

Variabilidad de las inundaciones costeras en Holguín ocasionadas por huracanes durante los siglos XIX - XXI

Variability of coastal floods in Holguin caused by hurricanes during the XIX - XXI centuries



CU-ID: 2377/v28n2e07

✉ Leodanys Pérez Peña^{1*}, ✉ Axel Hidalgo Mayo¹, ✉ Nathalí Valderá Figueredo²

¹CMP- Holguín, Provincia Holguín, Instituto de Meteorología, Cuba.

²Centro de Pronósticos del Tiempo, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.

RESUMEN: La presente investigación tiene como objetivo analizar la variabilidad de las inundaciones costeras en la provincia de Holguín ocasionadas por huracanes entre los siglos XIX al XXI; se utilizó la técnica de los análogos para el completamiento de la cronología y la prueba de la proporción para un nivel de significación del 5% como método para el análisis estadístico. Como fuentes de información se consultaron cronologías de la actividad ciclónica y las inundaciones costeras. Los resultados validaron la hipótesis del incremento de las inundaciones costeras moderadas y fuertes desde la década de los '80 hasta la actualidad, así como el aumento de la trayectoria paralela y cercana a la costa norte, la que supone un gran peligro para el área. Se determinó que, para esta trayectoria y litoral, la distancia umbral entre el centro del huracán y la costa capaz de provocar inundaciones costeras moderadas es aproximadamente 166,5 km. Se actualizó la cronología de inundaciones costeras asociadas a huracanes para la provincia Holguín, la cual destaca el mes de septiembre con el 62,96% del total de inundaciones desde que se fundó la ciudad de Gibara en 1817. Los métodos empleados y los resultados obtenidos en esta investigación son válidos para la ejecución de futuras investigaciones de este tipo en el resto de la nación, así como su aplicación en los planes de reducción de desastres y las políticas de adaptación al cambio climático que ejecuta el Estado Cubano en el marco de la "Tarea Vida".

Palabras claves: variabilidad climática, técnica de análogos, huracanes, inundaciones costeras.

ABSTRACT: The present research aims to analyze the variability of coastal floods in the Holguín province caused by hurricanes between the 19th and 21st centuries, the analogue technique was used to complete the chronology. The proportion test for a significance level of 5 % as a method for statistical analysis. As sources of information, chronologies of cyclonic activity and coastal flooding were consulted. The results validated the hypothesis of an increase in moderate and strong coastal flooding from the end of the 20th century to the present, as well as the increase in the parallel path and near the north coast, which represents a great danger for the area. It was determined that for this trajectory and coastline, the threshold distance between the center of the hurricane and the coast capable of causing moderate coastal flooding is approximately 166.5 km. The chronology of coastal floods associated with hurricanes was updated for the Holguín province, which highlights the month of September with 62.96% of the total floods since the city of Gibara was founded in 1817. The methods used and the results obtained in this research they are valid for the execution of future investigations of this type in the rest of the nation, as well as their application in disaster reduction plans and climate change adaptation policies implemented by the Cuban State within the framework of the "Tarea Vida".

Key words: climate variability, the analogue technique, hurricanes, coastal floods.

INTRODUCCIÓN

El mar ocupa las tres cuartas partes de la superficie del planeta Tierra. Desde tiempos inmemoriales la población mundial tiene asentamientos permanentes cercanos a la zona costera, donde se desarrollan sus principales actividades sociales y económicas (Ñáñez, 2003). De ahí que el estudio de los fenómenos y procesos que tienen lugar en el océano adquieran una vital importancia, sobre todo si implica una sobreelevación sostenida de su nivel medio que traiga consi-

go un retroceso de la línea costera, ya sea a corto o largo plazo. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático en (IPCC, 2013), prevé dentro de estas situaciones a fenómenos tales como las inundaciones costeras. Aunque se reconoce que este evento extremo puede tener aportes significativos por la acción combinada de las fuertes lluvias y la deficiencia de drenaje en la zona del litoral. En lo adelante, al utilizar el término inundaciones costeras se estará considerando solamente la componente que aporta la invasión del océano hacia tierra.

