

Evolución de la línea de costa en Cayo Jutías, Pinar del Río entre 2005-2021

Evolution of the coastline in Cayo Jutías, Pinar del Río between 2005-2021

Carlos Javier Cueto Gil

Ingeniero Geólogo, Máster en Ciencias Geológicas, profesor Auxiliar. Facultad de Ciencias Técnicas. Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca, Pinar del Río, Cuba. Calle Martí 270 (final). cjcgil.86@gmail.com ;  <https://orcid.org/0000-0001-6319-4621>

José Alberto Chávez Hernández

Ingeniero Geólogo. Instituto de Geología y Paleontología, Departamento de Yacimientos Minerales. La Habana, Cuba, jose24cuba@gmail.com ;  <https://rcid.org/0000-0003-0307-6433>

Nelson Agustín González Cabrera

Ingeniero Geólogo, Máster en Ciencias Geológicas. Facultad de Ciencias Técnicas. Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca, Pinar del Río, Cuba. Calle Martí 270 (final). nelson.gonzalezc@upr.edu.cu;  <https://orcid.org/0000-0002-6553-5984>

Para citar este artículo/To reference this article/Para citar este artigo

Cueto Gil, C. J., Chávez Hernández, J. A., & González Cabrera, N. (2022). Evolución de la línea de costa en Cayo Jutías, Pinar del Río entre 2005-2021. *Avances*, 24(4), 435-446. <http://avances.pinar.cu/index.php/publicaciones/article/view/725/2040>

Recibido: 24 de marzo de 2022

Aceptado: 6 de septiembre de 2022

RESUMEN

La investigación se enfoca en el análisis del desplazamiento de la línea costera al norte de Cayo Jutías durante 16 años por medio de la fotointerpretación de imágenes satelitales del 2005-2016 obtenidas a partir de Google Earth Profesional. Se combinó el trabajo de

campo a partir del levantamiento cartográfico de la línea de costa más actual (2021) y la toma de muestras de arena sobre la berma de la playa. El objetivo del trabajo fue evaluar los desplazamientos de la línea de costa en los años de estudio. Se

realizó un procesamiento estadístico para encontrar estimaciones de las distancias y tasas de cambio de las líneas costeras. Las estadísticas procesadas por medio de Desplazamiento Neto de la Línea de Costa, Tasa de Cambio entre Perfiles Extremos, dieron información acerca de la magnitud y la tendencia de los cambios en la línea costera. Los resultados arrojaron que el máximo retroceso de la línea de costa se encuentra en el tramo II con - 86,42 m con una tasa de erosión de - 6,21 m/año donde predominan los procesos erosivos. El máximo desplazamiento acumulativo se encuentra en el tramo I, provocando en el extremo suroeste un ensanchamiento de todo el perfil de 152,48 m con una tasa de acreción de 10,9 m/año. Los resultados obtenidos pueden ser usados para reconocer zonas de prioridad en la gestión costera en Cayo Jutías.

Palabras clave: línea de costa; erosión; acreción.

ABSTRACT

The research focuses on the analysis of the displacement of the coastline north of Cayo

Jutías during 16 years through the photointerpretation of satellite images from 2005-2016 obtained from Google Earth Professional. The field work was combined from the cartographic survey of the most current coastline 2021 and the sampling of sand of the beach berm. The objective of the work was to evaluate the displacements of the coastline in the years of study. The statistics processed through the Net Displacement of the Coastline, Rate of Change between Extreme Profiles, gave information about the magnitude and trend of changes in the coastline. The results showed that the maximum retreat of the coastline is in section II with - 86.42 m with an erosion rate of - 6.21 m / year where erosive processes predominate. The maximum cumulative displacement is found in section I, causing in the extreme southwest a widening of the entire profile of 152.48 m with an accretion rate of 10.9 m / year. The results obtained can be used to recognize priority areas in coastal management in Cayo Jutías.

Keywords: coast line; erosion; accretion.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, en muchas regiones del mundo las zonas costeras están siendo afectadas por procesos naturales y antrópicos que están alterando la dinámica y la disposición de los sedimentos alrededor del litoral costero cambiando el equilibrio

natural de los depósitos sedimentarios que conforman playas.

