

Particularidades hidrometeorológicas del litoral Gibara-Playa Guardalavaca

Hydrometeorological particularities of Gibara-Guardalavaca beach littoral

Axel Hidalgo Mayo

Centro Meteorológico Provincial de Holguín

axel.hidalgo@hlg.insmet.cu

Ida Mitrani Arenal

Instituto de Meteorología

ida.mitrani@insmet.cu

Recibido: 10 de febrero, 2012; aceptado 9 de noviembre, 2012

Resumen

En este trabajo se abordan las particularidades hidrometeorológicas del litoral Gibara-Playa Guardalavaca. Para su estudio se desarrollaron tres secciones fundamentales: las características físico-geográficas y los regímenes de viento, oleaje y marea astronómica; las peculiaridades de los episodios de inundación y de los sistemas meteorológicos que la generaron; y los ciclones tropicales. Las fuentes de información utilizadas se basan en los testimonios locales obtenidos en entrevistas a pobladores de la zona y reportes de prensa, así como en la consulta de los archivos del INSMET y el NHC, estos últimos disponibles en Internet. Los principales resultados obtenidos fueron: una cronología de los eventos de inundación en el período 1933-2010, las situaciones sinópticas típicas que los producen, y el cálculo de los períodos de retorno para los ciclones tropicales. Se concluye que los sistemas meteorológicos causantes de los episodios de inundación son los ciclones tropicales y la combinación de las bajas extratropicales con los anticiclones migratorios; para la ocurrencia de inundaciones costeras es necesario una altura de la ola superior a 3.0 m, con una duración de más de 6 h; y que por el

método estadístico aplicado es de esperarse la afectación por un huracán, al menos, una vez cada siete años. Los resultados obtenidos son aplicables en la elaboración de pronósticos a mediano y corto plazos, así como para la elaboración de planes de contingencia y acciones de manejo costero, por lo cual se recomienda su utilización por parte de las entidades competentes.

PALABRAS CLAVE: Inundaciones costeras, ciclones tropicales, Gibara, Playa Guardalavaca.

Abstract

The hydrometeorological particularities of the Gibara-Guardalavaca beach littoral are analyzed, in order develop the study, three main sections were developed: physical-geographic characteristic wind, wave and astronomical tides regimes, peculiarities of flooding episodes, and the meteorological systems which generated them, and tropical cyclones. As sources of information, local testimonies obtained from interviews to local residents and press reports were used, as well as archives from INSMET and NHC, the letter available in Internet. The main results obtained were: chronology of flooding events in the

period 1933–2010, typical synoptic systems which produce them, and calculation of the return period of tropical cyclones. It is concluded that the meteorological systems produce flooding episodes are the tropical cyclones and combination of low with migratory high, for the occurrence of coastal flooding it is necessary a significant wave height greater 3.0 m with duration of more 6 hours. With the statistical method used, it is expected the occurrence of hurricane at least once every seven years. The results obtained are applicable in the elaboration in short and medium term forecast, as well as in the creation of contingency plans, and coastal management actions, therefore, it is recommended to be used by the competent entities.

KEYWORDS: Coastal Flooding, Tropical Cyclone, Gibara, Guardalavaca beach.

Introducción

El tramo costero Gibara-Playa Guardalavaca se localiza en la costa occidental de la provincia de Holguín (Fig. 1), rica en ecosistemas marinos y zonas de playa, lo que favorece la práctica de actividades náuticas tales como: la navegación, el buceo, la pesca deportiva, y el turismo de sol y playa.

Los estudios acerca de las inundaciones costeras en esta zona del país han sido muy limitados, a tal punto que en la literatura consultada solo se han encontrado investigaciones referidas, fundamentalmente, a la ciudad de Baracoa (Hernández, 2003) y (Pérez Osorio *et al.*, 2005).

A pesar de no ser considerado este litoral costero entre los más sensibles a las inundaciones costeras (Moreno *et al.*, 1998 y Mitrani *et al.*, 2000), lo cierto es que en el decurso, la ocurrencia de estos eventos ha provocado un sinnúmero de daños sociales y económicos a esta región, los mayores están asociados al paso del huracán Ike en septiembre de 2008. En la segunda mitad del siglo xx, el aumento de la frecuencia e intensidad de estos fenómenos ha provocado que la comunidad científica cubana preste mayor atención a esta problema (Mitrani *et al.*, 2012). En el presente trabajo, se demuestra, de forma definitiva, que el peligro por inundaciones es más significativo de lo que se había previsto.

Materiales y métodos

Como fuentes de información se utilizaron los mapas sinópticos y los de las trayectorias de ciclones tropicales de los archivos del INSMET, artículos perio-



Fig. 1 Ubicación geográfica del litoral costero Gibara-Playa Guardalavaca.

dísticos, resúmenes mensuales del CMP de Holguín y testimonios locales de los pobladores de la zona. Los datos de las variables meteorológicas de interés (fuerza, dirección y persistencia del viento, así como el estado del mar) se obtuvieron de la base climática perteneciente a la estación meteorológica de Cabo Lucrecia (78365), ubicada en los 21° 04' N y 75° 37' W, con una altura de 4.0 m sobre el nivel del mar y situada a 40 m del litoral.

Para el cálculo de los períodos de retorno se consultaron varias cronologías y estudios sobre las afectaciones de ciclones tropicales a Cuba y la Cuenca Atlántica, entre estas se pueden mencionar a: Ortiz *et al.*, 1973; Rodríguez, 1989; Pérez Suárez *et al.*, 2006; Hidalgo, 2009 y NHC, 2012, esta última disponible en el sitio web del Centro Nacional de Huracanes. Es válido señalar que, antes del triunfo de la Revolución, el servicio meteorológico cubano contaba con una red de estaciones meteorológicas limitada, por lo que, en muchos casos, estas cronologías consultadas se basan, fundamentalmente, en los reportes de los daños ocasionados.

