

Ordaz Hernández, Alexis; Hernández Santana, José Ramón; Estévez Cruz, Elmídio; Díaz Guanche, Carlos; Méndez Linares, Ana Patricia
Morfodinámica costera en la playa Bailén, costa sur del occidente de Cuba, entre los años 2003-2013
Investigaciones Geográficas (Mx), núm. 91, 2016, pp. 56-69
Instituto de Geografía
Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56949503004>

Morfodinámica costera en la playa Bailén, costa sur del occidente de Cuba, entre los años 2003-2013

Recibido: el 17 de febrero de 2015. Aceptado en versión final: 26 de mayo de 2016.
Publicado en línea (pre-print): 8 de junio de 2016.

Alexis Ordaz Hernández*
José Ramón Hernández Santana**
Elmidio Estévez Cruz***
Carlos Díaz Guanche***
Ana Patricia Méndez Linares**

Resumen. En la actualidad, el análisis de los cambios morfodinámicos de las costas constituye una de las direcciones ambientales e ingenieriles de mayor significado para su planeación y su desarrollo sostenible, así como para la preservación y la protección de sus recursos naturales. Se presentan las tendencias morfodinámicas de la playa Bailén, localizada en la costa suroccidental de Cuba, entre los años 2003 y 2013. Se aplicaron mediciones topográficas del perfil transversal de playa y de la posición de la línea de costa en 15 estaciones de observación, a lo largo de 2 140 m de playa, en los años 2007, 2010 y 2013, comparadas con la posición del año 2003. Los volúmenes de arena acrecionada o erosionada en el período 2003-2007 fueron estimados después de los impactos del huracán Iván del año 2004. Finalmente, se realizaron ensayos granulométricos para

establecer las tendencias espacio-temporales en el comportamiento del diámetro promedio de los granos de arena. Para el sector norte de la playa, la tasa máxima de retroceso fue de -2.0 m/año y los análisis granulométricos de las arenas demostraron enriquecimiento en su fracción gruesa. Ambos procesos reflejan la influencia directa de la inadecuada ubicación de las construcciones civiles en la porción frontal de las dunas y en la berma. Por otra parte, en el sector sur el valor máximo de acreción fue de +8.0 m/año y el promedio alcanzó +2.3 m/año. Durante los diez años analizados se observa un bajo nivel de resiliencia en la recuperación de la playa.

Palabras clave: morfodinámica costera, ensayos granulométricos, Playa Bailén, Cuba suroccidental.

* Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Paseo Universidad, Ciudad Universitaria, C.P. 50110, Toluca de Lerdo, México. E-mail: alexisordaz.1978@gmail.com

** Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, C. P. 04510, Coyoacán, México, D. F. Teléfono: 5622-4351, ext. 45473, 45478. E-mail: santana@igg.unam.mx, patyml@igg.unam.mx

*** Universidad de Pinar del Río, Calle Martí 270 Final, C. P. 20100, Pinar del Río, Cuba. E-mail: estevez@geo.upr.edu.cu, carlosdg@geo.upr.edu.cu

Cómo citar:

Ordaz H., A., J. R. Hernández S., E. Estévez C., C. Díaz G., A. P. Méndez L. (2016), "Morfodinámica costera en la playa Bailén, costa sur del occidente de Cuba, entre los años 2003-2013", *Investigaciones Geográficas*, núm. 91, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 56-69, dx.doi.org/10.14350/ig.47086.

Coastal Morphodynamics at Playa Bailén, Southwestern Cuba, 2003-2013

Abstract. Due to their geological nature, beaches are susceptible to changes over a relatively short period of time. Composed mainly of recently formed rocks, the scarcely consolidated structure of the substrate makes beaches vulnerable to the action of waves, tides, currents, wind, changes in sea level and human activity. Beach dynamics is marked by different degrees of fragility. In tropical regions, especially in the Caribbean, extreme hydro-meteorological phenomena such as hurricanes and cold fronts associated with extra-tropical storms significantly accelerate the erosion and accretion processes along the coast. The geographical location of the Cuban archipelago, at the margins of the Tropic of Cancer (its northernmost latitude is 27°17' N), makes it susceptible to the combined action of hurricanes (between June and November) and cold fronts (between November and March). This very fact makes the study of coastal morphodynamic changes a subject of the utmost importance in sustainable-development projects and environmental planning, including the preservation of coastal natural resources. In Cuba, several authors have reported a coastal retreat of 1 to 3 m per year in western beaches, as well as an average loss of sand of about 50 000 m³ per year in the famous Varadero beach. The latter case is mainly due to the extraction of sand from the underwater platform between 1968 and 1978 for construction purposes. This paper addresses the morphodynamic processes taking place at Bailén beach, on the southwestern Cuban coast, as observed during a 10-year period, from 2003 to 2013. Transversal topographic measurements were taken at the beachfront and coastline at 15 observation stations along 2 140 m of beach in 2007, 2010 and 2013. These measurements were then compared to the data available for 2003. Estimated volumes of accreted and eroded sand for the period 2003-2007 indicate remarkable changes in beach morphology and evidence the vulnerability of coastal systems to extreme events, such as those unleashed by hurricane Ivan in 2004. The most

important morphological changes observed included an increase of 0.20 to 0.50 m in dune height in some cases, and a decrease in others in the order of 0.15 to 0.40 m. Finally, granulometric tests were conducted to establish the spatial and temporal variations in the diameter of sand grains. To the north side of the beach, the maximum recession rate was 2.0 m per year, and sand grains were larger. Both measurements are indicative of the impact of buildings constructed at the front side of dunes and the beach berm on beach morphology. In the southern sector, on the other hand, the maximum accretion reached 8.0 m per year, whereas the average value was 2.3 m per year. During the 10 years of analysis, beach recovery has been characterized by a low resilience to the impact of hurricanes and other meteorological events. There is a clear spatial correlation between the inadequate location of buildings less than 30 meters from the shore on dunes and berms, where beach dynamics is most intense, and the development of intensive erosive processes, as observed in the northern sector of Bailén beach. The slow recovery of the initial coastline position translates into a steady increase in the average diameter of sediments. The low level of resilience in these beach stretches becomes even more evident when hydro-meteorological events occur. For beach recovery projects through local sand repositioning to be successful, the beachfront must be closely monitored, recording measurements of both sediment dynamics and the effects of wind and water on a transversal profile. Also, to ensure an effective regeneration of this natural resource, an average volume of sand per linear meter of beach must be established. Finally, the demolition of old buildings located at the berm and the front side of dunes, and the prohibition of further construction in these sites, should contribute to restore the morphodynamic balance of this beach and increase the quality of tourism services.

Keywords: Coastal morphodynamics, granulometry, Bailén beach, southwestern Cuba.

INTRODUCCIÓN

Las playas por su naturaleza geológica, compuestas por litologías de edades recientes y poco consolidadas, se convierten en sitios muy susceptibles a sufrir cambios en un corto lapso de tiempo. El oleaje, las mareas, las corrientes, el viento, los cambios seculares del nivel medio del mar y la actividad antropogénica son algunos de los factores que influyen en la dinámica de las playas, determinando su grado de fragilidad. En el caso de las regiones tropicales y especialmente en la caribeña, los fenómenos hi-

drometeorológicos extremos, como los huracanes y los frentes fríos de las tormentas extratropicales, aceleran notablemente los procesos de erosión o acreción a lo largo del litoral. La posición más septentrional del archipiélago cubano, marcada en los 27° 17' de latitud norte, en el margen del Trópico de Cáncer, determina la combinación de dichos fenómenos; los huracanes entre junio y noviembre, y los frentes fríos entre noviembre y marzo.