Cerca del 60 % de la población mundial se concentra cerca del litoral, la mayor parte de ella a pocos kilómetros de la

línea de costa (Nicholls & Branson 1998) esta problemática se acentúa aún más.

La línea de costa es la zona de contacto entre el mar y la tierra seca (arena). Se caracteriza por representar la interacción de la rompiente de las olas, el aumento o descenso de las mareas, la descarga de sedimentos de los ríos, las corrientes lejanas y cercanas, procesos biológicos, el lento cambio del nivel del mar, el ascenso o descenso de los continentes y la actividad del ser humano (Guzmán et al., 2008).

La variación de la línea de la costa es un fenómeno natural que ha ocurrido durante toda la historia de la tierra, y parte de su evolución se refleja como erosión, entendida como el retroceso de la línea de costa ocasionando la destrucción de cientos de kilómetros de playa o pérdida de terrenos que albergan ecosistemas costeros o que son aptos para las actividades humanas (Posada & Henao, 2008). Dicha variación también se refleja a través de la acreción, entendida como la acumulación de arena u otro tipo de material de playa debido a la acción de las olas, las corrientes y el viento (Erosión, 2005). De manera general los cambios en la posición de la línea de costa reflejan los procesos dominantes en una playa, es decir, si se está erosionando o acumulando sedimentos.

Varios han sido los autores a nivel mundial que han realizado investigaciones sobre los cambios en la posición de la línea de costa, (Alonso et al. 2007; Cifuentes et al. 2017). En el caso de Alonso et al. (2007)

emplearon la fotogrametría a estudios de erosión costera, presentando la evolución del tramo de costa conocido como playas de Sotavento (Fuerteventura, España), desde 1963 hasta el 2007 mediante el análisis de fotos aéreas georreferenciadas. Los resultados arrojaron que las playas de Sotavento presentan un importante desequilibrio en su balance sedimentario, que se traduce en la erosión de la costa. Por otra parte, Cifuentes et al. (2017) realizan una investigación encaminada a la detección de cambios en la línea costera al norte del distrito de Buenaventura en el Pacífico colombiano mediante el uso de sensores remotos, durante un periodo de 30 años.

Haciendo uso de la herramienta DSAS (Sistema de Análisis Digital Costero), mediante dos de sus métodos: Desplazamiento Neto de la Línea de Costa (MNS) y la Tasa de Cambio entre Perfiles Extremos (EPR) se comprobó que en gran parte del área existen tendencias erosivas en las líneas costeras influenciadas principalmente por procesos naturales como la desembocadura de los ríos y el fenómeno El Niño ha contribuido a estos cambios del litoral.

Estas técnicas están bien difundidas y empleadas a nivel mundial para determinar los cambios en la línea costera, en nuestro país son bastantes escasos los estudios de esta magnitud empleando estas técnicas y los que se han realizado se han efectuado en sectores específicos de las costas cubanas. En tal sentido, Curra (2012), emplea métodos estadísticos para el análisis en las playas del oeste de la Habana,

siendo este trabajo la primera aproximación a la cuantificación de las tasas de erosión y acumulación de las playas del oeste de La Habana a partir del procesamiento estadístico digital de imágenes satelitales.

En lo que respecta al área de estudio no se ha empleado este tipo de técnica para la determinación de las variaciones espacio-temporal de la línea de costa a partir del procesamiento digital de imágenes satelitales. Sin embargo, las investigaciones realizadas en Cayo Jutías han estado encaminadas a la determinación de características geomorfológicas y de dinámica costera como es el caso del trabajo realizado por el Instituto de Planificación

Física Provincial de Pinar del Río donde se obtuvieron como resultados la confección 3 de mapas (Ochoa 1996 en: Morales 2009):

Esquema geomorfológico, escala 1:10 000.

Esquema de las principales formas del relieve de la plataforma, escala 1:25 000.

Esquema de la dinámica de la línea de costa, escala 1:10 000.