Analisis y discusión de resultados

Características generales

Esta sección esta dedicada al análisis físico-geográfico del litoral Gibara-Playa Guardalavaca, así como al estudio de los regímenes de viento, oleaje y mareas.

Características físico-geográficas

El litoral comprendido entre la Bahía de Gibara y Playa Guardalavaca tiene una longitud aproximada de 46 km, las costas son altas, rocosas y acantiladas, con excepción de algunas zonas de playas, y, por lo general, la isobata de 200 m cruza a menos de 2 km de la línea costera (GEOCUBA, 2003).

En la parte más occidental de este litoral se localiza la Bahía de Gibara, la cual se encuentra al este del poblado homónimo; es alta y rocosa, con segmentos

de arena y casuarina en su parte occidental, mientras que en su parte más meridional es baja, arenosa y cubierta de mangles en la cual desembocan los ríos Gibara y Cacoyugüín; vuelve a ser alta y rocosa, con vegetación de maleza, en su porción oriental. Aproximadamente en el centro de esta zona costera se encuentra Playa Blanca, situada en la entrada de la Bahía de Bariay, lugar por donde desembarcó, el 28 de Octubre de 1492, el almirante Cristóbal Colón; esta posee una franja costera de 250 m, con costas escarpadas, terrenos arenosos de poca elevación y árboles aislados. Por último, en el extremo más oriental se encuentra Playa Guardalavaca, que cuenta con una franja de arena blanca y fina, con una extensión de 2.8 km y un ancho variable que oscila entre 50 m y 160 m, a lo largo de su línea costera, a una distancia entre 740 m y 925 m, hay una línea de arrecifes sumergidos de poca profundidad, sobre la cual ocurre la rompiente (GEOCUBA, 2003).

La batimetría existente en esta zona del país es propicia para la ocurrencia de inundaciones costeras, bien sean producidas por el efecto de *wave setup* o rompiente de oleaje; sin embargo, existen lugares en los cuales se alternan las playas de arena y los acantilados, donde se favorece la amplificación de los movimientos ondulatorios (oleaje y surgencia), como es el caso del poblado de Gibara.

A través del archipiélago de las Bahamas existen pasos que permiten el tránsito del oleaje con suficiente energía para que la ruptura de este se produzca, libremente, sobre la parte nororiental del país. Por su importancia geográfica, estas aberturas (de oeste a este) son *Crooked*, Mayaguana y Caicos. Para la región de estudio, el que reviste una mayor importancia es el primero de estos, localizado entre *Crooked Island* y *Long Island*, con un ancho aproximado de 50 km, consistente en un cañón profundo que permite al oleaje cruzar sobre sí con muy poca transformación.

Los trenes de olas que se desplazan desde el océano abierto hacia la región de estudio se ven afectados

por el Banco de Columbus que, por su poca profundidad, provoca una disipación de su energía cinética (disminución de su velocidad de traslación) y el consiguiente aumento de su energía potencial (altura de la ola); luego que atraviesan este accidente geográfico, vuelven a desplazarse sobre aguas profundas hasta llegar a las costas de este litoral cubano (figura 2).

El *fetch* para la región coincide con el rumbo más peligroso NNE-NE, puesto que para estas direcciones el oleaje es perpendicular a la línea costera; este elemento es uno de los factores principales generadores del oleaje, el cual, en su forma más sencilla, pudiera

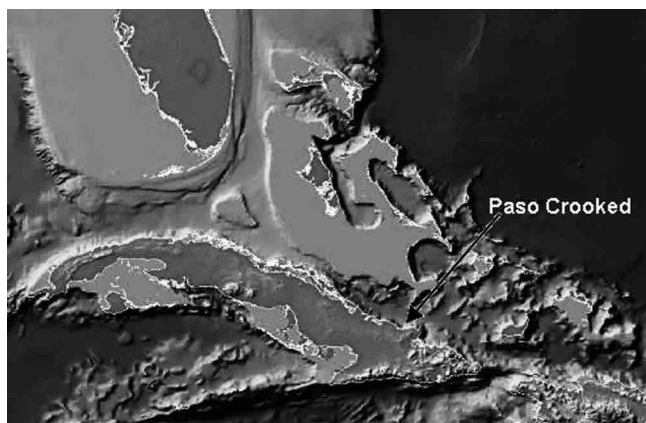


Fig. 2 Vista en planta de la batimetría de las costas adyacentes a Cuba.

definirse como la distancia máxima que recorre el viento sobre el mar sin sufrir cambios marcados en dirección e intensidad, en muchos casos, este coincide con el geográfico, aunque para la región de estudio no ocurre de esta manera.

Régimen de viento, oleaje y marea astronómica

El régimen de vientos es dominado, principalmente, por la combinación de la circulación de brisas y los alisios; la dirección predominante es del primer cuadrante (75 % del total anual), con velocidades que oscilan entre 15 km/h y 21 km/h, estos valores solo son superiores en presencia de ciclones tropicales, tormentas locales severas, ondas tropicales, frentes fríos y anticiclones migratorios.

El oleaje se mantiene con fuerza 2-3 en la escala Douglas (0.25 m-1.25 m) durante todo el año; sin embargo, con la presencia de frentes fríos, anticiclones migratorios y ciclones tropicales, este llega hasta fuerza 4 (1.25 m-2.5 m) y, en algunas ocasiones, puede alcanzar fuerza 5-6 (2.5 m-6 m). Las olas que llegan hasta este litoral son del tipo *sea*; no obstante, al menos, dos o tres veces al año pueden observarse claramente trenes de olas del tipo *swell*.