A nivel internacional, las investigaciones morfodinámicas de la costa se dirigen fundamentalmente a la evaluación de la variabilidad estacional de las

playas y de los cambios costeros ante el ascenso del nivel medio del mar (Juanes-Martí, 1996; Lanfredi *et al.*, 1998; Hammer-Klose y Thieler, 2001; Hernández-Santana *et al.*, 2008; Kabuth *et al.*, 2013; Ortiz-Pérez *et al.*, 2013); al cálculo de la vulnerabilidad y de los riesgos costeros por eventos hidrometeorológicos extremos (Salas *et al.*, 1999; Boruff *et al.*, 2005; Froede, 2006; Thomas-Bohórquez, 2013) con fines de reordenamiento territorial y a la estimación de la degradación de sistemas costeros por la intervención humana (Alonso *et al.*, 2014; González-Vázquez *et al.*, 2014; Ho *et al.*, 2014).

En Cuba diversos autores han estudiado los tipos de costa y la morfodinámica costera de las playas (Massip e Ysalgué, 1942; Núñez Jiménez, 1959; Zenkovich, 1969; Zenkovich *et al.*, 1969; Ionin y Pavlidis, 1970; Suárez Moré, 1971, 1976; Zenkovich, 1976; Medvedev y Juanes, 1981; Ramírez, 1989; Juanes, 1996; Hernández-Santana y Reyes, 2002; Tristá, 2008; Rodríguez *et al.*, 2009), entre otros; los aspectos de la dinámica sedimentaria (Ionin y Pavlidis, 1967, 1970; Ionin *et al.*, 1972a, 1972b); la evaluación de la contaminación y el manejo ambiental costero (Arcia *et al.*, 1997; Díaz *et al.*, 1998); y el nivel de peligrosidad por olas de surgencia y la vulnerabilidad en las zonas costeras (Pérez, 2005).

El factor antropogénico es una de las causas principales del retroceso de las playas. El monitoreo de una gran muestra de playas cubanas (Tristá, 2008), mostró valores medios de retroceso entre 1 y 3 m/año. En ese mismo sentido, Pérez (2005) reportó retrocesos de hasta 3 m en el litoral de la costa sur de las provincias Mayabeque y Artemisa. En la famosa playa de Varadero, al norte de Cuba, estudios de monitoreo realizados por Juanes (1996) y Juanes *et al.* (1998) entre los años 1978 y 1998, reportaron pérdidas promedio de arena del orden de 50 000 m³/año, debido principalmente a la extracción en la plataforma submarina de unos 990 000 m³ de arena entre los años 1968 y 1978 para las actividades de construcción.

Por otra parte, Rodríguez *et al.* (2009) reportan retrocesos medios de la línea de costa, inferiores a 0,6 m/año, en 53.4% de las playas de la región noreste de la Isla de Cuba, basándose en el estudio

de 99 playas, e intenso sólo en el 3.4 % de estas. Asimismo, identifica diez causas fundamentales que están intensificando los procesos de erosión, entre ellas los oleajes generados por eventos hidrometeorológicos extremos, que acentúan aún más el deterioro de estas playas.

La costa sur cubana, y especialmente la occidental, ha experimentado en las últimas décadas el paso de intensos huracanes que han provocado cambios notables en sus playas, entre ellos: Alberto (1982), de categoría I, según la escala Saffir-Simpson; Isidore (2002), de categoría II; Charley (2004), de categoría III; Iván (2004), de categoría IV; Gustav (2008), de categoría IV; Ike (2008), de categoría IV; y Paula (2010), de categoría I, pero con grandes impactos de inundaciones.

Ordaz *et al.* (2009) realizaron un estudio detallado de los principales impactos producidos por el huracán Iván (2004) en el sector costero circundante a la playa Bailén. Entre los impactos más notables están los provocados sobre la playa La Salina, ubicada a unos 25 km al este de la playa Bailén. En esta playa se pudieron cartografiar retrocesos de la línea de costa de aproximadamente - 15.0 m, similar efecto sufrió la línea de manglar. Así mismo, en la playa Boca de Galafre (8.0 km al noreste de la Playa Bailén), se estimaron retrocesos de la línea de costa del orden de -1.0 a -7.0 m y un reacomodo de las arenas en la zona posterior del perfil de playa, expresado en aumento de la altura de las dunas de 0.5 m como promedio.

Ante esta problemática, el objetivo del presente trabajo está enfocado al conocimiento de las tendencias morfodinámicas de la playa de Bailén, localizada en la costa suroccidental de la Isla de Cuba, entre los años 2003 y 2013. Para ello se investigaron las condiciones morfológicas de la playa, el comportamiento morfodinámico de la costa y la dinámica sedimentaria durante estos diez años, con vistas a establecer medidas tendientes a su explotación sostenible.

ÁREA DE ESTUDIO

La playa Bailén está localizada en la costa suroccidental del municipio Guane, provincia de Pinar

del Río, Cuba, y posee una longitud aproximada de 2 km, así como un ancho que oscila entre 150 y 300 m, quedando comprendida entre los $22^{\circ} 7' 9.6''$ y $22^{\circ} 8' 14.8''$ de latitud norte, y entre los $83^{\circ} 58' 14''$ y $83^{\circ} 57' 30.4''$ de longitud oeste. Las mareas que influyen sobre esta playa son de tipo semidiurno con un rango de variación entre 0.18 y 0.61 m, esta última en casos extremos (Díaz Llanes, 1989). El oleaje alcanza entre 0.5 y 1.0 m en régimen normal y de hasta 3 m y más durante las

marejadas asociadas a huracanes durante el verano. La mayor frecuencia del oleaje es de dirección Este.

Desde el punto de vista estructural y neotectónico, la playa Bailén se ubica al sur del macrobloque occidental, aproximadamente en la zona de contacto entre el mesobloque Pinar y Batabanó (Cabrera *et al.*, 2012) (Figura 1). El área está representada por arenas carbonatadas muy poco consolidadas (depósitos holocénicos de playa), las cuales sobreyacen a las arenas arcillosas, arenas y

