

Hidrodinámica, geomorfología costera y características de las playas arenosas del litoral nororiental de Cuba

Hydrodynamic, coastal geomorphology and sandy beach characteristics on the northeastern coast of Cuba

Ridel Rodríguez Paneque,* Elier A. Córdova García,** Alexei Rueda Rueda***

Recibido: 20/11/2024. Aceptado: 27/02/2025. Publicado: 23/05/2025

Resumen. El estudio de la hidrodinámica, la geomorfología costera y las características de las playas son de gran importancia para la comprensión de los procesos que intervienen en su comportamiento morfodinámico, el ordenamiento territorial y la gestión de los espacios litorales. En el presente estudio se identifican los rasgos hidrodinámicos, geomorfológicos y las características de las playas arenosas del litoral nororiental de Cuba. La investigación se basa en los estudios de terreno realizados entre 2018 y 2022 en 54 playas, con datos de estaciones meteorológicas, oceanográficas y mareográficas y en las observaciones realizadas por los autores durante 30 años (1993-2023). Se encontró que en este litoral se registran las olas de mayor altura de la costa norte de Cuba y la mayor amplitud de marea del archipiélago cubano. La estrechez de la plataforma marina es el rasgo geomorfológico más significativo y la terraza rocosa baja es el tipo de costa mejor representado. Se encontró el predominio de playas de poca extensión y desarrollo, constituidas por arenas de granulometría media y génesis biogénica, en su mayoría antecedidas por arrecifes coralinos. Se encontraron evidencias erosivas sostenidas en

el 70 % de las playas, que se atribuyen a la combinación de factores naturales y antrópicos, pero con el predominio de causas naturales. Además, se confirma la conveniencia de incorporar los resultados de la presente investigación en la planificación territorial y el manejo integrado de las zonas costeras, así como en los esfuerzos para el control y gestión de la erosión en las playas cubanas.

Palabras clave: playas; arena; oleaje; erosión; arrecifes coralinos

Abstract. Studying hydrodynamics, coastal geomorphology and beach characteristics is important for understanding the processes involved in their morphodynamic behaviour, as well as for territorial planning and managing coastal spaces. This study identified the hydrodynamic and geomorphological characteristics and particularities of the beaches on Cuba's north-eastern coast. This research is based on field studies conducted between 2018 and 2022 on 54 beaches, as well as data from meteorological, oceanographic and

* Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales de Holguín (CISAT). Calle 18 entre 1ra y Maceo, Rpto. El Llano, Holguín, 80100, Cuba. Academia de Ciencias de Cuba, Filial Oriente Norte, Cuba. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2232-9937>. Email: alex.ridel@gmail.com; ridel@cisat.cu. Autor de correspondencia.

** Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales de Holguín (CISAT). Calle 18 entre 1ra y Maceo, Rpto. El Llano, Holguín, 80100, Cuba. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1800-3301>. Email: elier@cisat.cu

*** Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales de Holguín (CISAT). Calle 18 entre 1ra y Maceo, Rpto. El Llano, Holguín, 80100, Cuba. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6328-5160>. Email: aliosha@cisat.cu

tide gauge stations. The author has also made observations over a period of 30 years (1993–2023). It was found that this coastline experiences the highest waves and the largest tidal range on Cuba's northern coast. The most significant geomorphological feature is the narrowness of the marine platform, and the best-represented type of coast is the low rocky terrace. Beaches of limited extension and development were predominant, consisting of medium-grained sands of biogenic origin, mostly preceded by coral reefs. Evidence of

sustained erosion was found in 70% of the beaches, which is attributed to a combination of natural and human-induced factors, with natural causes predominating. Furthermore, the potential usefulness of incorporating the results of this research into territorial planning, the integrated management of coastal areas and efforts to control and manage erosion on Cuban beaches is confirmed.

Keywords: beaches; sand; waves; erosion; coral reef.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la hidrodinámica, la geomorfología litoral y las características de los sedimentos que conforman las playas, así como sus variaciones espaciales y temporales, constituyen temas recurrentes en los estudios de morfodinámica de playa. Son de gran importancia para la comprensión de los procesos que intervienen en su comportamiento morfodinámico, así como en la respuesta y efectividad de los proyectos de regeneración de playas (Dean, 2003; Yoshida *et al.*, 2014; Ludka *et al.*, 2018; Carvalho y Woodroffe, 2023). Resultan cruciales para proteger y manejar adecuadamente estas áreas (Pranzini, *et al.*, 2018; Ton *et al.*, 2021; Senechal y Coco, 2024). Sin embargo, los estudios de la playa, a largo plazo, han enfrentado desafíos debido a la insuficiencia de datos históricos (Yuan *et al.*, 2024).

Las playas son geoformas litorales muy dinámicas y cambiantes debido a la interacción de factores hidrodinámicos (oleajes, corrientes y mareas), geomorfológicos (morfología litoral, sedimentos) y biológicos (abundancia y distribución de organismos formadores de arena). Su equilibrio dinámico obedece, entre otros factores, a los cambios de la altura, dirección y período de las olas, la amplitud de las mareas y el efecto de las corrientes litorales (Zenkovich, 1967; Bird y Lewis, 2015; Casamayor *et al.*, 2022; Castle y Masselink, 2023).

El deterioro de las playas y la pérdida de este recurso, a largo plazo, genera preocupaciones debido a su importancia ambiental, económica y social. Estudios realizados por Rodríguez y Finkl (2020), Rodríguez *et al.* (2009) y Rodríguez y Córdova (2006), muestran que la mayoría de las

playas del litoral nororiental de Cuba tienen una tendencia erosiva, probablemente irreversible. Este problema se agrava en la actualidad por los efectos del cambio climático global, relacionados con el ascenso del nivel del mar y el aumento en la frecuencia e intensidad de tormentas tropicales y huracanes (Masselink y Russell, 2013; Mahabot *et al.*, 2017; Zscheischler *et al.*, 2018; Rodríguez y Finkl, 2020; Coelho *et al.*, 2023; Thiéblemont *et al.*, 2024).

La protección y recuperación de las playas se ha convertido en una de las prioridades del Estado cubano y no es exclusivamente un asunto de carácter ambiental sino también de índole económico, pues las playas son el soporte del turismo en Cuba, el cual aporta aproximadamente el 10 % al producto interno bruto (PIB), según se deduce de los datos estadísticos de la Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI, 2020).

La alimentación artificial de arena ha emergido como la principal opción para el control de la erosión, restauración y mejora de las playas cubanas, debido a sus diversas ventajas sobre otras alternativas. Sin embargo, las playas del litoral nororiental de Cuba tienen características hidrodinámicas, geomorfológicas y sedimentarias singulares que las distinguen del resto de las playas de Cuba, por lo que no es posible extrapolar los modelos numérico predictivos, de perfil de equilibrio, como sustento teórico de las actuaciones para el control y manejo de los procesos erosivos en dichas playas.

La presente investigación está basada en los estudios de terreno realizados entre 2018 y 2022 en 54 playas biogénicas, e incorpora los estudios y observaciones de campo realizados por los autores durante treinta años (1993-2023), que cubren toda la región de estudio, así como datos de estaciones

meteorológicas, mareográficas y oceanográficas presentes en este litoral. Su objetivo fue identificar los rasgos hidrodinámicos, geomorfológicos y las características de las playas arenosas del litoral nororiental de Cuba, lo que contribuirá a una mejor comprensión de los mecanismos responsables de los procesos de erosión/acreción. Incorporar dichos resultados en la planificación territorial y el manejo integrado de las zonas costeras permitirá disminuir la exposición y vulnerabilidad de las playas ante diferentes amenazas.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El litoral nororiental de Cuba tiene una costa irregular de 1402 km de largo, tomando en consideración la longitud de las costas interiores de las

bahías. Por su parte, la costa expuesta a la acción directa del oleaje oceánico tiene una extensión de 474 km. La ubicación geográfica del área de estudio se muestra en varias figuras (Figuras 1A-E).