Las corrientes de mareas se orientan al sur en el flujo y al norte en el reflujo; estas se clasifican como semidiurnas, con valores medios que oscilan entre 0.4 m y 0.7 m; en sicigia, la pleamar puede llegar hasta 0.9 m (GEOCUBA, 2003).

Fenómenos meteorológicos que producen inundaciones costeras

De acuerdo con su posición geográfica, la región está expuesta a la afectación por los ciclones tropicales que se desplazan de este a oeste, entre los 19 y 24°N, los que describen una trayectoria paralela o sobre la costa son los que ocasionan los episodios de inundaciones mayores. Entre los sistemas meteorológicos de origen no tropical, el más importante es la combinación entre los anticiclones migratorios y las bajas extratropicales.

A continuación, se muestran los esquemas (Figs. 3, 4 y 5) de los eventos meteorológicos más típicos que favorecen la ocurrencia de inundaciones costeras en el litoral Gibara-Playa Guardalavaca; en todos los casos, las saetas indican la dirección del oleaje característico asociado a estos sistemas.

Cronología de inundaciones costeras en el período 1933-2010

En este epígrafe, como fuente de información principal, se utilizaron las entrevistas a pobladores de la zona y la consulta de la prensa, tanto provincial, como nacional, para, de esta forma, determinar las fechas y particularidades, así como la magnitud de



Fig. 3 Configuración isobárica de los ciclones tropicales con trayectorias lejanas a la línea costera que generan trenes de olas en forma de mar de leva sobre la región nororiental de Cuba.

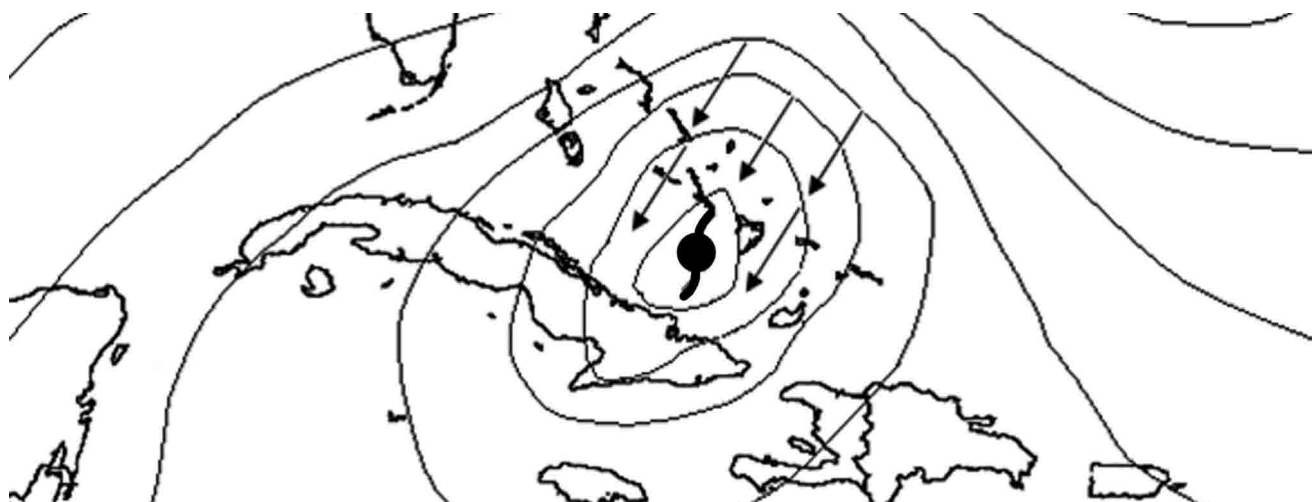


Fig. 4 Configuración isobárica de los ciclones tropicales con trayectorias cercanas a la línea costera sobre la región nororiental de Cuba.

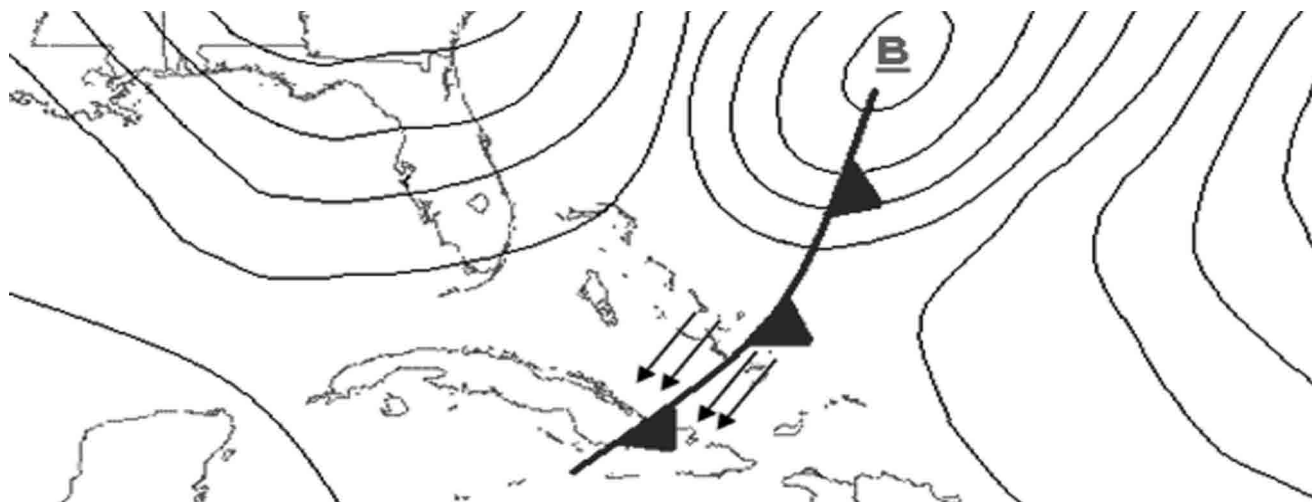


Fig. 5 Interacción de una baja extratropical y un anticiclón migratorio con lento movimiento, y la generación de trenes de olas en forma de mar de leva sobre la región nororiental de Cuba.

