

Sistema de ingeniería de costas: evaluación del proceso de erosión en la playa Varadero

Dr. Ing. Luis F. Córdova López, e-mail: cordova@tesla.cujae.edu.cu
Ing. Grethel Salgueiro Melis, e-mail: gsalgueiro@cih.cujae.edu.cu
Ing. Roberto Lamazares González, e-mail: rlamazares@cih.cujae.edu.cu
Ing. Ana Gabriela Díaz Garrote, e-mail: agarrote@cih.cujae.edu.cu
Centro de Investigaciones Hidráulicas.
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), Habana.

RESUMEN

En la actualidad la aplicación de modelos matemáticos para la simulación de los fenómenos del medio costero y marítimo es práctica común debido a su gran desarrollo. El grupo de Ingeniería Costera y Marítima del Centro de Investigaciones Hidráulicas está desarrollando un Sistema de Ingeniería Costera que incluye un grupo de modelos matemáticos sobre Linux (código libre) para generación y propagación de oleaje, cambios morfológicos y generación de campos de viento de huracanes seleccionados. En este trabajo se presentan los resultados de la aplicación del Sistema a través de la evaluación del proceso de erosión durante la ocurrencia de tres huracanes de trayectoria diferente y de conocido efecto destructivo en la playa de Varadero, Cuba.

Palabras clave: ingeniería costera, modelo matemático, erosión de playa.

Coastal engineering system: evaluation of the erosion process in Varadero beach

ABSTRACT

At present application of mathematical models to simulate coastal and maritime phenomena is already common practice due to the useful results they can provide. The group of Coastal and Marine Engineering of the Centro de Investigaciones Hidráulicas, in the frame of Megacostas project II, is developing a Coastal Engineering System including a group of mathematical models (free code) on Linux system for the generation, propagation of the wave and morphological changes and a parametric model of winds for the generation of wind fields resulting from selected hurricanes. In this work the results of the application of the System are presented through the evaluation of the erosion process during the occurrence of three hurricanes of different trajectory with well-known destructive effect in Varadero beach, Cuba.

Keywords: coastal engineering, mathematical model, beach erosion.

INTRODUCCIÓN

La Isla de Cuba, es la más grande de las Antillas Mayores, se localiza entre los $74^{\circ}07'$ y $84^{\circ}58'$ Oeste, y entre los $19^{\circ}49'$ y $23^{\circ}18'$ Norte, en la zona tropical del Atlántico Norte y en la vecindad de la gran masa continental americana. Es afectada anualmente por numerosos eventos climatológicos, como los frentes fríos, las bajas extra tropicales y las tormentas tropicales, que han provocado severos daños en las zonas costeras. De ahí la necesidad de pronosticar los cambios físicos de las costas, así como la determinación de las zonas críticas de las playas de arena destinadas al turismo. El objetivo principal de esta investigación es la evaluación del proceso de erosión de la playa Varadero situada en la península de Hicacos a partir de diferentes trayectorias de huracanes que han producido daños de envergadura en la playa mediante la aplicación de un tren de modelos matemáticos denominado Sistema de Ingeniería Costera y Marítima (SICOM).

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

La playa Varadero se encuentra en el extremo más septentrional de la Isla, ocupa la parte norte de la península de Hicacos, situada en la costa noroeste de Cuba a unos 130 km al este de la ciudad de La Habana y 32 km de la ciudad de Matanzas. La península presenta una longitud de 22 km, ancho máximo de 500 metros y con una proyección de 70° de acimut (SW – NE). La península de Hicacos ha sido descrita como la barrera natural que separa los bajos fondos de la bahía de Cárdenas de las aguas del Estrecho de la Florida. Sus 22 km de playa se caracterizan por tener una franja de fina arena blanca y un suave descenso de su plataforma hacia el mar. (Córdova y Torres 2008), (Izquierdo 2004), (Torres 2007), (Van Bentum et al. 2010), Córdova y Valdés 2011).

Perfiles de playa

Para la realización de la investigación se trabaja con los datos de perfiles medidos en el mes de marzo del año 2001 por el Instituto de Oceanología de Cuba. En la figura 1 se pueden observar los perfiles seleccionados para caracterizar toda la zona de playa.

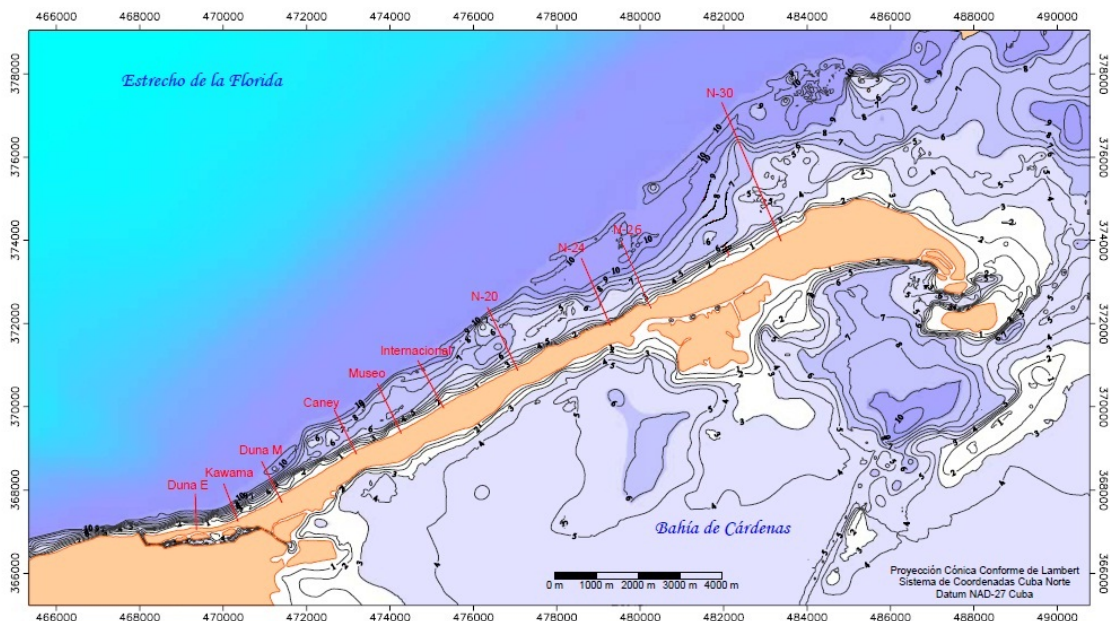


Figura 1. Localización de los perfiles seleccionados (fuente: Izquierdo 2004)

Batimetría

Se observa en la figura 1 que la batimetría de Varadero se caracteriza por ser prácticamente recta y paralela a la línea de costa. Se destaca que a medida que se recorre la península de Hicacos (occidente-oriental), la pendiente submarina se caracteriza por ser ligeramente suave con tendencia decreciente (Izquierdo 2004).