Las características geológicas del archipiélago cubano y de este litoral son resultado de una historia compleja, representada por una serie de secuencias y estructuras estrechamente relacionadas con la evolución del Caribe occidental (Cotilla *et al.*, 1996). Casi paralelo y cercano al litoral nororiental de Cuba se encuentra la continuidad de la falla norte de La Española (Arango *et al.*, 2015) (Figura 1B); más al oeste, la falla Sabana separa a Cuba de la cuenca de las Bahamas, por la fractura del Viejo Canal de las Bahamas (Ionin *et al.*, 1977).

La formación Jaimanitas (Jai.) del Pleistoceno, paralela a la línea de costa, constituye la principal litología; compuesta por calizas macizas, en forma de arrecifes, generalmente kársticas y calcarenitas,

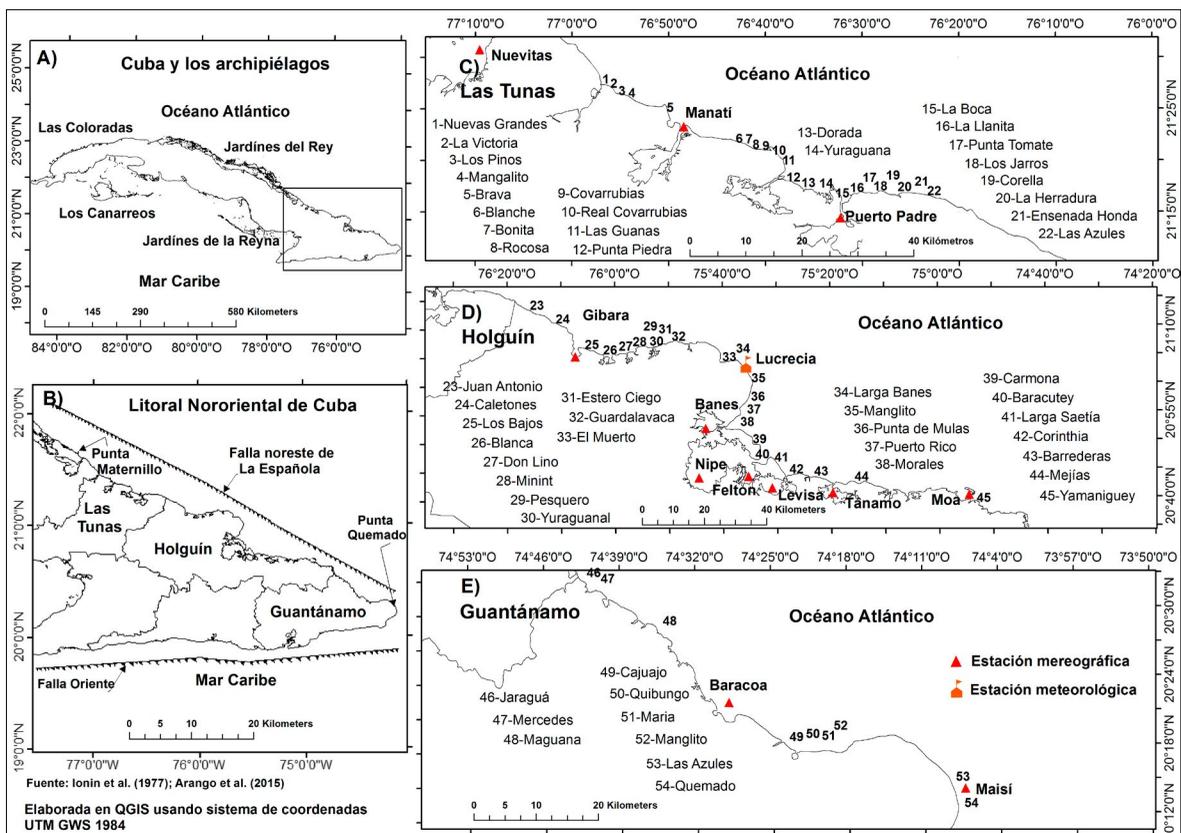


Figura 1. Situación geográfica del área de estudio. A) archipiélago cubano; B) litoral nororiental de Cuba; C), D) y E) playas objeto de estudio por provincias.

sobre las que aparecen depósitos de arena del Cuaternario. La formación Júcaro (Jc.), subyace a Jaimanitas y se encuentra generalmente en el interior de las bahías, compuesta por margas, rocas calizas y calcarenitas, generalmente con una matriz arcillosa.

En la mayor parte de este litoral predominan rocas calizas que, bajo la acción del agua acidulada y los agentes climáticos, propician el desarrollo de formas kársticas, particularmente en la mitad occidental. En estos territorios, la red fluvial superficial es pobre, debido a la infiltración del agua de lluvia a través de las rocas. De manera opuesta, en el oriente del territorio predominan las rocas del complejo ofiolítico, lo cual, junto al relieve montañoso y la gran pluviosidad, dan lugar a ríos que aportan, de manera puntual, una cantidad significativa de materiales terrígenos.

Cuba tiene un clima tropical de húmedo a subhúmedo, con brisas durante todo el año, una estación lluviosa durante el verano (mayo-octubre) y una seca durante el invierno (noviembre-abril). Los cambios climáticos más importantes están vinculados a la presencia de perturbaciones en la circulación tropical, provocado por la llegada de olas del este y tormentas tropicales (INSMET, 2023).

En el caso de las tormentas tropicales y huracanes, en la región del Atlántico, se forman especialmente en el verano y el otoño (junio a noviembre), asociado al cambio estacional de la circulación atmosférica intertropical. Traen aparejadas copiosas e intensas lluvias, vientos de gran intensidad e inundaciones costeras por penetraciones del mar en las zonas bajas del litoral.

Hidrodinámica

Las características hidrodinámicas fueron determinadas a partir del análisis de una base de datos de vientos de 50 años (1970-2020) proporcionada por el Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET, 2021), la cual contiene información sobre la velocidad, dirección y frecuencia del viento de la estación meteorológica Cabo Lucrecia (No. 78365) (Figura 1D), ubicada en el litoral (21°04' N; 75°37' W) y representativa del área de estudio.

Para el oleaje se usó una base de datos de olas, en alta mar, de la cuadrícula 33 de *Global Waves Statistics* (British Maritime Technology Limited,

2020), que proporciona información sobre la altura de la ola significativa (hs) y el período (t). Las direcciones predominantes de las olas del *Global Wave Statistics* coinciden con el régimen de vientos reportados desde la estación meteorológica Lucrecia. El cálculo de la altura de la ola en rompiente (H_b), se realizó mediante el software Ola 2.0, desarrollado por Cordobés y Rodríguez (2008), el cual permite realizar la transformación del oleaje, desde aguas profundas hasta la playa, tomando como referencia perfiles de relieve del lecho oceánico.

Además, se colectó información de la amplitud de las mareas en las doce estaciones que existen en este litoral. Estas estaciones mareográficas son: Nuevitas, Manatí, Puerto Padre, Gibara, Banos, Felton, Nipe, Levisa, Tánamo, Moa, Baracoa y Maisí (Figura 1C-E).

Geomorfología

La composición litológica, las formas del relieve y los procesos costeros que intervienen en su formación, se determinaron a partir de los estudios y observaciones de campo, por tierra, mar y aire, realizados por los autores durante 30 años (1993-2023), que cubren toda la región de estudio.

Así mismo, se analizaron e interpretaron imágenes satelitales de alta resolución de Google Earth Pro (CNES/Airbus), y los mapas topográficos a escala 1:25 000 y 1:50 000 de la República de Cuba. Se consideraron además los cuatro tipos de formas del relieve costero (playas, acantilados, terrazas bajas y de manglar) definidos en el Decreto Ley (DL-77/2023), "De Costas" (MINJUS, 2023).