los episodios de inundación en el área. A lo largo de este proceso de investigación se obtuvieron 53 testimonios y 15 reportes de prensa (de los cuales diez pertenecieron al semanario *¡Ahora!* (Órgano Oficial del Comité Provincial del PCC en Holguín) y los restantes, a los diarios *Granma* y *Juventud Rebelde*. Para concluir con este acápite, se procedió a la consulta de los archivos del INSMET con miras a determinar los sistemas meteorológicos imperantes en ese momento sobre la región.

La tabla 1 muestra los principales eventos de inundación con la altura de la ola asociada a cada uno de estos y su fecha de ocurrencia. Es importante señalar que, según el estudio realizado, para que ocurra una inundación costera en este territorio del país es necesario que la altura significativa de la ola sea superior a 3.0 m y esta tenga afectación por más de 6 h.

Es necesario aclarar una particularidad que presenta la tabla anterior: en los primeros 60 años de la serie, solo se tienen testimonios de seis eventos de

TABLA 1

Cronología de las inundaciones costeras más intensas para el litoral Gibara-Playa Guardalavaca, según encuestas populares y reportes de prensa en el período 1933-2010

No.	Situación Meteorológica	Hsig (m)	Fecha de ocurrencia
1	Huracán de Sagua y Cárdenas	---	1ro./sept./1933
2	Huracán Donna	---	8 y 9/sept./1960
3	Huracán Flora	---	4 al 8/oct./1963
4	Huracán David	2.5-3.5	1ro. y 2/sept./1979
5	Combinación alta-baja extratropical	3.5-4.0	13/oct./1982
6	Huracán Kate	4.0-5.0	18 y 19/nov./1985
7	Combinación alta-baja extratropical	2.5-3.5	17/oct./1994
8	Frente frío	2.5-3.5	22/mar./1998
9	Huracán Georges	4.0-5.5	23 y 24/sept./1998
10	Huracán Floyd	3.5-4.0	14/sept./1999
11	Tormenta tropical Noel	3.0-4.0	30-31/oct./2007
12	Tormenta tropical Olga	3.0-4.0	12/dic./2007
13	Tormenta tropical Hanna	3.5-4.5	1ro. y 2/sept./2008.
14	Huracán Ike	> 6.0	7 y 8/sept./2008
15	Huracán Earl	3.5-4.5	1ro./sept./2010

inundación y los restantes 9 corresponden a las dos últimas décadas, todo ello da ha entender cómo, aparentemente, ha habido un aumento considerable en la frecuencia de los eventos de inundación. En realidad, no se tienen argumentos suficientes para afirmar que esto no haya ocurrido en el pasado, por lo cual se piensa que la explicación a este problema debe buscarse en las razones siguientes:

1. La información localizada está inconclusa, puesto que las fuentes de información son muy limitadas e incompletas.
2. La magnitud de los daños ha ido aumentando paulatinamente con los años, ocupando, de esta manera, una atención mayor en los medios de prensa. En esta situación intervienen medios antrópicos, tales como: la mayor densidad poblacional en la zona, la urbanización y el crecimiento económico por la actividad turística.

Teniendo en cuenta los registros sobre el alcance y la magnitud de las inundaciones costeras en este litoral se decidió realizar su clasificación (Tabla 2). Es necesario indicar que para la ocurrencia de episodios de inundación del tipo ligero es una necesidad del flujo de la marea astronómica.

TABLA 2

Clasificación de las inundaciones costeras en el litoral Gibara-Playa Guardalavaca

Clasificación	Hsig (m)	Alcance (m)
Ligeras	3.0 m-4.0	<250
Moderadas	4.0-5.5	250-500 m
Fuertes	>5.5	>500

Bajo los efectos del calentamiento global y el ascenso del nivel medio del mar, pudiera esperarse que los episodios del tipo ligero lleguen a ser moderados, y estos, a su vez, alcancen la categoría de fuertes; además, podría darse la ocurrencia de inundaciones con alturas de la ola inferiores a los valores límites actuales.

A continuación, se describen (a partir de los testimonios de los pobladores de la zona, los reportes de prensa y los archivos del INSMET) algunos de los episodios de inundación más importantes para la región, así como los eventos hidrometeorológicos que los generaron.

Inundaciones costeras por ciclones tropicales

En el transcurso, las mayores inundaciones costeras observadas en la zona han sido causadas por la afectación de los ciclones tropicales; por consiguiente, su mayor frecuencia tiene lugar en septiembre (uno de cada dos episodios). La figura 6 muestra las trayectorias de los ciclones tropicales que han ocasionado los episodios de inundación más significativos en el área.

HURACÁN EARL (1ro. de septiembre de 2010):

La inundación costera en la zona tuvo su máxima expresión entre las 12:30 y las 2:00 p.m. dados los trenes de olas generados por este poderoso huracán (en esos momentos, su centro se situaba a 640 km de la ciudad de Gibara, su presión central era de 941 hPa y sus vientos máximos sostenidos alcanzaban 205 km/h) los que llegan hasta este litoral en forma de mar de leva, con una altura de las olas entre 3.5 m-4.5 m. De los factores que amplificaron este evento de inundación pueden mencionarse la marea astronómica, la cual, en esos momentos, se encontraba en su fase de pleamar, y la dirección perpendicular del oleaje sobre la línea costera. La zona más afectada fue el poblado del Güirito, en el municipio de Gibara, con inundaciones tierra adentro hasta 200 m.

