

TÍTULO: CRONOLOGÍA Y CLASIFICACIÓN DE LAS INUNDACIONES COSTERAS EN CUBA.

Autores: MSc. Axel Hidalgo Mayo¹, DraC. Ida Mitrani Arenal² y MSc. Graciela Pérez Rivas³.

¹ Centro Meteorológico Provincial de Holguín, Calle 18 esq. Maceo, Reparto El Llano, Holguín, Cuba, axel.hidalgo@hlg.insmet.cu

² Instituto de Meteorología, Loma de Casablanca s/n, La Habana, Cuba, ida.mitrani@insmet.cu

³ Centro Meteorológico Provincial de Holguín, Calle 18 esq. Maceo, Reparto El Llano, Holguín, Cuba, graciela.perez@hlg.insmet.cu

Resumen

Se presenta la cronología y nueva clasificación de las inundaciones costeras para el archipiélago cubano atendiendo a los sistemas meteorológicos que las generaron, las particularidades de los mismos y las características físico- geográfica de región que afectan. Como fuentes de información se utilizaron encuestas a pobladores de zonas costeras y reportes de prensa, así como los archivos del Instituto de Meteorología, el Centro Nacional de Huracanes en Miami y los reanálisis NCEP/NCAR. Se concluye que las inundaciones costeras en Cuba son producto de la afectación de los ciclones tropicales, frentes fríos, eventos "Sures" y la combinación de las bajas extratropicales y los anticiclones migratorios, siendo las zonas más afectadas el malecón habanero, el golfo de Batabanó y el tramo costero Gibara- Baracoa; mientras que el criterio de clasificación de la magnitud de estos eventos coadyuvará a una mayor percepción del peligro por estos fenómenos meteorológicos extremos por parte de la población. Se recomienda el uso de los resultados en la predicción a nivel local de estos eventos, así como en la elaboración de planes de contingencia y acciones de manejo costero por parte de las autoridades competentes.

Abstract

Chronology and a new classification of the coastal floods for the Cuban archipelago attending the meteorological systems that generated them, its particularities physical-geographical features of the affected area, are presented. As sources of information, surveys were used of coastal people and press reports, as well as the archives of the Institute of Meteorology, the National Hurricane Center in Miami, and NCEP / NCAR reanalysis (National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research) of the NOAA (National Oceanic and Atmosphere Administration). It is concluded that the coastal floods in Cuba are product of the affectation of the tropical hurricanes, cold fronts, "southern" events and the combination of the extratropical low and the migratory high, being the affected fields the Havana mole, the gulf of Batabanó and Gibara- Baracoa littoral; while the approach of classification of the magnitude of these events will produce the increase perception of the hazard for these phenomena meteorological ends on the part of the population. The use of the results is recommended in the local prediction of these events, as well as in the elaboration of contingency plans and actions of coastal handling on the part of the competent authorities.

Introducción

En la actualidad, los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, han presentado un incremento sustancial, tanto en frecuencia como en intensidad, en diferentes regiones del planeta, lo que ha provocado pérdidas de vidas humanas, así como múltiples daños materiales y de infraestructura provocando consecuencias económicas adversas en un sinnúmero de países (OMM, 2015).

La variabilidad y el cambio climático han incrementado la tendencia de los peligros naturales desde inicios del siglo XXI, destacándose las inundaciones costeras en los pequeños estados insulares, fundamentalmente al paso de ciclones tropicales, los que se han visto afectados, además, por el retroceso de la línea costera producto del ascenso del nivel del mar a partir del calentamiento global actual (Stocker et. al., 2013).

Uno de los fenómenos meteorológicos de mayor peligro para las comunidades que viven cercanas al mar son precisamente las inundaciones costeras, las cuales ocurren cuando se genera una considerable sobreelevación del nivel del mar producto de la influencia de eventos sísmicos, volcánicos o meteorológicos. En la presente investigación solo se tendrá en cuenta la última de estas causas, ya que no se tienen testimonios de la ocurrencia de tsunamis en las costas cubanas (Mitrani et. al., 2012).

