

ANÁLISIS DE LA TASA DE CAMBIO Y PRONÓSTICO DE LA COSTA FUTURA EN PLAYA LAS CANAS, PINAR DEL RÍO

ANALYSIS OF THE RATE OF CHANGE AND FORECAST OF THE FUTURE COAST IN PLAYA LAS CANAS, PINAR DEL RÍO

 **HASSAN ROSS CABRERA***,  **ROSANGELA RODRÍGUEZ BARRERA**

*Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca No. 1002. Municipio San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.
Correo-e: rbarrera8@gmail.com*

**Correspondencia: hross@outlook.es*

RESUMEN: El objetivo de esta investigación fue el pronóstico de la línea de costa futura, con el fin de poder determinar cuánto terreno se ganará o se perderá dentro de 32 años. Para ello se realizó un estudio multitemporal de la línea de costa entre los años 1956 y 2021, utilizando imágenes satelitales y fotografías aéreas. Con el uso de herramientas del software QGIS, se determinó la tasa de variación de dicha línea de costa con la aplicación del método de Tasa de Cambio entre Perfiles Extremos (EPR), el cual se determinó dividiendo el lapso de tiempo entre el desplazamiento de la línea de costa en dicho tiempo, es decir 65 años. Para la proyección de la línea de costa se aplicó el método de Regresión Lineal Simple (LRR), obteniendo así un rango de desplazamiento de la línea dentro de 32 años. Los resultados obtenidos mostraron la existencia de una tasa máxima de erosión de -0.32 m/año, y una tasa máxima de acreción de 0.51 m/año, revelando un predominio de los procesos acumulativos (acreción). El método de LRR reveló un rango de desplazamiento desde 1.84m hasta 18.27m con valores de Error Estándar de Estimación (LSE) que fluctúan entre 1.17 hasta 7.7, con una excepción en el transecto 13 de 12.13. También se obtuvieron una serie de gráficos y mapas que permiten una mejor apreciación del desplazamiento futuro de la línea de costa de forma tanto cualitativa como cuantitativa.

Palabras clave: acreción, costa, erosión, playa, transecto.

ABSTRACT : The objective of this research was to forecast the future coastline in order to determine how much land will be gained or lost in 32 years. For this purpose, a multi-temporal study of the coastline between 1956 and 2021 was carried out, using satellite images and aerial photographs. Using QGIS software tools, the rate of variation of the coastline was determined by applying the Extreme Profile Rate of Change (EPR) method, which was determined by dividing the time span by the displacement of the coastline in that time, i.e. 65 years. For the projection of the coastline, the Simple Linear Regression (LRR) method was applied, thus obtaining a range of displacement of the line within 32 years. The results obtained showed the existence of a maximum erosion rate of -0.32 m/year, and a maximum accretion rate of 0.51 m/year, revealing a predominance of cumulative processes (accretion). The LRR method revealed a range of displacement from 1.84m to 18.27m with Standard Error of Estimate (LSE) values ranging from 1.17 to 7.7, with an exception at transect 13 of 12.13. A series of graphs and maps were also obtained that allow a better appreciation of future shoreline displacement both qualitatively and quantitatively.

Keywords: accretion, shoreline, erosion, beach, transect.

Recibido: 17/12/2024

Aceptado: 10/01/2025

Conflicto de intereses. Los autores declaran no tener conflicto de intereses.



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/>



INTRODUCCIÓN

Debido a sus características y atributos, las playas presentan una gran vulnerabilidad a los cambios tanto naturales como antrópicos, que pueden no corresponderse con la estructura, funcionamiento y evolución de estos geosistemas. Estas se encuentran afectadas principalmente, por una fuerte urbanización que coloniza los lugares más privilegiados, así como una serie de impactos derivados de esa antropización. La región de estudio se encuentra al sur del municipio de Pinar del Río en la provincia de mismo nombre, exactamente en playa Las Canas y no se encuentra ajena a estos riesgos. Los cambios en las tasas de variación reflejan los procedimientos dominantes en las playas, o sea, si se erosionan o se acumulan sedimentos. En esta investigación, se aplica una metodología para estudiar la variación espacio temporal de la línea de costa, con el objetivo de que esa metodología pueda aplicarse en otros sectores costeros del país. La misma consiste en analizar y comparar líneas de costas de las fotografías aéreas de los años 1956, 1971, y de las imágenes satelitales de los años 2016 y 2021, luego de aplicarle una rectificación geométrica y vectorización de las posiciones de las líneas. A las líneas utilizadas se le aplican los métodos de Tasa de Cambio entre Perfiles Extremos (EPR) y Regresión Lineal Simple (LRR), con el fin de determinar la tasa de erosión o acreción anual en cada transecto trazado, así como la posición futura de la línea de costa.

Existen múltiples trabajos, tanto internacionales como nacionales, que abordan temáticas semejantes a la expuesta, entre ellos se encuentra el trabajo realizado por Ignacio Alonso y el colectivo de autores del Departamento de Física en el 2007 (Alonso et. al, 2007), en el que se presenta 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. A nivel nacional tenemos el trabajo de diploma presentado por Morales Esquivel (2009) y la tesis de grado de Chavez & Llorente (2019), los cuales siguen el objetivo de determinar los cambios ocurridos en la línea de costa mediante la aplicación de los diferentes métodos.