HURACÁN IKE (7 y 8 de septiembre de 2008):

Este huracán impacta al país por las inmediaciones de Cabo Lucrecia a las 9:01p.m. del día 7; durante esa jornada y la madrugada del día 8, el Radar Doppler de Holguín llegó a estimar el viento máximo sostenido en 195 km/h; al paso de este hidrometeoro no se pudo contar con las mediciones de la estación meteoroló-

gica de Cabo Lucrecia, puesto que esta fue evacuada y el instrumental fue dañado. Las inundaciones costeras fueron superiores a 500 m, con valores mayores en algunos puntos de este litoral.

HURACÁN GEORGES (23 y 24 de septiembre de 1998):

Este sistema tropical impacta a la región oriental del país por un punto situado a 48 km al este de la Bahía de Guantánamo, en la tarde del día 23, y afecta directamente a la región, desde la noche del propio día, hasta la madrugada del día siguiente. La estación meteorológica de Cabo Lucrecia registró un viento máximo sostenido de 115 km/h, y vientos superiores a 55 km/h por un poco más de 12 h, así como alturas de las olas mayores a 4.0 m.

HURACÁN KATE (18 y 19 de noviembre de 1985):

Este huracán, en su trayectoria al norte de la provincias de Holguín y Guantánamo, durante la noche del día 18 y la mañana del día 19, mantuvo un movimiento bien marcado al oeste; en el momento de afectación a este territorio, tenía vientos máximos sostenidos entre 158 km/h y 178 km/h. Para los pobladores de la zona, las inundaciones costeras fueron después de las ocasionadas por el huracán Ike, las más significativas de las que se tenga conocimiento, y, según testimonios de la época, no se había visto nada similar desde la afectación del huracán Flora. En Gibara, las inundaciones comenzaron en horas de la mañana del día 19 y las olas se estimaron superiores a 4.0 m; las inundaciones en tierra, en muchos casos, fueron superiores a 500 m. Ortiz (1985) manifiesta que la afectación de un ciclón tropical para esta región del país por este tipo de trayectoria solo fue superado por el huracán que azotó Sagua y Cárdenas, en 1933.

HURACÁN FLORA (4 a 8 de octubre de 1963):

Este singular huracán tuvo una trayectoria peculiar sobre la región oriental del país, la cual comienza a afectar desde el día 4. La combinación de las precipi-

taciones intensas y los vientos fuertes fueron los elementos que tuvieron una mayor incidencia sobre la población y los recursos económicos; los vientos huracanados alcanzaron una distancia de hasta 235 km en los cuadrantes primero, segundo y cuarto (Ortiz, 1994). En la estación meteorológica de Cabo Lucrecia se registraron vientos en racha de 200 km/h, todo ello ocasionó inundaciones costeras significativas en todo este litoral; en muchos casos, las penetraciones del mar fueron confundidas por las ocasionadas por las intensas precipitaciones; los acumulados de precipitación entre los días 5 y 6 fueron de 266.7 mm, a pesar de ello, lo más significativo es que el día 5, en tan solo 6 h, se registraron 105.4 mm.

HURACÁN DE SAGUA Y CÁRDENAS

(1ro. de septiembre de 1933):

Este huracán describió una trayectoria paralela a una distancia inferior a 250 km de este litoral durante las primeras horas del 1ro. de septiembre. No se conocen las particularidades de las inundaciones costeras; sin embargo, por analogía, los autores opinan que

las inundaciones ocasionadas por este hidrometeoro pudieron ser similares a las del huracán Kate.

Inundaciones costeras

no asociadas a ciclones tropicales

COMBINACIÓN ALTA PRESIÓN-BAJA EXTRATROPICAL (13 de octubre de 1982):

La combinación de un anticiclón continental de 1020 hPa sobre la costa oriental de Norteamérica y una baja extratropical de 994 hPa con poco movimiento en el Océano Atlántico, trajo consigo un gradiente de presión de 26 hPa; esta situación meteorológica provocó la ocurrencia de fuertes vientos con persistencia por más de 36 h; los trenes de olas llegaron hasta esta región del país por efecto del mar de leva, con alturas entre 3.5 m y 4.5 m. Todo ello ocasionó invasiones marinas moderadas en este litoral.

COMBINACIÓN ALTA PRESIÓN-BAJA EXTRATROPICAL (17 de octubre de 1994):

La situación sinóptica imperante en esos momentos era un potente centro anticiclónico continental al

