

# Evaluation of the Retreat Rate between Ancón and Anconcito, Ecuador for the period 2020 and 2021

Lucrecia Moreno Alcivar, Ph.D.<sup>1,2</sup>, Gricelda Herrera Franco, Ph.D.<sup>1</sup>, Mariela Muñoz Rosado, M.Sc.<sup>3</sup> Ronny Panchana Villon, Ing<sup>1</sup>, Rebeca Castro Valle, Ing<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador, lmoreno@upse.edu.ec, grisherrera@upse.edu.ec, ronnx130@hotmail.com, rbk\_13\_kstro@hotmail.com, <sup>2</sup>Universidad Nacional de Tumbes, Perú,

<sup>3</sup>Universidad de Guayaquil, Ecuador, mariela\_munozrosado@hotmail.es.

*Abstract - The coastline is vulnerable due to many factors that put human activities along the coast at risk. The objective of this research is to evaluate how the coast has evolved in the section between the Ancón and Anconcito parishes of the Santa Elena Peninsula, Ecuador in the period 2020-2021 using Geographic Information System techniques and the Coastal Dynamics Analysis System. (DSAS). Two parameters were analyzed: net shoreline movement (NSM) and linear regression rate (LRR).*

*Three phases of studies were carried out: i) field registration using an unmanned aerial vehicle; ii) image processing and interpretation using Agisoft Metashape; iii) analysis of coastal variation. As a result of the analysis of the 495 transects spaced every 10 m, it was evident that in certain sectors no movements were recorded and mostly varied setbacks of up to 5.19 m were observed. The average rate of change was -0.64 m/year, with a maximum of -3.5 m/year in transect 26 which was caused by anthropogenic factors.*

*In general, the Ancón-Anconcito coast experiences erosion at an average rate of -0.64 m/year, a magnitude similar to that recorded on the cliffs of the Patagonian Coast and Tierra del Fuego. 5.66% of the coastal profile did not show erosion, while the remaining 94.34% did, coastal dynamics are in action.*

**Keywords**—UAV, SIG, DSAS, Costal Erosion, Regression rate.

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

# Evaluación de la Tasa de Retroceso entre Ancón y Anconcito, Ecuador del periodo 2020 y 2021

Lucrecia Moreno Alcivar, Ph.D.<sup>1,2</sup>, Gricelda Herrera Franco, Ph.D.<sup>1</sup>, Mariela Muñoz Rosado, M.Sc.<sup>3</sup> Ronny Panchana Villon, Ing<sup>1</sup>, Rebeca Castro Valle, Ing<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador, lmoreno@upse.edu.ec, grisherrera@upse.edu.ec, rbk\_13\_kstro@hotmail.com, ronnx130@hotmail.com <sup>2</sup>Universidad Nacional de Tumbes, Perú,

<sup>3</sup>Universidad de Guayaquil, Ecuador, mariela\_munozrosado@hotmail.es.

**Resumen—** La línea costera es vulnerable por muchos factores que ponen en riesgos a las actividades humanas a lo largo de la costa. El objetivo de esta investigación es evaluar cómo ha evolucionado la costa en el tramo comprendido entre las parroquias Ancón y Anconcito de la Península de Santa Elena, Ecuador en el periodo 2020-2021 usando técnicas Sistema de Información Geográfica y el Sistema de Análisis de Dinámica Costera (DSAS). Se analizaron dos parámetros: movimiento neto de la línea de costa (NSM) y tasa de regresión lineal (LRR).

Se realizaron tres fases de estudios: i) registro de campo utilizando un vehículo aéreo no tripulado; ii) procesamiento e interpretación de imágenes mediante Agisoft Metashape; iii) análisis de la variación de la costa. Como resultado del análisis de los 495 transectos espaciados a cada 10 m, se evidenció que en ciertos sectores no se registraron movimientos y en su mayoría se observaron retrocesos variados de hasta 5.19 m. La tasa de cambio promedio fue de -0.64 m/año, con un máximo de -3.5 m/año en el transecto 26 el cual fue causado por factores antropogénicos.

En general, la costa de Ancón-Anconcito experimenta erosión a una tasa media de -0.64 m/año magnitud similar a la registrada en los acantilados de la Costa de la Patagonia y Tierra de Fuego. El 5.66% del perfil costero no mostró erosión, mientras que el 94.34% restante sí, la dinámica litoral está en acción.

**Palabras Claves—** UAV, SIG, DSAS, Erosión Costera, Tasa de Regresión.

## I. INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras son interfaces tierra-océano de alto valor ambiental y económico [1], albergando una gran diversidad de recursos bióticos y abióticos, por lo tanto, constituyen áreas de máxima importancia desde el punto de vista socioeconómico a nivel mundial [2], [3], abarcan una variedad de terrenos que pueden ser categorizados de manera elemental como sedimentarios o rocosos, los terrenos sedimentarios exhiben una mayor dinámica en comparación con los rocosos en lapsos breves de tiempo [4]. En los últimos años, las modificaciones en la ubicación de la línea costera han surgido como una de las principales preocupaciones ambientales en todo el mundo, pueden evaluarse mediante el análisis de los cambios históricos en la línea costera y el retroceso de los acantilados [5], [6].

La línea costera se define simplemente como la línea frontera [7], o variable entre el agua y la masa terrestre,

considerándose como una operación de naturaleza dinámica [8], [9], [10], [11], [12], [13], debido a la vulnerabilidad de los efectos del cambio climático a escala global a causa de las alteraciones seculares en el nivel del mar [14], y a escala regional debido a las variaciones en las condiciones de las olas, ambos impactos del cambio climático influyen en las inundaciones y la erosión [15], [16], que puede suponer un riesgo para las actividades humanas a lo largo de las costas [17], por las inestabilidades de pendiente en los acantilados [18]. La erosión por otro lado es uno de los principales riesgos críticos que amenazan las zonas costeras. El seguimiento de los cambios en las zonas costeras ayuda a concluir la asignación espacial de los peligros de erosión y predecir su evolución [19].

