



ARTÍCULO

CUB@: MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

Sitio de la revista: <https://cmad.ama.cu> Cu-ID: <https://cu-id.com/1961/v25e19>

CAMBIO COSTERO EN CAYO LARGO DEL SUR, CUBA, ENTRE LOS AÑOS 1997- 2019

SHORELINE CHANGE IN CAYO LARGO DEL SUR, CUBA, IN THE TIME INTERVAL 1997-2019

MAGALY SOSA FERNÁNDEZ*, ROBERTO ALFONSO DENIS VALLE

Instituto de Geología y Paleontología, La Habana, Cuba.

*Autor para correspondencia: igp@igp.minem.cu

Palabras clave:	Resumen
evolución línea costera movimiento línea costera erosión de playa imágenes satelitales	El trabajo recoge los resultados del análisis de la evolución de la línea de costa en Cayo Largo del Sur, Cuba, cuyo objetivo fundamental fue determinar la tendencia de los cambios de su posición. Para lograrlo se midieron los desplazamientos de la línea de costa con el uso de la herramienta Digital Shoreline Analysis System, a partir de las posiciones obtenidas de fotos aéreas e imágenes satelitales entre los años 1997-2019. Un análisis cualitativo se realizó, además, extendiendo el período hasta el año 1960. Se demuestra que los procesos de acumulación han predominado en el litoral oeste del cayo, generando un crecimiento de la barra costera en unos 766 m, en dirección al oeste-noroeste, en el período considerado. Mientras, la erosión ha predominado en la mayor parte de la costa sur del cayo y en el tramo central del litoral oeste, con retrocesos máximos de 26 m y 120 m respectivamente.
Keywords:	Abstract
coastal evolution shoreline movement beach erosion satellite images	This paper presents the results of an analysis of the evolution of the coastline in Cayo Largo del Sur, Cuba. The primary objective was to determine the trend in its position. To achieve this, coastline displacements were measured using the DSAS tool, based on positions obtained from aerial photographs and satellite images between 1997 and 2019. A qualitative analysis was also performed, extending the period back to 1960. It is demonstrated that accretion processes have predominated along the western coast of the key, generating a growth of the coastal bar by approximately 766 m in a west-northwest (WNW) direction during the period considered. Meanwhile, erosion has predominated along most of the southern coast of the key and along the central stretch of the western coast, with maximum retreats of 26 m and 120 m, respectively.

Introducción

Desde los primeros estudios realizados en la plataforma insular cubana en la década del 60 del pasado siglo, los investigadores llamaron la atención sobre indicios geomorfológicos que sugerían que en algunos de los cayos del archipiélago de los Canarreos (en particular Cayo Rosario y Cayo Largo del Sur) se estaba produciendo un crecimiento de sus extremos occidentales mediante la formación de barras litorales del tipo flechas, a expensas de la arena erosionada de la costa sur de los propios cayos, [Ionin et al., \(1977\)](#).

Un acercamiento a esta presunción se retoma en este trabajo, donde se presenta un análisis de los cambios morfológicos ocurridos, recientemente, en Cayo Largo del Sur. Para ello se cuantificaron los desplazamientos en la posición de la línea de costa medidos sobre diversos materiales cartográficos históricos, con énfasis en las últimas tres décadas. Se expone además un examen cualitativo de los procesos que han estado ocurriendo, extendiendo el período de tiempo de análisis hasta el año 1960.

Los resultados apoyan la hipótesis acerca de la evolución reciente del cayo considerada por [Ionin et.al. \(1977\)](#)

Recibido: 14 de mayo de 2025

Aceptado: 20 de junio de 2025

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses con respecto a la publicación de este artículo.**Declaración de contribución:** Conceptualización: Sosa M. y Denis R. Investigación: Sosa M. y Denis R. Conservación de datos: Sosa M. y Denis R. Análisis formal: Sosa M. y Denis R. Visualización: Denis R. y Sosa M. Redacción-Revisión y Edición: Sosa M. y Denis R.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

y podrían ser de utilidad en la elaboración de estrategias para el desarrollo futuro del turismo en el área.

Área de estudio

Cayo Largo del Sur es el más oriental del archipiélago de los Canarreos, tiene una longitud aproximada de 24 km y, al igual que el resto de esta cayería, su costa norte está dominada por manglares y la sur, abierta directamente al Mar Caribe, está formada por playas arenosas (Figura 1).

De acuerdo a Ionin et al., (1993) la superficie del cayo está compuesta, en general, por cadenas de dunas litificadas, de arena oolítica, relacionadas con el interglaciario Sangamón. Iturralde-Vinent (2019) también considera que esas rocas, las cuales correlaciona con la Formación Cocodrilo, constituyen un sistema de paleodunas costeras, formadas por el acarreo por el viento, tierra adentro, de las arenas calcáreas oolíticas de las paleo-playas y barras; pero le atribuye una edad algo más antigua, anterior al mencionado intervalo interglacial.