El objetivo de la investigación es evaluar los desplazamientos de la línea costera y su morfodinámica en el sector norte de Cayo Jutías, Santa Lucía, Pinar del Río en el periodo comprendido entre los años 2005 - 2021.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para poder llevar adelante la investigación propuesta fue necesario efectuar una revisión bibliográfica de trabajos realizados a nivel internacional y en Cuba que tomaran como base el análisis de imágenes satelitales para realizar estudios de los cambios espacios – temporales de la línea costera.

Se seleccionaron las imágenes satelitales que están disponibles en el Google Earth Profesional del 2005, 2010, 2013 y 2016 que cubrían el área de estudio. De igual forma se desarrolló un trabajo de campo con la finalidad de cartografiar la línea de costa más actual (2021) empleando GPS, lográndose extender el periodo de análisis efectivo a 16 años. En lo que respecta al procesamiento digital de las imágenes fue necesario corregir la imagen

satelital del 2005 que presentó cierto desplazamiento de su posición real en comparación con las líneas de costas del 2010, 2013 y 2016. Dicha corrección se llevó a cabo mediante el método de puntos de control. Para la vectorización de las diferentes posiciones de la línea de costa tanto para el trabajo de campo, así como para las imágenes satelitales se empleó el indicador de la frontera que marca la zona de contacto entre la arena seca y la arena mojada. Este se diferencia por el cambio de tonalidad que experimenta la arena. En aquellas zonas donde no se visualizó esta frontera por la existencia de vegetación de costa se trazó la línea costa a partir del límite externo del manglar.

Una vez obtenidas las líneas de costa se trazó conjuntamente la línea de

referencia siguiendo la configuración de la línea de costa más cercana a tierra. De esta línea de referencia se trazaron los transectos perpendiculares a la línea de costas que permitieron evaluar el registro de la posición, evaluación del ancho de la playa y los desplazamientos de estas últimas.

Haciendo uso del software Digital Shoreline Analysis (DSAS) disponible en internet elaborado por Thieler, Himmelstoss, Zichichi, and Ergul, (2009) se realizó el procesamiento estadístico a partir de dos métodos principales el Desplazamiento Neto de la Línea de Costa (MNS) y la Tasa de cambio entre Perfiles Extremos (EPR). El primero hace referencia a la diferencia de la distancia expresada en metros de la línea de costa más antigua y la más reciente; mientras que el segundo es esa propia diferencia entre líneas de costa antigua y la más joven, dividido entre el tiempo

transcurriendo entre ambas expresadas en metros/año.

Una vez calculadas las respectivas tasas se reclasificaron los procesos de erosión y acreción de la línea de costera con base estadística de cambio en 7 categorías de evolución costera (EPR), brindando una mayor comprensión sobre la magnitud de los fenómenos de erosión y acreción costera.

Como parte de la validación de los resultados estadísticos se desarrolló un trabajo de laboratorio conformando una muestra con un peso de 1000 g de arena de los 4000g que fueron recolectados durante el trabajo de campo sobre la berma de la playa. Esta se obtuvo a partir del método de cuarteo como aparece descrito en la Norma Cubana 10:1998 de la geotecnia. Permitiendo establecer de acuerdo al comportamiento de los granos de arena patrones de erosión o acreción en la línea costera.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos a partir de la aplicación de los métodos del Desplazamiento Neto de la Línea de Costa y la Tasa de Cambio entre Perfiles Extremos, permitieron dividir el área de estudio en tres tramos en dependencia del predominio de los fenómenos costeros presentes (acreción y erosión)

La Figura 1 muestra la cantidad de metros involucrados en el cambio en la posición de la línea de costa en los 16 años

de estudio (2005 al 2021) y se distingue si el cambio ha sido positivo por predominio del avance o negativo por el retroceso de la línea de costa. Como puede observarse el retroceso está muy extendido en casi toda el área de estudio representando el 75,44 % mientras que los procesos acumulativos representan el 24,56 %, localmente se presentaron valores positivos relacionados generalmente con terrenos ganados al mar como ocurre en el extremo más suroeste del cayo los cuales son más significativos.

