Revista da ANPEGE. v. 17. nº. 33, p. 251 - 270, ANO 2021. e-ISSN: 1679-768X
https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege. // DOI 10.5418 / ra2021.v17i33.12061

DINÁMICA LITORAL Y EROSIÓN EN PLAYA MOÍN, CARIBE SUR DE COSTA RICA, Y SU RELACIÓN CON LA CONSTRUCCIÓN DE LA TERMINAL DE CONTENEDORES

DINÂMICA LITORÂNEA E EROSÃO NA PRAIA DE MOÍN, CARIBE SUL DA COSTA RICA E SUA RELAÇÃO COM A CONSTRUÇÃO DO TERMINAL DE CONTÊINERES

COASTAL DYNAMICS AND EROSION IN MOÍN BEACH, SOUTHERN CARIBBEAN OF COSTA RICA AND ITS RELATIONSHIP WITH THE CONSTRUCTION OF THE CONTAINER TERMINAL

Gustavo Barrantes Castillo | André Luiz Carvalho da Silva |
Annie Vargas Hernández | José Francisco Valverde Calderón

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo caracterizar el comportamiento de la costa y la erosión de la playa de Moín, en el Caribe Sur de Costa Rica, así como comprender la relación entre los procesos de acreción y erosión en relación con la construcción de la Terminal de Contenedores de Moín. La metodología se basó en el mapeo de la costa entre 2010 y 2019, la adquisición de perfiles topográficos de la playa y el análisis granulométrico de las arenas, estacionalmente entre 2016 y 2017. Los resultados muestran un comportamiento dinámico entre 2010 y 2015, con variaciones en la longitud en respuesta a los cambios en las condiciones del mar, típicos de una playa oceánica. Entre 2017 y 2019, hubo un aumento de sedimentos en el sector noroeste de la playa, cerca de la terminal; con erosión posterior en el sector sureste, evidenciado por un retroceso de la línea costera de aproximadamente 15 metros y una reducción en el volumen emergido de sedimentos, causando la caída de árboles y la exposición de raíces.

Palabras Clave: dinámica, erosión, ingeniería costera, playa de Moín, Caribe Sur de Costa Rica.

RESUMO

Este estudo objetivou caracterizar o comportamento da linha de costa e a erosão da praia de Moín, no Caribe Sul da Costa Rica. Almejou-se também compreender a relação entre os processos de acreção e erosão com a construção do Terminal de Containers de Moín. A metodologia baseou-se em mapeamentos da linha de costa entre 2010 e 2019, aquisição de perfis topográficos de praia e análise granulométrica das areias, sazonalmente entre 2016 e 2017. Os resultados mostram um comportamento dinâmico entre 2010 e 2015, com variações na largura em resposta as mudanças nas condições de mar, típico de uma praia oceânica. Entre 2017 e 2019, nota-se um acréscimo de sedimentos no setor noroeste da praia, nas proximidades do terminal; com erosão subsequente no setor sudeste, evidenciada por um recuo da linha de costa de cerca de 15 metros e redução no volume emerso de sedimentos, causando a queda de árvores e exposição de raízes.

Palavras-chave: dinâmica, erosão, engenharia costeira, praia de Moín, Caribe Sul da Costa Rica.

ABSTRACT

This study aimed to characterize the behavior of the coastline and the erosion of Moín beach, in the southern Caribbean of Costa Rica. The aim was also to understand the relationship between the processes of accretion and erosion with the construction of the Moín Container Terminal. The methodology was based on mapping of the coastline between 2010 and 2019, acquiring beach topographic profiles and grain-size analysis of the sands, seasonally between 2016 and 2017. The results show a dynamic behavior between 2010 and 2015, with variations in width in response to changes in sea conditions, typical of an oceanic beach. Between 2017 and 2019, there was an increase in sediment in the northwest sector of the beach, near the terminal; with subsequent erosion in the southeastern sector, evidenced by a retreat of the coast line of about 15 meters and reduction in the emerged volume of sediments, causing the fall of trees and exposure of roots.

Keywords: dynamics, erosion, coastal engineering, Moín Beach, Southern Caribbean of Costa Rica.

Introducción

La playa es uno de los ambientes sedimentarios más directamente afectados por los cambios en la costa, debido a la dinámica característica de esta que responde rápidamente a los cambios en las condiciones del mar (DAVIS y FITZGERALD, 2009; DAVIDSON-ARNOTT, 2010; SILVA et al., 2020). Los problemas relacionados con la erosión costera y las inundaciones son cada vez más comunes en las ciudades costeras causando grandes inconvenientes y daños a la población y a las actividades económicas relacionadas con la industria y el turismo. LUIJENDIJK ET AL. (2018), basado en el análisis del comportamiento de la línea de costa a partir de imágenes satelitales, indica que el 24% de las playas de arena del mundo están erosionadas a tasas superiores a 0,5 m / año, lo que causa serias preocupaciones. En playa Moín, en el Caribe de Costa Rica, se experimentaba un proceso de acreción, entre 1997 y antes de la construcción de la Terminal de Contenedores de Moín (TCM), de acuerdo con LIZANO (2013). Es un hecho confirmado que el terremoto de Limón de 1991 provocó un levantamiento cosísmico de la costa que en el extremo sur de playa Moín alcanzó los 1.5 m (DENYER et al., 1994), lo que contribuyó de súbito a alejar el mar de la costa. No obstante, los procesos acelerados de erosión que se reportan en varias playas del Caribe Sur de Costa Rica (BARRANTES et al. 2020) ponen en duda que esta playa presenta actualmente un proceso de acreción, en especial luego del inicio de la construcción de la nueva terminal de contenedores, ya que de acuerdo con el mismo Lizano, "*es posible que el transporte litoral desde el noroeste, y el rompeolas del puerto en Moín, hayan contribuido con este proceso*" (LIZANO 2013, p19) de acreción.

Para determinar si una playa presenta un proceso de erosión es primordial primero conocer su dinámica, que está condicionada por agentes como el oleaje, corrientes costeras, viento, la marea, así como de condiciones previas de contorno (batimetría, topografía y configuración de la costa) y los sedimentos disponibles (DAVIS Y FITZGERALD, 2009). Debido a las variaciones de estos mismos agentes también la playa experimentará variaciones en función del clima marítimo existente. Estos cambios morfológicos de las playas son el resultado de la hidrodinámica y los patrones de interacción y retroalimentación entre la zona emergida e inmersa de las playas, por medio del transporte sedimentario (IBARRA MARINAS y BELMONTE SERRATO, 2017). En condiciones de oleaje bajo se induce un transporte de sedimentos de la zona inmensa hacia la playa emergida contribuyendo en la ampliación del ancho de la playa y eventualmente la formación de bermas y la desaparición de barras y depresiones a lo largo de la playa. Contrariamente durante condiciones de oleaje de tormenta y con mayor altura el transporte se efectúa de la manera inversa, de la playa hacia el mar, reduciendo la anchura de las playas, pudiendo formarse escarpes de tormenta, barras sumergidas y depresiones a lo largo de la playa (CARTER, 1988; BIRD, 2008; DAVIS y FITZGERALD, 2009; DAVIDSON-ARNOTT, 2010).

A partir de talleres efectuados en Limón centro, Cahuita y Puerto Viejo en 2019, los asistentes manifestaron su preocupación por que la nueva terminal de contenedores construida en Moín sea la causante de la erosión percibida en este sector del Caribe Sur, debido a su interferencia en el transporte de sedimentos al modificar las corrientes litorales que los movilizan. En costas largas y rectilíneas, el transporte longitudinal de arenas se puede producir a través de largas distancias debido a la eficiencia de las corrientes de deriva costera, formadas por la incidencia oblicua de los oleajes. Se sabe que la construcción de estructuras que impiden la continuidad de la corriente causa problemas de desequilibrio ambiental, provocando la pérdida de sedimentos en una región y la acumulación en otras, lo que puede generar erosión costera si no hay recarga de sedimentos (LAING, 1998; BIRD, 2008; DAVIS y FITZGERALD, 2009).

Dado lo anterior, el objetivo del presente trabajo es caracterizar la dinámica de la playa Moín a partir de la adquisición de datos de perfiles topográficos, muestras de sedimentos y de cambios en la línea de costa para comprender el comportamiento de la playa, antes, durante y después de la construcción de la nueva terminal de contenedores.

Área de estudio

La costa caribe costarricense se ubica al sureste del mar Caribe. La playa Moín se localiza en el distrito Central del cantón de Limón, en la provincia del mismo nombre (Figura 1). Esta playa se ubica entre el estero del río Moín y el mar Caribe, una zona que en su sección más delgada apenas alcanza los 140 m, cubriendo una longitud de aproximadamente 3.5 km desde poco antes del inicio de la nueva terminal de contenedores a la desembocadura del río Moín (Figura 1).

La geología local se compone por depósitos cuaternarios de origen marino y aluvial producto de los procesos fluviales y la acción del mar sobre las rocas y arrecifes, que sufrieron un levantamiento costero. El río Moín aporta sedimentos en su desembocadura, contribuyendo en el balance de sedimentos de la playa. Los materiales que se pueden encontrar entre la playa y el río Moín son arenas finas con algo de grava, arena limosa y limos (CENTRO CIENTÍFICO TROPICAL, 2013). Según estos autores la geomorfología de la zona está caracterizada por formas litorales de origen marino tales como cordones litorales y llanuras aluviales.