*Autor para correspondencia: Leodanys Pérez Peña. E-mail: leodanys.dk@gmail.com

Recibido: 07/02/2022

Aceptado: 10/06/2022

Si bien en el archipiélago cubano las inundaciones costeras atribuidas a diferentes causas meteorológicas ocurren tanto en el período lluvioso como en el poco lluvioso, durante la afectación de los huracanes suelen registrarse las mayores daños (Hidalgo, 2016; Mitrani et al., 2017) y además, constituyen el fenómeno meteorológico con la mayor serie temporal certificada en la cuenca del Atlántico Norte. Por ello es que este estudio se enfocó en las inundaciones costeras producidas por huracanes, pero utilizando un nuevo enfoque que contempla la reconstrucción y completamiento de la cronología utilizando la técnica de análogos (TA).

A nivel internacional existen varias investigaciones que usan la técnica de los análogos en el trabajo con huracanes. Entre estas se pueden destacar (Prieto y Oropeza, 2007), que se enfocaron en la generación de pronósticos de lluvia. Por su parte, (Sievers et al., 2000) desarrollaron un enfoque de predicción de trayectoria que se autoadapta en la selección de análogos históricos. Por último, (Langmack et al., 2012) centran sus estudios en el pronóstico numérico utilizando las bondades que brinda contar con varias herramientas como los análogos ponderados por conjunto (Ensemble-weighted analog) para generar pronósticos de trayectoria.

La mayoría de los estudios en Cuba han tributado al análisis del comportamiento de inundaciones costeras mediante la actualización de la cronología por otros métodos, las proyecciones de posibles escenarios producto de la variabilidad y cambio climático, además de la búsqueda y validación de nuevas técnicas de pronóstico y diagnóstico. (Mitrani et al., 2000, 2017; Hidalgo, 2016; Hidalgo et al., 2017, 2019, 2020; Regueira y Barcia, 2019). No obstante, a la hora de realizar estudios de variabilidad en series que se extienden más de un siglo, la carencia de datos aún constituye una gran limitación, por lo que se hace imperioso lo-

gar la implementación de una técnica que sea factible con los datos que estén disponibles.

Lo anterior conduce a que el objetivo de la presente investigación radique en determinar la variabilidad de las inundaciones costeras ocasionadas por la afectación de huracanes a la provincia de Holguín durante los siglos XIX, XX y XXI utilizando la técnica de análogos y un posterior análisis estadístico de los resultados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de los datos

Para la clasificación de las inundaciones costeras se empleó la tipificación propuesta por (Hidalgo et al., 2017).

Según (Hidalgo, 2016) la causa de la variabilidad de los eventos de inundación costera para esta región debe buscarse en la actividad ciclónica para el área, dada la relación causa-efecto tan alta existente entre ambos fenómenos. Se consultaron trabajos de (Hidalgo y Mitrani 2012, 2015; Hidalgo et al., 2017) sobre la “Cronología de las inundaciones costeras en el litoral Gibara- Playa Guardalavaca”. De la cronología anterior se extrajeron sólo aquellos casos que fueron ocasionados por huracanes.

Se examinó la cronología confeccionada por (Pérez, 2013). En estas sólo se recogen los huracanes que afectaron Cuba desde 1791 hasta la actualidad (utilizando en la presente investigación la serie desde el año 1852) cuyo centro pasa por el territorio cubano o cuando se registren vientos máximos sostenidos con fuerza de huracán, donde se incluyen organismos que afectaron Holguín pero se hace necesario revisar otras fuentes para detectar aquellos que pudieron causar inundaciones sin cumplir con este criterio.

Tabla 1. Clasificación de las inundaciones costeras en el litoral holguinero que presenta mayores afectaciones según el alcance horizontal del agua de mar tierra adentro.

Clasificación	Gibara, Playa Guardalavaca
Ligeras	0 - 250 m
Moderadas	251 - 500 m
Fuertes	≥ 501 m



Figura 1. Ubicación geográfica del litoral costero de Gibara - Playa Guardalavaca

Se consultó la base de datos HURDAT 2.0, que incluye la intensidad, presión central, posición, trayectoria y tamaño de los ciclones tropicales y/o subtropicales (Landsea y Franklin, 2013), en la búsqueda de las trayectorias de huracanes que pudieron quedar excluidas de la cronología de estos eventos en Cuba por no cumplir con los requisitos de afectación a Cuba considerados en la investigación anterior.