No obstante, la sobreelevación del nivel del mar capaz de producir inundaciones costeras por penetraciones del mar depende del sistema meteorológico que las genera y su movimiento respecto a la línea de la costa, así como a las características físico-geográficas (batimetría y pendiente del terreno) del área afectada.

En Cuba desde finales del siglo XX, se han realizado varias investigaciones sobre esta temática, destacándose los trabajos de (Moreno, 1998; Mitrani et. al., 2000; Pérez, et. al., 2001; Hernández, Vega y Casals, 2002; Hidalgo y Mitrani, 2012; Mitrani et al., 2012; Hidalgo y Mitrani, 2015 y Mitrani et al., 2016); sin embargo, las mismas no abarcan la totalidad de los tramos costeros cubanos, lo que imposibilita determinar la intensidad de las inundaciones costeras en los mismos.

Los datos históricos de los eventos de inundación costera referidos al alcance, duración e intensidad para un lugar determinado son un componente fundamental a la hora de cuantificar los daños y las pérdidas. Toda esta información acumulada en el tiempo, proporciona una base en la evaluación *a posteriori* del riesgo ante este tipo de fenómeno (OMM, 2015).

Lo anterior conduce a que el objetivo de la presente investigación radique en establecer una nueva clasificación de las inundaciones costeras para cada uno de los tramos costeros cubanos, atendiendo a los sistemas meteorológicos que las generan y las particularidades de los mismos.

Materiales y Métodos

Debido a la falta de información relacionada con las particularidades de los eventos de inundación costera y del clima marino en Cuba, se hizo necesario recurrir a otras fuentes de información como es el caso de los testimonios de pobladores de zonas cercanas al mar, así como de reportes de prensa y archivos locales (iglesias y registros de la Defensa Civil).

Por su parte, para obtener la evolución y características de las situaciones sinópticas que generaron dichos eventos se utilizaron los registros de los Centros Meteorológicos Provinciales, los datos climáticos de las estaciones costeras cubanas, los mapas sinópticos y los Estados Generales del Tiempo (EGT), disponibles en los archivos del Instituto de Meteorología de la República de Cuba (Insmet), así como los reanálisis del NCEP/NCAR (*National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research*) a través del sitio web <http://www.esrl.noaa.gov>.

Además, se consultaron los archivos del Centro Nacional de Huracanes con sede en Miami, Estados Unidos (<http://www.nhc.noaa.gov/data>) para determinar los ciclones tropicales que presentaron un movimiento cercano a la zona costera que estuviera estudiando. Por su parte, la tipificación de los patrones sinópticos se realizó atendiendo a las trayectorias típicas de los sistemas sinópticos, la magnitud del evento y la época del año.

Resultados y Discusión

Fenómenos meteorológicos que generan inundaciones costeras en Cuba

En Cuba los sistemas meteorológicos que generan inundaciones costeras son los: ciclones tropicales (para todo el país), frentes fríos (costa norte de la región occidental y central), eventos “Sures” (golfo de Batabanó) y la combinación de las altas presiones migratorias con las bajas extratropicales (costa norte de la región oriental), fundamentalmente, en presencia del evento El Niño- Oscilación del Sur.

Aunque estos tres últimos fenómenos forman parte de la evolución sinóptica de los sistemas sinópticos extratropicales que afectan a Cuba (trayectoria de las bajas extratropicales en el flujo del oeste desde el centro de los Estados Unidos hasta el océano Atlántico), la estratificación de los mismos obedece a las diferencias en la intensidad y dirección del viento, lo que conlleva a regímenes de olas totalmente heterogéneos.

Los sistemas meteorológicos que generan inundaciones costeras en Cuba son los ciclones tropicales, los sistemas frontales, los eventos “Sures” y la combinación de los anticiclones migratorios con las bajas extratropicales.

Tabla 1. Tipos de situaciones sinópticas que generan inundaciones costeras en Cuba.