Una buena comprensión de las tasas de cambio históricas es fundamental para una gestión eficaz de las zonas costeras y predicciones fiables de la evolución de la costa [20], por ello el estudio y el cálculo de la tasa de cambio en la posición de la línea costera es importante para una amplia gama de estudios costeros [21], como el desarrollo de la planificación de restricciones, la zonificación de riesgos, estudios de erosión-acreción, presupuestos regionales de sedimentos y modelado conceptual o predictivo de la morfodinámica costera [22].

En el artículo “Erosión costera en Argentina: Las tasas de retroceso del sur de América del Sur”, se menciona que los elevados acantilados que bordean la costa de la Patagonia y Tierra del Fuego están experimentando un retroceso a una velocidad que no supera 1 metro por año [23].

Así mismo en Chile, en la playa Caleta Portales durante el periodo comprendido entre 2004 y 2016 experimentaron un notable retroceso costero de 12,6 metros. Esta tendencia hacia la erosión ha cobrado mayor fuerza en la última década, debido al incremento de tormentas extremas, especialmente durante las fases cálidas de ENSO [24].

Cabe destacar que el aporte de los ríos de la costa peruana hacia el Océano Pacífico es muy poco conocido y requiere de más información, sin embargo, se conoce que las operaciones de la represa Gallito Ciego desde 1987 ocasionan que los sedimentos queden retenidos en el embalse, por tal razón evaluaron la modificación de la línea de costa de los años 1962, 1980, 2003 y 2011 mediante la aplicación del SIG identificando una tasa de retroceso de -2.6 m/año en el área de estudio debido a la disminución de la sedimentación fluvial en las costas que contribuyen a la estabilidad de la línea de costa [25].

Cuando hablamos de la zona costera de Ecuador [26], nos estamos refiriendo a las provincias que comprenden las regiones bajas ubicadas entre el océano y la cordillera de los

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

Andes [27]. La configuración geológica de la región costera de Ecuador se destaca por una variedad de rasgos, que incluyen acantilados, barreras y llanuras litorales [28].

Sin embargo, solo se registran referencias basadas en observaciones de los procesos erosivos severos a lo largo de las costas de Esmeraldas, tal es el caso de las playas de Camarones donde las laderas de los cerros se aproximan a la estrecha franja litoral, evidenciando deslizamientos en algunos tramos esa carretera provocados por tres factores: (i) las precipitaciones del invierno de 1997-1998, que coincidió con un evento excepcional del Fenómeno del niño; (ii) la fuerza del oleaje; (iii) la modificación ambiental producida por la actividad del hombre [29].

Las modificaciones en el borde costero de zonas litorales se pueden identificar con facilidad mediante el uso de técnicas geoespaciales y cálculos automáticos que ofrece la herramienta extendida del software ArcGIS [30], [31]. El presente estudio tiene como objetivo evaluar cómo ha evolucionado la costa en el tramo comprendido entre las parroquias Ancón y Anconcito de la Península de Santa Elena, durante los años 2020 y 2021 utilizando técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y dos enfoques estadísticos del Sistemas de Análisis de Dinámica Costera (DSAS): el Movimiento de la Costa (NSM) y la Tasa de Regresión Lineal (LRR).

## II. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en la costa sur-occidental de la provincia de Santa Elena, Ecuador, a orillas del Océano Pacífico Fig. 1, perteneciente a la Península con un rasgo morfológico de los más sobresalientes en la costa oeste del Continente Sudamericano [32]. Ancón es una zona de pozos petroleros con edificaciones cercanas a los acantilados [33], [34], [35], mientras que Anconcito es una zona poblada ubicada cerca de laderas costeras [36]. Los acantilados entre Ancón y Anconcito se definen como gesitios [37], [38].

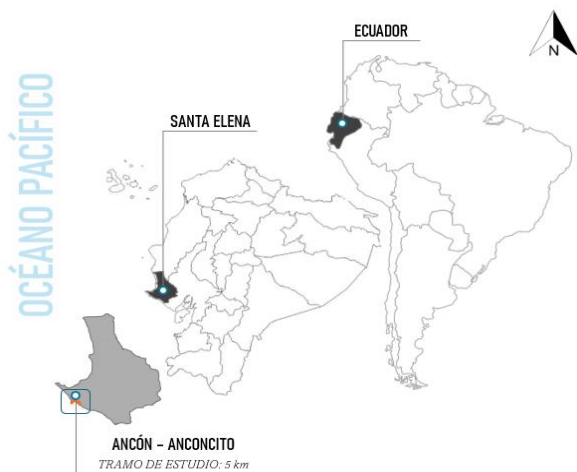


Fig. 1 Ubicación del área de estudio de Ancón y Anconcito.

Sin embargo, la parroquia Ancón fue declarada patrimonio histórico cultural [39] y ascendido a parroquia mediante decreto 115 del 22 de diciembre de 1937 [40], por otra parte, los

acantilados de Ancón y Anconcito comparten similitudes en su naturaleza [41], exhibiendo morfologías que se asemejan a terrazas marinas, ambos presentan alturas considerables, superando los 25 metros, y se extienden a lo largo de una pendiente costera que alcanza hasta los 35 metros [42].

Las variables consideradas fueron el intervalo de tiempo en realizar el vuelo del equipo UAV, los tres levantamientos topográficos con ortofotos y el procesamiento de los datos con el software Agisoft Metashape y la tasa de retroceso.

