

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE EROSIÓN EN LA PLAYA DE VARADERO, CUBA

• Luis Fermín Córdova-López •
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cuba
*Autor de correspondencia

Resumen

CÓRDOVA-LÓPEZ, L.F. Evaluación del proceso de erosión en la playa de Varadero, Cuba. *Tecnología y Ciencias del Agua*. Vol. V, núm. 1, enero-febrero de 2014, pp. 175-183.

El efecto de eventos extremos, huracanes en particular, trae consigo cambios en la morfología de las playas de arena que provocan efectos adversos desde el punto de vista económico en playas con alto valor turístico. La aplicación de un tren de modelos matemáticos debidamente acoplados para la generación, propagación del oleaje y cambios morfológicos en playas de arena son aplicados con el objetivo de evaluar los cambios morfológicos durante la ocurrencia del huracán *Michelle* (2001) de conocido efecto destructivo en la playa de Varadero, Matanzas, Cuba.

Palabras clave: playa, erosión, modelos matemáticos, costa.

Introducción

La Isla de Cuba, la más grande de las Antillas Mayores, se localiza en la zona tropical del Atlántico Norte. Es afectada anualmente por huracanes, considerados como los más importantes, ya que ocasionan los mayores desastres. 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 son de vital importancia.

Los objetivos del trabajo son evaluar el proceso de erosión de la playa Varadero, situada en la península de Hicacos, durante el paso del huracán *Michelle*, entre los días 4 de noviembre de 2001 a las 0:00 horas hasta el 6 de noviembre a las 12:00 UTC, y definir los sectores más críticos que permitan a los especialistas y autoridades analizar y desarrollar futuras acciones de rehabilitación.

Abstract

CÓRDOVA-LÓPEZ, L.F. Evaluation of erosion process in Varadero Beach, Cuba. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*. Vol. V, No. 1, January-February, 2014, pp. 175-183.

The effect of extreme events, in particular hurricanes, cause changes in the morphology of the sand beaches and adverse effects from the economic point of view in beaches with high tourist value. The application of a train of mathematical models properly coupled for the generation, propagation of the wave and morphological changes in beaches are applied with the objective of evaluating the morphological changes during the occurrence of the hurricane *Michelle* (November, 2001) of well-known destructive effect in the Varadero beach, Matanzas, Cuba.

Keywords: beach, erosion, mathematical models, coast.

Materiales y métodos

Se aplica un Sistema de Ingeniería Costera y Marítima (SICOM). El SICOM está compuesto por un tren de modelos matemáticos acoplados y anidados, constituido por un modelo de generación del campo de viento asociado con los huracanes a partir del modelo Paramétrico de Viento propuesto por Holland (1980) y calibrado de su parámetro B por Córdova *et al.* (2012); para la generación del oleaje a escala oceánica se aplica el modelo WWIII (Tolman, 2009), y la propagación se realiza mediante el modelo SWAN (Booij *et al.*, 2009). La información de clima marítimo y niveles del mar son condición de frontera para el modelo de cambios morfológicos Xbeach (Roelvink, 2010). En la figura 1 se presenta el SICOM.