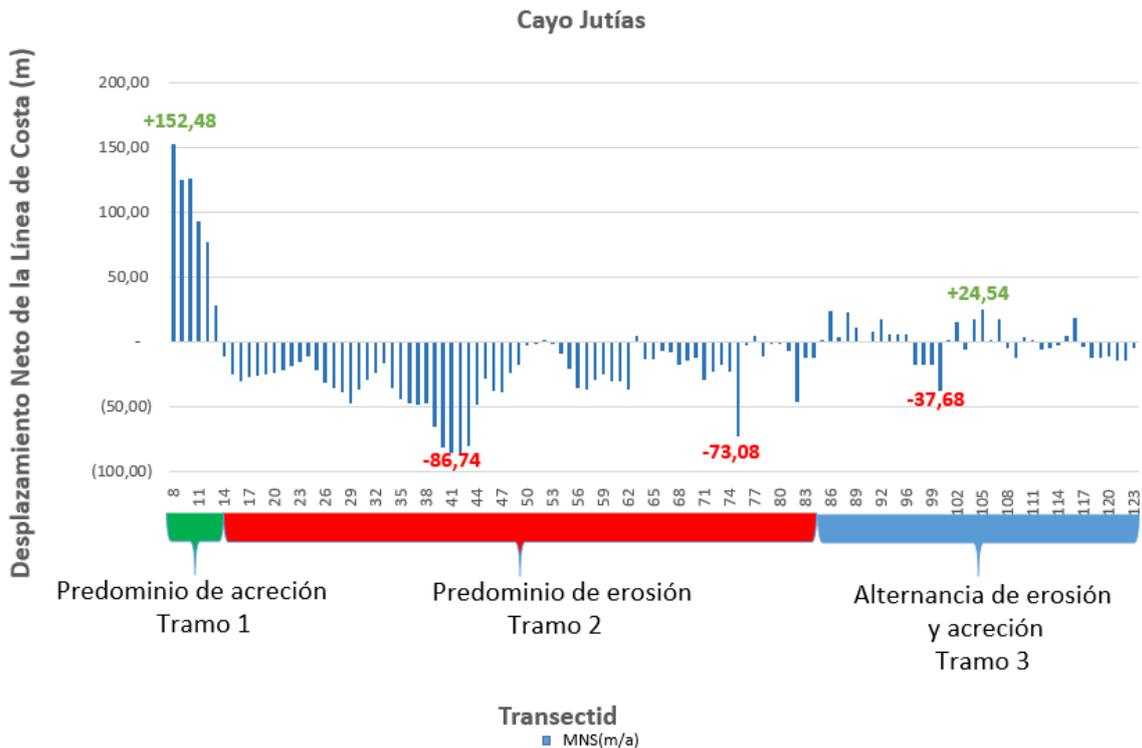


Figura 1. Desplazamiento Neto de la línea de costa (MNS)

Como se puede apreciar el tramo I (P 8 – P 13) figura 6, se observan los máximos desplazamientos de la línea de costa en el área de estudio hacia el mar en el extremo suroeste del cayo. Existe un predominio de la acreción en los perfiles del 8 al 13 el cual se asocia a procesos acumulativos cuyo valor máximo fue de +152,48 m.

En el tramo II (P 14- P 84) Figura 1, predominan procesos erosivos cuyo máximo desplazamiento de la línea de costa se dan en el perfil (P-42) con -86, 74 m y en el perfil (P-75) con -73,08 m respectivamente; estos valores de erosión coinciden con la parte más estrecha del cayo. En este tramo es notable la ausencia de procesos acumulativos significativos.

Por su parte en el Tramo III (P-85 al P-123) figura 8, existe una alternancia entre procesos erosivos y acumulativos presentándose como mayor retroceso de la línea de costa en el perfil (P-100) con -37,68 m y el máximo avance acumulativo de la línea de costa fue de 24, 54 m ubicado en el perfil (P-105).

Mediante la aplicación del método de la Tasa de cambio entre perfiles extremos se pudo estimar el ritmo en la que se están produciendo estos cambios. Según la Figura 2 la mayor parte del área reporta tasas de cambio negativas por lo que predomina la erosión.