## III. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología se estructuró en tres fases principales, como se muestra en la Fig. 2: (1) Registro de Campo, se procedió a la recolección de datos costeros, utilizando un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) para capturar imágenes aéreas; (2) Procesamiento de Datos, se llevaron a cabo selecciones críticas, como la elección de fuentes de datos, específicamente ortofotos, y la determinación de los periodos de análisis. Además, se ejecutaron procesos de fotointerpretación y digitalización de las características costeras; y (3) Análisis de Variación de la Costa, se enfocó en el cálculo de tasas de erosión mediante el uso del Sistema de Información Geográfica (DSAS) para los periodos previamente definidos.

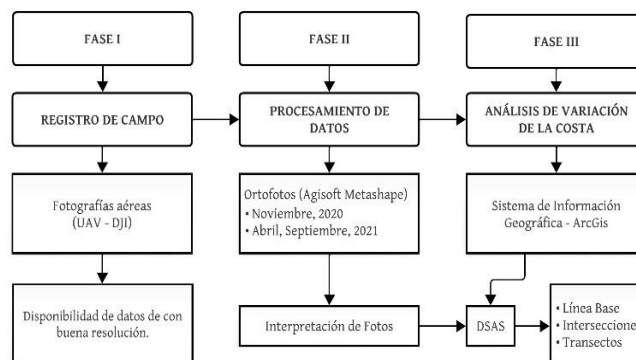


Fig. 2 Diagrama de flujo del método desarrollado.

### A. Registros de Campo

La recolección de datos se realizó mediante un vehículo aéreo no tripulado (UAV) de la marca DJI, modelo Mavic 2 Pro [43]. Los UAV poseen muchas ventajas como la accesibilidad, la alta eficiencia y la rentabilidad, que los convierten en herramientas ideales para el monitoreo e inspección de sitios [44]. La versatilidad de esta tecnología simplificó significativamente la tarea, posibilitando la cobertura de extensas áreas en un tiempo reducido [45], [46]. Los datos geoespaciales recopilados no solo mejoraron la eficiencia en la obtención de información [47], [48], sino que también enriquecieron la perspectiva en el terreno aéreas y en alta resolución [49], proporcionando una herramienta valiosa para la investigación en campos como la ingeniería civil [50]. Este enfoque con UAV redefinió la manera en que se abordan los

proyectos de recolección de datos en campo [51], aportando agilidad y precisión al proceso [52].

Para el estudio se hizo un reconocimiento del área y se la delimitó para efectuar el plan de vuelo, siendo un paso muy crucial para una adquisición de datos exitosa [53]. Se colocaron 11 hitos de hormigón en puntos estables y visibles del terreno para georreferenciar el levantamiento y asegurar la precisión de la ortofoto. Finalmente, se capturaron las imágenes del área de estudio siguiendo un plan de vuelo preestablecido.

### B. Procesamiento de Datos

El procesamiento de datos del dron DJI Mavic 2 Pro en el software Agisoft Metashape es una herramienta poderosa que se utiliza para crear ortofotos de calidad [54], indispensables en las investigaciones para la visualización del área de estudio, elaboración de mapas, medición de distancias áreas, detección de cambios y monitoreo ambiental [55]. Para el procesamiento de datos se realizó levantamientos quimestrales los días programados que se muestran en la Tabla I, después se descargaron las imágenes y se las organizaron en sus debidas carpetas para posteriormente importarlas al software, donde las imágenes se alinean entre sí para crear una nube de puntos en 3D, indispensable para la obtención del modelo digital de elevación (MDE) [56]. Una vez establecido este modelo se procedió a la creación de la ortofoto para los periodos de noviembre 2020, abril 2021 y septiembre 2021.

TABLA I  
CARACTERÍSTICAS DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS E IMÁGENES UTILIZADAS

AÑOS	2020	2021	2021
Días	12/11/2020	20/04/2021	21/09/2021
	13/11/2020	21/04/2021	22/09/2021
	14/11/2020	22/04/2021	23/09/2021
	19/11/2020	23/04/2021	24/09/2021
	20/11/2020	26/04/2021	
	Dimensiones	5472x3648	
Resolución horizontal	72 ppp		
Resolución vertical	72 ppp		
Profundidad en bits	24		
Velocidad ISO	ISO-100		

### C. Análisis de Variación de la Costa

Para estimar la tasa de erosión costera, se utilizó el software ArcGIS y la extensión DSAS [57], [58]. Esta extensión analiza estadísticamente la modificación de la línea de costa [59], obteniendo un valor negativo para la erosión y un valor positivo para la acumulación. Para realizar el análisis, se digitalizaron las líneas de costa de cada año, utilizando un dron para obtener los levantamientos. La línea base se proyectó a 40 metros y se dividió en transectos de 10 metros de ancho.

Los resultados de los análisis se evaluaron utilizando dos parámetros: el NSM (Movimiento Neto de la Línea de Costa) y el LRR (Tasa de Regresión Lineal). El NSM brinda información sobre el espacio entre la línea de costa más antigua y la más actual para cada transecto [60]. El LRR determina la pendiente de una línea de regresión ajustada a todos los puntos de la costa para cada transecto [61], [62].

## IV. RESULTADOS

En los análisis topográficos con UAV de noviembre 2020 a septiembre 2021, lo primero que se analizó fue el movimiento neto de la línea de costa (NSM), representando la distancia en que varió la línea más antigua con la más actual donde los resultados se muestran en las Fig. 3, Fig. 4 y Fig. 8, las cuales evidencian que, de los 495 transectos espaciados a cada 10 m, 28 de estos que representan el 5.66% no se observan cambios, mientras que en el 94.34% se identificaron desplazamientos máximos en dirección a tierra de -5.19 m entre el tramo de Ancón-Anconcito.