Tramo Costero	Situación Sinóptica	Período
Cabo San Antonio- Península de Hicacos	Sistemas Frontales	Nov.-Abr.
	Ciclones Tropicales	Jun.-Nov.
Península de Hicacos- Punta Maternillo	Ciclones Tropicales	Jun.-Nov.
Punta Maternillo- Punta Maisí	Combinación entre de bajas extratropicales y anticiclones migratorios (Gibara- Baracoa).	Oct.-Mar.
	Ciclones Tropicales	Jun.-Nov.
Desde Punta Maisí hasta Golfo de Cazones	Ciclones Tropicales	Jun.-Nov.
Golfo de Cazones hasta Cabo Francés (golfo de Batabanó)	Eventos “Sures”	Feb.-Abr.
	Ciclones Tropicales	Jun.-Nov.
Cabo Francés- Cabo San Antonio y Sur del Archipiélago de los Canarreos e Isla de la Juventud	Ciclones Tropicales	Jun.-Nov.

A continuación se presentan los patrones sinópticos de los sistemas meteorológicos que generan inundaciones costeras en Cuba en el período poco lluvioso, ocurriendo con mayor frecuencia los frentes fríos de noviembre- abril, los “Sures” de febrero- abril y la combinación de los anticiclones migratorios y las bajas extratropicales entre octubre y marzo.