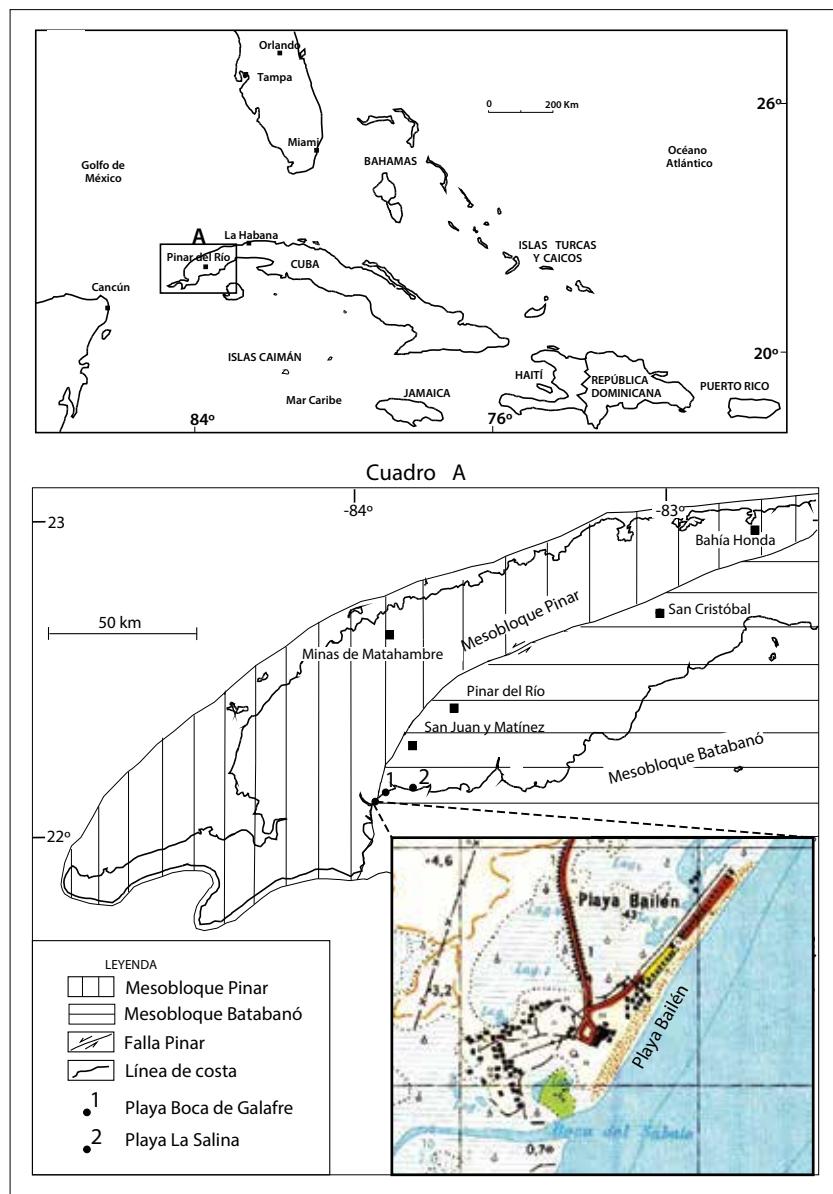


Figura 1. Ubicación del área de estudio en el contexto de las Antillas Mayores, Mar Caribe. Cuadro a: localización de la Playa Bailén en el macrobloque occidental.

gravas de la Formación Guane, de génesis aluvial-marino y de edad Plioceno-Pleistoceno inferior. El corte estratigráfico continúa en profundidad con las calizas y margas de la Formación Paso Real, de edad Mioceno inferior-medio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales topográficos y geológicos

El levantamiento e interpretación geológica de la playa Bailén ocupó las hojas topográficas 3482-III-a-1 y 3482-III-a-4, a escala 1:10 000 (Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, 1981), con una equidistancia entre curvas de nivel de 5.0 m. Esta información, junto con el levantamiento topográfico, a escala 1 000 de Benítez (2003), con una equidistancia de 0.25 m, permitió la identificación de las geoformas del relieve costero y precisar los sitios para los perfiles transversales, el monitoreo de la línea de costa y los sitios de muestreo del material sedimentario.

Evolución de la línea de costa

El análisis morfodinámico del comportamiento temporal de la línea de costa se obtuvo en cuatro fechas, espaciadas cada tres años. La primera en el mes de diciembre del año 2003, cuando la línea de costa fue digitalizada, a partir del levantamiento topográfico detallado, a escala 1: 1 000 de Benítez (2003). El resto de las posiciones de la línea costera se obtuvo en los años 2007, 2010 y 2013, a partir de mediciones topográficas realizadas directamente en la playa por los autores. Para las mediciones se tomaron puntos estables georreferenciados y cartografiados, como las construcciones civiles, cuya ubicación está correctamente establecida en el levantamiento topográfico de la playa Bailén, a escala 1: 1 000. En total se establecieron 15 estaciones de monitoreo de la línea de costa, a lo largo de los 2 140 m de playa, con una separación entre las estaciones de medición entre 130 y 180 m. Todas las mediciones fueron realizadas con cinta métrica, siguiendo un trazado perpendicular respecto a la línea de costa, comenzando a partir de esta y alcanzando distancias entre los 50 y 300 m tierra adentro aproximadamente, en función del

ancho del perfil de playa, el cual en la mayoría de los casos se encuentra truncado por construcciones o viales (Figura 2).

Variaciones espacio-temporales de la morfología del perfil transversal de playa

El levantamiento de perfiles topográficos es una herramienta utilizada para valorar las transformaciones temporales en el relieve de la playa (Farris y Lis, 2007; Jiménez, 2010), consistiendo en medir periódicamente la variabilidad de la pendiente de la playa, la altura de la berma y de las cadenas de dunas o dunas aisladas. Estos datos proveen información precisa para la estimación de volúmenes de arena erosionados o acumulados (Puleo *et al.*, 2008). Para la determinación de los cambios espacio-temporales en el perfil transversal de la playa Bailén se realizaron 15 perfiles topográficos transversales en 2007. En este caso de estudio se empleó el nivel automático NI-040 (Carl Zeiss), con una precisión de 1.5 cm por kilómetro de nivelación. Los perfiles transversales coincidieron con los sitios de monitoreo morfodinámico de la línea de costa.

El conocimiento detallado de la topografía de la playa en 2003 y 2007 permitió crear sus respectivas superficies topográficas con el empleo del programa Surfer, v. 11. Posteriormente, se estimaron los volúmenes acumulados o erosionados para cada punto de la malla utilizada para la interpolación. Estas diferencias se compararon con un plano de referencia, el plano Z=0, con lo cual se obtuvieron los valores netos del volumen de arena arrastrado hasta la playa, así como el volumen removido y la diferencia absoluta entre ambos (Tabla 1).

Análisis granulométrico de los sedimentos

Para la obtención de las características granulométricas se recolectaron 4 000 g de arena en cada una de las 15 estaciones seleccionadas. Las muestras fueron tomadas en la berma de la playa en los años 2007, 2010 y 2013, bajo el criterio de cinco porciones de 800 g por metro cuadrado (Figura 2) y en los mismos sitios del monitoreo morfodinámico costero. Posteriormente, se aplicó el método de cuarteo para la obtención de los 1 000 g requeridos,

Tabla 1. Volúmenes de arenas erosionados o acrecionados en cada segmento de la playa Bailén (período 2003-2007).

Segmento de playa evaluado		Volumen de arena acrecionado (m ³)	Volumen de arena erosionado (m ³)	Variación de volumen de arena (m ³)
Desde	Hasta			
Perfil 1	Perfil 2	2 484.26	180.72	+ 2 303.54
Perfil 2	Perfil 3	2 406.64	318.86	+ 2 087.78
Perfil 3	Perfil 4	3 340.81	11.48	+ 3 329.33
Perfil 4	Perfil 5	4 816.19	10.22	+ 4 805.97
Perfil 5	Perfil 6	3 437.15	9.69	+ 3 427.46
Perfil 6	Perfil 7	1 122.48	405.71	+ 716.77
Perfil 7	Perfil 8	1 271.35	183.70	+ 1 087.65
Perfil 8	Perfil 9	461.54	1 098.60	- 637.06
Perfil 9	Perfil 10	68.83	3 054.96	- 2 986.13
Perfil 10	Perfil 11	106.91	808.64	- 701.73
Perfil 11	Perfil 12	7.97	2 759.96	-2 751.99
Perfil 12	Perfil 13	3.67	3 955.73	- 3 952.06
Perfil 13	Perfil 14	46.32	1 468.95	- 1 422.63
Perfil 14	Perfil 15	287.77	650.63	- 362.86

los que fueron secados y tamizados, según establece la Norma Cubana 10: 1998 “Geotecnia. Preparación de muestras de suelos” (Oficina Nacional de Normalización, 1998).