Análisis estadístico

El análisis de la frecuencia absoluta decadal de los eventos moderados y fuertes reveló un incremento significativo a partir de 1980, es por ello que para probar el posible aumento o disminución de los episodios de inundación se comparó la frecuencia de estos eventos ocurridos desde 1980 hasta el 2020 con los del período 1852 - 1979, (periodos de prueba y referencia respectivamente) aplicándose la prueba de hipótesis de la proporción según (Guerra et al., 2006) a partir del siguiente estadígrafo.

$$Z = x - np_0 / \sqrt{np_0(1 - p_0)}$$

Donde:

p, p_0 : Proporciones de los períodos de prueba y de referencia respectivamente.

x, 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).

Si se desea probar como hipótesis nula (H_0) que $p \geq p_0$, o sea que la proporción de prueba es mayor que la de referencia, está se rechazará para un nivel de significación del 5%; si se cumple la región crítica $Z < -1,645$; mientras que por el contrario si se analiza si las dos proporciones son iguales entonces H_0 se rechazaría para el mismo nivel de significación si $|Z| > 1,96$.

Descripción de la metodología propuesta

La técnica de los análogos, incluida dentro de los métodos estadísticos - climatológicos permite realizar estimaciones empleando las relaciones estadísticas entre las variables de predicción (predictores) y las variables a predecir (predictandos) sin ofrecer información de los procesos físicos (lineales o no lineales) que se encuentran involucrados. Aplicados al pronóstico de la trayectoria de un ciclón tropical, parten del concepto de que las mismas tienden a ser repetitivas por estar asociadas con patrones sinópticos igualmente repetitivos a través del tiempo. Por lo tanto, en lugar de tener en cuenta todos los ciclones tropicales que se desarrollaron anteriormente en la misma cuenca, se agrupan todos los organismos que describieron una trayectoria análoga. Entonces, los valores de la velocidad de traslación del ciclón tropical y la trayectoria

descrita, deberían ser similares a las del organismo actual (Hope y Neumann, 1971) (Roy C. y Kovordanyi R., 2012)

Los autores toman como hipótesis, que un análisis inverso permita evaluar hacia el pasado el comportamiento de las inundaciones costeras que pudieron tener todos los huracanes presentes en un registro histórico y que resultaron análogos a un huracán tipo que ya aconteció y del que existe registro de su comportamiento, ello permitiría establecer un estudio de la variabilidad, utilizando un enfoque retrospectivo a partir de la técnica de análogos.

En (Sneyers, 1990) se recomienda emplear los test no paramétricos de Spearman, Mann-Kendall (M-K) y Pettitt para el análisis de tendencia y punto de cambio; sin embargo, estas pruebas no son válidas para variables discretas como es el caso del total de inundaciones costeras por año asociadas a huracanes. Es por ello que se emplea la prueba de la proporción según (Guerra et al., 2006) para el análisis estadístico.

Discusión de la metodología propuesta

Los métodos propuestos resultan compatibles con los descritos en diferentes publicaciones sobre la temática (Hope y Neumann, 1970; Hsiao-Chung y Russell, 2014a; Hsiao-Chung y Russell, 2014b; Hidalgo et al., 2020). A medida que la serie se extiende hacia el pasado la información comienza a ser cada vez más limitada e incompleta, por lo que la singularidad de la metodología propuesta es que permite reconstruir la cronología de inundaciones desde el siglo XIX usando solamente datos de trayectoria de los organismos, a pesar de conocer que la inundación costera depende además de otros factores como la velocidad y persistencia del viento, su distribución espacial, las particularidades en el campo bórico y la configuración geográfica de la zona costera (Mitrani et al., 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aplicación de la metodología propuesta en el litoral Gibara - Playa Guardalavaca

Según (Rodríguez et al., 2009), el litoral holguineño tiene una extensión total de 897,2 km, incluyendo las 19 bahías, la costa exterior tiene una longitud de 277 km y a pesar de estar en su totalidad bajo influencia del oleaje ciclónico generado por organismos que se desplazan por el Canal viejo de las Bahamas y aguas aledañas a este. (Moreno, 1998) concluyó que desde Cabo Lucrecia a Punta Maisí (excluyendo a Baracoa) existía una baja probabilidad de ocurrencia significativa de estos eventos por particularidades en la costa detalladas en (GEOCUBA, 2003), por lo tanto las inundaciones costeras en los 46 km entre el litoral de Gibara a Playa Guardalavaca, son representativas de las inundaciones en la provincia Holguín.