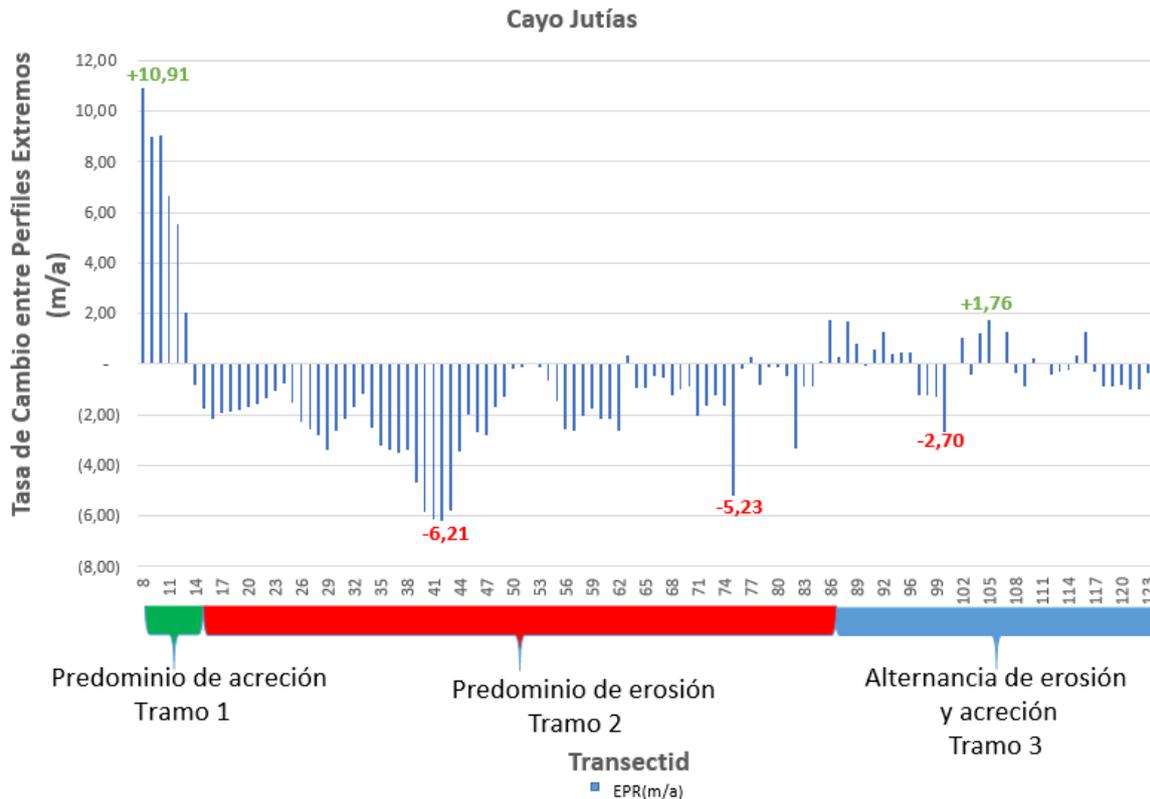


Figura 2. Tasa de cambio entre perfiles extremos.

Como se puede apreciar en el tramo I perfiles (P-8 al P13), donde se registran y predominan los valores más altos de las tasas de acreción como ocurre en el perfil (P-1) con 10,9 m/año coincidiendo con el máximo desplazamiento de la línea de costa hacia el mar. Es notable la ausencia de procesos erosivos en esta zona.

En el tramo II perfiles (P-14 al P-84), es donde se registran los valores más altos de retroceso máximo de la línea de costa los cuales coinciden con la parte más estrecha del cayo, con una tasa de erosión de - 6,21 m/año el cual coincide con el perfil (P-42) y el perfil (P-75) con 5,23 m/año respectivamente. En el resto de los transectos oscilan de -0,02 m/año y -6,16 m/año aproximadamente.

Por último, en el tramo III perfiles (P85- P123), la mayor tasa de erosión es de -2,70 m/año que se registra en el perfil (P-100) coincidiendo en este mismo transecto con el máximo desplazamiento de la línea de costa en esta zona descrita anteriormente de -37,68 m. En cuanto a la magnitud de los procesos acumulativos, la mayor tasa de acreción fue de 1,76 m/año registrada en el perfil (P -105), el cual coincide también con el mayor desplazamiento de la línea de costa hacia el mar de 24, 54 m.