Playas arenosas

Las características de las playas se determinaron mediante trabajos de campo, en 54 playas de arenas biogénicas. Para cada playa se elaboró una planilla que contiene el nombre, longitud, ancho, altura de la cresta de la berma, presencia de barras de arena, presencia y distancia de los arrecifes coralinos, entre otras características. La existencia de arrecifes de coral fue determinado a través de imágenes satelitales de alta resolución de Google Earth Pro (CNES/Airbus), verificado en el terreno mediante buceo autónomo.

Las playas se seleccionaron según la ubicación

geográfica, la extensión, la configuración de la línea litoral y la exposición al oleaje predominante, de manera que constituyan una muestra representativa de las playas del nororiente cubano. En alguna de ellas hay estudios detallados, dirigidos a su restauración ambiental y manejo sostenible. Su ubicación se muestra en varias figuras (por ejemplo, Figura 1C-E).

Durante los meses de agosto (2018-2021) y enero-febrero (2019-2022) se realizó el muestreo de la arena. Se colectaron cinco muestras por perfil, distribuidos de la siguiente manera: base de la duna al mar, berma, cara de la playa, primera barra de arena y el valle, estos dos últimos en la pendiente submarina. Los perfiles de muestreo se localizaron en el centro y a ambos extremos de las playas, para definir adecuadamente las arenas nativas. Debido a la necesidad de reducir el número de muestras a ensayar, por los costos, se preparó una muestra única por perfil, seleccionando 10 gramos de arena de cada muestra, obteniéndose 135 muestras de arena en total.

Posteriormente, las muestras fueron procesadas en laboratorio mediante el método de ensayo estándar para el análisis del tamaño de las partículas de suelos, según normas American Society for Testing and Materials (ASTM), D-422-98. Como diámetro medio se utilizó la mediana, es decir, el percentil 50 (D_{50}) en la curva de distribución granulométrica, siguiendo la tradición de los estudios en Cuba y de la escuela anglosajona de ingeniería de costas. La escala Wentworth (1922), fue utilizada para su clasificación. Su composición genética se determinó mediante un microscopio y el conteo de 200 granos de arena.

Fueron consideradas evidencias de procesos erosivos, la presencia sostenida de escarpes en la berma y base de la duna, el afloramiento de la roca en la zona intermareal y la existencia de tocones y árboles caídos en la cara de la playa y cresta de la berma.

Se consideraron causas de erosión antrópica las extracciones de arena en bermas, dunas y lecho sumergido, la construcción de instalaciones sobre bermas y dunas, la eliminación de la vegetación natural y la modificación del espacio litoral, en general. Donde no se aprecian alteraciones de los sistemas costeros y aparecen evidencias erosivas

antrópicas, entonces la erosión se asocia a causas naturales, como huracanes y tormentas tropicales, entre otras. Se considera que la erosión es provocada por ambas causas (tanto acciones antrópicas como por causas naturales), cuando las alteraciones provocadas por el hombre a los sistemas costeros no son significativas y playas vecinas, en estado natural, con características similares, también muestran evidencias erosivas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Hidrodinámica

El litoral nororiental de Cuba tiene la particularidad de estar expuesto a la acción persistente del oleaje proveniente del Atlántico. Predominan olas con rumbo del E al NE en verano y del N al NW en invierno. Los rumbos y las alturas de las olas están determinados por el régimen de vientos (25-30 km/h), la orientación de la línea litoral y la estrechez de la plataforma marina, que rara vez supera una milla náutica de ancho (Rodríguez y Finkl, 2020).

La frecuencia de ocurrencia de olas por rumbos aumenta del NW a E de la siguiente manera: 4.93 % (NW); 9.82 % (N); 18.19 % (NE) y 29.28 % (E). El oleaje del rumbo SE tiene un 19.42 %, por lo que se puede afirmar que el oleaje del I cuadrante de la rosa del oleaje es predominante (Figura 2A). Debido a ello, y a la orientación de la línea litoral, se establece una deriva litoral neta en dirección NW y un transporte sedimentario en las playas en igual dirección. Sin embargo, las mayores alturas medias de ola corresponden a las direcciones N y NW: 2.00 m y 1.99 m, respectivamente (Figura 2B), lo que se relaciona con los frentes fríos y los fuertes vientos que los acompañan en invierno. Esto demuestra que, si bien existe un predominio del oleaje del I cuadrante de la rosa de oleaje, las olas del IV cuadrante son más energéticas y, por tanto, tienen una fuerte influencia en los procesos costeros. Tal es así que Rodríguez y Córdova (2005, 2010), en el estudio de la efectividad de los trabajos de regeneración de playas ejecutados en Estero Ciego y Don Lino, respectivamente, reportaron tasas de retención de

arena más altas en invierno que en verano. Por esta razón, los frentes fríos tienen un papel importante en el retorno, a sus posiciones de origen, de las arenas permanentemente transportadas en dirección NW. Rodríguez y Finkl (2020) y Rodríguez y Córdova (2006) identifican la disminución de la frecuencia e intensidad de los frentes fríos como una de las causas de los procesos erosivos en muchas playas del nororiente cubano.

Como se aprecia en la Figura 2C, el oleaje habitual es de corto periodo (< 8 s); las generadas por los vientos alisios, cuyo sistema de altas presiones se sitúa sobre las islas Azores (INSMET, 2023). Al paso de eventos extremos, que son frecuentes entre junio y noviembre (temporada de huracanes), aparecen oleajes de mayor periodo, llamados mar de fondo o *swell*, que son responsables de los procesos erosivos que se aprecian en muchas playas. Recientemente el huracán Lee (septiembre de 2023), aunque se encontraba distante del área de estudio, provocó grandes marejadas que generaron erosión en muchas playas, por lo que fue necesario intervenir en la restauración de algunas de ellas. Datos de National Oceanic and Atmospheric Administration de los Estados Unidos (NOAA, 2023) muestran que, en promedio, cada 18 meses el área de estudio es afectada por eventos hidrometeorológicos extremos (frentes fríos, ciclones extratropicales y huracanes), que generan olas superiores a 2.5 m de altura. Ello reafirma el papel de estos eventos en los procesos

erosivos de las playas cubanas.

Aunque las características del oleaje son similares para la costa norte de Cuba (Figura 3), la altura del oleaje es mayor en el litoral nororiental (Fig. 3A), ya que recibe la acción directa del oleaje oceánico proveniente del Atlántico, debido a su estrecha plataforma marina y la ausencia de cayos e islotes que disipen el oleaje, excepto algunos del archipiélago de las Bahamas.

El oleaje se comporta de manera diferente en la costa sur (Fig. 3C), donde las olas de mayor altura son de rumbos NE (2.06 m) y E (2.04 m), lo cual obedece al comportamiento del viento y el oleaje en el mar Caribe, aunque no son de interés para el área de estudio.

En el litoral nororiental tienen lugar mareas mixtas semidiurnas irregulares que constituyen las más altas del archipiélago cubano (0.56 m, en promedio), aunque mantiene la condición micro-mareal (Figura 4). Estas mareas generan fuertes corrientes en la entrada de las bahías, donde pueden alcanzar velocidades medias de 13.6 cm/s, según mediciones puntuales, con objetos a la deriva, realizadas por el autor y que no han sido publicadas.