Tipificación de las trayectorias

Luego del Análisis de la Cronología de Huracanes que han afectado Cuba y de la base de datos HURDAT 2.0, se tipificaron las trayectorias conocidas de los organismos del siglo XIX a principios del XX y surgieron nuevos criterios. Se constató que en el caso de la trayectoria paralela a la costa existían dos subtipos: alejándose y acercándose en rumbo zonal, causantes de inundaciones ligeras y moderadas respectivamente. Para dicha clasificación se utilizó el criterio de consulta expertos del Centro de Meteorología Marina, el mismo parte de encontrar al huracán que tuvo mayor distancia a la costa, entre los causantes de inundaciones moderadas que han sido registrados (1933-2020), importante señalar que todos los organismos tienen distinta categoría en la escala Saffir - Simpson.

Se consultaron los trabajos de (Hidalgo y Mitrani 2012, 2015; Hidalgo et al., 2017), siendo el huracán número 8vo del año 1933, conocido como Huracán de Sagua y Cárdenas el que cumple con este criterio. Se concluye que todo organismo que se desplace en trayectoria paralela y que se aproxime a describir o describa un rumbo zonal a una distancia aproximada

de 166,5 km o menor, será considerado como potencial causante de inundaciones costeras moderadas.

Se puede constatar que existen huracanes que han cruzado sobre el área de estudio en trayectoria (SE - NW), por lo que se replantea la segunda trayectoria tipo como cruzando y como subtipos de esta según el ángulo con el que han marcado su paso sobre la provincia, ángulo 90° (Sur - Norte), ángulo 0° (E-W) y se incluye aquella con ángulo diferente de 90°. La trayectoria Recurva al norte de Holguín, cruzando entre las Bahamas, se establece como el tercer tipo de trayectoria y un cuarto tipo de esta se define, para aquellos fenómenos que tienen un recorrido anómalo (Tabla 2).

Todos los mapas a continuación fueron elaborados usando la base de datos HURDAT 2.0 y muestran segmentos de las trayectorias tipificadas más frecuentes. En la figura 2 se observan segmentos de trayectoria de los huracanes reconstruidos en recorrido paralelo. El huracán que transitó más distante en la región de interés es el 8vo de 1933 y tipifica la trayectoria número uno en los dos subtipos, cerca y alejada de la costa. La figura 3 muestra segmentos de recorrido de los huracanes en Recurva al Norte.

Tabla 2. Intensidad de la inundación, huracanes tipos y sus análogos

Tipo de Análogos	Subtipo	Descripción	Huracán Tipo	Intensidad Inundación	Cantidad análogos	Casos
1. Paralela a la costa	A	cerca	Irma 2017	moderada	6	1ro. 1852;5to. 1856 2do. 1882;4to. 1888 2do. 1896;8vo. 1933
	B	alejada	Irene 2011	ligera	5	6to. 1866;3ro. 1899 2do. 1919;1ro. 1926 7mo. 1926
2. Cruzando	A	ángulo 90° (Sur - Norte)	Sandy 2012	moderada	0	
	B	ángulo ≠ 90°	David 1979	ligera	2	4to. 1894;8vo. 1908
	C	ángulo 0°	Ike 2008	fuerte	0	
3. Recurva		Recurva al Norte	Earl, 2010	ligera	4	4to. 1852;3ro. 1883 6to. 1908;9no. 1945
4		(Anómala)			0	Flora 1963

