



Revista Cubana de Meteorología

ISSN: 2664-0880

Instituto de Meteorología

Pérez Calzada, Yadira; Hidalgo Mayo, Axel; Mitrani Arenal, Ida
Caracterización de las inundaciones costeras al norte de la provincia Las Tunas
Revista Cubana de Meteorología, vol. 28, núm. 3, e01, 2022, Julio-Septiembre
Instituto de Meteorología

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=701977559001>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEV
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Caracterización de las inundaciones costeras al norte de la provincia Las Tunas



Characterization of the coastal flooding in the north of Las Tunas province

<https://cu-id.com/2377/v28n3e01>

✉Yadira Pérez Calzada¹*, ✉Axel Hidalgo Mayo², ✉Ida Mitrani Arenal³

¹Centro Meteorológico Provincial Las Tunas: C/ Lucas Ortiz nro 62, e/ Calixto Sarduy y Fernando Suárez. CP:75100 Las Tunas Cuba.

²Centro Meteorológico Provincial de Holguín, Cuba.

³Instituto de Meteorología, Loma de Casablanca, La Habana, Cuba

RESUMEN: Con el trabajo se pretende determinar las características de las inundaciones costeras al norte de la provincia Las Tunas en el período desde 1933 hasta 2020, teniendo en cuenta los casos del pasado, las trayectorias de ciclones tropicales que las generan, los períodos de retorno, las tendencias hacia el futuro, como contribución a las acciones de manejo costero, a la aplicación eficaz de los planes de contingencias y de peligro, vulnerabilidad y riesgo; empleando los datos del archivo del Instituto de Meteorología, del Centro Meteorológico Provincial de Las Tunas, del archivo de huracanes del National Hurricane Center disponibles en Internet, así como los datos del Hurdar y testimonios de diversas procedencias. Además se utilizó la distribución teórica de probabilidad de Poisson para los eventos de inundación y para realizar el ajuste de la función de retorno para ciclones tropicales se empleó el ajuste de Weibull. Los principales resultados obtenidos son: es de esperarse que ocurra un evento de inundación identificado de cierta importancia al menos una vez cada 13 años. Se corrobora una baja frecuencia de afectación de ciclones tropicales a la zona de estudio. La presente investigación puede utilizarse para elevar la calidad de los pronósticos, los planes de contingencia y las acciones de manejo costero en el territorio por lo que se recomienda sea utilizado por las entidades responsables de estas actividades.

Palabras claves: inundaciones costeras, ciclones tropicales, períodos de retorno.

ABSTRACT: The work aims at determining the characteristics of coastal floods in the north of Las Tunas province in the period from 1933 to 2020. I was taken into account past cases, the trajectories of tropical cyclones that generate them, the return periods, the trends towards the future, as a contribution to coastal management actions, to the effective application of contingency and hazard, vulnerability and risk plans. The use of the archive of the Institute of Meteorology, the Provincial Meteorological Center of Las Tunas and the hurricane archive of the National Hurricane Center available on the Internet were effective, as well as data from the Hurdar and testimonies from various sources. In addition, the theoretical Poisson probability distribution was used for flood events. The Weibull adjustment was used to adjust the return function for tropical cyclones. The main results obtained are: an identified flood event of some importance is expected to occur at least once every 13 years. A low frequency of tropical cyclones affecting the study area is corroborated. This research can be used to raise the quality of forecasts, contingency plans and coastal management actions in the territory, so it is recommended to be used by the entities responsible for these activities.

Key words: coastal floods, tropical cyclones, return periods.

INTRODUCCIÓN

La pérdida y daños relacionados con el clima, así como la reducción de los riesgos de desastres, han pasado a encabezar la agenda política internacional. Ejemplo de ello fue la Cumbre del Clima de 2015, celebrada en París, donde se acordaron las obligaciones de los países miembros de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, la transferencia de

tecnología y la adaptación a los impactos del cambio climático (Hidalgo, 2016)

El estado cubano no ha sido ajeno a esta preocupación internacional. Debido a la naturaleza insular del país, entre los aspectos a los que se presta particular atención se encuentran las afectaciones al medio marino y en particular, al posible incremento del nivel medio del mar, por el cambio climático previsto, (Mitrani, 2006)

*Autor para correspondencia: Yadira Pérez Calzada. E-mail: yadira.calzada@ltu.insmet.cu

Recibido: 24/05/2022

Aceptado: 24/06/2022

Es por ello que el 25 de abril de 2017, el Consejo de Ministros aprobó la Tarea Vida: plan de Estado para el Enfrentamiento al Cambio climático, conformado por 5 acciones estratégicas y 11 tareas, entre las que se encuentra "(...) Identificar y acometer acciones y proyectos de adaptación al cambio climático, de carácter integral y progresivos, necesarios para reducir la vulnerabilidad existente en las 15 zonas identificadas como prioritizadas (...)" (Folleto CITMA 5)

El archipiélago cubano cuenta con más de 5 000 km de costas, además de los cayos existentes; la mayoría de sus municipios poseen costas y en estas se desarrollan importantes actividades portuarias, industriales, pesqueras y turísticas (Mitrani et. al., 2017) Más del 10 % de la población vive entre 0 m y 1000 m de la línea costera, en asentamientos localizados, fundamentalmente, en zonas bajas; sujetos a los efectos de los eventos meteorológicos incidentes en las costas y que pueden incrementar su frecuencia e intensidad, dados los cambios climáticos globales. En este sentido, ciudades importantes, con más de 20 000 habitantes, también estarían afectadas por el aumento del nivel del mar (Moreno et. al., 1998; Mitrani et. al., 2001)