A partir de estas tasas calculadas se evidencia que el ancho de la playa se ha mantenido constante y casi homogénea desde los transectos 85 al 123 mostrando un cierto equilibrio. A partir del transecto 84

este comportamiento descrito anteriormente comienza a dar indicios de variabilidad expresándose hasta el transecto 8.

De manera general en los 16 años de estudio el ancho de la playa ha mostrado un comportamiento que responde a estos fenómenos descritos anteriormente (erosión y acreción) los cuales se manifiestan en la configuración que muestra la costa; es decir, los lugares que están mostrando reducción o aumento del ancho de la playa se han mantenido en el tiempo y en espacio durante el periodo analizado.

Como parte de la validación de estos resultados estadísticos, al analizar las características granulométricas de los 9 puntos de muestreo sobre la berma de la playa de Cayo Jutías, se definen características de sedimentos de grano grueso: las de mayor tamaño representado por gravas finas en la muestra número 1 ubicada hacia el extremo noreste del cayo en las cercanías donde se encuentra emplazado el faro. Por otra parte, la arena presente en la muestra 2, 3 y 6 evidencian la existencia de granos de arena ligeramente gravosos. La muestra 4, 5 y 7 presenta granos constituidos por arena gravosa. Las muestras 8 y 9 contienen arena fina en el extremo suroeste del cayo.

De forma general las muestras analizadas muestran un comportamiento

grano decreciente longitudinalmente en dirección noreste-suroeste representado por gravas finas en el extremo noreste del cayo con los mayores diámetros de sus partículas (M-1, tabla 1), las cuales van en transición entre arenas gravosas y arenas ligeramente gravosas (M-7, Tabla 1) hasta terminar en arenas finas en el extremo suroeste del cayo guardando cierta relación con los fenómenos costeros (erosión y acreción) dominantes en cada lugar donde se recolectaron las muestras. Aquellas que tenían contenido de grava reflejan el desarrollo de procesos erosivos expresados en el desarrollo de escarpes de erosión; mientras que las representadas por arena evidencian procesos acumulativos.

Se empleó una clasificación estadística sobre la base de las Tasas de Cambio entre Perfiles Extremos apoyado en la herramienta DSAS donde se reclasificaron los fenómenos de erosión y acreción en cinco categorías tomando como base las 7 categorías descritas por (Del Río et al., 2013; Natesan et al., 2015) brindando una mayor información, no solo desde punto de vista cuantitativo, sino que también permite apreciar de forma cualitativa la intensidad de estos fenómenos de erosión y acreción. Demostrando así la capacidad predictiva de este método mediante la buena asociación espacial del mismo corroborando los resultados (Figura 3).