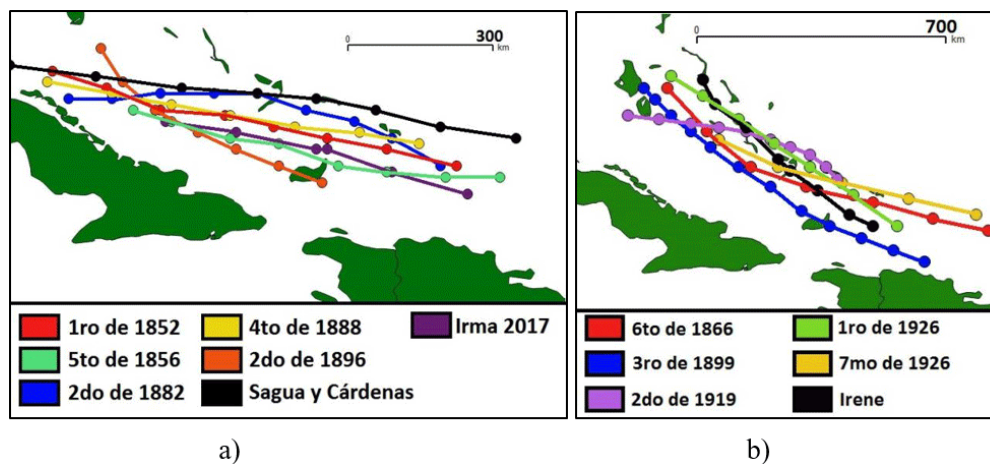


Figura 2. Huracanes con trayectoria paralela a la costa, a) cerca y b) alejada.

Reconstrucción de la cronología de inundaciones costeras en la provincia de Holguín ante la afectación de huracanes.

Se obtuvo la cronología de inundaciones costeras asociadas a huracanes entre los siglos XIX y mediados del XX por la técnica de análogos, luego con la cronología presentada en trabajos de (Hidalgo y Mitrani 2012, 2015) se actualizó la cronología de inundaciones costeras asociadas a huracanes en Holguín, desde

el año 1852 hasta el 2020. Los organismos sin nombre fueron identificados según su orden en el registro correspondiente a cada año. (Tabla 3)

Ocurrieron en el mes de septiembre un total de 17 de los 27 eventos de inundación costera asociadas a huracanes, presentes en los 168 años de registro. De los 13 eventos clasificados como moderados y fuertes, siete ocurrieron a su vez en este mes, durante el cual ocurre el período de mayor actividad en la temporada ciclónica y donde se concentra la mayor probabilidad

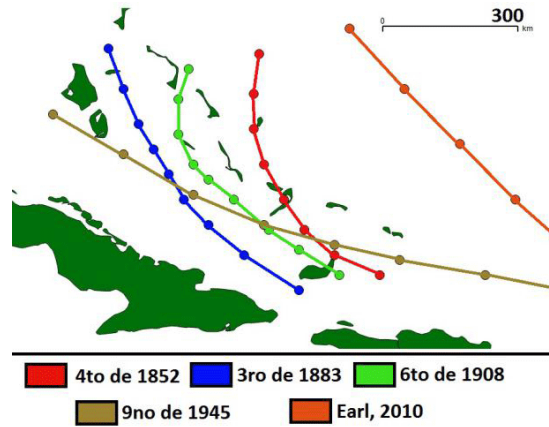


Figura 3. Huracanes con trayectoria de recurva al norte

Tabla 3. Cronología de inundaciones costeras asociadas a huracanes en la Provincia de Holguín.

Nombre	Año	Trayectoria tipo	Fecha Inundación	Clasificación
S/N 1ro	1852	1A	20 /ago.	moderada
S/N 4to	1852	3	27 /sep.	ligera
S/N 5to	1856	1A	26 / ago.	moderada
S/N 6to	1866	1B	1 / oct.	ligera
S/N 2do	1882	1A	4 /sep.	moderada
S/N 3ro	1883	3	7 /sep.	ligera
S/N 4to	1888	1A	3 / sep.	moderada
S/N 4to	1894	2B	22 /sep.	ligera
S/N 2do	1896	1A	3 /sep.	moderada
S/N 3ro	1899	1B	10 /ago.	ligera
S/N 6to	1908	3	11 /sep.	ligera
S/N 8vo	1908	2B	29 /sep.	ligera
S/N 2do	1919	1B	7 / sep.	ligera
S/N 1ro	1926	1B	25 / jul.	ligera
S/N 7mo	1926	1B	16 /sep.	ligera
Sagua y C.	1933	1A	31 /ago.	moderada
S/N 9no	1945	3	14 /sep.	ligera
Donna	1960	1A	8-9/sep.	moderada
Flora	1963	4	4 -8/oct.	fuerte
David	1979	2B	1ro-2/sep.	ligera
Kate	1985	1A	18-19/nov	moderada
Georges	1998	1A	23-24/sep.	moderada
Ike	2008	2C	7-8/sep.	fuerte
Earl	2010	3	1ro/sep.	ligera
Irene	2011	1B	24/ago.	ligera
Sandy	2012	2A	24-25/oct.	moderada
Irma	2017	1A	8/sep.	moderada

de que las trayectorias alcancen las aguas aledañas a la región norte oriental y que lo hagan en recorrido paralelo a la costa y/o recurva al norte. La trayectoria (1A) se presenta desde la segunda decena de agosto a septiembre, con excepción del Kate 1985; contrario de la 1B que tiene una variabilidad interanual más marcada; el 100% de la trayectoria 3, también ocurrió en septiembre.