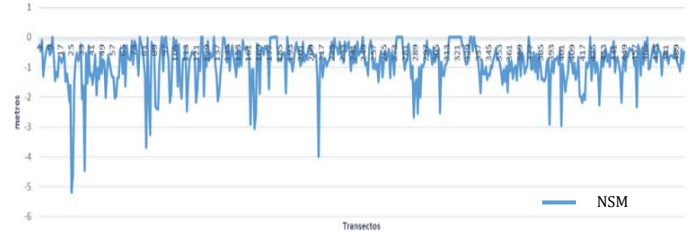


Fig. 3 Movimiento neto de la línea de costa (NSM) del período noviembre 2020 a septiembre 2021.

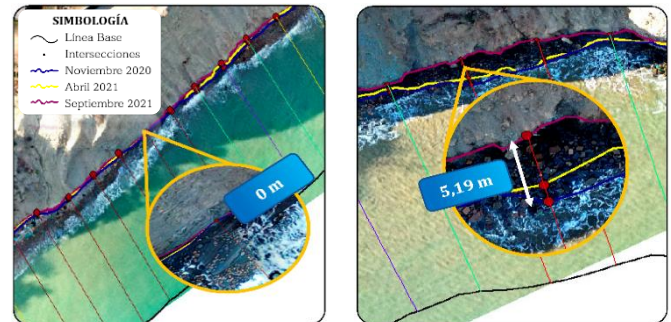


Fig. 4 Movimiento neto de la línea de costa de los dos puntos más relevantes.

Por otro lado, en el segundo parámetro que es la tasa de cambio indica que la modificación de la línea de costa se dio por regresión o erosión costera, pues como se aprecia en la Fig. 5, Fig. 6 y Fig. 8, el transecto 26 conlleva la máxima tasa de cambio erosivo de -3.5 m/año, y en los 5 km de análisis se obtuvo una velocidad de retroceso de -0.64 m/año.

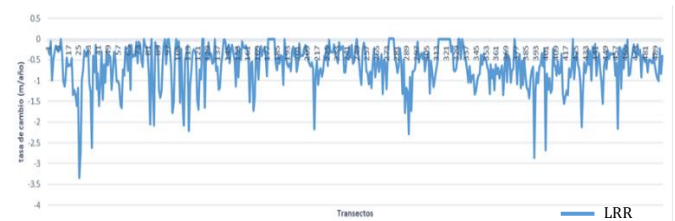


Fig. 5 Tasa de regresión lineal (LRR) del período noviembre 2020 a septiembre 2021.

Dada la enorme cantidad de datos obtenidos, se mostrarán los resultados de alguno de ellos, bien por representar la tendencia general o por particularidades específicas. Tabla II: “Tasa de regresión por transectos.” representa los valores de la tasa de regresión para 10 ubicaciones más representativas del



macizo rocoso de Ancón y Anconcito con su respectivo dimensionamiento máximo de retroceso en metros (NSM), la tasa de regresión lineal (LRR) para cada coordenada y el promedio de la tasa de regresión. Asimismo, en la Fig. 5 se muestra la gráfica de dispersión de puntos donde se evidencia la tasa de regresión promedio general de -1.151 m/año.

TABLA II  
TASA DE REGRESIÓN POR TRANSECTOS

Transectos	Id.	Norte	Este	NSM (m)	LRR (m/año)	TASA DE REGRESIÓN
Transecto 11	◆	9742987	512591	0	0	
Transecto 26	▲	9743075	512733	-5.19	-3.50	
Transecto 36	◆	9743090	512816	-4.46	-2.61	
Transecto 67	■	9743245	513089	-1.63	-1.21	
Transecto 96	●	9743291	513380	-1.12	-0.60	-1.151 m/año
Transecto 136	×	9743310	513774	-0.88	-0.76	
Transecto 167	◆	9743253	514083	-2.61	-1.39	
Transecto 228	●	9743016	514642	-0.31	-0.31	
Transecto 297	■	9742678	515222	-0.45	-0.38	
Transecto 338	✱	9742468	515563	-1.24	-0.75	

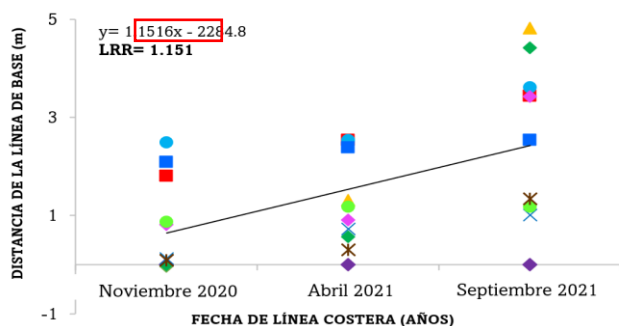


Fig. 6 Representación de dispersión de puntos que muestra el LRR para el cambio de costa en los periodos de estudio.

