

**ACANTILADOS LITORALES DEL PACÍFICO SUR DE ECUADOR  
(PROVINCIA SANTA ELENA) COMO MARCADORES  
GEOMORFOLÓGICOS DE SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN LITORAL**

*COASTAL CLIFFS OF THE ECUADORIAN SOUTH PACIFIC (SANTA ELENA PROVINCE) AS  
GEOMORPHOLOGICAL MARKERS OF SUSCEPTIBILITY TO COASTAL EROSION*

**Francisco CEDEÑO<sup>1</sup>, Williams MÉNDEZ<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Técnica de Manabí, Instituto de Postgrado, Programa de Maestría en Prevención y Gestión de Riesgos. Avenida José María Urbina, Portoviejo 130105, Manabí, Ecuador. E-mail: fcedeno6527@utm.edu.ec.

<sup>2</sup>Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Departamento de Construcciones Civiles. Avenida José María Urbina, Portoviejo 130105, Manabí, Ecuador. E-mail: williams.mendez@utm.edu.ec.

<sup>3</sup>Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, Centro de Investigación Estudios del Medio Físico Venezolano. Avenida José Antonio Páez, El Paraíso 1020, Caracas, Distrito Capital, Venezuela

Introducción  
Área de estudio  
Materiales y métodos  
Sectorización de los acantilados  
Información oceanográfica  
Información de campo  
Tasas de retroceso de la línea de costa  
Perfiles topográficos  
Susceptibilidad a la erosión litoral  
Análisis y discusión de los resultados  
Sector Ayampe  
Sector La Rinconada  
Sector Oloncito  
Sector Simón Bolívar  
Sector Ayangue  
Sector Punta Blanca  
Sector La Chocolatera  
Sector Anconcito  
Sector Ancón  
Susceptibilidad a la erosión litoral  
Conclusiones  
Referencias

**RESUMO** - A erosão costeira e o conseqüente recuo da linha costeira representam uma das principais ameaças às populações localizadas em vários setores da margem costeira equatorial. Vários setores de falésias da província de Santa Elena foram caracterizados sob critérios físicos e intervenção antropogênica, considerando-os como marcadores geomorfológicos de erosão e recuo costeiro. Foi realizada uma setorização do perfil litorâneo; análise de marés e ondas; quantificação do recuo costeiro; construção de perfis topográficos de falésias; levantamento de campo de parâmetros geológicos, geomorfológicos, topográficos, hidrodinâmicos, biológicos e antropogênicos; e análise dos níveis de susceptibilidade de falésias à erosão costeira. O recuo diferencial entre as falésias de diferentes setores resulta da combinação de fatores físicos (litologia, estruturas rochosas aflorantes, declividade topográfica e morfodinâmica) e antropogênicos (obras de estabilização ou práticas de engenharia inadequadas). Todas as falésias apresentam indícios de recuo devido ao impacto da hidrodinâmica costeira e à tipologia dos processos de remoção de massa. Em setores onde se destacam fatores que favorecem a erodibilidade das falésias e recuo costeiro, existe uma elevada probabilidade de danos nas infra-estruturas habitacionais e rodoviárias, como já se verifica em alguns casos.

**Palavras-chave:** Erosão costeira. Recuo costeiro. Vulnerabilidade. Geomorfologia. Falésias.

**ABSTRACT.** Coastal erosion and shoreline retreat are one of the main hazards to the populations located in various places of the Ecuadorian coast. Several cliff areas of the Santa Elena province were characterized under physical and anthropogenic intervention criteria, considering them as geomorphological markers of erosion and coastal retreat. A sectorization of the coastal profile; analysis of tides and waves; measurement of the coastal retreat; construction of topographic profiles of cliffs; field survey of geological, geomorphological, topographic, hydrodynamic, biological and anthropogenic parameters; and analysis of susceptibility levels of cliffs to coastal erosion were carried out. The differential retreat between the cliffs of different areas is resulting of the combination of physical (lithology, rocky outcrop structures, topographic slope and morphodynamic) and anthropogenic factors (slope stabilization or inadequate engineering practices). All the cliffs show evidence of retreat due to the impact of the coastal hydrodynamics, and the typology of the landslides. In areas where factors that favor the cliff erodibility and coastal retreat stand out, there is a high probability of damage to housing and road, as is already evident in some cases.

**Keywords:** Coastal erosion. Coastal retreat. Vulnerability. Geomorphology. Cliffs.

## INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras alrededor del mundo son consideradas como las de mayor interés económico (Santos et al., 2007), debido a esto, las poblaciones han optado por migrar y establecerse en esos espacios geográficos, a pesar de estar expuestas a muchos riesgos desencadenados por fenómenos inherentes a las dinámicas tectónica, atmosférica y oceanográfica particulares (Brett, 2019).

La erosión litoral y su consecuente retroceso de la línea de costa, representan una de las principales amenazas (Claudino-Sales & Carvalho, 2014) para los asentamientos poblacionales e infraestructuras ubicadas en diversos sectores de las zonas costeras a nivel mundial y, en particular, para las del margen litoral ecuatoriano (Federici & Rodolfi, 2001).

Este continuo proceso de erosión litoral en las costas ecuatorianas está ligado al contexto geodinámico de su territorio, determinado por el límite convergente (subducción) entre las placas Nazca y Suramericana, cuya dinámica es la responsable del relieve que caracteriza a la región y, a grandes rasgos, al perfil costero que, en consecuencia, exhibe el modelado de una típica costa alta (Varela & Ron, 2020).

La concentración de la población en las áreas costeras afecta, en gran medida, a sus ecosistemas naturales, sobre los cuales se han construido edificaciones, vialidades y otras infraestructuras que, a menudo, se encuentran amenazadas por la erosión costera (Fucks et al., 2015). Estos escenarios son mucho más graves cuando se trata de desarrollos humanos asentados sobre terrenos inestables dominados por acantilados (García Reyna, 2018), cuyo retroceso de sus escarpes por erosión debida a la hidrodinámica litoral y procesos de remoción en masa, ponen en peligro bienes materiales, económicos y vidas humanas (Rodrigues Da Silva et al., 2020).

Varios esfuerzos se han enfocado en caracterizar y analizar los procesos y mecanismos involucrados en la evolución y retroceso de los escarpes de acantilados, en distintas localidades del mundo, como por ejemplo en Thiruvananthapuram (Sajinkumar et al., 2017), California (Young, 2018), Santa Bárbara (Ikeda & Testik, 2019), Abruzzo (Miccadei et al., 2019), Cabo Peñas (Domínguez-Cuesta et al., 2020), Ceará (Rodrigues da Silva et al., 2020) y Río Grande del Norte

(Silva et al., 2020). Otros, han hecho énfasis en comprender como la intervención antrópica ha incidido en acelerar el retroceso de los acantilados (Mantecón et al., 2017).

Algunos trabajos han centrado la atención en los impactos del retroceso de acantilados sobre el medio humano (Toffani et al., 2020). Y otros, han analizado (a) la influencia de los acantilados sobre la morfodinámica y el balance sedimentario litoral (Claudino-Sales & de Carvalho, 2014), y (b) los cambios en la línea de costa y el retroceso de acantilados con fines de planificación del espacio costero (Stanchev et al., 2018).

En el caso particular de la provincia Santa Elena (Ecuador), gran parte de su perfil litoral se caracteriza por la presencia de acantilados modelados en rocas sedimentarias pobremente cementadas, y otras litologías muy inestables frente a los procesos erosivos (Soledispa, 2009; Blanco-Chao et al., 2014), lo cual ha ocasionado el asentamiento de edificaciones, piscinas, patios y otras infraestructuras (Lindao Baque & Polonio Briones, 2014).

En referencia a la situación problemática, el propósito principal de esta investigación fue, analizar la susceptibilidad a la erosión litoral de distintos sectores de acantilados de la provincia Santa Elena (Ecuador), considerándolos como indicadores y/o marcadores geomorfológicos de retroceso de la línea de costa.

Este trabajo aporta resultados que representan insumos de interés para los procesos de planificación y ordenación territorial del medio litoral en la provincia Santa Elena, diseño de normativas de ocupación humana en las áreas de acantilados, propuesta de medidas ingenieriles de mitigación frente a los procesos erosivos litorales, y el diseño de planes de desarrollo sostenible que consideren a los riesgos vinculados a la morfodinámica litoral, como una variable determinante y de relevancia.

## ÁREA DE ESTUDIO

La línea de costa objeto de estudio en este trabajo, de 150 km de longitud aproximadamente, está ubicada en la Región Costera del territorio ecuatoriano, específicamente en su sector suroriental, con un margen litoral caracterizado por la presencia de playas, acantilados y manglares (Andrade et al., 2013). Se localiza en la Zona Intertropical, definida por las coordenadas 1°41'44,38" y 2°30'30,83" de latitud sur y 80°33'46,98" y 81°00'45,67" de longitud oeste (Figura 1). Se

circunscribe bajo la jurisdicción de la provincia Santa Elena, extendida sobre los bordes litorales de los cantones Santa Elena, La Libertad y Salinas.

Forma parte del sector más occidental de la unidad fisiográfica denominada península de Santa Elena, distinguida por la presencia de planicies, ondulaciones y mesas (Winckell & Zebrowski, 1997).

La península de Santa Elena representa la parte occidental del levantamiento (horst) de Santa Elena (Secretaría Nacional de Plani-

ficación y Desarrollo [SENPLADES], 2017), ubicada entre la cuenca cenozoica de Progreso al norte y la cuenca actual del golfo de Guayaquil al sur. El basamento de la península está compuesto por basaltos oceánicos de la Formación Piñón y

material volcánico sedimentario y cherts de la Formación Cayo (Enríquez Villarreal & Espinosa Quinde, 2018). Esta península está caracterizada por la presencia de terrazas marinas hasta una altura de 100 m (Collot et al., 2009).