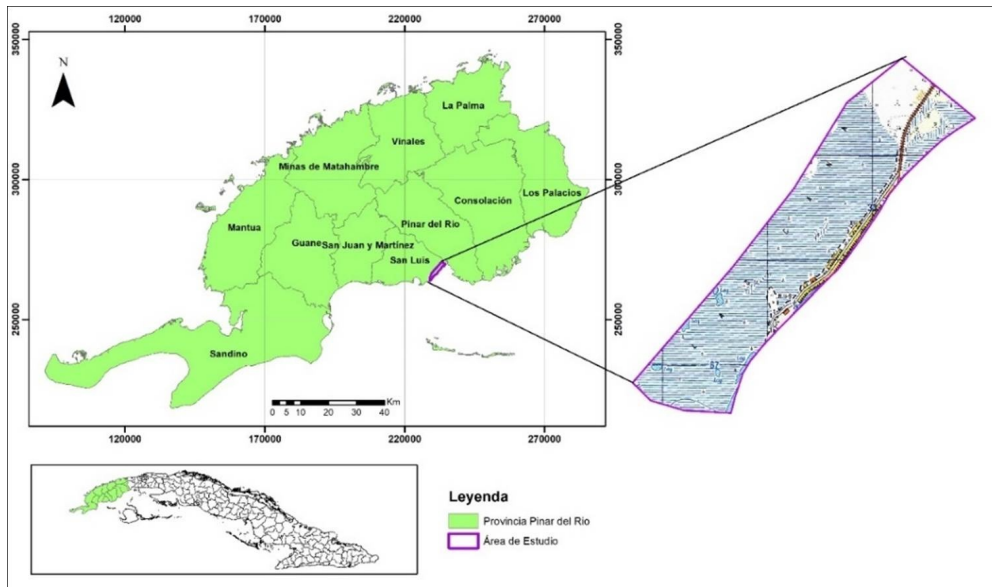
El objetivo de la presente investigación consiste en evaluar el desplazamiento actual y futuro de la línea de costa de playa Las Canas, Pinar del Río; mediante el análisis del desplazamiento de la línea en los años de 1956 al 2021, la determinación de la tasa de erosión y acreción en dicho lapso de tiempo y la proyección de la línea de costa para el año 2053.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del trabajo se realizó el procesamiento de las líneas de costas de los años 1956, 1971, 2016 y 2021, de Playa las Canas, la cual se encuentra ubicada en la costa sur de Pinar del Río y forma parte de la franja arenosa (de 5 a 30 metros de ancho de playas arenosas seguidos de lagunas costeras) que se desarrolla en dichas costas (Figura 1). La estrecha franja de costa presenta características de balneario y se encuentra franqueada por manglares en sus esteros. La línea costera tiene un total de 14,7 km desde el arroyo Colón hasta la ensenada de Guamá; estos proveen la zona de agua fresca y aporte de sedimentos. Presenta un relieve llano, parcialmente cenagosa y de esteros, típico de las llanuras fluvio-marinas, con pendientes menores a 0, 5° en las costas de 0,5 - 1 ° en las llanuras adyacentes.

Luego de la recopilación de las imágenes satelitales, así como de las fotografías aéreas (Tabla 1), se emplea un conjunto de métodos para restituir las características espectrales y geométricas de las imágenes de la manera mas representativa posible, con el objetivo de mejorar su visualización (Curra 2012). Para la vectorización de la línea de costa, dada la antigüedad de las imágenes satelitales utilizadas para esta investigación, se utilizó el indicador pie de la playa o escalón de la playa, ya que en algunas imágenes no se diferencia bien el resto de los indicadores, ya sea por la baja calidad de las imágenes o por la mala resolución de estas, luego se realizó un estudio de incertidumbre para poder determinar el grado de acierto de las vectorizaciones

realizadas y, posteriormente, se crearon 22 transectos de forma automática a lo largo de la franja arenosa, los cuales se procesaron en DSAS, para la posterior aplicación de los métodos de Tasa de Cambio entre Perfiles Extremos y de Regresión Lineal Simple.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1. Mapa de ubicación geográfica de la zona de estudio, Playa las Canas

La incertidumbre total de los datos de posición y de volumen de las playas se calculó utilizando la teoría de propagación de errores como proponen Crowell, Leatherman y Buckley (1991). Para el cálculo del error total, se toma la raíz cuadrada de la suma de los errores parciales al cuadrado, asumiendo la aleatoriedad e independencia de los errores (instrumentales y de variabilidad), dado que una sobrestimación (o subestimación) en uno no implica necesariamente una sobrestimación (o subestimación) en el otro.

Tabla 1. Fotografías e Imágenes Satelitales utilizadas

Año	Tipo de Imagen	Escala	Origen
1956	Fotografía Aérea	1: 62 000	SAS Planet
1971	Fotografía Aérea	1:37 000	SAS Planet
2016	Imagen Satelital	1:25 000	SAS Planet
2021	Imagen Satelital	1:25 000	Google Earth Pro

La incertidumbre total de los datos de posición y de volumen de las playas se calculó utilizando la teoría de propagación de errores como proponen Crowell, Leatherman y Buckley (1991). Para el cálculo del error total, se toma la raíz cuadrada de la suma de los errores parciales al cuadrado, asumiendo la aleatoriedad e independencia de los errores (instrumentales y de variabilidad), dado que una sobrestimación (o subestimación) en uno no implica necesariamente una sobrestimación (o subestimación) en el otro.