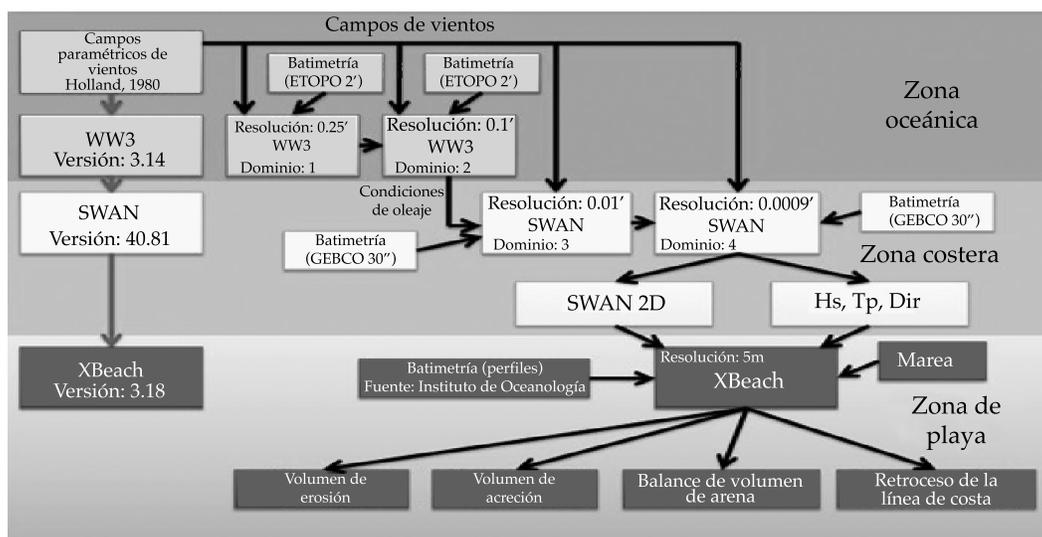


Figura 1. Sistemas de Ingeniería Costera y Marítima (SICOM).

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 Habana y a 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) (Córdova y Torres, 2008; Izquierdo, 2004).

En la actualidad, Varadero ingresa aproximadamente 400 millones de dólares por año, lo que representa el 37% del ingreso total del turismo en Cuba y, por tanto, tiene un papel importante en la economía nacional (Torres, 2007; Van Bentum *et al.*, 2010).

Perfiles de playa y batimetría de la zona de estudio

Para la realización de la investigación se utilizan datos de perfiles medidos en el mes de marzo del año 2001 por el Instituto de Oceanología de Cuba (figura 2).

Batimetría

Como se observa en la figura 2, la batimetría de Varadero se caracteriza por ser prácticamente recta y paralela a la línea de costa.

La pendiente submarina se caracteriza por ser ligeramente suave, con tendencia decreciente; esta progresiva disminución de la pendiente hacia el noreste se debe al ensanchamiento de la plataforma insular, que tiene lugar a partir del segundo tercio de la playa.

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*.

Niveles del mar

El rango de la marea en la península es de aproximadamente 0.5 m.

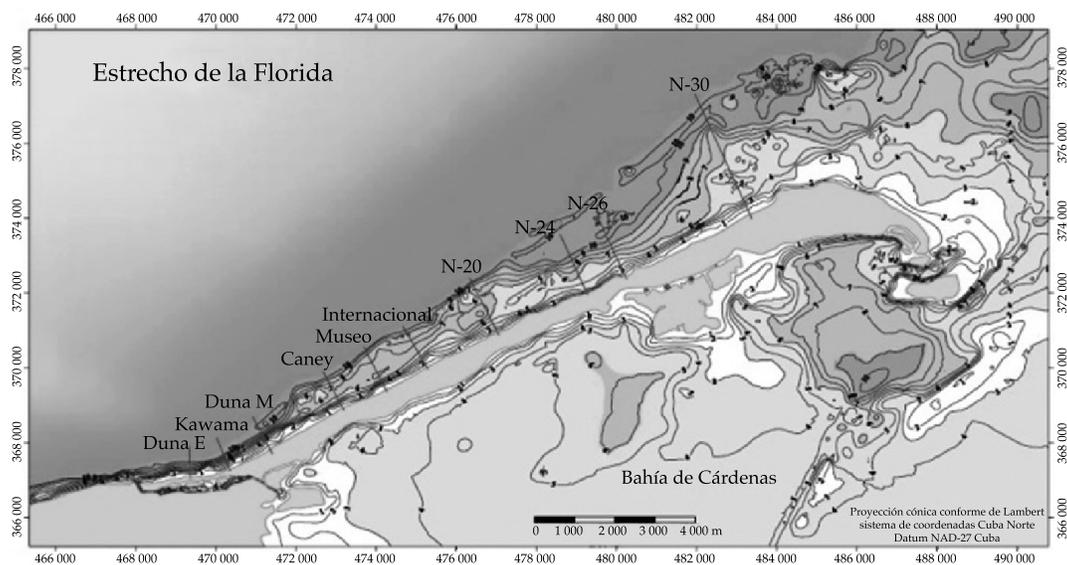


Figura 2. Localización de los perfiles seleccionados (Izquierdo, 2004).