Otros autores como Cabrera et al., (2013), Cabrera y Vázquez (2021) y Peñalver et al., (2021) consideran a las secuencias de la Formación Cocodrilo, presentes en el sur de la Isla de la Juventud, la península de Guanahacabibes, los cayos Rosario y Largo del Sur, como barras marinas emergidas que se originaron durante un interstadio transgresivo correspondiente al Wisconsin Medio, en el Pleistoceno Superior tardío.

En el cayo pueden identificarse dos sectores con diferente exposición al oleaje:

- En el extremo occidental se produce una inflexión notable de la costa desde la dirección ENE-WSW hacia el NW-SE sobre una extensión de 3 800 m y en su borde costero se encuentran las playas Sirena y Paraíso, protegidas del oleaje habitual por la propia configuración del cayo y por bajos arrecifales próximos a la costa.
- La costa sur del cayo se extiende unos 24 550 m aproximadamente sobre la dirección general ENE-WSW.

Está limitada por el oeste por punta Mal tiempo y en su extremo oriental por punta del Este (Figura 1). Los sectores arenosos son conocidos como las playas: Linda Arena, Blanca, Los Cocos y Tortuga. La plataforma submarina es estrecha hacia el extremo suroccidental (la isobata de 30 m se ubica a una distancia aproximada de 1 700 m de la línea de costa) y en dirección al este se amplía hasta 14 000 m, aproximadamente. Esta característica de la topografía submarina ha contribuido a la configuración general de la línea de costa del cayo, la cual está expuesta directamente a las olas de las direcciones SE y S.

El sedimento de todas las playas del cayo es predominantemente biogénico-oolítico. Caballero et al., (2011) establecieron el predominio de la arena media y la abundancia de material oolítico, particularmente en las fracciones más finas, a partir de 21 muestras colectadas en punta Mal Tiempo. En tanto que, en dos muestreos realizados en la anteplaya de la localidad de Playa Sirena el diámetro de la arena alternó entre fino y medio, (Juanes et al., 2013).

La marea es del tipo mixta semidiurna y tiene una amplitud promedio inferior a los 0.25 m (Servicio Hidrográfico y Geodésico de la República de Cuba, 2005). Los datos de la estación meteorológica de Playa Girón, la más cercana al área de estudio, indican el predominio de los vientos de dirección SE con una velocidad promedio de 11.9 km/h. (Academia de Ciencias de Cuba, 1989).

Las afectaciones por oleajes extremos, eventos de incrementos del nivel medio del mar e inundaciones costeras están asociadas a la ocurrencia de vientos fuertes del sur o "sures" y al paso de ciclones tropicales. Las mayores frecuencias de los sures se presentan entre los meses de marzo y abril. Bajo condiciones específicas de velocidad y persistencia estos vientos son capaces de generar olas altas que pueden producir apilamiento de agua en el litoral e inundaciones por penetración del mar (Casals, 2004).

De acuerdo a Soler et al., (2017) el territorio de la Isla de la Juventud, extendido hacia Los Canarreos, fue afectado por 62 ciclones tropicales entre los años 1791 y 2015,

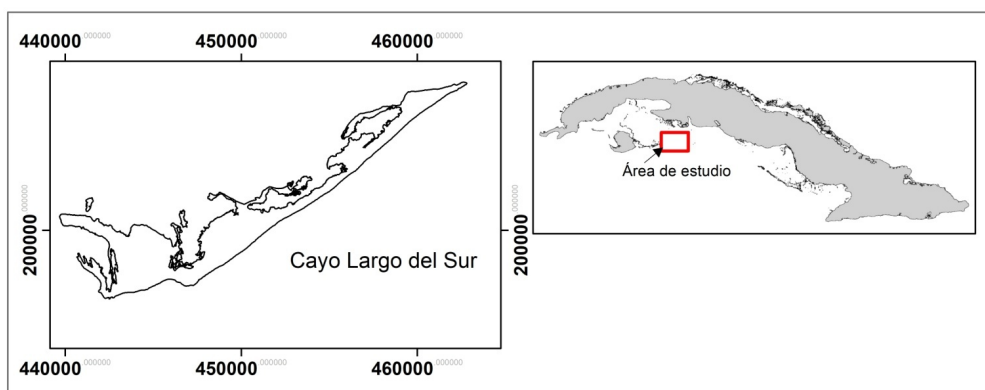


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

Figure 1. Location map of the study area.

concentrándose el 89% de los casos entre los meses de agosto a octubre. Las trayectorias de los huracanes más peligrosas son de sur a norte y de suroeste a nordeste (Casals, 2004).

Materiales y métodos

Para el cálculo del cambio costero se midieron los desplazamientos usando vectores de posición de líneas de costa históricas (Dolan et al, 1991; Crowell et al., 1991; Thieler & Danforth 1994; Morton et al., 2004; Hapke et al., 2006; Fletcher et al., 2012; Martín Prieto et al., 2018; Martínez et al., 2020; Yasir et al., 2021; Aranda et al., 2022).