La ecuación de propagación de errores propone que:

$$U_t = \sqrt{E_r^2 + E_p^2 + E_v^2 + E_e^2}$$

donde **Er** es el error de rectificación, **Ep** es el error en pixel, **Ev** es el error de vectorización y **Ee** el error estacional. En este caso, se optó por la no utilización del error estacional, debido a la falta de datos y la complejidad para la obtención de los mismos.

El error de rectificación no es más que el error que se comete a la hora de corregir las fotos o imágenes satelitales, como sabemos estas imágenes por más que estén georreferenciadas siempre presentan desplazamientos o deformaciones, los cuales se corrigen de manera manual, por lo tanto, generan un error. Se utilizaron solo 5 puntos, debido que los sectores se encuentran mayormente en zonas boscosas, y la poca existencia de construcciones antrópicas. A estos se les midió el desplazamiento con respecto a la hoja cartográfica del área generando así, 5 puntos para cada año, y luego se promedió para la obtención del error de rectificación.

El Error de pixel no es más que el tamaño del pixel de cada foto o imagen satelital, este se puede encontrar en las propiedades de la foto en la casilla Cell Size o si queremos se puede medir de forma manual, haciendo zoom en la imagen hasta que se observen los pixeles con calidad.

El Error de Digitalización o Error de vectorización, se calculó teniendo en cuenta la metodología de repetibilidad y reproducibilidad presentada por **Portuondo (2010)**. El cual consiste en realizar una digitalización de la línea de costa, que se repite 3 veces por cada uno de los operadores, 3 en este caso, se aplica el procedimiento para el cálculo de repetibilidad y reproducibilidad (**Figura 2**) con un error de escala, el cual depende de la escala de cada una de las fotografías aéreas o imágenes satelitales utilizadas.

$$\begin{aligned} \text{Repetibilidad: } \%Re &= \frac{K1 * R}{T} \\ \text{Reproducción: } \%Rep &= \frac{\sqrt{(K2 * XD)^2 + (k1 * R)^2}}{nr} \\ \text{Repetibilidad y Reproducibilidad: } R\&R &= \sqrt{\%Re^2 + \%Rep^2} \end{aligned}$$

Fuente: **Portuondo (2010)**

Figura 2. Ecuaciones para el cálculo de repetibilidad y reproducibilidad.

Para la aplicación del método de Tasa de Cambio entre Perfiles Extremos, se debe realizar el cálculo dividiendo el desplazamiento neto de la costa (m), por el lapso de tiempo existente entre la línea de costa más antigua y la más reciente. Este método permite el cálculo de la tasa de variación con facilidad, teniendo como único dato las posiciones de la costa, de fecha diferente. Este análisis prescinde de información adicional cuando están disponibles múltiples datos o posiciones de la línea de costa. En estos casos pueden pasarse por alto cambios de magnitud, de signo (por ejemplo, de acumulación a erosión), o tendencias cíclicas (**Dolan et al. 1991; Crowell et al. 1997** en: (**Curra, 2012**)). También nos va a permitir reclasificar los procesos de erosión y acreción de la línea de costera con base estadística de cambio en 7 categorías de evolución costera (EPR) a partir del empleo de la herramienta DSAS, brindando una mayor comprensión sobre la magnitud de los fenómenos de erosión y acreción costera. Debemos tener en cuenta que a la hora de interpretar los gráficos que agrupan estos datos, si los desplazamientos son positivos, predominan los procesos de acreción, mientras que, si los desplazamientos son negativos, significa que existe un predominio en los procesos erosivos.

La Regresión Lineal Simple consiste en el método de predicción de datos desconocidos, mediante la utilización de datos conocidos y que estén relacionados. Una tasa de cambio mediante la regresión lineal simple la cual puede determinarse ajustando una línea por el método de los mínimos cuadrados a todos los datos de posición de las líneas de costa, para un transepto particular. La línea de regresión es trazada de modo que la suma de los residuos al cuadrado es minimizada. La tasa de cambio a partir de la regresión lineal es la pendiente de la recta. Para la aplicación de este método en cada uno de los transectos, estos deben cumplir con una serie de condiciones:

- Los transectos deben ser los de menores cambios de la línea de costa desde el punto antrópico y donde los mayores cambios sean de origen natural.
- Los valores del **coeficiente de determinación** (LR2) deben encontrarse por encima de 0,70, ya que mientras más cerca estén estos valores a ese número (1) serán más representativos del fenómeno que está ocurriendo.
- El pronóstico de la posición futura de la línea de costa se realiza para la mitad de los años de la investigación.

Para la realización del pronóstico de las líneas de costa en el futuro, también se debe tener en cuenta el valor del Error Estándar de Estimación (LSE) el cual se calcula como la diferencia entre el valor real y el valor estimado por la recta, valorando siempre que mientras mayor sea el valor de LSE, peor será el ajuste de la recta y que el valor de LSE viene definido por el Intervalo de Confianza Definido por el Usuario (LCI) el cual no es más que el rango de valores sobre el que se estima que se estará calculando la tasa de cambio con una determinada probabilidad de acierto (se recomienda trabajar con un LCI90% y LCI95%). Una vez seleccionados los transectos que cumplan con estos requisitos, se le realiza a cada uno de ellos, un gráfico de puntos (año/distancia de la línea base) y se determina la pendiente, los valores de estas pendientes deberán corresponder con los valores de LRR. Para calcular la posición futura de la línea de costa se debe multiplicar la tasa de cambio estimada por la regresión lineal simple por la cantidad de años transcurridos en el futuro (se debe realizar por la mitad de los años de estudio realizados), obteniendo así, el desplazamiento en metros, con respecto a la línea de costa mas actual. Debido a que es un pronóstico relativo y que los factores que influyen en la playa son múltiples y pueden no ser constantes, se deben sumar y restar los valores del Error Estándar de Estimación (LSE), es decir: posición futura $\pm$ LSE; siendo así, la proyección futura de la línea un rango de desplazamiento y no un valor fijo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Errores e incertidumbres de los datos de posición de la línea de costa