Fenómeno meteorológico seleccionado para la realización del estudio

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

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.

Se observa cómo la batimetría de los perfiles que se encuentran en la zona occidental de la península de Hicacos presenta mayor pendiente, en comparación con los perfiles de la zona central y oriental, mostrando cada vez una pendiente, más suave hacia el noroeste. En función del comportamiento batimétrico mostrado anteriormente, el área de estudio se

divide en tres zonas: oeste, centro y este (figura 4).

Establecimiento del modelo de Xbeach. Definición de las condiciones de fronteras

Se establece el modelo en 1Dimensión con espaciamiento de cinco metros, simulando para cada perfil seleccionado. Se señala que se realiza la simulación de acuerdo con los resultados de calibración y validación obtenidos por Córdova *et al.* (2010). Las condiciones de frontera mar afuera se definen utilizando los resultados de la propagación aplicando el modelo SWAN.

Condiciones de frontera

Oleaje

El procedimiento consiste en colocar una boya virtual en el último dominio del sistema SICOM, perteneciente al modelo SWAN, frente a cada zona de estudio seleccionada. Como se puede observar en las figuras 5, 6 y 7, los valores de las características del oleaje son similares en las tres boyas para el caso del huracán *Michelle*; se destaca que el comportamiento es igual

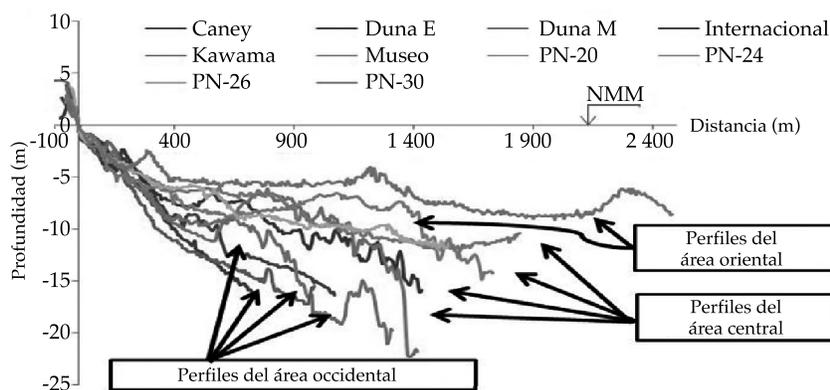


Figura 3. Comparación de los perfiles.