Sedimentología

Se considera que la arena predominante de la playa de Varadero está conformada por el fragmento de 0,25 – 0,5 mm y el diámetro medio del grano se puede considerar igual a 0,26 mm (arena nativa). Su fuente principal son las algas *Halimeda* con una producción estimada de 10 kg/m²/año (Fernández 2010).

Niveles del mar

El rango de la marea en la península es aproximadamente de 0,5 m y la velocidad de la marea puede variar entre 0,10 y 0,37 m/s (Córdova y Torres 2008).

FENÓMENOS METEOROLÓGICOS SELECCIONADOS PARA LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO

Huracán Michelle: Del 29 de octubre al 6 de noviembre del 2001. Depresión tropical número 15 del año 2001. Su entrada en la isla de Cuba ocurrió aproximadamente a las 6 de la tarde del 4 de noviembre. La velocidad promedio del cruce por el territorio cubano fue de 25 km/h, ver figura 2 (Beven 2002).

Huracán Rita: Del 18 al 26 de septiembre del 2005. Depresión tropical número 18 del año 2005. El movimiento medio por los mares al norte de Cuba fue en dirección oeste a 20 km/h, ver figura 2 (Knabb et al. 2006).

Huracán Wilma: Del 15 al 25 de octubre del 2005. Depresión tropical número 24 del año 2005. En las primeras horas de la madrugada del 24 se movió con mayor rapidez (40 km/h) por los mares al norte de las provincias habaneras, ver figura 2 (Pasch et al. 2006).

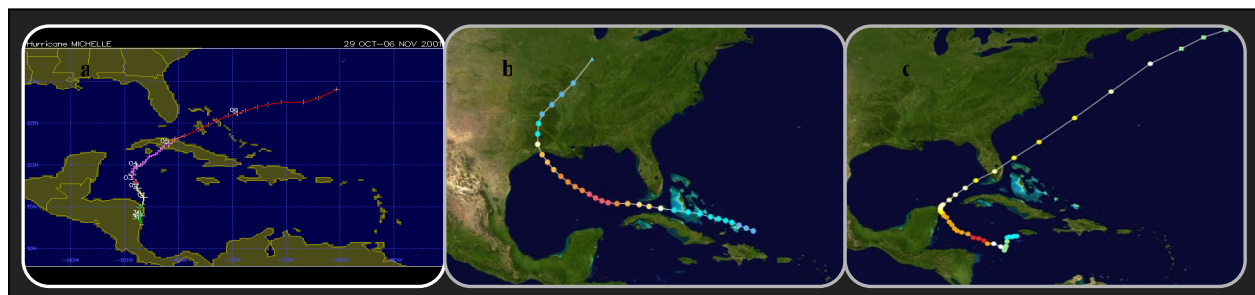


Figura 2. Trayectoria de los huracanes: a) Michelle, b) Rita, c) Wilma

APLICACIÓN DEL SICOM PARA LA DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE EROSIÓN Y RETROCESO DE LA LÍNEA DE COSTA EN LA PLAYA DE VARADERO

Definición de las zonas de estudio

Para la comparación y selección de las zonas en que se desarrolla el estudio en la península de Hicacos se aplica el siguiente criterio: los perfiles deben presentar un comportamiento similar desde el punto de vista batimétrico. En la figura 3 se presentan los perfiles seleccionados.

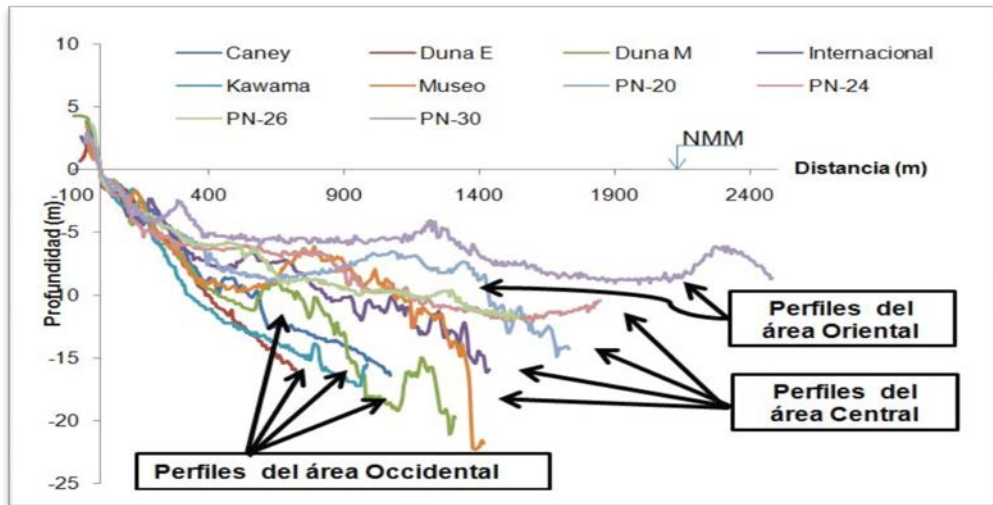


Figura 3. Comparación de los perfiles

Se observa que la batimetría de los perfiles que se encuentran en la zona occidental de la península de Hicacos presentan mayor pendiente submarina en comparación con los perfiles de la zona central y oriental, mostrando cada vez una pendiente más suave hacia el noroeste. En el caso de los perfiles PN-24 y PN-26, se destaca que los mismos se encuentran en el límite entre el sector central y oriental. En función del comportamiento batimétrico mostrado anteriormente, el área de estudio se divide en tres zonas: Oeste, Centro y Este, ver figura 4 y tabla 1.

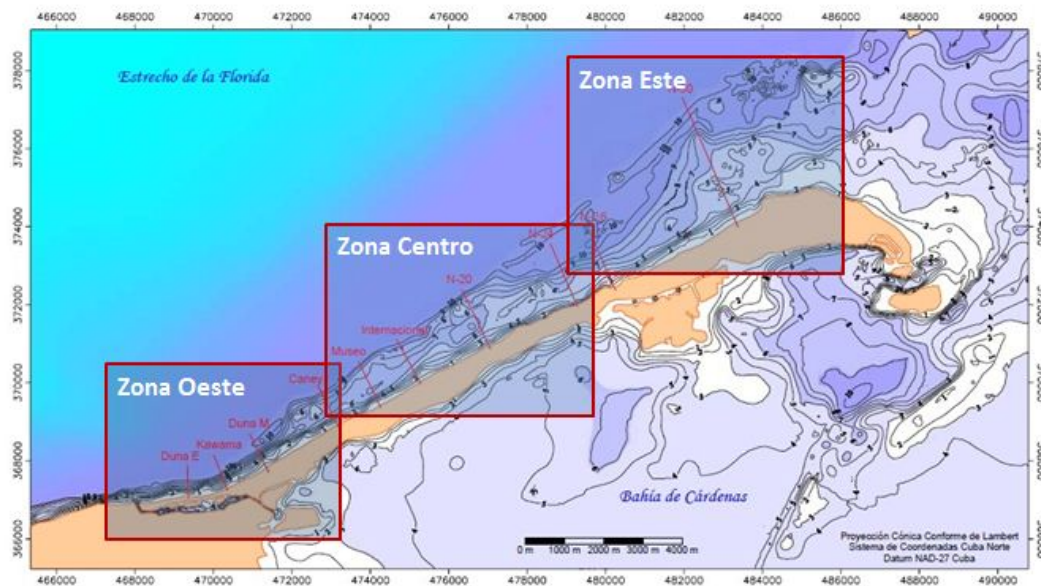


Figura 4. Península de Hicacos dividida en zonas. (fuente: Izquierdo 2004)

