. En general, todos los sitios pueden ser afectados por el paso de ciclones tropicales, mientras la influencia del resto de los patrones se modifica de acuerdo con la posición geográfica de cada sitio.

Sistemas frontales

La atención se centra en aquellos frentes fríos clásicos cuyos vientos máximos sostenidos en 10 minutos sobrepasan los 36 kilómetros por hora, soplando de región Noroeste por más de 10 horas sobre el Golfo de México. En estas condiciones, el oleaje esperado es superior a los 3.0 metros de altura, el cual es capaz de generar incrementos del nivel del mar en la zona costera, sin descartar el impulso que el viento imprime a la masa de agua en la superficie cuando las profundidades son reducidas. Debe destacarse que son realmente los vientos fuertes y persistentes del anticiclón que sigue al frente frío el causante del oleaje extremo que provoca los incrementos del nivel del mar.

Estos fenómenos comienzan a transitar sobre Cuba entre noviembre y abril, período en que el flujo superior de vientos del Oeste llega a la zona tropical. En la [figura 1](#) se muestra un frente frío clásico del 17 de enero de 1977, generador de una fuerte inundación en la costa noroccidental de Cuba.

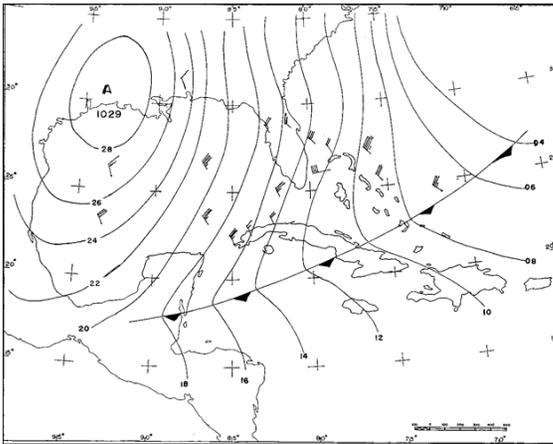


Figura 1. Frente frío fuerte el 17 de enero de 1977 ubicado sobre Camagüey y desplazándose al Sudeste. Tomado de los archivos del Instituto de Meteorología

Entre los sistemas frontales es posible contar la influencia de bajas extratropicales, sistemas circulatorios de vientos en sentido antihorario, impulsados por el flujo de vientos del oeste durante las temporadas invernales. Debido a su tránsito poco común al sur de la latitud 30 grados Norte, la región occidental de Cuba queda afectada por su circulación, y si el sistema tiene suficiente intensidad (presión central inferior a 1000 hectopacales) se puede generar oleaje peligroso de dirección Noroeste con alturas entre 4.0 y 6.0 metros ([Figura 2](#)).

Otro tipo de situación sinóptica favorable a la ocurrencia de incrementos del nivel del

mar durante temporadas invernales, han sido las áreas de convergencia de vientos asociados a sectores delanteros de bajas extratropicales y sistemas frontales clásicos, así como frentes casi estacionarios ([Figura 3](#)). Flujos de vientos originados por estas situaciones han recibido el nombre de “sures”, los cuales ocurren con mayor probabilidad de enero a abril, y pueden alcanzar intensidades de hasta 45 kilómetros por hora.

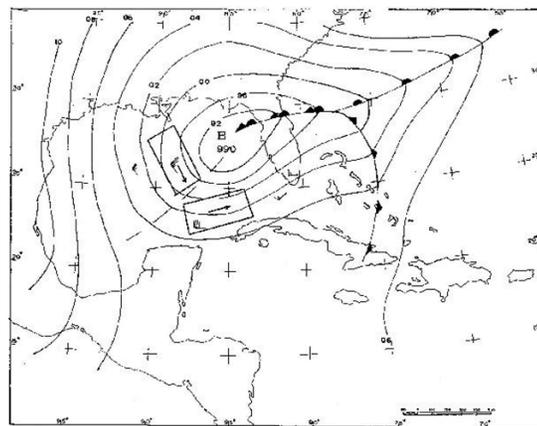


Figura 2. Situación sinóptica típica de la disposición de las dos áreas generadoras de oleaje que se combinaron para producir inundaciones costeras el 17 de marzo de 1983. Tomado de [Pérez et al. \(2001\)](#)

Ciclones tropicales

Son sistemas de vientos circulatorios y convergentes hacia un centro de bajas presiones, que se forman enteramente en aire caliente de la zona tropical entre los 20 grados de latitud Sur y los 25 grados de latitud Norte. Su diámetro puede alcanzar hasta 500 kilómetros, pero la intensidad de sus vientos es superior comparada con la de las bajas extratropicales (típicamente superior a los 118 kilómetros por hora). Por

esta razón, los ciclones tropicales son capaces de generar olas superiores a los 6 metros de altura en aguas profundas.

Las trayectorias de estos organismos son variadas, con rumbos generales de Este a Oeste, de Sur a Norte o de Suroeste a Nordeste después de haber recurvado ([Figura 4](#)). De esta forma, cada sitio de intervención ha sufrido la acción del oleaje

generado por este tipo de organismo.

Igualmente, desde huracanes lejanos se han propagado sistemas de oleaje en forma de mar de leva, provocando incrementos del nivel del mar e inundaciones. Varios casos han ocurrido en ambas costas de Cuba, provocados por huracanes intensos ([Figura 5](#)).