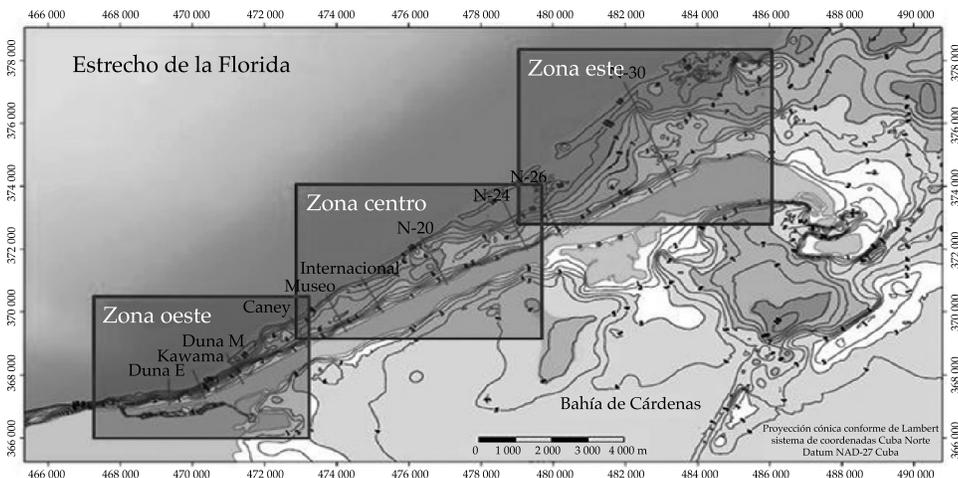


Figura 4. Península de Hicacos dividida en zonas (Izquierdo, 2004).

para los dos eventos restantes seleccionados. El criterio de selección fue tomar los mayores valores en cada boya virtual. Se denomina Boya V1 en la zona oeste, Boya V2 en la zona centro y Boya V3 en la zona este. La comparación entre las boyas virtuales para el caso del huracán Michelle se tiene en las figuras 5, 6 y 7.

Definición de las variables morfológicas y cálculos estadísticos

Con el objetivo de cuantificar los cambios morfológicos ocurridos durante las simulaciones

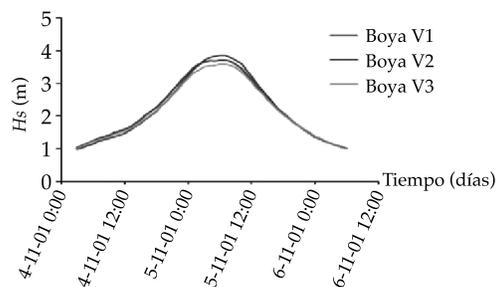


Figura 5. Altura de ola significativa.

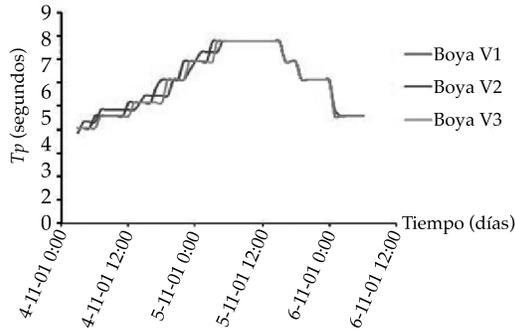


Figura 6. Periodo pico.

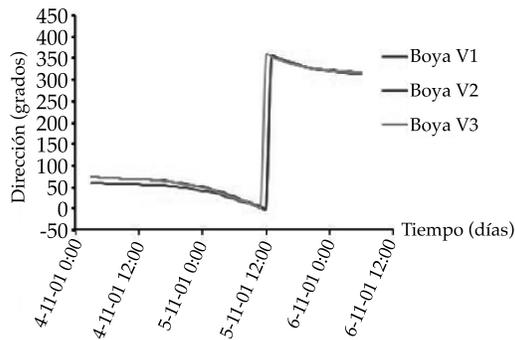


Figura 7. Dirección del oleaje.

realizadas por el modelo XBeach 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 de 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.

Niveles del mar

El modelo Xbeach puede incluir como condición de frontera la variación de niveles del mar debido a la marea meteorológica. A continuación se define para cada huracán el comportamiento de esta variable (huracán Michelle, figura 8).

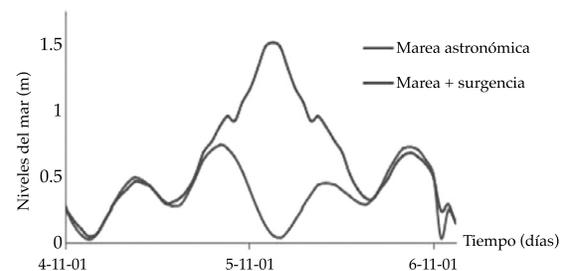
Resultados y discusión

El análisis se realiza mediante variables morfológicas definidas anteriormente y los resultados estadísticos (comparación cuantitativa entre zonas de estudio).

