

ARTÍCULO ORIGINAL

Comportamiento de la línea de costa en la playa Boca de Galafre, Pinar del Río (2004-2023)

Behavior of the coastline at Boca de Galafre Beach, Pinar del Río (2004-2023)

Christian Daniel Velázquez-Núñez^{1*}
Jeniffer de la Caridad Corrales-Pino²
Waldemar Alfredo Hidalgo-Aldana³

¹ Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro (EPEP-CENTRO), Finca “La Cachurra”, Guásimas, municipio Cárdenas, Matanzas, Cuba.

² Instituto de Meteorología, Loma de Casablanca, municipio Regla, La Habana. Cuba.

³ Universidad de Pinar del Río “Hermanos Saíz Montes de Oca”. Calle Martí, No. 300, Barrio Segundo Sur, entre 27 de noviembre y González Alcorta, Pinar del Río, Cuba.

Autor para la correspondencia:
velazquezchristian908@gmail.com

OPEN ACCESS

Distribuido por:
Creative Commons Atribución-
NoComercial 4.0 Internacional
(CC BY-NC 4.0)

Editor:
Patricia González-Díaz
(CIM-UH)

Recibido: 19.11.2024

Aceptado: 03.06.2025

Resumen

La investigación analizó la evolución de la línea de costa en la playa Boca de Galafre, por medio de la fotointerpretación de imágenes satelitales (2004-2023) vía Google Earth Profesional, con el objetivo de analizar los desplazamientos morfométricos de la línea de costa durante 19 años. Se complementó con un análisis granulométrico de nueve muestras tomadas sobre el perfil costero para describir el material sedimentario constituyente. El procesamiento estadístico calculó las distancias y tasas de cambio de las líneas costeras, usando el Sistema de Análisis Digital Costero (DSAS) del Servicio Geológico de los Estados Unidos. Los datos procesados con el Desplazamiento Neto de la Línea de Costa (NSM) y la Tasa de Cambio entre Perfiles Extremos (EPR) proporcionaron información sobre la magnitud y la tendencia de los cambios de la línea costera en un rango temporal determinado. Los resultados mostraron que los procesos acumulativos representan el 64.44 %, con un máximo desplazamiento de 40.3 m y una tasa de acreción de 2.14 m/año. Los procesos erosivos representan el 35.56 %, el máximo desplazamiento negativo es de -16.77 m con una tasa de erosión de -0.89 m/año. Se evidenció un retroceso de la línea de costa en el occidente-centro de la playa, agravado por las construcciones mal ubicadas en la zona costera. El análisis granulométrico sugirió una correlación entre la distribución de los sedimentos y los procesos erosivos-acumulativos. Estos resultados servirán para reconocer zonas de prioridad en la gestión costera de Boca de Galafre y mitigar los impactos de la erosión.

Palabras clave: línea costera, DSAS, erosión, acreción, análisis granulométrico.

Abstract

The research analyzed the evolution of the coastline at Boca de Galafre beach, by means of photointerpretation of satellite images (2004-2023) via Google Earth Professional with the objective of analyzing the morphometric displacements of the coastline during 19 years. It was complemented with a granulometric analysis of 9 samples taken on the

coastal profile to describe the constituent sedimentary material. Statistical processing calculated distances and rates of shoreline change using the U.S. Geological Survey's Digital Shoreline Analysis System (DSAS). Data processed with the Net Shoreline Displacement (NSM) and the Rate of Change between Extreme Profiles (EPR) provided information on the magnitude and trend of shoreline changes over a given time range. The results showed that cumulative processes represent 64.44 % with a maximum displacement of 40.3 m and an accretion rate of 2.14 m/year. Erosive processes represent 35.56 %, the maximum negative displacement is -16.77 m with an erosion rate of - 0.89 m/year. There was evidence of shoreline retreat in the west-center of the beach, aggravated by poorly located constructions in the coastal zone. The granulometric analysis suggested a correlation between sediment distribution and erosive-accumulative processes. These results will serve to recognize priority areas for coastal management in Boca de Galafre and mitigate the impacts of erosion.

Keywords: shoreline, DSAS, erosion, accretion, granulometric analysis.

Introducción

La problemática del deterioro de las zonas costeras a nivel internacional ha sido la base de numerosos estudios en diferentes áreas geográficas del mundo con el fin de entender las causas que provocan la modificación en la posición de la línea de costa. Mediante el procesamiento digital de imágenes satelitales y su posterior comparación, se pueden cuantificar estos cambios, además de poder analizar y establecer las causas que han originado dichas transformaciones. Esta erosión se conceptualiza como la pérdida o desplazamiento de tierra, o la remoción a largo plazo de sedimentos y rocas de manera extendida por la costa debido a la acción de los agentes morfogénicos; dichos procesos determinan la posición de la línea de costa que es reflejo del balance de sedimentos en la misma, y sus variaciones pueden indicar efectos naturales inducidos por el hombre a lo largo

del litoral o en las cuencas fluviales cercanas (Posada & Henao, 2007; Navarrete, 2014).

Para la región del Caribe, se ha identificado que la erosión responde a causas de carácter tanto natural como antrópico. Entre las causas naturales, se destaca el efecto del ascenso del nivel del mar y las afectaciones que provocan las olas durante los eventos meteorológicos extremos, unido al déficit en los ingresos de las fuentes naturales y movimientos tectónicos recientes. Entre las causas antrópicas, sobresale la actividad minera (extracción de áridos), tanto en la plataforma submarina como en las dunas, la incorrecta ubicación de instalaciones próximas a la orilla, el uso de obras de ingeniería inadecuadas, la deforestación y la destrucción de los arrecifes coralinos u otras comunidades bentónicas (Tristá, 2003; Rodríguez, 2015).

Con relación a la temática expuesta, han sido muchos los autores que han estudiado la morfodinámica costera de las playas cubanas, como lo son la evaluación realizada por (Ordaz *et al.*, 2016) sobre los procesos morfodinámicos a lo largo de 2 140 m de la playa Bailén, en el sur de Cuba occidental. El estudio evidenció que en los primeros siete años analizados (2003-2010), el ancho de la playa experimentó un retroceso costero, con una tasa máxima de 2.0 m/año y un valor promedio de 0.8 m/año. En el período 2010-2013, la línea de costa tiende a recuperarse con respecto a la posición de referencia del 2003. Sin embargo, la recuperación no es homogénea: ocurre de forma más lenta en el sector norte, donde los procesos erosivos son más notables.

Otro estudio reciente por parte de (Cueto *et al.*, 2022) enfoca la investigación en la evolución de la línea costera al norte de Cayo Jutías durante 14 años, por medio de la fotointerpretación de imágenes satelitales (2005-2019) obtenidas a partir de Google Earth Profesional, combinado con un trabajo de campo y la toma de muestras sobre la berma de la playa. Se realizó un procesamiento estadístico haciendo uso de la herramienta DSAS (Sistema de Análisis Digital Costero),

mediante dos de sus métodos: Desplazamiento Neto de la Línea de Costa (NSM) y la Tasa de Cambio entre Perfiles Extremos (EPR) para encontrar estimaciones de las distancias y tasas de cambio de las líneas costeras.

Ante la problemática expuesta, la comunidad costera Boca de Galafre se encuentra afectada por problemas ambientales como el retroceso de la línea de costa. La configuración alargada de la playa, junto con la presencia de lagunas interiores a unos 60 m de la línea costera, condicionan que las acciones constructivas en esta zona estén prácticamente prohibidas, en cumplimiento con lo establecido en el Decreto-Ley 77/2023 "De Costas". Únicamente en la zona suroeste de la playa, donde se encuentran las cabañas pertenecientes a la Delegación de la Construcción (MICONS), actual Campismo Popular "Boca de Galafre", se identifican potencialidades constructivas representadas propiamente por el espacio antropizado que representan dichas cabañas. La playa posee un uso intensivo en el verano, pues se utiliza el área como lugar de esparcimiento para visitantes por día y veraneantes que poseen viviendas de segunda residencia en el lugar, además de los residentes (Cala, 2015).