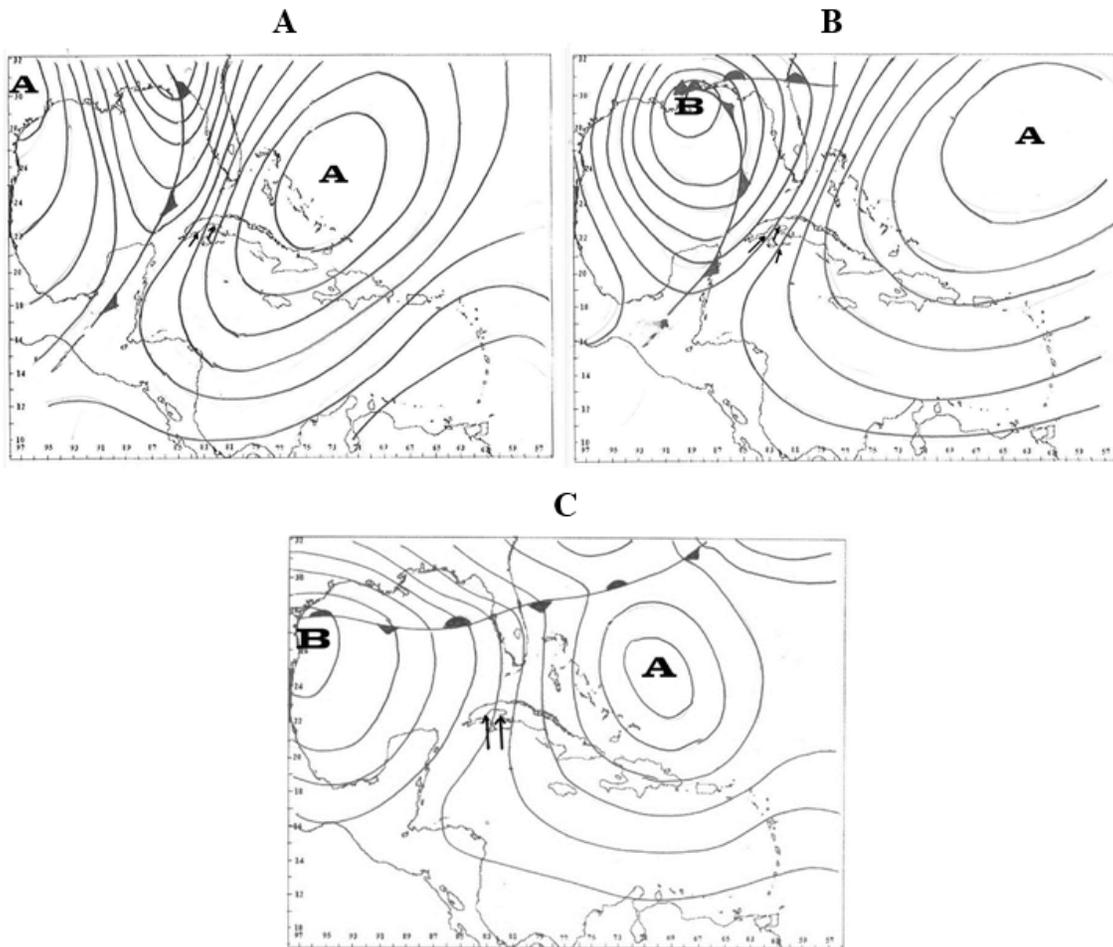


Figura 3. Patrones típicos asociados a flujos de vientos del sur sobre la región occidental de Cuba: A-flujo por delante de un frente frío, B-flujo por delante de una baja extratropical, C-flujo inducido por un frente estacionario sobre la mitad norte del Golfo de México. Tomado de [Pérez et al. \(2001\)](#)