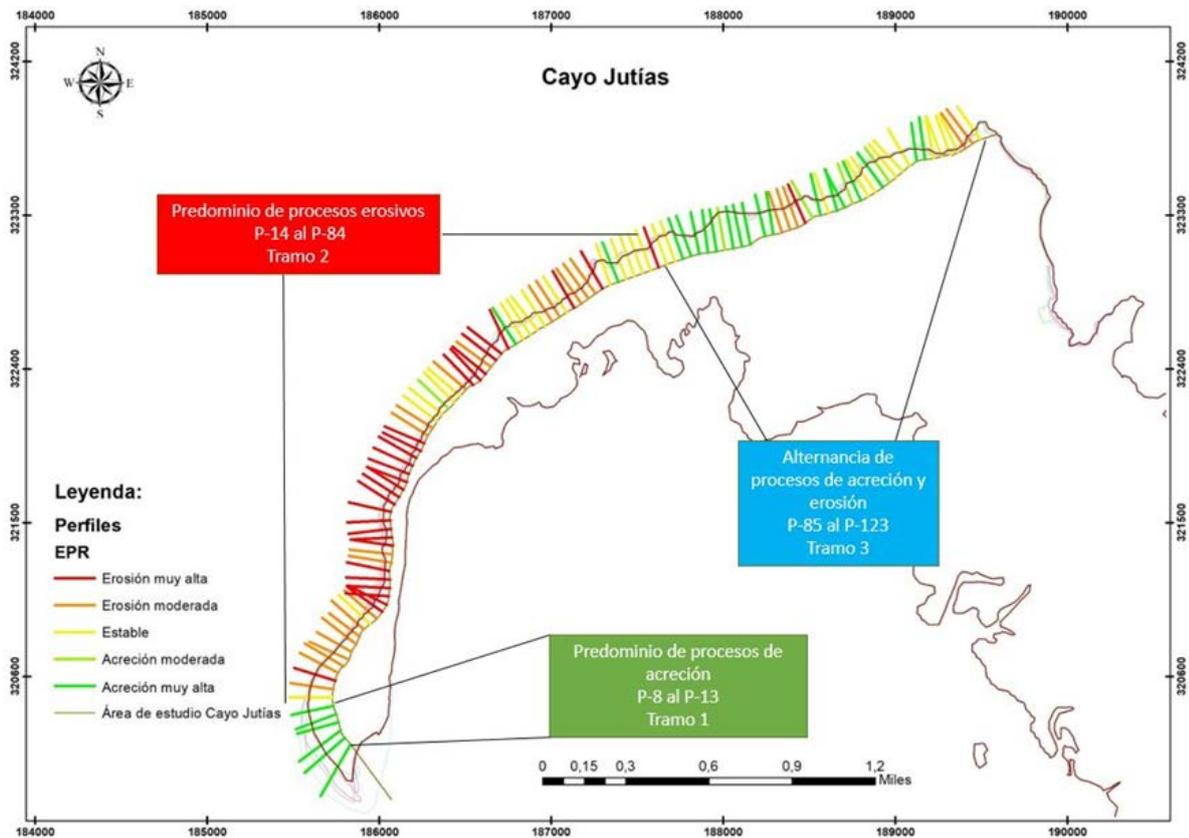


Figura 3. Clasificación de los procesos de erosión y acreción de la línea costera, con base en estadística de la tasa de cambio EPR (Del Río et al. 2013; Natesan et al. 2015).

Los resultados antes presentados permitieron comparar y actualizar varias de las metodologías empleadas en diferentes investigaciones que se realizaron con anterioridad en nuestro territorio, mostrando la eficacia de las mismas para el análisis multitemporal de la línea de costa en cualquier sector de estudio. Estos métodos lograron tener gran capacidad predictiva en cuanto a la expresión geoespacial de cada una de las líneas costa por cada uno de los

años estudiados, lo que fue corroborado en el trabajo de campo del año 2021.

Los resultados obtenidos en la presente investigación, coinciden con los alcanzados por Bolongaro-Crevenna et al. (2016) referidos a las modificaciones de la línea de costa (Tabla 1), lo cual es importante tener en cuenta en los estudios de dinámica y gestión de zonas costera.

Tabla 1. Tasa de erosión o acreción promedio anual de destinos turísticos de la Riviera Maya. **Fuente:** (Bologaro – Crevenna et al., 2016).

Destino Turístico	Año inicial	Año final	Intervalo (años)	Desplazamiento Total, promedio (m)	Tasa de erosión/acreción (m/año)
Puerto Morelos	2004	2012	8	-2,30	-0,29
Playa del Carmen	2004	2012	8	-13,56	-1,70
Akumal	2004	2012	8	-13,45	-1,68
	Promedio			-9,77	-1,22

Los resultados que ofrecen los tres tramos estudiados permiten tener una valoración relativa de las variaciones de las líneas de costa en los últimos 16 años. Estos análisis constituyen una herramienta valiosa para la gestión del potencial de riesgo que representa la erosión costera, lo cual marca una tendencia para cada uno de estos escenarios geológicos.

CONCLUSIONES

Atendiendo al predominio de los fenómenos costeros el área de estudio se pudo constatar que en el tramo I predominan procesos acumulativos, en el tramo II existen procesos erosivos y en el tramo III, se manifiesta una alternancia entre fenómenos erosivos y acumulativos.

Los resultados del procesamiento estadístico arrojaron que el máximo desplazamiento hacia el mar fue registrado en el tramo I con 152,48m con una tasa de 10,9 m/año evidenciando un fuerte proceso de acreción o recuperación de arenas, lo que ha provocado un ensanchamiento de la berma.