Boca de Galafre, desde el punto de vista urbanístico, se divide en dos zonas que son la zona este y la zona oeste, a partir del vial principal de acceso a la costa. En ambas zonas existen dos filas de construcciones. La que se encuentra más cercana a la costa en momentos de marea alta limita con el mar debido a su cercanía a la orilla, lo cual provoca se acelere el proceso erosivo en la playa. La segunda fila de edificaciones limita con las lagunas interiores y áreas de manglar, esto en algunos casos ha suscitado la tala del mismo con el objetivo de ganar espacio y en consecuencia se producen inundaciones temporales. El desarrollo ilegal e incontrolado de inversiones en infraestructura y servicios permite observar construcciones rígidas entre los 10 o 20 m de la línea de costa. Esto implica la ruptura del perfil de equilibrio en la playa de Galafre en varios sectores, donde no existe un paseo marítimo de seguridad (Cala, 2015).

Por otro lado, la playa es frecuentemente afectada por eventos meteorológicos de gran intensidad durante la temporada ciclónica en Cuba, en los meses de junio a noviembre de cada año, como lo fueron los huracanes Isidore y Lili (2002), Iván (2004), Gustav e Ike (2008), Paula (2010) y el Ian (2022). En la playa Boca de Galafre, ubicada 8 km al noroeste de playa Bailén, Ordaz *et al.*, (2009) realizaron un estudio detallado de los principales impactos producidos por el huracán Iván (2004) en el sector costero circundante a la playa Bailén. Asimismo, se estimaron retrocesos de la línea de costa del orden de -1.0 a -7.0 m y un reacomodo de las arenas hacia el área de dunas, provocando un aumento de su altura de 0,5 m como promedio.

La ubicación geográfica del área de estudio en la costa sur de la provincia de Pinar del Río ha sido definida teniendo en cuenta, justamente, a que dicha zona es afectada con frecuencia por estos eventos meteorológicos extremos, lo que, conjugado a la incidencia antrópica en el uso de la playa como espacio veraniego y las construcciones ubicadas sobre el perfil de la playa, incide en su estado actual y hace necesaria la siguiente investigación. El estudio tiene el objetivo de analizar y cuantificar los desplazamientos morfométricos de la línea de costa en la playa Boca de Galafre, municipio San Juan y Martínez, en Pinar del Río, durante los años 2004 al 2023, así como valorar la implicación que tienen estos cambios en el balance sedimentario y la estabilidad natural de la playa.

Materiales y métodos

Área de estudio

La playa Boca de Galafre como se muestra en la Fig. 1, está localizada en la costa suroccidental del municipio San Juan y Martínez, a unos 40 km al sureste de la provincia de Pinar del Río, Cuba. Ubicada dentro de las coordenadas geográficas: 22°10'13" N, y los 83°05'43" W, limita al este con la desembocadura del río Galafre y al sur con el mar Caribe. Posee una longitud aproximada de unos 2 500 m con un área de sol

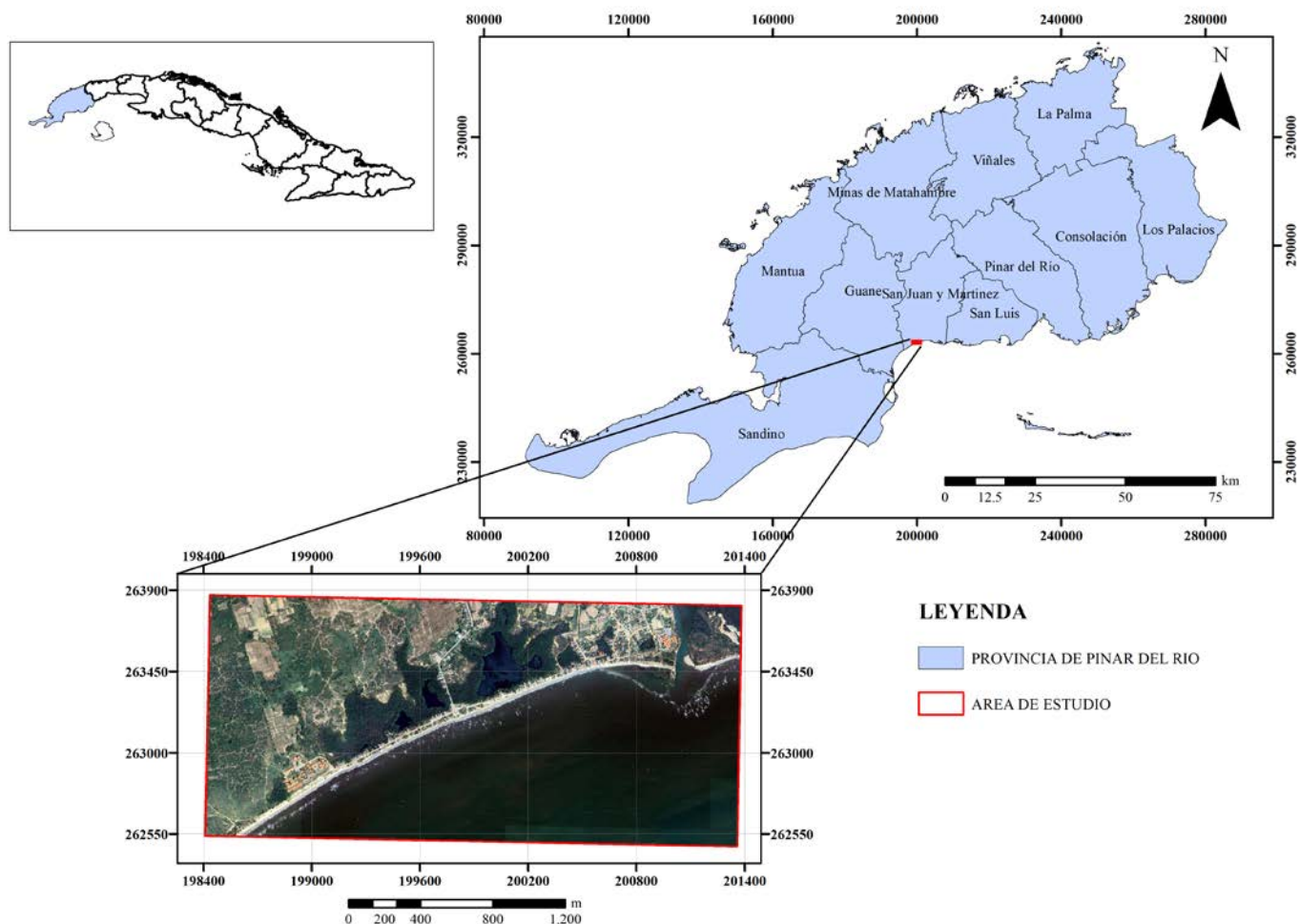


Fig. 1. Ubicación geográfica del área de estudio a escala 1: 25 000.
Fig. 1. Geographical location of the study area at a scale of 1: 25 000.

que oscila entre los 5 y los 25 m de ancho. En la pendiente submarina, el sustrato arenoso abarca entre 30 y 50 m y presenta abundante vegetación acuática (thalassia). El grado de modificación antrópica inducido por las viviendas existentes sobre el perfil costero ha determinado que prácticamente no existan dunas, ni la vegetación típica sobre estas. Según Cala (2015), son varias las causas que han afectado la calidad de la playa, entre las que podemos citar: el paso de huracanes, la presencia de construcciones sobre la línea de costa, así como por la formación de micro vertederos hacia la zona de manglar y lagunas costeras y el

inefectivo funcionamiento, en algunos momentos, de los sistemas de tratamiento de residuales.

Para el desarrollo de esta investigación fue necesario partir de un estudio documental sobre el tema de investigación y de tal modo recopilar toda la información existente sobre la evolución de líneas de costa y el comportamiento morfodinámico de las playas. La revisión bibliográfica proporcionó una visión sobre el estado de la temática investigativa y reconoció las bases necesarias para llevar a cabo el estudio, en el cual se utilizó la metodología empleada por Cueto *et al.*, (2022), en “Evolución de la

línea de costa en Cayo Jutías, Pinar del Río entre 2005-2021”.

Selección de las imágenes satelitales

Las imágenes satelitales seleccionadas se obtuvieron de Google Earth Professional (GEP) y SAS Planet, desde 2004 hasta 2023. Sin embargo, la investigación no abarcó todos los años comprendidos en este período de tiempo. Se realizó una selección de imágenes a partir de que las fotografías cubrieran el área de estudio en su totalidad y tuviesen una resolución espacio-temporal adecuada para la visualización de la costa dentro del rango temporal fijado. De esta forma se evaluaron un total de 19 imágenes tomadas por el satélite LANDSAT 8 y, de ellas, se seleccionaron las fotografías correspondientes a los años: 2004, 2011, 2014, 2018 y 2023.