Observaciones realizadas muestran que la mayor erosión en las playas ocurre cuando se combinan los oleajes de mar de fondo o *swell* y las pleamares, que en los meses de septiembre y octubre alcanzan valores máximos. A pesar de lo anterior, en Cuba, la influencia de las mareas en las playas no ha sido

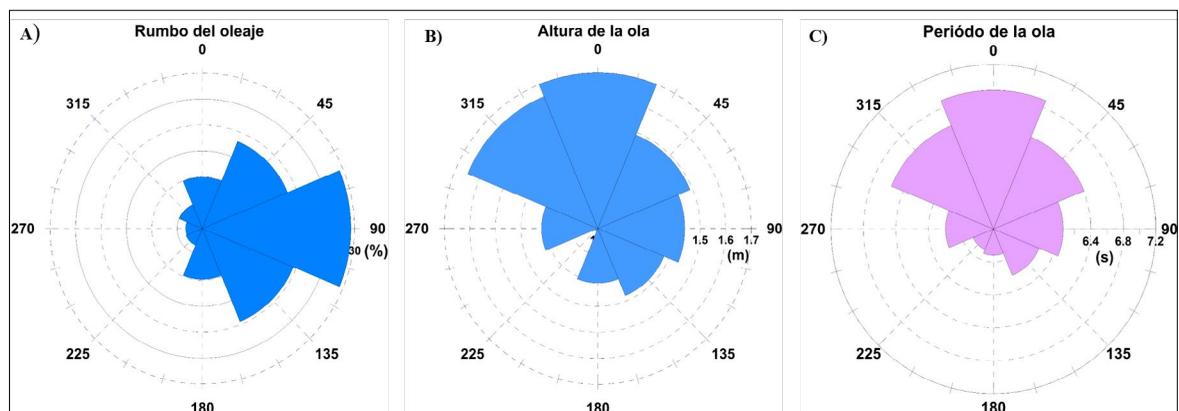


Figura 2. Características del clima de oleaje oceánico por rumbos de incidencia. A) distribución porcentual del oleaje; B) altura de la ola significativa (Hs), C) periodo de la ola.

Fuente: Global Waves Statistics (British Maritime Technology Limited, 2020).

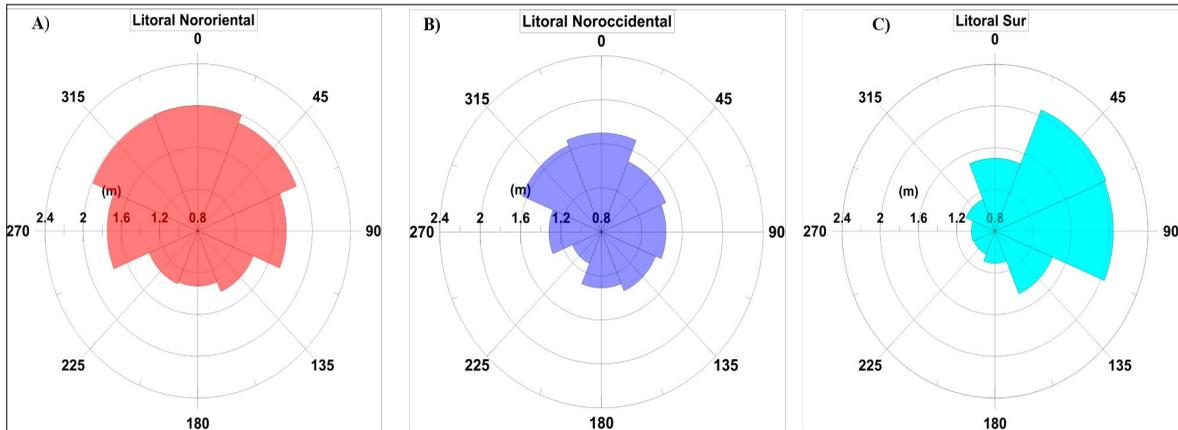


Figura 3. Características del oleaje habitual en las costas de Cuba.

Fuente: Global Waves Statistics (British Maritime Technology Limited, 2020).

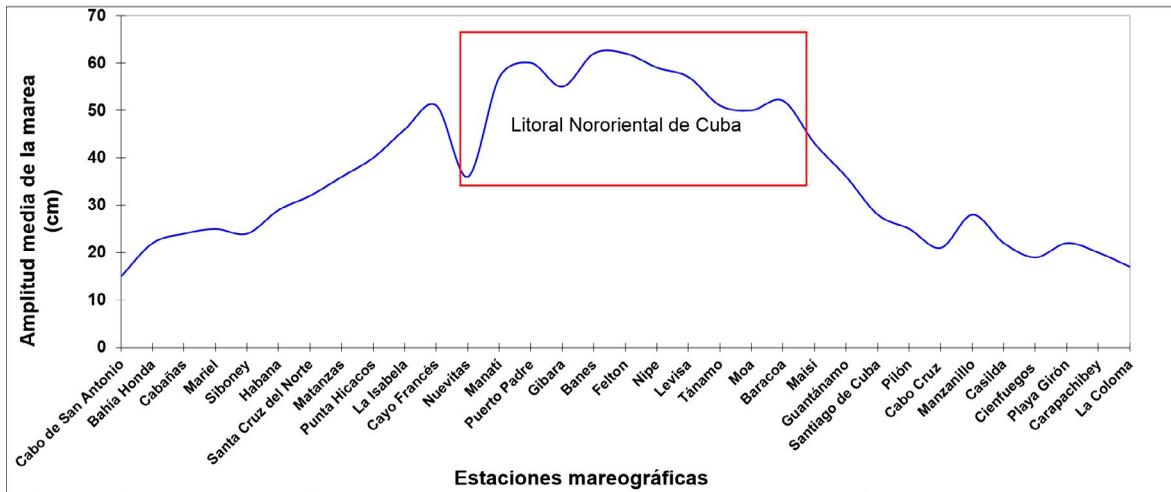


Figura 4. Rango promedio de marea en el archipiélago cubano y litoral nororiental.

Fuente: basado en datos de la red mareográfica de Cuba, 2023 y WXTide32 Copyright © Michael Hopper.

suficientemente estudiada.

Geomorfología

La estrechez de la plataforma marina constituye el rasgo geomorfológico más significativo del litoral nororiental de Cuba. Apenas alcanza una milla náutica de ancho y casi desaparece hacia el extremo este del territorio.

La terraza rocosa baja es el tipo de costa mejor representado y ocupa el 45 % de las costas (211 km). Fragmentos de corales actuales (camellón costero) cubren la parte posterior de la terraza, en tanto, en el área más próxima al mar aparece

la roca desnuda, con lapiés y otras formas cársicas (Figura 5A).

En grandes áreas, particularmente al oeste de la ciudad de Gibara, este camellón fue totalmente destruido, utilizándose como materia prima para la industria de la construcción, con lo cual se eliminó una importante barrera natural a la penetración del mar. Durante los huracanes Ike (2008) y Sandy (2012), en esta llanura el mar penetró hasta distancias nunca vistas. La destrucción de este camellón constituye un claro ejemplo de las transformaciones

del medio natural, sin un claro conocimiento de su funcionamiento y de los perjuicios que tales actuaciones conllevan.

Con una extensión de 123 km, las playas representan el 26 % de las costas expuestas al oleaje oceánico (Figura 5B). Hay un predominio de las playas carbonatadas (biogénicas), las cuales están antecedidas por arrecifes coralinos, el cual es uno de los rasgos geomorfológicos más significativo de estas playas.

Los acantilados ocupan el 14 % de las costas, con una extensión de 65 km (Figura 5C). Son generalmente de poca altura, con nichos de mareas en su base, que favorecen los procesos de desplome. Se localizan fundamentalmente entre las bahías de Samá y Naranjo y el noroeste del municipio de Maisí. Por su parte, los manglares son el tipo de costa menos representados y ocupan solo el 12 %, con una extensión de 57 km de costa (Figura

5D), localizados puntualmente en las costas de los municipios Frank País y Moa, de la provincia de Holguín, al abrigo de compactos arrecifes costeros y algunos cayos aislados. El 3 % restante corresponde a las bocanas de las bahías.

Un elemento singular de este litoral es el gran número de bahías que posee, pues más del 30 % de las bahías de Cuba se encuentran en él, a pesar de que únicamente representan el 8.2 % de las costas cubanas. Aquí se contabilizan claramente 29 bahías, entre ellas las más grandes de Cuba, como las bahías de Nipe, Puerto Padre-Chaparra, Levisa y Tánamo, entre otras. En muchas de ellas es posible observar el paleocauce del antiguo río cortando la plataforma marina (Figura 6A).