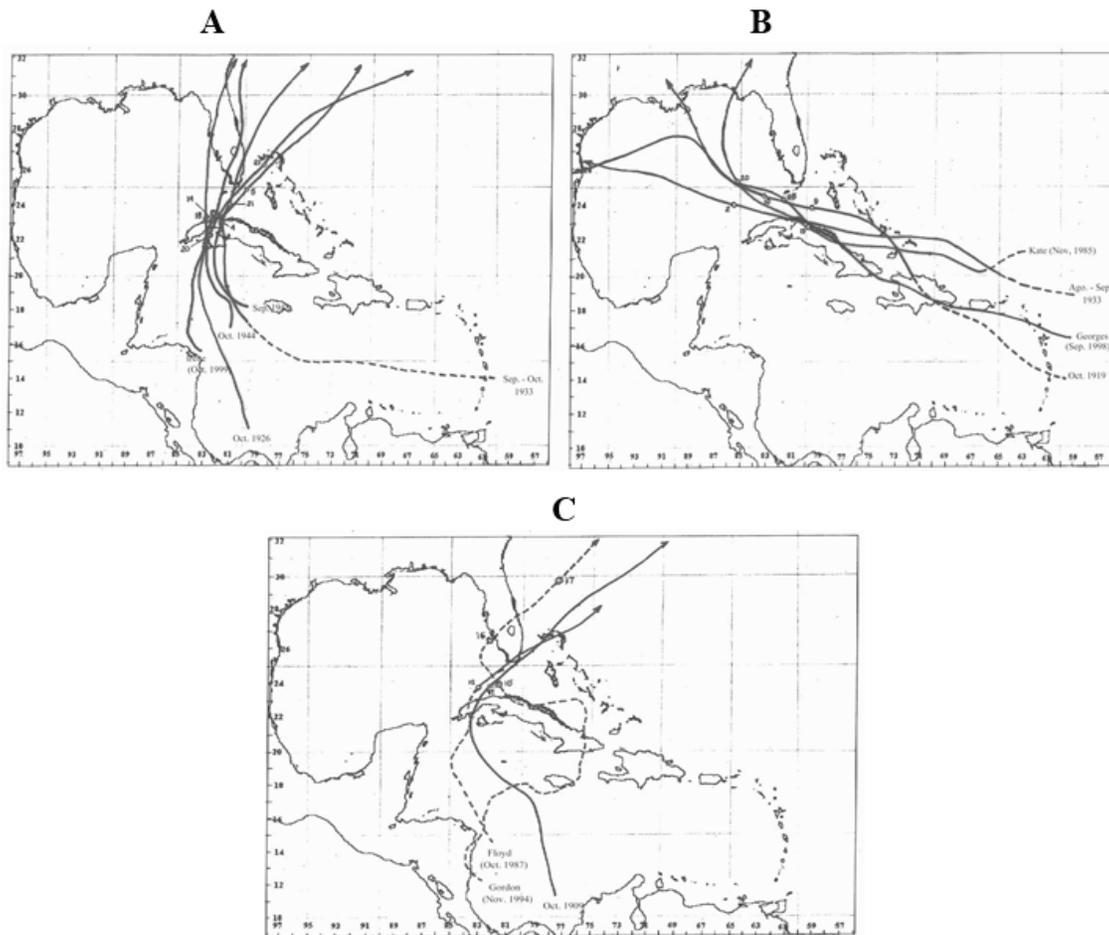


Figura 4. Grupos generales de trayectorias de ciclones tropicales alrededor de Cuba; A-de Sur a Norte, B-de Este a Oeste, C-de Suroeste a Nordeste al finalizar las recurvas. Tomado de [Pérez et al. \(2001\)](#)

Flujos de vientos asociados a anticiclones migratorios

Luego del paso de los frentes fríos, queda la influencia de persistentes vientos del Nordeste que pueden alcanzar hasta 45 kilómetros por hora, generados por anticiclones continentales que se mueven hacia el Este buscando la salida hacia el Océano Atlántico. En la [figura 6](#) se muestran patrones sinópticos vinculados

con la afectación a zonas costeras del norte de la región oriental de Cuba.

Zonas de convergencia de vientos entre anticiclones y bajas extratropicales

Con frecuencia se han dado casos en que una baja extratropical queda bloqueando el movimiento al Este de un anticiclón migratorio, lo que ha traído como consecuencia el establecimiento de una zona generadora de oleaje sobre el Océano

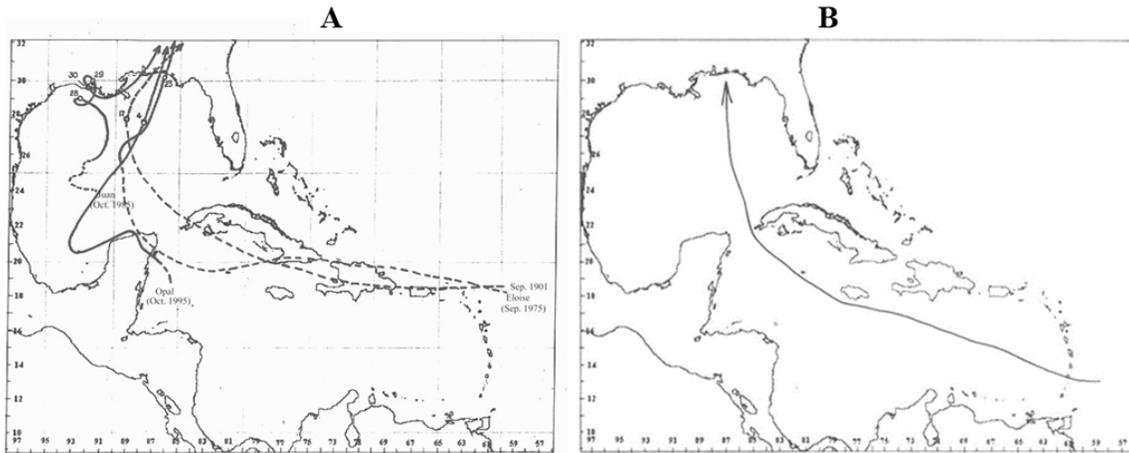


Figura 5. Ejemplos de trayectorias de ciclones tropicales alejados de Cuba que han producido inundaciones costeras por mar de leva: a) en varios sitios de la costa sur, por ejemplo Gilbert en 1988, Ivan en 2004 y Felix en 2006; b) en la costa norte del occidente de Cuba, en la imagen ciclón de septiembre de 1901, Eloise en 1975, Juan en 1988 y Opal en 1995. Tomado de [Pérez et al., \(2001\)](#)