La evaluación de los errores de medición que generan el proceso de obtención de vectores de líneas de costas, al igual que los errores de posición de variabilidad de la línea de costa, permiten tener un valor de confiabilidad de los datos, dándonos así, mayor o menor veracidad de los resultados obtenidos. A continuación, se muestran los resultados obtenidos de 4 vectores de línea de costa, utilizados en este estudio.

Los errores de rectificación como se aprecia, son relativamente elevados (aunque no alcanzan valores alarmantes) debido a la falta de urbanización cercana a la costa necesaria para la aplicación del método de puntos de control, provocando la incursión en el empleo de puntos mas alejados de la costa, dando lugar a un aumento en dicho error (Tabla 2).

Tabla 2. Errores de rectificación (Er) de las imágenes y fotografías utilizadas (en metros)

	Año 1956	Año 1971	Año 2016	Año 2021
Er	5,58	6,81	6,62	2,05

El error de pixel, no es alterable por el operador al cambiar ni modificar valores espaciales de las fotografías o imágenes, este es un valor fijo que está dado, principalmente, por la resolución en la que se encuentra la imagen (Tabla 3).

Tabla 3. Errores de pixel de las imágenes y fotografías utilizadas (en metros)

	Año 1956	Año 1971	Año 2016	Año 2021
Ep	1,31	0,78	1,10	0,66

El error de digitalización es menor en aquellas imágenes en las cuales el indicador del vector de la línea de costa se observa con mas claridad (1971 y 2016) (Tabla 4).

Tabla 4. Errores de digitalización por 3 operadores de las imágenes y fotografías utilizadas (en metros)

	Año 1956	Año 1971	Año 2016	Año 2021
Ev	4,37	0,64	1,79	6,69

Los errores que más influyen en el valor de la incertidumbre total es el error de la rectificación de las fotografías aéreas e imágenes satelitales en los años 1971 y 2016, mientras que en el año 2021 el más influyente es el de la vectorización, el cual está dado por la poca precisión del indicador de vectorización en algunos sectores del área de estudio (Tabla 5).

Tabla 5. Incertidumbre, de las posiciones de la línea de costa. ($U_t = \pm \sqrt{E_r^2 + E_d^2 + E_p^2}$) Er: error de rectificación; Ep: error en pixel y Ev: error de vectorización

	Año 1956	Año 1971	Año 2016	Año 2021
Er	5,58	6,81	6,62	2,05
Ep	1,31	0,78	1,10	0,66
Ev	4,37	0,64	1,79	6,69
Incertidumbre (U_t)	7,21	6,88	6,95	7,02

Todas las fotografías aéreas e imágenes satelitales, del área de estudio, presentan una incertidumbre que no excede los 10m, por lo tanto, todas las imágenes se pueden utilizar para la realización del estudio de la posición de la línea de costa.

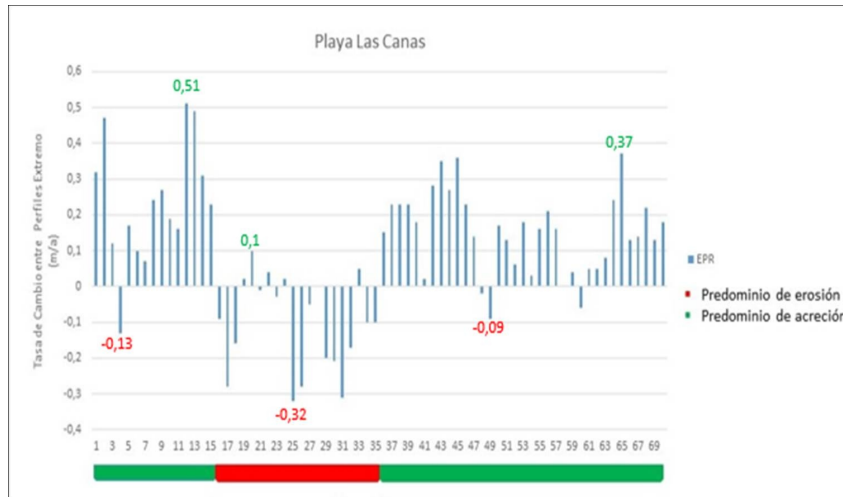
Tasas de cambio y proyección de la línea futura

Para la aplicación del método de Tasa de Cambio entre Perfiles Extremos (EPR), se utilizó la herramienta DSAS y 70 transectos trazados perpendicular con las líneas de costa, de forma automática cada 50 metros. Este método consiste, básicamente, en el cálculo del tiempo transcurrido entre la línea de costa más antigua y la más reciente, en este caso se utilizaron los años 1956 y 2021, una vez obtenido este valor de desplazamiento se divide entre la cantidad de años tomados (66 años); los datos obtenidos se procesaron y se plasmaron en un gráfico para su mejor comprensión (Figura 3).