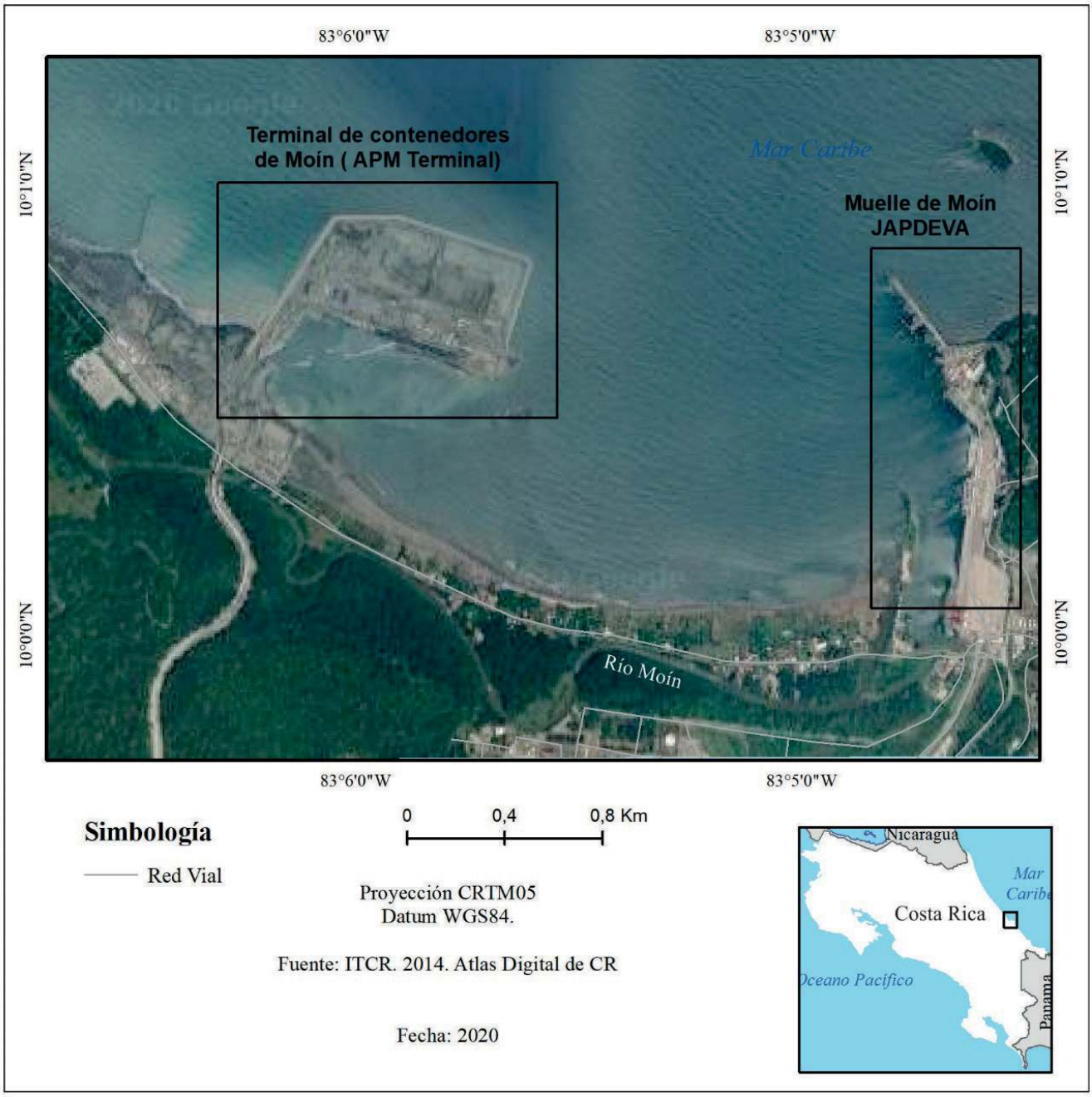


Figura 1 - Área de estudioFuente propia.

La principal corriente a lo largo de la costa caribe costarricense discurre de noroeste a sureste, como parte de la denominada circulación ciclónica del Giro Panamá-Colombia (GPC) (ANDRADE et al., 2003). De acuerdo con Lizano (2018) la existencia y prevalencia de una circulación ciclónica desde Costa Rica a Colombia, provoca que en el litoral costarricense se presente un movimiento de aguas superficiales sur-sureste; resultado del flujo geostrófico, se desarrolla una corriente suroeste frente a Limón. En cuanto a las mareas, a partir de los registros del mareógrafo de Limón se infiere una marea mixta predominantemente diurna, con un rango promedio de 21 cm, un promedio de sicigias de 36 cm, una marea promedio de 15 cm, un promedio de pleamares de 25,5 cm y un promedio de bajamares de 4,5 cm (LIZANO, 2006). En cuanto al clima marino, en el Caribe el viento tiene componente noreste durante todo el año, por lo que en la costa se presenta un oleaje con esta dirección. De acuerdo con Lizano (2009), la mayor energía del oleaje ocurre entre noviembre y abril, disminuyendo entre mayo y octubre (con excepción de julio donde se intensifican de nuevo), el menor valor se registra en setiembre-octubre.

En esta playa se asienta la comunidad de Moín, que cuenta con poco más de 300 habitantes (CENTRO CIENTÍFICO TROPICAL, 2013). La comunidad se concentra al sur del área de estudio, donde se ubica el cementerio, la iglesia y la cancha de deportes, hacia el norte se cambia por un patrón de asentamiento lineal disperso a lo largo de la carretera de acceso. El cantón de Limón se encontraba, en el 2014, en la posición 63, de los 82 cantones que conforman el país, en lo que se refiere al Índice de Desarrollo Humano con 0,726 (PNUD-UCR, 2016). La violencia e inseguridad encabezan la lista de problemas sociales de este cantón. Según el Centro Científico Tropical (2013) propiamente en el área de influencia de la construcción de la nueva terminal de contenedores, el 25,4% de los encuestados señaló que la mayor problemática es la delincuencia y la violencia, seguido de las drogas con un 17,4%.

La Terminal de Contenedores de Moín (MCT por sus siglas en inglés) opera desde septiembre de 2018 de forma continua 24 horas al día los siete días de la semana. Está construida sobre una isla artificial frente a la playa de Moín a la cual se accede por una carretera de cuatro carriles construida en sentido perpendicular a la playa, de aproximadamente 500 m de largo (Figura 1). Se emplaza en alrededor de 80 ha, cuenta con un muelle de 650 m de lago con una profundidad de 14,5 m y posee un canal de acceso con una profundidad de 18 m. Está equipada con 29 grúas eléctricas para contenedores y seis grúas pórtico Super-Post Panamax; está en capacidad de atender incluso buques portacontenedores de hasta 8.500 TEUs (medida estándar utilizada para calcular el volumen de un contenedor), de acuerdo con el sitio web de la compañía (https://www.apmterminals.com/en/moin).

Metodología

La metodología empleada consta de tres partes. La primera se basó en el mapeo de las líneas de costa entre 2010 y 2019, para establecer si hay erosión o acreción antes y después de la construcción de la Terminal de Contenedores de Moín. En la segunda se evaluó la dinámica de la playa por medio de perfiles topográficos levantados estacionalmente entre 2016 y 2017. Así mismo, se recolectaron muestras de sedimento en los mismos lugares donde se levantan los perfiles topográficos tanto en la playa distal como en la playa frontal, que se utilizaron para los análisis granulométricos. Finalmente se comparan los resultados para diferenciar la dinámica litoral o ciclo de playa de procesos erosivos.

Para determinar el comportamiento del área de estudio (erosión o acreción) se evaluaron los cambios en la línea de costa durante un periodo tiempo determinado. Como proxi de la línea de costa se utilizó la línea húmeda seco, se trata del extremo hacia tierra de la marca de humedad dejada por el oleaje en la playa. Se seleccionó esta aproximación o proxy ya que se deseaba registrar tanto la erosión como la sedimentación en la playa (BOAK y TUNNER, 2005). La representación cartográfica de la línea de costa fue obtenida a partir de imágenes satelitales disponibles en Google Earth, para los años 2010 (01 de agosto), 2014 (21

de diciembre), 2015 (01 de diciembre), 2018 (23 de febrero) y 2019 (21 de octubre). De esta manera se dispuso de imágenes antes, durante y después de la construcción de la MCT, que fue construido entre 2015 y 2018. Las líneas de costa para los cinco años se digitalizaron a escala 1:1.000. A partir de las líneas de costa para cada año se procede a calcular las áreas donde ocurren erosión o acreción (m^2/a) antes, durante y después de la construcción de la obra. Esto se hace por medio del uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Los perfiles topográficos de playa se ubicaron en cuatro puntos de monitoreo, que se distribuyen de la siguiente forma: un punto de monitoreo al noroeste y otro al sureste de la obra y dos puntos próximos al extremo sureste del área de estudio Moín (Figura 2), de esta manera fue posible evaluar el efecto de la obra sobre la erosión de la playa, considerando en el transporte de sedimentos realizado por la corriente de deriva litoral. Se realizaron cuatro campañas para el levantamiento de los perfiles topográficos de playa, en diciembre de 2016 y marzo, junio y septiembre de 2017, con el fin de tener una medición por cambio de estación hemisférica durante un ciclo anual. Los mismos fueron realizados durante la construcción de la obra, desde el momento que se establece un pasaje al muelle, mismo que representa un obstáculo a la circulación de los sedimentos. Los perfiles topográficos fueron realizados con un nivel topográfico desde el borde interior de la playa hasta la zona de rompiente de las olas (SILVA et al., 2020). Los datos se georreferenciaron con equipos GPS y posteriormente se procesaron utilizando el software Grapher 7. La superposición de los perfiles topográficos de playa permite la identificación de áreas de mayor o menor dinámica y los diferentes niveles de susceptibilidad de cada sector a eventos de tormenta (KOMAR, 1976). Durante el monitoreo, se registraron algunas de las características de las condiciones del mar LAING (1998), tales como: altura, tipo de rompiente, dirección de incidencia y período promedio de olas.