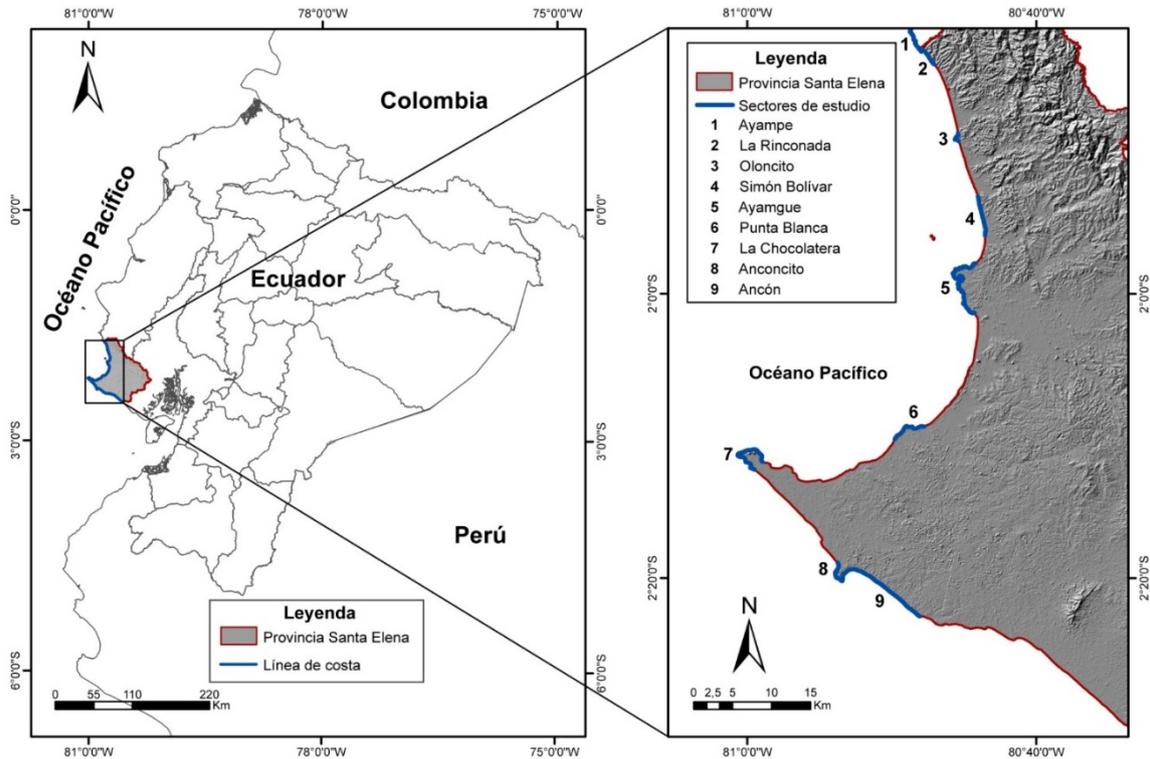


Figura 1 – Localización de la provincia Sana Elena (Ecuador) y sectores de acantilados litorales considerados en el estudio.

Los materiales que componen a las distintas unidades litológicas expuestas a lo largo del margen litoral de la provincia Santa Elena, son fundamentalmente sedimentarios (lutitas, areniscas, coquinas, conglomerados, turbiditas, cherts y cenizas volcánicas), con algunos afloramientos

muy localizados de bloques basálticos de corteza oceánica. En la figura 2, se pueden apreciar (a) el contexto geodinámico al cual se circunscribe el territorio ecuatoriano y (b) la geología de superficie (unidades litológicas y fracturas) en la franja litoral de la provincia Santa Elena.

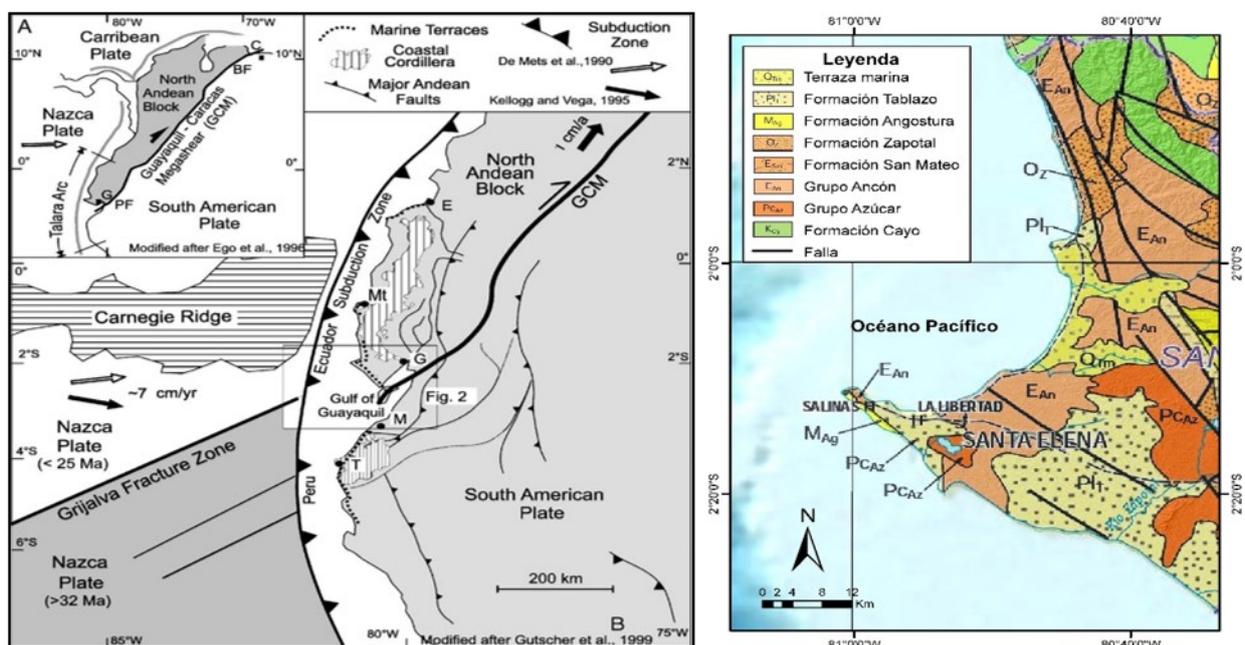


Figura 2 – Contexto geodinámico de Ecuador (tomado de Dumont et al., 2005) y geología de superficie del sector litoral de la provincia Santa Elena (adaptado de Egúez et al., 2017).

La morfología de Santa Elena está delimitada por dos bloques levantados: la cordillera de Chongón-Colonche, de rumbo geológico WNW-ESE, en la sección norte del área; y el horst Azúcar-Playas de rumbo geológico NNW-SSE en la sección Sur (Moreno-Alcívar et al., 2019).

El relieve es muy diverso debido a su compleja morfogénesis, con ondulaciones y capas que no superan los 780 msnm. Una de las principales características de los acantilados presentes en esta provincia es que son de ángulos casi verticales, vulnerables a los períodos lluviosos, con los cuales se producen desprendimientos de pequeños bloques (Moreno-Alcívar et al., 2019).

Los tipos climáticos predominantes en el área de estudio son Aw (clima de sabana tropical) y BSh (clima semiárido caliente). La temperatura media anual oscila entre 23 °C y 23,4 °C y la amplitud térmica anual entre 3,6 °C y 4 °C. En general, las lluvias son escasas con veranos mucho más lluviosos que los inviernos y promedios anuales que varían entre 487 mm y 805 mm (Climate-Data, 2021).

La vegetación está representada por comunidades de matorrales desérticos tropicales de tierras bajas, con fisionomías vegetales que ofrecen una cobertura del suelo de moderada a baja; y algunos parches de comunidades de manglares muy dispersos, vinculados con la presencia de humedales. Los suelos están representados por subórdenes correspondientes a los grupos principales aridisoles, entisoles y vertisoles (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Santa Elena [GADP – Santa Elena], 2014).

El oleaje a lo largo de la línea costa, entre los sectores Ayampe y La Choclatera, registra alturas significativas medias entre 0,33 m y 0,8 m, alturas máximas entre 0,8 m y 3,7 m, períodos medios entre 4 s y 14 s y una dirección dominante NE (SO en la localidad Monteverde); mientras que, para el

segmento entre los sectores La Choclatera y Ancón, se registran alturas significativas medias entre 0,9 m y 1,92 m, alturas máximas entre 2,43 m y 2,6 m, períodos medios entre 13 s y 14 s y una dirección dominante SO (Vera et al., 2009).

Las mareas son de régimen semidiurno y de rangos cuasi-macromareales permitiendo que, durante las pleamares, el oleaje incida directamente en la base de los acantilados, proceso que no ocurre en baja mar, que, en algunos casos; dejan al descubierto una extensa playa arenosa y en otros una plataforma de abrasión, con la combinación de algunos materiales rocosos muy variados (gravas, gravillas, guijarros). Esta dinámica descrita, representa condiciones moderadas en la contribución de la erosión litoral, a lo largo de la línea de costa de la provincia de Santa Elena (Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada del Ecuador [INOCAR], 2020)

El efecto marcado de las mareas está supeditado a la ocurrencia conjugada de máximas pleamares en sizigia con oleaje de mar de fondo (aguajes), circunstancias en las que la zona de rompiente se acerca más o se posiciona sobre la línea de costa regular, ocasionando que el impacto hidráulico del colapso de las olas, sumado a una mayor energía de las mismas bajo esas condiciones atmosféricas-oceanográficas, realice un trabajo erosivo más intenso sobre los materiales de los acantilados expuestos en el litoral, y a un nivel más elevado en los escarpes que el habitual.

Gran parte de la franja litoral de la provincia Santa Elena está dedicada a uso antrópico, caracterizado por una marcada influencia de camaroneeras, salineras, complejos industriales, recreacionales y residenciales que se extienden a lo largo del litoral, y que constituyen pilares fundamentales de la economía peninsular y del país (GADM – Cantón Santa Elena, 2014).