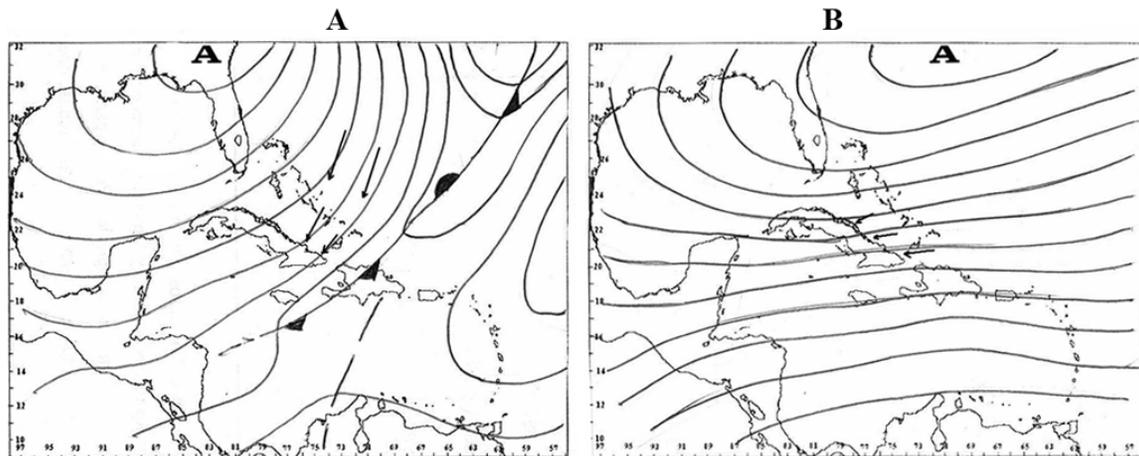


Figura 6. Situación sinóptica típica del flujo de vientos fuertes del Nordeste que se establecen después del paso de un frente frío por la región oriental de Cuba ([Hernández et al., 2002](#))

Atlántico que apunta hacia el Suroeste, con rumbo a Islas Bahamas, y de ahí hacia las costas de Baracoa y Holguín a través de

profundos cañones submarinos para generar eventos de inundaciones costeras ([Figura 7](#)).

Grados de peligro definidos para las áreas de trabajo del proyecto

[Pérez et al. \(2009\)](#), definieron cuatro grados de peligro natural en las costas de Cuba ante los incrementos del nivel del mar por surgencias de ciclones tropicales, valorando integralmente en 26 tramos

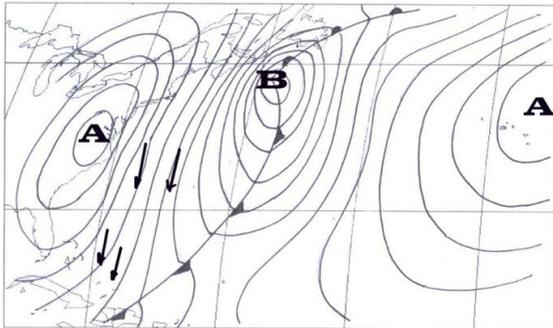


Figura 7. Situación sinóptica típica que muestra la acción combinada de una baja extratropical con frente frío asociado y un anticiclón proveniente de Norteamérica ([Hernández et al., 2002](#))

costeros en que fue dividida la isla de Cuba e Isla de la Juventud, la frecuencia de paso de ciclones tropicales, la morfología de las costas y las áreas marinas adyacentes y el período de retorno de los eventos más intensos.

Las áreas de trabajo del citado proyecto están expuestas a diferentes grados de peligro por afectación de surgencias ([Tabla 1](#)), considerando los criterios mencionados anteriormente.

Las áreas de intervención del proyecto comparten tramos costeros con diferentes niveles de sensibilidad al peligro de inundaciones costeras. Observándose las [figuras 8](#) y [9](#) se puede establecer una asociación entre ubicación de las áreas de intervención y los diferentes grados de peligro por sectores de costas.

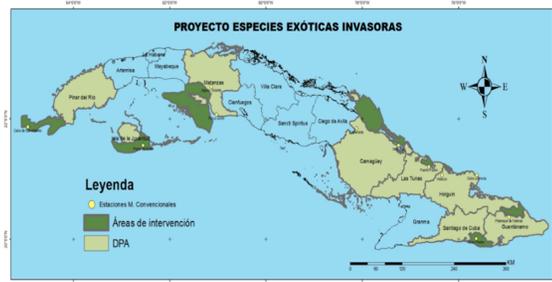


Figura 8. Ubicación de las áreas de intervención del proyecto EEI – CC (Mapa cortesía del Centro Nacional de Áreas Protegidas, 2012)

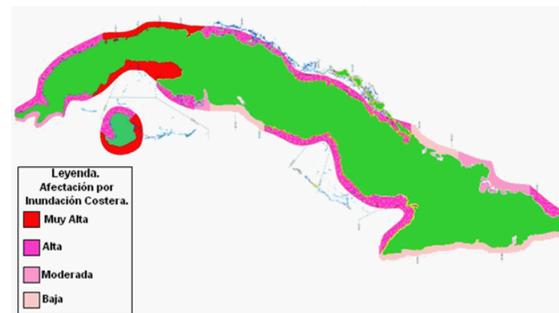


Figura 9. Afectación o peligro de inundaciones costeras por la combinación de las surgencias de ciclones tropicales y el oleaje ([Pérez et al., 2009](#))

Análisis de la información cronológica de las inundaciones costeras en los sitios de intervención (1981 – 2010)

Para cumplir el propósito del proyecto de investigación acerca del análisis cronológico de las inundaciones costeras ocurridas en los sitios de intervención, fueron tomadas como base las cronologías que han sido confeccionadas para asentamientos costeros de diferente

importancia a lo largo de las costas de Cuba, los que habitualmente han sufrido sus impactos económicos, sociales e infraestructurales.