En la porción oriental del área de estudio hay un gran número de ríos, muchos que drenan en el interior de las bahías, lo que favorece el desarrollo de áreas palustres, como las creadas en el delta del



Figura 5. Tipos de costas según Decreto Ley 77/2023 “De Costas”. A) terraza rocosa baja con camellón costero en la parte posterior; B) playa de arenas carbonatadas con palmeras endémicas; C) acantilados con varios niveles de terrazas, D) costa baja de manglar con *Rhizophora mangle*.

río Mayarí, en la bahía de Nipe (Figura 6B) o el paleodelta del río Sagua, en la bahía de Tánamo. En el caso de los ríos que drenan directamente a la costa oceánica, el aporte y acumulación de sedimentos por la acción del oleaje conduce al cierre de sus desembocaduras, formando estuarios de barrera, llamados comúnmente esteros o tibaracones. Massip (1941), al estudiar estas formas del relieve, los llamó deltas lineales y los de Baracoa son los más conocidos (Figura 6C).

La presencia de terrazas marinas emergidas, con seis niveles de superficies visibles, constituyen una característica peculiar del litoral de estudio (Figura 6D). Estas terrazas también se extienden por el fondo marino con cambios bruscos en la

pendiente. Nueve niveles de terrazas se contabilizan en este litoral, a diferencia de otras partes del archipiélago cubano, donde aparecen cinco o seis niveles de terrazas submarinas, según refieren Ionin *et al.* (1977).

La casi inexistencia de cayos e islotes es otro rasgo característico. Sólo siete cayos aparecen en 474 km de costas oceánicas. Guincho, Bariay, Burro, Moa, Guarico y Del Medio, están separados de la costa únicamente por pequeños estuarios y zonas bajas pantanosas, en tanto los cayuelos de Jaraguá, en Baracoa, son los más orientales de Cuba (Rodríguez, 2008). Pequeños cayos e islotes aparecen también en el interior de algunas bahías.

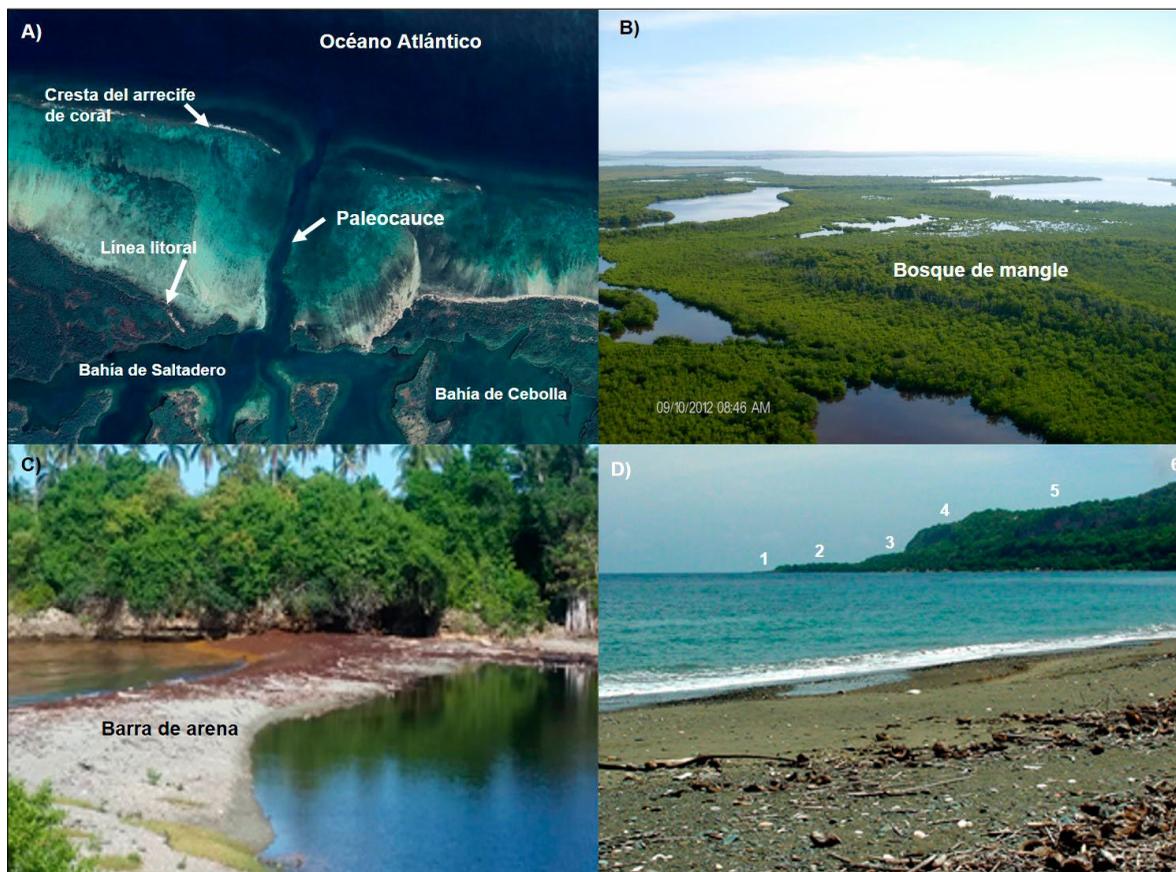


Figura 6. Formas del relieve costero. A) paleocauce del río Saltadero cortando el arrecife de coral y la plataforma insular cercana; B) delta del río Mayarí, nótese las lagunas y canales de inundación y el bosque de mangle; C) estuario de barrera del río Nibujón (Tibaracón), D) terrazas marinas hacia la porción oriental del litoral. Los números indican las terrazas visibles. En primer plano una playa de arenas terrígenas.

Playas arenosas

Las playas de este litoral se caracterizan por ser de poca extensión y desarrollo, sin embargo, constituyen el principal recurso que sustenta el desarrollo turístico del nororiente de Cuba. Un rasgo característico de estas playas es que el 93 % tienen arrecifes coralinos que se adosan a uno o ambos extremos y son los responsables de la creación de condiciones adecuadas para el desarrollo de las especies marinas productoras de arena, a la vez que le confieren una marcada protección ante el oleaje de mayor energía, particularmente huracanes y tormentas tropicales. Sin embargo, los estudios realizados muestran que el 70 % de las playas tienen evidencias erosivas, sostenidas en el tiempo, debido a la combinación de factores naturales y antrópicos, pero con un peso fundamental en las causas de origen natural en el 52 % de los casos (Tabla 1). Ello reafirma la importancia de los arrecifes coralinos y la necesidad de su protección ante nuevas amenazas, como el aumento de la temperatura y la acidificación de los océanos, a consecuencia del cambio climático global. De

acuerdo con Harley y Hughes (2006) y el IPCC (2023), los arrecifes coralinos se encuentran entre los ecosistemas más amenazados.

Las evidencias erosivas más recurrentes fueron los tocones y árboles caídos en la cara de la playa y cresta de la berma, escarpes en la berma y base de la duna, afloramientos de la roca en la zona intermareal y el retroceso de la línea litoral, en general (Figura 7). Si bien estas evidencias, son indicativas de erosión, no necesariamente indican que las playas tienen una tendencia erosiva a largo plazo. Se necesitan estudios de una mayor escala temporal, pero como señalaran Oppenheimer *et al.* (2019) así como Yuan *et al.* (2024), los datos históricos insuficientes son el mayor desafío que enfrentan estos estudios.

Es importante señalar que, cuando se realizaron los primeros trabajos de terreno, en agosto de 2018, la mayoría de las evidencias erosivas ya estaban presentes. Justo en los años 2016 y 2017, los huracanes Matthew e Irma, respectivamente, habían afectado a este litoral y podrían ser la principal causa de las evidencias erosivas observadas en los trabajos de terreno.

Tabla 1. Playas afectadas por procesos erosivos y posibles causas.

Playas estudiadas	Playas con erosión	%	Causas naturales	%	Causas antrópicas	%	Ambas causas	%
54	38	70	20	52	9	24	9	24

Fuente: Trabajos de terrenos (2018-2022).



Figura 7. Evidencias erosivas más frecuentes encontradas en las playas: A) troncos y árboles centenarios abatidos en la cara de la playa; B) escarpes en bermas y base de dunas, C) afloramientos rocosos en la zona intermareal y retroceso de la línea litoral.