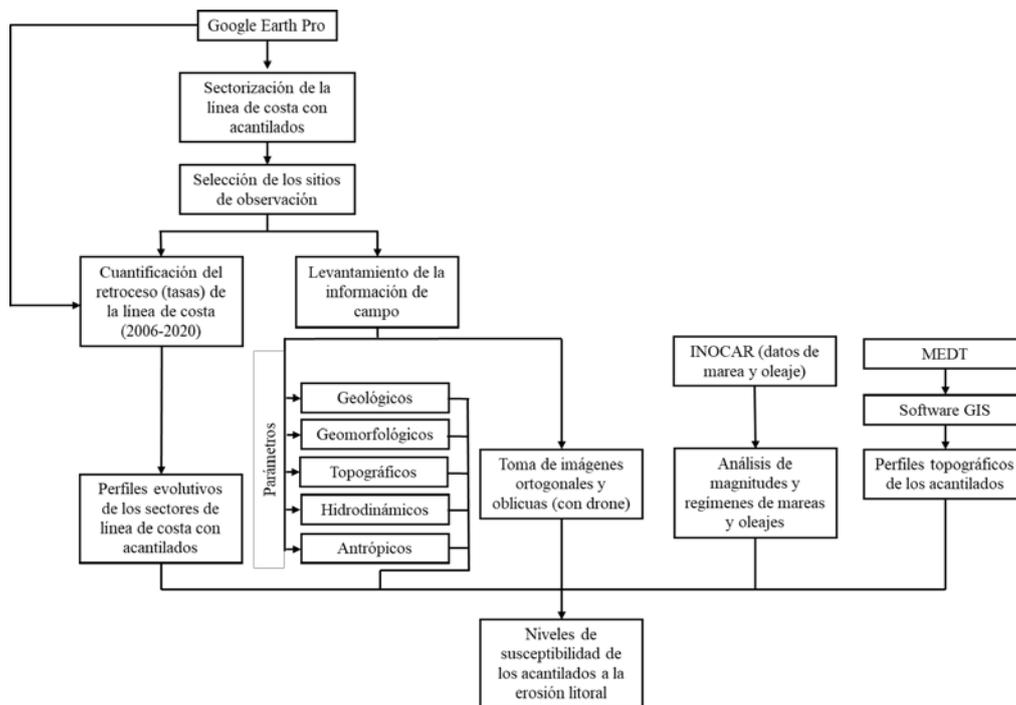
## MATERIALES Y MÉTODOS

La secuencia metodológica que se cumplió para identificar y sectorizar los sitios de interés de estudio, así como cuantificar perfiles de variabilidad de la línea de costa, y caracterizar e integrar una serie de criterios de naturalezas físico-naturales y de intervención antropogénica que, permitieron analizar el peso de cada uno en la dinámica geomorfológica-evolutiva de las tipologías de acantilados trabajados y, finalmente, establecer sus niveles de susceptibilidad frente a los procesos erosivos litorales, se detalla en el flujograma de la figura 3.

### Sectorización de los acantilados

La sectorización de la línea de costa con presencia de acantilados, se efectuó mediante la observación y evaluación minuciosa de imágenes de satélite (Landsat / Copernicus) del área, utilizando para ello las herramientas Google Earth Pro versión 7.3 (2020) y Google Maps (MEDT) (2020). Se identificaron 9 sectores de acantilados, cuyas secciones tipo se muestran en la Figura 1.

Esta sectorización se sustentó en criterios geomorfológicos, geológicos y topográficos.



**Figura 3** – Flujograma de la secuencia metodológica utilizada para la estimación de la susceptibilidad de los acantilados a la erosión litoral.

### Información oceanográfica

La caracterización de los factores hidrodinámicos litorales se realizó a partir de la recopilación y sistematización de datos de oleaje y de mareas disponibles en el portal web del INOCAR (2020).

Se estimaron promedios anuales de oleaje a partir de alturas máximas mensuales del perfil costero de Ecuador, referidas, principalmente, a los salientes de la línea costera continental ecuatoriana, como es el caso del sector La Puntilla de Santa Elena, para un período de 7 años (2013-2020).

Con relación a las mareas, se obtuvieron datos promedios de los parámetros (se tomaron como muestra los del año 2020): (a) nivel de reducción de sondas a nivel medio del mar y (b) rango de la marea en sicigia, correspondientes a las estaciones mareográficas Puerto López (393), Monteverde (397), La Libertad (71) y Anconcito (399).

### Información de campo

Se realizó un trabajo de campo con visitas a cada uno de los sectores de acantilados. Se recolectó información referida a aspectos morfológicos, geológicos, de vegetación e intervención antropogénica, mediante observaciones registradas en una ficha técnica, cuya estructura contempló la sistematización de una serie de criterios o indicadores para cada una de las variables o aspectos mencionados anteriormente, así como mediciones de otros parámetros con el uso de herramientas digitales.

Con relación a las características morfológicas, se midieron las pendientes de los acantilados y las pendientes de las playas, utilizando un inclinómetro digital. Las pendientes de los acantilados fueron corroboradas posteriormente, mediante su reevaluación en un Modelo Digital de Elevación (MDE). Se realizaron observaciones y registros de movimientos en masa y de otras evidencias de procesos erosivos.

El reconocimiento de aspectos geológicos se basó en la identificación y caracterización de litología aflorante en el frente de los acantilados, y en su validación con lo reportado en la literatura y en la cartografía geológica oficial de Ecuador. Estas observaciones se llevaron a cabo tanto para las posiciones de tope como al pie de los acantilados. Se realizaron registros sobre las formaciones vegetales predominantes en los topes de los acantilados, considerando características como densidad y altura de la cobertura.

Se inspeccionó sobre la intervención antropogénica en los topes de los acantilados, proceso que permitió valorar la incidencia de las actividades humanas en el incremento de la susceptibilidad de estas geoformas frente a los procesos erosivos, así como identificar la infraestructura en situación de riesgo.

Finalmente, se realizó un registro fotográfico exhaustivo de los aspectos observados en el campo, inherentes a la morfodinámica de los acantilados y a su susceptibilidad. Para ello se realizaron tomas fotográficas con un dispositivo convencional, y

tomas de panorámicas ortogonales y oblicuas de cada sector, mediante el uso de un dron.

### **Tasas de retroceso de la línea de costa**

Para la estimación de este parámetro se seleccionaron 2 imágenes satelitales del área mediante la herramienta Google Earth Pro versión 7.3 (2020), correspondientes a los años 2006 y 2020. En cada imagen se delineó la línea de costa, a lo largo de segmentos con longitudes variables (entre 1,5 km y 10 km) según la morfología de la misma y la presencia de acantilados.

Sobre la imagen más reciente se hizo la superposición de ambas líneas, y a lo largo de ellas se trazaron líneas transversales espaciadas cada 50 m; luego se midieron las longitudes de los segmentos de rectas entre ambas líneas de costa de una manera simple, utilizando las herramientas de medición de Google Earth Pro, y se dividieron entre el número de años (14 años) del período (2006-2020) de observación considerado, lo cual permitió cuantificar el retroceso litoral en cada sección de referencia. Esas mediciones fueron promediadas, cuyos resultados se asumieron como las respectivas tasas de retroceso para cada sector de estudio.

### **Perfiles Topográficos**

Para la construcción de los perfiles topográficos transversales de los acantilados se utilizó la herramienta Google Earth Pro versión 7.3 (2020), con la cual se definió un polígono que abarcara la totalidad del área de estudio, fijándose las coordenadas geográficas de cada vértice; posteriormente, el proceso se repitió, a manera de control, para cada uno de los sectores de acantilados. Los polígonos fueron importados desde un software para Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Desde este software se descargaron imágenes satelitales con coberturas equivalentes a las de los polígonos, así como la información altimétrica raster del SRTM Worldwide Elevation Data (con resolución de 1-arc-second, SRTM plus v3). La superposición y cruce de ambas capas de información permitió generar curvas de nivel y un MDE (pixel con resolución de 12,5 m). Sobre él se trazaron los transeptos, a partir de los cuales se levantaron los perfiles topográficos. Sobre estos perfiles se midieron las alturas de los frentes de los acantilados y de las pendientes costeras y, del mismo modo, se reevaluaron las pendientes de los acantilados.

### **Susceptibilidad a la erosión litoral**

Para caracterizar y evaluar los niveles de

susceptibilidad de los acantilados a la erosión litoral, se definieron, en primer lugar, los criterios y sus respectivos indicadores relacionados con los factores que influyen y/o condicionan dicha susceptibilidad; este proceso se basó en una revisión de la literatura (Gornitz et al., 1990; De Pippo et al., 2008; Ciccarelli et al., 2017; Peña-Alonso et al., 2017a, b; Sajinkumar et al., 2017; Barros-Serafim et al., 2019; Miccadei et al., 2019;). De esta manera, se establecieron los siguientes criterios: (a) morfológico, (b) litológico, (c) hidrodinámico, (d) tasa de retroceso de la línea de costa, (e) vegetación en el tope del acantilado e (f) intervención antropogénica. Posteriormente, se identificaron los indicadores para algunos de esos criterios.

Para cada criterio e indicador expresado cuantitativamente, se determinaron clases o rangos numéricos con base en los valores medidos para cada uno de ellos; mientras que, para los expresados de manera cualitativa, se definieron categorías con base en las observaciones realizadas.

A cada rango y categoría pertenecientes a un mismo criterio o indicador, se les asignó una ponderación numérica consecutiva según su menor o mayor condicionamiento a la erosión de los acantilados; así, la contribución relativa de cada uno de ellos a la susceptibilidad de los acantilados, quedó expresada como: baja (1), moderada (2), alta (3) y muy alta (4). Según el número de rangos o categorías establecidos para cada criterio o indicador, algunos de estos últimos solo tienen contribuciones relativas como: baja (1) y alta (2); y baja (1), moderada (2) y alta (3).