Los resultados granulométricos fueron procesados en la macro sobre Excel Gradistat v. 4.0 (Blott, 2000). Esta herramienta permitió acceder a la estadística descriptiva de los datos de entrada, clasificar las muestras y obtener gráficos representativos de la composición granulométrica de las arenas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variaciones en la línea costera. Período 2003-2013

La línea de costa de referencia, estimada por Benítez (2003), y las sucesivas mediciones realizadas por los autores en los años 2007, 2010 y 2013, permitieron obtener los primeros datos sobre la evolución reciente de la línea de costa de la playa Bailén (Figuras 2 y 3).

El análisis de las mediciones efectuadas en los 15 puntos de monitoreo revelan dos tendencias

generales durante los diez años de monitoreo. La primera obedece a un retroceso de la línea de costa entre los años 2003 y 2010, aunque la pérdida de la playa ocurre, de manera diferenciada, a lo largo de los 2 140 m de playa. La segunda tendencia consiste en una recuperación paulatina de la playa, principalmente en su zona sur, entre los perfiles 1 y 8 del 2010 al 2013 (Figura 3). Sin embargo, para la zona norte de la playa continuó el retroceso de la línea de costa o los procesos de resilencia no alcanzan los niveles necesarios para conseguir las posiciones originales de la línea costera del año 2003.

Los resultados alcanzados muestran una correspondencia entre los sectores que han experimentado retroceso de la línea de costa, con emplazamientos de obras construidas en su entorno cercano, como sucede en la zona norte de la playa (del perfil 9 al 15), donde las edificaciones se emplazaron a menos de 30 m, como promedio, respecto a la línea de costa.

Esta situación ha determinado la mayor tasa de retroceso costero de la playa, alcanzando máximos de hasta - 2.0 m/año y un valor promedio de - 1.5 m/año entre 2007 y 2010, mientras que las

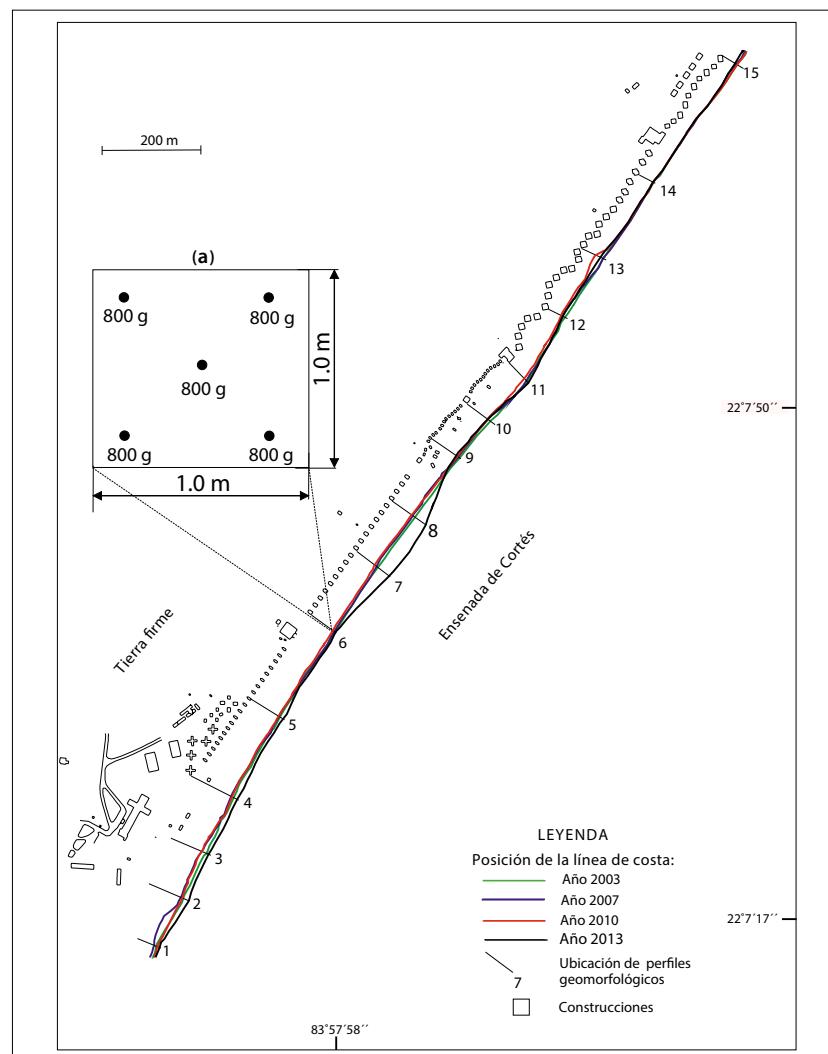


Figura 2. Variaciones de la línea de costa de la playa Bailén en el periodo comprendido entre los años 2003 y 2013. En el cuadro (a) se muestra el ejemplo para la conformación de los 4 000 g de la muestra inicial, tomados en cada punto de la berma de la playa para los ensayos granulométricos.

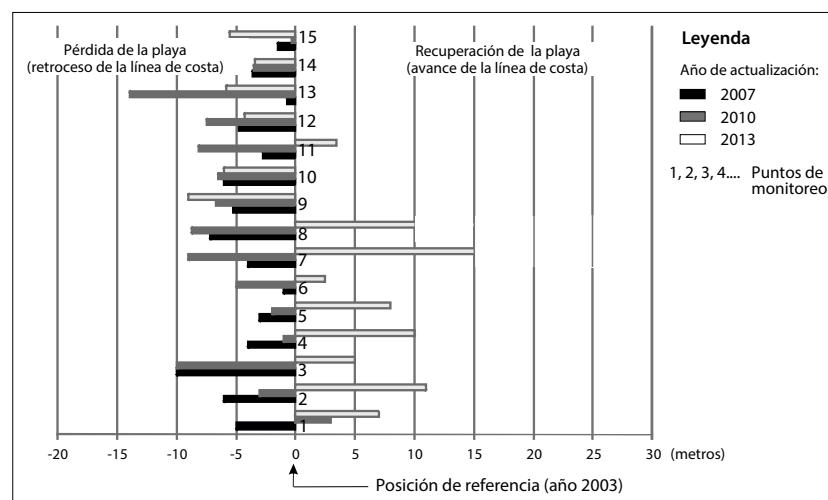


Figura 3. Gráfico ilustrativo de los cambios recientes en la línea costera de la playa Bailén. El eje 0 marca la posición de referencia (año 2003).

tasas de recuperación han sido muy inferiores respecto a las experimentadas en el sector sur. En este último segmento (perfles 1 al 8), el valor máximo de acreción es de + 2.6 m/año y el promedio alcanza + 1.2 m/año en el mismo período temporal.

Modificaciones en el perfil de playa. Período 2003-2007

El 13 de septiembre del año 2004 el huracán Iván afectó el sector costero estudiado, con surgencias cercanas a los 3.0 m de altura y vientos sostenidos