Características del oleaje para establecer las condiciones de frontera del modelo Xbeach

El procedimiento consistió en localizar una boya virtual frente a cada zona de estudio, y definir para cada trayectoria de los huracanes seleccionados la condiciones de oleaje. Como se puede observar en los gráficos de la figura 5, los valores de las características del oleaje son similares en las tres boyas para cada evento seleccionado, por lo que se toman las condiciones de oleaje de

la boya virtual que presente los mayores valores. Se denomina Boya V1 en la zona Oeste, Boya V2 zona Centro y Boya V3 zona Este.

Tabla 1. Clasificación de perfiles y breve descripción de las zonas

Zona	Longitud (km)	Perfiles	D ₅₀ (mm)	Estado Modal	Instalaciones que caracterizan a la zona
Oeste	≈ 8	Duna E	0,53	Reflejante	Hotel Oasis Punta Blanca Canal de Paso Malo
		Kawama	0,59		
		Duna M	0,57		
		Caney	0,4		
Centro	≈ 7	Museo	0,33	Barra Canaleta	Hotel Internacional Meliá Varadero Campo de Golf
		Internacional	0,21		
		PN-20	0,33		
		PN-24	0,19		
Este	≈ 6	PN-26	0,33	Reflejante- Barra canaleta	Punta Chapelín Meliá Paradisus
		PN-30	0,33		

Comparación cuantitativa entre las boyas virtuales para los huracanes estudiados

Como se observa en la figura 5 los valores entre las tres boyas no difieren mucho, en cambio la Boya V1 (correspondiente a la zona Oeste) presenta una altura de ola ligeramente mayor que resulta significativa. El período de simulación se selecciona tomando como altura de ola mínima en la rama ascendente y descendente del comportamiento de la altura de ola significativa de un metro, tabla 2.

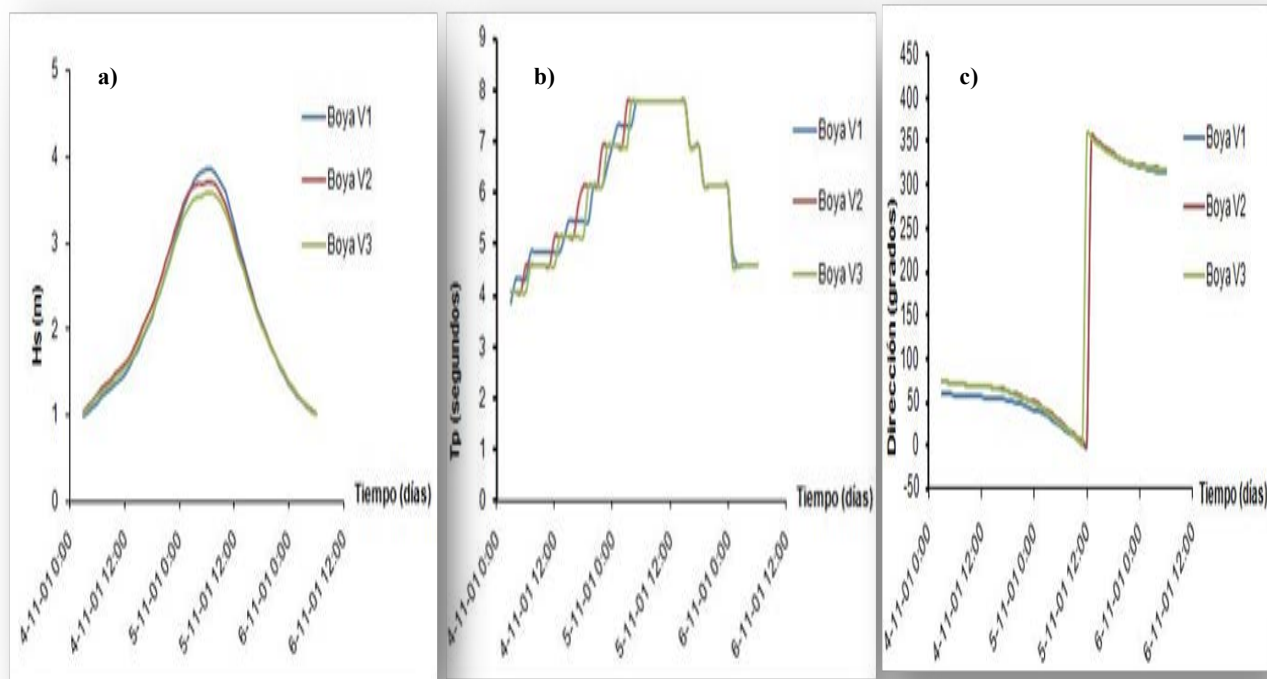


Figura 5. Huracán Michelle: a) Altura de ola significativa, b) Período Pico, c) Dirección del oleaje

Tabla 2. Boya virtual seleccionada para cada trayectoria de huracán

Huracán Michelle	Boya V1 “ Zona Oeste”	Período de simulación desde 4 de noviembre del 2001 a las 0:00 horas hasta 6 de noviembre a las 12:00 UTC.
Huracán Rita	Boya V2 “ Zona Centro”	Período de simulación desde 19 de septiembre del 2005 a las 0:00 horas hasta 25 de septiembre del 2005 a las 0:00 horas UTC.
Huracán Wilma	Boya V2 “ Zona Centro”	Período de simulación desde 24 de octubre del 2005 a las 0:00 horas hasta 26 de octubre del 2005 a las 12:00 horas UTC.