En Cuba, se han realizado varios estudios climáticos sobre esta temática para diferentes tramos costeros del archipiélago cubano (Hernández, Vega y Casals, 2002; Casals, 2002; Pérez et. al., 2008; Hidalgo y Mitrani, 2012; Mitrani, et. al., 2012; Mitrani, et. al., 2014; Hidalgo y Mitrani, 2015 y Pérez, 2015); sin embargo, los mismos son puntuales y heterogéneos, en primer lugar por los diferentes métodos empleados y en segundo por la calidad de la información primaria empleada en cada uno de ellos. (Hidalgo, 2016)

Aunque un tiempo atrás, el litoral norte de La Tunas, no fue considerado entre los más sensibles a las inundaciones costeras en Cuba (Moreno et al., 1998 y Mitrani, et. al., 2000), lo cierto es que en el transcurso del tiempo la ocurrencia de estos eventos han provocado un sinnúmero de daños sociales y económicos a esta región, las mayores de ellas ocurridas al paso

del huracán Ike en septiembre de 2008 (Hidalgo y Mitrani, 2015)

De lo antes expuesto se aprecia la necesidad de hacer una caracterización más eficiente de las inundaciones costeras al norte de Las Tunas, que tenga en cuenta los casos del pasado, la caracterización sinóptica que las genera, los períodos de retorno como contribución a las acciones de manejo costero y a la aplicación eficaz de los planes de contingencias. Es por ello que se plantea como objetivo: Determinar las características de las inundaciones costeras al norte de la provincia Las Tunas generadas por ciclones tropicales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elaboración y desarrollo de la investigación se tomó como zona el litoral norte de la provincia Las Tunas que posee 265 km; abarca los municipios Manatí, Puerto Padre y Jesús Menéndez, figura 1. Es una costa rocosa, con excepción de algunas zonas de playas, con una plataforma insular estrecha, orlada por extensas crestas coralinas. En el interior de la Bahía de Manatí y Nuevas Grandes hay zonas bajas que se inundan con mareas altas. En el resto de la costa donde prevalecen los acantilados la inundación es favorecida por rompiente de oleaje y la surgencia producida por ciclones tropicales cuando han tocado tierra o al desplazarse cerca de la costa; y en las zonas de playa como Los Pinos de Manatí, La Llanita y Covarrubias por *wind set up* y la surgencia. Las mareas en Puerto Padre, tiene un carácter semi diurno puro y en Manatí mixta semidiurna.

La misma fue seleccionada por el interés del Grupo de Pronóstico Provincial, debido a la importancia para el desarrollo económico del país y la provincia, ejemplo de ello es la realización de actividades portuarias, la construcción de uno de los parques eólicos más grandes de Cuba, La Herradura I y La Herradura II y en el marco del Proyecto Proyección de las inundacio-

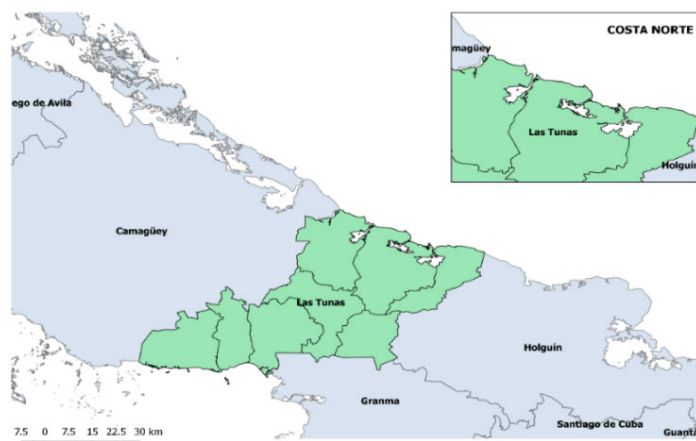


Figura 1. Zona de estudio (zona norte de la provincia Las Tunas)

Imagen propia elaborada en el software de tipo información geográfica QGIS.

nes costeras en el archipiélago cubano que se encuentran en ejecución desde el 2018 hasta 2021.

Como fuentes de información se utilizaron los trabajos [Shore Protection Manual, 1984](#); [Mitrani et al., 1984](#); [Rodríguez, 1988](#); [Mitrani et al., 1994](#); Centro de ingeniería Costera, 2006, [Coastal Engineering Manual, 2006](#); [Vinoth and Young, 2010](#); [Aarnes, et. al., 2012](#); [Hidalgo, 2016](#); [Sealy, et. al., 2017](#); [Ramírez et al., 2017](#); [Montoya, et. al., 2018](#); [Hidalgo et. al., 2019](#).

Se utilizó la información del archivo del Instituto de Meteorología (INSMET) y del Centro Meteorológico Provincial (CMP), resúmenes mensuales y de ciclones tropicales, mapas sinópticos y los de trayectoria de ciclones tropicales así como los mapas de trayectoria de huracanes que están disponibles en el sitio web: http://www.nhc.noaa.gov/data/#tracks_all además se utilizaron los reanálisis atmosféricos NCEP/NCAR de la NOAA y la base de datos sobre ciclones tropicales (HURDAT 2.0) del Centro Nacional de Huracanes (Landsea & Franklin, 2013) y el Atlas Climático de Cuba. Se realizó una selección de análogos, ya que no se cuenta con testimonios, para analizar las áreas de inundación por ciclones tropicales, teniendo en cuenta los criterios de génesis, trayectoria e intensidad y tamaño del ciclón.