Para la digitalización de las líneas de costas correspondientes a cada uno de los años de estudio, se tuvo en cuenta el reconocimiento de diferentes indicadores sobre el perfil de playa, según lo planteado por Boak & Turner, (2005). De esta manera, la vectorización de cada una de las líneas de costa estuvo guiada fundamentalmente por la línea instantánea (indicador M) que representa el agua sobre el perfil de la playa. Con respecto de algunas edificaciones encima de la franja costera, la digitalización de los tramos antropizados se hizo a partir de la guía visible que ofrecen las terminaciones de las construcciones más cercanas al rompiente de las olas. Mientras que para las construcciones encima del perfil de la playa, se sugirió una delimitación de la zona costera en la playa Boca de Galafre según lo planteado en el Decreto-Ley 77 “De Costas”, 2023. Dicha delimitación se propuso en ausencia de dunas costeras, por lo tanto, fue definida como la línea ubicada a cuarenta metros hacia tierra, medidos a partir del inicio de la franja de vegetación natural más próxima al mar. De los indicadores costeros propuestos por (Boak & Turner, 2005), la primera línea de vegetación natural (indicador E) se identifica a partir del procesamiento visual de las imágenes satelitales y las características

indirectas que representa este indicador costero en cada una de ellas.

Como resultado de la digitalización de las líneas costeras, se obtuvo la línea base de referencia en tierra, teniendo en cuenta la posición de la carretera y su posición espacial con respecto a la franja costera; y, a partir de ella, se trazaron transectos octogonales a cada línea de costa vectorizada con un espaciamiento de 50 m. De los 50 transectos trazados, se desecharon 5 (T-12, T-24, T-27, T-49, T-50) porque no cortaban perpendicularmente las líneas costeras digitalizadas, o no llegaban a cortar algunas de las líneas vectorizadas. La creación de la línea base de referencia y los transectos emitidos por DSAS permitió evaluar el registro posicional del ancho de la costa en distintos puntos de control para diferentes fechas. Los puntos de intersección proporcionaron información sobre la ubicación y el tiempo utilizado para calcular los índices de cambio. Las distancias desde la línea de base a cada punto de intersección a lo largo de un transecto se utilizaron para calcular las estadísticas seleccionadas.

Selección del programa para el procesamiento digital

Con el Sistema Digital de Análisis de la Línea de Costa: DSAS (del inglés Digital Shoreline Analysis System), en su versión 5.1 (Himmelstoss *et al.*, 2021) e incorporado como herramienta para la versión 10.8 del Esri ArcGIS Desktop, se calcularon las estadísticas de tasas de cambio para la serie temporal de las posiciones vectoriales de las líneas de costa previamente digitalizadas. Dicho procesamiento se realizó aplicando dos métodos estadísticos fundamentales: el Movimiento Neto de la Línea de Costa (NSM) y la Tasa de Cambio entre los Perfiles Extremos (EPR). El primero asocia las fechas de solo dos de las líneas de costas digitalizadas y define la distancia total existente entre la línea de costa más antigua y la más reciente en cada transecto, por lo que permite realizar un análisis comparativo del cambio morfodinámico del litoral costero, durante el período de tiempo que comprende el estudio. El segundo se

calcula dividiendo el desplazamiento de la costa, expresado en metros, por el tiempo transcurrido entre la línea de costa más antigua y la más reciente. El uso del programa incluye cómo crear una línea de base de referencia para las mediciones, los pasos necesarios para generar transectos de medición y metadatos, directrices sobre cómo añadir o editar manualmente transectos existentes. Todos los datos de entrada del DSAS deben importarse y gestionarse dentro de una geodatabase personal, que también sirve como ubicación de almacenamiento para los archivos de salida de clase de característica generados por el DSAS.

A partir de la estadística resultante se clasificaron los procesos de erosión y acreción de la línea costera en 7 categorías de evolución costera (Tabla 1) (Del Río *et al.*, 2013; Natesan *et al.*, 2015), lo que brindó una percepción más concreta del comportamiento de la dinámica litoral a lo largo de la franja costera en el sector de Boca de Galafre.

De conjunto con el procesamiento de las imágenes satelitales, se desarrolló un trabajo de campo que consistió en la recogida de muestras de arena sobre las zonas erosivas y acumulativas de la playa, definidas con anterioridad por las tasas de cambios calculadas. Así, siguiendo la distribución del perfil de la playa, se recolectaron 3 muestras de arena: una para la zona rompiente de las olas, una para la zona intermedia y otra en la zona alta del perfil de costa. Se estableció un total de 9 estaciones de muestreo: E1-1, E1-2 y E1-3 para la zona occidental (Zona A); E1-4, E1-5 y E1-6 para la zona central (Zona B); y E1-7, E1-8 y E1-9 en la zona oriental (Zona C). Cada muestra se extrajo ocupando un área de 1 m² por porciones de 400 g, hasta completar 2 000 g de muestra, según establece la Norma Cubana 10: Geotecnia. Preparación de muestras de suelos, 1998.

Por otro lado, el trabajo de laboratorio consistió en el análisis granulométrico de cada una de las muestras de arena recogidas a partir de lo establecido en la Norma Cubana 20: Geotecnia. Determinación de la Granulometría de los Suelos,

Tabla 1. Clasificación de los procesos de erosión y acreción de la línea costera, con base en estadística tasa de cambio EPR (m/año)
Table 1. Classification of shoreline erosion and accretion processes, based on statistical EPR change rate (m/year)..

Clase	Rango EPR (m/año)	Clasificación de los procesos de cambios de la línea costera
1	> -2	Erosión muy alta
2	> -1 a < -2	Erosión alta
3	> -0,1 a < -1	Erosión moderada
4	> -0,1 a < 0,1	Estable
5	> 0,1 a < 1	Acreción moderada
6	> 1 a < 2	Acreción alta
7	> 2	Acreción muy alta

1999 y haciendo uso del software de análisis de tamaño de partículas GRADISTAT versión 8.0 (Blott & Pye, 2001). A partir del cuarteo de cada una de las muestras recogidas se obtuvieron los 1 000 g requeridos, los que fueron secados y tamizados durante cinco minutos en un vibrador alemán modelo mecánico MLW. Para el análisis granulométrico se usó un juego de 6 tamices con las siguientes dimensiones de malla: 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 0.6 mm, 0.25 mm y 0.18 mm ordenados de manera descendente. Los pesos retenidos por cada fracción de tamiz fueron procesados en el GRADISTAT para obtener la clasificación del sedimento según la escala de Wentworth (1922).

Resultados

Evolución del ancho de playa

Como resultado de la base estadística obtenida, a partir del procesamiento en el Sistema de Análisis de la Línea de Costa, se pudo evaluar el comportamiento que ha tenido la franja litoral durante los últimos 19 años. Como se muestra en la Fig. 2, es evidente la pérdida del ancho de playa según el transcurso de los años, principalmente en el occidente-centro de la playa. Por otro lado, los procesos acumulativos de sedimentos se han localizado principalmente en el oriente de la playa esto es debido