Rodríguez y Fink (2020) reportaron procesos erosivos similares por quienes refieren que, el 56 % de las playas del litoral nororiental tenían una tendencia erosiva. Rodríguez y Córdova (2006) también reportaron resultados similares para esta costa.

Aunque la erosión en las playas es un fenómeno generalizado en la mayoría de las costas del mundo, de acuerdo con numerosos estudios (por ejemplo, Houston y Dean, 2014; Bird y Lewis, 2015; Ferrucho *et al.*, 2022; Barrantes y Ortega, 2023; Yuan *et al.*, 2024), en la actualidad la erosión en las playas se refuerza por el ascenso del nivel del mar y el aumento en la frecuencia e intensidad de tormentas tropicales y huracanes, provocados por el cambio climático global (Harley y Hughes, 2006; Nicholls y Cazenave, 2010; Masselink y Russell, 2013; Mahabot *et al.*, 2017; Oppenheimer *et al.*, 2019; IPCC, 2023; Thiéblemont *et al.*, 2024).

En cuanto a los sedimentos, el 73 % de las playas tienen arenas de granulometría media (0.25-0.50 mm), según la clasificación de Wentworth (1922). Solo el 11 % están formadas por arenas finas o muy finas, en tanto el 16 % de las playas estaban constituida por arenas gruesas (Figura

8). Ello sugiere que estas playas pueden ser más estables, desde el punto de vista dinámico, que las playas constituidas por arenas finas.

Desde el punto de vista de su composición genética, predominan los moluscos y corales, seguidos de algas calcáreas y foraminíferos, lo cual denota su génesis biogénica (Figura 9).

El predominio de arenas de granulometría media y gruesa y su génesis biogénica, demuestran que sus fuentes de aporte de sedimentos se encuentran próximas a la playa. Exploraciones realizadas en los lechos marinos muestran que los mayores espesores de arena se encuentran en la laguna arrecifal próxima a la playa. Los pocos depósitos encontrados detrás de los arrecifes no pueden franquear el obstáculo que representa el arrecife y los efectos de la fuerza de gravedad.

En cuanto a las geoformas encontradas, el 54 % de las playas no tienen berma o resultan inferiores a los 14 metros de ancho, mientras que en el 37 % de ella la berma está ausente. Esta situación mejora ligeramente para el verano, donde el 65 % de las playas tienen berma y en promedio se aprecia un ligero incremento del ancho de la berma en el verano, respecto al ancho en invierno (Tabla 2).

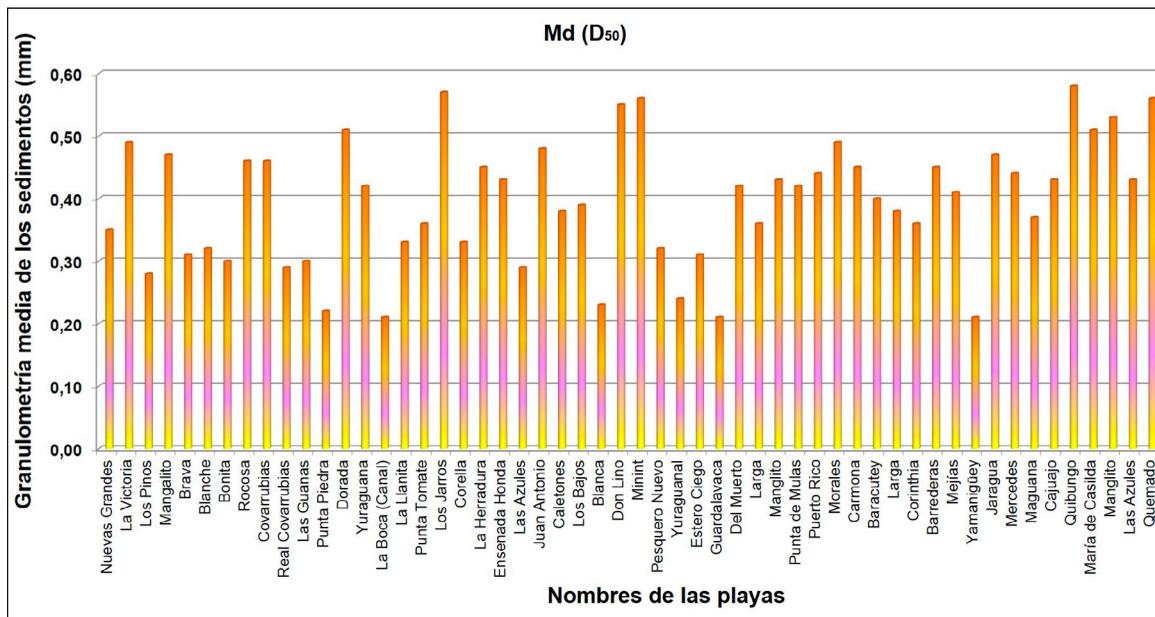


Figura 8. Granulometría media de las arenas de las playas del litoral nororiental de Cuba.

Fuente: elaborada con datos de muestras de arenas colectadas en los años 2018-2022.

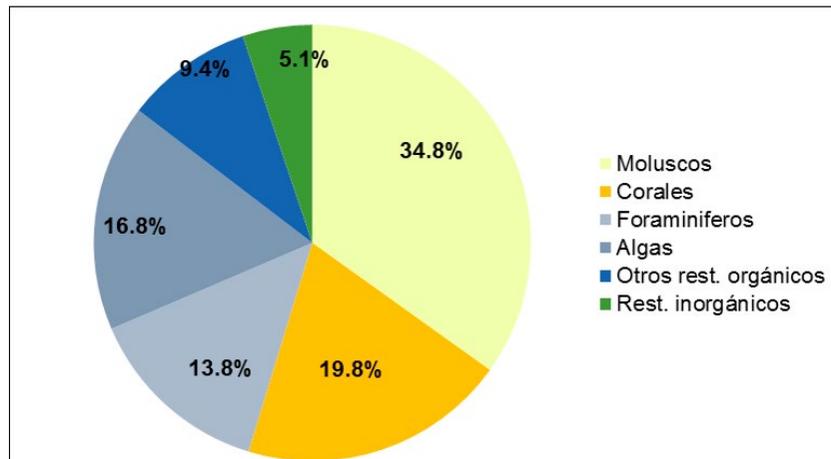


Figura 9. Composición genética de las arenas de las playas del litoral nororiental de Cuba.

Fuente: elaborada con datos de muestras de arenas colectadas en los años 2018-2022.

Tabla 2. Valores promedio de los elementos morfológicos del perfil de playa en el litoral nororiental.

Elementos	Verano (agosto)				Invierno (febrero-marzo)			
	2018	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2022
geomorfológicos	2018	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2022
Ancho total	66 m	68 m	67 m	67 m	65 m	62 m	62 m	63 m
Ancho de la cara	11 m	11 m	11 m	11 m	12 m	12 m	12 m	12 m
Ancho de la berma	13 m	13 m	14 m	14 m	12 m	12 m	12 m	12 m
Altura de la berma	1,33 m	1,38 m	1,36 m	1,36 m	1,38 m	1,38 m	1,40 m	1,38 m
Nº. cresta de berma	1(100 %)	1(100 %)	1(100 %)	1(100 %)	1(100 %)	2(22%)	2(20%)	2(23%)
Numero de barras	0(33 %)	0(31 %)	0 (30 %)	0 (30 %)	2 (4%)	2 (20%)	2 (16 %)	2 (21 %)

Nota: Los números antes de la cifra porcentual en paréntesis indican la cantidad de crestas de berma o barra encontradas respecto al total de las playas estudiadas. Fuente: trabajos de terrenos (2018-2022).