Como podemos observar en la Figura 3, la mayor parte del área reporta tasas de cambio positivas, por lo que predominan los procesos de acreción. Sin embargo, podemos delimitar tres zonas según la mayor existencia de procesos costeros, es decir, mayor cantidad de transectos que presentan erosión o acreción.

En los transectos 1-15 existe un predominio de acreción, presentando la mayor tasa de acreción de 0,51 m/año en el transecto 12, mientras que la mayor tasa de erosión es de -0,13 m/año ubicado en el transecto 4.

En los transectos 16-35 se observa un aumento en los procesos erosivos, teniendo la mayor tasa de erosión del área de estudio, de -0,32 m/año, perteneciente al transecto 25, la mayor tasa de acreción se encuentra registrada en el transecto 20, con un valor de 0,1 m/año, este proceso en este sector no es muy significativo.



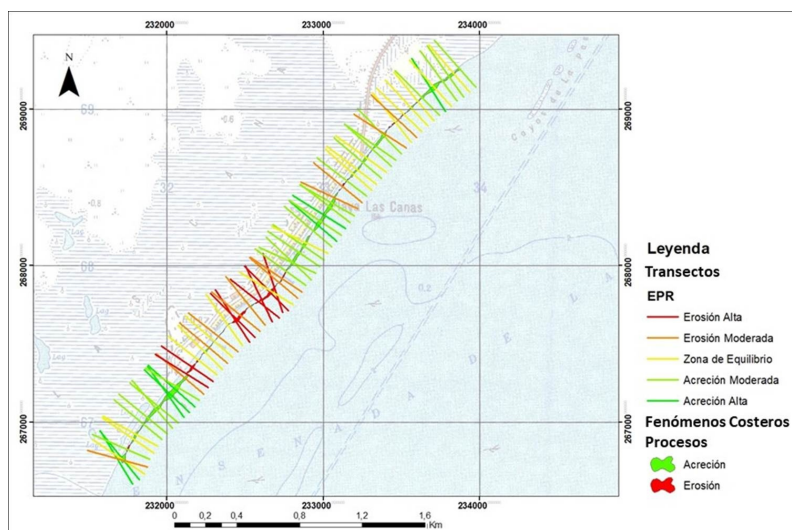
Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Tasa de cambio entre perfiles extremos (EPR) en el intervalo de tiempo de 1956 al 2021.

En los transectos 36-70 predominan los procesos acumulativos con la mayor tasa de acreción de 0,37 m/año, en cambio la mayor tasa de erosión, aunque este proceso no es predominante, es de -0,09 m/año.

Para poder comprender la magnitud e intensidad de los procesos de erosión y acreción, se empleó una clasificación estadística sobre la base de las Tasas de Cambio entre Perfiles Extremos (EPR) 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 en: [Chavez y Llorente, 2019](#)).

El mapa que se muestra a continuación ([Figura 4](#)) brinda una mayor información que 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, además, los resultados obtenidos por el método empleado y como parte de la validación estadística del mismo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Clasificación de los procesos de erosión y acreción de la línea costera, con base en estadística tasa de cambio EPR (Del Río et al. 2013; Natesan et al. 2015).

Los datos obtenidos de la regresión lineal simple, luego del procesamiento de los transectos, se agruparon en un gráfico, permitiendo así, una mejor interpretación de los mismos (Figura 5). Podemos observar que el mayor pico positivo de regresión lineal simple, coincide con los arrojados por la tasa de cambio, esto ocurre debido a que estos métodos son proporcionales, es decir, a medida que aumenta la tasa de cambio, aumenta la regresión lineal simple, siendo así el mayor en el transecto 12 con 0,49 m/a y el menor en el transecto 31 con -0,23 m/a, este último, aunque no coincide con menor pico de erosión en el método de EPR, sí está en entre los picos negativos, esta falta de coincidencia, es mínima, y puede estar dada porque el método EPR es más afectado por el desplazamiento total de la línea de costa, que el método de LRR.