Se valoraron los criterios e indicadores para cada uno de los sectores, según las ponderaciones descritas anteriormente. Se calculó el índice de susceptibilidad de los acantilados mediante la siguiente expresión (Gornitz et al., 1990; Kokot et al., 2004; Sheik Mujabar & Chandrasekar, 2011; Sudha Rani et al., 2015; Barros-Serafim et al., 2019):

$$\text{Índice de susceptibilidad} = \sqrt{\frac{abcdefghijklm}{N}}$$

Donde, *a* = altura del acantilado, *b* = altura de la pendiente costera, *c* = pendiente del acantilado; *d* = pendiente de la playa, *e* = movimientos en masa, *f* = litología del pie del acantilado, *g* = litología del tope del acantilado, *h* = altura promedio del oleaje, *i* = rango mareal,

$j$  = altura de la marea,  $k$  = tasa de retroceso costero,  $l$  = vegetación en el tope del acantilado,  $m$  = intervención antrópica y  $N$  = número de criterios e indicadores considerados en el índice.

Con base en los resultados del índice de

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El análisis sobre la morfodinámica imperante en cada uno de los sectores y sus consecuentes velocidades de retroceso de los escarpes y de la línea de costa, es el resultado de la interpretación integral y de las interrelaciones entre los criterios

susceptibilidad, se calcularon los percentiles 25, 50 y 75 con el objetivo de categorizarlos. Finalmente, con los percentiles calculados se definieron los rangos y niveles de susceptibilidad de los acantilados.

o indicadores, considerados condicionantes de la intensidad de la erosión sobre los acantilados. Estos criterios permitieron cuantificar y/o valorar los procesos geomorfológicos que controlan la evolución de los acantilados (Tabla 1).

**Tabla 1** – Características físico-naturales de los acantilados, hidrodinámicas litorales y antrópicas en los sectores de estudio.

Criterio	Sectores de acantilados									
	Ayampe	Rinconada	Oloncito	Simón Bolívar	Ayangue	Punta Blanca	La Chocolatera	Anconito	Ancón	
Morfológico	Altura del acantilado (m)	> 25	> 25	> 25	< 10	< 25	10 < H < 15	15 < H < 20	> 25	> 25
	Altura de la pendiente costera (m)	100	100	80	60	–	–	80	35	35
	Pendiente del acantilado (°)	53	48	85	20	30	31	32	32	31
	Tipo de pendiente	Rectilínea a ligeramente cóncava	Cóncava – convexa	Ligeramente cóncava a rectilínea	Cóncava	Rectilínea	Rectilínea	Ligeramente cóncava	Rectilínea a ligeramente convexa	Ligeramente cóncava a ligeramente convexa
	Pendiente de la playa (°)	5	5	–	4	–	5	–	6	7
	Movimientos en masa	Deslizamientos	Deslizamientos	Desprendimientos de roca	Deslizamientos	Desprendimientos de roca	Desprendimientos de roca	Desprendimientos de roca	Desprendimientos de roca	Deslizamientos
Litológico	Pie del acantilado	Basalto	Lutita	Arenisca	Lutita	Arenisca	Arenisca	Conglomerado	Arenisca alternada con lutita	Lutita
	Tope del acantilado	Arenisca	Lutita	Arenisca	Lutita	Arenisca	Arenisca	Arenisca	Arenisca alternada con lutita	Lutita
Hidrodinámico	Altura promedio del oleaje	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	2,07	2,70	2,07	2,07
	Rango mareal (m)	2,86	2,86	2,86	2,37	2,37	2,32	2,32	2,22	2,22
	Altura de la marea (m)	1,60	1,60	1,60	1,32	1,32	1,31	1,31	1,24	1,24
Tasa de retroceso costero (m/año)	0,14	0,12	0,49	0,13	0,22	0,51	0,37	0,11	1,28	
Vegetación en el tope del acantilado	Matorral xerófilo	Matorral xerófilo	Matorral xerófilo	Matorral xerófilo	Matorral xerófilo	Sin cobertura vegetal	Sin cobertura vegetal	Sin cobertura vegetal	Sin cobertura vegetal	

### Sector Ayampe

Los acantilados en este sector son bastante altos y continuados en ascenso por una pendiente costera que supera los 110 m de altura (Figura 4A). La cara principal de los acantilados es bastante inclinada (Figura 5A), y la pendiente de los depósitos de playa es alta, lo cual está asociado, principalmente, a la granulometría gruesa del material.

Los acantilados son antecedidos por una plataforma de abrasión de superficie irregular y está modelada en roca volcánica (basalto). El material litológico de la plataforma exhibe una densidad de fracturamiento moderado, con dos familias o patrones de diaclasas de orientaciones preferenciales. De la plataforma de abrasión sobresalen algunas estacas de escasas alturas, productos de la erosión diferencial sobre la misma litología.

La transición entre el pie de los acantilados y la plataforma de abrasión, se distingue por la presencia de depósitos de playas permanentes de arenas gruesas, cuyas partes más altas (bermas) están constituidas por sedimentos mucho más gruesos (gravillas, gravas y guijarros).

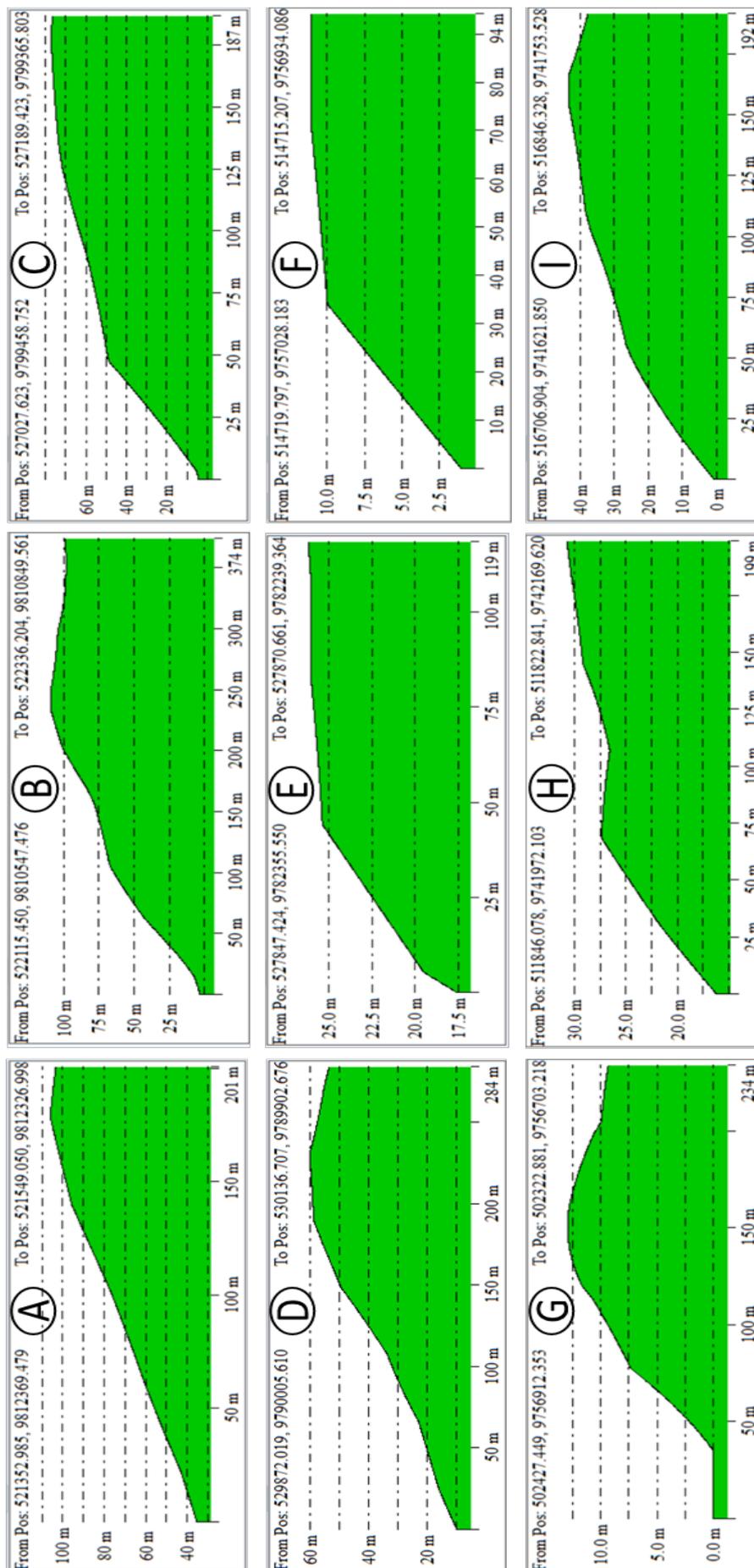
La litología basáltica es la que constituye la base de los acantilados, imprimiéndoles una mayor resistencia relativa frente a los agentes y procesos erosivos litorales. Por el contrario, las cimas están compuestas por areniscas, en cuyos escarpes se evidencia la ocurrencia de procesos de remoción en masa.

La altura del oleaje es moderada, por lo que la energía empleada en su trabajo erosivo tiende a ser moderada. La dinámica del oleaje acá descrita representa a las condiciones promedios para toda la línea de costa de la península Santa Elena.

El retroceso de los escarpes responde a una tasa muy baja, lo cual es controlado, principalmente, por la resistencia de la litología de la base de los mismos (Figura 6A). No existe intervención antropogénica importante en la cima de los acantilados ni sobre la pendiente costera. Aunado a ello, sobre la pendiente costera media y baja y la cima de los acantilados, existe una cobertura moderada de vegetación, mientras que, en las partes más altas de la pendiente costera, domina una cobertura boscosa.



**Figura 4** – Panorámicas de los acantilados litorales en los sectores de estudio: (A) Ayampe, (B) Rinconada, (C) Oloncito, (D) Simón Bolívar, (E) Ayangue, (F) Punta Blanca, (G) La Choclatera, (H) Anconcito y (I) Ancón.