En tabla II, se seleccionaron diez transectos más

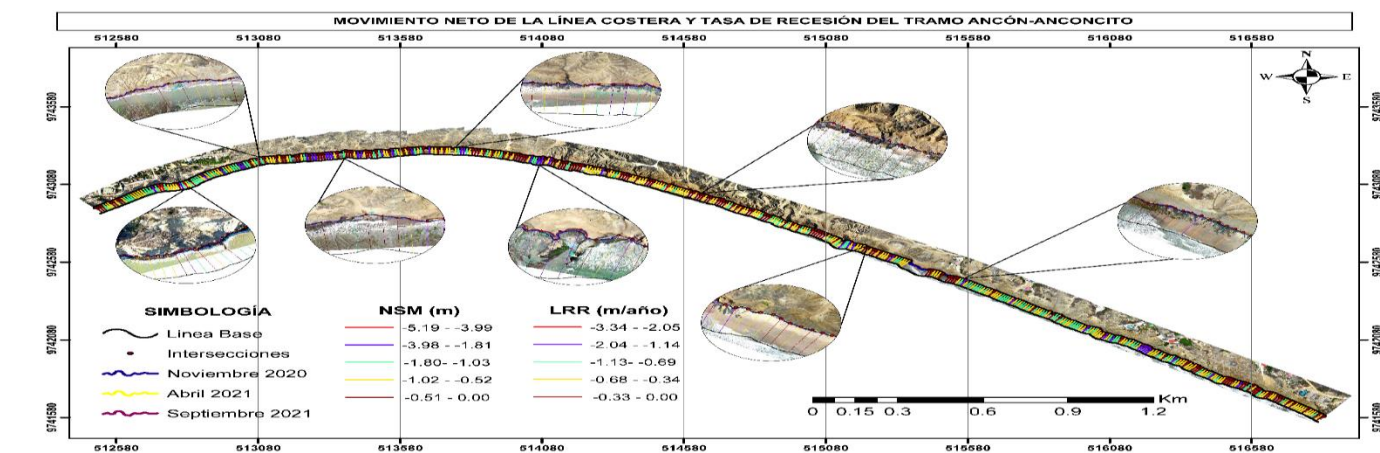
movimientos máximos de la Línea de Costa de -5.19 m a -4.46 m respectivamente, los cuales figuran un movimiento de masa significativo, cuyas coordenadas de transectos fueron ubicadas Google Earth, y se puede evidenciar el círculo de falla provocado por un deslizamiento rotacional. Este sector se encuentra en los acantilados colindantes al barrio Las Peñas de la parroquia Anconcito, tal como se aprecia en la Fig. 7.



Fig. 7 Imagen satelital del barrio Las Peñas.

Las posiciones costeras del área de estudio que se detectan a partir de la aerofotogrametría con dron y software DSAS se evidencian en la ortofoto de la Fig. 8, en la que se pudo demostrar que, si bien en algunos tramos no se evidenció retroceso de la línea costera, en otros se observó una tasa máxima de cambio erosivo de 3.5 m/año.

Se establecieron 495 transectos para registrar los cambios de la costa a lo largo del tramo de Ancón y Anconcito con su simbología correspondiente.



representativos, donde se observó que el 26 y 36 registraron

Fig. 8 Ortofoto del área de estudio con los 495 transectos del movimiento neto de la línea de costa (NSM) y de la tasa de regresión lineal (LRR)

## V. CONCLUSIONES

El análisis de los 5 km de la línea costera del tramo Ancón-Anconcito evidenció que la mayor parte del sector refleja procesos de erosión a una tasa media de cambio de 0.64 m/año, magnitud similar a la tasa de retroceso registrada en la investigación “Erosión Costera de Argentina” que indica que los acantilados de la costa de la Patagonia y Tierra del Fuego están experimentando una velocidad de retroceso no mayor a 1 m/año.

Además, se evidenció que el 5.66% del perfil costero entre Ancón y Anconcito no registró retroceso del acantilado, mientras que, el 94.34% restante evidenció retrocesos que varían desde -0.31 m hasta -5.19 m. En la zona de los transectos 26 al 40 fue el área donde se registraron las magnitudes mayores de retrocesos debido a que se encuentran colindantes a una zona poblada donde carecían de servicios básicos y evacuaban las aguas residuales directamente al acantilado, comprobando que este gran movimiento de masa fue provocado por factores antropogénicos tal como el caso de la desembocadura del río Jequetepeque en las costas del pacífico del Perú.

Este tipo de monitoreo de la línea de costa, es clave hacerlo dos veces al año (en concordancia a la estación meteorológica) para tomar medidas de ordenamiento territorial.