En promedio entre el 30 % y el 33 % de las playas no tienen barras de arena, sin embargo, esta característica se reduce para el invierno, donde el 83 % de las playas tienen barras y al menos el 20 % de ellas, tienen dos barras de arena, condición que se observa únicamente en la época invernal. Además, hay un ligero aumento en el ancho de la cara y la altura de la berma durante el invierno, en comparación con los resultados de las observaciones realizadas en verano (Tabla 2).

El ligero incremento del ancho de la playa encontrado en el mes de agosto (verano) en comparación con los meses de invierno (febrero-marzo), reafirman un patrón dinámico descrito por numerosos investigadores que refieren que las playas se erosionan en invierno y acumulan arena en verano. Zenkovich (1967), Schwartz

(2005), Bird y Lewis (2015), Carvalho y Woodroffe (2023) han descrito estos mecanismos. En general coinciden en que, durante una tormenta, la arena de la playa es removida y depositada en la pendiente submarina en forma de barras, para luego regresar nuevamente a la playa bajo la acción de olas de menor energía.

Para el caso de la provincia de Holguín, Rodríguez y Córdova (2005) y Córdova (2014) refieren que la erosión ocurre a principios de otoño, con valores máximos en septiembre y octubre, en tanto los procesos de acreción se registran en los meses de abril y mayo. Este comportamiento obedece al aumento en la frecuencia de las olas más energéticas provenientes del Atlántico, principalmente durante la acción de eventos extremos, así como los oleajes generados por los frentes fríos.

Otros estudios realizados en la costa norte de Cuba muestran que no existe una tendencia definida de los ciclos de erosión y acreción, aunque generalmente tienen una tendencia a acumularse en verano y a erosionarse en invierno (Juanes, 1996; García, 2005; Sosa *et al.*, 2005; Zúñiga, 2009).

En términos generales, las playas del litoral nororiental de Cuba están constituidas por sedimentos marinos y granulometría media, poseen un ancho medio mayor de 50 m, con una cadena de dunas con altura entre 3 y 4 m. Tienen una cara de playa de 11 m de ancho y bermas estrechas o ausentes, generalmente con una sola cresta de berma, con altura entre 1.25 y 1.35 m, como promedio y una barra de arena en la pendiente submarina.

Estas características descritas demuestran que estas playas tienen un perfil incompleto y poco desarrollado, lo cual está determinado por la morfología e hidrodinámica del área de estudio y confirman que las particularidades hidrodinámicas y geomorfológicas inciden directamente en las características y comportamiento de las playas.

También confirman la necesidad de evaluar adecuadamente las particularidades hidrodinámicas y geomorfológicas de las playas, antes de extrapolar los modelos numérico predictivos de perfil de equilibrio, como sustento teórico de las actuaciones para el control de la erosión. Cada vez se ha hecho más evidente que la solución de la erosión se oriente no solo a la ejecución de acciones para la recuperación de los sectores de playa afectados, sino principalmente a eliminar los factores que los generan (Yoshida *et al.*, 2014; Coelho *et al.*, 2023).

Aunque son muchos los estudios que asocian la erosión a acciones antrópicas, en el caso de las playas cubanas la erosión tiene fundamentalmente causas naturales (por ejemplo. Rodríguez y Finkl, 2020; Rodríguez y Córdova, 2006; Juanes, 1996). Esto se debe, en gran medida, a las limitaciones en el desarrollo económico de Cuba, las restricciones que han existido para el desarrollo de infraestructura en las cayerías (archipiélagos) y la efectividad de la normativa ambiental aprobada en las tres últimas décadas.

Ello reafirma la necesidad de reforzar los procesos de ordenamiento territorial con principios de sostenibilidad, para incluir medidas preventivas

y correctoras, desde la fase de planificación y de formulación de planes y proyectos de desarrollo socioeconómico, lo cual permitirá disminuir la exposición y vulnerabilidad de las playas ante diferentes amenazas.

CONCLUSIONES

El litoral nororiental de Cuba tiene características hidrodinámicas y geomorfológicas singulares que las diferencian de otras regiones, y que se manifiestan también en las características de las playas biogénicas allí existentes.

Este litoral tiene una mayor exposición al oleaje oceánico proveniente del Atlántico y se registran las mayores alturas de olas de la costa norte de Cuba, sobre todo durante el invierno, lo cual unido a los rumbos predominantes y la orientación de la línea litoral, permite que se establezca una deriva litoral neta con dirección oeste y un transporte sedimentario en igual dirección, que provoca la erosión en las porciones orientales de las playas y acreción en las porciones occidentales.

El rasgo geomorfológico más sobresaliente es la estrechez de su plataforma marina, lo cual incide en el comportamiento del régimen hidrodinámico, así como en la génesis y características de las arenas que componen las playas. La existencia de un relieve de pendiente abrupta permite una mayor acción del oleaje, a la vez que determina la ausencia de grandes áreas de producción de sedimentos por parte de los organismos formadores de arena, particularmente las algas calcáreas, cuya contribución a estas playas no es significativa.

Hay un predominio de playas de poca extensión y desarrollo, con bermas estrechas o ausentes, constituidas por arena de granulometría media (0.25-0.50 mm) y génesis biogénica, fundamentalmente restos de moluscos y corales, lo cual demuestra la contribución de los arrecifes coralinos en el aporte de sus sedimentos.

La mayoría de las playas muestran evidencias erosivas sostenidas en el tiempo, las que se atribuyen a la combinación de factores naturales y antrópicos, pero con un peso fundamental en las causas de origen natural, principalmente los oleajes de mayor energía

generados por huracanes y tormentas tropicales, cuyos efectos suelen ser más significativos durante las pleamares que, en este litoral, alcanzan la mayor amplitud del archipiélago cubano.

Desde el punto de vista morfodinámico ocurre un ligero incremento del ancho de la playa en el verano en comparación con los meses de invierno, lo que reafirma un patrón dinámico en el comportamiento de las playas descritos por numerosos investigadores.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Yosvani Rodríguez Cobas, del Parque Nacional Alexander von Humboldt, por la foto del tibaracón del río Nibujón; a los ambientalistas José Benites, Juan Carlos Mustelier y Daniel Cobas, que acompañaron en la realización de los trabajos de terreno, así como aquellos que ayudaron al procesamiento en laboratorio de las muestras de arena. Además, se agradece a los pares evaluadores por sus valiosas observaciones y recomendaciones.