Se utilizaron fotografías aéreas de junio de 1990 y diciembre de 1997, a una escala aproximada de 1:8 000 y 1:30 000 respectivamente. Así como las imágenes satelitales de enero de 2009, 2011 y 2019 obtenidas a través del Google Earth Pro. Las fotos e imágenes fueron georeferenciadas

y reproyectados al Sistema Cuba Norte; posteriormente se crearon los vectores de línea de costa y se cuantificaron los errores posicionales de cada uno. Finalmente, se calcularon los cambios utilizando el Digital Shoreline Analysis System (DSAS), un software disponible en internet elaborado por Thieler et al., (2009).

Se eligió el pie de la playa emergida o cara de la playa como indicador de línea de costa por su fácil identificación en las fotografías aéreas. Se determinaron los errores de rectificación, de vectorización y en pixel para la estimación la incertidumbre posicional de los vectores (Thieler et al., 2009). Los resultados se presentan en la Tabla 1.

Las estadísticas del cambio costero se calcularon sobre transectos perpendiculares a la costa, ubicados a intervalos de 50 m, y cuyos orígenes se encuentran en una línea base de referencia ubicada hacia tierra de los vectores de línea de costa (Figura 2).

Tabla 1. Incertidumbre, en metros, de las posiciones de la línea de costa. $U_t = \sqrt{Er^2 + Ev^2 + Ee^2}$

Table 1. Uncertainty, in metres, of the coastline positions. $U_t = \sqrt{Er^2 + Ev^2 + Ee^2}$

Errores	1990 FA	1997 FA	2009 IS	2011 IS	2019 IS
Er	5	5	4	6	5
Ed	3	3	3	3	3
Ep	0.13	0.63	1.1	1.1	1.1
Ut	6	6	5	7	6

Nota: Er: error de rectificación; Ev: error de vectorización y Ep: error en pixel. FA: Foto aérea. IS: Imagen Satelital.

Note: Er: rectification error; Ev: vectorization error y Ep: pixel error. FA: Aerial photo. IS: Satellite Imagen.

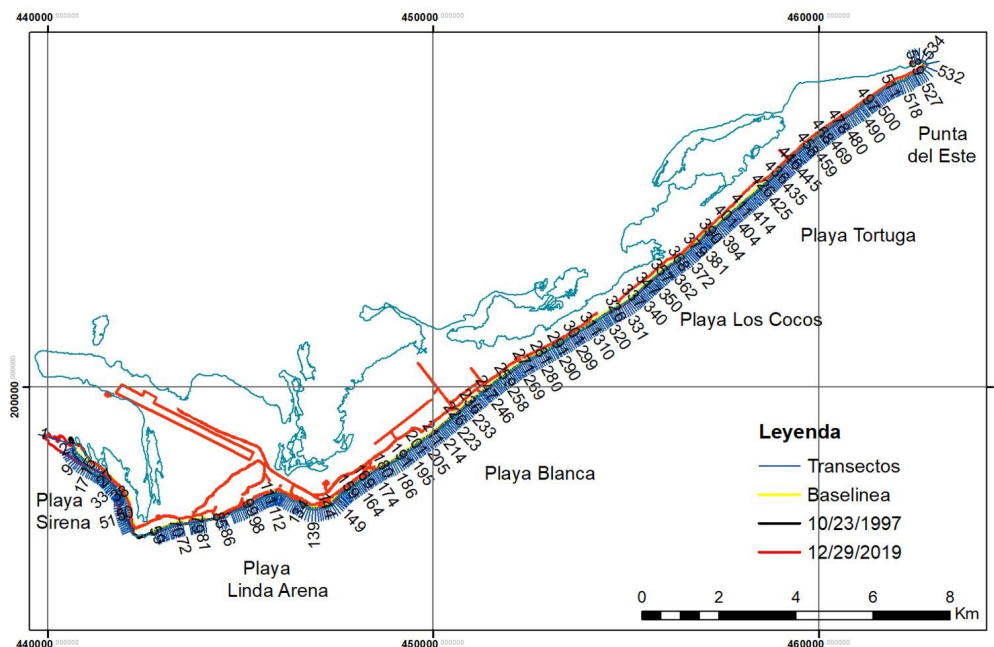


Figura 2. Vectores de línea de costa y transectos utilizados para el cálculo del cambio costero.

Figure 2. Coastline vectors and transect used for calculating coastal change.

Se cuantificó el movimiento neto de la línea de costa (NSM) que hace referencia a la distancia entre las posiciones más antigua y la más reciente, para cada transecto, y se calcularon las tasas de cambio por el método de End Point Rate para el intervalo de tiempo 1997 y 2019. La incertidumbre de las tasas calculadas por este método se obtiene de la raíz cuadrada de la suma de los errores individuales de cada vector de línea de costa elevados al cuadrado (Tabla 1), que luego se dividen entre el período de tiempo transcurrido entre las dos posiciones de la costa. El valor obtenido define la tasa de cambio mínima que puede ser detectada por el método aplicado.