Análisis estadístico de las Inundaciones Costeras por Huracanes que afectaron Holguín entre los siglos XIX y XXI

Se muestra en la figura 4 el comportamiento de las inundaciones costeras moderadas y fuertes, donde a partir de 1980 ocurrieron el 38.46% de los eventos ocurridos en el período 1852-2020. Se puede apreciar un aumento de la frecuencia relativa desde finales del siglo XX hasta la actualidad, la cual es estadísticamente significativa, no se rechaza la hipótesis $p \geq p_0$, ya que resultó que $Z = 1,5726 > -Z_{0,95} = -1,645$ al aplicarles la prueba de la proporción, por lo que

las inundaciones costeras moderadas y fuertes han aumentado desde 1980.

En la figura 5 se muestra el comportamiento de las inundaciones costeras en todas sus intensidades desde 1852 hasta la actualidad. A partir de 1980 ocurrió el 26 % de los 27 eventos ocurridos en toda la serie. De esto se puede apreciar que la condición de igualdad en las proporciones de ambos periodos es estadísticamente significativa, ya que resultó que $|Z| = 0,2554 < Z_{0,975} = 1,96$.

Frecuencia de Trayectorias de los Huracanes

Al analizar las trayectorias definidas en la presente investigación, se identifica la trayectoria 1 (paralela) y sus dos subtipos como las de mayor frecuencia de afectación, diez y seis respectivamente. Al aplicarle la prueba de la proporción a la 1A, se obtiene: $Z = 0,5205 > -Z_{0,95} = -1,645$ por lo que, no se rechaza la hipótesis $p \geq p_0$ y con ello, se concluye que han incrementado los eventos de inundación por huracanes con una trayectoria paralela pero cercana a



Figura 4. Frecuencia absoluta por décadas de las inundaciones costeras moderadas y fuertes en la provincia Holguín.

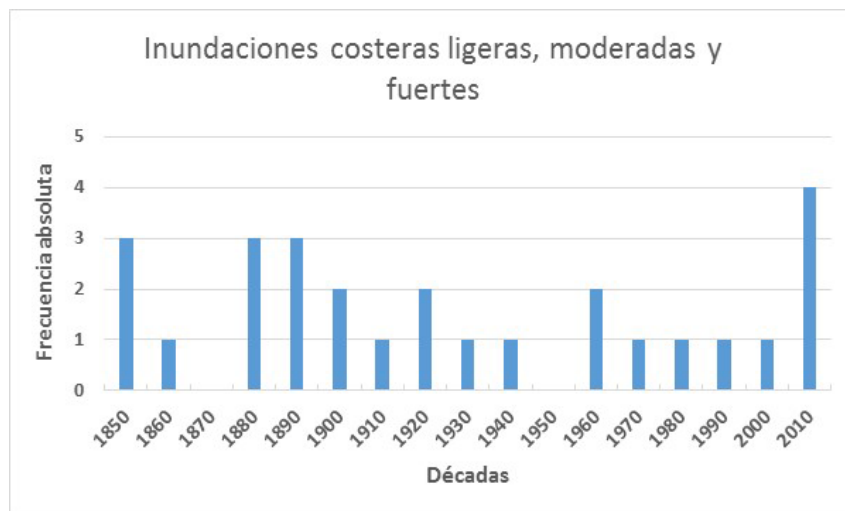


Figura 5. Frecuencia absoluta por décadas de todas las inundaciones costeras en la provincia Holguín

la costa. Esta situación debe ser considerada en la evaluación de vulnerabilidad y riesgos en la provincia, ya que bajo esta trayectoria es válido inferir la ocurrencia de inundaciones moderadas y un considerable potencial destructivo de las olas en la zona de rompiente por el efecto de reflexión. Al aplicarle la prueba de la proporción a la trayectoria definida como 1B, se obtiene:

$Z = -0,4849 < Z_{0,95} = 1,645$ por lo que no se rechaza la hipótesis $p \leq p_0$ y con ello se afirma que han disminuido desde 1980 hasta la actualidad las inundaciones costeras bajo esta trayectoria en comparación con el período 1852–1979.