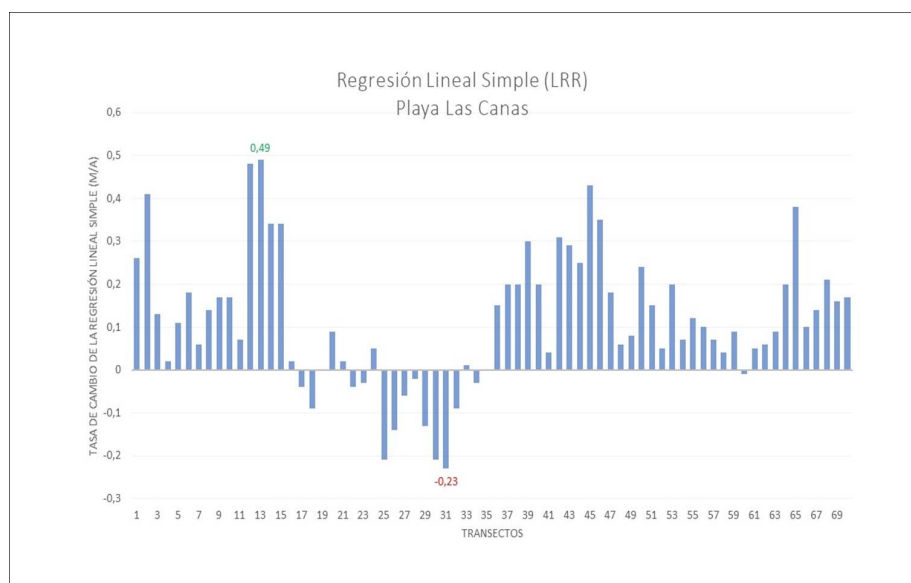


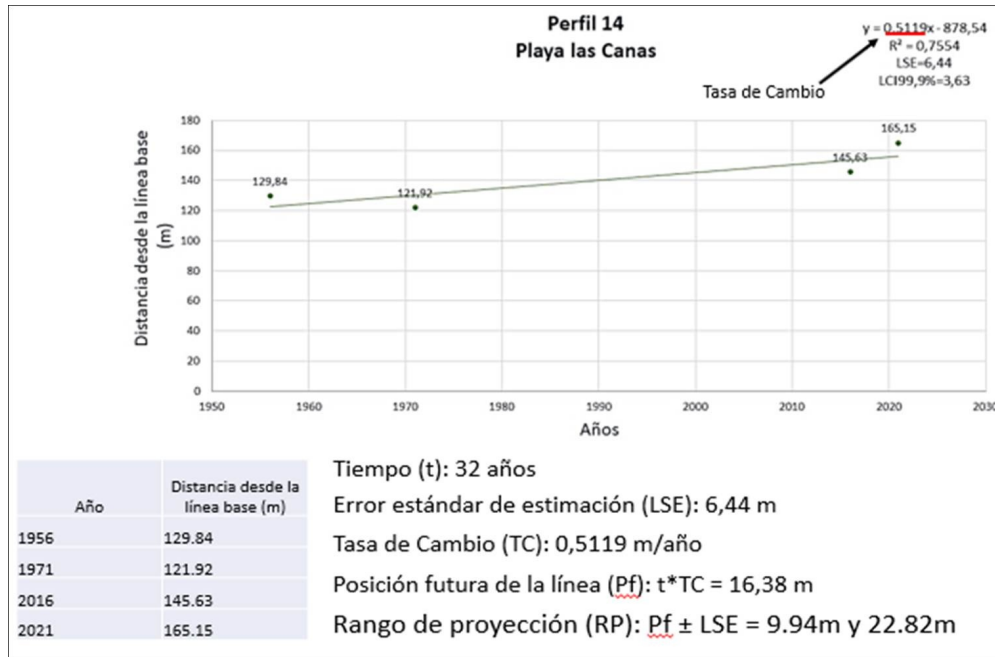
Figura 5. Regresión lineal simple (LRR) de los transectos del área de estudio (playa Las Canas)

Para la posterior determinación de la posición futura de la línea de costa, lo primero que se debe realizar son gráficos de pendientes con los transectos que cumplan con los requisitos anteriormente expuestos; a pesar de que se podrían realizar las proyecciones de la línea futura con los valores de LRR, se realizan los gráficos con el fin de comprobar que estos transectos realmente cumplen con los requisitos y que sus valores de LRR no se encuentran afectados por algún cambio externo o de medición.

En el área de estudio, solo 18 transectos cumplieron con los requisitos, el resto fueron desechados debido a que sus valores de coeficiente de determinación LR^2 eran inferiores a 0,7 y no eran lo suficientemente representativos del fenómeno que está ocurriendo.

En el caso del transecto 14, podemos observar como la línea de pendiente va en ascenso, esto es un indicio de que nos encontramos en presencia de procesos de acreción, en caso de que dicha línea fuera en descenso, significaría que predominan los procesos de erosión (Figura 6).

Se predice la posición futura de la línea de costa mediante la multiplicación de la mitad del tiempo de estudio (en este caso 32 años) por la tasa de cambio (0,5119 m/a) obteniendo un valor de 16,8 m, siendo esta la distancia a la cual se encontrará nuestra línea de costa si tuviéramos un error estándar de estimación de 0,0 m, pero como es prácticamente imposible conseguir datos con tanto acierto, más aun tratándose de datos predictivos, sumamos y restamos esta posición de la línea futura por el error estándar de estimación (6,44 m), obteniendo así un rango de proyección futura de entre 9,94 m hasta 22,82 m con respecto a la línea de costa más actual. Aunque este rango nos puede parecer extremadamente grande, tenemos que recordar que nos referimos la línea de costa del 2053, la cual puede estar sujeta a múltiples cambios, ya sea climáticos, geológicos o antrópicos.



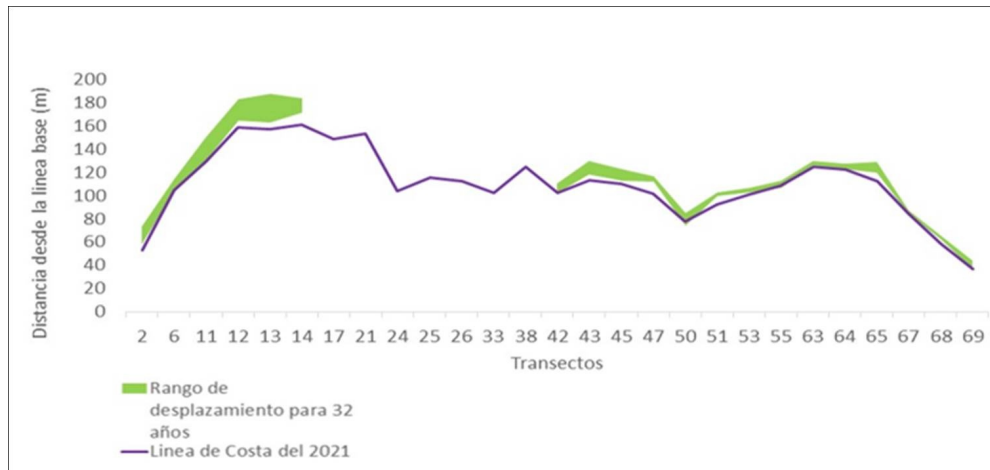
Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Gráfico de pendiente en el transecto 14. En la derecha superior se observan las fórmulas de pendiente, error estándar (LSE) y el intervalo de confianza para un 99,9% (LCI99,9%).