Posteriormente, se recolectaron muestras de arena tanto en la playa seca como en la playa húmeda, en los mismos puntos donde se realizaron los perfiles topográficos de la playa (Figura 2). Se trata de muestras compuestas por sub-muestras obtenidas a lo largo del perfil. Con base en ellas se procedió a determinar la clasificación textural de los sedimentos, lo que permitió hacer un análisis espacial y temporal de su comportamiento. Las muestras recogidas con un peso de 200 gramos se tamizaron con la ayuda de un vibrador, para una clasificación posterior de los materiales basada en WENTWORTH (1922).

Resultados

Cambios en la línea de costa

Es importante conocer el comportamiento de la línea de costa previo al inicio de la construcción de la MCT. Para tal fin se digitalizaron las líneas de costa del 1/8/10 y del 21/12/14 (Figuras 2, 3A; Tabla 1), esto permitió identificar dónde y con qué intensidad se presentaban procesos previos de acreción y erosión. En este periodo se registra acreción en el lugar actual de la obra, así como en el sector de playa próximo a la desembocadura del río Moín y erosión en el sector intermedio entre estos dos (Figuras 3A). En la tabla 1 se resumen los montos y las tasas para este periodo de cuatro años anterior al inicio de la obra. Como se puede observar el proceso dominante es el retroceso de la línea de costa, especialmente marcado al centro del área de estudio con tasa de -9799,67 m^2/a (Tabla 1). Observando la distribución de estos procesos y el ángulo en el que arriba el oleaje a la playa se puede deducir que la corriente de deriva litoral transporta una parte de estos sedimentos hacia el noreste en la fase previa a la construcción de la terminal de contenedores.

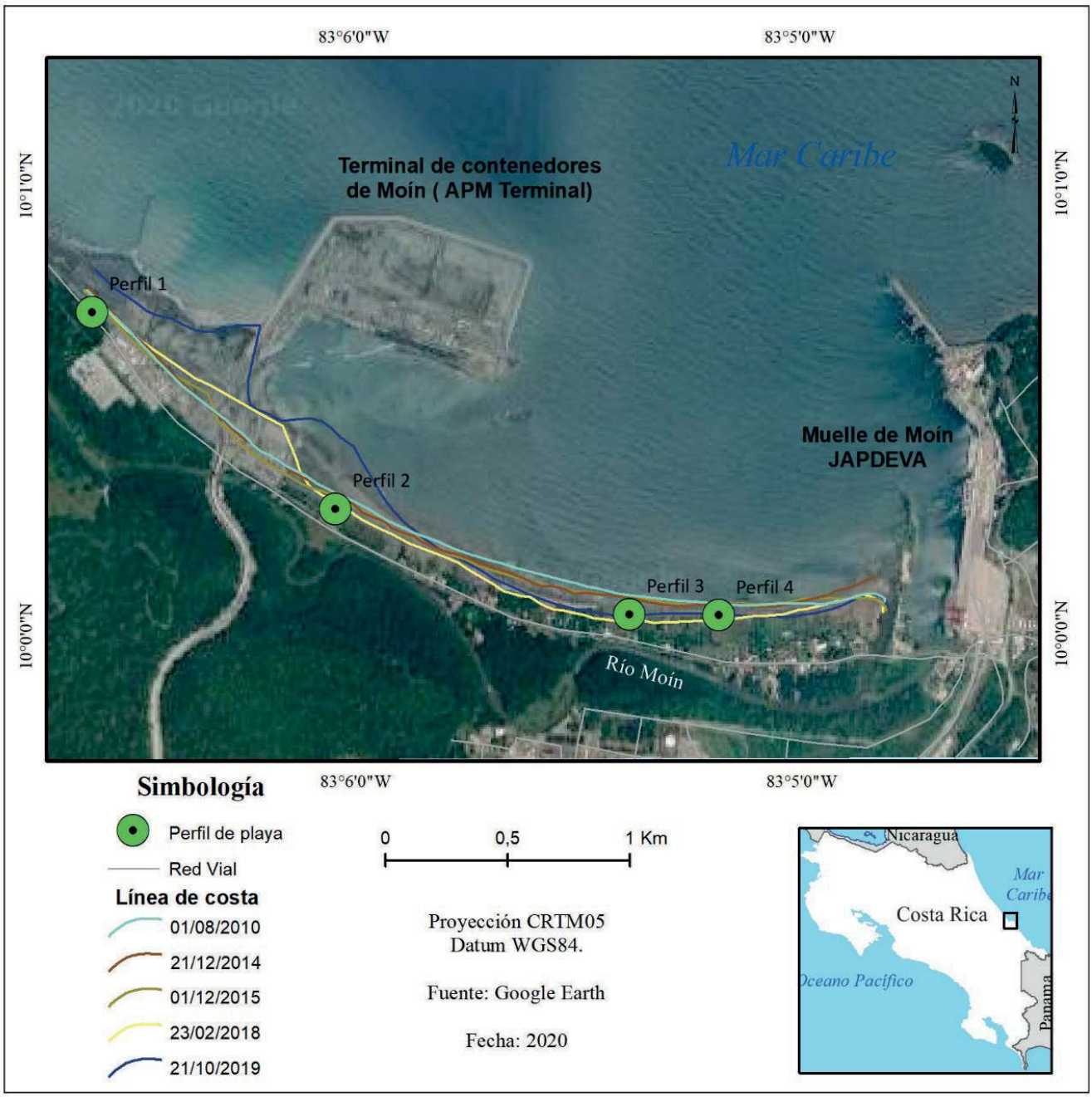


Figura 2 - Ubicación de perfiles topográficos de playa y recolección de muestras de sedimentos. Posición de la línea de costa en los años 2010, 2014, 2015, 2018 y 2019 -

Fuente: elaboración propia.

Con la construcción del camino y el inicio de la isla que alberga al puerto, se altera el comportamiento observado anteriormente (Figura 3A), de acuerdo con los cambios en la posición de la línea de costa entre el 21/12/14 y 1/12/2015 (Figuras 2, 3B; Tabla 1), el área central que experimentaba la mayor erosión se estabiliza y se comienzan a erosionar los sectores que anteriormente presentaban acreción (con excepción del área donde se construye el camino de acceso que es alterada artificialmente). La tabla 1 resume los cambios ocurridos, se destaca que en este periodo (un año) la tasa de erosión se incrementa en un 80%, en otras palabras, casi se cuadriplica.

Entre 2015 y 2018 se termina la isla donde se ubicará el muelle. Los cambios en la posición de la línea de costa entre el 1/12/2015 y el 23/2/18 apuntan a un recrudecimiento de la erosión en el sector entre la obra y la desembocadura del río Moín (Figura 1), así como un incremento de la acreción en el sitio de la obra, donde se ha producido una redistribución

artificial de sedimento (Figuras 2, 4A; Tabla 1). Vale la pena destacar que los perfiles topográficos de las playas fueron levantados en este periodo, específicamente entre diciembre de 2016 y septiembre de 2017, por lo que en su análisis (que se presentan en la siguiente sección) deben considerarse los cambios descritos.

Tabla 1 – Cambios en la línea de costa entre 2010 y 2019

	Proceso	Área (m/2)	Porcentaje	Tasa de cambio (m2/a)
2010 y 2014	Acreción	18566,52	31,9	4641,63
	Erosión	39198,66	67,4	-9799,67
	Estabilidad	413,82	0,7	
2014 y 2015	Acreción	4473,01	8,88	4473,01
	Erosión	38103,35	75,66	-38103,35
	Estabilidad	7784,81	15,46	
2015 y 2018	Acreción	73911,96	37,85	24637,32
	Erosión	121385,18	62,15	-40461,73
	Estabilidad	0,68	0,00	
2018 y 2019	Acreción	266431,73	97,40	266431,73
	Erosión	7099,52	2,60	-7099,52
	Estabilidad	0,00	0,00	

Fuente: elaboración propia.

Cabe resaltar que la tasa de erosión varió ampliamente durante el período (Figuras 2, 3; Tabla 1) pero la tasa de acreción se incrementa notoriamente como resultado del suministro de sedimentos que se colocan en la playa, que fueron dragados frente al muelle para la construcción de la dársena.

En el último periodo de análisis (2018-2019) se finaliza la obra y se inicia el funcionamiento de la MCT. En este último periodo de análisis, al comparar las líneas de costa de 23/2/18 con la correspondiente a 21/10/19 se consolida la tendencia a la acreción incluso sobre el sector central que había experimentado una erosión acelerada (Figuras 2, 4B; Tabla 1). Es posible que la causa de este cambio sea la colocación de espigones perpendiculares a la línea de costa. No obstante, recientemente Barrantes et al. (2020) reporta un retroceso de la línea de costa en el sector central como efecto directo del oleaje severo experimentado del 13 al 20 de enero de 2020, incluso muestra cómo fueron parcialmente destruidos los espigones, mismo que ya se encontraban deteriorados antes de este oleaje.