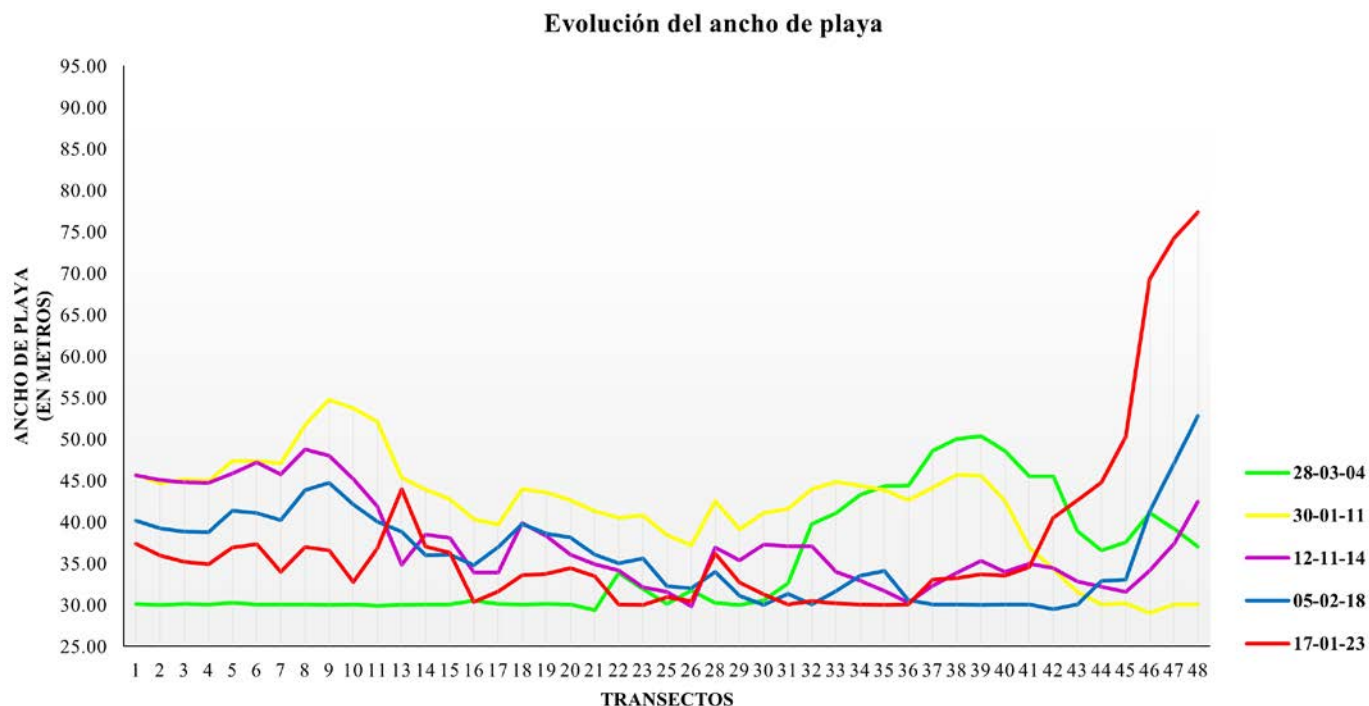


Fig. 2. Evolución del ancho de la playa Boca de Galafre.

Fig. 2. Evolution of the width of the Boca de Galafre beach.

posiblemente al aporte de material sedimentario en la desembocadura del río Galafre y la confluencia de este con el mar. Es válido comentar que desde el año 2014 hasta el 2023 la proclividad de la línea de costa ha tenido un mismo comportamiento, aunque con evidentes procesos erosivos-acumulativos de sedimentos entre estos años.

Para comprender de una mejor manera el comportamiento de los procesos erosivos-acumulativos de la playa Boca de Galafre en el tiempo de estudio propuesto (2004 - 2023), el área de estudio fue dividida en 3 zonas de estudio en correspondencia con las tasas de erosión y acumulación previamente calculadas.

Determinación del desplazamiento neto de la línea de costa (NSM)

El gráfico de la Fig. 3 muestra la cantidad de metros involucrados en el cambio en la posición de la línea de

costa entre las líneas vectorizadas de los años 2004 y 2023, respectivamente. A partir de la interpretación visual se distingue como positivo (color verde) o negativo (color rojo) el avance o retroceso de la línea de costa, específicamente para este rango temporal. Con el transcurso de estos 19 años, los procesos de acumulación de sedimentos representan el 64.44 % mientras que los procesos erosivos representan el 35.56 %. Sin embargo, el ancho de playa ganado a partir de los valores promedios de los procesos acumulativos es de 8.52 m, mientras que los procesos erosivos evidencian el retroceso de la línea de costa con un promedio de -9.49 m.

La Zona A se define desde el transecto T-1 hasta el T-30, con una longitud de 1 450 m y está caracterizada por procesos predominantemente acumulativos y aislados procesos erosivos con un punto máximo de 13.94 m de acreción costera y un punto máximo de erosión costera de -3.83 m, según el desplazamiento neto de la

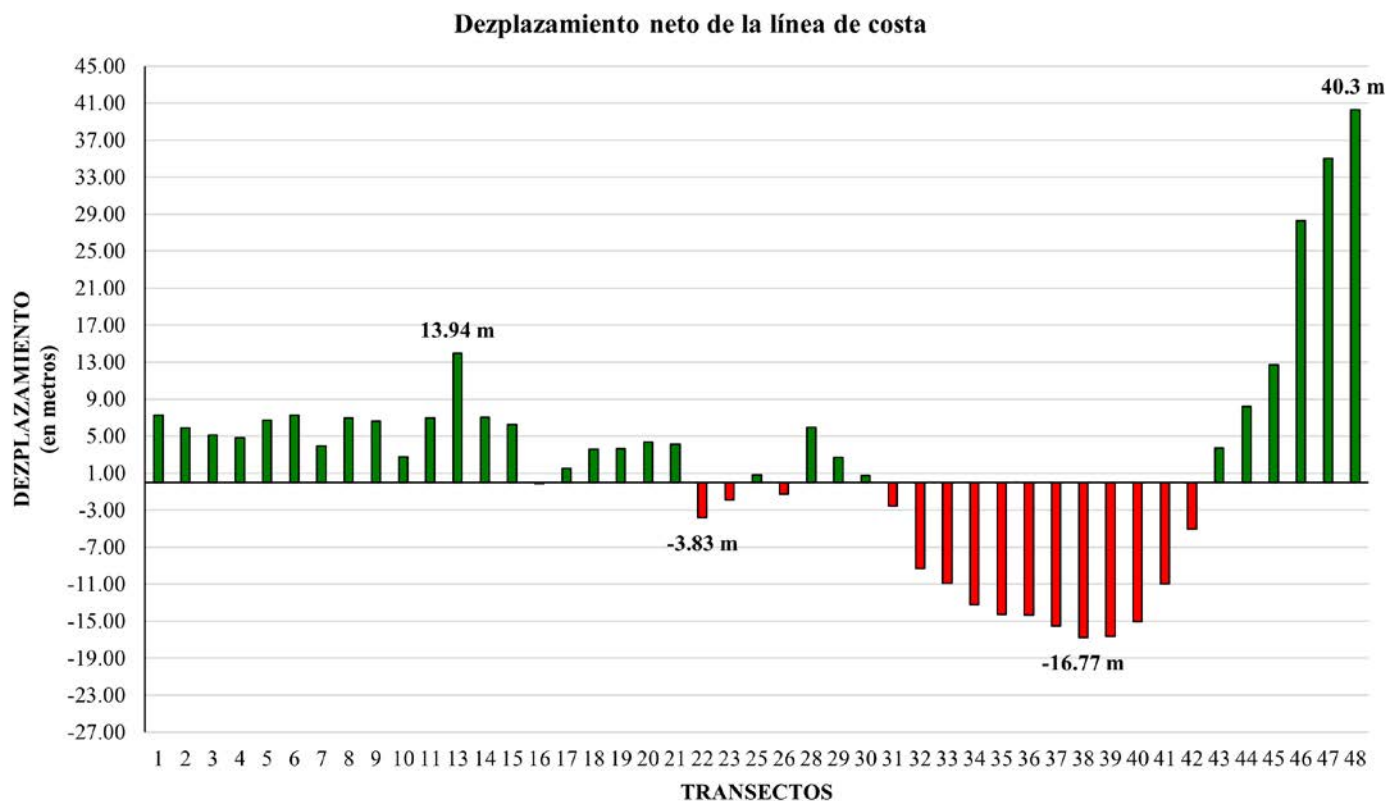


Fig. 3. Movimiento neto de la línea de costa (2004 – 2023).
Fig. 3. Net shoreline movement (2004 - 2023).

línea de costa en el transecto T-13 y T-22 respectivamente. En este tramo, el avance de la línea de costa de la zona posee valores promedio de unos 4.13 m, mientras los valores promedio del retroceso de la línea de costa son de -1.81 m.

La Zona B con una distancia de 550 m, desde T-31 hasta T-42, está caracterizada por procesos erosivos según el desplazamiento neto de la línea de costa (NSM) y posee el punto máximo de erosión costera en el transecto T-38, con -16.77 m de retroceso. Esta zona carece de procesos acumulativos de sedimentos, caracterizada fundamentalmente por procesos erosivos con valores promedio de unos -12.06 m.

La Zona C con un desarrollo de 250 m, desde T-43 hasta T-48, está caracterizada por procesos acumulativos con un punto máximo de acreción costera de 40.3

m en el T-48. En este tramo oriental de la costa existe una tendencia al engrosamiento del ancho de playa desde el menor de los transectos T-43 hasta el mayor de ellos T-48. Los valores medios de los procesos acumulativos que caracterizan esta zona son de 21.38 m.