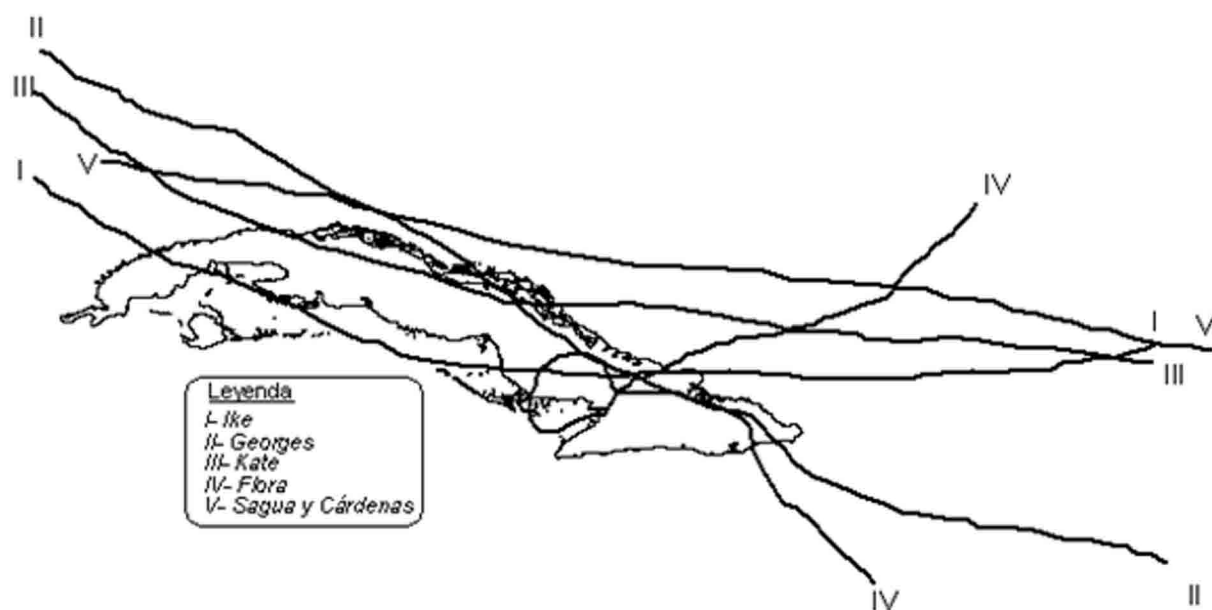


Fig. 6 Trayectorias de los ciclones tropicales que han ocasionado las mayores afectaciones por inundaciones costeras al litoral Gibara-Playa Guardalavaca en el periodo 1933-2010.

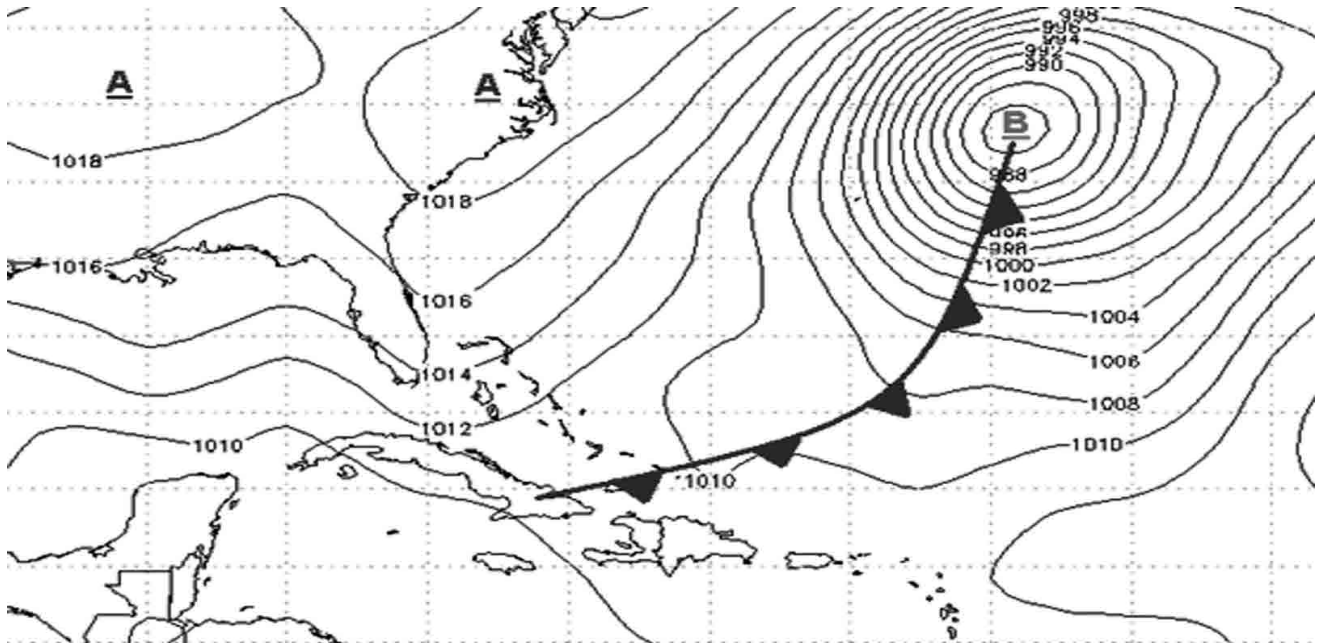


Fig. 7 Mapa de superficie del día 13 de octubre de 1982, a las 12Z.

este de los Estados Unidos, con valor de 1028 hPa, y una baja extratropical ubicada en el Atlántico Central, con valor de 992 hPa. La combinación entre estos dos sistemas meteorológicos trajo consigo un gradiente de presión de 36 hPa que ocasionó un incremento en la velocidad de los vientos por un poco más de 12 h; las olas generadas en el océano arribaron hasta la

costa en forma de mar de leva con alturas entre 2.5 m y 3.5m. Todo ello ocasionó inundaciones costeras ligeras en zonas bajas de este litoral.