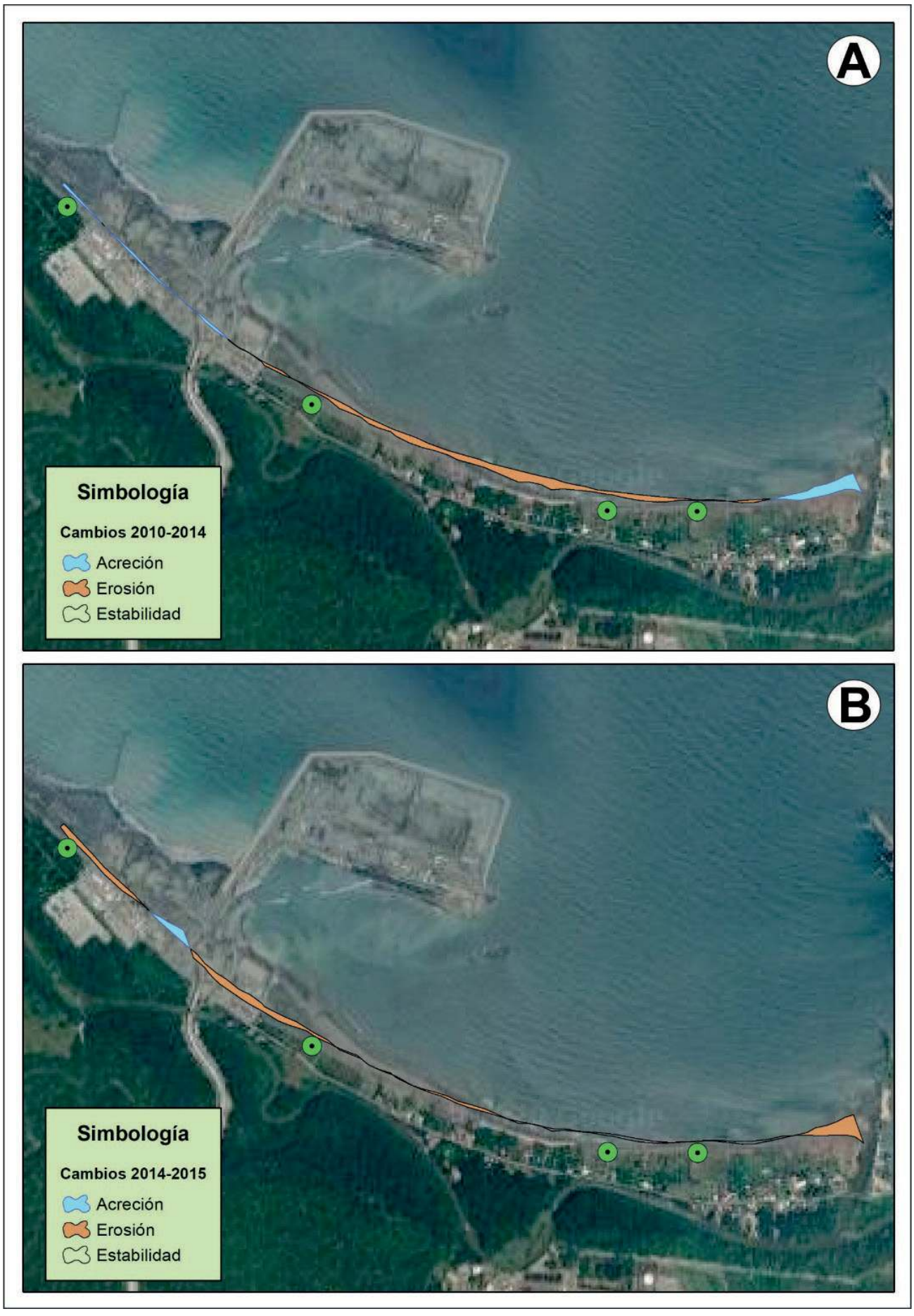


Figura 3 - Cambios en la línea de costa: A, 2010 y 2014; B, 2014 y 2015.

Fuente propia.

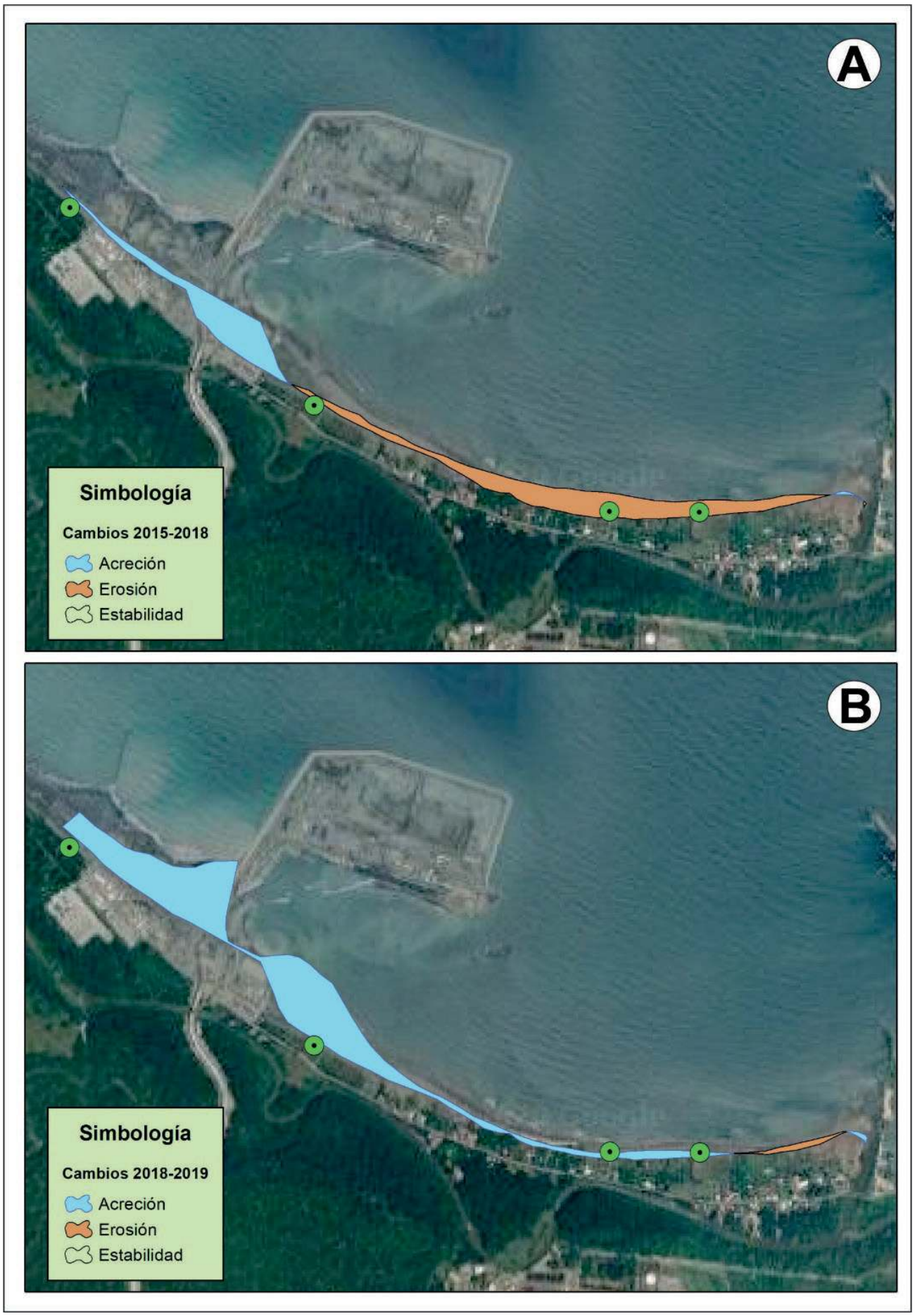


Figura 4 - Cambios en la línea de costa: A, 2015 y 2018; B, 2018 y 2019.
Fuente propia

El perfil de playa 1 es el que se ubica más al noroeste, antes del inicio de camino de acceso a la isla (muelle) (Figura 2). Este sitio muestra condiciones variables del mar, donde predominan las olas incidentes del cuadrante noreste. Estas olas se rompen preferentemente en forma de *spilling,* en diferentes lugares, debido a la baja pendiente del fondo, según LAING (1998). La altura promedio de las olas varió entre 0.7 y 4 m; con períodos de entre 5.7 y 10.9 segundos.

En la figura 5 se aprecian los perfiles topográficos de playa 1 levantados en tres campañas. En diciembre del 2016 la longitud del perfil hasta la línea de flotación fue de 30 m; una distancia corta si se compara con las mediciones de marzo del 2017, donde la longitud total fue de 43,41 m; y junio del 2017 con de 54,78 m (Figura 5). El perfil levantado en junio del 2017 es el que presenta la línea de costa a una mayor distancia (Figura 5), recordando que este es el mes que muestra menor energía en cuanto oleaje se refiere, debido a la disminución de los vientos alisios en la región Caribe y al aumento de las lluvias en esta época, lo que aumenta la acumulación de los sedimentos. Desafortunadamente, para el mes de setiembre del 2017 no fue posible realizar el levantamiento del perfil 1, ya que la playa fue artificialmente alterada por las obras en la MTC, donde se realizaba un relleno de la playa. Los sedimentos en este punto, son bastante homogéneos entre estaciones, representados básicamente por arena fina (75-87%) a arena muy fina (13-25%), con un ligero aumento en la fracción de arena fina en la playa frontal (Figura 6).

El perfil de playa 2 se localiza frente a la isla de la MCT, por ende, presenta más alteración antrópica (Figura 2). En este lugar las condiciones del mar son más estables, ya que es un sector de la playa parcialmente protegido de la incidencia directa de las olas. Las olas golpean desde el noreste después de ser parcialmente interceptadas por la terminal. La rompiente del oleaje ocurre en forma de *spilling*, con la altura media entre 0,35 y 2,9 metros y períodos entre 9.8 y 13.0 segundos. La longitud del perfil hasta la línea de flotación para diciembre del 2016 fue de 93,2 m; para marzo del 2017 de 111,59 m; en junio del 2017 de 133,42 m y para setiembre del 2017 de 145,39 m (Figura 5). Este perfil constantemente ha mostrado una acumulación de sedimentos debido a las condiciones específicas en las que se encuentra (Figura 5), el ensanchamiento de la playa en esta sección se debe principalmente a la alteración antrópica ocasionada por la construcción de la obra.