## REFERENCIAS

- [1] A. Bio, J. A. Gonçalves, I. Iglesias, H. Granja, J. Pinho, and L. Bastos, ‘Linking Short- to Medium-Term Beach Dune Dynamics to Local Features under Wave and Wind Actions: A Northern Portuguese Case Study’, *Applied Sciences*, vol. 12, no. 9, p. 4365, Apr. 2022, doi: 10.3390/app12094365.
- [2] T. Kuleli, ‘Quantitative analysis of shoreline changes at the Mediterranean Coast in Turkey’, *Environ Monit Assess*, vol. 167, no. 1–4, pp. 387–397, Aug. 2010, doi: 10.1007/s10661-009-1057-8.
- [3] A. K. Farmery *et al.*, ‘Blind spots in visions of a “blue economy” could undermine the ocean’s contribution to eliminating hunger and malnutrition’, *One Earth*, vol. 4, no. 1, pp. 28–38, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.oneear.2020.12.002.
- [4] A. Gómez-Pazo, A. Pérez-Alberti, and X. L. Otero Pérez, ‘Recent Evolution (1956–2017) of Rodas Beach on the Cíes Islands, Galicia, NW Spain’, *J Mar Sci Eng*, vol. 7, no. 5, p. 125, Apr. 2019, doi: 10.3390/jmse7050125.
- [5] Fotsi, Pouvreau, Brenon, Onguene, and Etame, ‘Temporal (1948–2012) and Dynamic Evolution of the Wouri Estuary Coastline within the Gulf of Guinea’, *J Mar Sci Eng*, vol. 7, no. 10, p. 343, Sep. 2019, doi: 10.3390/jmse7100343.
- [6] M. M. Leisner, D. P. de Paula, D. C. L. Alves, M. da Guia Albuquerque, F. de Holanda Bastos, and Y. G. Vasconcelos, ‘Long-term and short-term analysis of shoreline change and cliff retreat on Brazilian equatorial coast’, *Earth Surf Process Landf*, vol. 48, no. 14, pp. 2987–3002, Nov. 2023, doi: 10.1002/esp.5668.
- [7] L. Mentaschi, M. I. Vousedoukas, J. F. Pekel, E. Voukouvalas, and L. Feyen, ‘Global long-term observations of coastal erosion and accretion’, *Scientific Reports 2018* 8:1, vol. 8, no. 1, pp. 1–11, Aug. 2018, doi: 10.1038/s41598-018-30904-w.
- [8] S. Maiti and A. K. Bhattacharya, ‘Shoreline change analysis and its application to prediction: A remote sensing and statistics based approach’, *Mar Geol*, vol. 257, no. 1–4, pp. 11–23, Feb. 2009, doi: 10.1016/j.margeo.2008.10.006.
- [9] P. S. Mujabar and N. Chandrasekar, ‘Shoreline change analysis along the coast between Kanyakumari and Tuticorin of India using remote sensing and GIS’, *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 6, no. 3, pp. 647–664, Mar. 2013, doi: 10.1007/s12517-011-0394-4.
- [10] S. Chenthamil Selvan, R. S. Kankara, and B. Rajan, ‘Assessment of shoreline changes along Karnataka coast, India using GIS & Remote sensing techniques’, *IJMS Vol.43(7) [July 2014]*, vol. 43, no. 7, pp. 1286–1291, 2014, Accessed: Jan. 23, 2024. [Online]. Available: <http://nopr.niscares.in/handle/123456789/34441>
- [11] A. Valaouris, S. Poulos, S. Petrakis, G. Alexandrakis, E. Vassilakis, and G. Ghionis, ‘Processes affecting recent and future morphological evolution of the Xylokastro beach zone (Gulf of Corinth, Greece)’, *Global Nest Journal*, vol. 16, no. 4, pp. 773–786, Nov. 2014, doi: 10.30955/gnj.001254.
- [12] U. Duru, ‘Shoreline change assessment using multi-temporal satellite images: a case study of Lake Sapanca, NW Turkey.’, *Environ Monit Assess*, vol. 189, no. 8, p. 385, Aug. 2017, doi: 10.1007/s10661-017-6112-2.
- [13] M. Ataoğlu, M. M. Kale, and İ. S. Tekkanat, ‘Assessment of the changes in shoreline using digital shoreline analysis system: a case study of Kızılırmak Delta in northern Turkey from 1951 to 2017’, *Environ Earth Sci*, vol. 78, no. 19, p. 579, Oct. 2019, doi: 10.1007/s12665-019-8591-7.
- [14] A. Kumar, A. C. Narayana, and K. S. Jayappa, ‘Shoreline changes and morphology of spits along southern Karnataka, west coast of India: A remote sensing and statistics-based approach’, *Geomorphology*, vol. 120, no. 3–4, pp. 133–152, Aug. 2010, doi: 10.1016/j.geomorph.2010.02.023.
- [15] G. Masselink *et al.*, ‘Extreme wave activity during 2013/2014 winter and morphological impacts along the Atlantic coast of Europe’, *Geophys Res Lett*, vol. 43, no. 5, pp. 2135–2143, Mar. 2016, doi: 10.1002/2015GL067492.
- [16] A. Aiello, F. Canora, G. Pasquariello, and G. Spiloto, ‘Shoreline variations and coastal dynamics: A space-time data analysis of the Jonian littoral, Italy’, *Estuar Coast Shelf Sci*, vol. 129, pp. 124–135, Sep. 2013, doi: 10.1016/j.ecss.2013.06.012.
- [17] S. Saxena, V. Geethalakshmi, and A. Lakshmanan, ‘Development of habitation vulnerability assessment framework for coastal hazards: Cuddalore coast in Tamil Nadu, India—A case study’, *Weather Clim Extrem*, vol. 2, pp. 48–57, Dec. 2013, doi: 10.1016/j.wace.2013.10.001.
- [18] R. Blanco-Chao, M. Costa-Casais, D. Cajade-Pascual, and G. Gómez-Rey, ‘Coastal Retreat and Sedimentation during the Last 3000 Years. Atlantic Coast of NW Spain’, *J Mar Sci Eng*, vol. 7, no. 10, p. 331, Sep. 2019, doi: 10.3390/jmse7100331.
- [19] K. Nassar, W. E. Mahmud, H. Fath, A. Masria, K. Nadaoka, and A. Negm, ‘Shoreline change detection using DSAS technique: Case of North Sinai coast, Egypt’, *Marine Georesources & Geotechnology*, vol. 37, no. 1, pp. 81–95, Jan. 2019, doi: 10.1080/1064119X.2018.1448912.