Definición de las variables morfológicas y cálculos estadísticos

Con el objetivo de cuantificar los cambios morfológicos ocurridos durante las simulaciones realizadas con el modelo Xbeach (Roelvink 2010) para las tres trayectorias de huracanes de estudio y perfiles seleccionados, se definen las siguientes variables morfológicas como indicadores de los diferentes procesos: Volumen de erosión, Volumen de acreción, Balance sedimentario y Longitud de retroceso de la línea de costa. El análisis comparativo entre zonas y la definición de los perfiles, en cada una de ellas, con mayores cambios morfológicos se realiza en función de los siguientes valores estadísticos: Valor medio de volumen de erosión, acreción y balance de arena, Valor medio de longitud de retroceso de la línea de costa, Valor máximo y mínimo de volumen de erosión, acreción y balance de arena, Valor máximo y mínimo de longitud de retroceso de la línea de costa.

Condiciones de frontera para la simulación con el modelo Xbeach

El perfil de entrada es equidistante con $dx=5$ metros, para lograr una buena simulación, el tiempo de simulación está regido por la selección del intervalo de simulación de cada huracán, en la tabla 3 se presentan los tiempos de simulación. El modelo Xbeach puede incluir como condición de frontera la variación de niveles del mar debido a la marea astronómica y la surgencia. Así se determina para cada huracán el comportamiento de esta variable, figura 6.

Tabla 3. Tiempo de simulación

Huracán	Duración (segundos)
Michelle	183600 (51 horas)
Rita	367200 (102 horas)
Wilma	151200 (42 horas)

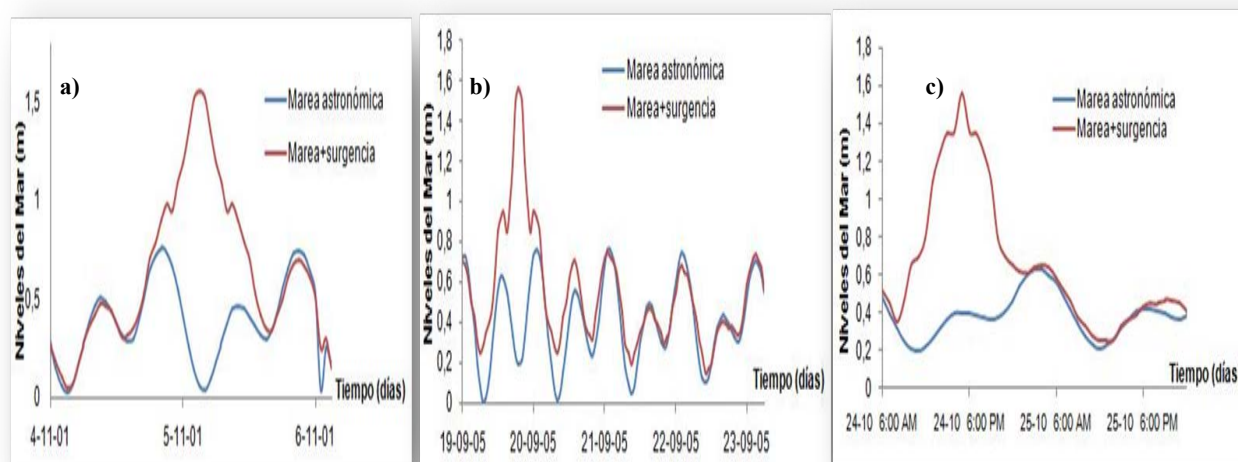


Figura 6. Sobreelevación para el tiempo de simulación:
a) Huracán Michelle, b) Huracán Rita, c) Huracán Wilma

Análisis de los resultados de la simulación con el modelo XBeach

El análisis se realiza para cada trayectoria de huracán estudiado, a través de las variables morfológicas definidas anteriormente y los resultados estadísticos.

Del análisis de las figuras 7 y 8 se concluye que la zona más activa es la zona Centro ante el paso del huracán Michelle, mostrando los valores mayores de erosión y retroceso de la línea de costa.

Huracán Michelle

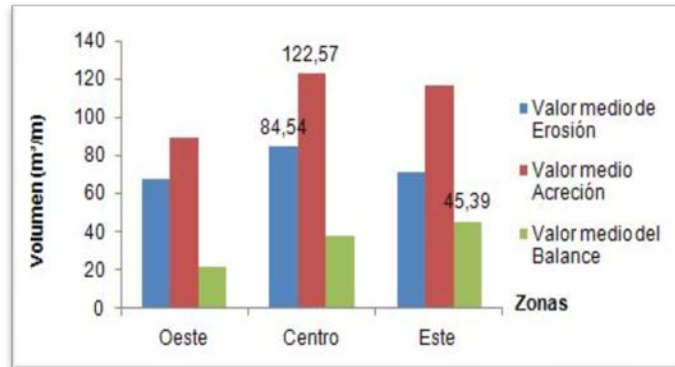


Figura 7. Valor medio de volumen de erosión, acreción y balance de arena

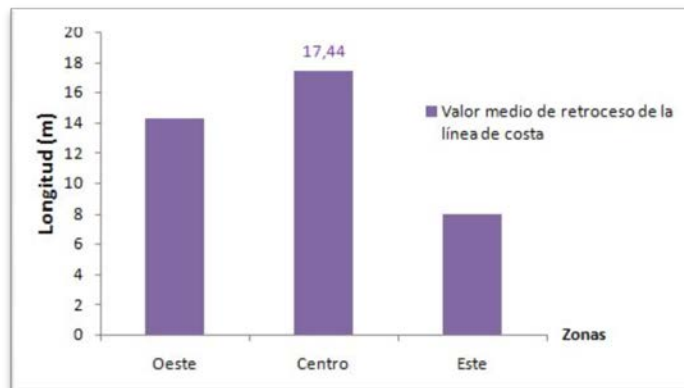


Figura 8. Valor medio de longitud de retroceso de la línea de costa

En el caso de los valores máximo y mínimo de volumen de erosión, acreción y balance de arena, en la figura 9 se observa que el perfil Museo que se encuentra en la zona Central presenta el valor máximo de erosión con un total de $105,75 \text{ m}^3/\text{m}$ y el perfil PN-30 presenta el valor mínimo de volumen de erosión con un total de $50,07 \text{ m}^3/\text{m}$. Estos valores reflejan que esta zona presenta los mayores contrastes.

En la figura 10 se comparan los volúmenes de acreción, se observa que el perfil PN-24 presenta el mayor volumen de acreción con $140 \text{ m}^3/\text{m}$, este perfil se encuentra situado al extremo oriental de la zona Central con tendencia a una mayor acumulación, al igual que el perfil PN-26, el que se encuentra dentro de la zona Este con $127 \text{ m}^3/\text{m}$.