Tasa de cambio entre perfiles extremos (EPR)

Mediante la aplicación del método de la Tasa de Cambio entre Perfiles Extremos, se pudo estimar el ritmo en el que se están produciendo estos cambios. Como resultado en la Fig. 4 se observan las velocidades con que suceden estos procesos costeros, destaca la velocidad máxima de acreción del sector oriental de la playa, mientras que las velocidades máximas de los procesos erosivos del centro de la playa son similares a la

máxima que corresponde con los procesos acumulativos de la zona occidental de la playa.

Como se puede apreciar, la mayor tasa de erosión en la Zona A es de 0.74 m/año, coincidiendo con el punto máximo de desplazamiento neto de la línea costa en esta zona. La tasa de cambio de erosión máxima tiene como valor máximo una velocidad de retroceso de la línea de costa de unos 0.2 m/año. Los valores medios de las velocidades para los procesos costeros erosivos-acumulativos de esta zona son de - 0.1 m/año y 0.22 m/año, respectivamente.

En lo que respecta a la Zona B, las tasas de cambio entre perfiles extremos son únicamente erosivas. Con una velocidad máxima de retroceso de la franja costera en esta zona de - 0.89 m/año y con valores medios de retroceso en esta zona de un - 0.64 m/año.

Por último, la Zona C, caracterizada por procesos acumulativos, posee una tasa máxima de cambio entre perfiles extremos de unos 2.14 m/año. Los valores medios de las velocidades del avance de la línea de costa que caracterizan esta zona están dados por una media de 1.14 m/año. Teniendo en cuenta las tasas de cambio, los procesos erosivos ocurren con una velocidad media de 0.5 m/año, mientras que los procesos acumulativos ocurren con promedio de 0.45 m/año.

A partir de los resultados estadísticos obtenidos, se realizó una clasificación cualitativa sobre la base de las Tasas de Cambio entre Perfiles Extremos como se muestra en la Fig. 5. Los datos referidos a los fenómenos de erosión y acreción permitieron reclasificar en cinco categorías el comportamiento erosivo-acumulativo de la playa, tomando como base las 7 categorías descritas

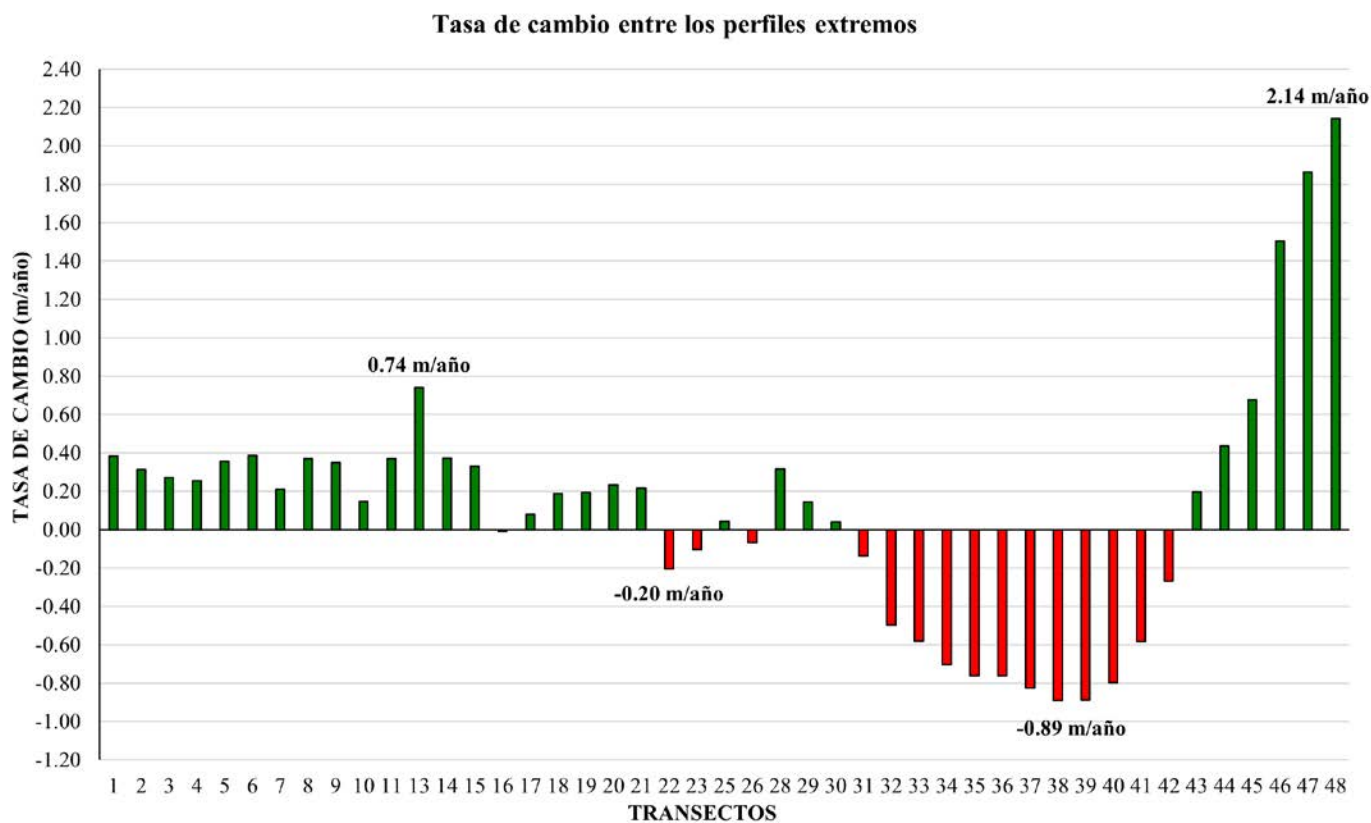


Fig. 4. Tasa de cambio entre perfiles extremos (2004 – 2023).

Fig. 4 Rate of change between extreme profiles (2004 - 2023).