**Figura 5** – Perfis topográficos transversais de los acantilados litorales en los sectores de estudio: (A) Ayampe, (B) Rinconada, (C) Oloncito, (D) Simón Bolívar, (E) Ayangue, (F) Punta Blanca, (G) La Chocolatera, (H) Anconcito y (I) Ancón.

## **Sector La Rinconada**

Se presentan acantilados altos que superan los 25 m de altura, con pendientes costeras por encima de los 100 m (Figura 4B). El escarpe de los acantilados es bastante inclinado (Figura 5B), y la pendiente de la playa en la base de los mismos es alta, compuesta principalmente de arena. La plataforma de abrasión es de superficie extensa, evidenciando el retroceso de los acantilados.

La litología y la hidrodinámica constituyen los principales factores determinantes del retroceso litoral. El material está constituido principalmente por lutitas frágiles de laminaciones delgadas y fracturadas, que se extienden desde la base de los acantilados hasta la cima de los mismos, imprimiéndoles una alta sensibilidad frente a los procesos erosivos. Se observaron incipientes nichos de abrasión al pie de los acantilados, lo cual contribuye a su inestabilidad. Se evidenció la ocurrencia de deslizamientos a lo largo del perfil litoral del sector. La altura del oleaje es moderada, incidiendo directamente sobre la base de los acantilados durante las pleamares.

La evolución de la línea de costa responde a una tasa de retroceso baja, favorecida, principalmente, por una extensa plataforma de abrasión de superficie muy regular, que limita la acción del oleaje (Figura 6B). No se evidenció intervención antropogénica importante. Se observó baja cobertura vegetal en el perfil litoral, lo que facilita la ocurrencia de procesos de remoción en masa.

## **Sector Oloncito**

Son acantilados bastante altos con una pendiente costera que supera los 80 m de altura (Figura 4C). La inclinación del escarpe es vertical, lo que facilita el desprendimiento de material rocoso (bloques) que se acumula en la base (Figura 5C).

No existen playas permanentes en la base de los acantilados. La plataforma de abrasión es de superficie irregular y de poca extensión subaérea expuesta, permitiendo el ataque directo del oleaje aunado a la oscilación mareal. Los acantilados están constituidos por areniscas muy bien consolidadas de estratificación horizontal a ligeramente inclinada, que exhiben dos patrones de fracturas principales. Además de bloques, en la base de los acantilados existen acumulaciones de guijarros y gravas, productos del trabajo del oleaje sobre el material desprendido.

La hidrodinámica litoral en el sector es agresiva, controlando la morfodinámica y el retroceso litoral en el sector. Este retroceso responde a una

tasa moderada, siendo una de las más altas en el área de estudio en su totalidad (Figura 6C).

Existe infraestructura en la cima de los acantilados en situación de riesgo, como consecuencia del retroceso de los acantilados (Figura 7A). Las afectaciones podrían acelerarse con la ocurrencia de movimientos en masa cosísmicos. Sobre gran parte de las cimas de los acantilados se asienta una importante cobertura vegetal, elemento que ayuda a la estabilidad relativa en la pendiente costera.

## **Sector Simón Bolívar**

Los acantilados en este sector son muy bajos con alturas que no superan los 10 m, lo que representa un factor importante en la evolución litoral local. La pendiente costera que les continúa por encima, apenas alcanza 60 m de altura (Figura 4D). La pendiente de los acantilados es moderadamente inclinada (Figura 5D), siendo la más baja en la totalidad del área de estudio, al igual que la pendiente de la playa. La playa es de régimen permanente, constituida por sedimentos de granulometría correspondiente a arenas finas.

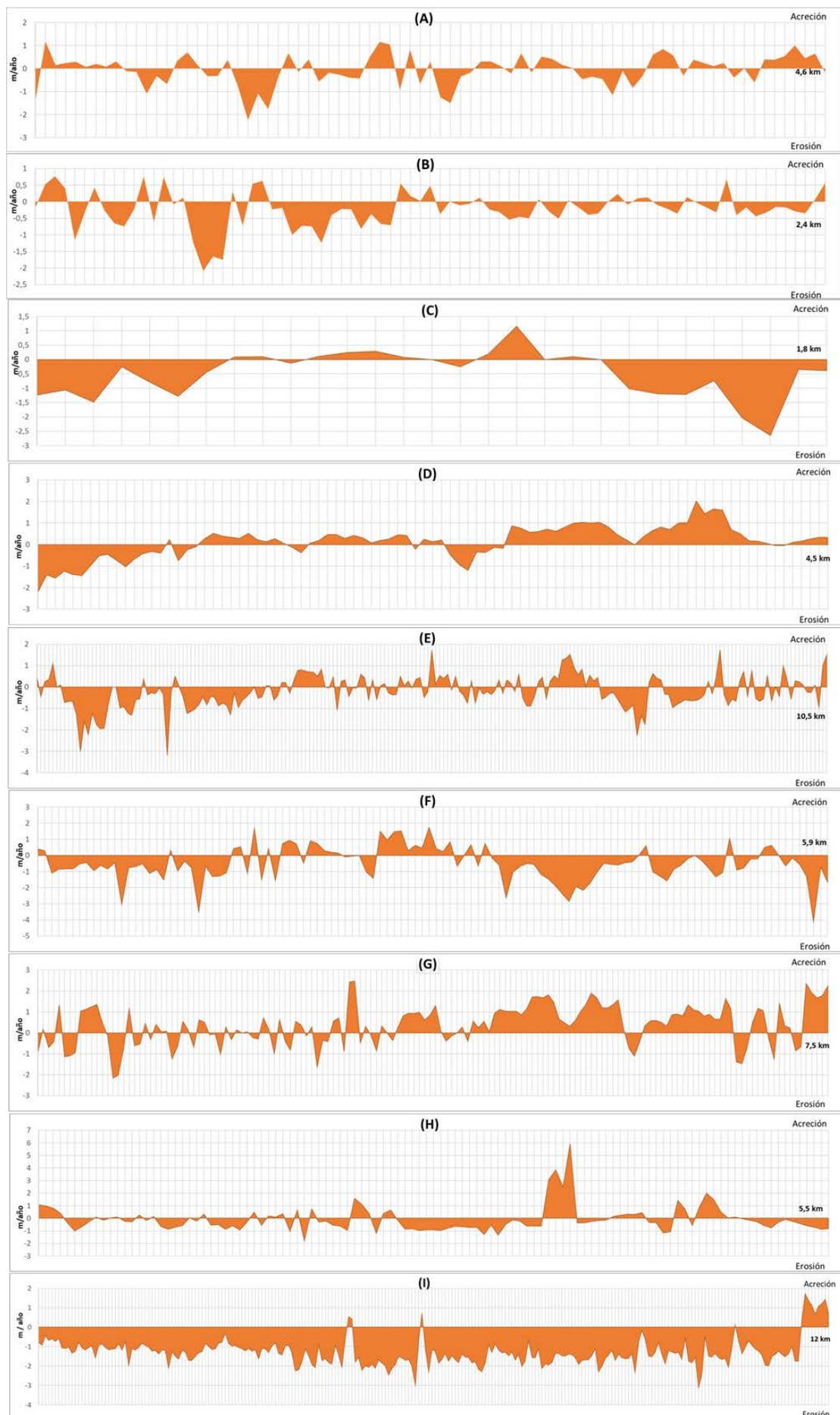
Los acantilados y la pendiente costera están compuestos por lutitas de fácil meteorización, en cuyos escarpes se evidencia la ocurrencia de procesos de remoción en masa. La hidrodinámica litoral controla los procesos erosivos, con una altura del oleaje moderada.

El retroceso del escarpe responde a una tasa baja, lo cual es controlado principalmente por la presencia de una playa amplia en el sector (Figura 6D). La infraestructura vial pudiera ser afectada eventualmente con el retroceso de los acantilados. Existe una importante cobertura vegetal boscosa extendida sobre la cima de los acantilados, lo que representa un elemento de estabilidad relativa.

## **Sector Ayangué**

Se distinguen acantilados de alturas medianas inferiores a los 25 m, que forman una especie de mesa con cimas aplanadas sobre las que existen asentamientos humanos (Figura 4E). La pendiente de la cara principal de los acantilados es moderadamente inclinada (Figura 5E). No se evidencia desarrollo de plataforma de abrasión, debido a la profundidad del agua y su contacto permanente con los acantilados.

La litología está compuesta principalmente de areniscas muy competentes y bien cementadas, expuestas en la totalidad de los escarpes. La estructura del macizo rocoso se presenta muy fracturada con patrones de diaclasas verticales y



**Figura 6** – Perfíles evolutivos (acreci3n/erosi3n) de los diferentes sectores de acantilados litorales: (A) Ayampe, (B) Rinconada, (C) Oloncito, (D) Sim3n Bol3var, (E) Ayangué, (F) Punta Blanca, (G) La Chocolatera, (H) Anconcito y (I) Anc3n.



**B**



**Figura 7** – Impacto del retroceso de acantilados sobre infraestructura (edificaciones) asentada en la franja litoral de los sectores (A) Oloncito y (B) Punta Blanca.

otras paralelas a la estratificación. Esta condición geomecánica determina un estilo de meteorización en grandes bloques que, por inestabilidad posterior en los mismos y efecto de la gravedad, se producen caídas de bloques, cuyos materiales permanecen en la base de los acantilados.

El oleaje es de altura moderada, por lo que la energía empleada en el proceso erosivo es moderada. El retroceso de los acantilados responde a una tasa de baja a moderada, asociada principalmente a la resistencia del macizo rocoso (Figura 6E). En las cimas existen complejos turísticos y otras infraestructuras, expuestas a los peligros

relacionados con el retroceso de los escarpes y las caídas de bloques de roca. La cobertura vegetal es moderada con presencia de algunas especies arbóreas, cuyas raíces producen meteorización biológica en el macizo rocoso.