Al no disponerse de un cubrimiento total del cayo con las imágenes de otras fechas, los vectores correspondientes se utilizaron sólo en el análisis cualitativo de la evolución de la línea de costa que incluyó las fotos aéreas de 1990 que cubren el sector suroccidental del cayo. Asimismo se tomó en cuenta la información de la hoja Topográfica 3880-I a escala 1:50 000, del Instituto de Geodesia y Cartografía de Cuba, con fecha 1973 y de la obtenida de los planos de sondeos realizados por la Marina de Guerra Revolucionaria en el año 1960, a escalas 1:30 000 y 1:2 500. La escala de estos materiales no resulta conveniente en el estudio estadístico del cambio costero, entre otras cuestiones relacionadas, también, a la calidad cartográfica.

Resultados

Análisis cuantitativo de los cambios.

El análisis de los desplazamientos de la línea de costa en Cayo Largo se realizó para una extensión de litoral de 26 900 metros, de ellos 1600 corresponden a un sector de manglar en la Punta del Este. Existen pequeñas aberturas espaciales sin información.

Entre los años 1997 y 2019, el movimiento neto de la línea de costa (NSM) ha mostrado un comportamiento diferente de un tramo a otro (Figura 3A).

Los resultados mostraron que en el 35% del total de transectos, equivalente a 9 350 metros de longitud, el movimiento ha sido predominantemente negativo indicando erosión, con desplazamientos de la línea de costa entre -10 y -120 m. La acumulación ha predominado en el 19% de los transectos, que cubren 5 100 metros de costa, incluyendo el manglar de Punta del Este, con amplitudes entre 10 y 770 metros (Figura 3A). Las tasas de cambio correspondientes a los procesos erosivos se mueven en el rango de -0.4 a -5.4 m/año, mientras que el desplazamiento positivo ocurre a un ritmo promedio de 0.4 a 34.5 m/año (Figura 3B). Para una extensión de costa de 12 450 metros, cubierta por 46% de los transectos, los valores obtenidos están por debajo de la tasa de cambio mínima que puede detectarse

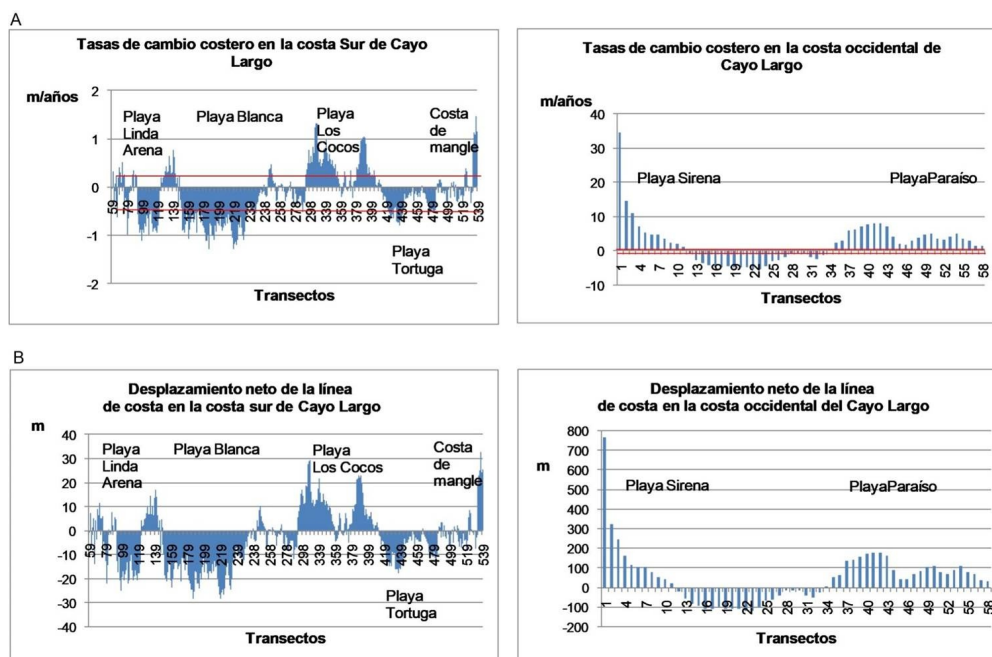


Figura 3. A-B. Tasas de cambio por el método de End Point Rate (EPR). Las líneas rojas indican los límites de confianza de las tasas calculadas (A). Movimiento neto de la línea de costa (B).

Figure 3. A-B. Shoreline change rates for the End Point Rate (EPR). The red lines indicate the confidence limits of the calculated rates (A). Net movement of the coastline (B).

por el método de EPR, por lo que no es posible definir un proceso dominante.

Al promediar las tasas de cambio sobre las longitudes de costa se obtuvieron ritmos de erosión de -3.2 m/año en el sector central de la costa occidental del cay, y de -0.8 m/año en las playas Linda y Blanca en la costa sur (Figura 4).