Entre diciembre del 2016 y setiembre del 2017 la línea de costa presentó un desplazamiento hacia el mar de 52,19 m en este sector de la playa (Figura 5), resultado de un intenso proceso de acumulación de sedimentos. Esto permitió la formación de bermas horizontales, que se extienden desde el escarpe de tormenta (en el límite interior de la playa) hasta la cresta de la berma. Estos depósitos de playa generalmente se forman durante la fase de reconstrucción de la playa después de la ocurrencia de eventos de tormenta (BIRD, 2008). Los sedimentos de la playa en el área del perfil 2 son similares a los descritos en el perfil 1, con el predominio de arena fina (68-85%) seguida de arena muy fina (15-31%), muy homogénea entre las estaciones (Figura 6).

El perfil topográfico de la playa 3 se encuentra a unos 1800 m al sureste de la entrada a la terminal de contenedores (Figura 2). En este sector de la costa, se producen cambios rápidos en las condiciones del mar con grandes olas, casi siempre provenientes del noreste y el norte, que golpean directamente la playa. La altura de las olas en la zona de rompiente puede variar ampliamente, desde una altura mínima registrada de solo 0,45 metros y hasta la máxima de alrededor de 2,7 m; con períodos de entre 4 y 10 segundos.

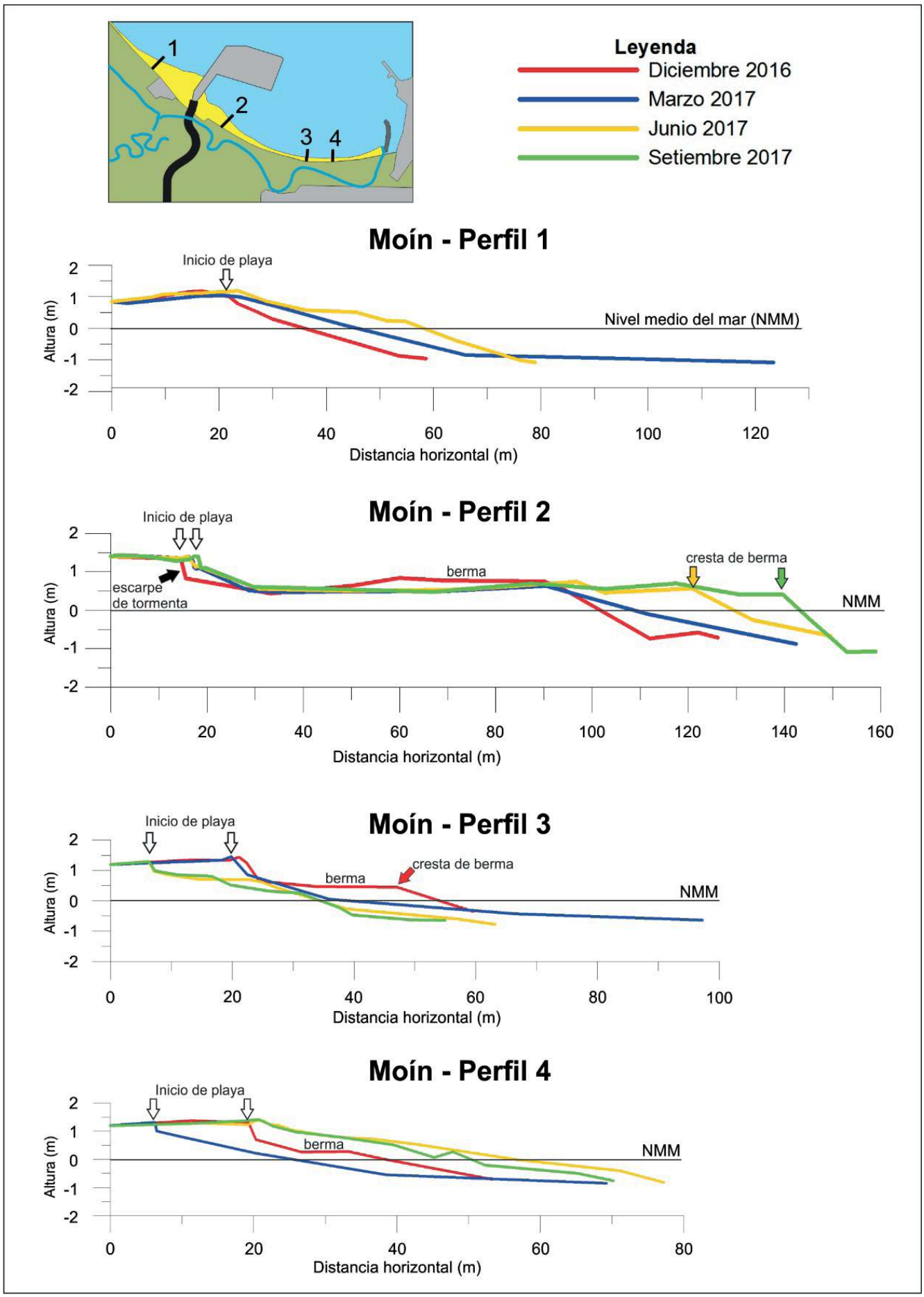


Figura 5 - Perfiles topográficos de playa realizados en la costa de Moín.

Fuente propia.

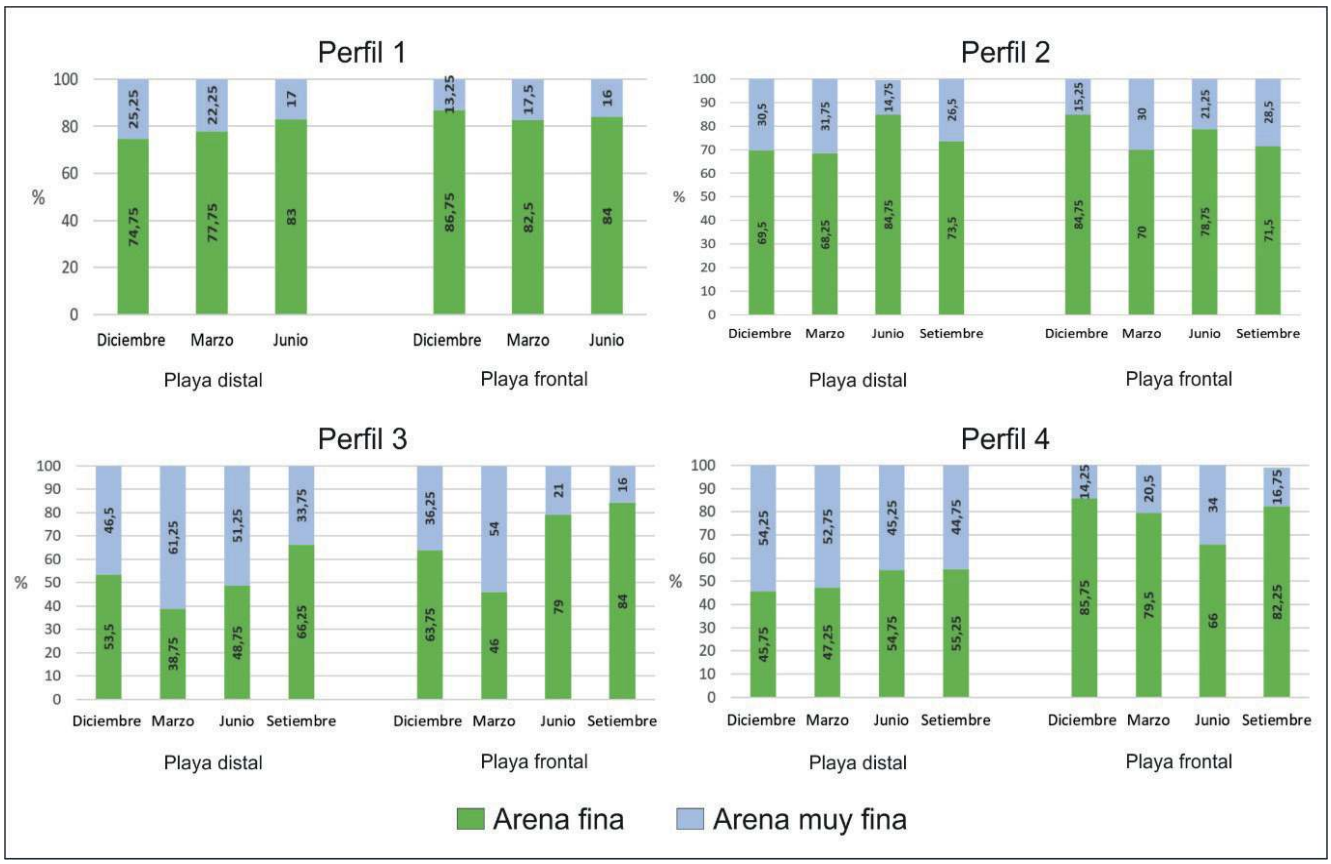


Figura 6 - Granulometría de las arenas de la playa de Moín.

Fuente propria

Las longitudes del perfil topográfico 3 varían considerablemente, con cambios significativos en la morfología y el ancho de la playa. Las longitudes hasta la línea de flotación se establecen de la siguiente manera: para diciembre del 2016 fue de 59,45 m, en marzo del 2017 la longitud fue de 35,96 m, en junio del 2017 fue de 38,8 m y en setiembre del mismo año la distancia fue de 37,63 m, hubo una disminución aproximada de 22 m en el rango de arena en la playa durante el período de un año (Figura 5). En los perfiles topográficos de playa 3 se puede observar un retroceso en la playa de unos 15 m desde diciembre del 2016 hasta setiembre del 2017 (Figura 5), basado en el escarpe de tormenta en el límite interior de la playa. Es un retroceso significativo que no se recuperó en el periodo de monitoreo de esta investigación.