Aplicamos este procedimiento para el resto de los transectos que cumplen con los requisitos para aplicar el método, obteniendo una **tabla 6** que recoge la posición futura en cada uno de ellos, la cual fue llevada a un gráfico para una mejor comprensión cuantitativa de los datos.

Tabla 6. Transectos que cumplen los requisitos para la realización de la proyección futura de la línea de costa y el rango de desplazamiento de cada uno (18 transectos en total)

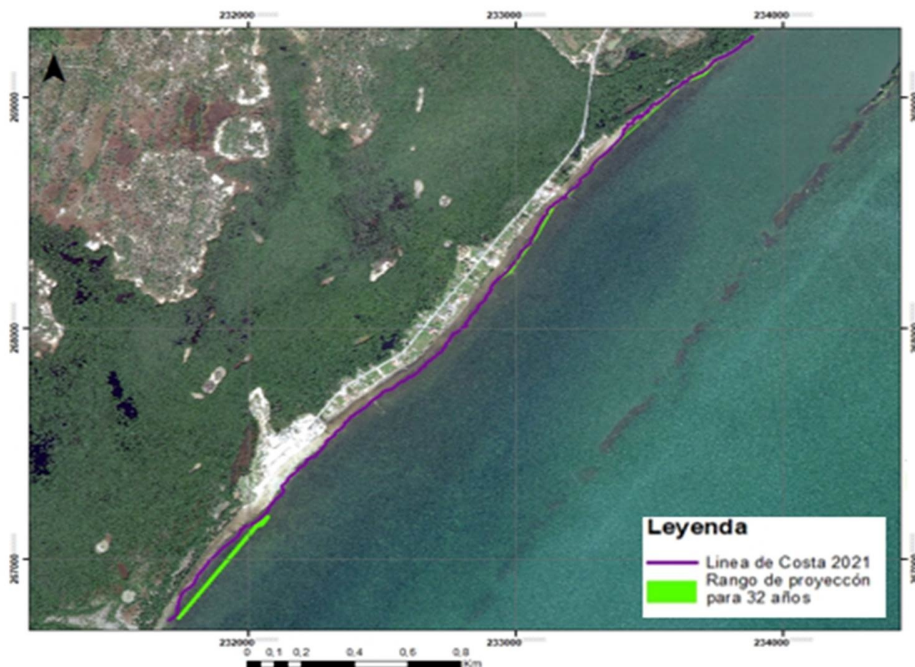
Transecto	LSE	Posición Futura	Rango de proyección	
			+	-
2	7,7	13,4144	21,1144	5,7144
12	9,42	15,1712	24,5912	5,7512
13	12,13	18,2272	30,3572	6,0972
14	6,44	16,3808	22,8208	9,9408
42	4,41	3,8976	8,3076	-0,5124
43	5,71	11,0528	16,7628	5,3428
45	4,96	8,1024	13,0624	3,1424
47	2,46	12,8224	15,2824	10,3624
50	5,26	1,8496	7,1096	-3,4104
51	1,17	8,624	9,794	7,454
53	1,58	3,7888	5,3688	2,2088
55	3,07	1,5616	4,6316	-1,5084
63	2,1	2,9696	5,0696	0,8696
64	2,21	3,296	5,506	1,086
65	4,58	11,7216	16,3016	7,1416
67	1,48	2,3904	3,8704	0,9104
68	1,42	5,6416	7,0616	4,2216
69	3,73	3,8944	7,6244	0,1644



Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Rango de proyección de la línea de costa futura para dentro de 32 años en playa Las Canas.

En casi su totalidad, las predicciones para esta playa son de que gane terreno hacia el mar. La zona central central no presenta transectos con un coeficiente de estimación que se cumpla, debido a que en esta zona encontramos la mayor concentración de acción antrópica. (Figura 8). Esto ocurre debido a cíclico de sedimentación y erosión de las playas, el cual se define, como, la erosión de playa como el proceso continuo de remoción que no es compensado por la llegada suficiente de nuevos sedimentos durante el ciclo, que lleva a la playa a disminuir su volumen y a retroceder hacia el continente con el fin de encontrar una nueva posición de equilibrio. (Tavares Corrêa, 2022).



Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Mapa del rango de proyección de la línea de costa futura, con la línea de costa del 2021 como referencia.