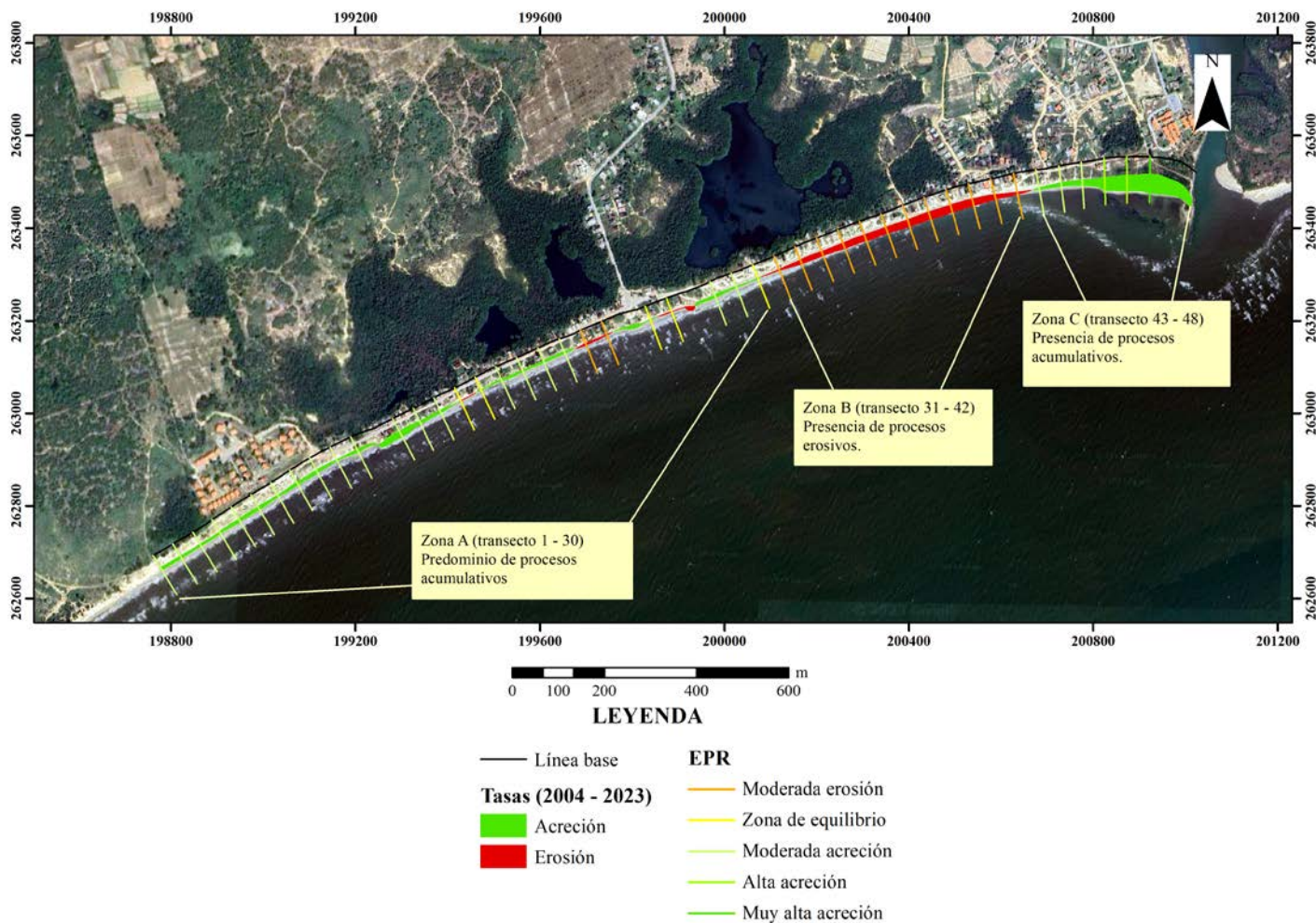


Fig. 5. Mapa de las tasas erosivas–acumulativas (escala 1: 10 000) según la clasificación de la tasa cambio EPR (Del Río et al., 2013; Natesan et al., 2015).

Fig. 5 Map of erosional rates - cumulative (scale 1: 10 000) according to the EPR rate change classification (Del Río et al., 2013; Natesan et al., 2015).

por (Del Río *et al.*, 2013; Natesan *et al.*, 2015). De este modo, en la playa Boca de Galafre la acreción moderada de la costa representa el 51 %, los procesos erosivos moderados un 31 %, las zonas estables de la playa representan un 11%, mientras que los puntos máximos de acreción constituyen conjuntamente el 7 %.

Construcciones sobre el perfil de la playa

Como resultado de la delimitación de la zona costera para la playa Boca de Galafre se obtuvo el siguiente

mapa (Fig. 6). A partir de la interpretación visual del mapa, se identificaron dos grupos de construcciones cuya ubicación en el perfil de playa no cumple con lo regulado en el Decreto-Ley 77/2023 “De Costas”, 2023. El primer grupo se ubica al oeste de la playa, entre las inmediaciones del Campismo popular Boca de Galafre y el vial de acceso a la playa desde el transecto T-13 (X = 199 302; Y = 262 948) hasta el transecto T-23 (X = 199 750; Y = 263 160). Con un desarrollo aproximado de unos 700 metros

en dirección suroeste-noreste, existen construcciones a ambos lados de la carretera, ubicadas dentro de los límites de protección de la zona costera y violando lo establecido por el Decreto-Ley 77/2023 “De Costas”, 2023. Algunas se encuentran tan próximas a la rompiente de las olas que la línea de costa en estos tramos es inexistente por la ubicación de estas edificaciones sobre la misma. El segundo grupo, con una extensión de 550 m, se ubica hacia el este de la playa y coincide con la Zona B, caracterizada por procesos erosivos, desde el transecto T-31 ($X = 200\ 123$; $Y = 263\ 300$) hasta el T-42 ($X = 200\ 635$; $Y = 263\ 478$). A diferencia del primer grupo de construcciones, en el segundo

no existen instalaciones encima de la línea de costa inmediata, pero aun así si se encuentran dentro de los límites establecidos para la zona costera de la playa según el artículo 6.1 (inciso c) del Decreto-Ley 77 “De Costas”, 2023.

Con el objetivo de disminuir la vulnerabilidad de la zona costera en la playa Boca de Galafre frente a la problemática que representa el retroceso de la línea de costa en el occidente-centro de la playa, unido a la incidencia antrópica que producen las construcciones inadecuadas sobre el ecosistema costero como indicador de la erosión; se propone la reubicación de los asentamientos humanos encima del perfil de la playa anteriormente

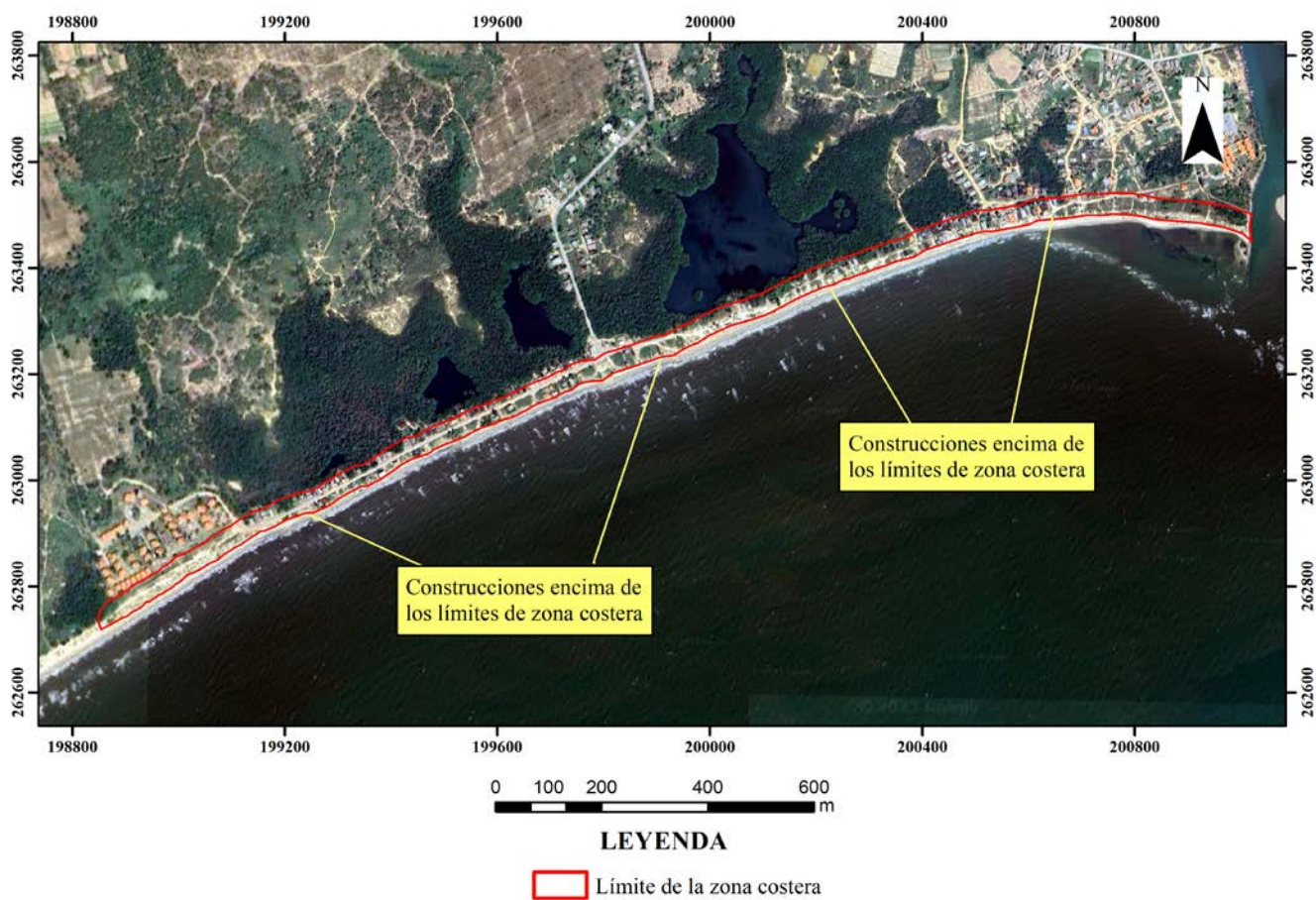


Fig. 6. Mapa del límite de la zona costera y de protección (escala 1: 10 000).
Fig. 6 Map of the coastal zone and protection zone boundary (scale 1:10 000).

identificado, así como la remoción de las infraestructuras rígidas pertenecientes al primer grupo de construcciones y situadas en la primera línea de costa (zona de acción directa del oleaje). En este sentido la prohibición de las construcciones sobre la berma de la playa, la extracción de áridos, el estacionamiento de vehículos o la disposición de desechos sólidos y líquidos en la zona costera de la playa Boca de Galafre deben ser conocidas con alcance extensivo por los pobladores de la comunidad y sus visitantes en épocas veraniegas, a través del gobierno local y los medios de comunicación.