Este sector del arco de la playa muestra variaciones en el tamaño de los sedimentos durante el monitoreo; desde arena fina (38-84%) hasta arena muy fina (16-61%), más evidente en la playa distal que en la playa frontal (Figura 6).

El perfil topográfico de la playa 4 se encuentra a solo 450 metros al este del perfil 3 (Figura 2) y también muestra grandes cambios en la longitud y la morfología. Debido a la proximidad al perfil 3, las condiciones del mar observadas durante el monitoreo son similares en el área del perfil 4. La extensión del perfil 4 hasta la línea de flotación fue de 38 m para el mes de diciembre del 2016, en cuanto a marzo del 2017 la longitud del perfil fue solo de 20,32 m mientras que para junio del 2017 aumentó a 56,82 m y en setiembre del 2017 disminuyó la extensión a 52,26 m (Figura 5).

En el área del perfil topográfico 4 se observó un patrón interesante, entre diciembre del 2016 y marzo del 2017 se da un retroceso de unos 15 metros en el escarpe de tormenta (en el límite interior de la playa) en este sector en respuesta a las tormentas (Figura 5). Mientras que para junio del 2017 y setiembre del 2017 se recupera considerablemente (Figura 5). Se debe recordar que en marzo se presentó un empuje frío que alteró los patrones comunes del oleaje en playa Moín, por ello, se puede afirmar que este cambio tan abrupto que se

percibe entre diciembre y marzo se deba precisamente a este evento, y que la playa se recupera para las dos siguientes mediciones. Es decir, se obtuvo un incremento cercano a los 32 m entre marzo y setiembre (Figura 5), cuando se registra una recuperación de la playa a lo largo del periodo de monitoreo (Figura 5). Esto podría atribuirse a un proceso de dinámica de playa, con cambios rápidos en respuesta a los cambios en la energía de las olas incidentes y el transporte lateral de sedimentos por la corriente de deriva costera.

Los resultados del análisis granulométrico en el área del perfil 4 muestran similitudes con el perfil 3, con sedimentos que varían entre arena fina (45-88%) y arena muy fina (14-54%), en respuesta a las oscilaciones en la energía de las olas que se rompen en la playa (Figura 6).

Discusión

El mapeo de la línea de costa entre los años 2010 y 2019 (Figuras 2, 3 y 4) permitió observar cambios en la configuración del litoral desde la construcción de la terminal de contenedores. Estos cambios también se reflejan en los perfiles topográficos de playa adquiridos estacionalmente entre diciembre de 2016 y septiembre de 2017 (Figura 5).

Las playas frente al mar abierto, como Moín, exhiben una variabilidad característica de la dinámica de las playas oceánicas. Las variaciones en la longitud y la morfología de la playa ocurren con frecuencia en una escala de días, semanas y entre estaciones, en respuesta a los cambios en la energía de las olas, en la dirección de las corrientes y bajo la influencia de las oscilaciones diarias de la marea (KOMAR, 1976; LAING, 1998; BIRD, 2008; DAVIS y FITZGERALD, 2009). Sin embargo, ciertos cambios pueden ocurrir de forma irreversible, alterando drásticamente el volumen de sedimentos disponibles en una playa, lo que puede generar acreción, con el cambio de la línea de costa hacia el mar, o pérdida efectiva de los materiales, con retroceso concomitante de la costa y erosión (DAVIS y FITZGERALD, 2009). En este sentido, la línea de costa en Moín, entre los años 2010 y 2015, exhibe cambios típicos en la dinámica de una playa oceánica, con alternancia entre las fases de acreción y pérdida momentánea de sedimentos (Figuras 2, 3 y 4).

Entre los años 2017 y 2019 (Figuras 2, 3 y 4), se puede observar una acumulación de sedimentos en las áreas adyacentes a la terminal de contenedores, con un desplazamiento concomitante de la costa hacia el mar. Este mismo comportamiento también se puede observar en los perfiles topográficos de playa 1 y 2 (que se encuentra cerca de la obra), entre los años 2016 y 2017 (Figura 5). El cálculo del volumen emergente de sedimentos de la playa, realizado a partir de los datos de altimetría y distancia horizontal de los perfiles topográficos, descrito en Oliveira Filho et al. (2020), utilizando el mismo principio desarrollado por Birkemeier (1984), muestra claramente este aumento en la cantidad de sedimentos en las áreas de los perfiles 1 y 2 (Figura 7). En el área del perfil 2, en particular, el volumen emergente de sedimentos de la playa aumentó de 65,34 m^3/m (marzo de 2017) a 98,30 m^3/m (septiembre de 2017), lo que representa un aumento de 32,96 m^3/m en el período (Figura 7). También se registra una desaceleración en el proceso de acumulación de sedimentos entre junio (21,63 m^3/m) y septiembre (11,33 m^3/m) del 2017 (Figura 7).

La acumulación de sedimentos en este sector a partir del 2017 ocurre debido a dos factores: (1) con la construcción de la nueva terminal de contenedores se creó un área de acumulación de sedimentos en la parte trasera de la estructura (zona de sombra) (LAING 1998), también llamada zona de refugio (*wave-shelter zone*) por Uda (2010). Esto se debe a que las olas incidentes del noreste tienen su trayectoria modificada por los procesos de refracción y difracción, para luego converger en estas áreas, depositando y acumulando sedimentos (LAING, 1998). (2) El otro factor a considerar se refiere al bloqueo de sedimentos transportado previamente a lo largo de la línea de costa, por la corriente de deriva litoral, con la construcción de la terminal MTC. La incidencia perpendicular de las olas tiende a producir fuertes corrientes de retorno, especialmente en playas con fuerte pendiente. Sin embargo, cuando estas olas caen oblicuamente en la playa, producen corrientes vigorosas de deriva

costera, con gran capacidad para transportar sedimentos paralelos a la playa (KOMAR, 1976; LAING, 1998; BIRD, 2008; DAVIS y FITZGERALD, 2009).

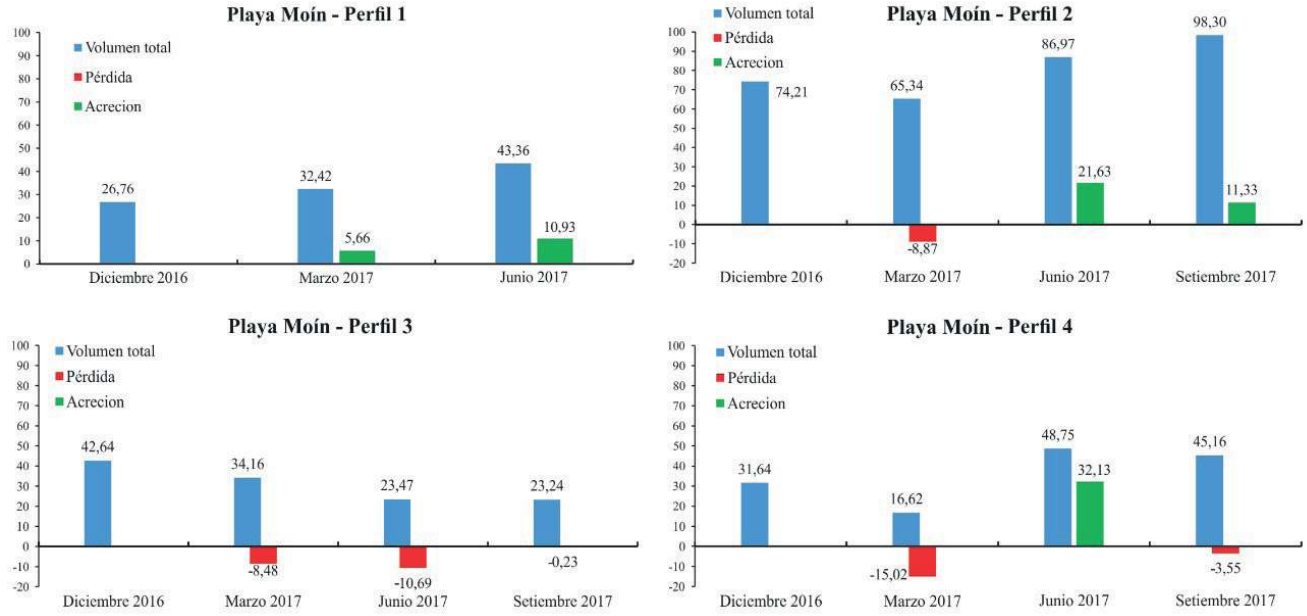


Figura 7 - Volumen emergente de sedimentos de la playa de Moín

Fuente propria.

Varios estudios demuestran el impacto causado por la construcción de estructuras rígidas en costas con intenso transporte longitudinal de sedimentos. Dias y Silva (2003), en Barra do Furado, en el sureste de Brasil, informan que la canalización de desagüe con rocas en un tramo costero altamente dinámico causó una acumulación notoria de arena en un lado de la obra y, al mismo tiempo, erosión extensa en el lado opuesto de la estructura (DIAS y KJERFVE, 2009). En Moín, este intercambio longitudinal de sedimentos se observa fácilmente por la alternancia entre áreas de acumulación y pérdida a lo largo del arco de la playa, principalmente entre 2010 y 2015 (Figuras 2, 3 y 4). Según Lizano (2018) frente a Limón se presenta una corriente de aguas superficiales en sentido sur-sureste, por lo que la obra representaría un obstáculo para el transporte de sedimento. No obstante, debido a la posición y configuración de playa Moín (distribuida a lo largo de un eje noroeste-sureste, con una concavidad próxima a la desembocadura del río Moín) en relación con el oleaje que tiene un componente noreste durante todo el año (LIZANO, 2009) es posible que la corriente de deriva litoral tuviese una dirección opuesta antes de la construcción de la terminal.