REFERENCIAS

- Arango, E., Pérez, M., Ávila, L. y Batista, J. (2015). Nueva valoración sísmo tectónica de la región oriental de Cuba en el contexto geodinámica del norte del Caribe. *Memorias de la Sexta Convención Cubana de Ciencias de la Tierra*. La Habana.
- Barrantes, G. y Ortega, K. (2023). Coastal erosion and accretion on the Caribbean coastline of Costa Rica long-term observations. *Journal of South American Earth Sciences*, 127(104371), 1-14. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104371>
- Bird, E. y Lewis, N. (2015). *Causes of Beach Erosion*. In *Beach Renourishment*. Springer.
- Carvalho, R. C. y Woodroffe, C. D. (2023). Coastal compartments: the role of sediment supply and morphodynamics in a beach management context. *Journal of Coastal Conservation*, 27(58), 1-17. Springer. <https://doi.org/10.1007/s11852-023-00984-6>
- Casamayor, M., Alonso, I., Valiente, N. G. y Sánchez-García, M. J. (2022). Seasonal response of a composite beach in relation to wave climate. *Geomorphology*, 108245. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108245>.
- Castelle, B. y Masselink, G. (2023). Morphodynamics of wave-dominated beaches. *Cambridge Prisms: Coastal Futures*, 1(1), 1-13. <https://doi.org/10.1017/cft.2022.2>
- Coelho, C., Lima, M., Alves, F. M., Roebeling, P., Pais-Barbosa, J. y Marto, M. (2023). Assessing Coastal Erosion and Climate Change Adaptation Measures: A Novel Participatory Approach. *Environments*, 10(110). <https://doi.org/10.3390/>
- Córdova, E. (2014). *Comportamiento morfodinámico del perfil de playas en el litoral de Holguín entre el año 2000 y 2013*. CTMA.
- Cordobés, J. M. y Rodríguez, R. (2008). OLA 2.0: *Una herramienta para el cálculo del oleaje incidente en la playa*. CITMA.
- Cotilla, M., Bankwitz, P., Franzke, H. J., Álvarez, L., González, E., Díaz, J. L., Grunthal, G., Pilarski, J. y Arteaga, F. (1996). Una valoración sismotectónica de Cuba. *Revista Geofísica*, (45), 145-179.
- Dean, R. G. (2003). Beach nourishment: theory and practice. *Advanced Series on Ocean Engineering*, (18), 21-70.
- Ferrucho, I. E., Otero, L. J. y Cueto, J. E. (2022). Cambios recientes de la línea de costa entre Bocas de Ceniza y Puerto Velero (Atlántico, Colombia). *Boletín de Geología*, 44(3), 159-178. <https://doi.org/10.18273/revbol.v44n3-2022007>
- García, C. (2005). *Actuaciones para el control de la erosión en playas biogénicas. El caso de la playa de Varadero* [Tesis doctoral no publicada]. Universidad de La Habana.
- Global Wave Statistics (2020). *British Maritime Technology Limited*. Unwin Brothers.
- Harley, C. y Hughes, A. R. (2006). The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecology Letters*, 9(2), 228-241.
- Houston, J. R. y Dean, R.G. (2014). Shoreline change on the east coast of Florida. *Journal of Coastal Research*, 30(4), 647-660.
- INSMET (Instituto de Meteorología de Cuba). (2021). *Datos de vientos de la estación meteorológica Lucrecia*. Instituto de Meteorología. <http://www.met.inf.cu/>
- INSMET (Instituto de Meteorología de Cuba). (2023). *El clima de Cuba. Características generales*. Instituto de Meteorología. <http://www.met.inf.cu/>
- Ionin, A., Pavlidis, Y. y Abello, O. (1977). *Geología de la plataforma marina insular de Cuba*. Academia de Ciencias de la URSS, Editorial Nauka.
- IPCC (2023). Climate change 2023: Synthesis report. En H. Lee y J. Romero (Eds.), *Contribution of working groups I, II and III to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>.
- Juanes, J. L. (1996). *La erosión en las playas de Cuba. Alternativas para su control*. [Tesis doctoral no publi-

- cada]. Universidad de La Habana.
- Ludka, B. C., Guza, R. T., y O'Reilly, W. C. (2018). Nourishment evolution and impacts at four southern California beaches: A sand volume analysis. *Journal of Coastal Engineering*, (136), 96-105.
- Mahabot, M. M., Pennober, G., Suanez, S., Troadec, R., y Delacourt, C. (2017). Effect of tropical cyclones on short-term evolution of carbonate sandy beaches on Reunion Island, Indian Ocean. *Journal of Coastal Research*, 33(4), 839-853.
- Masselink, G. y Russell P. (2013). Impacts of Climate Change on Coastal Erosion. *MCCIP Science Review 2013*, 71-86.
- Massip, S. (1941). *Deltas lineales de la costa nordeste de Cuba*. Universidad de California.
- MINJUS (2023). *Decreto Ley N° 77, "De Costas"*. Gaceta Oficial No. 108 Ordinaria de 6 de noviembre de 2023. República de Cuba.
- Nicholls, R. J., y Cazenave, A. (2010). Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*, 328(5985), 17-20.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (2023). *Tropical Cyclone Reports*. National Hurricane Center. <https://www.nhc.noaa.gov/data/tcrl/>.
- ONEI (Oficina Nacional de Estadística e Información). (2020). Turismo. En *Anuario Estadístico de Cuba, 2019*.
- Oppenheimer, M., Glavovic, B. C., Hinkel, J., van de Wal, R., Magnan, A. K., Abd-Elgawad, A., Cai, R., Cifuentes-Jara, M., DeConto, R. M., Ghosh, T., Hay, J., Isla, F., Marzeion, B., Meyssignac, B. y Sebesvari, Z. (2019). *Sea level rise and implications for low-lying islands, coasts and communities*. IPCC. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/9280>
- Pranzini, E., Anfuso, G. y Muñoz-Perez, J. J. (2018). A probabilistic approach to borrow sediment selection in beach nourishment projects. *Coastal Engineering*, (139), 32-35.
- República de Cuba. (2023). *Tablas de marea de la República de Cuba*. Servicio Hidrográfico y Geodésico, La Habana.
- Rodríguez, R. y Córdova, E. (2005). Efectividad de los trabajos de alimentación artificial con arenas ejecutadas en Playa Estero Ciego entre 1997 y 1998, Cuba. *Ciencias Holguín*, 11(3), 1-14. <https://www.redalyc.org/pdf/1815/181517982003.pdf>
- Rodríguez, R. y Córdova, E. (2006). La erosión en las playas de la región nororiental de Cuba. *Revista Geográfica*, (139), 9-26.
- Rodríguez, R. (2008). *Exploración a los cayos más orientales del archipiélago cubano*. Informe a la Comisión Nacional de Nombres Geográficos de la Oficina de Hidrografía y Geodesia.
- Rodríguez, R., Córdova, E., Franco, J. A. y Rueda, A. (2009). La erosión en las playas del litoral de Holguín, Cuba. *Ciencias Holguín*, 15(1), 1-20.
- Rodríguez, R. y Córdova, E. (2010). Efectividad de los trabajos de creación artificial de Playa Don Lino, Cuba. *Ciencias Holguín*, 16(1), 1-18.
- Rodríguez, R. y Finkl, C. W. (2020). Erosion of carbonate beaches on the northeastern coast of Cuba. *Journal of Coastal Research*, 36(2), 339-352.
- Schwartz, M. L. (2005). *Encyclopedia of Coastal Science*. Springer.
- Senechal, N. y Coco, G. (2024). On the role of hydrodynamic and morphologic variables on neural network prediction of shoreline dynamics. *Geomorphology*, 451(109084). <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109084>
- Sosa, M., Guerra, R. y Rivas, L. (2005). *Análisis actual de los procesos erosivos en las Playas del Este*. Reporte técnico. Instituto de Oceanología.
- Thiéblemont, R., Cozannet, G., Rohmer, J., Privat, A., Guidez, R., Negulescu, C., Philippenko, X., Luijendijk, A., Calkoen, F. y Nicholls, R. J. (2024). Sea-level rise induced change in exposure of low-lying coastal land: implications for coastal conservation strategies. *Anthropocene Coasts*, 7, 8. <https://doi.org/10.1007/s44218-024-00041-1>
- Ton, A. M., Vuik, V. y Aarninkhof, J. (2021). Sandy beaches in low-energy, non-tidal environments: Linking morphological development to hydrodynamic forcing. *Geomorphology*, 374(107522).
- Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, (30), 377-392.
- Yoshida, J., Udo, K., Takeda, Y., y Mano, A. (2014). Framework for proper beach nourishment as adaptation to beach erosion due to sea level rise. En A. N. Green y J. A. G. Cooper (Eds.), *Proceedings 13th International Coastal Symposium (Durban, South Africa)*. *Journal of Coastal Research*, (70), 467-472.
- Yuan, R., Xu, R., Zhang, H., Hua, Y., Zhang, H., Zhong, X. y Chen, S. (2024). Detecting Shoreline Changes on the Beaches of Hainan Island (China) for the period 2013–2023 Using Multi-Source Data. *Water*, 16(1034). <https://doi.org/10.3390/w16071034>
- Zenkovich, V. P. (1967). *Processes of coastal development*. Oliver and Boyd.
- Zscheischler, J., Westra, S., Van Den Hurk, B. J., Senviratne, S. I., Ward, P. J. y Pitman, A. (2018). Future climate risk from compound events. *Natural Climate Change*, (8), 469-477. doi: 10.1038/s41558-018-0156-3
- Zúñiga, A. (2009). *Características geomorfológicas y sedimentarias de las playas del subarchipiélago Camagüey*. Reporte técnico. Centro de Investigaciones de Ecosistemas Costeros.