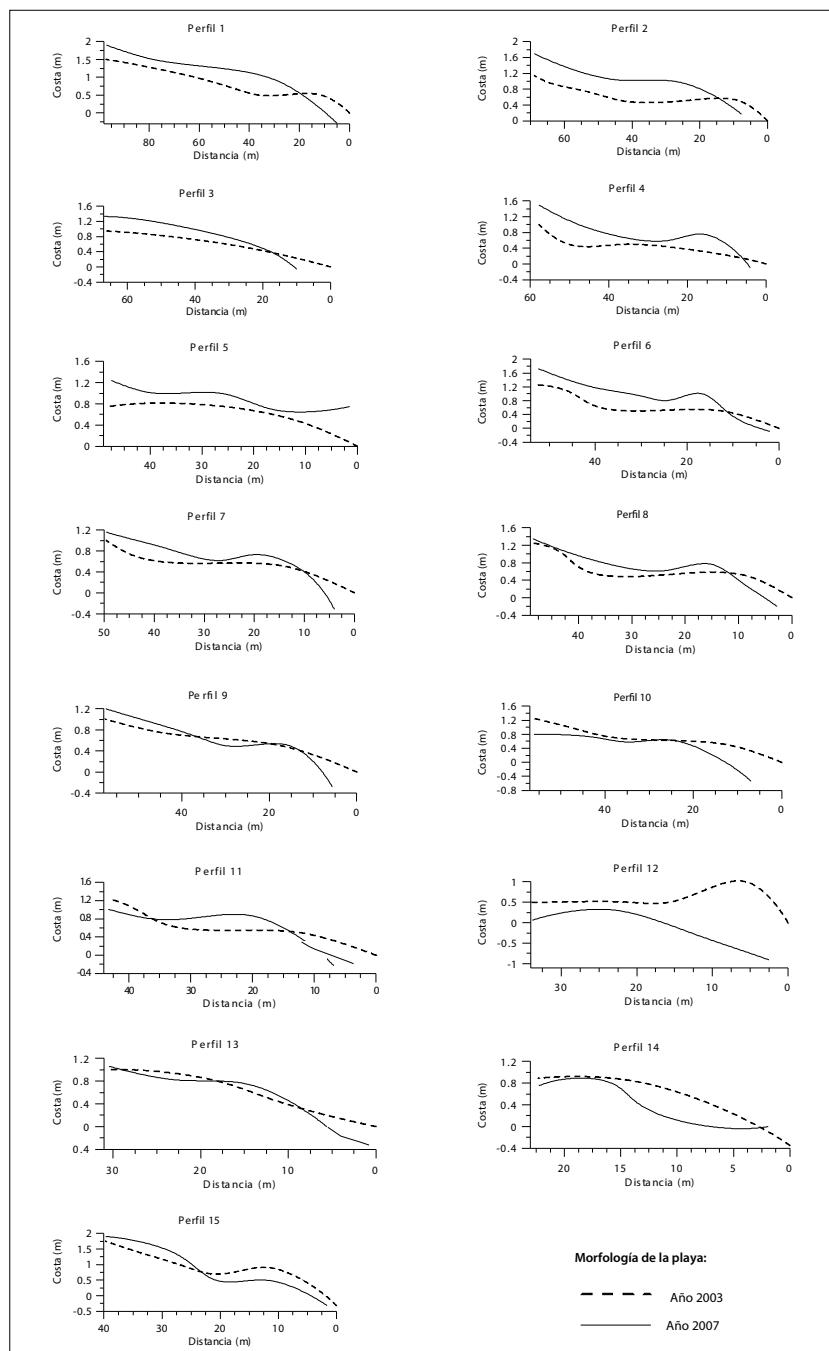


Figura 4. Comparación entre los perfiles de playa del año 2003 y 2007, playa Bailén.

hasta de 193 km/h, con ráfagas de hasta 230 km/h. Este evento meteorológico extremo provocó transformaciones de consideración en la morfología de la playa, con manifestaciones de retroceso de la línea de costa y reacomodo de las arenas hacia las dunas, aumentando su altura. En la comparación de los perfiles de playa elaborados para los años 2003 y 2007, se aprecia muy bien este fenómeno, sobre todo en los perfiles 1, 2, 3 y 4, localizados al sur de la playa (Figura 4).

Como se aprecia en la figura 4, en los 15 perfiles realizados se comprobaron cambios en la morfología de la playa, posteriores al paso del huracán

Iván, evidenciando la vulnerabilidad de los sistemas costeros frente a estos eventos extremos. En general, las variaciones morfológicas fueron de 0.20 a 0.50 m de aumento en la altura de las dunas, y en los casos degradativos la disminución de la misma osciló entre 0.15 y 0.40 m.

Por otra parte, el cálculo de los volúmenes de arena erosionada o acrecionada también confirma el efecto diferenciado de los procesos erosivos sobre la playa Bailén. En los 100 600 m² que cubre la playa, en el período 2003-2007, se acumularon 17 758.5 m³ de arena y fueron erosionados 12 814.5 m³. En la figura 5 se pueden observar

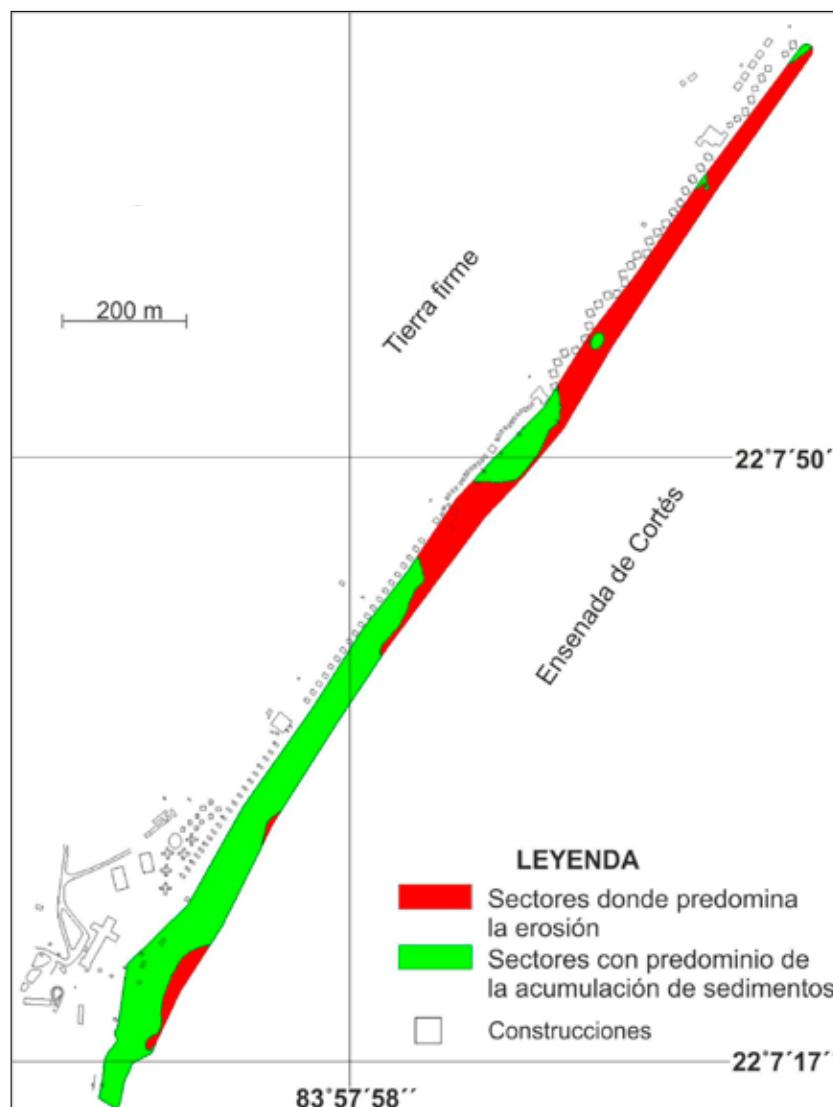


Figura 5. Manifestaciones morfodinámicas de los fenómenos erosivos y acumulativos en la playa Bailén.

los sectores afectados por ambos procesos costeros, siendo el sector norte de la playa el más sensible a sufrir afectaciones por pérdida de arena y retroceso costero; justamente donde las construcciones se ubican más cerca de la línea de la costa.