- [20] M. Fernández-Hernández *et al.*, ‘Anthropic Action on Historical Shoreline Changes and Future Estimates Using GIS: Guadamar Del Segura (Spain)’, *Applied Sciences*, vol. 13, no. 17, p. 9792, Aug. 2023, doi: 10.3390/app13179792.
- [21] E. Armenio, F. De Serio, M. Mossa, and A. F. Petrillo, ‘Coastline evolution based on statistical analysis and modeling’, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 19, no. 9, pp. 1937–1953, Sep. 2019, doi: 10.5194/nhess-19-1937-2019.
- [22] P. J. Zuzek, R. B. Nairn, and S. J. Thieme, ‘Spatial and Temporal Considerations for Calculating Shoreline Change Rates in the Great Lakes Basin’, *J Coast Res*, pp. 125–146, 2003, [Online]. Available: <https://about.jstor.org/terms>
- [23] F. I. Isla and L. C. Cortizo, ‘Coastal erosion in Argentina: The retreating rates of southern South America’, *J South Am Earth Sci*, vol. 126, Jun. 2023, doi: 10.1016/J.JSAMMES.2023.104342.
- [24] C. Martínez, M. Contreras-López, P. Winckler, H. Hidalgo, E. Godoy, and R. Agredano, ‘Coastal erosion in central Chile: A new hazard?’, *Ocean Coast Manag*, vol. 156, pp. 141–155, Apr. 2018, doi: 10.1016/J.OCECOAMAN.2017.07.011.
- [25] C. T. Corrêa and G. R. Ramírez, ‘Impacto de la represa de Gallito Ciego en la estabilidad de línea de costa en la desembocadura del río Jequetepeque, Perú’, *Espacio y Desarrollo*, vol. 27, no. 27, pp. 79–101, Dec. 2015, doi: 10.18800/ESPACIOYDESARROLLO.201501.004.
- [26] F. Morante-Carballo *et al.*, ‘Sites of Geological Interest Assessment for Geoeducation Strategies, ESPOL University Campus, Guayaquil, Ecuador’, *Land (Basel)*, vol. 11, no. 6, p. 771, May 2022, doi: 10.3390/land11060771.
- [27] B. Epler and S. Olsen, ‘A Profile of Ecuador’s Coastal Region’, 1993.
- [28] J. Boothroyd, H. Ayon, D. Robadue, J. Vásconez, and R. Noboa, ‘Características de la línea costera del Ecuador y recomendaciones para su manejo = Shoreline characteristics and management recommendations for the coast of Ecuador’, Coastal Resources Center, 1994.
- [29] P. R. Federici and G. Rodolfi, ‘Rapid shoreline retreat along the Esmeraldas coast, Ecuador: Natural and man-induced processes’, *J Coast Conserv*, vol. 7, no. 2, pp. 163–170, 2001, doi: 10.1007/BF02742478/METRICS.
- [30] P. Carrión-Mero *et al.*, ‘Community-University Partnership in Water Education and Linkage Process. Study Case: Manglaralto, Santa Elena, Ecuador’, *Water (Basel)*, vol. 13, no. 15, p. 1998, Jul. 2021, doi: 10.3390/w13151998.
- [31] G. Herrera-Franco, C. Mora-Frank, T. Kovács, and E. Berrezueta, ‘Georoutes as a Basis for Territorial Development of the Pacific Coast of South America: a Case Study’, *Geoheritage*, vol. 14, no. 3, p. 78, Sep. 2022, doi: 10.1007/s12371-022-00711-x.
- [32] L. Moreno, M. Muñoz, and R. Ramírez, ‘Caracterización mecánica de suelos del perfil costero entre Ancón y Anconcito’, *Revista Ciencia UNEMI*, vol. 12, no. 31, pp. 40–53, 2019.
- [33] H. S. Mayorga and F. Reyes, ‘Análisis de Derrames de Petróleo en el Campo Ancón Mediante Sistemas de Información Geográfica’, *Revista Politécnica*, vol. 49, no. 1, pp. 53–60, 2022.
- [34] G. Herrera-Franco, P. Escandón-Panchana, F. J. Montalván, and A. Velastegui-Montoya, ‘CLUE-S model based on GIS applied to management strategies of territory with oil wells—Case study: Santa Elena, Ecuador’, *Geography and Sustainability*, vol. 3, no. 4, pp. 366–378, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.geosus.2022.11.001.
- [35] G. Herrera-Franco, F. J. Montalván, A. Velastegui-Montoya, and J. Caicedo-Potosí, ‘Vulnerability in a Populated Coastal Zone and Its Influence by Oil Wells in Santa Elena, Ecuador’, *Resources*, vol. 11, no. 8, p. 70, Jul. 2022, doi: 10.3390/resources11080070.
- [36] G. Herrera, C. Mora, T. Kovács, and E. Berrezueta, ‘Georoutes as a basis for territorial development of the Pacific Coast of South America: A case study’, *Geoheritage*, vol. 14, no. 3, p. 78, 2022.
- [37] G. Herrera-Franco *et al.*, ‘Geosites and Georesources to Foster Geotourism in Communities: Case Study of the Santa Elena Peninsula Geopark Project in Ecuador’, *Sustainability*, vol. 12, no. 11, p. 4484, Jun. 2020, doi: 10.3390/su12114484.
- [38] G. Herrera-Franco, P. Carrión-Mero, C. Mora-Frank, and J. Caicedo-Potosí, ‘Comparative Analysis of Methodologies for the Evaluation of Geosites in the Context of the Santa Elena-Ancón Geopark Project’, *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, vol. 15, no. 2, pp. 183–188, Apr. 2020, doi: 10.18280/ijdne.150207.
- [39] S. Rendón, H. Álvarez, N. Rendón, and J. Yumisaca, ‘Patrimonio cultural ancestral de la parroquia de San José de Ancón, año 2022’, *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, vol. 6, no. 43, pp. 273–279, 2022.
- [40] M. Panchana, H. P. Torrealba, A. Reyes, and H. Cochea, ‘La participación ciudadana y el control social en las parroquias de atahualpa, anconcito, san José ancón, José Luis Tamayo, y simón bolívar’(Ecuador)’, *Journal of business and entrepreneurial studies: JBES*, vol. 4, no. 1, p. 16, 2020.
- [41] G. Herrera-Franco, P. Escandón-Panchana, K. Erazo, C. Mora-Frank, and E. Berrezueta, ‘Geoenvironmental analysis of oil extraction activities in urban and rural zones of Santa Elena Province, Ecuador’, *International Journal of Energy Production and Management*, vol. 6, no. 3, pp. 211–228, Sep. 2021, doi: 10.2495/EQ-V6-N3-211-228.
- [42] F. Cedeño and W. Méndez, ‘Acartilados litorales del pacífico sur de Ecuador (provincia Santa Elena) como marcadores geomorfológicos de susceptibilidad a la erosión litoral’, *Geociencias, ISSN 0101-9082, ISSN-e 1980-900X, Vol. 41, N° 1, 2022, págs. 255-272*, vol. 41, no. 1, pp. 255–272, 2022.
- [43] E. C. Vellemu *et al.*, ‘Using the Mavic 2 Pro drone for basic water quality assessment’, *Sci Afr*, vol. 14, p. e00979, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.sciaf.2021.e00979.
- [44] H. Liang, S.-C. Lee, W. Bae, J. Kim, and S. Seo, ‘Towards UAVs in Construction: Advancements, Challenges, and Future Directions for Monitoring and Inspection’, *Drones*, vol. 7, no. 3, p. 202, Mar. 2023, doi: 10.3390/drones7030202.
- [45] L. Lin and M. A. Goodrich, ‘UAV intelligent path planning for Wilderness Search and Rescue’, in *2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, IEEE, Oct. 2009, pp. 709–714. doi: 10.1109/IROS.2009.5354455.
- [46] L. Lin, M. Roscheck, M. Goodrich, and B. Morse, ‘Supporting Wilderness Search and Rescue with Integrated Intelligence: Autonomy and Information at the Right Time and the Right Place’, *Proceedings of the AAAI Conference*