Se hace esta salvedad, porque nunca los asentamientos de referencia han coincidido

en ubicación con los sitios de intervención, por tanto, para estimar cualitativamente los impactos físicos de un posible evento se debe recurrir a los casos más fuertes encontrados en dichas cronologías. Además, los ecosistemas bajo análisis son

Tabla 1. Peligro de inundaciones costeras en las áreas de intervención

Área de intervención	Grado de peligro	Caracterización del peligro
Península de Guanahacabibes (Reserva de Biosfera)	Alto por la costa norte y Moderado por la costa sur	La costa sur ha sido altamente frecuentada por ciclones tropicales que llevan rumbo al Norte, al Noroeste o al Nordeste. Gilbert (septiembre de 1988) y Wilma (octubre de 2005) han sido de los más intensos. Al ser un sector costero de aguas profundas y pendiente fuerte, el peligro solo llega al grado Moderado. La costa norte es también afectada con alta frecuencia por ciclones tropicales, y además por frentes fríos cuyos vientos sean de dirección Noroeste y superiores a 40 kilómetros por hora. Al ser un sector costero de pendiente suave y poca profundidad, el peligro llega a ser Alto.
Ciénaga de Lanier (Área Protegida)	Muy Alto	Ubicado en Isla de la Juventud al sur de la región occidental de Cuba, también es vulnerable al paso de ciclones tropicales que penetren con rumbo al Norte, al Nordeste o al Noroeste. A pesar de que este sector costero es de aguas profundas, la pendiente del territorio emergido es suave y favorece la permanencia de la inundación una vez que ésta ocurre, por lo que el peligro se caracteriza como Muy Alto.
Península de Zapata (Reserva de Biosfera)	Alto por la costa sur y Muy alto por la costa norte	Ubicado en la costa sur de la región occidental de Cuba, la península también es vulnerable a ciclones tropicales que penetren con rumbo al Norte, al Noroeste o al Nordeste. La costa al sur de la península es rocosa, cubierta de manglares y algo más elevada que al norte, perteneciente a la cuenca del río Hatiguanico. Es por eso que el peligro en la costa sur ha sido caracterizado como Alto, y Muy Alto en la costa norte.
Costa norte de Holguín, Las Tunas y Camagüey	Alto en el interior de la cayería de Sabana – Camagüey y Moderado en Las Tunas y Holguín	Ubicado en la costa norte de Cuba hacia la región oriental, la incidencia de ciclones tropicales disminuye con respecto a la región occidental. La afectación por ciclones tropicales solo puede ser de aquellos que se desplacen o penetren con rumbo Este, de modo que los efectos de las surgencias de ciclones tropicales y el oleaje generado por estos o por anticiclones fuertes será menor e inducirá a peligro Moderado en Las Tunas y Holguín, y Alto en las aguas poco profundas del interior de la cayería de Sabana – Camagüey.

Parque Baconao (Reserva de Biosfera)	Bajo	Ubicado en la costa sur de la región oriental de Cuba, globalmente tiene la menor frecuencia de afectación de ciclones tropicales intensos, y el sector costero tiene fuerte pendiente de la zona sumergida, por lo que el peligro queda definido como Bajo. Sin embargo, es de destacar que en la última década la región sufrió el azote de los huracanes Dennis (Julio 2005) y Sandy (Octubre 2012), que provocaron importantes daños.
Parque Nacional Alejandro de Humboldt: sector Baracoa	Alto	Ubicado en la costa norte del extremo oriental de Cuba, este sector costero es vulnerable a oleajes generados por ciclones tropicales que penetran con rumbo Este o tienen lento movimiento sobre el Océano Atlántico en las cercanías del grupo sur de islas Bahamas, y también los generados por sistemas extratropicales (anticiclones o ciclones) que llegan desde el citado Océano Atlántico con rumbo Este, atravesando los cañones profundos que cruzan el Gran Banco de Bahamas. Por la diversidad de situaciones sinópticas asociadas a inundaciones costeras, el peligro ha sido caracterizado como Alto.

mayoritariamente manglares donde se aplican estrategias de conservación medioambiental, por lo que están en mejores condiciones de resistir impactos de los eventos de menor intensidad y controlar el avance de las inundaciones por incrementos del nivel del mar, como barreras naturales que son.

Mediante el análisis estadístico se obtiene la frecuencia con que ocurren, en un año, una o más inundaciones costeras. Se debe tener en cuenta que cuando en un año ocurrieron 2 inundaciones, se considerará que ya se produjo una, y como tal entrará en el cálculo de la frecuencia de un caso anual. De igual modo, cuando en un año se produjeron 3 inundaciones también entrará en los análisis de la ocurrencia de 2 inundaciones y la ocurrencia de 1.

Análisis de las inundaciones costeras ocurridas en la costa norte de Península de Guanahacabibes

Los eventos oleajes fuertes con

inundaciones costeras han sido producidos por sistemas frontales y huracanes intensos, sin embargo, en el último decenio (2000 – 2010) no se han presentado sistemas invernales (frentes fríos o bajas extratropicales) de apreciable intensidad que hayan provocado afectaciones importantes en la costa norte de Península de Guanahacabibes.