Para mostrar las imágenes de las trayectorias de los organismos tropicales cercana a las Tunas se creó una multimedia elaborada por (Carracedo, 2019, inédito) empleando el software de tipo información geográfica QGIS 2.18.

Además se tuvo en cuenta el criterio de la “Nueva Clasificación de las inundaciones costeras en Cuba” elaborada por ([Hidalgo et. al., 2017](#)) que está basada en la magnitud de la inundación, alcance horizontal y vertical del agua de mar tierra adentro, a la profundidad del fondo marino y la pendiente del terreno de los mismos, así como a la sobre elevación del nivel del mar por causas meteorológicas que generan los sistemas meteorológicos que los afectan.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El cálculo de los períodos de retorno se realizó para los ciclones tropicales, ya que estos son los que en la

zona de estudio aportan las mayores velocidades del viento, tomándose esta variable meteorológica para caracterizar la intensidad del evento meteorológico, ordenándose estos valores en forma descendente, así como por tenerse las trayectorias de los mismos.

Procedimiento para el cálculo de la Función de retorno

Se empleó la expresión 1 para el cálculo de la función de retorno, de acuerdo con los autores ([Zotov, 1977](#); [Mitrani, et. al., 1984](#))

El valor de la frecuencia está dado en casos por año.

$$F_n = \frac{n}{N} \cdot \frac{m}{M} \quad (1)$$

De dónde:

Fn: frecuencia de ocurrencia según la intensidad del ciclón tropical

n: Cantidad de casos en la circunferencia de radio= 2°

m: Casos según el tipo de intensidad determinadas por la velocidad del viento (número de orden con el viento ordenado de forma decreciente)

N: Cantidad de casos en el rectángulo.

M: Total de años en la serie.

Se realizó una delimitación de los mares adyacentes a Cuba entre los (18-24 °N y 74-85 °W) la cual delimita todo el territorio nacional. Luego se hizo una circunferencia con un radio de 180 km (1.6°) que es el límite de influencia que genera inundaciones costeras de cierta importancia en la costa norte de Las Tunas, centrando la misma en el punto medio del área de estudio, el cual quedó situado en Punta Covarrubias, [figura 2](#). Se realizó un conteo de todos los ciclones tropicales que habían cruzado por el área mayor y luego los que tocaron la circunferencia trazada. Se utilizó el período comprendido entre 1919 y 2020, porque a partir de ese año se comenzaron a conservar los mapas sinópticos en el Instituto de Meteorología con datos confiables y la única manera de calcular el viento y el oleaje por las fórmulas del Shore Protection Manual, es utilizando mapas sinópticos y antes de ese año no existían.

Mediante el programa Curve Expert versión 1.4 (Hyams, 2009), se graficó el ajuste de la función de retorno. Los resultados se asentaron en tablas co-

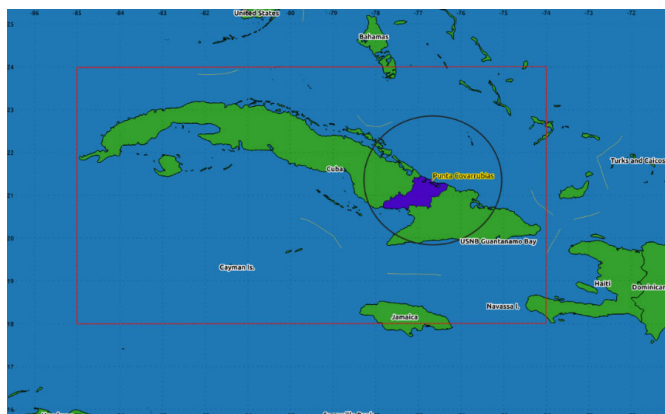


Figura 2. Localización de las diferentes áreas tomadas para el cálculo de la función de retorno.

respondientes y se examinaron llegando a conclusiones.

Período de retorno y bondad de ajuste para los eventos de inundación costera

Los autores (USACE, 2006; Wilks, 2011, Hidalgo et al., 2019) recomiendan el uso de la distribución de Poisson, para variables discretas, cuando la frecuencia observada sea inferior a 0.1 y el tamaño de la muestra sea superior a 50. La expresión matemática 2 de esta función es:

$$P(x) = \frac{e^{-\lambda} \cdot \lambda^x}{x!} \quad (2)$$

Dónde:

$P(x)$: Probabilidad de ocurrencia del evento n-ésimo.

λ : Promedio del número de eventos por años.

x : Número de eventos en el período de observación.

Para los eventos de inundaciones costeras el período de retorno según (USACE, 2006) se realizó para los eventos ligeros, moderados y fuertes. En el caso de los eventos ligeros, se considera que el alcance horizontal del agua de mar tierra adentro es de hasta 100 m, sin embargo en los municipios de Manatí, Puerto Padre y Jesús Menéndez existen asentamientos humanos vulnerables debido a que poseen alrededor de 375 viviendas ubicadas en la primera línea de costa (Dirección Provincial de Planificación Física Las Tunas, 2017). Para ello se empleó la serie desde 1933 hasta 2020 basándonos en los testimonios de pobladores, reportes de prensa y archivos confiables del CMP de Las Tunas y el INSMET.