Del análisis de las figuras 9 y 10 se concluye que el área más activa es la zona centro ante el paso del huracán *Michelle*, con valores de erosión de $122.57 \text{ m}^3/\text{m}$ y retroceso de la línea de costa de 17.44 metros.

El análisis por perfiles destaca que dentro de la zona centro, el área representada por el perfil Museo es el más crítico, con una tasa de erosión de $105.75 \text{ m}^3/\text{m}$ y el perfil de menor erosión, el perfil PN-30, con un valor de $50.07 \text{ m}^3/\text{m}$ (figura 11).

Respecto al balance de arena, como se observa en la figura 12, en todos los perfiles ocurre un aporte de arena al sistema, fundamentalmente en el caso del PN-24, donde se puede constatar un mayor volumen de acreción, en comparación con los valores de los demás perfiles.

Figura 8. Sobre elevación para el tiempo de simulación del huracán *Michelle*.

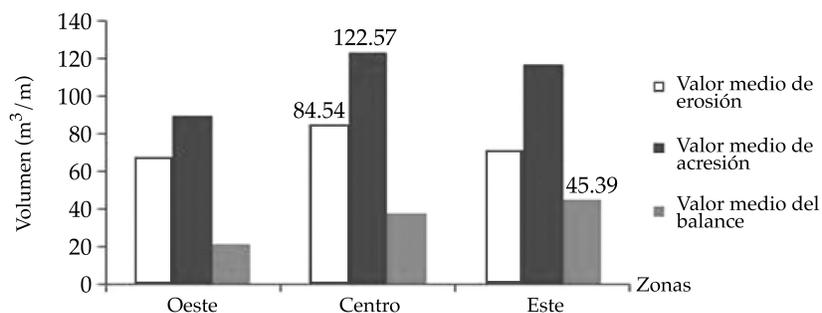


Figura 9. Valor medio de volumen de erosión, acreción y balance de arena.

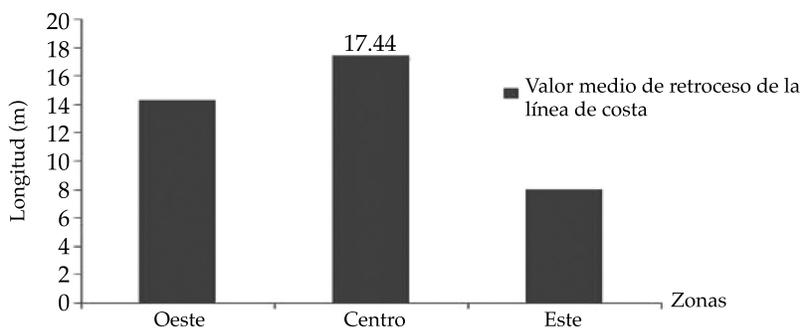


Figura 10. Valor medio de longitud de retroceso de la línea de costa.

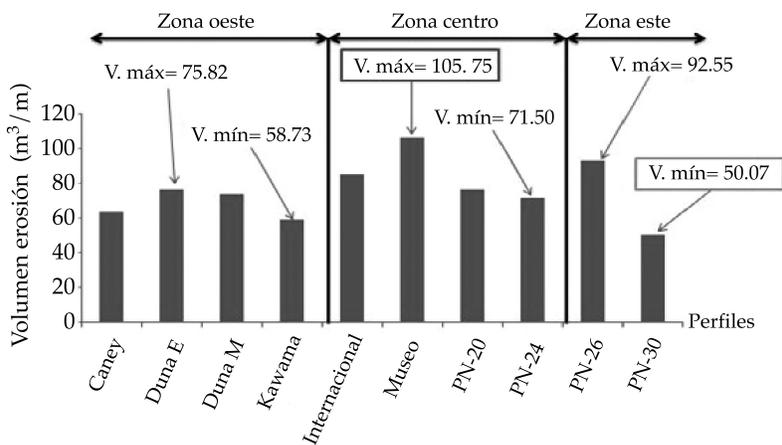


Figura 11. Volúmenes máximos y mínimos de erosión por zona.