La aplicación de la prueba de la proporción, a toda la serie, está a tono con lo planteado por (Ballester et al., 2010; Mitrani et al., 2012; Hidalgo, 2016; Hidalgo et al., 2020), aunque estos autores realizaron sus investigaciones para series temporales más cortas, no encontrando tendencia estadísticamente significativa en la actividad ciclónica y las inundaciones costeras. Sin embargo, se evidencia una tendencia al incremento desde finales del siglo XX hasta la actualidad en la frecuencia e intensidad de ambos fenómenos meteorológicos.

CONCLUSIONES

La metodología propuesta constató que la frecuencia de ocurrencia de las inundaciones costeras asociadas a huracanes en la provincia Holguín tiene una alta variabilidad anual y multianual. Se destaca el mes de septiembre con el 63% del total de eventos (donde ocurrieron seis de los diez casos tipos 1A). La hipótesis de la proporción validó la tendencia al incremento de los eventos moderados y fuertes desde 1980, situación que debe ser considerada en los planes de reducción de desastres y las políticas de adaptación al cambio climático que se ejecutan en el marco de la “Tarea Vida”.

La implementación de la técnica de análogos, resultó factible para reconstruir la serie de inundaciones costeras desde XIX hasta el XXI para la provincia Holguín, al brindar un método para el trabajo con huracanes donde las fuentes de información sean limitadas y con ello incrementar la cronología a 27 eventos, de los cuales 17 fueron añadidos por esta herramienta. El enfoque propuesto de la técnica de análogos permitió determinar la distancia umbral (166,5 km) para las trayectorias de los huracanes del subtipo 1A (paralelo y cercano a la línea costera, los cuales representan el 35% de los casos reconstruidos), que producen inundaciones costeras moderadas en la provincia Holguín.

REFERENCIAS

Ballester, M., González, C., & Pérez, R. (2010). *Variabilidad de la actividad ciclónica en la región*

del Atlántico Norte y su pronóstico. La Habana: Editorial Academia

Guerra, C., Menéndez, E., Barrero, R. & Egaña, E. (2006). *Estadística. Segunda Edición ed.*, La Habana: Editorial Félix Varela.

GEOCUBA (2003). *Derrotero de las costas de Cuba*. La Habana: Agencia de Cartografía Náutica.

Hidalgo, A., & Mitrani, I. (2012). Particularidades hidrometeorológicas del litoral Gibara-Playa Guardalavaca. *Revista Cubana de Meteorología*, 18(2): 152-163

Hidalgo, A., & 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., Mitrani, I. & Pérez, G. (2017). Nueva clasificación de las inundaciones costeras en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 23(2): 209-216

Hidalgo, A., Hernández, N. & Perigó-Román, E. (2019). Período 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): 191-202

Hidalgo, A., Mitrani, I., Ramírez, W., Pérez, Y., Córdova, O., & Machado, A. (2020). Metodología para el estudio climático de las inundaciones costeras en Cuba. Aplicación en la costa norte de la región central y oriental. *Revista de Cubana de Meteorología*, 26(2): 209-216.

Hidalgo, A. (2016). *Metodología para el estudio climático de las inundaciones costeras en Cuba*. (Tesis de Maestría). Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, La Habana.

Hope, J. R., & Neumann, C. J. (1970). An operational technique for relating the movement of existing tropical cyclones to past tracks. *Mon. Wea. Rev.*, 98(12): 925-933

Hope, J. R., & Neumann, C. J. 1971. Computer methods applied to Atlantic Area Tropical Cyclone Climatology. *Mariners Weather Log*, 15(2): 272-278.