En relación a la acumulación, sobresalieron las tasas de cambio promedio en Playa Sirena con valores de 8.3 m/año, en Playa Paraíso 4.6 m/año, ambas en la costa occidental del cay (Figura 5). En ésta última el borde costero es extremadamente fluctuante, a consecuencia de la dinámica de la barra parcialmente adosada a la costa que caracteriza a este sector. Los procesos de acumulación que han dominado la dinámica del sector occidental de Cayo Largo en los últimos 22 años han potenciado el crecimiento de la lengua de arena hacia el WNW, sobre una longitud de 766 m medida sobre su eje central (Figura 5, arriba a la izquierda). Dentro de la erosión generalizada en la costa sur del cay resalta, en su parte central, la ganancia de terreno de 30 metros de amplitud que se ha producido en playa Los Cocos, en el período 1997-2019, a un ritmo promedio de 0.7 m/año (Figura 5, debajo a la derecha).

Se recomienda utilizar los valores promedios de las tasas estimadas para prever cambios futuros en períodos inferiores a 12 años ya que los estándares aceptados

establecen que no deben realizarse pronósticos para períodos más largos que la mitad del número de años evaluados (Leatherman et al., 1997).

Análisis cualitativo de los cambios en la barra costera occidental

En interés de conocer la extensión en el tiempo del fenómeno de crecimiento de la barra costera se realizó una evaluación cualitativa incorporando las posiciones de la línea de costa de los años 1960, 1973 y 1990, (Figura 6A), información que quedó omitida en el análisis estadístico por EPR por la propia definición del método. Al mismo tiempo, las fotos aéreas citadas no cubren la totalidad del cay por lo que no pudieron ser utilizadas en métodos alternativos para calcular los desplazamientos, mediante regresión lineal por ejemplo.

De acuerdo a la Figura 6A, la barra costera estaba orientada, en el plano de 1960, hacia el NNW condicionada por la topografía del fondo y la orientación de la costa que le antecedió. Alcanzó una longitud aproximada de 900 m en esta dirección, pero quedó inactiva a partir de 1973 al producirse una reorientación hacia el WNW que se mantiene, aproximadamente, hasta la actualidad. La longitud total alcanzada por la barra costera en el año 2019 es de 1980 metros.

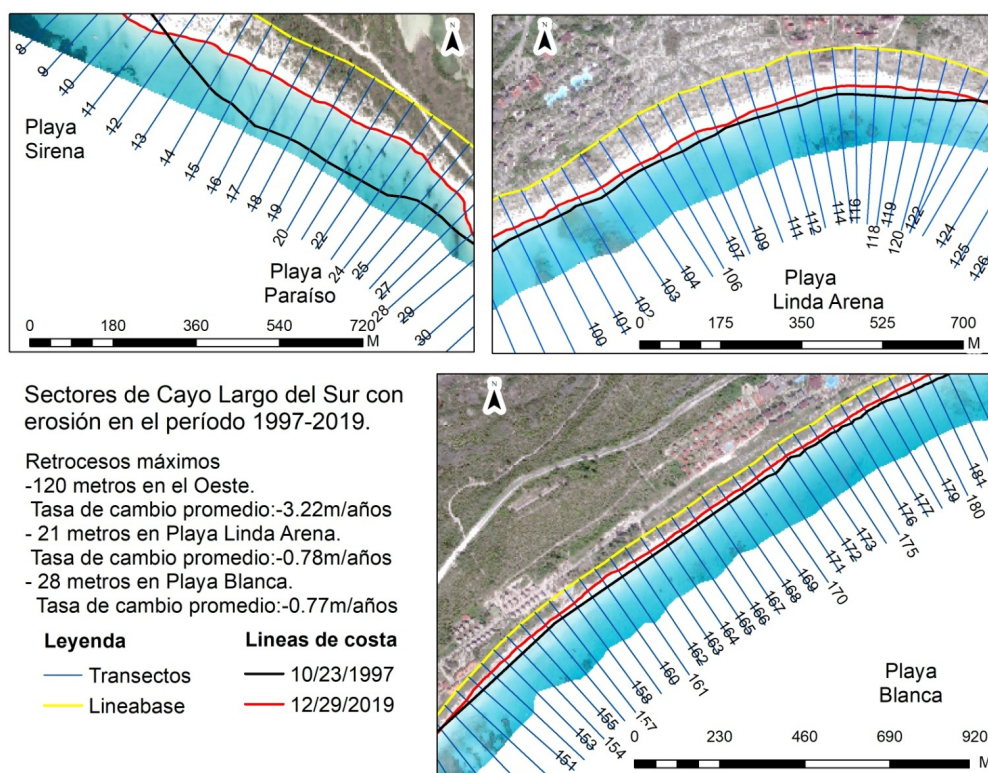


Figura 4. Sectores de Cayo Largo con erosión sostenida en el periodo 1997- 2019.

Figure 4. Sectors of Cayo Largo with sustained erosion in the period 1997- 2019.