En esta región se han producido 9 inundaciones costeras, dos de ellas en el mismo año, lo que ofrece una frecuencia de una vez cada 33,75 años, mientras que para el caso de una ocurrencia anual, la frecuencia aumenta a una vez cada 4,21 años.

Para el tramo costero sobre el que se ubica este sitio han ocurrido eventos en períodos consecutivos (1992 – 1993 y 2004 – 2005) y los huracanes Isidore y Lili en el mismo año 2002, que en la historia de la meteorología cubana ha sido el intervalo de tiempo más corto (10 días) entre el paso de dos ciclones tropicales por un mismo sitio. En la [tabla 2](#) se muestra el resumen del

comportamiento estadístico.

Análisis de las inundaciones costeras ocurridas en la costa norte de Camagüey–Las Tunas-Holguín

En este tramo costero, el alcance de vientos lineales de dirección Este y Estenordeste está fuertemente limitado para la generación de oleaje peligroso por el obstáculo geográfico que constituye el Gran Banco de Bahamas, por lo que los eventos extremos de inundaciones costeras han estado vinculados con la entrada de ciclones tropicales.

En el período analizado de 30 años, solo han ocurrido eventos intensos de inundación costera en tres años con un caso per cápita, por lo que la frecuencia

observada fue de 1 caso de inundación costera cada 10 años, los cuales han estado asociados a alturas de olas superiores a 5,0 metros ([Tabla 3](#)).

Análisis de las inundaciones costeras ocurridas en el Parque Nacional Alejandro de Humboldt, costa norte de Guantánamo

La relación de eventos de inundación costera ocurridos en el Parque Nacional Alejandro de Humboldt se basa en la cronología compilada por Hernández *et al.* (2002), para la ciudad de Baracoa, que abarcó el período desde 1979 hasta el 2000, la cual ha sido actualizada hasta los últimos casos ocurridos en 2008 ([Tabla 4](#)).

El análisis de la relación de eventos más

Tabla 2. Frecuencia y período de retorno de inundaciones costeras en costa norte de Península de Guanahacabibes

Años de ocurrencia	Total inundaciones	Frecuencia anual (clases)	Frecuencia observada por clases	Frecuencia calculada	Período de retorno (caso/años)
8	9	1	8	0,237	1/4,21
		2	1	0,0296	1/33,75

Tabla 3. Frecuencia y período de retorno de inundaciones costeras en la costa norte de Camagüey – Las Tunas-Holguín

Años de ocurrencia	Total inundaciones	Frecuencia anual (clases)	Frecuencia observada por clases	Frecuencia calculada	Período de retorno (caso/años)
3	3	1	3	0,033	1/10

Tabla 4. Frecuencia y período de retorno de inundaciones costeras en el Parque Nacional Alejandro de Humboldt

Años de ocurrencia	Total inundaciones	Frecuencia anual (clases)	Frecuencia observada por clases	Frecuencia calculada	Período de retorno (caso/años)
8	11	1	8	0,1939	1/5,51
		2	2	0,048	1/20,62
		3	1	0,024	1/41,25

intensos de inundaciones costeras ocurridos entre 1981 y 2010, muestra que existe un equilibrio entre sistemas anticiclónicos y fenómenos tropicales, como causas de generación de oleaje extremo. Durante el período analizado, los 11 eventos de inundación costera en este sitio se han distribuido en 8 años, destacando que en 2004 ocurrieron 3 casos y en 2008 ocurrieron 2.

En 2008 se produce otro curioso caso de mínimo intervalo de tiempo para la ocurrencia de dos inundaciones costeras sucesivas (7 días), cuando se presentaron los eventos del 1ro. y el 8 de septiembre, aunque solo la segunda fecha se vincula con la afectación directa de un ciclón tropical.

Análisis de las inundaciones ocurridas en el Parque Baconao, Santiago de Cuba

La ocurrencia de inundaciones costeras en el litoral que se extiende desde Punta de Maisí hasta Cabo Cruz, zona donde se ubica el Parque Baconao, está asociada al paso de huracanes, ya sea que lleven trayectorias de penetración en el territorio, o con trayectorias sobre el mar de Este a Oeste en cuyo caso la influencia de la mar de leva es decisiva ([Tabla 5](#)).

En el período analizado se han producido 9 eventos de inundaciones fuertes, vinculados con alturas de olas

superiores a 8 metros generadas por intensos huracanes, entre los que destacan Gilbert en septiembre de 1988, Iván en septiembre 2004 y Dennis en 2005, que con su acción directa fueron capaces de lanzar sobre la costa grandes bloques rocosos arrancados del fondo del mar.

Vale mencionar que en el año 2007 la zona fue afectada en tres ocasiones por mar de leva emitida por ciclones tropicales lejanos, lo cual constituyó un año más activo que el resto en el período estudiado.

Análisis de las inundaciones costeras ocurridas en Península de Zapata

Las afectaciones por inundaciones costeras a la Península de Zapata han estado asociadas al paso de ciclones tropicales que han cruzado sobre ella, o que han transitado cerca con distintos rumbos. Además, desde el punto de vista climatológico, la Península está ubicada en la región de Cuba con mayor frecuencia de paso de ciclones tropicales.