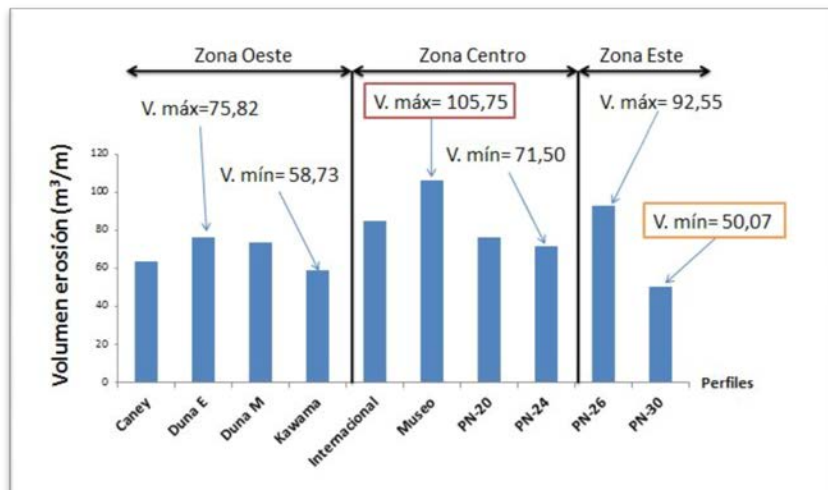


Figura 9. Volúmenes máximos y mínimos de erosión por zona

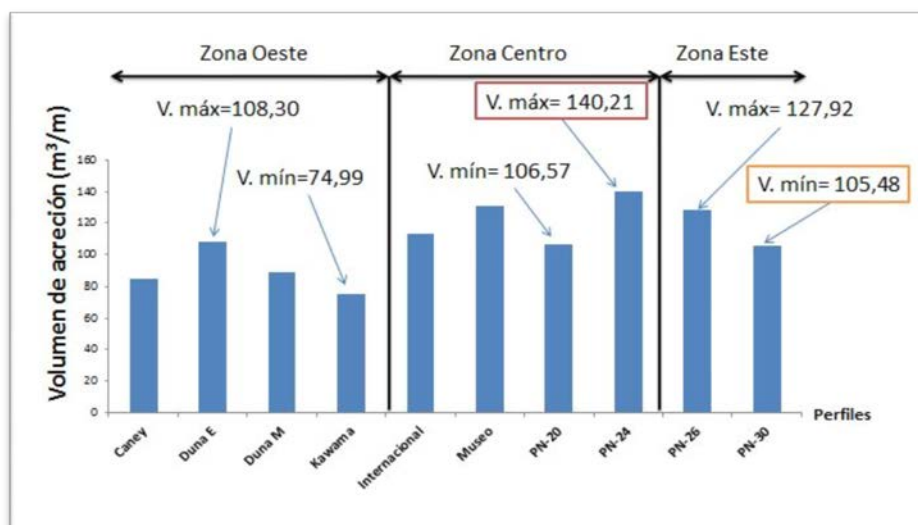


Figura 10. Volúmenes máximos y mínimos de acreción por zona

Como se observa en la figura 11 en todos los perfiles ocurre un aporte de arena al sistema, en el caso del PN-24 se observa el mayor volumen de acreción en comparación con los valores de los demás perfiles. Por otra parte, el perfil Duna M es el que presenta el menor valor de acreción, lo que significa que en esta zona existe un mayor equilibrio entre los fenómenos de erosión y acumulación o acreción. Referente al retroceso de la línea de costa, el mayor retroceso se produce en la zona Central en el perfil PN-24 como se observa en la figura 12

Como conclusión del análisis para la trayectoria del huracán Michelle, se destaca la zona Centro como la zona más activa durante la simulación del huracán Michelle por la península de Hicacos. Dentro de ella se encuentran los perfiles que presentan los valores máximos en cuanto a las variables morfológicas calculadas, estos son: Museo y PN-24. Se determinan los perfiles críticos por zona en función de la longitud de retroceso de la línea de costa, estos son: Zona Oeste perfil Kawama con 25,38 m, Zona Centro perfil PN-24 con 30,26 m y Zona Este perfil PN-26 con 24,52 m.

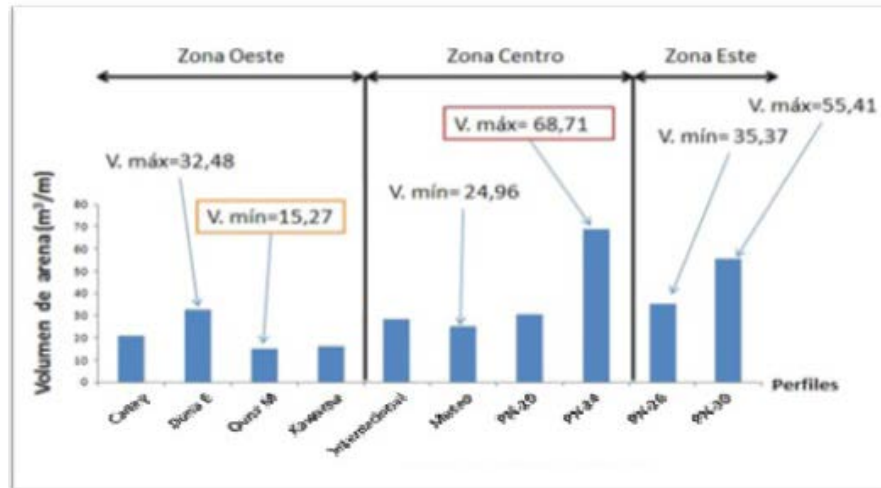


Figura 11. Volúmenes máximos y mínimos de balance de arena

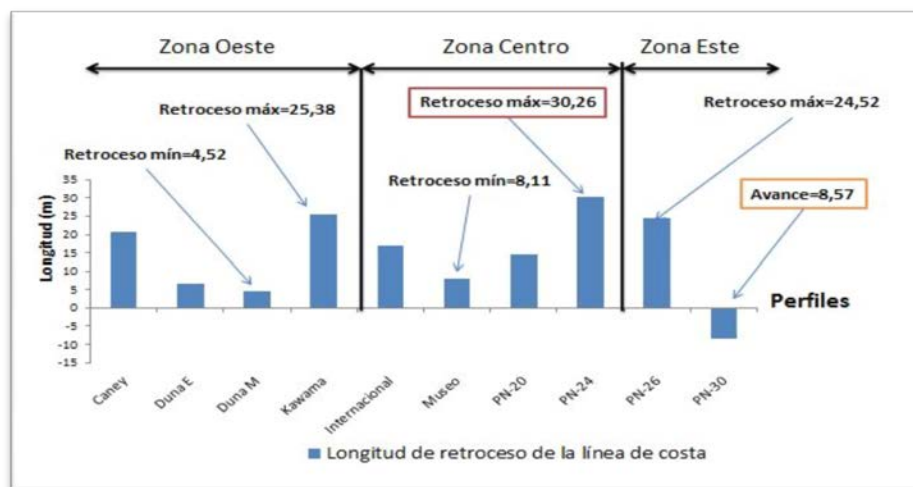


Figura 12. Longitudes máximas y mínimas de retroceso de la línea de costa por zona

En la tabla 4 se muestra un resumen de los perfiles críticos siguiendo la metodología propuesta por Fernández (2010). La denominación de sus columnas: FPS: fenómeno predominante del sistema; L.R.L.C: longitud de retroceso de la línea de costa (m); V_{TE} y V_{TA} : volumen total de erosión y acreción (m^3/m); Z_{ME} y Z_{MA} : zona de mayor erosión y acreción (desde-hasta); V_{ZME} y V_{ZMA} : volumen de la zona de mayor erosión y acreción (m^3/m).