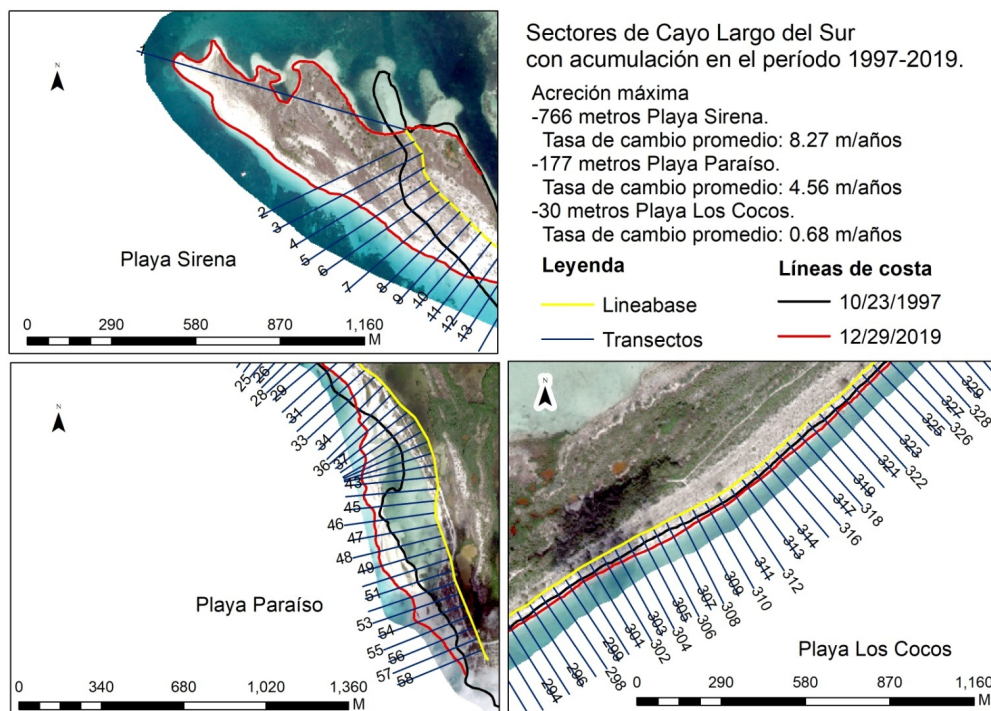


Figura 5. Sectores de Cayo Largo con acumulación sostenida en el periodo 1997- 2019.

Figure 5. Sectors of Cayo Largo with sustained accretion in the period 1997- 2019.

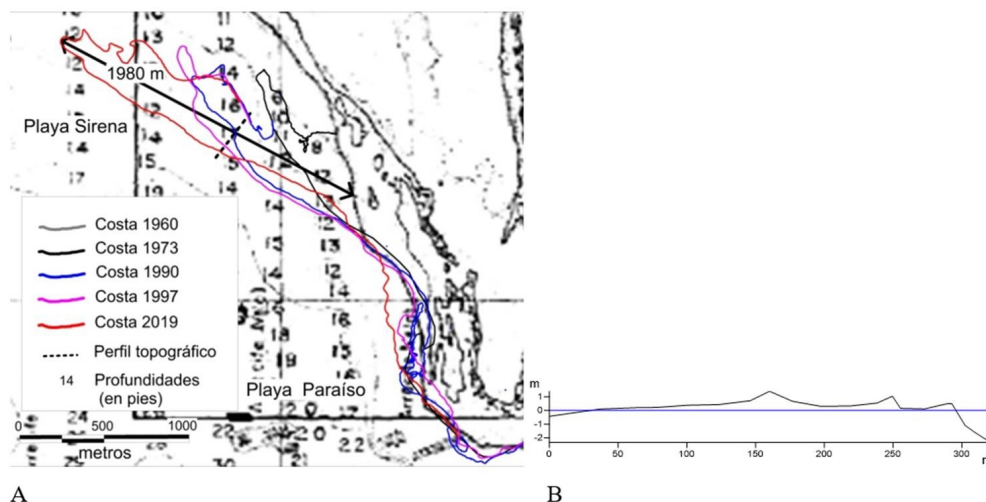


Figura 6 A-B. Crecimiento de la costa occidental de Cayo Largo entre 1960 y 2019 (A). . Perfil topográfico de Juanes et al., (2013) (B).

Figure 6 A-B. Growth of the western coast of Cayo Largo (A). Topographic profile of Juanes et al., (2013) (B).

Otro hecho relevante a considerar es el retroceso acelerado, posterior a 1997, de la costa en el tramo central de la lengua de arena, hasta un máximo de 120 m (Figura 7).

Como se aprecia en la Figura 7, el retroceso de la costa en 2019 superó la posición que ocupaba en el año 1973 y, eventualmente, pudo haber sobrepasado la de 1960 en el extremo sur del sector. De mantenerse el ritmo de erosión promedio (3.2 m/año) existe un riesgo potencial de ruptura

de la barra costera cuando la costa, en su avance hacia tierra, alcance el sendero y algunas de las áreas bajas indicadas en la figura como zonas inundables, que se encuentran muy cercanas a su posición actual. Bajo estas circunstancias podría interrumpirse la conexión de playa Sirena con la superficie primaria del cayo.