La bondad de ajuste se realizó por intermedio de la prueba no paramétrica Pearson χ^2 según (Dowdy et al., 2004), para determinar si la distribución de probabilidad escogida es idónea se empleó la expresión 3:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(Fo_i - Fe_i)^2}{Fe_i} = \sum_{i=1}^k \frac{(Fo_i - n \cdot P_i)^2}{n \cdot P_i} \quad (3)$$

Dónde:

i : Clase ($i = 1, 2, \dots, k$).

k : Cantidad de clases.

Fo_i : Frecuencia observada de la clase i .

Fe_i, P_i : Frecuencia estimada y probabilidad estimada de la clase / respectivamente.

n : Tamaño de la muestra.

Si $\chi^2 > \chi^2_{1-\alpha}(k-m-1)$; α 2 (distribución χ^2 con $m-k-1$ grados de libertad y un nivel de significación α se rechaza la hipótesis nula, o sea que la distribución escogida no es adecuada.

Aunque la prueba Pearson χ^2 tiene limitaciones para cuando la frecuencia observada es menor que cinco y hay pocas clases, autores como (Cochran, 1954; Dickinson & Chakraborti, 2003; Dowdy et al., 2004) recomiendan su uso siempre y cuando la frecuencia esperada sea mayor a 1.

El período de retorno, se calculó de la siguiente forma y como se presenta en la ecuación 4:

$$T_r = \frac{1}{1-P_a} \quad (4)$$

Dónde:

T_r : Período de retorno en años.

P_a : Probabilidad acumulada.

Los datos se introdujeron en tablas en una hoja de cálculo de Microsoft Excel 2013, los resultados se examinaron llegando a conclusiones.

Se tuvieron en cuenta además las metodologías utilizadas por los autores Dra. Ida Mitrani para el cálculo del oleaje extremo para los mares de Cuba, en (PNUD, 1998) y para el estudio climático de las inundaciones costeras en Cuba. Aplicación en la costa norte de la región central y oriental (Hidalgo et al, 2019)

Tendencia de las inundaciones costeras en el norte de la provincia Las Tunas

Para estudiar la tendencia de los eventos de inundación se empleó la hipótesis de la proporción, comparándose la frecuencia relativa de los eventos de inundación ocurridos entre 1986-2020 con los ocurridos en el período 1933-1985.

Para probar el posible incremento o disminución de los eventos de inundación se aplicó la prueba de hipótesis de la proporción, según (Guerra et al., 2006) a partir del estadígrafo 5:

$$z = \frac{x - np_0}{\sqrt{np_0(1-p_0)}} \quad (5)$$

Dónde:

p y p_0 : proporciones de los períodos de prueba y referencia respectivamente. En la presente investigación se empleará como período de referencia toda la serie disponible desde la década de los '80 y como prueba el período 1900-1979.

x y n : cantidad de eventos y tamaño de la muestra del período de prueba respectivamente. Para la aplicación de esta prueba el tamaño de la muestra debe ser mayor a 30 para que se cumple el Teorema Central del Límite, a partir del cual la distribución Binomial se puede aproximar a la Normal (Guerra et al., 2006). Para un nivel de significación del 5%, la distribución normal para los percentiles 0.975 y 0.95 toma los valores de 1.96 y 1.645 respectivamente (Wilks, 2011)

Si se desea probar como hipótesis nula (H_0) que $p_0 \geq p$, o sea que la proporción de prueba es mayor que la referencia, para un nivel de significación del 5% está se rechazará si $z < -1.645$; mientras que por el contrario si se analiza si las dos proporciones son diferentes entonces H_0 se rechazaría para el mismo nivel de significación si $z > 1.96$

Confeción de una cronología más detallada con análogos incluidos

A continuación se describe un ejemplo de los análogos identificados en el área de estudio, teniendo en

cuenta los criterios mencionados, la fecha de ocurrencia, la descripción sinóptica y la clasificación de la inundación (donde el alcance horizontal del agua de mar tierra adentro ha alcanzado como máximo más de 200 m) (Ramírez, et. al., 2017)

1. Fecha de ocurrencia: 5/septiembre/1878

Situación meteorológica: huracán #5

Análogo a: huracán Georges por la trayectoria e intensidad.

El huracán # 5 de 1878 transitó sobre tierra próximo a la costa norte de la provincia como Tormenta Tropical, con vientos máximos de 111 km/h, figura 3. Se considera, de acuerdo con el criterio de clasificación de la inundación establecido para la costa norte, que haya provocado inundación ligera.

La tabla 1, de elaboración propia, muestra la cronología más detallada correspondiente al período de estudio donde se incluyeron los análogos identificados anteriormente.

Trayectorias de ciclones que generan inundación al norte de Las Tunas

Por su posición geográfica las trayectorias de ciclones que provocan inundación costera al norte de las Tunas son paralela a la costa y cruzando Cuba, a continuación se detalla cada uno de ellos.

Paralela a la costa: si el ciclón tropical se mueve paralelo a la línea costera de la provincia de Holguín, del este al oeste, con un ángulo de cero grados respecto a la costa, la surgencia se desplazará según se va moviendo el organismo, a la izquierda de la trayectoria, y con cierto adelanto con respecto al movimiento del mismo. En este caso se tiene la mayor afectación por el efecto combinado de la surgencia y el rompiente de oleaje (*wave set up*) en los tramos de pendiente acantilada, sin embargo, en segmentos de las playas de arena como Covarrubias, La Llanita y Los Pinos, donde la costa es baja es favorecida por surgencia y arrastre de viento.