Hsiao-Chung, T., & Russell, L. E. (2014a). Applications of Situation-Dependent Intensity and Intensity Spread Predictions Based on a Weighted Analog Technique. *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, 50(4): 507-518

Hsiao-Chung T., & Russell L. E. (2014b). Improved Tropical Cyclone Intensity and Intensity Spread Prediction in Bifurcation Situations. *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, 50(4):117-128

Stocker, T., F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S., K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P., M. (eds.). (2013). *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press

- Landsea, C. W., & Franklin, J. L. (2013). Atlantic Hurricane Database Uncertainty and Presentation of a New Database Format. *Monthly Weather Review*, 141(10): 3576-3592
- Langmack, H., Fraedrich, K., & Sielmann, F. (2012). Tropical cyclone track analog ensemble forecasting in the extended Australian basin: NWP combinations. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 138: 1828-1838.
- Mitrani, I., Díaz, O. O., Vichot, A., Hernández, I., Hidalgo, A., García, E. & Rodríguez, J. A. (2012). Tendencias climáticas de las inundaciones costeras severas en áreas de Cuba. *Revista Ciencias de la Tierra y del Espacio*, 13(2): 68-84
- Mitrani, I., García, E., Hidalgo, A., Hernández, I., Salas, I., Pérez, R., Díaz, O. O., Vichot, A., Pérez, A., Cangas, R., Álvarez, L., Pérez, O., E., Rodríguez, J. A., Rodríguez, C. M., Pérez, A. L., Morales, A., Viamontes, J., & Pérez, J. (2017). *Inundaciones costeras en Cuba y sus tendencias climáticas*. La Habana: CITMATEL
- Mitrani, I., Pérez, R., García, O., Salas, I., Juantorena, J., Ballester, M., Beauballet, P., Pérez, A. L., & Rodríguez, C. (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*, 7(1): 45-50.
- Moreno, A. (1998). *Desarrollo de las Técnicas de Predicción de las Inundaciones Costeras, Prevención y Reducción de su Acción Destructiva*. Informe Final del Proyecto Cuba 94/003, no. Proyecto Cuba 94/003, La Habana: Instituto de Meteorología
- Ñañez, E. (2003). Cambio climático y océanos, desafío para el siglo XXI. *Umbral Científico*, 3: 25-41.
- Pérez, R. (2013). *Cronología de los huracanes de Cuba*. Reporte de Investigación, La Habana: Instituto de Meteorología.
- Prieto, R., & Oropeza, F. (2007). *Estudio para el desarrollo de nuevas herramientas para el Sistema de Alerta Temprana de Ciclones Tropicales*. Informe final del Proyecto TH0767.3, Mexico: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Regueira, V. A., & Barcia, S. (2019). Cronología de inundaciones costeras por penetración del mar, en la provincia Cienfuegos. *Revista Cubana de Meteorología*, 25(0).
- Rodríguez, R. A., Córdoba, E. A., Franco, J. A. & Rueda, A. (2009). La Erosión de las playas del litoral de Holguín, Cuba. *Ciencias Holguín*, 15(1)
- Roy, Ch., & Kovordanyi, R. (2012). Tropical cyclone track forecasting techniques: A review, *Atmospheric research*, (104-105): 40-69,
- Sievers, K., & Raible, C. C. (2000). Self-adapting analog ensemble predictions of tropical cyclone tracks. *Wea. and Forecast*, 15(5): 623-629.
- Sneyers, R. (1990). *On the statistical analysis of series of observation*. Geneva: World Meteorological Organization.

Leodany Pérez Peña. Grupo de Pronóstico y Meteorología Marina. Centro Meteorológico Provincial de Holguín, Holguín, Cuba.

Axel Hidalgo Mayo. Grupo de Meteorología Aplicada. Centro Meteorológico Provincial de Holguín, Holguín, Cuba. E-mail: axel.hidalgom@gmail.com

Nathali Valderá Figueredo. Departamento de Pronóstico, Instituto de Meteorología, La Habana 10400, Cuba E-mail: nathali.valdera@insmet.cu

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses

Contribución de autores: **Concepción de la idea:** Axel Hidalgo Mayo y Nathali Valderá Figueredo. **Manejo de los datos:** Leodany Pérez Peña. **Análisis de los datos:** Leodany Pérez Peña, Axel Hidalgo Mayo y Nathali Valderá Figueredo. **Investigación:** Leodany Pérez Peña. **Metodología:** Leodany Pérez Peña, Nathali Valderá Figueredo y Axel Hidalgo Mayo. **Software:** Leodany Pérez Peña. **Supervisión:** Nathali Valderá y Axel Hidalgo Mayo. **Validación de los resultados:** Leodany Pérez Peña, Axel Hidalgo Mayo y Nathali Valderá Figueredo.

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/)