Modificaciones en la granulometría de las arenas. Período 2003-2013

El análisis de las características granulométricas de los 15 puntos muestreados en la berma de la playa Bailén durante el año 2013 demostró la presencia de sedimentos relativamente gruesos hacia la zona norte de la playa. Entre los perfiles 9 y 15 existe predominio de arenas gruesas o gravas finas, con diámetro medio de las partículas cercanos a los 2 000 micrones. Situación opuesta ocurre al sur de la playa (entre los perfiles 1 y 8), donde predominan las arenas finas y medias con aproximadamente 680 micrones de diámetro, como promedio.

Al comparar la dinámica de la granulometría de las arenas en ambos sectores de la playa (norte y sur), se manifiestan distintos comportamientos. En el sector sur, la granulometría ha experimentado pocos cambios, como lo indica la comparación de las curvas granulométricas correspondientes a las muestras tomadas en los años 2007, 2010 y 2013 (Figura 6A), mientras que en el sector norte se aprecia un continuo incremento de la fracción gruesa en igual período (Figura 6B).

La planeación en la ubicación de las construcciones es un elemento clave para el ordenamiento territorial de los sistemas costeros (Figura 7), especialmente en los planes de conservación de las playas o transformaciones futuras del patrimonio construido (Gutiérrez y González, 1999; Moreno *et al.*, 2006; Juanes, 2006). Las investigaciones en la playa Bailén demostraron el efecto diferenciado de la erosión sobre la playa, del retroceso de la línea

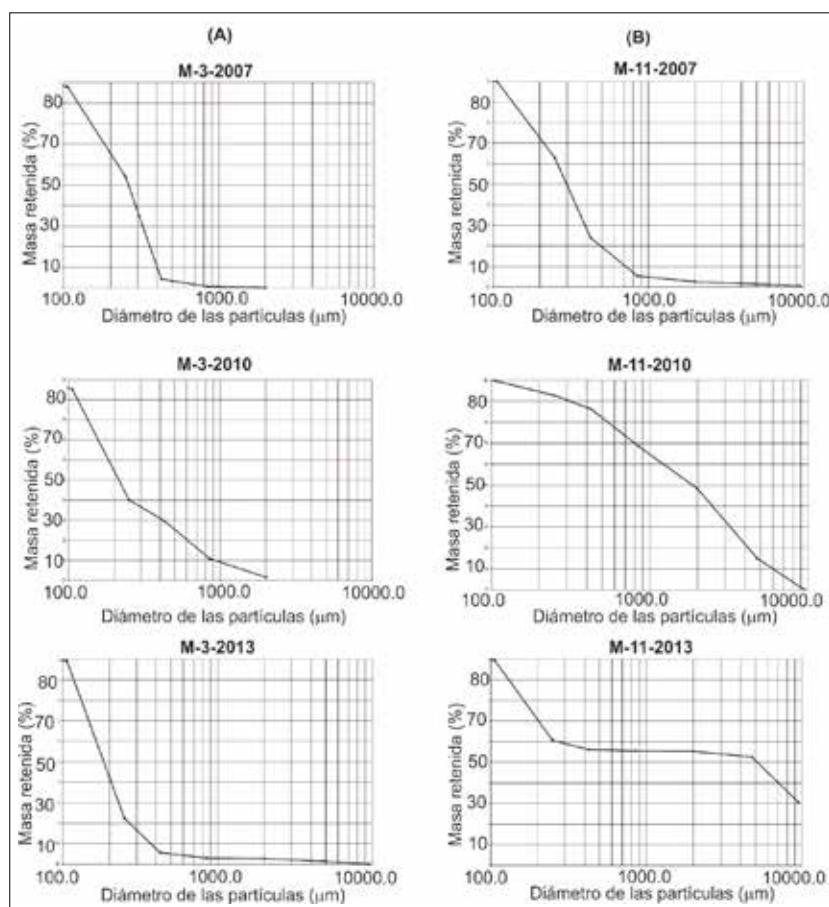


Figura 6. Evolución temporal de la granulometría en la playa Bailén. Columna (A): muestras tomadas en los años 2007, 2010 y 2013 en el punto de monitoreo 3 (sector sur) y columna (B): muestras tomadas en los mismos años en el punto de monitoreo 11 (sector norte).

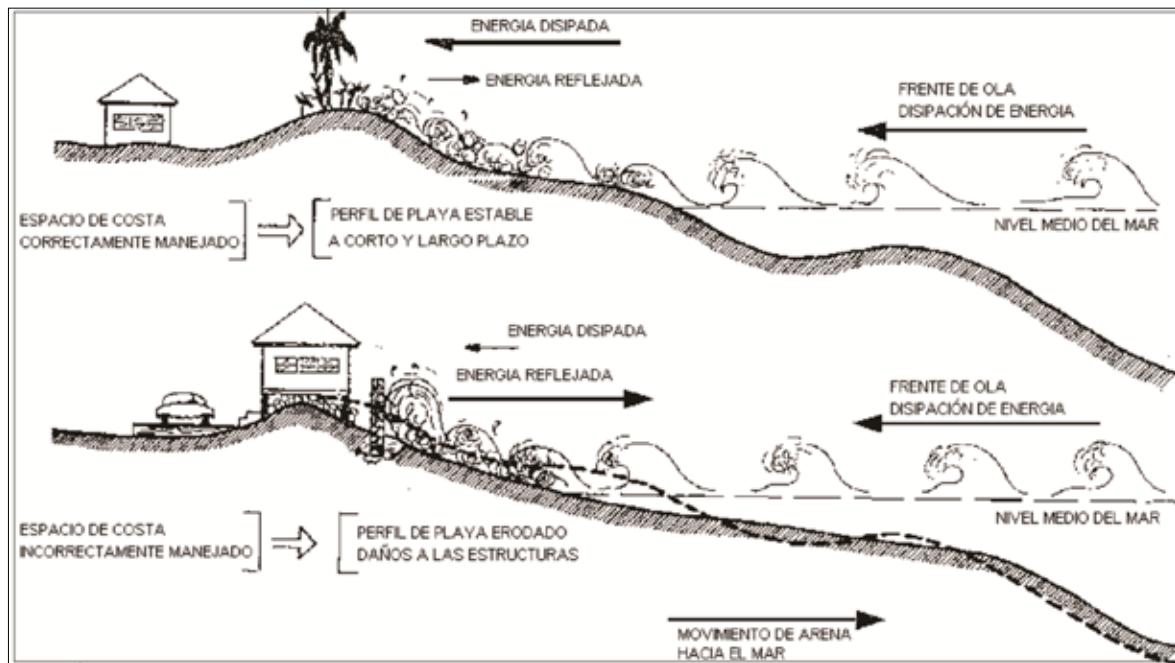


Figura 7. Manejo antropogénico de la costa y el efecto diferenciado del oleaje (tomado de Juanes, 2006).