Si bien la erosión del sector central pudo contribuir a la acumulación en el extremo noroccidental de Playa Sirena

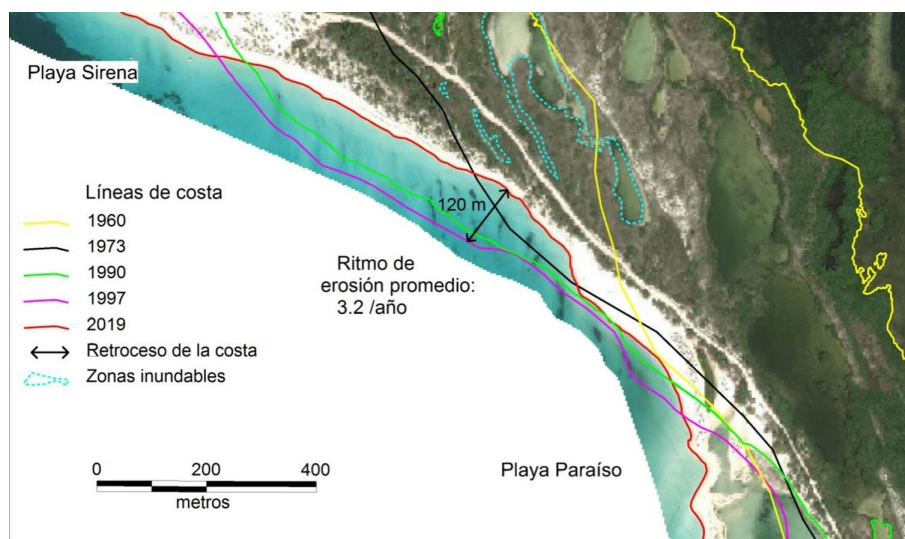


Figura 7. Magnitud de la erosión en el sector central de la costa occidental.

Figure 7. Magnitude of erosion on the central west coast.

las pérdidas de superficie son muy inferiores a las áreas de ganancias, por lo que debe existir un aporte de arena desde una fuente permanente ubicada más al sur. De hecho, la acumulación neta desde los períodos iniciales de formación de la barra demuestra la existencia de esa fuente de sedimentos, al margen de los aportes provenientes por la erosión local.

Los períodos de crecimiento notable de la lengua de arena pudieron coincidir con el arribo al noroeste, como final de un sector de deriva, de todo el sedimento erosionado a lo largo de la costa sur del cayo por las olas de los huracanes y de los "sures".

Un estimado conservador del volumen de sedimento involucrado en los cambios de la barra costera de la costa occidental del cayo entre los años 1960 y 2019 se obtuvo atribuyéndole al cuerpo arenoso actual, de área conocida, un espesor aproximado de 4.0 m. Para ello se tomó la cota promedio del terreno (+0.47 m) según un perfil topográfico (Fig. 6B) de Juanes et al., (2013), más la profundidad promedio (-3.8 m) obtenida de sondeos batimétricos de 1960 realizados por la Marina Guerra, (Figura 6A). Esta estimación arrojó un valor aproximado de 2 500 000 m³ de arena, movilizados probablemente desde toda la costa sur del cayo.

Si bien los volúmenes estimados presentados son apenas aproximaciones tienen el valor de contribuir a visualizar la intensidad de los procesos que han estado operando en la costa sur de Cayo Largo, en un lapso de tiempo relativamente breve (57 años).

Conclusiones

- Como tendencia general se ha establecido que en Cayo Largo predomina la erosión en la costa sur y en el sector

central del litoral occidental. La acumulación prevaleció de manera sobresaliente en la punta distal del extremo oeste (Playa Sirena). En el sector de la costa sur-central conocido como playa Los Cocos también la línea de costa ha avanzado en dirección al mar por el transporte longitudinal de sedimentos desde dos direcciones que convergen en este punto.

- La lengua arenosa que tipifica la costa occidental del cayo es una forma del relieve que se formó en el curso de los últimos 60 años.
- La conformación actual de la superficie del cayo en numerosas barras-dunas litificadas, alternando, ocasionalmente, con zona inundables, indica que se formó durante sucesivos episodios de suministro abundante de sedimento, que favorecieron la acumulación en la costa sur. La continuidad de las barras en su prolongación hacia el NW, sugieren una extensión de la acumulación por la vía del transporte longitudinal. Al parecer los procesos que están operando en el extremo suroccidental del cayo constituyen una réplica de aquellos que ocurrieron en el pasado, con la peculiaridad que se están produciendo en condiciones de déficit de nuevo sedimento, como la indica la tendencia erosiva de la costa sur.

Bibliografía

- Academia de Ciencias de Cuba. (1989). Nuevo atlas nacional de Cuba. Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía.
- Aranda, M., Gracia, F.G. & Rodríguez, I., (2022). Historical morphological changes (1956-2017) and future trends at the mouth of the Ebro river delta (NE Spain). Cuadernos de Investigación Geográfica, 48 (2).