Tabla 4. Resumen de los cambios morfológicos de los perfiles críticos ante el paso del huracán Michelle

Perfiles	FPS	L.R.L.C	V_{TE}	V_{TA}	Z_{ME}	V_{ZME}	Z_{MA}	V_{ZMA}
Kawama	Acreción	25,38	58,73	74,99	0-65	56	105-160	57,84
PN-24	Acreción	30,26	71,5	140,21	0-60	60,33	65-175	131,14
PN-26	Acreción	24,52	92,55	127,92	5-70	84,19	75-195	118,33

Huracán Rita

Luego de la simulación del huracán Rita sobre la península de Hicacos, se manifiesta la zona Centro como la zona que presenta mayor dinámica costera (basado en las figuras 13 y 14).

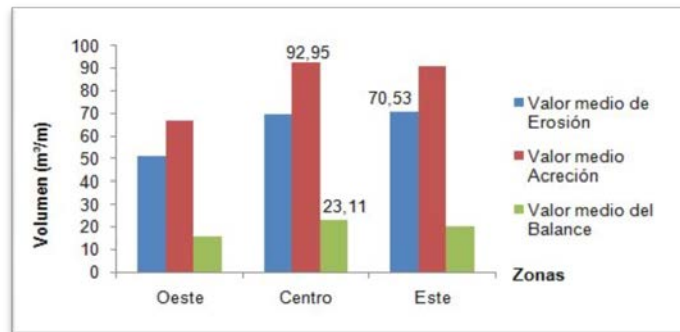


Figura 13. Comparación entre zonas en función de los valores medios de volumen de erosión, acreción y balance de arena

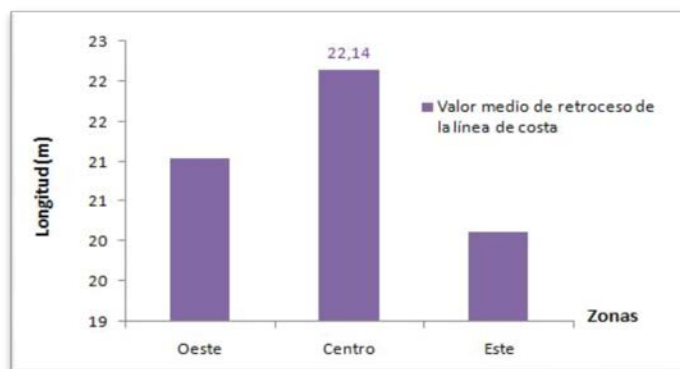


Figura 14. Comparación entre zonas en función de la longitud media de retroceso de la línea de costa

La figura 15 muestra que el valor máximo de volumen de erosión se encuentra en el perfil Museo con un valor de 84,61 m³/m, pero este perfil no se encuentra en la zona que presenta el mayor valor medio de volumen de erosión, como se puede ver en la figura 13. El perfil que presenta menor volumen de erosión es el Kawama de la zona Oeste con un valor de 43,81 m³/m.

En la figura 16 se muestra que el perfil de mayor volumen de acreción, es el PN-26 con un valor de 105,57 m³/m en la zona Este. Se presenta nuevamente la situación donde el perfil que presenta mayor volumen de acreción no se encuentra en la zona que muestra el mayor valor medio de volumen de acreción, ver figura 13. El valor mínimo de volumen de acreción lo presenta el perfil Kawama con un valor de 55,49 m³/m en la zona Oeste.

Por otra parte, el Kawama es el que presenta el menor valor de acreción y de erosión, lo que significa que en esta zona existe un mayor equilibrio entre los fenómenos de erosión y acumulación o acreción.

El PN-24 durante la simulación del huracán Rita se muestra como el perfil de mayor retroceso de la línea de costa situado en la zona Centro. Por otra parte, el perfil que presenta menor retroceso de la línea de costa es el perfil PN-30 de la zona Este con un valor de 10,50 metros.

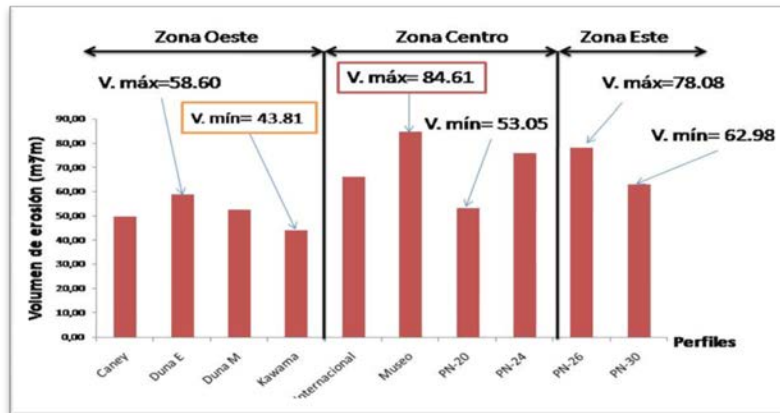


Figura 15. Volúmenes máximos y mínimos de erosión por zona

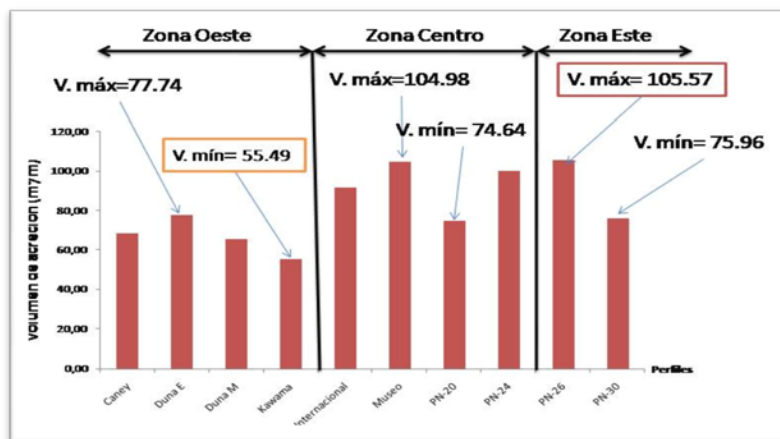


Figura 16. Volúmenes máximos y mínimos de acreción por zona

Como conclusión se destaca la zona Centro como la zona más activa durante la simulación del huracán Rita por la península de Hicacos. Dentro de esta se encuentran los perfiles que presentan los valores máximos en cuanto a las variables morfológicas: volumen de acreción, balance y longitud de retroceso de la línea de costa, estos son: Museo y PN-24. Se señala que en esta zona no se encuentra el perfil de mayor volumen de erosión, sino en la zona Este, el ya mencionado anteriormente perfil PN-26. En resumen, Zona Oeste perfil Kawama con 24,89 m, Zona Centro perfil PN-24 con 30,38 m y Zona Este perfil PN-26 con 29,36 m de retroceso de la línea de costa, ver tabla 5.