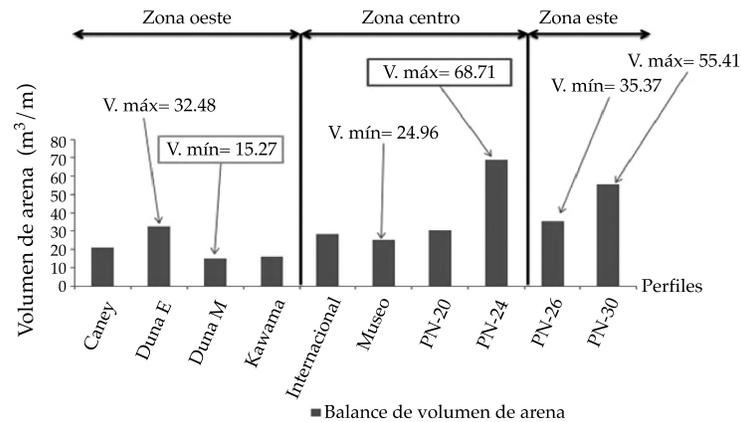


Figura 12. Volúmenes máximos y mínimos de balance de arena.

Por otra parte, el perfil Duna M es el que presenta el menor, significando que en esta zona existe 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 13; se señala como aspecto interesante que en la zona representada por el perfil PN-24 se conjuga una mayor acreción de forma general por aporte de arena desde el mar, pero un mayor movimiento de sedimento hacia el mar en la zona de playa seca por los efectos del huracán, generando acumulación en la zona media del perfil.

Como conclusión del análisis para la trayectoria del huracán *Michelle*, la zona central es la más activa de la península de Hicacos. Dentro de la misma 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, definiendo estos sectores como puntos críticos para este tipo de trayectoria, los cuales son: perfil Kawama en la zona oeste, con un retroceso de la línea de costa de 25.38 metros; en la zona centro, el perfil PN-24; y en la zona este, el PN-26, con retroceso de

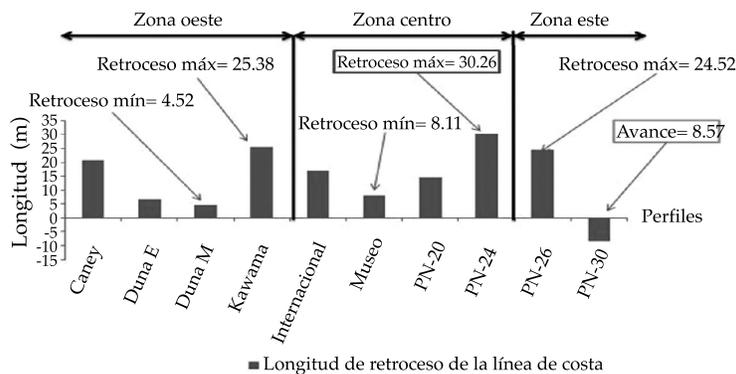


Figura 13. Longitudes máximas y mínimas de retroceso de la línea de costa por zona.

Cuadro 1. Resumen de los cambios morfológicos de los perfiles críticos ante el paso del huracán Michelle.

Perfiles	FPS	LRLC (m)	V_{TE} (m^3/m)	V_{TA} (m^3/m)	Z_{ME} (m)	V_{ZME} (m^3/m)	Z_{MA} (m)	V_{ZMA} (m^3/m)
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

la línea de costa de 30.26 metros y 24.52 metros, respectivamente.