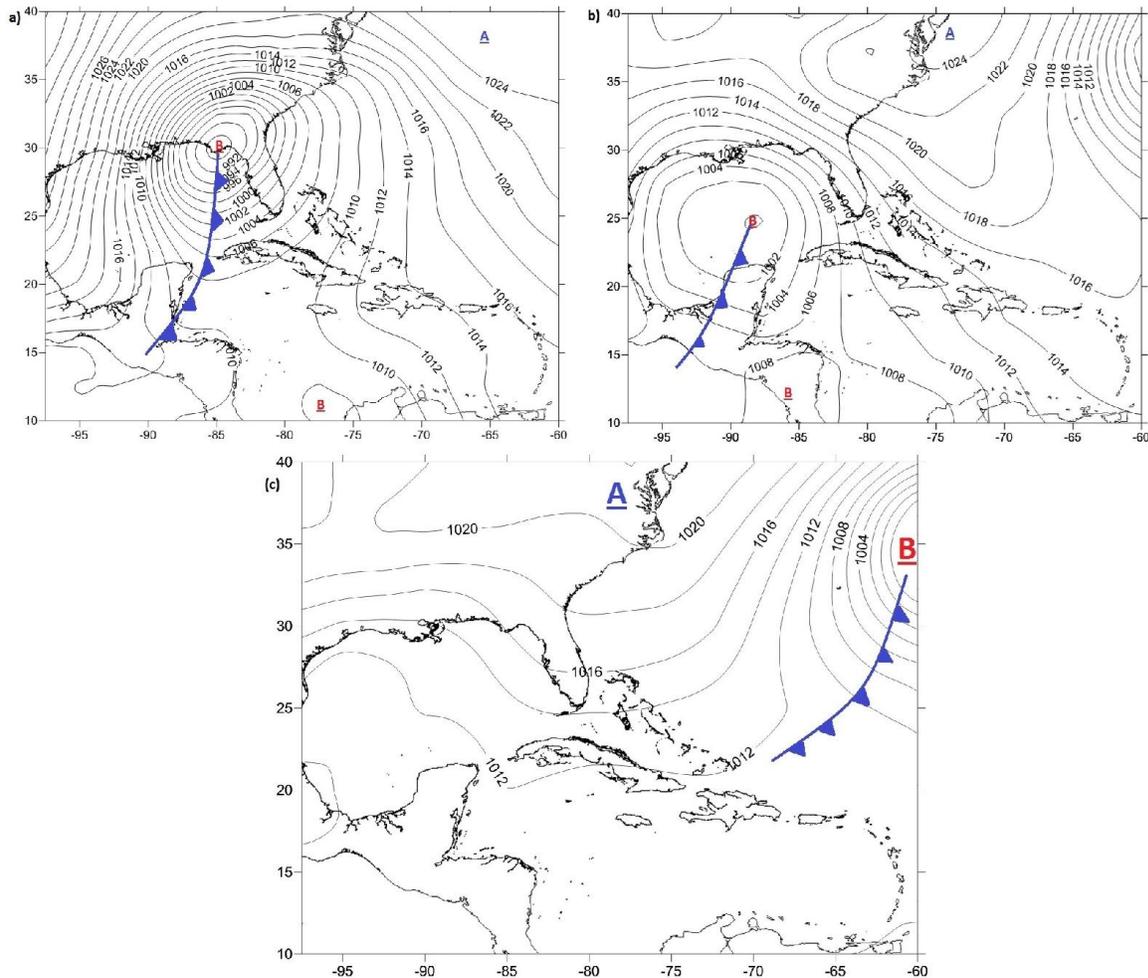


Figura 1. Patrones sinópticos típicos en el nivel de superficie de los sistemas meteorológicos extratropicales que generan inundaciones costeras en Cuba en el período poco lluvioso. Frente frío afectando el litoral norte de la región occidental y central (a), vientos de región sur (“Sures”) sobre el golfo de Batabanó (b) y trenes de olas de dirección NNE-ESE producto de la combinación de las bajas extratropicales y los anticiclones migratorios en el tramo costero Gibara-Baracoa (c).

En sentido general, la frecuencia y magnitud de estos eventos en Cuba está modulada por la variabilidad interanual y multianual que presentan los sistemas frontales y los ciclones tropicales que afectan al territorio cubano (Mitrani et. al., 2012 e Hidalgo y Mitrani, 2015)

Caracterización general del archipiélago cubano

En las costas de Cuba la formación y desarrollo del oleaje en régimen habitual está conformado básicamente por la influencia del anticiclón subtropical de las Azores-Bermudas, que genera vientos de componente E conocidos como “Alisios”. La velocidad promedio mensual del viento, para las estaciones costeras cubanas referidas al período 1979-2008, alcanza el valor máximo en Cabo Lucrecia y el mínimo en Cabo San Antonio con magnitudes de 15.8 km/h y 10.3 km/h respectivamente, lo que conlleva que habitualmente la fuerza del mar según la escala Douglas sea inferior a 4 (1.25-2.5m).

La profundidad promedio de la plataforma insular cubana varía entre 6-10 m, pero en algunos lugares alcanza entre 20-25 m, mientras que en el borde llega a unos 20-40 m y es poco frecuente que alcance los 50 m (Instituto Cubano de Hidrografía, 1989).

En los tramos costeros cubanos predomina la sobreelevación del nivel del mar por surgencia y arrastre del viento en los tramos costeros de Cabo San Antonio- Punta Gobernadora, Punta Hicacos- Punta Maternillo, Cabo Cruz- Punta María Aguilar y el golfo de Batabanó; mientras que en los restantes predomina el efecto de rompiente de oleaje.