El sector sureste de la playa Moín (área de los perfiles topográficos de playa 3 y 4) presenta un desplazamiento hacia el continente (retrogradación), como resultado del proceso de erosión verificado a través del mapeo de la línea de costa entre los años 2015 y 2018 (Figuras 2 y 4A) y del retroceso de 15 m del escarpe de tormenta en los perfiles topográficos de la playa, entre 2016 y 2017 (Figura 5). Las tormentas de mayor magnitud promueven cambios rápidos en la morfología y alcanzan el límite interior de la playa, reduciendo considerablemente su longitud (Figura 5). Los resultados de la granulometría de la playa (Figura 6) también apuntan a una mayor variabilidad en las condiciones del mar en el sector sureste (perfiles topográficos 3 y 4), con una mayor variación en el tamaño de los granos entre la playa distal (arena muy fina) y la playa frontal (arena fina); con una ligera disminución en el grado de selección en este sector, en comparación con el sector noroeste (perfiles topográficos 1 y 2), menos dinámico; como también se ha observado en otras playas frente el mar (SILVA et al., 2008; ECCARD et al., 2017; SILVA et al., 2020).

De acuerdo con LIZANO (2009), la mayor energía del oleaje se presenta entre noviembre y abril, disminuyendo entre mayo y octubre, con excepción de julio donde se intensifican

de nuevo. Estas olas también pueden causar inundaciones en las áreas ubicadas en la parte trasera de este entorno, lo que representa un riesgo para las casas más cercanas a la playa. La presencia de un escarpe de tormenta en el límite interior de la playa, con raíces expuestas y árboles caídos (Figura 8), expone la fragilidad de la playa a las olas de tormenta y la erosión costera. En este sentido, Vargas (2018) señala el riego existente sobre la población e infraestructura debido al retroceso de la línea de costa, en particular en el sector central del área de estudio a causa a la proximidad de dos meandros del río Moín con la playa.

Las áreas de los perfiles topográficos 3 y 4 son más dinámicas, con énfasis en el centro del arco de la playa (perfil 3), debido a la reducción progresiva en la longitud de la franja de arena emergida, de 59 a 37 m en 1 año (Figura 5) y en el volumen emergente de sedimentos de la playa (Figura 7). El perfil 4, a pesar de su proximidad al perfil 3, mostró una ligera recuperación (Figuras 5 y 7), posiblemente porque está más cerca del río Moín, que contribuye con sedimentos a esta sección de la costa. La existencia de una post-playa estrecha, la exposición de las raíces o la eliminación de la vegetación (Figura 8) se ha señalado en varios estudios como indicadores de la erosión costera (BIRD, 2008; SOUZA, 2009; SOUZA y LUNA, 2009).



Figura 8 - Evidencia de erosión costera en la playa de Moín.

Fuente propia

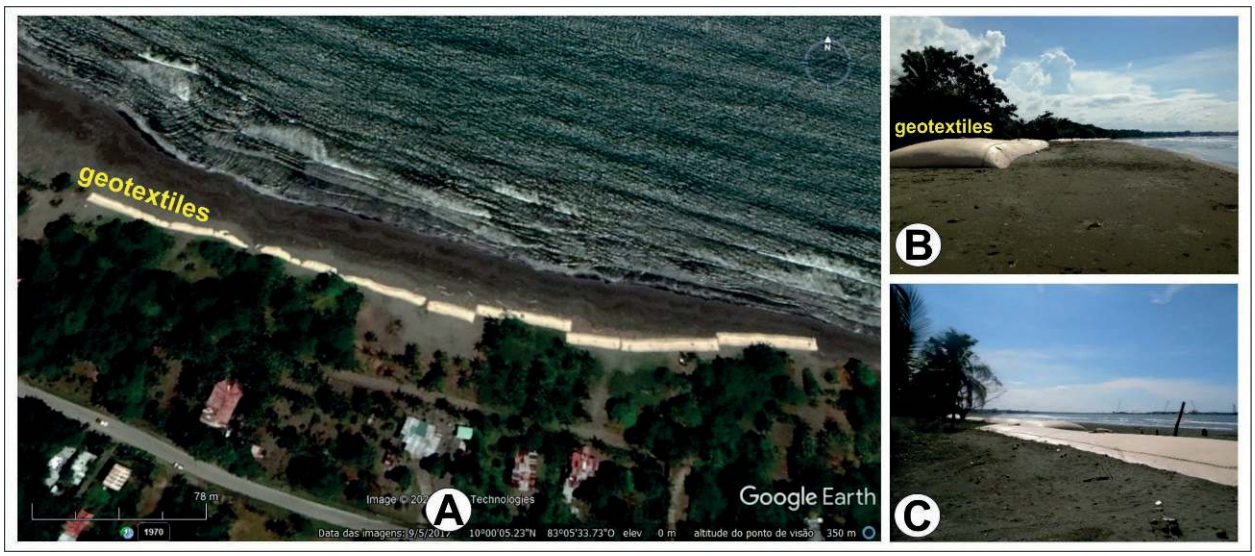


Figura 9 - Geotextiles colocados en la playa en 2017 para contener la erosión costera, posteriormente destruido por las olas de tormenta.

Fuente propia

Como respuesta de la compañía de MTC a la erosión acelerada, se colocan obras de mitigación en 2017, consistentes en el emplazamiento de geotextiles paralelos a la playa (Figura 9), no obstante, estas estructuras no logran estabilizar la línea de costa, especialmente durante oleajes severos cuando son superadas por el oleaje, provocando el socavamiento de los geotubos y la formación de escarpes de tempestad detrás de las mismas (Figura 9). Con el tiempo estas obras fueron destruidas por el oleaje en su gran mayoría.

Existe una amplia variedad de soluciones diseñadas para contener el proceso de erosión, desde las más rudimentarias hasta las estructuras más complejas, como lo destaca Pranzini (2017). Para restaurar la estabilidad de la playa Moín, con respecto a la erosión costera presente en el sector sureste, se analizarán tres métodos ingenieriles: la construcción de espigones, geotubos y reposición de arenas. Los espigones son considerados obras duras, es decir, son obras que modifican la dinámica, puesto que causan la reflexión, refracción o difracción de las olas incidentes. Mientras que los geotubos y la reposición de arenas son métodos blandos que proponen la reconstrucción de la playa, sin alterar la dinámica, manteniendo entonces la energía de las olas, la composición granulométrica y la pendiente de la playa (ISLA, 2006).

De acuerdo con lo anterior, para playa Moín se proponen medidas que modifican la dinámica (espigones) así como la reconstrucción de la playa (reposición de arenas). Sin embargo, la elección de una alternativa debe analizarse cuidadosamente. En este sentido, es necesario realizar estudios previos para conocer la dinámica de la playa y la forma en que actúan los procesos costeros (comportamiento de las olas, dirección de la corriente, etc.), por un tiempo más largo (mediano plazo), para poder realizar una elección cuidadosa de la mejor forma de intervención que se llevará a cabo en cada contexto costero (MASSELINK, 2017).

Muchos problemas relacionados con la erosión se ven exacerbados por la introducción de estructuras de ingeniería dentro de los límites de la playa. En muchos casos, tales estructuras pueden funcionar con una barrera capaz de causar la reflexión de las olas y, en consecuencia, aumentar la capacidad de movilización de sedimentos de la playa hacia la porción submarina y las áreas adyacentes (LAING, 1998; DAVIS y FITZGERALD, 2009). Varios estudios han demostrado los efectos negativos de la introducción de estructuras de ingeniería dentro de los límites de la playa, lo que casi siempre resulta en la destrucción de estas estructuras y cambios en la dinámica sedimentar. Es importante resaltar que, cualquiera que sea la medida que se adopte para contener la erosión en las áreas adyacentes a las terminales y puertos, esto necesariamente debe permitir la continuidad del movimiento de arenas a través de la estructura y en paralelo a la costa, como se señala en varios estudios (KUDALE, 2010; KIM et al., 2014; TSOUKALA et al. 2015; BOER et al., 2019).

Conclusiones

El mapeo de la línea de costa entre los años 2010 y 2019 a partir de imágenes disponibles en Google Earth y la adquisición de datos de perfiles topográficos de playa estacionales entre el 2016 y 2017, permitieron caracterizar el comportamiento y la dinámica de la costa de Moín en un intervalo de nueve años. Los resultados muestran un comportamiento dinámico de la línea de costa entre 2010 y 2015, con momentos de acreción y pérdida momentánea de sedimento en respuesta a las fluctuaciones en las condiciones del mar, algo común en las playas de mar abierto.

Entre 2017 y 2019, hubo un aumento de sedimentos en el sector noroeste de la playa (área de los perfiles topográficos de playa 1 y 2), cerca de la terminal de contenedores MTC, que comienza a contribuir a la acumulación de sedimentos en estas áreas. El sector sudeste (perfiles topográficos de playa 3 y 4) es el más dinámico y presenta problemas debido a la retrogradación de la línea de costa, de unos 15 metros en solo dos años. Actualmente, la distancia entre la playa y las primeras residencias y la carretera es de solo 20 y 70 metros, respectivamente, lo que representa un riesgo para la comunidad. El comportamiento erosivo de este sector de la playa se evidencia por la reducción en el volumen emergente de sedimentos, el retroceso del escarpe de tormenta, la caída de una gran cantidad de árboles y la exposición de las raíces. Los sedimentos son bastante homogéneos a lo largo del arco de la playa, con un predominio de arena fina y muy fina, más seleccionada en el sector noreste.