Tabla 5. Resumen de los cambios morfológicos de los perfiles críticos ante el paso del huracán Rita

Perfiles	FPS	L.R.L.C	V _{TE}	V _{TA}	Z _{ME}	V _{ZME}	Z _{MA}	V _{ZMA}
Kawama	Acreción	24,89	43,81	55,49	0-35	43,65	40-155	54,35
PN-24	Acreción	30,38	75,76	100,34	0-55	68,44	60-170	90,56
PN-26	Acreción	29,73	78,08	105,57	0-60	70,69	65-165	94,76

Huracán Wilma

Como se observa en las figuras 17 y 18 la zona más activa en función del valor medio de volumen de erosión y retroceso de la línea de costa, ante el paso del huracán Wilma, se localiza en la zona Centro.

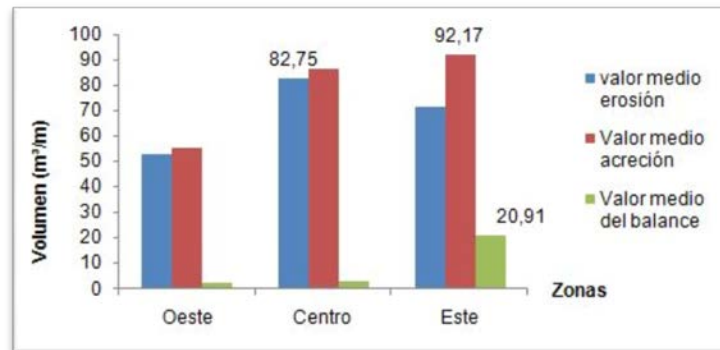


Figura 17. Comparación entre zonas en función de los valores medios de volumen de erosión, acreción y balance de arena

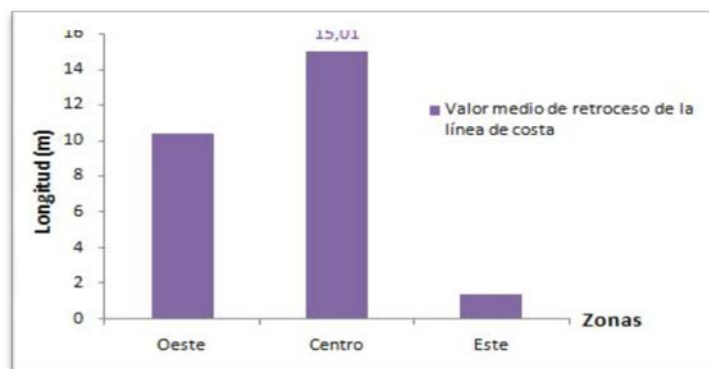


Figura 18. Comparación entre zonas en función de la longitud media de retroceso de la línea de costa

En la figura 19 se observa que el valor máximo de erosión lo presenta el perfil Museo con un valor de 100,70 m³/m. En cambio el valor mínimo de volumen de erosión es el Kawama, presentando un valor de 43,08 m³/m.

En la figura 20 se observa que el perfil Museo además de presentar el mayor volumen de erosión también presenta el mayor volumen de acreción. El perfil Kawama presenta el volumen mínimo de acreción con un valor de 45,07 m³/m.

Durante el estudio se pudo observar que, excepto el perfil PN-30 que se encuentra en la zona Este, el resto de los perfiles de las zonas Oeste y Centro presentan un mayor equilibrio entre los fenómenos de erosión y acumulación o acreción.

El perfil PN-24 muestra el mayor retroceso de la línea de costa, con un valor de 30,27 metros, y el valor mínimo en la longitud de retroceso de la línea de costa lo muestra el perfil PN-30, en realidad no hay retroceso sino un avance de la misma con 10,19 metros.