- Caballero, V., Rivas, L., Núñez C., y Perdomo, D. (2011). Restauración de la duna en e sector costero de Punta mal Tiempo, Cayo largo, Cuba. Proyecto ejecutivo inédito Instituto de Oceanología e Inversiones Gamma.
- Cabrera, M., Triff, J., Núñez, A., Batista, R., Martín, D., y Denis R. (2013). Caracterización geólogo - geomorfológica del Área Protegida Cayo Largo. Informe inédito. Archivo del Instituto de Geología y Paleontología - Servicio Geológico de Cuba (IGP - SGC).
- Cabrera, M., y Vázquez B. (2021). Geology of the Marine Territory of Cuba. In *Geology of Cuba* (pp. 39-69). Cham: Springer International Publishing.
- Casals R. (2004). Los procesos de transformación del oleaje e incrementos del nivel medio del mar en cayo largo del sur, archipiélago de los canarreos. *Revista Cubana de Meteorología*, 11(2).
- Crowell, M., Leatherman, S. P., & Buckley, M. K. (1991). Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy. *Journal of coastal research*, 839-852.
- Dolan, R., Fenster, M. S., & Holme, S. J. (1991). Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of coastal research*, 723-744.
- Fletcher, C. H., Romine, B. M., Genz, A. S., Barbee, M. M., Dyer, M., Anderson, T. R., ... & Richmond, B. M. (2012). National assessment of shoreline change: Historical shoreline change in the Hawaiian Islands. U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1051.
- Hapke, C., Reid, D., Richmond, B. M., Ruggiero, P., & List, J. (2006). National assessment of shoreline change Part 3: Historical shoreline change and associated coastal land loss along sandy shorelines of the California Coast. U.S. Geological Survey Open-File Report 2006-1219, 72 p.
- Ionin, A. S., Pavlidis, A., & Avello Suárez, O. (1977). *Geología de la plataforma de Cuba* [en ruso]. Editorial Nauka, Moscú.
- Ionin, I.S., Dunayev, N.N., Ramirez, E., Arteaga, F., y Sosa, M. (1993). Las barras insulares del Archipiélago de Los Canarreos Cuba [en ruso]. *Revista Geomorfología*. Editorial Nauka.
- Iturralde-Vinent, M. (2019). *Geología de Cuba y del Caribe*. Compendio, Tercera edición. Editorial CITMATEL, La Habana, Cuba.
- Juanes, J.L., Rivas, L., Morales, P., Rabeiro, Y., Salazar, H., Fernández, Y., Niévares, A.; Chirino, A., Sánchez, P., Frías, B. L., Rondón, H., y Herrera, L. (2013). PROYECTO 6. Actualización y evaluación de la evolución de las playas para los años 2050 y 2100. (Informe inédito) MACROPROYECTO (PNAP): Escenarios de peligro y vulnerabilidad de la zona costera cubana, asociados al ascenso del nivel medio del mar para los años 2050 y 2100. CITMA.
- Leatherman, S. P., Douglas, B. C., & Crowell, M. (1997). Beach erosion trends and shoreline forecasting. *Journal of Coastal Research*, 13(4).
- Martínez Rivera, W., Ordaz-Hernández, A., & Garatachia-Ramírez, J. C. (2020). Evolución de la línea de costa de la península de Yucatán entre 1980 y 2019: potencial fuente de riesgo socionatural. *Minería y Geología*, 36(4), 404-427.
- Morton, R.A., Miller, T.L., & Moore, L.J. (2004). National assessment of shoreline change: Part 1: Historical shoreline changes and associated coastal land loss along the U.S. Gulf of Mexico: U.S. Geological Survey Open-File Report 2004-1043, 45 p.
- Peñalver, L., Denis, R., Martín, D., Nuñez, A., & Rodríguez, L. (2021). *Geología del Cuaternario de Cuba*. Centro Nacional de Información geológica/Instituto de Geología y Paleontología, Habana.
- Servicio Hidrográfico y Geodésico de la República de Cuba. (2005). *Tablas de marea de las costas de Cuba, Mapa de Amplitud de la Marea en las costas Cubanas*. GEOCUBA, Edimar, Agencia de Cartografía Náutica. P, 5101, 10.
- Soler E., Pérez R., Borrego R., y Pérez D. (2017). Huracanes que afectaron la Isla de la Juventud. *Cronología desde 1791 a 2015*. *Revista Cubana de Meteorología*. Vol 23, No 2. pp. 164-177.
- Thieler, E. R., & Danforth, W. W. (1994). Historical shoreline mapping (I): improving techniques and reducing positioning errors. *Journal of Coastal Research*, 549-563.
- Thieler, E. R., Himmelstoss, E. A., Zichichi, J. L., & Ergul, A. (2009). The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0-an ArcGIS extension for calculating shoreline change (No. 2008-1278). US Geological Survey.
- Yasir, M., Hui, S., Hongxia, Z., Hossain, M. S., Fan, H., Zhang, L., & Jixiang, Z. (2021). A spatiotemporal change detection analysis of coastline data in qingdao, east china. *Scientific Programming*, 2021(1), 6632450. <https://doi.org/10.1155/2021/6632450>.