#### **Sector Punta Blanca**

Los acantilados son bajos con alturas comprendidas entre 10 m y 15 m, de morfología semejante a terrazas marinas, sobre los que se asientan desarrollos habitacionales y vacacionales (Figura 4F). La pendiente de la cara principal de los acantilados es moderadamente inclinada (Figura 5F) y la pendiente de la playa es alta,

asociada principalmente a la granulometría gruesa del material (arenas gruesas, gravas y guijarros).

Los acantilados son antecidos por una extensa plataforma de abrasión, ambas formas modeladas sobre una litología compuesta por areniscas resistentes muy fracturadas, cuya estratificación buza en sentido opuesto a la pendiente topográfica de los escarpes. Estas discontinuidades se comportan como planos de debilidades del macizo rocoso frente a los procesos de meteorización y erosión, los cuales generan caídas de materiales (guijarros y bloques) que se acumulan en la base de los acantilados, con morfologías angulosas.

Se observó el desarrollo de importantes nichos de abrasión, cavidades que le suman inestabilidad a los acantilados, considerando el peso de la infraestructura suprayacente. La presencia de la playa es intermitente, controlada por la hidrodinámica litoral.

El retroceso del escarpe ocurre a razón de una tasa moderada, la cual es la más alta en la totalidad del área de estudio (Figura 6F). Parte de la infraestructura asentada en la cima de los acantilados se encuentra bajo riesgo de colapso (Figura 7B).

### **Sector La Chokolatera**

Los acantilados son de alturas medianas con valores entre 10 m y 15 m, correspondientes a terrazas litorales de origen tectónico. La parte más alta de este sector es el cerro La Chokolatera, con una altura máxima de 80 msnm (Figura 4G), la pendiente de la cara principal de los acantilados es bastante inclinada (Figura 5G), y la pendiente de los depósitos al pie de estos es alta, debido a lo grueso de los fragmentos líticos que se acumulan en él.

Los acantilados son antecidos por el escaso desarrollo de una plataforma de abrasión de superficie irregular. La litología en estas geofomas está compuesta, principalmente, por materiales conglomeráticos bien consolidados y resistentes en la base, y areniscas en el tope. La superficie de la plataforma exhibe promontorios litorales de pequeñas alturas, producto de la erosión diferencial.

La hidrodinámica litoral se caracteriza por presentar las máximas alturas del oleaje en toda el área de estudio, con una alta energía erosiva. El retroceso de los acantilados sigue una tasa de retrogradación baja, controlada principalmente, por la resistencia de la litología (Figura 6G).

### **Sector Anconcito**

En el sector se presentan acantilados de morfologías similares a terrazas marinas; son bastante altos, con medidas que superan los 25 m, perfil que se prolonga a lo largo de una pendiente costera que alcanza los 35 m (Figura 4H). La pendiente de los acantilados es suficientemente inclinada (Figura 5H), y la pendiente de la playa es bastante alta, como expresión de una granulometría conformada por arenas gruesas y poca amplitud (ancho) del depósito.

La playa es de régimen permanente y de gran extensión longitudinal, cuyos sedimentos suprayacen a un incipiente desarrollo de plataforma de abrasión. Los acantilados están modelados sobre afloramientos litológicos conformados por una alternancia de areniscas y lutitas, con estratificación ligeramente inclinada, y buzamiento en sentido contrario a la pendiente topográfica. Estas rocas ofrecen una resistencia relativa a la erosión ocasionada por la energía del oleaje. Es frecuente la ocurrencia de deslizamientos rotacionales, volcamientos y caídas gravitacionales de bloques de roca, así como la acumulación de estos últimos en la base de los acantilados.

La hidrodinámica responde a condiciones moderadas que, aunada a la relativa erodabilidad de la litología, determinan una tasa de retroceso baja (la más baja en toda el área de estudio) para la línea de costa en este sector (Figura 6H).

La intervención antropogénica en la cima de los acantilados y sobre la pendiente costera es importante, lo cual se evidencia en las modificaciones topográficas realizadas con maquinarias para formar explanadas (terraceo). La vegetación prácticamente es ausente en todo el perfil litoral del sector, lo cual determina condiciones propicias para el accionar de procesos erosivos y la ocurrencia de procesos de remoción en masa.

### **Sector Ancón**

Los acantilados acá son muy similares a los de Anconcito en lo que a su morfología y dimensiones se refiere; son bastante altos, con valores por encima de los 25 m, y continuados hacia arriba por una pendiente costera que alcanza los 35 m de altura (Figura 4I). La pendiente de la cara principal de los acantilados es moderadamente inclinada (Figura 5I), y la pendiente de los depósitos de playa es alta, atribuida a la granulometría y al volumen de material acumulado.

Al pie de los acantilados existen playas permanentes de poca amplitud (bermas poco anchas), que se extienden a lo largo de todo el sector. La litología

sobre la que se han modelado los acantilados corresponde a afloramientos de lutitas delezables, con estratificación buzante a favor de la pendiente topográfica. Estas características geológicas determinan la activación de procesos de remoción en masa (deslizamientos) en los escarpes, así como flujos vinculados a la escorrentía superficial, que originan acumulaciones cónicas de pequeñas dimensiones en la base de los acantilados.

Las condiciones hidrodinámicas son similares a la del sector Anconcito, sin embargo, para este sector, se registró la tasa de retroceso costero más alta, lo cual es atribuido, principalmente, a la poca resistencia de la litología de los acantilados frente a la erosión litoral (Figura 6I).

La cima de los acantilados está ampliamente intervenida por el asentamiento poblacional de la localidad de Ancón, el cual se extiende hasta el borde donde inician los escarpes. En estos bordes se evidencian fuertes procesos de erosión regresiva y formación de cárcavas, que comprometen la seguridad de algunas viviendas e infraestructura vial. No existe cobertura vegetal importante en

este sector, la misma se limita a pequeños parches de matorral xerófilo presentes en las coronas de las cárcavas, por lo que no representa un elemento de peso en la estabilidad de los materiales.

### Susceptibilidad a la erosión litoral

La erosión litoral es un proceso complejo resultante, en muchos casos, de interacciones múltiples a diferentes escalas temporales, entre los procesos naturales e intervenciones antropogénicas sobre las áreas costeras (Correa & Vernet, 2004). En la provincia Santa Elena, los principales factores contribuyentes a la erosión litoral pueden identificarse en función al contexto geomorfológico, geológico (litología y estructuras) e hidrodinámico.

De igual manera, la presencia o ausencia de cobertura vegetal, la tasa de retroceso costero y los efectos de las intervenciones antropogénicas, son variables que distinguen a cada sector de acantilados en particular; desde otro punto de vista, son elementos que aportan de manera relativa, en menor o mayor grado, a la susceptibilidad de los acantilados frente a la erosión litoral (Tabla 2).

**Tabla 2** – Rangos y ponderación de los criterios considerados en el análisis de susceptibilidad de los acantilados a la erosión litoral.

	Criterio	Rango	Ponderación	Contribución relativa a la susceptibilidad
Morfológico	Altura del acantilado (m)	> 25	1	Baja
		15 – 25	2	Moderada
		< 15	3	Alta
	Altura de la pendiente costera (m)	> 70	1	Baja
		40 – 70	2	Moderada
		0 – 40	3	Alta
	Pendiente del acantilado (°)	20 – 43	1	Baja
		43 – 66	2	Moderada
		66 – 90	3	Alta
	Pendiente de la playa (°)	7,5 – 5	1	Baja
		5 – 2,5	2	Moderada
		2,5 – 0	3	Alta
Movimientos en masa	Desprendimientos de roca	1	Baja	
	Deslizamientos	2	Alta	
Litológico	Pie del acantilado	Basalto	1	Baja
		Conglomerado	2	Moderada
		Arenisca	3	Alta
		Lutita	4	Muy alta
	Tope del acantilado	Basalto	1	Baja
		Conglomerado	2	Moderada
		Arenisca	3	Alta
		Lutita	4	Muy alta
Hidrodinámico	Altura promedio del oleaje	1,1 – 1,6	1	Baja
		1,6 – 2,1	2	Moderada
		2,1 – 2,7	3	Alta
	Rango mareal	2,22 – 2,24	1	Baja
		2,44 – 2,66	2	Moderada
		2,66 – 2,88	3	Alta
		1,24 – 1,36	1	Baja
	Altura de la marea	1,36 – 1,48	2	Moderada
		1,48 – 1,60	3	Alta
		0,11 – 0,5	1	Baja
Tasa de retroceso costero	0,5 – 0,9	2	Moderada	
	0,9 – 1,3	3	Alta	
	Vegetación en el tope del acantilado	Matorral xerófilo	1	Baja
Sin cobertura vegetal		2	Alta	
Intervención antrópica	No	1	Baja	
	Si	2	Alta	

Con base en los resultados de la aplicación del índice de susceptibilidad de los acantilados a la erosión litoral en los distintos sectores del área de estudio (Tabla 3), se obtuvieron los

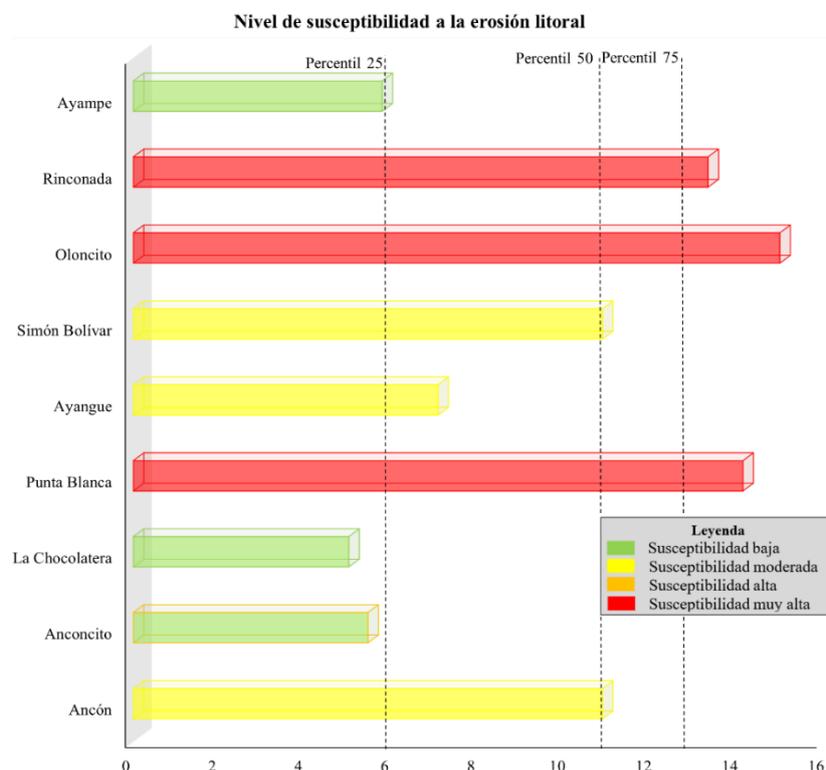
rangos y las categorías cualitativas que conforman la escala final de susceptibilidad de los acantilados a la erosión litoral (Tabla 4 y Figura 8).