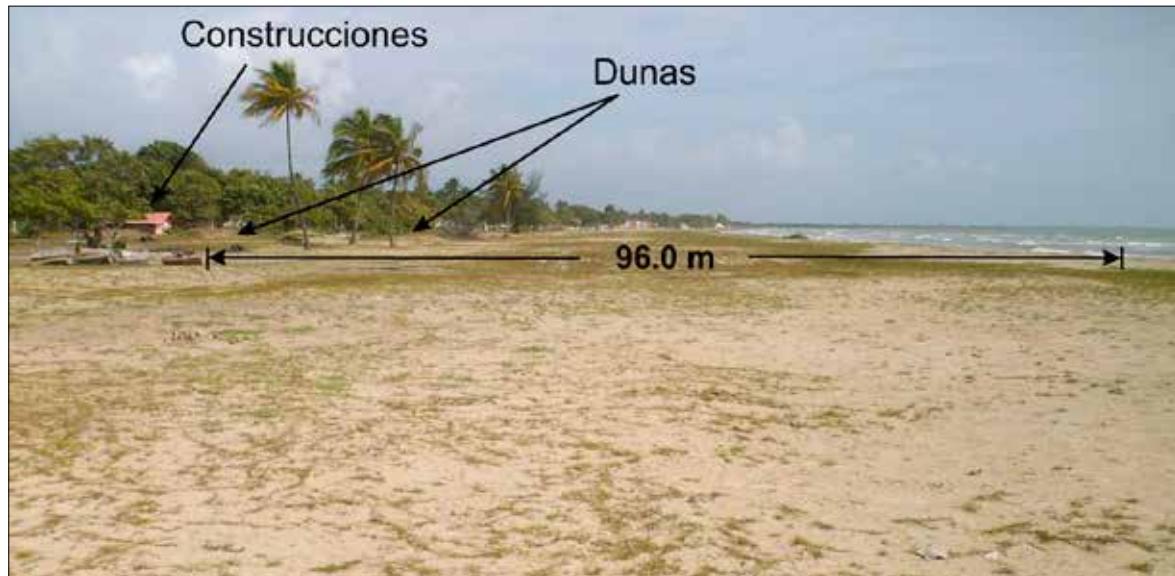


Figura 8. Posición de las construcciones respecto a las dunas en el sector sur de la playa Bailén. La ubicación de las construcciones en la parte interior, a sotavento de las dunas, facilita la disipación de las olas provocadas por tormentas u otros fenómenos hidrometeorológicos extremos, evitando la ruptura del perfil de equilibrio de la playa.

de costa, de la pérdida de volúmenes de arenas y del incremento de la fracción gruesa de los sedimentos en el perfil de playa.

Las construcciones sobre las dunas o en su parte

frontal al mar actúan negativamente al facilitar los procesos erosivos de las olas de tormenta, este es el caso del sector norte de la playa Bailén. Según Juanes (2006), en un perfil natural de playa las olas



Figura 9. Posición de las construcciones respecto a las dunas en el sector norte de la playa Bailén. La cercanía de las construcciones acelera los procesos erosivos, especialmente frente a eventos meteorológicos extremos.

disipan su energía al moverse por la post-playa y, en ocasiones, por encima de la duna, predominando el “efecto disipativo” del relieve local, beneficiando la regeneración, estabilidad y consolidación de las dunas y de la berma (Figura 8).

De manera opuesta, en las playas con construcciones en dichas condiciones inadecuadas, las olas que chocan con la berma y las dunas frontales son reflejadas, provocando que la energía suspenda una mayor cantidad de arena, la que es transportada por las corrientes litorales fuera de la línea de rompiente, predominando el “efecto reflexivo” del relieve costero.

CONCLUSIONES

Los procesos morfodinámicos a lo largo de la playa Bailén, al sur de Cuba occidental, durante los últimos diez años revelan la ocurrencia de procesos morfodinámicos bien diferenciados de retroceso y acreción en su línea de costa. Para los primeros siete años analizados (2003-2010), los 2 140 m de playa experimentaron retroceso costero, con una tasa máxima de - 2.0 m/año y un valor promedio de - 0.8 m/año. En el período 2010-2013 la línea de costa tiende a recuperarse con respecto a la posición de referencia del 2003. Sin embargo, la recuperación no es homogénea, ocurriendo de forma más

lenta en el sector norte, donde los procesos erosivos son más notables.

Se manifiestan indicios de erosión en el sector norte de la playa, pues en el 2013 los análisis granulométricos revelaron sedimentos clasificados como arenas gruesas o gravas finas, con diámetro medio de las partículas cercanos a los 2 000 micrones, mientras que en la zona sur de la playa predominan las arenas finas y medias, con 680 micrones de diámetro como promedio. Además, las comparaciones temporales de la granulometría arenosa en el sector norte evidencian un continuo incremento de su fracción gruesa.

La ubicación inadecuada de las construcciones civiles en la zona más dinámica de la playa refleja una estrecha correlación espacial entre los sitios con emplazamientos cercanos a la costa, menores de 30 m como promedio, generalmente sobre las dunas frontales y bermas, con el desarrollo de los procesos erosivos más intensos, como ocurre en el sector norte de Bailén. Esta situación contribuye significativamente al incremento paulatino del diámetro medio de los sedimentos debido a la lenta recuperación de la posición original de la línea de costa, determinando una baja resiliencia de estos tramos de playa, lo que se agudiza ante la presencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos.

Para la recuperación futura del perfil de equilibrio de la playa, mediante vertimientos de arena,

esencialmente nativa del sitio, es indispensable mantener el monitoreo en las estaciones y perfiles transversales sobre el cambio de posición de la costa, los cambios morfológicos del relieve eólico-marino y la dinámica sedimentaria, para con ello establecer el volumen medio de arena por metro lineal de playa y garantizar la efectividad de la regeneración de este recurso natural. La eliminación de antiguas construcciones en la berma y la porción frontal de las dunas, así como la prohibición de nuevas, contribuirá al equilibrio morfodinámico y a la calidad del servicio turístico.

REFERENCIAS

- Alonso, R., G. López, R. Mosquera, S. Solari y L. Teixeira (2014), "Coastal erosion in Balneario Solís, Uruguay", *Journal of Coastal Research*, núm. 71, pp. 48-54.
- Arcia, M. y R. Pereiras, (1997), "State of Management of Coastal geosystems in Cuba", en *Proceedings of Conference on Coastal Change*, pp. 750-760.
- Benítez, A. (2003), "Mapa topográfico detallado de la Playa Bailén, a escala 1: 1 000, Unión Nacional de Ingenieros y Arquitectos de la Construcción de Cuba, Pinar del Río.
- Blott, S. (2000), Programa sobre plataforma Microsoft Excel Gradistat versión 4.0, Departamento de Geología, Universidad de Londres.
- Boruff, B. J., C. Emrich y S. L. Cutter (2005), "Erosion Hazard Vulnerability of US Coastal Counties", *Journal of Coastal Research*, vol. 21, núm. 5, pp. 932-942.
- Cabrera, M., L. Orbera, A. Núñez, G. Pantaleón, J. Treiff y C. Pérez (2012), *Neotectónica y ascenso del nivel medio del mar en Cuba*, Ed. Centro Nacional de información Geológica, La Habana.
- Díaz Díaz, J. L., M. C. Martínez Hernández y F. Cutié Rizo (1998), *Principales problemas ambientales costeros en Cuba*, La Habana, 6 p. [<http://observatoriogeográficoamericalatina.org.mx/egal7/Procesosambientales/Impactoambiental/05.pdf>: 5 de febrero de 2015].
- Díaz Llanes, G. (1989), "El Mar", en G. Oliva Gutiérrez, E. Sánchez Herrero, J. R. Hernández Santana, E. Propín Frejomil y E. Buznego Rodríguez (coords.) *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*, Ed. Instituto Geográfico Nacional de España, Madrid, p. VIII.1.1
- Farris, A. S. y J. H. List (2007), "Shoreline Change as a Proxy for Subaerial Beach Volume Change", *Journal of Coastal Research*, vol. 23, núm. 3, pp. 740-748.
- Froede Jr., C. R. (2006), "The impact that Hurricane Ivan (September 16, 2004) made across Dauphin Island, Alabama", *Journal of Coastal Research*, vol. 22, núm. 3, pp. 561-573.
- González-Vázquez, J. A., R. Silva, E. Mendoza y M. A. Delgadillo-Calzadilla (2014), "Towards Coastal Management of a Degraded System: Barra de Navidad, Jalisco, Mexico", *Journal of Coastal Research*, Special Issue, vol. 71, pp. 107-113.
- Gutiérrez, M. y S. González (1999), "Las costas mexicanas y su crecimiento urbano", *Investigaciones Geográficas*, núm. 40, pp. 110-126.
- Hammer-Klose, E. y R. Thieler (2001), *Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: A Preliminary Database for the US Atlantic, Pacific and Gulf of Mexico Coasts*, Woods Hole, MA, United States Geological Survey.
- Hernández-Santana, J. R., M. A. Ortiz-Pérez, A. P. Méndez-Linares y L. Gama Campillo (2008), "Morfodinámica de la línea de costa del Estado de Tabasco, México: tendencias desde la segunda mitad del siglo XX hasta el presente", *Investigaciones Geográficas*, num. 65, pp. 7-21.
- Hernández-Santana, J. R. y R. Reyes González (2002), Regeneración artificial de playas y desarrollo sostenible: experiencias ambientales en la Playa de Varadero, Península de Hicacos, Cuba. *Investigaciones Geográficas*, núm. 49, pp. 43-56.
- Ho Kim, Hyung Seok Lee, Jin Hoom Kim, Jong Sung Yoon y Dong Soo Hur (2014), "Shoreline change due to construction of the artificial headland", *Journal of Coastal Research*, núm. 72, pp. 145-150.
- Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (1981), Mapas 3482-III-a-1 y 3482-III-a-4, a escala 1:10 000, La Habana.
- Ionin, A. y Y. Pavlidis (1967), "Condiciones de formación del relieve y de los sedimentos de la zona costera de Isla de Pinos", La Habana, 8 pp.
- Ionin, A. y Y. Pavlidis (1970), *Clasificación morfogenética de los tipos de costa*, Atlas Nacional de Cuba, La Habana.
- Ionin, A., Y. Pavlidis y O. Avello (1972a), "Relieve de la zona costera y sedimentos del fondo de la costa norte de Cuba, en la región del Archipiélago Sabana-Camagüey", *Serie Oceanológica*, núm. 12, pp. 1-24.
- Ionin, A., Y. Pavlidis y O. Avello (1972b), "Resumen geológico y geomorfológico de la zona litoral de la costa noroeste de Cuba", *Serie Oceanológica*, núm. 11, pp. 1-13.
- Jiménez, O. A. (2010), Análisis espacio-temporal de la erosión y la acreción de las costas del Estado de Veracruz, tesis de maestría, Instituto de Ecología A.C., México, 113 pp.