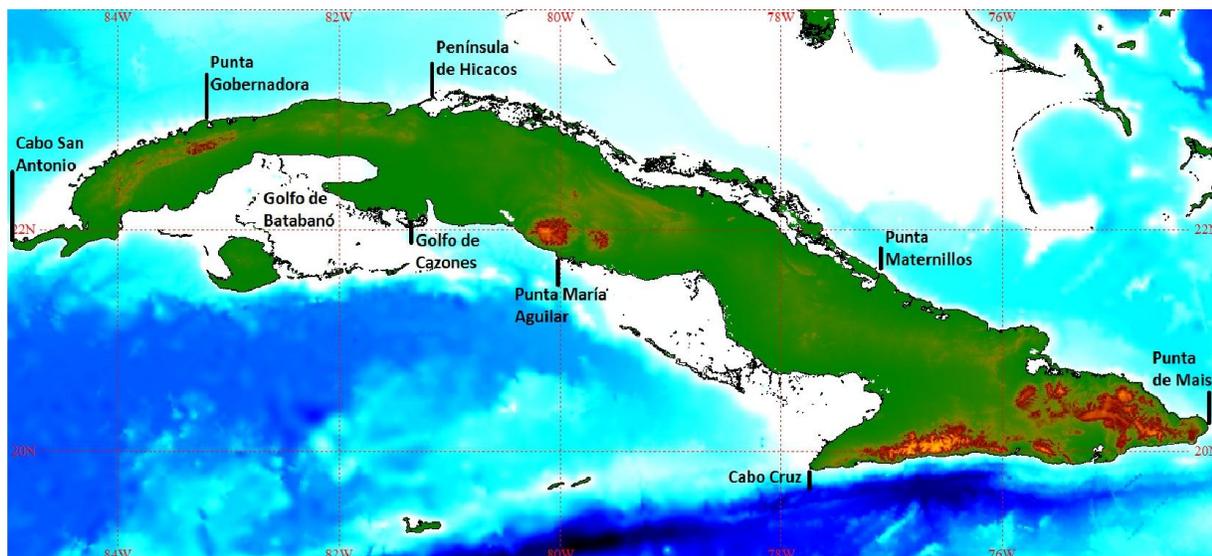


Figura 2. Batimetría de las aguas aledañas a Cuba y tramos costeros cubanos. Elaboración propia a partir de información del Atlas GEBCO (Intergovernmental Oceanographic Commission, International Hydrographic Organization & British Oceanographic Data Center, 2009).

Cabo San Antonio- Punta Gobernadora: Tramo costero en gran parte bajo y cenagoso, litoral acumulativo y cubierto de mangle en el cual no se han reportado inundaciones costeras.

Punta Gobernadora- Península de Hicacos: Presenta una plataforma estrecha con pendientes pronunciadas siendo el rumbo más peligroso el NW, el cual coincide con el fetch máximo (geográfico). Las mayores afectaciones ocurren en el malecón habanero, siendo los eventos más trascendentes los ocurridos durante el Wilma (2005), la Tormenta del Siglo (1993) y los huracanes de 1926 y 1944.

Península de Hicacos- Punta Maternillo: Presenta una plataforma relativamente ancha, la cual se encuentra protegida por el Archipiélago Sabana- Camagüey de los vientos del NW-NNE. Los mayores eventos de inundación han ocurrido en Isabela de Sagua, Cayo del Cristo y Caibarién, fundamentalmente, al paso de los huracanes de Sagua y Cárdenas (1933), Kate (1985) e Irma (2017).

Punta Maternillo- Punta Maisí: Tramo costero con presencia de una plataforma estrecha abierto a los vientos del primer cuadrante. Las mayores inundaciones costeras ocurrieron al paso del huracán Ike (2008) en las ciudades de Baracoa y Gibara, ocurriendo un evento moderada o fuerte cada siete años (Hidalgo y Mitrani, 2015).

Punta Maisí- Cabo Cruz: Presenta la plataforma más estrecha del territorio cubano, la cual es abierta a los vientos del segundo y tercer cuadrante. Los mayores episodios de inundación ocurrieron en poblados de Pílon y Playa Siboney, fundamentalmente, al paso de los huracanes Dennis (2005) y Sandy (2012).

Cabo Cruz- Punta María Aguilar: Tramo costero que presenta una plataforma insular muy ancha con predominio de fondos bajos. Los principales asentamientos costeros afectados son Santa Cruz del Sur y Guayabal, siendo los eventos más fuertes los ocurridos al paso de los huracanes de 1932 y Paloma (2008).

Punta María Aguilar- Golfo de Cazones: Costa alta, rocosa y acantilada que presenta una plataforma insular estrecha abierta a los vientos del segundo y tercer cuadrantes. Las mayores afectaciones se registraron en el poblado de Casilda y en la ciudad de Cienfuegos al paso del huracán Dennis (2005).

Golfo de Batabanó: Presenta una plataforma ancha, con fondo regular y pendientes muy suaves, que favorecen las alteraciones del nivel medio del mar por efecto de arrastre del viento y surgencia ciclónica. Los lugares más expuestos son: playa Rosario, Surgidero de Batabanó, playa Cajío, Guanímar y playa Majana, destacándose las afectaciones de los huracanes de 1944, Wilma (2005), Charley (2004), Gustav (2008) y Ike (2008).

Golfo de Cazones- Cabo San Antonio (no incluye en golfo de Batabanó): Predomina una plataforma estrecha y acantilada abierta a los vientos del segundo y tercer cuadrante. El asentamiento costero de La Coloma es el más afectado por estos eventos, destacándose los episodios de inundación ocurridos al paso de los huracanes Iván (2004) y Gustav (2008).