Los datos presentados aquí muestran cambios en la dinámica de la playa de Moín desde la construcción de la terminal de contenedores que incluso llevaron a la colocación de geotubos para mitigar el problema de la erosión costera en el sector central, que no lograron cumplir su propósito. La propuesta de soluciones debe analizarse cuidadosamente y basarse en estudios previos y monitoreo de mediano plazo, para que se pueda conocer la dinámica de la costa y las áreas adyacentes. En este sentido se debe de tener en cuenta la alta dinámica morfológica y sedimentaria característica de este tipo de entorno, como se pudo constatar en este estudio. Cualquier medida que se tome para contener la erosión en la costa de Moín debe priorizar la continuidad del flujo de arena a través de la estructura y paralela a la costa.

Agradecimientos

Agradecimiento a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Nacional por lo fondos parciales portados para recibir entrenamiento en técnica de monitoreo de playas con perfiles topográficos, así como la Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil, por las actividades desarrolladas en el ámbito del acuerdo de colaboración establecido entre las dos instituciones (el 20/03/2012; anexo el 19/11/2014).

Referencias

ANDRADE, C. A., BARTON, E. D., & MOOERS, C. N. Evidence for an eastward flow along the Central and South American Caribbean Coast. *Journal of Geophysical Research,* 108, 6, 3185, 2003. doi:10.1029/2002JC001549

BARRANTES, G., AROZARENA, I., SANDOVAL, L. F., & VALVERDE, J. F. **Playas críticas por erosión costera en el caribe sur de Costa Rica, durante el periodo 2005-2016**. *Revista Geográfica de América Central*, v. 1, n. 64, p. 95-122, 2020. doi: http://dx.doi.org/10.15359/rgac.64-1

BIRD, E. C. F. **Coastal Geomorphology: An Introduction**. England: John Wiley & Sons Ltd., 411p, 2008

BIRKEMEIER, W. A. **A user's guide to ISRP: The interactive survey reduction program.** *Coastal Engineering Research Center*, Vicksburg, 118 p, 1984

BOAK, E.; TURNER, I. **Shoreline definition and detection: a review.** *Journal of Coastal Research*, v. 21, n. 4, p. 688-703, 2005. doi: https://doi.org/10.2112/03-0071.1

BOER, W.; MAO, Y.; HAGENAARS, G.; VRIES, S.; SLINGER, J.; VELLINGA, T. **Mapping the Sandy Beach Evolution Around Seaports at the Scale of the African Continent**. *Journal of Marine Science and Engineering*. v. 7, n. 151, p. 1-26, 2019. doi:10.3390/jmse7050151

CARTER, R. W. G. **Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines**. London: Academic Press, 617p, 1988

CENTRO CIENTÍFICO TROPICAL. **Estudio de impacto ambiental: Proyecto Terminal de Contenedores de Moín**. San José, Costa Rica, Expediente N°7968-12-SETENA, 2013

DAVIDSON-ARNOTT, R. **Introduction to Coastal processes and Geomorphology**. New York: Cambridge University Press, 442p, 2010

DAVIS JR, A. R.; FITZGERALD, D. M. **Beaches and Coasts.** Malden, USA: Blackwell Publishing, 419p, 2009

DENYER, P.; ARIAS, O.; PERSONIUS, S. **Efecto tectónico del terremoto de Limón**. *Revista Geológica de América Central*, v. especial, p. 39-52, 1994

DIAS, G. T. M.; KJERFVE, B. **Barrier and Beach Ridge Systems of the Rio de Janeiro Coast**. In: DILLENBURG, S. R.; HESP, P. A. (orgs.). Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil. Berlin: Springer-Verlag, p. 225-252, 2009

DIAS G. T. M.; SILVA, C. G. **Exemplo de Impacto causado por construção de estrutura rígida em área de intenso transporte litorâneo**. 9º Congresso Brasileiro de Estudos do Quaternário, Recife, 2003

ECCARD, L. R.; SILVA, A. L. C.; SILVESTRE, C. P. **Variações morfológicas nas praias oceânicas de Niterói (RJ, Brasil) em resposta a incidência de ondas de tempestades**. *Revista Brasileira de Geografia Física,* v. 10, n. 01, p. 206-218, 2017. doi: https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170011

IBARRA MARINAS, D.; BELMONTE SERRATO, F. **Comprendiendo el litoral: Dinámica y procesos**. Universidad de Murcia, España, Servicio de Publicaciones, 2017

ISLA, F. **Erosión y Defensa Costeras**. En: F. Isla, & C. Lasta. (eds.). Manual de manejo costero para la provincia de Buenos Aires. Mar del Plata: EUDEM, Universidad Nacional de Mar del Plata, 2006

KIM, I. H.; LEE, H. S.; KIM, J. H.; YOON, J. S.; HUR, D. S. **Shoreline change due to construction of the artificial headland with submerged breakwaters**. In: LEE, J. L.; LEATHERMAN, S. P.; LEE, J. (eds.), Proceedings, 3rd International Rip Current Symposium, Busan, Republic of Korea. Journal of Coastal Research, Special Issue, n. 72, p. 145-150, 2014

KOMAR, P. D. Beach Processes and Sedimentation. Prentice-Hall, New Jersey. P. 429, 1976

KUDALE, M. D. **Impact of port development on the coastline and the need for protection.** *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, v. 39, n. 4, p. 597-604, 2010

LAING, A. K. **An Introduction to Ocean Waves**. In: World Meteorological Organization. Guide to Wave Analysis and Forecasting. Geneva, Switzerland: second edition, n. 702. p. 1-14, 1998

LIZANO, G. **Algunas Características de Las Mareas En La Costa Pacífica y Caribe de Centroamérica.** *Revista de Ciencia y Tecnología*, v. 24, n. 1, p. 51-64, 2006

LIZANO, O. **Climatología del viento y oleaje frente a las costas de Costa Rica, parte 1**. *Revista de Ciencia y Tecnología*, v. 25, n. 1 y 2, p. 43-56, 2009

LIZANO, O. **Erosión en las playas de Costa Rica, incluyendo la Isla del Coco**. *Intersedes*, v. 14, n. 27, p. 6-27, 2013

LIZANO, O. Corrientes marinas frente al Caribe de Costa Rica. Ambientico, Enero-Marzo, 6-12, 2018.

LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F.; DONCHYTS, G.; AARNINKHOF, S. **The State of the World's Beaches.** *Scientific Reports*, v. 8, p. 6641, 2018. doi:10.1038/s41598-018-24630-6

MASSELINK, G. **Coasts.** En: Holden, J. (ed.) An introduction to Physical Geography and the Environment. Londres: Pearson, p. 584-624, 2017

OLIVEIRA FILHO, S. R.; SANTOS, R. A.; FERNANDEZ, G. B. Erosão e recuperação de praias refletivas de alta energia impactadas por ondas de tempestade geradas por ciclone tropical. Rev. Bras. Geomorfologia, v. 21, n. 2, p. 289-312, 2020. doi.org/10.20502/rbg.v21i2.1455

PNUD-UCR. (2016). Atlas Cantonal, Limón. Recuperado el 24 de Julio de 2017, de Atlas de Desarrollo Humano Cantonal de Costa Rica 2016: http://desarrollohumano.or.cr/mapa-cantonal/

PRANZINI, E. **Coastal erosion and shore protection: A brief historical analysis**. In: Green, D. R. (eds.). Journal of Coastal Conservation. Planning and Management. Springer, 2017. doi 10.1007/s11852-017-0521-9

SILVA, A. L. C.; SILVA, M. A. M.; SANTOS, C. L. **Comportamento morfológico e sedimentar da praia de Itaipuaçú (Maricá, RJ) nas últimas três décadas**. *Rev. Brasileira de Geociências*, v.38, n. 1, p. 89-99, 2008. doi: 10.25249/0375-7536.20083818797

SILVA, A. L. C.; GRALATO, J. C. A.; BRUM, T. C. F.; SILVESTRE, C. P.; BAPTISTA, E. C. S.; PINHEIRO, A. B. **Dinâmica de praia e susceptibilidade às ondas de tempestades no litoral da Ilha Grande (Angra dos Reis - RJ).** *Journal of Human and Environment of Tropical Bays*, v.1, n. 1, pp.9-44, 2020. doi:10.12957/JHEoTB.2020.45907

SOUZA, C. R. G. **A erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil**. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, v. 9, n. 1, p. 17-37, 2009

SOUZA C. R. de G.; LUNA, G. C. **Taxas de retrogradação e balanço sedimentar em praias sob risco muito alto de erosão no município de Ubatuba (Litoral Norte de São Paulo)**. *Quaternary and Environmental Geosciences*, v. 1, n. 1, p. 25-41, 2009. doi: http://dx.doi.org/10.5380/abequa.v1i1.14489

TSOUKALA, V. K.; KATSARDI1, V.; HADJIBIROS, K.; MOUTZOURIS, C. I. **Beach Erosion and Consequential Impacts Due to the Presence of Harbours in Sandy Beaches in Greece and Cyprus**. *Environ. Process*. v. 2, Suppl 1, p. 55-71, 2015. doi 10.1007/s40710-015-0096-0

UDA, T. **Japan's beach erosion: reality and future measures**. Advanced series in ocean engineering. World Scientific, Hackensack, 31, 428p, 2010

VARGAS, A. **Análisis del efecto de la construcción de la nueva terminal de contenedores sobre el riesgo de erosión costera en la playa de Moín, provincia de Limón, Costa Rica**. Tesis (Maestría en gestión para la reducción del riesgo y prevención de desastres). Universidad Central, San José, Costa Rica, 108p, 2018

WENTWORTH, C. K. **A scale of grade and class terms for clastic sediments**. *Journal of Geology*, v. 30, n. 5, pp. 377-392, 1922 https://www.apmterminals.com/es/moin/about/history, accedido en 20/03/2020