Trayectoria cruzando Cuba del nordeste al suroeste: si el ciclón tropical entra por la costa norte de la provincia de Holguín o sobre el territorio tunero, cruzando Cuba del nordeste al suroeste, produce el mayor efecto de la surgencia a la derecha de la trayectoria.

Trayectoria cruzando Cuba de sur a norte: En el caso de los huracanes con trayectorias cruzando Cuba de sur a norte, no han provocado inundaciones costeras en el norte de la provincia, por ejemplo el huracán Sandy en 2012, que su centro salió al mar por la provincia de Holguín, municipio de Banes y la costa norte de la provincia las Tunas quedó en el sector izquierdo del huracán.



Figura 3. Trayectoria del huracán # 5 de 1878

Tabla 1. Cronología más detallada correspondiente al período desde 1878-2020.

NO.	FECHA DE OCURRENCIA	SITUACIÓN METEOROLÓGICA	CLASIFICACIÓN
1	5/septiembre/1878	huracán #5	Ligera
2	18/agosto/1886	huracán #8	Moderada
3	3-4/septiembre/1888	huracán #4 o Faquinetto	Ligera
4	4/septiembre/1896	huracán #2	Ligera
5	1-sep-33	Sagua y Cárdenas	Ligera
6	8-sep-60	huracán Donna	Moderada
7	19-nov-85	huracán Kate	Ligera
8	23-sep-98	huracán Georges	Ligera
9	8-sep-08	huracán Ike	Fuerte
10	4-5/octubre/2016	huracán Matthew	Moderada
11	8-sep-17	huracán Irma	Moderada

Cálculo de la función de retorno para ciclones tropicales

En la [tabla 2](#) se muestra la cantidad de ciclones tropicales que cruzaron por el área mayor y los que tocaron la circunferencia trazada en el período comprendido entre 1919 y 2020.

Luego de probar varias distribuciones se consideró que el ajuste de Weibull da los mejores resultados con la formulación que se muestra a continuación en la [tabla 3](#):

Se elaboró la [tabla 4](#) dónde se muestran los períodos de retorno de afectación de ciclones tropicales al área de estudio para las Tormentas Tropicales y los huracanes teniendo en cuenta las cinco categorías de la escala Saffir Simpson. Se calculó tomando los valores mínimos de cada categoría y en el caso del huracán categoría 5 se utilizó el mayor valor de la velocidad

del viento registrada por este fenómeno en el período de tiempo estudiado (huracán Irma)

De acuerdo con la tabla anterior se corrobora una baja frecuencia de afectación de ciclones tropicales a la zona de estudio en casos por años, ya que esta zona es una de las de menos peligro de afectación de estos fenómenos naturales.

Para calcular el período de retorno de la velocidad de viento esperada en el área de estudio se realizó de forma inversa, al modelo de Weibull se le introdujeron los valores de frecuencia de casos por años y luego se calculó la velocidad del viento esperada para ese intervalo de tiempo, arrojando como principales resultados que en diez años no se obtuvo velocidad del viento esperada, debido a que esos vientos corresponden a sistemas que no tienen origen en ciclones tropicales, como pueden ser tormentas locales severas y otros eventos. Además se puede apreciar que para 100 años

Tabla 2. Cantidad de ciclones tropicales que cruzaron por el área de estudio.

Mares adyacentes a Cuba entre los (18-24 °N y 74-85 °W)	Área de estudio radio de 180 km (1.6°)
211	46

Tabla 3. Características principales del modelo de Weibull.

Modelo de Weibull	coeficientes
	$a = 7.65557412662E-002$
	$b = 8.21792370979E-002$
	$c = 1.24048232816E+004$
	$d = -2.05630347993E+000$
Error estándar	$S = 0.00305246$
Coefficiente de correlación	$r = 0.99096651$

$$y = a - be^{-cx^d}$$

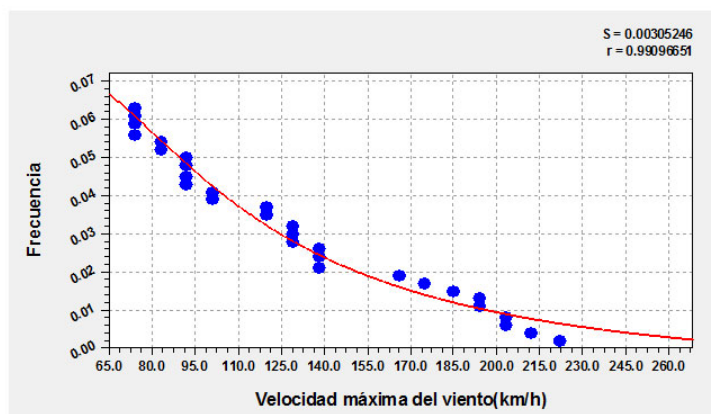


Figura 4. Ajuste de Weibull para la función de retorno de afectación de Ciclones Tropicales en la costa norte de Las Tunas en el período comprendido desde 1919 hasta el 2018.

Tabla 4. Períodos de retorno de afectación de ciclones tropicales al área de estudio.

Categoría	Período de retorno	Velocidad del viento
Escala Saffir Simpson	(Casos/ años)	(km/h)
Tormenta Tropical	1/15	65
huracán Categoría (C1)	1/26	119
huracán Categoría (C2)	1/47	154
huracán Categoría (C3)	1/58	178
huracán Categoría (C4)	1/66	210
huracán Categoría (C5)	1/500	>252

la velocidad máxima del viento esperada es alta y por tanto poco frecuente, como se muestra en la [tabla 5](#).