El análisis multitemporal de la evolución de la línea de costa en la playa Boca de Galafre sirve para justificar la dinámica costera y natural de la playa, y establecer una condición estadístico-descriptivo de los procesos erosivos-acumulativos que la caracterizan. De esta manera, se retroalimenta el conocimiento de las políticas trazadas por Cuba, en cuanto a regular las acciones que garanticen la protección, el uso sostenible de la zona costera y su zona de protección; todo ello atendiendo a los principios del Manejo Integrado de la Zona Costera; bien argumentado en leyes como el Decreto-Ley 77 “De Costas”, 2023 y la Ley 150 “Del Sistema de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente”, 2022. De ahí la importancia de la conservación y el manejo de

las playas, teniendo en cuenta que nuestro país es un archipiélago rodeado de mar en el cual existe un gran número de playas que ameritan su conservación y manejo, dado su interés natural e incluso económico porque nuestra economía se basa en gran medida en el turismo de sol.

Análisis granulométrico

Para el análisis granulométrico se realizó un muestreo sedimentológico único, a lo largo de 2 500 m de longitud de playa como se muestra en la Fig. 7, durante el cual se colectaron 9 muestras de sedimento para tres perfiles sedimentológicos (zona de rompiente, zona de transición y zona alta del perfil); las características granulométricas de las muestras tomadas en las zonas erosivo-acumulativas previamente definidas a la estadística calculada se reflejan en la Tab. 2. La distribución de los sedimentos demuestra la presencia de arena fina en las muestras E1-4, E1-5, E1-7, E1-8 y E1-9 lo que sugiere que estas zonas tienen una energía moderada o baja, donde las partículas más finas se depositan. Las arenas medias presentes en las muestras E1-1 y E1-2 pertenecen a zonas que podrían estar en áreas de transición entre alta y baja energía. Solo en la muestra E1-3 se obtiene una muestra de arena muy

Tabla 2. Características granulométricas de las muestras de arena tomadas en la playa Boca de Galafre.

Table 2. Granulometric characteristics of sand samples taken from Boca de Galafre beach..

Muestra	Coordenada X	Coordenada Y	Diámetro medio (mm)	Clasificación
E1-1	199039	262855	0.36	Arena media
E1-2	199053	262834	0.29	Arena media
E1-3	199056	262828	1.19	Arena muy gruesa
E1-4	200161	263361	0.17	Arena fina
E1-5	200167	263345	0.19	Arena fina
E1-6	200172	263336	2.20	Grava muy fina
E1-7	200694	263532	0.19	Arena fina
E1-8	200705	263482	0.23	Arena fina
E1-9	200802	263502	0.20	Arena fina

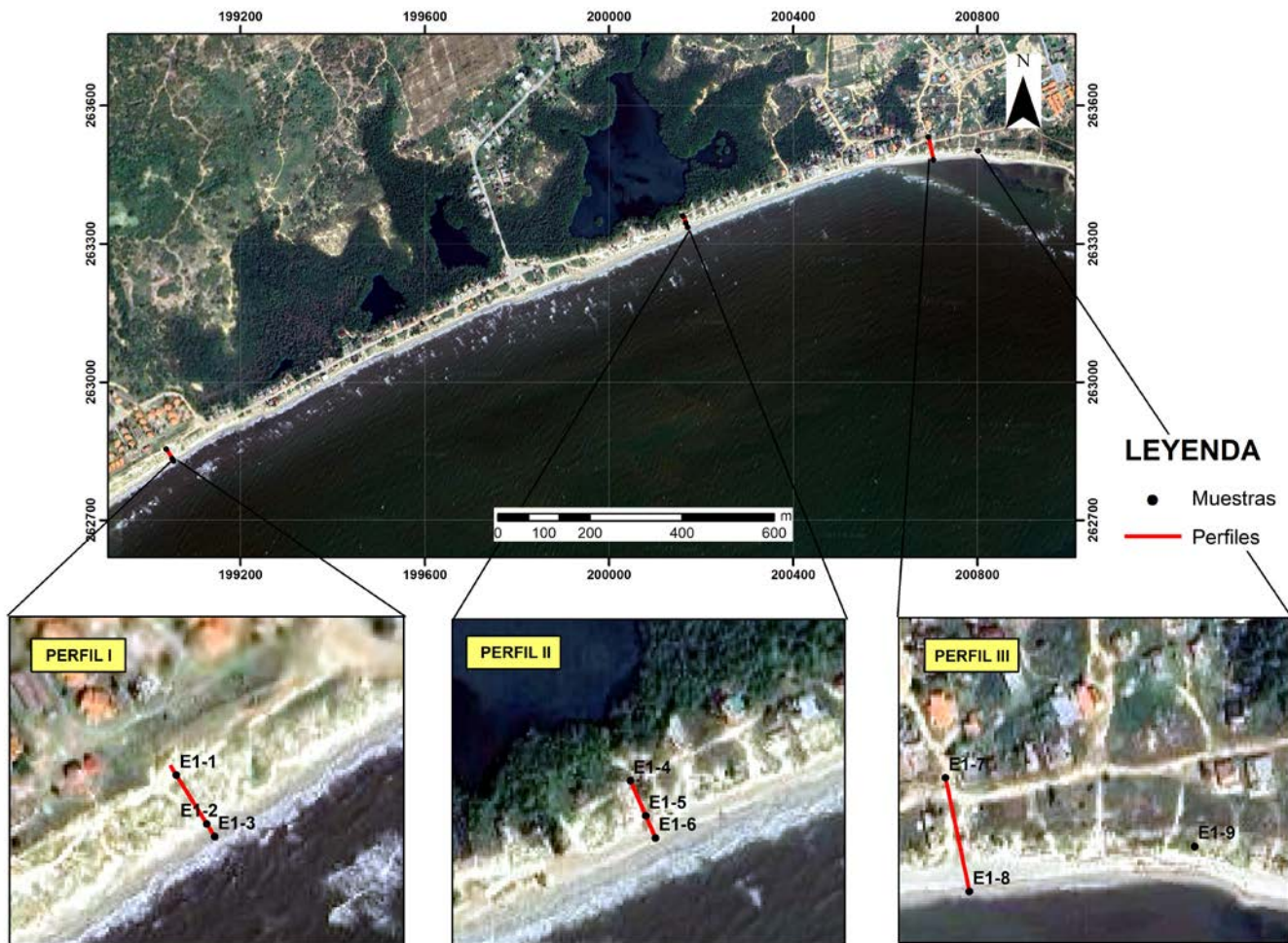


Fig. 7. Mapa de los perfiles y los sitios de muestreo sedimentológico (escala 1: 10 000, Zoom 1: 2 000).
Fig. 7. Map of profiles and sedimentological sampling sites (scale 1: 10 000, Zoom 1: 2 000).

gruesa, valor que indica una zona de alta energía, donde las partículas más gruesas se depositan. Por último, en la muestra E1-6 se describe una grava muy fina que sugiere también una zona de alta energía, donde las partículas más grandes (gravas) se depositan. La ubicación de las muestras E1-1, E1-2 y E1-3 en una zona de alta energía, la Zona A muestran que el occidente de la playa está expuesto a los peligros que representa la erosión costera a partir de las características granulométricas de las muestras y el retroceso que ha tenido la línea de costa en esta zona, en los últimos 19 años. Las muestras E1-7, E1-8 y E1-9 están ubicadas en

coordenadas pertenecientes a la Zona C en el oriente de la playa, donde predominan los procesos acumulativos de sedimentos, lo cual indica que esta zona es de menor energía. Las muestras E1-4, E1-5 tomadas en la Zona B del centro de la playa constituyen arenas finas, sin embargo, la muestra E1-6: Grava muy fina (diámetro medio de 2.20 mm), recogida en el rompiente de las olas, justifica de cierto modo la erosión costera que caracteriza esta zona de la playa según el análisis espacio-temporal de las imágenes satelitales.