En resumen, los tramos costeros donde ocurren con mayor frecuencia las inundaciones costeras en Cuba son el malecón habanero, el golfo de Batabanó y el tramo costero Gibara- Baracoa; aunque las mayores afectaciones (alcance de la inundación tierra adentro) han ocurrido en el golfo de Batabanó y en el tramo costero Cabo Cruz- Punta María Aguilar, dado por su plataforma insular ancha y pendiente suave de los mismos.

Nueva clasificación de las inundaciones costeras en Cuba

Aunque a nivel nacional se cuenta con una clasificación para las inundaciones costeras (solo para costas de pendiente abrupta) en Cuba (Insmet, 2015). Sin embargo, atendiendo a la heterogeneidad de los tramos costeros cubanos, referidos a las características físico- geográficas y la frecuencia y magnitud de los eventos de inundación, no es útil establecer una clasificación única para estos fenómenos en el archipiélago cubano; sin embargo, los autores son del criterio que sería de gran utilidad establecer un criterio único para la estratificación de las inundaciones costeras en Cuba.

Para la clasificación se utilizó el siguiente criterio: se ordenaron los eventos de inundación en orden descendente de acuerdo al alcance tierra adentro, a partir de esta distribución se determinaron tres intensidades: Ligeras (los inferiores a la tercera parte de los casos), Moderadas (los mayores o iguales a la tercera parte de los casos y a su vez inferiores a las dos terceras partes de los mismos) y Fuertes (los mayores o iguales a las dos terceras partes de los casos).

Este criterio de clasificación permitirá una mayor percepción del peligro por estos fenómenos meteorológicos peligrosos por parte de la población, debido a que la frecuencia y magnitud de estos eventos no se comporta de igual manera para los diferentes tramos costeros del archipiélago cubano.

Este tipo de clasificación es lo que define (Organización Meteorológica Mundial, 2011) como tablas de contingencia, las cuales combinan descriptores cualitativos (magnitud de la inundación) y datos cuantitativos (alcance horizontal y vertical del agua de mar tierra adentro) los que permiten llegar a relaciones importantes, especialmente en presencia de grandes volúmenes de información como en este caso.

Luego de analizar cada una de las clasificaciones por provincias, las cuales se obtuvieron en el marco del proyecto "Procedimiento para la ejecución y uso de las observaciones del estado de la superficie marina

desde estaciones costeras, en la predicción del oleaje e inundaciones costeras en territorio cubano” (2015-2016), desarrollado dentro del Programa “Meteorología y Desarrollo Sostenible del País”, se pudieron agrupar en cuatro tipos como se muestra a continuación:

- **Grupo 1:** Costa sur (CS) de las provincias de Artemisa, Mayabeque y Camagüey.
- **Grupo 2:** CS de Pinar del Río, costa norte (CN) de Artemisa y Mayabeque, Isla de la Juventud, Cienfuegos, Villa Clara, CN y CS de Sancti Spíritus, CS de Las Tunas, Holguín y CS de Guantánamo.
- **Grupo 3:** CN y CS de Matanzas, CN de las provincias Camagüey, Las Tunas, Granma y Guantánamo.
- **Grupo 4:** CN y CS de Ciego de Ávila y CS de Santiago de Cuba.

Tabla 2. Nueva clasificación de las inundaciones costeras en Cuba según el alcance horizontal del agua de mar tierra adentro.

Clasificación	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Ligeras	0 – 500 m	0 – 250 m	0 – 100 m	0 – 50 m
Moderadas	501 – 1000 m	251 – 500 m	101 – 200 m	51 – 100 m
Fuertes	> 1000 m	> 500 m	> 200 m	> 100 m

Las diferencias en la clasificación de los tramos costeros cubanos, obedecen a la profundidad del fondo marino y la pendiente del terreno de los mismos, así como a la sobreelevación del nivel del mar por causas meteorológicas que generan los sistemas meteorológicos que los afectan.

Para los casos del malecón habanero y de Baracoa la clasificación fue convenida por el alcance hasta determinadas calles de estas dos ciudades (Pérez et. al., 2001 y Hernández, Vega y Casals, 2002).