Cálculo del período de retorno de las inundaciones costeras

En la costa norte de la provincia durante el período de 1933-2020 no se observaron eventos de inundación en un año 81 veces; ocurrieron 7 eventos en un año y no se observaron dos eventos en un mismo año, ([tabla 6](#))

En este caso la aplicación de la distribución Poisson resultó idónea, por intermedio de la prueba de bondad de ajuste χ^2 , para un nivel de significación del 5%, ya que el valor $\chi^2 = 0.0008 < \chi^2_{0.95} = 3.84$, arrojando que es de esperarse al menos un evento de inundación cada 13 años.

Tendencia de las inundaciones costeras en el norte de la provincia Las Tunas

En la [figura 5](#) se muestra el comportamiento por décadas de las inundaciones costeras para el norte de la provincia Las Tunas donde a partir de la década de los '80 ocurrieron el 71% de los eventos ocurridos en el período 1933-2020. De las cuales, se puede apreciar un aumento de la frecuencia relativa, la cual es estadísticamente significativa, ya que resultó que $z = 3.1 > -Z_{0.95} = -1.645$ al aplicarles la prueba de la proporción. Se destaca que la mayor inundación costera ocurrida en la costa norte de la provincia las Tunas se produjo al paso del huracán Ike (2008).

La [tabla 7](#) resume el comportamiento de las inundaciones costeras en el período de estudio desde 1933 hasta 2020

Tabla 5. Períodos de retorno de la velocidad de viento esperada en el área de estudio.

Período de retorno (Casos/ años)	Velocidad del viento esperada (km/h)
1/10	-
1/20	92,3
1/25	108,5
1/50	157,9
1/100	208

Tabla 6. Períodos de retorno de las inundaciones costeras.

Casos/año	Fo	Pe	Frecuencia Estimada $\chi^2=0.0008$	Pa	Tr
0	81	0.9235	81.2712	0.9235	----
1	7	0.0735	6.4648	0.9970	13

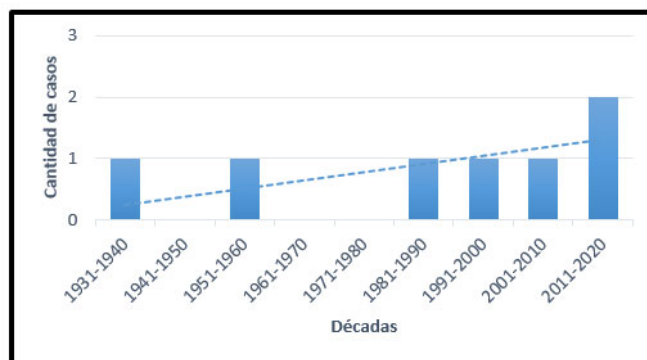


Figura 5. Comportamiento por décadas de las inundaciones costeras.

Tabla 7. Comportamiento de las inundaciones costeras en el período de estudio (1933-2020)

#	DÉCADA	CASOS	MES	AÑO	CT	Tipo	TRAYECTORIA
1	1933-1942	1	Sept	1933	h. Sagua y Cárdenas	Ligera	Paralela a la CN
2	1943-1952	0	--	--	--	--	--
3	1953-1962	1	Sept	1960	h. Donna	Moderada	Paralela a la CN
4	1963-1972	0	--	--	--	--	--
5	1973-1982	0	--	--	--	--	--
6	1983-1992	1	Nov	1985	H Kate	Ligera	Paralela a la CN
7	1993-2002	1	Sept	1998	H Georges	Ligera	Paralela a la CN
8	2003-2012	1	Sept	2008	H Ike	Fuerte	Cruzando: NE a SW
9	2013-2020	2	Oct Sept	2016 2017	H Matthew H Irma	Moderada Moderada	Paralela a la CN Paralela a la CN

A partir de la [tabla 7](#) correspondiente al período de estudio de 88 años (1933-2020) se evidenció que el mes de mayor incidencia fue septiembre con 5 eventos de inundación ([figura 6](#)), asociado a los ciclones tropicales que se forman en el Atlántico y afectan a la zona de estudio.

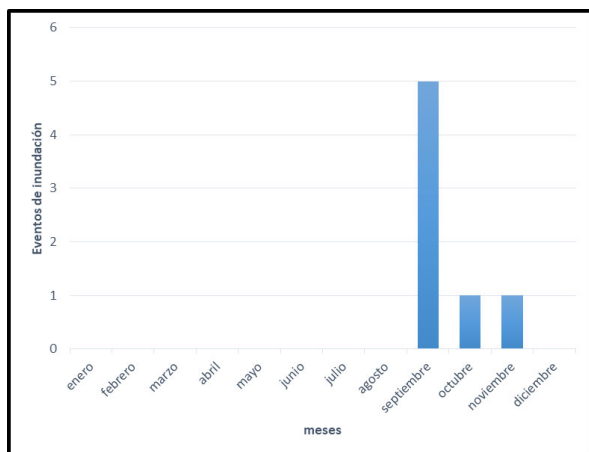


Figura 6. Comportamiento por meses de las inundaciones costeras.