Además, este estudio es un aporte directo a las políticas trazadas por Cuba en cuanto a las evaluaciones de riesgos de índole ambiental y turística, bien argumentados en la tarea vida, toda vez que el país está bañado por costas y es de vital importancia la conservación y el manejo de las playas.

El máximo avance de la línea de costa hacia tierra (-86.42 m con una tasa de -6.21 m/año) ubicado en el tramo II, coincide con la parte más estrecha del cayo.

Los análisis granulométricos realizados a las 9 muestras de arena tomadas sobre la berma de Cayo Jutías, corroboraron la existencia de los procesos erosivos en estas zonas.

En el extremo suroeste correspondiente al tramo I abundan las arenas medias a finas demostrando una fuerte acumulación de sedimentos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arriaza, L., Hernández, M., Lorenzo, S., Olivera, S., Rodas, L., Montesino, D., Carrillo, Y., Almeida, I., Simanca, J., & Padrón, J.N. (2012). Modelación numérica de corrientes marinas alrededor del occidente de Cuba. *Serie Oceanológica*, 10, 11-22.
- Bolongaro-Crevenna, R. A., Anglés Hernández, M., Márquez-García, M.I y Córdova-Novion, S. (2016). Propuesta de programa de adaptación ante el cambio climático para el municipio de Tlacotalpan, Veracruz. En: Bolongaro-Crevenna, R. A. (coord). *Estudio de la vulnerabilidad al cambio climático en 10 destinos turísticos seleccionados*. Informe Técnico Proyecto 238980 del Fondo Sectorial para la Investigación en Desarrollo y la Innovación Tecnológica en Turismo. México: Academia Nacional de Investigación y Desarrollo A.C. CONACYT. 80 p.
- Cardona, Lopera, D. (2018). *Actualización de la migración de la línea de costa de acantilados blandos tropicales entre Minuto de Dios y Puerto Rey, sur de la costa caribe colombiana* [Tesis de Grado]. Universidad EAFIT
- Curra E, D. S. (2012). *El procesamiento digital de imágenes y análisis estadístico en la investigación en la dinámica de las costas Caso de estudio: playas del oeste en La Habana, Cuba* [Tesis de Diploma]. Universidad de la Habana. 91p.
- Del Río, L., García, F.J., & Benavente, J. (2013). Shoreline change patterns in sandy coasts. A case study in SW Spain. *Geomorphology*, 196, 252-266
- Guzmán, W., B.O. Posada, Guzmán, G., & Morales, D. (2008). Programa Nacional de Investigación para la Prevención, Mitigación y Control de la Erosión Costera en Colombia – PNIEC – Plan de Acción 2009 – 2019. Invemar, Santa Marta.72.
- Iturralde-Vinent, M. A., & Serrano, H. (2015). *Peligros y vulnerabilidades de la zona marino-costera de Cuba: estado actual y perspectivas ante el cambio climático*. 1ra ed., Vol. I. La Habana: Editorial Academia.
- Morales, Y. E. (2009). *Evolución de la línea de costa y su relación con la actividad antrópica. Caso de estudio: Playa Bailén, provincia de Pinar del Río* [Tesis de Grado]. Universidad de Pinar del Río. 67p.
- Natesan, U., A. Parthasarathy, R. Vishnunath, E.J., & Ferrer, V.A. (2015). Monitoring longterm shoreline changes along Tamil Nadu, India using geospatial techniques. *Environmental Science Aquatic Procedia*, 4, 325-332.
- NC-10: 1998. Geotecnia, Preparación de muestras de suelos 1ra Ed. Oficina. La Habana: Nacional de Normalización.

Posada, B.O., Morales, G.D., & Henao P.W. (2011). Diagnóstico de la erosión costera del territorio insular colombiano. *Invemar. Serie Publicaciones Especiales*, Santa Marta. 24, 112-150.

Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., & Ergul, Ayhan. (2009). Digital

Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0—An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278.

<http://pubs.usgs.gov/of/2008/1278/>

Avances journal assumes the Creative Commons 4.0 international license