CONCLUSIONES

La playa se ve afectada en su mayoría por procesos de acreción, excepto en la zona central, la cual es la más afectada por la actividad humana que contribuye a la pérdida de terreno. La variación negativa de la línea de costa no es tan marcada teniendo en cuenta el periodo de tiempo de estudio. La mayor Tasa de cambio entre perfiles extremos (EPR) es de -0,32 m/año en el transecto 25, mientras que la tasa de cambio máxima por el método de Regresión lineal simple es de -0,23 m/año en el transecto 31. El estudio de Regresión Lineal Simple (LRR), corrobora los resultados obtenidos en las tasas de cambio entre perfiles extremos, con respecto a las principales zonas de erosión y acreción.

Con el conocimiento de la posición futura de la línea de costa no solo podemos afirmar que la playa continuará ganando terreno en su mayoría, también se puede apreciar cómo serán afectadas zonas urbanizadas debido a dicho retroceso de la línea de costa existente, influyendo esto en la vida de los habitantes del área de estudio.

REFERENCIAS

- Alonso, Cabrera, L. L., Jiménez, J. A., Valdemoro, H. I., & Sánchez, I. (2007): *Aplicación de la fotogrametría a estudios de erosión costera*. XII Congreso de la Asociación Española de Teledetección, Mar del Plata, Argentina.
- Chávez, J. A., & Llorente, J. C. (2019): *Análisis multi-temporal de la evolución de la línea de costa en el sector norte de cayo Jutía, Santa Lucía, Pinar del Río entre los años 2005-2019*. Facultad de Ciencias Técnicas. Universidad de Pinar del Río.
- Crowell, M., Leatherman, S.P. & Buckley, M.K. (1991): Historical shoreline change: Error analysis and mapping accuracy. *Journal of Coastal Research*. Vol. 7.
- Crowell, M., Douglas, B. C. y Leatherman, S. P. (1997): On forecasting future U.S. shoreline positions: a test of algorithms. *Journal of Coastal Research*. Vol. 13. No. 4 (Autumn, 1997), pp. 1245-1255
- Curra, E. (2012): *El Procesamiento Digital de Imágenes y el análisis estadístico en la investigación de la dinámica de costas. Caso de estudio: Playas del oeste en La Habana, Cuba*. Facultad de Geografía. Universidad de La Habana.
- Dolan, R., Fenster, M.S., y Holme, S.J. (1991): Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*. Vol. 7. No. 3 pp. 723-744
- Morales Esquivel, Y. (2009): *Evolución de la línea de costa y su relación con la actividad antrópica*. Facultad de Ciencias Técnicas. Universidad de Pinar del Río
- Portuondo, Y., & Portuondo, J. (2010): La repetibilidad y reproducibilidad en el aseguramiento de la calidad de los procesos de medición. *Tecnología Química*. Vol. XXX. No. 2. mayo-agosto, pp. 117-121.
- Tavares Corrêa. (2022): El nivel del mar y la erosión de playas en el Perú. *Desafíos y perspectivas de la situación ambiental en el Perú*, pp. 342-358. DOI:10.18800/978-9972-674-30-3.017 .

Hassan Ross Cabrera nació el 13 de septiembre de 1997 en La Habana, Cuba. Se graduó de Ingeniería en Geología en la Universidad de Pinar del Río en 2021. Desde sus tiempos universitarios, ha estado vinculado a los estudios ambientales, participando en conferencias relacionadas con la Tarea Vida en marzo de 2020. En 2022, se unió al Departamento de Geología Regional del Instituto de Geología y Paleontología (IGP), Servicio Geológico de Cuba (SGC), como especialista B en Geología. Comenzó a contribuir activamente al Macroproyecto, incorporando los resultados de su tesis de grado: "Análisis multitemporal de la evolución de la línea de costa en playa Las Canas, La Coloma, Pinar del Río entre los años 1956-2021". En el IGP, participó en los simposios de jóvenes en abril de 2022 y en el taller de estudios costeros de diciembre, presentando su artículo "Desplazamiento multitemporal de la línea de costa en Playa Las Canas, Pinar del Río". En abril de 2023, se unió a la Unión Nacional de

Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba. Ese mismo mes, participó en la "X Convención de Ciencias de la Tierra", donde expuso el trabajo "Análisis de la Tasa de cambio y pronóstico de la línea de costa futura en playa las canas, Pinar del Río". En junio de 2023, participó en la 2da Feria de Desarrollo Local de La Habana, presentando el proyecto "Caracterización de los Deslizamientos de Terreno en La Habana". Su participación en el taller de costas de febrero de 2024 incluyó la presentación del trabajo *"Análisis multitemporal del desplazamiento de la línea de costa en el sector Playa Blanca -Punta del Este, Isla de la Juventud"*. Colaboró con la Universidad de Brest y Geo-Ocean en la publicación del artículo *"Geomorphological signatures of known hurricanes and validation of theoretical emplacement formulations: Coastal boulder deposits on Cuban low-lying marine terraces"* en la revista Marine Geology, y presentó este trabajo en la Asamblea General de la Unión Europea de Geociencias 2024 (EGU24).

Rosangela Rodríguez Barrera, ingeniera en Geología graduada en 2021 por la Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca. Actualmente ejerce como Aspirante a Investigador en el departamento de Geología Regional del Instituto de Geología y Paleontología (IGP), Servicio Geológico de Cuba (SGC), donde acumula tres años de experiencia y en los que ha trabajado en líneas de investigación como el análisis multitemporal de líneas de costa y sobre todo en la actualización y completamiento del Léxico Estratigráfico de Cuba. Ha participado en diferentes eventos y talleres relacionados con la temática de las líneas de costa. Fue delegada y ponente en las X y XI Convenciones de la Tierra.