- on *Artificial Intelligence*, vol. 24, no. 1, pp. 1542–1547, Jul. 2010, doi: 10.1609/aaai.v24i1.7573.
- [47] P. Amos, P. Li, W. Wu, and B. Wang, ‘Computation efficiency maximization for secure UAV-enabled mobile edge computing networks’, *Physical Communication*, vol. 46, p. 101284, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.phycom.2021.101284.
- [48] S. Ahmed, T. ElGharbawi, M. Salah, and M. El-Mewafi, ‘An integrated methodology using geospatial data and remote sensing techniques for sustainability indicators integration: Sustainable development assessment in the Suez Canal Zone in Egypt’, *Remote Sens Appl*, vol. 33, p. 101127, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.rsase.2023.101127.
- [49] J. A. Pérez, G. Rito Gonçalves, and J. Montilla Galván, ‘Análisis comparativo del levantamiento del terreno mediante UAS y topografía clásica en proyectos de trazado de carreteras’, *Informes de la Construcción*, vol. 74, no. 565, p. e431, Mar. 2022, doi: 10.3989/ic.86273.
- [50] F. Canhete and R. Machado, ‘The use of drones in urban constructions: literature review’, *International Journal of Development Research (IJDR)*, vol. 10, no. 02, pp. 44388–44396, Feb. 2021, doi: <https://doi.org/10.37118/ijdr.20946.02.2021>.
- [51] F. Nex *et al.*, ‘UAV in the advent of the twenties: Where we stand and what is next’, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 184, pp. 215–242, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2021.12.006.
- [52] M. Xu, J. M. David, and S. H. Kim, ‘The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges’, *International Journal of Financial Research*, vol. 9, no. 2, p. 90, Feb. 2018, doi: 10.5430/ijfr.v9n2p90.
- [53] D. Sarkar, R. Sinha, and B. Bookhagen, ‘Towards a Guideline for UAV-Based Data Acquisition for Geomorphic Applications’, *Remote Sens (Basel)*, vol. 15, no. 14, p. 3692, Jul. 2023, doi: 10.3390/rs15143692.
- [54] K. Pargieła, ‘Optimising UAV Data Acquisition and Processing for Photogrammetry: A Review’, *Geomatics and Environmental Engineering*, vol. 17, no. 3, pp. 29–59, Feb. 2023, doi: 10.7494/geom.2023.17.3.29.
- [55] J. L. Awange and J. B. Kyalo Kiema, ‘Maps in Environmental Monitoring’, *Environmental Science and Engineering*, pp. 253–267, 2013, doi: 10.1007/978-3-642-34085-7\_19.
- [56] L. M. García-Moreno, J. P. Díaz-Paz, H. Loaiza-Correa, and A. D. Restrepo-Girón, ‘Dataset of thermal and visible aerial images for multi-modal and multi-spectral image registration and fusion’, *Data Brief*, vol. 29, p. 105326, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.dib.2020.105326.
- [57] E. R. Thieler, E. A. Himmelstoss, J. L. Zichichi, and A. Ergul, ‘The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline change’, *Open-File Report*, 2009, doi: 10.3133/OFR20081278.
- [58] M. M. Mirdan, E. R. Tolba, S. Abdellah, and E. M. Galal, ‘Digital shoreline analysis system techniques for stability detection: An applied case study on Port Said, Egypt’, *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, vol. 49, no. 4, pp. 460–470, Dec. 2023, doi: 10.1016/J.EJAR.2023.08.001.
- [59] H. F. Abd-Elhamid, M. Zeleňáková, J. Barańczuk, M. B. Gergelova, and M. Mahdy, ‘Historical Trend Analysis and Forecasting of Shoreline Change at the Nile Delta Using RS Data and GIS with the DSAS Tool’, *Remote Sens (Basel)*, vol. 15, no. 7, p. 1737, Mar. 2023, doi: 10.3390/rs15071737.
- [60] E. Armenio, M. Mossa, and A. F. Petrillo, ‘Coastal vulnerability analysis to support strategies for tackling COVID-19 infection’, *Ocean Coast Manag*, vol. 211, p. 105731, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2021.105731.
- [61] K. Sowmya, M. D. Sri, A. S. Bhaskar, and K. S. Jayappa, ‘Long-term coastal erosion assessment along the coast of Karnataka, west coast of India’, *International Journal of Sediment Research*, vol. 34, no. 4, pp. 335–344, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.ijsrc.2018.12.007.
- [62] S. Gunasekaran, V. Sivaprakasam, B. Palani, and S. Rajandhiran, ‘Temporal evolution of shoreline changes from 1972 to 2020 along the coast between Pondicherry and Point Calimere, East Coast of Tamil Nadu, India’, *Reg Stud Mar Sci*, vol. 69, p. 103329, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.rsma.2023.103329.