En el cuadro 1 se resumen los perfiles críticos, se puede observar en qué zonas del perfil ocurren los fenómenos de erosión y acreción, y de forma general, a partir del balance sedimentario, qué proceso predomina. Tomando como referencia este último aspecto, se define que ocurre el fenómeno de acreción de forma general; sin embargo, en todos los casos hay un retroceso de la línea de costa y el proceso de erosión ocurre en la duna, berma y los primeros 70 metros correspondientes a la pendiente sumergida, lo cual representa las mayores afectaciones al área de mayor uso lúdico y, por tanto, de mayor importancia turística. En el cuadro 1, las variables significan: FPS: fenómeno predominante del sistema; LRLC: longitud de retroceso de la línea de costa (m); VTE y VTA: volumen total de erosión y acreción (m^3/m); ZME y ZMA: zona de mayor erosión y acreción (desde-hasta); VZME y VZMA: volumen de la zona de mayor erosión y acreción (m^3/m).

Conclusiones

Se define la zona centro como la de mayor dinámica en la simulación para el huracán Michelle (noviembre 2001). Con volúmenes erosión promedio de $122.57 m^3/m$. Esta zona también se caracterizó como la que presenta mayor longitud media de retroceso de la línea de costa desde 15 hasta 22 m. Se definen como los sectores más críticos los representados por los perfiles Kawama, PN-24 y PN-26, atendiendo a la longitud de retroceso de la línea de costa.

Recibido: 02/08/12

Aceptado: 25/04/13

Referencias

- BEVEN, J. *Tropical Cyclone Report Hurricane Michelle*. Washington, D.C.: National Hurricane Center, January, 2002.
- BOOIJ, N.C. *SWAN Cycle III version 40.81 user manual*. Delft: Delft Institute of Technology, 2009.
- CÓRDOVA, L.L. y TORRES, R.H. *Estudio y Cuantificación de la erosión en el tramo Meliá; Varadero. Propuesta de Solución*. Informe técnico. La Habana: Instituto Politécnico José Antonio Echeverría, noviembre, 2008.
- CÓRDOVA, L., LAMAZARES, R. y FERNÁNDEZ, S. *Simulación de los cambios morfológicos en playas de arena debido a la acción de campos de oleaje espectral debido a eventos extremos*. X Congreso Internacional de Ingeniería Hidráulica, Holguín, Cuba, octubre de 2010.
- CÓRDOVA, L. y LAMAZARES, R. *Simulación de los campos de vientos y oleaje asociados a huracanes*. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. Vol. XXXIII, núm. 2, 2012, pp. 50-65.
- HOLLAND, G.J. *An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes*. *Monthly Weather Review*. Vol. 108, No. 8, 1980, pp. 1212-1218.
- IZQUIERDO, M.A. *Estudio de la dinámica litoral en la playa de Varadero, Cuba*. Tesina de máster. Santander, España: Universidad de Cantabria, 2004.
- ROELVINK, D. *XBeach Model Description and Manual*. Report. UNESCO-IHE Institute for Water Education. Delft: Deltares and Delft University of Technology, June, 2010.
- TOLMAN, H.L. *User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14*. Washington, D.C.: Environmental Modeling Center Marine Modeling and Analysis Branch, 2009.
- TORRES, R.H. *HIDRICOS. Una herramienta para la Ingeniería de Costas*. Tesis presentada en opción al grado de Master en Ciencias Técnicas. La Habana: CUJAE, febrero de 2007.
- VAN BENTUM, K., DUIJNDAM, L., GROENDIJK, L., and KNIPPING, D. *Varadero Beach, creating a better coastal situation near the Meliá Hotels*. Delft: Delft University of Technology, June, 2010.

Dirección institucional del autor

Dr. Luis Fermín Córdova López

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría
Calle 114 número 11901, esquina 119 y 127
Marianao, CUBA
Teléfonos: +53 (7) 2601 416 y 2672 013
Fax: +53 (7) 2672 013
cordova@tesla.cujae.edu.cu