- Juanes Martí, J. L. (1996), La erosión en las playas de Cuba - alternativas para su control. Tesis doctoral, Instituto de Oceanología, La Habana, 101 pp.
- Juanes Martí, J. L., C. García Hernández y A. Álvarez Cruz (1998), *Proyecto de vertimiento de arena en la playa de Varadero*, Instituto de Oceanología, La Habana.
- Juanes Martí, J. L. (2006), "La erosión de las playas. Causas y métodos ingenieriles para su control", *Conferencias del posgrado Procesos costeros y criterios metodológicos para la recuperación de playas*, La Habana, 15 pp.
- Kabuth, A. K., A. Kroon y J. B. T Pedersen (2013), "Multidecadal Shoreline Changes in Denmark", *Journal of Coastal Research*, vol. 30, num. 4, pp. 714-728.
- Lanfredi, N. W., J. L. Pouse y E. E. D'Onofrio (1998), "Sea-level Rise and Related Potential Hazards on the Argentine Coast", *Journal of Coastal Research*, vol. 14, num. 1, pp. 47-60.
- Massip, S. y S. Ysalgué (1942), *Introducción a la Geografía de Cuba*, La Habana, Ed. Fiallo, 243 pp.
- Medvedev, V. S. y J. L. Juanes (1981), "Investigaciones morfolitodinámicas en la zona costera y la plataforma del litoral norte de Cuba", *Revista Plataformas Continentales e Insulares*, pp. 229-250.
- Moreno, P., R. Monroy y E. Peresbarbosa (2006), *El desarrollo socioeconómico en la costa de México. Estrategia para manejo costero integral: el enfoque municipal*, Instituto de Ecología A. C., Xalapa, pp. 315-415.
- Núñez Jiménez, A. (1959), *Geografía de Cuba*, La Habana, segunda edición, 624 pp.
- Oficina Nacional de Normalización (1998), *Geotecnia. Preparación de muestras de suelos (Norma Cubana-10: 1998)*, La Habana.
- Ordaz Hernández, A., A. Díaz Deulofeo, R. Ramírez Hernández, E. Estévez Cruz, J. A. Valdés Pérez, S. P. Díaz Díaz, I. Rodríguez González, C. Díaz Guanche y O. Moreno (2009), *Proyecto. Estudio de riesgos ante desastre naturales en el sector costero Coloma – Bailén*, Universidad de Pinar del Río, Cuba.
- Ortiz-Pérez, M. A., A. P. Méndez-Linares y J. R. Hernández-Santana (2013), "Sea Level Rise and Vulnerability of Coastal Lowland in the Mexican Area of the Gulf of México and the Caribbean Sea", en J. W. Day y A. Yáñez-Arancibia (eds.), *Ecosystem-Based Management in the Gulf of Mexico*, Texas A & M University Press, vol. V, pp. 639-673.
- Pérez Hernández, A. L. (2005), "El ordenamiento territorial en la reducción de los desastres naturales en las zonas costeras cubanas", *Gaceta Ecológica*, núm. 76, pp. 73-82.
- Puleo, J. A., N. S. Pearre, L. He, L. Schmied, M. O'Neal, L. S. Prieto y M. Fowler (2008), "A single-User Subaerial Beach Profiler", *Journal of Coastal Research*, vol. 24, pp. 1080-1086.
- Ramírez Cruz, E. (1989), Caracterización geomorfológica de la costa norte de Habana-Matanzas, tesis de doctorado, La Habana, 100 pp.
- Rodríguez Paneque, R. A., E. A. Córdova García, J. A. Franco Abreu y A. Rueda Rueda (2009), "La erosión en las playas del litoral de Holguín, Cuba", *Revista Ciencias Holguín*, núm. 1, pp. 1-20.
- Salas I., R. Pérez Parrado, C. Rodríguez y A. L. Pérez (1999), *Elaboración de los Mapas de Riesgo*, en PNUD, Proyecto Cuba/94/003, Desarrollo de las técnicas de predicción de las inundaciones costeras. Prevención y reducción de su acción destructiva, La Habana, 200 p.
- Suárez Moré, R. (1971), *Geografía de las costas cubanas*, Ed. Academia, La Habana, 8 pp.
- Suárez Moré R. (1976), "Morfodinámica y conservación de las playas", *Serie Geográfica*, núm. 15, pp. 1-21.
- Thomas-Bohórquez, J. E. (2013), "Evaluación de la vulnerabilidad social ante amenazas naturales en Manzanillo (Colima). Un aporte de método", *Investigaciones Geográficas*, num. 81, pp. 79-93.
- Tristá Barrera, E. (2008), Evaluación de los procesos de erosión en las playas interiores de Cuba, tesis de doctorado, La Habana, 100 pp.
- Zenkovich, V. P. (1969), "Arrecifes que bordean a Cuba", *Serie Geográfica*, núm. 2, pp. 81-89.
- Zenkovich, V. P. y A. S. Ionin (1969), "Breve resumen sobre las investigaciones de la estructura y dinámica de la zona litoral de la Isla de Cuba", *Serie Oceanológica*, núm. 8, pp. 1-28.
- Zenkovich, V. P. (1976), "Preservando la naturaleza de las costas", *Rev. Geoforum*, núm 7, pp. 395-397.