La poca profundidad y débil pendiente de las costas de la Península que colindan con el Golfo de Batabanó, favorecen el incremento del nivel del mar y su avance hacia el interior ante la presencia de vientos fuertes y persistentes, aunque la vegetación natural de la región tiene capacidades para atenuarlo. Al contrario, las costas que

Tabla 5. Frecuencia y período de retorno de inundaciones costeras en el Parque Baconao

Años de ocurrencia	Total inundaciones	Frecuencia anual (clases)	Frecuencia observada por clases	Frecuencia calculada	Período de retorno (caso/años)
7	9	1	7	0,1814	1/5,51
		2	1	0,0259	1/38,57
		3	1	0,0259	1/38,57

colindan con la Bahía de Cochinos y el Golfo de Cazones, al ser de pendiente más abrupta y de mayor profundidad son favorables a los incrementos del nivel del mar a causa del oleaje que rompe.

La [tabla 6](#) muestra una alta frecuencia de afectación por ascensos del nivel del mar, vinculadas con ciclones tropicales, tanto por la ocurrencia de un evento anual como por la de dos eventos. La condición morfológica de costa baja y de poca pendiente de gran parte de sus costas le confieren condición de vulnerable al sitio, aunque desde el punto de vista ecológico la región puede ser capaz de recuperarse de estos impactos.

Se destacan cuatro años con dos ocurrencias per cápita, especialmente en la última década del período analizado (2000 – 2010), cuando transitaban por la región los huracanes Charlie e Iván (agosto y septiembre de 2004), Dennis y Wilma (julio y octubre de 2005) y Gustav e Ike (agosto y septiembre de 2008). Se agrega a este grupo

el año 1985, cuando a lo largo de la costa norte de Matanzas transitaban con rumbo Este la tormenta tropical Elena (agosto) y el huracán Kate (noviembre).

Análisis de las inundaciones costeras ocurridas en la costa sur de Península de Guanahacabibes

Al igual que Península de Zapata, la costa sur de Península de Guanahacabibes forma parte de la región occidental de Cuba, lugar donde históricamente está registrada la mayor frecuencia de paso de ciclones tropicales. Esto es atestiguado por los valores de frecuencia de afectación mostrados en la [tabla 7](#).

Morfológicamente, la costa sur de Península de Guanahacabibes es acantilada, de pendiente pronunciada y aguas profundas, por lo cual los ascensos del nivel del mar se generan a causa de la ruptura del oleaje. Dadas sus características físicas, esta vertiente de la Península es capaz de limitar

Tabla 6. Frecuencia y período de retorno de inundaciones costeras en Península de Zapata

Años de ocurrencia	Total inundaciones	Frecuencia anual (clases)	Frecuencia observada por clases	Frecuencia calculada	Período de retorno (caso/años)
10	14	1	10	0,238	1/4,2
		2	4	0,0952	1/10,5

Tabla 7. Frecuencia y período de retorno de inundaciones costeras en costa sur de Península de Guanahacabibes

Años de ocurrencia	Total inundaciones	Frecuencia anual (clases)	Frecuencia observada por clases	Frecuencia calculada	Período de retorno (caso/años)
10	12	1	10	0,277	1/3,6
		2	2	0,055	1/18

el avance del agua de mar en situaciones de oleaje extremo, sin embargo, la afectación real recae sobre las nidificaciones de tortuga cuando estos eventos se producen en época de maduración de los huevos, contribuyendo a la pérdida de población potencial¹.

De la serie de 12 casos analizados, solo dos eventos de oleaje extremo estuvieron vinculados con sistemas extratropicales, que son el caso de las bajas extratropicales de marzo de 1993 (Tormenta del Siglo) y de febrero de 1998, que generaron vientos del Sur muy fuertes sobre las aguas adyacentes a la Península de Guanahacabibes.

Análisis de las inundaciones costeras ocurridas en la costa sur de Isla de la Juventud

La Ciénaga de Lanier constituye el principal humedal de Isla de la Juventud, que se extiende de Oeste a Este desde la Ensenada de Sigüanea hasta la Ensenada de San Juan. Esta unidad paisajística constituye la Reserva Ecológica “Los Indios”, que separa al sector norte de la Isla de la Llanura Cársica del Sur, y como tal yace relativamente a menor altitud que las unidades mencionadas, por lo que puede ser vulnerable a incrementos del nivel del mar causados por eventos de vientos extremos

asociados a huracanes, aunque solo en las áreas adyacentes a las costas. Otras afectaciones pueden ser la salinización de fuentes de aguas subterráneas y superficiales a causa de estos incrementos del nivel del mar, pero no es objetivo de este análisis.

La consulta de la información archivada sobre afectación por ciclones tropicales a Isla de la Juventud, arrojó 12 casos en los que por distintos sectores de la costa sur se produjeron inundaciones costeras por huracanes intensos que penetraron en tierra o la isla quedó dentro del área de influencia de estos cuando pasaban por las cercanías, especialmente por el Mar Caribe.

Fueron particularmente desastrosos para el litoral el huracán Gilbert (septiembre de 1988), con trayectoria Estesudeste – Oestenoroeste con rumbo a la Península de Yucatán; los huracanes Isidore (septiembre 2002) y Lili (octubre 2002) que afectaron la Isla en un lapso de 10 días entre ambos; el huracán Iván (septiembre 2004), con trayectoria Sudeste – Noroeste con rumbo al extremo occidental de Península de Guanahacabibes, y el huracán Gustav (agosto 2008) que produjo valores extremos de elevación del nivel del mar en la costa oriental de la Isla al penetrar en tierra.