Conclusiones

En el archipiélago cubano, las inundaciones costeras son producto de la afectación de los ciclones tropicales (todo el país), frentes fríos (costa norte de la región occidental y central), eventos “Sures” (golfo de Batabanó) y la combinación de las bajas extratropicales y los anticiclones migratorios (costa norte de la región oriental), siendo los tramos costeros donde ocurren con mayor frecuencia estos eventos el malecón habanero, el golfo de Batabanó y el tramo costero Gibara- Baracoa.

La nueva clasificación de los eventos de inundación en las costas de Cuba, de acuerdo al alcance tierra adentro permitió establecer cuatro grupos, los cuales están determinados a partir de la profundidad del fondo marino y la pendiente del terreno, así como de la sobreelevación del nivel del mar por causas meteorológicas. Todo ello coadyuvará a una mayor percepción del peligro por estos fenómenos meteorológicos peligrosos por parte de la población, así como en la elaboración de planes de contingencia y acciones de manejo costero para cada uno de los tramos costeros cubanos.

Agradecimientos

Se agradece a la dirección del Instituto de Meteorología y al Programa “Meteorología y Desarrollo Sostenible del País” por permitirnos desarrollar el Proyecto “Procedimiento para la ejecución y uso de las observaciones del estado de la superficie marina desde estaciones costeras, en la predicción del oleaje e inundaciones costeras en territorio cubano” (2015-2016), en el marco del cual se obtuvieron los resultados que se presentan en este artículo científico, así como a cada uno de los compañeros que formaron parte del mencionado proyecto.

Referencias Bibliográficas

1. Hernández, N.; Vega, R. & Casals, R. (2002). Estudio de los Sistemas Meteorológicos que han afectado a Baracoa por penetraciones del mar e inundaciones costeras. *Revista Cubana de Meteorología*, 9(2): 58-68.
2. Hidalgo, A. & Mitrani, I. (2012). Particularidades hidrometeorológicas del litoral Gibara-Playa Guardalavaca. *Revista Cubana de Meteorología*, 18(2), 152-163.
3. 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, ISSN: 1578-8768.
4. Insmet (2015). *Manual de Procedimiento Operativo Centro de Meteorología Marina*. La Habana: Instituto de Meteorología.
5. Instituto Cubano de Hidrografía (1989). *Derrotero de las costas de Cuba. Región Marítima del Norte*. (Vol. 1). La Habana: Editorial Científico- Técnica.
6. Intergovernmental Oceanographic Commission, International Hydrographic Organization & British Oceanographic Data Center. 2009. *GEBCO Digital Atlas*. Version 2.12, [Windows System], Liverpool, United Kingdom, Disponible en: https://www.bodc.ac.uk/resources/help_and_hints/software_updates/documents/gda_v2.12_software.zip [Consultado: Marzo 18, 2014]
7. 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.
8. Mitrani, I.; Hernández, I.; García, E.; Hidalgo, A.; Díaz, O. O.; Vichot, A. & Rodríguez, J. A. (2016). The Coastal Flood Regime around Cuba, the Thermohaline Structure Influence and Its Climate Tendencies". *Environment and Ecology Research*, 4(2):, 37-49. DOI: 10.13189/eer.2016.040201
9. 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.
10. 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.
11. OMM (2015). *Directrices de la OMM sobre servicios de predicción y aviso multirriesgos que tienen en cuenta los impactos*. Ginebra: Organización Meteorológica Mundial.
12. Organización Meteorológica Mundial (2011). *Guía de Prácticas Climatológicas*. 3rd ed., Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial. Disponible: http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/wmo_100_es.pdf, [Consultado: May 22, 2013]
13. Pérez, P. J.; Casals, R.; del Sol, A. & Díaz, L. (2001). Análisis de los fenómenos meteorológicos que provocaron penetraciones del mar en el malecón habanero. *Revista Cubana de Meteorología*, 8(1), 50-58.
14. Stocker, T.F.; Qin, D.; Plattner, G.K.; Tignor, M.; Allen, S.K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V. & Midgley, P.M. (eds.). (2013). *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press. Disponible en: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL.pdf, [Consultado: Abril 21, 2015]