Ciclones tropicales

En esta sección se exponen algunas de las características más notables de los ciclones tropicales que

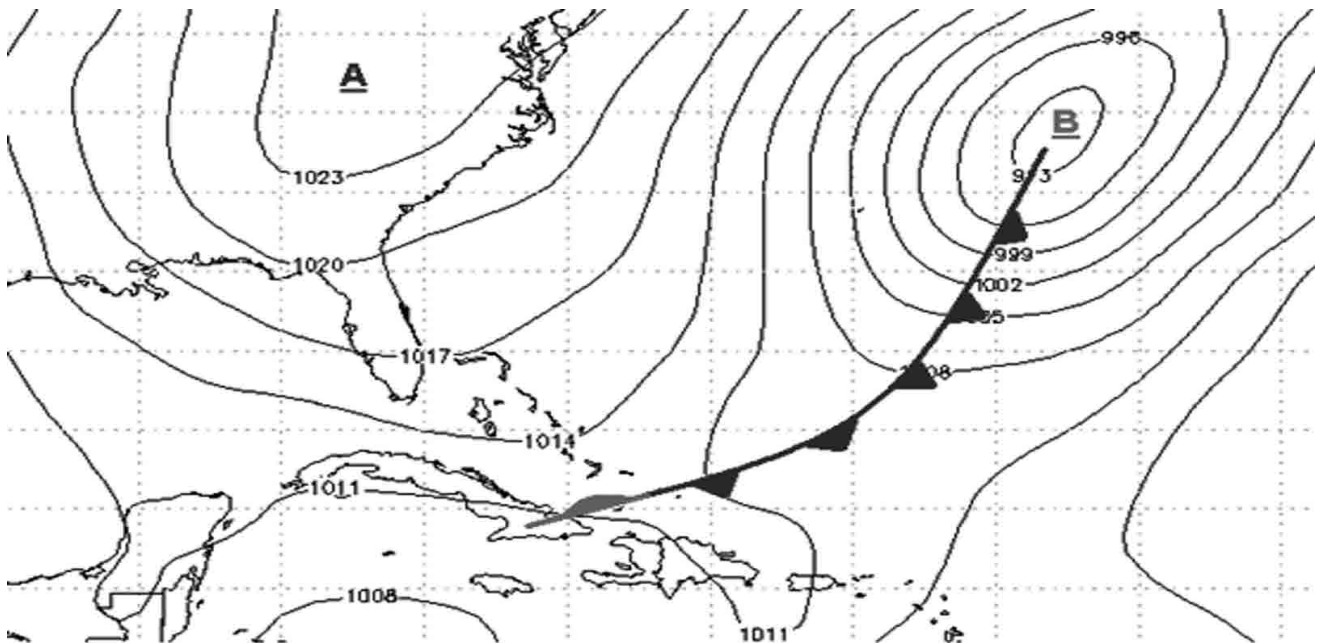


Fig. 8 Mapa de superficie del día 17 de octubre de 1994, a las 12Z.

han afectado al área de estudio, sobre la base de una revisión crítica, así como de la actualización de varios trabajos y cronologías, entre los que puede mencionarse a Ortiz *et al.*, 1973; Rodríguez, 1989; Pérez Suárez *et al.*, 2005 e Hidalgo, 2009. De la información analizada pudo establecerse algunas conclusiones preliminares para el período 1791-2010:

1. Las $\frac{3}{4}$ partes de los ciclones tropicales que afectaron al territorio se formaron entre los 10 y 20°N, al este del Arco de las Antillas Menores.
2. Los meses de mayor afectación a la región son septiembre y agosto, con 41.7 % y 26.7 %, respectivamente.

El cálculo de los períodos de retorno se realizó por intermedio de la Función de Distribución de Poisson (destinada al estudio de fenómenos o sucesos en los cuales la probabilidad de ocurrencia sea baja), para lo cual se toma como premisa que los procesos en estudio son aleatorios y su ocurrencia es independiente de los demás, y viceversa (Sachs, 1978). Estos postulados se cumplen a plenitud para el caso de los ciclones tropicales dados su baja frecuencia en series hiperanuales y su largo período de observaciones, así como por la independencia estocástica inherente que tienen en su evolución por temporadas. La función de Poisson se describe matemáticamente según la expresión siguiente:

$$P(x = n) = \frac{e^{-\lambda} \times \lambda^n}{n!} \quad x = 1, 2, \dots, n$$

El período de retorno (en *casos por años*) se calculó mediante la formulación siguiente:

$$T(k) = \frac{1}{1 - Q(k)}$$

Donde: $P(x=n)$: probabilidad de ocurrencia, λ : promedio de la ocurrencia del suceso o evento, x : número de sucesos o eventos, e : base de los logaritmos neperianos (2.71828), $T(k)$: período de retorno (en *casos por años*) y $Q(k)$: probabilidad acumulada según la función de distribución de Poisson.

Las tablas 3 y 4 muestran los resultados de los cálculos, donde se cuenta la variable aleatoria x que computa el número de ciclones tropicales ($\lambda = 0.28311$) y huracanes ($\lambda = 0.14612$) por año, respectivamente, para el período 1791-2010. Para ambos casos, el modelo de Poisson se ajustó con un nivel de confianza de 95 %. Para el caso de los ciclones tropicales, es de esperarse la afectación de un hidrometeoro cada 4.1 años; y de dos, al menos, una vez en 30.1 años, mientras que, para los huracanes, los cálculos indican que la probabilidad de afectación es de un huracán cada 7.4 años.

TABLA 3
Número de ciclones tropicales por año

CI/año	$f_o(k)$	$P_e(k)$	$f_e(k)$	$Q(k)$	$T(k)$
0	167	0.75344	165.0	0.75344	---
1	48	0.21330	46.7	0.96674	1/4.1
2	4	0.03019	6.6	0.99694	1/30.1
3	2	0.00285	0.6	0.99979	1/326.5

TABLA 4
Número de huracanes por año

CI/año	$f_o(k)$	$P_e(k)$	$f_e(k)$	$Q(k)$	$T(k)$
0	190	0.86406	189.2	0.86406	---
1	28	0.12625	27.6	0.99031	1/7.4
2	2	0.00922	2.0	0.99953	1/103.2

Donde: $f_o(k)$: frecuencia observada, $P_e(k)$: probabilidad estimada por la función de distribución de Poisson y $f_e(k)$: frecuencia estimada.