CONCLUSIONES

Luego de un estudio del comportamiento de las inundaciones costeras al norte de la provincia Las Tunas en el período (1933-2020), se concluye que:

- De los 7 eventos de inundación ocurridos en el período de estudio (1933-2020), 1 se clasificó como fuerte, 3 moderadas y 3 ligeras, para un 14,3 %, 42,8 % y 42,8 % respectivamente.
- El mes más peligroso para la ocurrencia de estos eventos es septiembre con 5 casos debido a los ciclones tropicales que se forman en el Atlántico y afectan a la región de estudio.
- Las trayectorias de ciclones que provocan inundación costera al norte de las Tunas, son paralela a la costa y cruzando Cuba de Nordeste a Suroeste.
- La trayectoria más frecuente para el área, es cuando el ciclón tropical se mueve paralelo a la línea de costa, con un total de 6 afectaciones.
- El mayor valor de la velocidad del viento registrada por este fenómeno en el período de tiempo estudiado (huracán Irma, con 250 km/h)
- Se corrobora una baja frecuencia de afectación de ciclones tropicales a la zona de estudio en casos por años.
- Es de esperarse que ocurra un evento de inundación identificado de cierta importancia al menos una vez cada 13 años.

REFERENCIAS

- Aarnes, O. J.; Breivik, Ø. & Reistad, M. (2012). Wave Extremes in the Northeast Atlantic. *Journal of Climate*, 25(5): 1529-1543, DOI: [10.1175/JCLI-D-11-00132.1](https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00132.1).
- Arenal, I. M. (2006). Las inundaciones costeras en Cuba y su repercusión social. *Revista cubana de Bioética*, fundación Juan Pablo II, La Habana, septiembre del 2006, 4:11.
- Arellano, M. (1980). El ciclón Flora: Un hito. La Habana: Ediciones Unión.
- Caires, S. & Sterl, A. (2005). 100-Year Return Value Estimates for Ocean Wind Speed and Significant Wave Height from the ERA-40 Data. *Journal of Climate*, 18(7): 1032-1048.
- CITMA (2017). Tarea Vida. Enfrentamiento al Cambio Climático pdf.
- CITMA (2020). Álbum Resumen de Estudios de Peligro, Vulnerabilidad y riesgo de desastres de la Provincia Las Tunas.
- Dickinson, J. & Chakraborti, S. (2003). Nonparametric Statistical Inference. (ser. Statistics: Textbooks and Monographs, no. ser. Revista Cubana de Meteorología, Vol. 26, No. 2, Abril-Junio 2020, Fourth Edition ed., New York: Marcel Dekker, Inc.
- Dowdy, S.; Wearden, S. & Chilko, D. (2004). *Statistics for Research*. (ser. Wiley Series in Probability and Statistics), Third Edition ed., New Jersey: John Wiley & Sons, 627 p.
- GEBCO (2020). *General Bathymetric Chart of the Oceans, Digital Atlas*, Centenary Edition of the IHO/IOC, Natural Environment Research Council/ British Oceanographic Data Center, Updated march
- GEOCUBA (2003). *Derrotero de las costas de Cuba*. La Habana: Agencia de Cartografía Náutica.
- Guerra, C.; Menéndez, E.; Barrero, R. y Egaña, E. (2006). *Estadística*. Segunda Edición ed., La Habana: Editorial Félix Varela, 376 p., ISBN: 959-258-776-0.
- Hidalgo, A. (2016). *Metodología para el estudio climático de las inundaciones costeras en Cuba*. Tesis de Maestría. La Habana: Instituto de Ciencias y tecnologías Aplicadas e Instituto de Meteorología, 73p.
- Hidalgo, A. y Mitrani, I. (2012). Particularidades hidrometeorológicas del litoral Gibara- Playa Guardalavaca. *Revista Cubana de Meteorología*, 18(2), 152-163.
- Hidalgo, A., y Mitrani, I. (2015). Tendencias climáticas de las inundaciones costeras en el litoral Gibara-Playa Guardalavaca, provincia Holguín, Cuba. *Revista de Climatología*, 15, 93-102.