**Tabla 3** – Puntuación de los criterios que contribuyen a la susceptibilidad e índice de susceptibilidad de los acantilados a la erosión litoral en los distintos sectores de estudio.

Criterio		Sectores de acantilados								
		Ayampe	Rinconada	Oloncito	Simón Bolívar	Ayangue	Punta Blanca	La Chocolatera	Anconcito	Ancón
Morfológico	Altura del acantilado	1	1	1	3	2	3	3	1	1
	Altura de la pendiente costera	1	1	1	2	3	3	1	2	2
	Pendiente del acantilado	2	2	3	1	1	1	1	1	1
	Pendiente de la playa	2	2	3	2	3	2	3	1	1
	Movimientos en masa	2	2	1	2	1	1	1	2	2
Litológico	Pie del acantilado	1	4	3	4	3	3	2	4	4
	Tope del acantilado	3	4	3	4	3	3	3	3	4
Hidráulico	Altura promedio del oleaje	2	2	2	2	2	2	3	2	2
	Rango mareal	3	3	3	1	1	1	1	1	1
	Altura de la marea	3	3	3	1	1	1	1	1	1
Tasa de retroceso costero		1	1	1	1	1	2	1	1	3
Vegetación en el tope del acantilado		1	1	1	1	1	2	2	2	2
Intervención antrópica		1	1	2	2	2	2	1	2	2
Índice de susceptibilidad		5,77	13,31	14,98	10,87	7,06	14,12	4,99	5,43	10,87

**Tabla 4** – Escala final de susceptibilidad de los acantilados a la erosión litoral.

Percentil	25 (Q1)	50 (QM)	75 (Q3)	100
Rango	≤ 6,09	6,10 – 10,87	10,88 – 12,76	12,77 – 14,98
Susceptibilidad	Baja	Moderada	Alta	Muy alta



**Figura 8** – Susceptibilidad de los acantilados a la erosión litoral en los sectores de estudio.

Los sectores La Rinconada, Oloncito y Punta Blanca presentan niveles de susceptibilidad muy altos, acentuados, principalmente, por los efectos de la intervención antropogénica (infraestructura habitacional).

Los sectores Simón Bolívar, Ayangue y Ancón exhiben niveles moderados; en los casos de Simón Bolívar y Ancón, condicionados, en gran medida, por el desarrollo de playas permanentes extensas al pie de los acantilados, y afloramientos litológicos poco resistentes al impacto hidráulico del oleaje; en

el caso particular de Ayangue, se distingue por la acumulación de grandes bloques de roca en la base de los acantilados, caídos de sus escarpes.

Los sectores Ayampe, La Chocolatera y Anconcito muestran baja susceptibilidad a la erosión, sus acantilados están compuestos por rocas más resistentes a la erosión; por otra parte, tienen buen desarrollo de playas y/o de plataformas de abrasión. Además, en los sectores Ayampe y La Chocolatera, no existe intervención antropogénica importante.

## CONCLUSIONES

El retroceso diferencial entre los acantilados de los distintos sectores estudiados, es el resultado de la conjugación de factores físicos (litología, estructuras de los afloramientos rocosos, pendiente topográfica y morfodinámica) y antropogénicos (obras de estabilización o prácticas ingenieriles inadecuadas).

En mayor o menor grado, todos los acantilados muestran evidencias de retroceso del escarpe debido al impacto de la hidrodinámica litoral, y la tipología de los procesos de remoción en masa, factores que, en conjunto, controlan la morfología de los perfiles topográficos transversales litorales.

En consecuencia, en aquellos sectores en los que destacan factores que propician la erodabilidad de los acantilados y el retroceso de la línea de costa, existe una alta probabilidad de que se generen daños considerables sobre las infraestructuras habitacionales y viales que se localizan a lo largo del litoral, como ya es evidenciado en algunos casos muy particulares.

Los sectores de acantilados que presentan susceptibilidad muy alta están modelados sobre litologías de alta erodabilidad, además de las características geomorfológicas, topográficas y antropogénicas que coadyuvan a tales niveles. Los acantilados con menor susceptibilidad relativa a los procesos erosivos, corresponden a aquellos desarrollados sobre grupos litológicos menos sensibles a la erosión litoral, aunado a bajos niveles de intervención antropogénica.

Otro factor de gran peso en la definición de los niveles de susceptibilidad es la topografía, determinada principalmente por las pendientes de las vertientes litorales y de los acantilados, así como por los desniveles en estos, rasgos que, sumados a la estructura dominante en cada una de las litologías aflorantes, determinan condiciones para la activación de procesos de remoción en masa y, la progradación de nichos de abrasión en la base de algunos acantilados activos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Instituto de Fomento al Talento Humano (IFTH) de la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (SENESCYT) de Ecuador, por el financiamiento del proyecto de investigación del cual forma parte esta contribución.

## REFERENCIAS

- ANDRADE, H.; GUTIÉRREZ, S.; ANDRADE, H. **Estado del medio ambiente marino y costero del Pacífico sudeste** (Serie Estudios Regionales, n. 4). Guayaquil: CPPS – Comisión Permanente del Pacífico Sur, 244 p., 2013.
- BARROS-SERAFIM, M.; SIEGLE, E.; CORSI, A.C.; BONETTI, J. Coastal vulnerability to wave impacts using a multi-criteria index: Santa Catarina (Brazil). **Journal of Environmental Management**, v. 230, p. 21-32, 2019.
- BLANCO-CHAO, R.; PEDOJA, K.; WITT, C.; MARTINOD, J.; HUSSON, L.; REGARD, V.; AUDIN, L.; NEXER, M.; DELCAILLAU, B.; SAILLARD, M.; MELNICK, D.; DUMONT, J.F.; SANTANA, E.; NAVARRETE, E.; MARTILLO, C.; PAPPALARDO, M.; AYALA, L.; ARAYA, J.F.; FEAL-PÉREZ, A.; CORREA, D.; AROZARENA-LLOPIS, I. The rock coast of South and Central America. En: KENNEDY, D.M.; STEPHENSON, W.J.; NAYLOR, L.A. (Editores), **Rock coast geomorphology: a global synthesis** (Geological Society, London, Memoirs, v. 40). London: The Geological Society of London, p. 155-191, 2014.
- BRETT, N. Por qué las comunidades costeras vulnerables merecen toda nuestra atención? **FIDA – Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola**, 2019. Disponible: <https://www.ifad.org/es/web/latest/-/blog/why-we-should-care-about-vulnerable-coastal-communities>. Consultado: 17Mar2021.
- CICCARELLI, D.; PINNA, M.S.; ALQUINI, F.; COGONI, D.; RUOCCO, M.; BACCHETTA, G.; SARTI, G.; FENU, G. Development of a coastal dune vulnerability index for Mediterranean ecosystems: a useful tool for coastal managers? **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 187, p. 84-95, 2017.
- CLAUDINO-SALES, V. & CARVALHO, A.M. DE. Dinâmica costeira controlada por promontorios no estado do Ceará, Nordeste do Brasil. **Geociências**, v. 33, n. 4, p. 579-595, 2014.
- CLIMATE-DATA. **Ecuador clima**, 2021. Disponible: <https://es.climate-data.org/>. Consultado: 17Mar2021.
- COLLOT, J.Y.; SALLARÉS, V.; PAZMIÑO, N. **Geología y geofísica marina y terrestre del Ecuador: desde la costa**