Curiosamente, los resultados de la [tabla 8](#) muestran un comportamiento similar al del sitio ubicado en la costa sur de

Tabla 8. Frecuencia y período de retorno de inundaciones costeras en costa sur de Península de Guanahacabibes

Años de ocurrencia	Total inundaciones	Frecuencia anual (clases)	Frecuencia observada por clases	Frecuencia calculada	Período de retorno (caso/años)
10	12	1	10	0,277	1/3,6
		2	2	0,055	1/18

¹ Comunicación personal con Carballosa (2015)

Península de Guanahacabibes ([tabla 7](#)), pero ocurridos en años diferentes y bajo la influencia de otros sistemas sinópticos.

Conclusiones

Ha sido analizada la frecuencia de ocurrencia del fenómeno inundación costera en seis sitios de interés ecológico del Centro Nacional de Áreas Protegidas, constatándose lo siguiente:

1. Las frecuencias anuales de eventos de inundaciones costeras en los sitios situados al sur de la región occidental de Cuba (Península de Zapata, costa sur de Península de Guanahacabibes y costa sur de Isla de la Juventud) son las máximas de todas las localidades analizadas.
2. La alta frecuencia de afectación por inundaciones costeras a la costa sur de la región occidental de Cuba está en relación directa con la mayor frecuencia histórica de tránsito de ciclones tropicales. Fueron detectados solo dos casos de inundaciones costeras vinculadas con sistemas extratropicales.
3. Los sitios de intervención del proyecto están adaptados a la influencia de los eventos de inundaciones costeras, dada su condición de lugares de preservación de la biodiversidad y el entorno natural, salvo la costa sur de Península de Guanahacabibes, lugar de nidificación de tortugas, que resulta afectado cuando el avance del agua de mar en época de maduración de los huevos puede malograr los nidos.

Referencias

Centro Nacional de Áreas Protegidas 2012.
Plan de acción para la implementación

del programa de trabajo sobre áreas protegidas de la Convención sobre la Diversidad Biológica. Informe Científico enviado a la Secretaría del Convenio, La Habana, Cuba, p. 32.

- Díaz, L.; Mitrani, I. & Pérez, P. J. 1988. Determinación del oleaje característico de fenómenos que han producido penetraciones del mar en la costa norte de La Habana. Tesis de Diploma, La Habana, Cuba: Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, 53 p.
- Hernández, O. N.; Vega, G. R. & Casals, T. R. 2002. "Estudio de los sistemas meteorológicos que han afectado a baracoa por penetraciones del mar e inundaciones costeras". *Revista Cubana de Meteorología*, 9(2): 58, ISSN: 0864-151X.
- Mitrani, I.; Fontova, M.; Díaz, L. & González, J. 1984. "Determinación del régimen de ola y viento en la costa norte de La Habana". In: IV Exposición Forjadores del Futuro, Centro de Información y Divulgación de las BTJ, p. 15, Código D.5625.Mit.D.
- Mitrani, I. & Pérez, R. 1998. "Influencia de los ciclones tropicales en el régimen de oleajes peligrosos del litoral habanero". In: Conferencia Científica sobre Ciclones Tropicales 'Rodríguez Ramírez in Memoriam', Ciudad de La Habana, Cuba, pp. 138-144.
- Mitrani, I.; Pérez, R.; Vega, R.; Díaz, L.; del Sol, A.; Casals, R.; Pérez, P. J.; Salas, I. & Barreras, O. 1994. Características hidrometeorológicas generales de la zona costera correspondiente al Malecón habanero. Informe final de Resultado, Ciudad de La Habana, Cuba: INSMET, p. 30.

- National Weather Service. 2015. Archivo de trayectorias de ciclones tropicales del National Hurricane Center (1851 – 2013). Unisys Weather, Available: <<http://weather.unisys.com/hurricanes/index.php>>, [Consulted: November 14, 2016].
- Pérez, O., P. J.; Casals, R.; Vega, R.; del Sol, A. & Hernández, N. 2001. Sistema de información y referencia de los fenómenos meteorológicos y oceanográficos que han afectado la costa norte de la región occidental de Cuba con inundaciones costeras por penetraciones del mar. Informe de resultado. Prevención y reducción de desastres provocados por fenómenos meteorológicos, no. Proyecto 21012, p. 30.
- Pérez, P. J.; Casals, R.; Díaz, L.; del Sol, A. & Vega, R. 1994. Análisis hidrometeorológico y estadístico de las penetraciones del mar ocurridas en el Malecón Habanero. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología/Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, p. 55.
- Pérez, P. R.; Salas, I.; Samper, S. & Dole, J. 2009. Surgencia provocada por los ciclones tropicales en el Archipiélago Cubano. Escenarios previstos por el cambio climático para los años 2050 y 2100. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, p. 40.
- Portela, M. 1998. Elaboración de un método sinóptico – estadístico para el pronóstico de la ocurrencia de inundaciones costeras en Cuba. Proyecto Cuba/94/003, La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología-PNUD, pp. 46–63.
- Rodríguez, E. 1988. Cronología y análisis de las penetraciones marinas en Ciudad de La Habana (1986 – 1990), con referencia a una escala de intensidad. Centro de Investigaciones Pesqueras, Ministerio de la Industria Pesquera, p. 15.