- Hidalgo, A., Hernández, N., y Perigó, E. (2019). Períodos de retorno para las inundaciones costeras y los eventos extremos de viento y oleaje en la costa nororiental de Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 25(2).
- Hidalgo, A.; Mitrani, I.; Pérez, G.; Hernández, N.; Córdova, O., L.; Regueira, V.; Ramírez, W.; González, C. M.; Machado, A.; Perigó, E.; Lorenzo, L.; Agüero, K.; Vinajera, V.; Jiménez, J.; Boligán, M.; Sánchez, L.; Victorero, A.; Mursulí, A.; García, L.; Ortega, F. E.; Castellanos, M. J.; Araujo, L. A.; Báez, E.; Laborde, N. y Casals, R. (2016). *Cronología de las inundaciones costeras por penetración del mar para el archipiélago cubano*. Resultado Científico, Holguín: CMP Holguín, Instituto de Meteorología, p. 40.
- Hidalgo, A., Mitrani, I., Rivas, G. (2017). Nueva clasificación de las inundaciones costeras en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 23(2), 209-216.
- Hidalgo, A.; Mitrani, I.; Ramírez, W.; Pérez, Y., Córdova, O. L.; & de Oca, A. M. M. (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).
- INSMET (2012). *Atlas Climático de Cuba*. La Habana: Instituto de Meteorología.
- INSMET (2015). *Manual de Procedimiento Operativo Centro de Meteorología Marina*. La Habana: Instituto de Meteorología.
- Instituto de Meteorología de la República de Cuba (1997). Consultado febrero, 19, 2019 desde <http://www.met.inf.cu/asp/genesis.asp?>
- IPCC (2014). Quinta Evaluación Cambio Climático-2014. Informe del grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio Climático.
- Landsea, C.; J. Franklin & J. Beven (2014). The revised Atlantic hurricane database (HURDAT2). April 2014. The National Hurricane Center (NHC), Miami, Florida, USA.
- Manual, S. P. (1984). Material del litoral. *T, I*, 4-12.
- Mitrani, I. (2017). "Meteorología Marina". La Habana: CITMATEL, 237 p.,.
- Mitrani I., M. Fontova, L. Díaz, J. González (1984) "Determinación del régimen de ola y viento en la costa norte de La Habana" Centro de Divulgación y Documentación de las Brigadas Técnicas Juveniles, ACC, LA HABANA, Folio D.5625.Mit.D, 15 pág.
- Mitrani, I., Parrado, R. P., Concepción, O. G., García, I. S., Allen, Y. J., Pérez, M. B., ... & Otero, C. R. (2000). Las zonas más expuestas a las inundaciones costeras en el territorio cubano y su sensibilidad al posterior incremento del nivel medio del mar por cambio climático. *Revista Cubana de Meteorología*, 7(1).
- Mitrani, I.; García, E.; Hidalgo, A.; Hernández, I.; Salas, I.; Pérez, R.; Rodríguez, C. M. y Pérez, A. L. (2014). Inundaciones costeras en Cuba y sus tendencias climáticas. En: Inundaciones costeras en Cuba. Estructura termohalina y su influencia en las inundaciones. (pp. 9-58). La Habana: Agencia de Medio Ambiente.
- Montoya, R.; Menéndez, M. & Osorio, A. (2018). "Exploring changes in Caribbean hurricane-induced wave heights". *Ocean Engineering*, 163: 126-135, DOI: [10.1016/j.oceaneng.2018.05.032](https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.05.032).
- Moreno, A. (ed.). (1998). *Desarrollo de las Técnicas de Predicción de las inundaciones costeras, Prevención y Reducción de Acción Destructiva*. Informe Final del Proyecto Cuba 94/003, La Habana: Instituto de Meteorología, 172 p.
- OMM (2015). *Directrices de la OMM sobre servicios de predicción y aviso multirriesgos que tienen en cuenta los impactos*. Ginebra: Organización Meteorológica Mundial.
- Pérez, R. (2013). *Cronología de los Huracanes de Cuba*. Instituto de Meteorología, Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencias, Tecnología y Medio Ambiente. La Habana, Cuba. 7 pp.
- Pérez, R., Salas, I., Samper, S. y Dole, J (2009). Atlas Digital de Surgencia provocadas por los Ciclones Tropicales en el Archipiélago Cubano. CD-ROM. La Habana: Instituto de Meteorología.
- Ramírez, W., Pérez, Y., Estrada, E. (2017). Procedimiento para la estimación del estado de la superficie marina y cronología de inundaciones costeras en Guayabal y Cascarero. *Revista Electrónica de Innovación Tecnológica*, 23(3)
- Ramos, L. (2009). *Huracanes. Desastres Naturales en Cuba*. La Habana: Editorial Academia.
- Semedo, A., Sušelj, K., Rutgersson, A., & Sterl, A. (2011). A Global View on the Wind Sea and Swell Climate and Variability from ERA-40. *Journal of Climate*, 24(5), 1461-1479.
- Servicio Hidrográfico y Geodésico de la República de Cuba (2020). *Tablas de Mareas de las costas de Cuba*. La Habana: Edimar.
- Sterl, A & Caires, S. (2005). Climatology, variability and extrema of ocean waves: the web-based KNMI/ERA-40 waves atlas. *International Journal of Climatology*, 25, 963-977.
- Taylor, R. C. (2002). Cronología de las inundaciones costeras ocurridas en el sur de la provincia la Habana. *Revista Cubana de Meteorología*, 9(1).
- Taylor, R. C., Osorio, P. J. P., & Fernández, L. M. (2016). Análisis de las inundaciones costeras ocurridas en áreas protegidas de Cuba durante el periodo 1981-2010. *Revista Cubana de Meteorología*, 22(2), 199-215.
- USACE 2006. *Coastal Engineering Manual*. (no. ser. Engineer Manual 1110-2-1100), vol. II, Washington, D.C.: U.S. Army Corps of Engineers.
- Valderá (2017). Identificación de análogos para el trabajo con las áreas de inundaciones costeras ocasionadas por ciclones tropicales.ppt.

- Vinoth, J. & Young, I. R. (2011). "Global Estimates of Extreme Wind Speed and Wave Height". *Journal of Climate*, 24(6): 1647-1665, DOI: [10.1175/2010JCLI3680.1](https://doi.org/10.1175/2010JCLI3680.1).
- Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Third Edition ed., Oxford, United Kingdom: Elsevier/Academic Press.
- Zotov G. V. (1977) "Cálculo del régimen de ola y señalización de los planos de inundación en la región de la CEN, Cienfuegos, Cuba" (En ruso), Soyuzmorniproject, 210 pag.

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores: Yadira Pérez Calzada: **Análisis formal, conceptualización, conservación de datos, redacción - primera redacción, redacción - revisión y edición, investigación, metodología, validación y visualización.** Axel Hidalgo Mayo: **Análisis formal, conceptualización, conservación de datos, redacción - revisión y edición, investigación, metodología, recursos, supervisión, validación y visualización.** Ida Mitrani Arenal: **Análisis formal, conceptualización, conservación de datos, redacción - revisión y edición, investigación, metodología, recursos, supervisión, validación y visualización.**

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/)