- continental hasta las islas Galápagos.** París: IRD – Institut de Recherche pour le Développement / INOCAR – Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada del Ecuador, 278 p., 2009.
- CORREA, I.D. & VERNETTE, G. Introducción al problema de la erosión litoral en Urabá (sector Arboletes – Turbo) costa Caribe colombiana. **Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras**, v. 33, p. 7-28, 2004.
- DE PIPPO, T.; DONADIO, C.; PENNETTA, M.; PETROSINO, C.; TERLIZZI, F.; VALENTE, A. Coastal hazard assessment and mapping in Northern Campania, Italy. **Geomorphology**, v. 97, n. 3-4, p. 451-466, 2008.
- DOMÍNGUEZ-CUESTA, M.J.; FERRER-SERRANO, A.; RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, L.; LÓPEZ-FERNÁNDEZ, C.; JIMÉNEZ-SÁNCHEZ, M. Análisis del retroceso de la costa cantábrica en el entorno del Cabo Peñas (Asturias, N España). **Geogaceta**, n. 68, p. 63-66, 2020.
- DUMONT, J. F.; SANTANA, E.; VILEMA, W.; PEDOJA, K.; ORDÓÑEZ, M.; CRUZ, M.; JIMÉNEZ, N.; ZAMBRANO, I. Morphological and microtectonic analysis of Quaternary deformation from Puná and Santa Clara Islands, Gulf of Guayaquil, Ecuador (South America). **Tectonophysics**, v. 399, n. 1-4, p. 331-350, 2005.
- EGÜEZ, A.; GAONA, M.; ALBÁN, A. **Mapa geológico de la República del Ecuador, Escala 1:1.000.000.** Quito: Ministerio de Minería – Instituto Nacional de Investigación Geológica Minero Metalúrgico, 2017.
- ENRÍQUEZ VILLARREAL, J.W. & ESPINOSA QUINDE, M.A. **Análisis tectono-estratigráfico de la cordillera costera entre las poblaciones de Jipijapa y La Rinconada.** Quito, 2018. 147 p. Trabajo de Titulación (Ingeniería Geológica) – Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos, Escuela Politécnica Nacional.
- FEDERICI, P.R. & RODOLFI, G. Rapid shoreline retreat along the Esmeraldas coast, Ecuador: natural and man-induced processes. **Journal of Coastal Conservation**, v. 7, n. 2, p. 163-170, 2001.
- FUCKS, E.E.; SCHNACK, E.J.; SCALISE, A.; AHRENDT, K.; VAFEIDIS, N.; STERR, H. Procesos modeladores en los acantilados de Las Grutas, provincia de Río Negro. **Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente**, n. 34, p. 57-73, 2015.
- GADM – CANTÓN SANTA ELENA – GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN SANTA ELENA. **Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial – Cantón Santa Elena 2014-2019.** Santa Elena: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Santa Elena, 133 p., 2014. Disponible: [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplustagnostico/0960001540001\\_PLAN%20DE%20DESA%20RROLLO%20Y%20ORDENAMIENTO%20TERRITORIAL%2030-01-2015-2%20fin\\_19-02-2015\\_09-41-20.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplustagnostico/0960001540001_PLAN%20DE%20DESA%20RROLLO%20Y%20ORDENAMIENTO%20TERRITORIAL%2030-01-2015-2%20fin_19-02-2015_09-41-20.pdf).  
Accesado: 17Mar2021.
- GADP – SANTA ELENA – GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO PROVINCIAL DE SANTA ELENA. **Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Provincial 2015 – 2019.** Santa Elena: Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Santa Elena, 344 p., 2014. Disponible: [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplustdocumentofinal/0968580510001\\_PDyOT%20%20SANTA%20ELENA%20DOCUMENTO\\_FINAL\\_16-05-2016\\_09-31-46.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplustdocumentofinal/0968580510001_PDyOT%20%20SANTA%20ELENA%20DOCUMENTO_FINAL_16-05-2016_09-31-46.pdf).  
Accesado: 17Mar2021.
- GARCÍA REYNA, O. **Modelación del riesgo a deslizamientos de laderas inducidas por sismos en áreas vulnerables de la ciudad de Chilpancingo, Guerrero.** Chilpancingo de los Bravo, 2018. 162 p. Trabajo de Grado (Maestría en Arquitectura, Diseño y Urbanismo) – Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Autónoma de Guerrero.
- GOOGLE EARTH PRO. 2020. Disponible: <https://earth.google.com>. Accesado: 26Nov2020.
- GOOGLE MAPS. 2020. Disponible: <https://www.google.com.ec/maps/>. Accesado: 26Nov2020.
- GORNITZ, V. Vulnerability of the East Coast, U.S.A. to future sea level rise. **Journal of Coastal Research**, Special Issue n. 9, Proceedings of the Skagen Symposium, p. 201-237, 1990.
- IKEDA, J., & TESTIK, F. Y. Morphodynamics of beach-cliff systems in the Santa Barbara littoral cell. **Ocean Engineering**, v. 172, p. 350-360, 2019.
- INOCAR – INSTITUTO OCEANOGRÁFICO Y ANTÁRTICO DE LA ARMADA DEL ECUADOR. 2020. Disponible: <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php>. Accesado: 26Nov2020.
- KOKOT, R.R.; CODIGNOTTO, J.O.; ELISSONDO, M. Vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar en la costa de la provincia de Río Negro. **Revista de la Asociación Geológica Argentina**, v. 59, n. 3, p. 477-487, 2004.
- LINDAO BAQUE, J.V. & POLONIO BRIONES, L.M. **Evaluación del potencial de licuefacción de suelos en la zona de Chipipe del cantón Salinas.** La Libertad, 2014. 120 p. Trabajo de Titulación (Ingeniería Civil) – Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- MANTECÓN, C.L.; ÁLVAREZ, J.R.; DEL RÍO, J.L. Conflictos derivados de la erosión costera: responsabilidades estatales. Camet Norte, Partido de mar Chiquita, provincia de Buenos Aires, Argentina. **Revista Electrónica del Instituto de Investigaciones Ambrosio L. Gioja**, n. 18, p. 1-23, 2017.
- MICCADEI, E.; MASCIOLI, F.; RICCI, F.; PIACENTINI, T. Geomorphology of soft clastic rock coasts in the mid-western Adriatic Sea (Abruzzo, Italy). **Geomorphology**, v. 324, p. 72-94, 2019.
- MORENO-ALCÍVAR, L.; MUÑOZ-ROSADO, M.; RAMÍREZ-PALMA, R. Caracterización mecánica de suelos del perfil costero entre Ancón y Anconcito. **Revista Ciencia UNEMI**, v. 12, n. 31, p. 40-53, 2019.
- PEÑA-ALONSO, C.; FRAILE-JURADO, P.; HERNÁNDEZ-CALVENTO, L.; PEREZ-CHACÓN, E.; ARIZA, E. Measuring geomorphological vulnerability on beaches using a set of indicators (GVI): a tool for management. **Journal of Environmental Management**, v. 204, p. 230-245, 2017a.
- PEÑA-ALONSO, C.; HERNÁNDEZ-CALVENTO, L.; PÉREZ-CHACÓN, E.; ARIZA-SOLÉ, E. The relationship between heritage, recreational quality and geomorphological vulnerability in the coastal zone: a case study of beach systems in the Canary Islands. **Ecological Indicators**, v. 82, p. 420-432, 2017b.
- RODRIGUES DA SILVA, R.; PINHEIRO, L. DE S.; XIMENES NETO, A.R.; MORAIS, J.O. DE. Mapeamento lidar nas falésias costeiras do leste cearense (nordeste do Brasil). **Geociências**, v. 39, n. 2, p. 463-479, 2020.
- SAJINKUMAR, K.S.; KANNAN, J.P.; INDU, G.K.; MURALEEDHARAN, C.; RANI, V.R. A composite fall-slippage model for cliff recession in the sedimentary coastal cliffs. **Geoscience Frontiers**, v. 8, n. 4, p. 903-914, 2017.
- SANTOS, A.N.; BITTENCOURT, A.C. DA S.P.; NASCIMENTO, L. DO; DOMINGUEZ, J.M.L. A ocupação urbana na orla da Costa das Baleias, Estado da Bahia: suscetibilidade a danos econômicos em função da dinâmica costeira. **Geociências**, v. 26, n. 2, p. 173-180, 2007.
- SENPLADES – Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. **Plan de ordenamiento del espacio marino costero.** Quito: SENPLADES – Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, p. 260. 2017. Disponible: <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/07/Plan-de-Ordenamiento-del-Espacio-Marino-Costero.pdf>.  
Accesado: 17Mar2021.
- SHEIK MUJABAR, P. & CHANDRASEKAR, N. Coastal erosion hazard and vulnerability assessment for southern coastal Tamil Nadu of India by using remote sensing and GIS. **Natural Hazards**, v. 69, n. 3, p. 1295-1314, 2011.
- SILVA, B.M.F. DA; SANTOS JÚNIOR, O.F. DOS; FREITAS NETO, O. DE; SCUDELARI, A.C. Erosão em falésias costeiras e movimentos de massa no Rio Grande do Norte, nordeste do Brasil. **Geociências**, v. 39, n. 2, p. 447-461, 2020.
- SOLEDISPA P., B. Características geomorfológicas y sedimentológicas de la bahía de Santa Elena. **Acta Oceanográfica del Pacífico**, v. 15, n. 1, p. 174-191, 2009.

- STANCHEV, H.; STANCHEVA, M.; YOUNG, R.; PALAZOV, A. Analysis of shoreline changes and cliff retreat to support marine spatial planning in Shabla municipality, northeast Bulgaria. **Ocean & Coastal Management**, v. 156, p. 127-140, 2018.
- SUDHA RANI, N.N.V.; SATYANARAYANA, A.N.V.; BHASKARAN, P.K. Coastal vulnerability assessment studies over India: a review. **Natural Hazards**, v. 77, n. 1, p. 405-428, 2015.
- TOFFANI, M.; CASELLI, A.T.; LOTHARI INAUDI, L.D. Estudio de los acantilados activos y del campo de dunas de Bahía Creek, Río Negro, Argentina, como base para la elaboración de un mapa de peligro geológico. **Revista de la Asociación Geológica Argentina**, v. 77, n. 1, p. 31-46, 2020.
- VARELA, A.L. & RON, S.R. Geografía y clima del Ecuador. **BioWeb, Pontificia Universidad Católica del Ecuador**, 2020.
- VERA, L.; LUCERO, M.; MINDIOLA, M. Caracterización oceanográfica de la costa central ecuatoriana entre la punta del Morro y Jaramijó, Ecuador. **Acta Oceanográfica del Pacífico**, v. 15, n. 1, p. 7-17, 2009.
- WINCKELL, A. & ZEBROWSKI, C. Los paisajes naturales del Ecuador: las regiones y paisajes del Ecuador. En: WINCKELL, A. (Coord.), **Geografía básica del Ecuador** (t. IV, Geografía Física, v. 2). Quito: CEDIG – Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica, 417 p., 1997.
- YOUNG, A.P. Decadal-scale coastal cliff retreat in southern and central California. **Geomorphology**, v. 300, p. 164-175, 2018.

*Submetido em 9 de outubro de 2021*

*Aceito para publicação em 28 de janeiro de 2022*