No obstante, la distribución de las arenas y gravas en la playa no siempre siguen un patrón directo para

explicar la distribución de los sedimentos en las zonas erosivas y acumulativas de la misma, pues esto depende de varios factores como la energía del oleaje, la pendiente de la playa, la fuente de los sedimentos y las características del entorno costero. Las tendencias generales explican que en las zonas erosivas donde la energía del oleaje es más intensa es común encontrar sedimentos más gruesos; mientras que en las zonas de la playa donde la energía del oleaje es más baja predominan los sedimentos con granulometría más fina. De manera general, se establece que los sedimentos más gruesos de las muestras analizadas se encontraron en los sectores de la playa donde predomina la erosión y los sedimentos de granos más finos caracterizan las muestras tomadas en las zonas donde se produce la acumulación de sedimentos.

Conclusiones

A modo de conclusión, la investigación demuestra que la playa Boca de Galafre ha experimentado cambios significativos en su línea de costa durante los últimos 19 años, con una clara tendencia hacia la erosión en la zona centro-occidental y la acumulación en la zona oriental. La presencia de construcciones ubicadas en la zona costera, la falta de medidas de protección y la incidencia de eventos meteorológicos extremos han agravado los procesos erosivos, lo que subraya la necesidad de implementar políticas de manejo costero sostenible y acciones concretas para mitigar los impactos de la erosión. Este análisis multitemporal proporciona una base sólida para la toma de decisiones en la gestión costera de la región. La división de la playa en tres zonas (A, B y C) según los procesos erosivos y acumulativos permite enfocar las medidas de mitigación en las áreas más afectadas por la erosión.

El análisis estadístico del período de estudio muestra que los procesos acumulativos de sedimentos son los predominantes, tanto en porcentaje como en extensión, ya que abarcan la mayor longitud de la playa. No obstante, aunque los procesos erosivos presentan

valores porcentuales menores, es evidente el retroceso de la línea de costa en los sectores occidental y central con el transcurso de los años.

Para lograr la rehabilitación del área se debe dejar libre de construcciones rígidas e implementar medidas que favorezcan la protección y un manejo sostenible de la playa siguiendo las normativas establecidas en el Decreto-Ley 77/2023 "De Costas". Se debe promover un programa de educación ambiental orientado a concientizar a los residentes de la comunidad, y a los demás usuarios de la playa, sobre la importancia de proteger la zona costera y evitar prácticas que aceleren la erosión.

Los resultados del análisis granulométrico muestran una distribución espacial diferenciada de sedimentos en la playa, con predominio de arenas gruesas en el sector occidental (Zona A) y finas en el oriental (Zona C), mientras que en el centro (Zona B) se observa una mezcla de texturas. Estos patrones coinciden con variaciones en la dinámica costera, donde zonas de mayor energía presentan tendencia erosiva y áreas de menor energía muestran procesos acumulativos. Ello sugiere que la granulometría actúa como un indicador complementario, pero no determinante, en los procesos costeros observados. Es recomendable profundizar en estudios integrados que consideren múltiples variables para una comprensión más robusta de la dinámica litoral de la playa.

Agradecimientos

Agradecer al Departamento de Geología de la Universidad de Pinar del Río por potenciar el desarrollo de este tipo de líneas de investigación como ejercicio de culminación de estudios en el grado de Ingeniería Geológica, en especial agradecimiento al tutor del trabajo por depositar confianza e independencia en el desarrollo investigativo de los estudiantes.

Declaraciones

Financiamiento

No se recibió ningún tipo de financiamiento para la realización de este estudio.

Conflicto de intereses

Los autores no tienen conflicto de intereses financieros o no financieros que declarar que sean relevantes para el contenido del manuscrito.

Comportamiento ético

No se utilizaron animales durante la realización del presente estudio.

Permisos de muestreo y otros permisos

No se necesitó solicitar permisos para la realización de esta investigación.

Declaración sobre las contribuciones de los autores

Conceptualización, CDVN y JCCP; Metodología, CDVN y JCCP; Software, CDVN; Validación, CDVN, JCCP y WHA; Análisis formal, CDVN; Investigación, CDVN, JCCP y WHA; Recursos, WHA; Curación de datos, CDVN, JCCP y WHA; Escritura - Original" Preparación del borrador, CDVN; Escritura - Revisión y edición, CDVN; Visualización, CDVN, JCCP y WHA; Supervisión, WHA.

Referencias

- Blott, S. J., & Pye, K. (2001). GRADISTAT: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surf. Process. Landforms*, 26(11), 1237-1248.
- Boak, E. H., & Turner, I. L. (2005). Shoreline Definition and Detection: A Review. *J. Coast. Res.*, 214, 688-703. <https://doi.org/10.2112/03-0071.1>
- Cala Concepción, D. I. (2015). *Estrategia de educación ambiental para la comunidad costera "Boca de Galafre", municipio San Juan y Martínez, provincia Pinar del Río. Cuba* [Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Gestión Ambiental, Centro de Estudios de Medio Ambiente y Recursos Naturales]. Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca". <https://rc.upr.edu.cu/handle/DICT/3170>
- Decreto-Ley 77/2023 "De Costas". (2023). [Text]. Gaceta Oficial. <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/search/node/Decreto%20%E2%80%93%20Ley%2077/%202023%20%E2%80%9CDe%20Costas%E2%80%9D%2C>
- Del Río, L., Gracia, F. J., & Benavente, J. (2013). Shoreline change patterns in sandy coasts. A case study in SW Spain. *Geomorphology*, 196, 252-266. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.07.027>
- Himmelstoss, E. A., Henderson, R. E., Kratzmann, M. G., & Farris, A. S. (2021). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.1 user guide. En *Open-File Report* (Nos. 2021-1091). U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/ofr20211091>
- Ley 150 "Del Sistema de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente". (2022). Gaceta Oficial. <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-87-ordinaria-de-2023>
- Natesan, U., Parthasarathy, A., Vishnunath, R., Kumar, G. E. J., & Ferrer, V. A. (2015). Monitoring Longterm Shoreline Changes along Tamil Nadu, India Using Geospatial Techniques. *Aquat. Procedia*, 4, 325-332. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.044>
- Navarrete Ramírez, S. M. (2014). *Protocolo Indicador Variación línea de costa: Perfiles de playa. Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP)*. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR. <http://hdl.handle.net/1834/6648>
- Norma Cubana 10: Geotecnia. Preparación de muestras de suelos. (1998). [Norma Técnica]. Oficina Nacional de Normalización (NC), Vedado, Ciudad de La Habana.
- Norma Cubana 20: Geotecnia. Determinación de la Granulometría de los Suelos. (1999). [Norma Técnica]. Oficina Nacional de Normalización (NC), Vedado, Ciudad de La Habana. <https://ftp.isdi.co.cu/Biblioteca/BIBLIOTECA%20UNIVERSITARIA%20DEL%20ISDI/COLECCION%20DIGITAL%20DE%20NORMAS%20CUBANAS/1999/NC%2020.PDF>
- Ordaz Hernández, A., Hernández Santana, J. R., Estévez Cruz, E., & Méndez Linares, A. P. (2016).

- Morfodinámica costera en la playa Bailén, costa sur del occidente de Cuba, entre los años 2003-2013. *Invest. Geogr.*, 91. <https://doi.org/10.14350/rig.47086>
- Ordaz Hernández, A., Ramírez Hernández, R., Estévez Cruz, E., & Díaz Guanche, C. (2009). *Proyecto. Estudio de riesgos ante desastres naturales en el sector costero Colombia—Bailén*. Universidad de Pinar del Río.
- Posada Posada, B. O., & Henao Pineda, W. (2007). *Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano*. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés”. <http://hdl.handle.net/1834/43133>
- Rodríguez, L. R. (2015). *Evaluación de la playa La Puntilla, Santa Fe, con vistas a su manejo integrado* [Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Manejo Integrado de Zonas Costeras]. Centro de Investigaciones Marinas, Universidad de La Habana.
- Tristá Barrera, E. (2003). *Evaluación de los procesos de erosión en las playas interiores de Cuba*. [Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Geográficas, Instituto de Oceanología]. Universidad de La Habana, La Habana. <http://repositorio.geotech.cu/xmlui/handle/1234/517>

Como citar este artículo

Velázquez-Núñez, C.D., Corrales-Pino, J.C. Hidalgo-Aldana, W. A. (2025). Comportamiento de la línea de costa en la playa Boca de Galafre, Pinar del Río (2004-2023). *Rev. Invest. Mar.*, 45(1), e-10359.