Conclusiones

1. Los estudios relacionados con las inundaciones costeras en la zona son escasos y la información disponible es muy limitada; por ello, se considera que la utilización de encuestas populares y consultas de hemeroteca resultaron las fuentes de información más valiosas para el posterior desarrollo de la investigación.

2. Los rumbos peligrosos del oleaje son los del primer cuadrante, que coinciden con la dirección del viento predominante y son perpendiculares a la configuración costera. Para la ocurrencia de inundaciones costeras en la región, debe existir una altura de la ola superior a 3.0 m, con una persistencia de más de 6 h.
3. Los mayores episodios de inundación se observan en las costas del poblado de Gibara, donde se alternan zonas con playas de arena, acantilados y pendientes suaves, lo cual favorece la amplificación de los movimientos ondulatorios (oleaje y surgencia).
4. Los sistemas meteorológicos productores de inundaciones costeras en este litoral son los ciclones tropicales y la combinación de bajas extratropicales con anticiclones migratorios. En el bimestre septiembre-octubre ocurren tres de cada cuatro episodios de inundación.
5. Bajo los efectos del calentamiento global y el ascenso del nivel medio del mar es de esperarse que los episodios de carácter ligero puedan llegar a ser moderados, y estos, a su vez, lleguen a ser fuertes; además, podrían ocurrir inundaciones con alturas de las olas inferiores a los registros actuales.
6. La frecuencia media de afectación de ciclones tropicales a la región es del orden de un hidrometeoro cada cuatro años, y en 70 % de los casos ocurre en el bimestre agosto-septiembre. De acuerdo con el cálculo del período de retorno, es de esperarse la afectación por un ciclón tropical y un huracán, al menos, una vez en 4.1 y 7.4 años, respectivamente.

Recomendaciones

Los resultados obtenidos son aplicables en la elaboración de pronósticos a mediano y corto plazos, así como en los planes de contingencias y en acciones de manejo costero; por ende, se recomienda su utilización por parte de las entidades pertinentes.

Referencias bibliográficas

- GEOCUBA 2003, *Derrotero de las costas de Cuba. Región Marítima del Norte. De Bahía de Nuevitas hasta Punta de Maisí*. GEOCUBA-Estudios Marinos, La Habana, Cuba, 38-56 pp.
- Hernández, N 2003, Estudios hidrometeorológicos de los mares adyacentes a Baracoa en Guantánamo. Tesis de Maestría en Ciencias Meteorológicas. INSTEC, CITMA, La Habana, Cuba, 66 pp.
- Hidalgo, A 2009, Características de las inundaciones costeras en el área Gibara-Playa Guardalavaca. Tesis de Diploma. INSTEC, CITMA, La Habana, Cuba, 60 pp.
- Mitrani, I. *et al.* 2000, Las zonas más expuestas a las inundaciones costeras en el territorio cubano y su sensibilidad al posible incremento del nivel medio del mar por cambio climático. *Revista Cubana de Meteorología*, vol.7, no.1. 45-50 pp.
- Mitrani, I *et. al.* 2012, 'Tendencias climáticas de las inundaciones costeras severas en áreas de Cuba', *Revista Ciencias de la Tierra y del Espacio*, Vol.13, no.2, pp. 68-84. http://www.iga.cu/publicaciones/revista/cte_13_n2/Art7_13/TendenciasClimaticasCTyE.pdf
- Moreno, A *et. al.* 1998, Desarrollo de las Técnicas de Predicción de las Inundaciones Costeras, Prevención y Reducción de su Acción Destructiva. Informe Técnico del Proyecto Cuba 94/003. Editora del Instituto de Planificación Física, La Habana, Cuba, pp. 200.
- NHC 2012, Hurricane Best Track Files (HURDAT). Atlantic Hurricane Database Re-analysis Project. Consultado en: http://www.nhc.noaa.gov/data/hurdat/hurdat_atlantic_1851-2011.txt (7.Jun.2012)
- Ortiz, R 1985, Resumen de la Temporada Ciclónica de 1985. Instituto de Meteorología. La Habana, Academia de Ciencias de Cuba, 26 pp.
- Ortiz, R 1994, Descripción de los cinco huracanes

- más interesantes que han afectado en Cuba en los últimos cincuenta y cuatro años. INSMET, La Habana, Cuba, 9 pp.
- Ortiz, R. et al. 1973, *Trayectoria de huracanes y de perturbaciones ciclónicas del Océano Atlántico, del Mar Caribe y del Golfo de México (1919-1969)*. Ediciones Organismos. Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba, 109 pp.
- Pérez Osorio et al. 2005, *Análisis hidrometeorológico de las Costas de Cuba*. (inédito), INSMET, CITMA, La Habana, Cuba, 50-58 pp.
- Pérez Suárez et al. 2006, *Tabla cronológica de los huracanes de Cuba desde 1791 hasta el 2005*. (inédito), INSMET, La Habana, Cuba, 6 pp.
- Rodríguez, M 1989, *Cronología clasificada (por intensidades y provincias) de los huracanes que han afectado a Cuba desde el Descubrimiento hasta 1988*. Laboratorio Cubano-Soviético de Meteorología Tropical. Instituto de Meteorología, Academia de Ciencias de Cuba, 10 pp.
- Sachs, L 1978, *Estadística aplicada*. Barcelona. Ed. Labor. 567 pp.