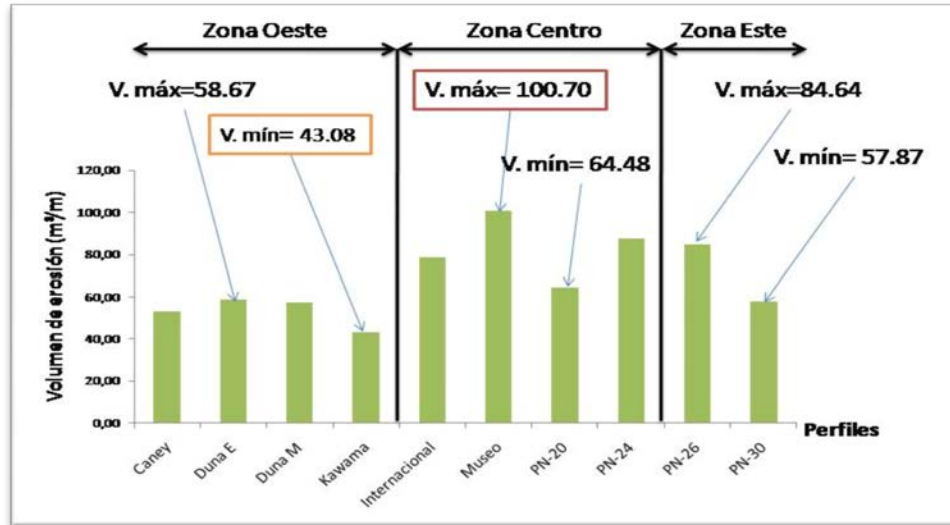


Figura 19. Volúmenes máximos y mínimos de erosión por zona

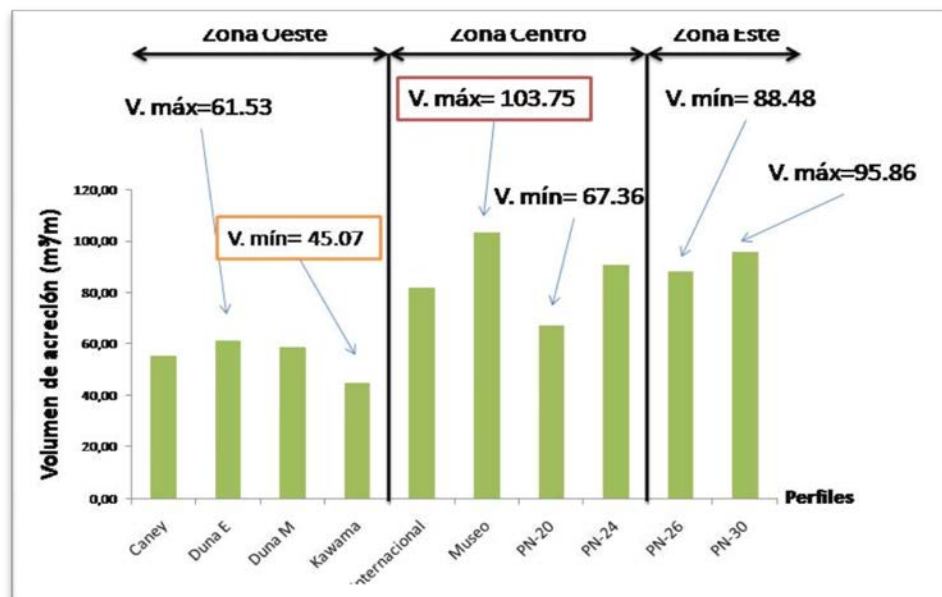


Figura 20. Volúmenes máximos y mínimos de acreción por zona

Se destaca la zona del Centro como la zona más activa durante la simulación del huracán Wilma por la península de Hicacos. También se manifiestan en esta zona los valores máximos de las variables morfológicas: volumen de erosión y longitud de retroceso de la línea de costa, correspondiéndole respectivamente a los perfiles: Museo y PN-24. En resumen, Zona Oeste perfil Kawama con 24,82 m, Zona Centro perfil PN-24 con 30,27 m y Zona Este perfil PN-26 con 19,92 m de retroceso de la línea de costa, ver tabla 6.

Tabla 6. Resumen de los cambios morfológicos de los perfiles críticos ante el paso del huracán Wilma

Perfiles	FPS	L.R.L.C	V _{TE}	V _{TA}	Z _{ME}	V _{ZME}	Z _{MA}	V _{ZMA}
Kawama	Acreción	24,82	43,08	45,07	0-35	41,13	105-155	23,56
PN-24	Acreción	30,27	87,39	91,02	0-60	67,45	65-170	74,02
PN-26	Acreción	12,92	84,64	88,48	0-60	66,66	65-165	74,27

Para la determinación de la trayectoria más desfavorable en función del volumen total erosionado y la longitud media de retroceso de la línea de costa, se presenta una comparación de los valores en la tabla 7.

Tabla 7. Volumen de erosión total y longitud media de retroceso de la línea de costa por huracán

Huracán	Volumen de erosión total (m ³ /m)	Longitud media de retroceso de la línea de costa (m)
Michelle	751,96	14,29
Rita	624,59	21,29
Wilma	685,40	10,42

CONCLUSIONES

- Se definió la zona Centro como la zona de mayor dinámica en la simulación de las tres trayectorias de huracanes de estudio, presentando perfiles con volúmenes de erosión con valores hasta 105,75 m³/m, significando entre 44-48 % del volumen total erosionado por cada simulación de huracán. Esta zona también se caracterizó como la zona que presenta mayor longitud media de retroceso de la línea de costa, entre 15-22 m.
- En el caso de la zona Oeste la simulación de los tres huracanes presentó perfiles con volúmenes de erosión que pueden alcanzar los 75,82 m³/m, significando entre 30-36 % del volumen total erosionado por cada simulación de huracán y una longitud media de retroceso de la línea de costa entre 10-21 m.
- En el caso de la zona Este en la simulación de los tres huracanes presentó perfiles con volúmenes de erosión hasta 92,55 m³/m, significando entre 19-23 % del volumen total erosionado por cada simulación de huracán y una longitud media de retroceso de la línea de costa entre 1-20 m.
- Se determinó para las tres trayectorias que los perfiles Kawama, PN-24 y PN-26 son los más críticos de cada zona de estudio, atendiendo a la longitud de retroceso de la línea de costa.
- Para las tres simulaciones de huracanes, se concluye que:
 - En la zona Oeste el perfil más crítico (hot spot) es el Kawama presentando grandes volúmenes de erosión (>95 %) en los primeros 65 m del perfil, y a su vez presenta grandes longitudes de retroceso de la línea de costa (hasta 25 m).
 - En la zona Centro, que se define como la zona de mayor dinámica costera, se encuentra el perfil PN-24 definido como el más crítico, mostrando volúmenes de erosión de más del 77 % en la zona de mayor volumen de erosión del perfil, la

característica que lo define como un hot spot en esta zona es debido a que presenta el mayor retroceso de la línea de costa de todos los perfiles seleccionados (>30 m).

- En la zona Este el perfil más crítico (hot spot) es el PN-26 presentando siempre grandes volúmenes de erosión (>78 %) en la zona de rotura del perfil, además con valores de longitud de retroceso de la línea de costa entre 10-30 m.

REFERENCIAS

- Beven J.** (2002). “Tropical cyclone report hurricane Michelle”. National Hurricane Center, USA, January.
- Córdova L. y Torres R.** (2008). “Estudio y cuantificación de la erosión en el tramo Meliá, Varadero. Propuesta de Solución”, Informe Técnico, Centro de Investigaciones Hidráulicas, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana.
- Córdova L. y Valdés K.** (2011). “Control de erosión en tramo costero de Varadero aplicando soluciones combinadas”. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, CIH, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), vol. 32, no. 3, pp. 64-71.
- Fernández S.** (2010). “Aplicación de los modelos SWAN y XBEACH para el estudio de perfiles de playas de arena ante el paso de una tormenta”, Trabajo de Diploma, Centro de Investigaciones Hidráulicas, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana.
- Izquierdo M.** (2004). “Estudio de la dinámica litoral en la playa de Varadero, Cuba”. Tesina de Máster, Universidad de Cantabria, Santander, España.
- Knabb R., Brown D. and Rhome J.** (2006). “Tropical cyclone report hurricane Rita”, National Hurricane Center, USA, March.
- Pasch R., Blake E., Cobb H. and Roberts D.** (2006). “Tropical cyclone report hurricane Wilma”, National Hurricane Center, USA, January.
- Roelvink D.** (2010). “XBeach Model Description and Manual”, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Deltares and Delft University of Technology, Netherlands.
- Torres R.** (2007). “HIDRICOS: una herramienta para la ingeniería de costas”, Tesis presentada en opción al grado de Máster en Ciencias Técnicas, Centro de Investigaciones Hidráulicas, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana.
- Van Bentum K., Duijndam L., Groendijk L. and Knipping D.** (2010). “Varadero beach, creating a better coastal situation near the Meliá hotels”, Delft University of Technology, Netherlands.