



Identificación de tipos de deslizamientos en la zona de acantilados entre Ancón y Anconcito, Santa Elena, Ecuador

Identification of Landslide types in cliffs between Ancon and Anconcito, Santa Elena, Ecuador

Lucrecia Cristina Moreno Alcivar^{1,2*}

1 Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE). Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Avda. principal La Libertad – Santa Elena, Ecuador.

2 Universidad Nacional de Tumbes, Escuela de Posgrado, Ciudad Universitaria S/N, Pampagrande, Tumbes, Perú.

*Autor correspondiente: lmorenoa@untumbes.edu.pe (L. C. Moreno Alcivar).

ID ORCID de los autores

L. C. Moreno Alcivar:  <http://orcid.org/0000-0001-8928-9813>

RESUMEN

En las costas ecuatorianas, son frecuentes los deslizamientos que se presentan en acantilados que corresponden a una inestabilidad mantenida por las características mecánicas de suelos y rocas en la que se presentan discontinuidades, planos de falla que son activadas por las precipitaciones o erosión costera; por este motivo esta investigación estuvo enfocada en identificar los diferentes tipos de deslizamientos que se encuentran en las zonas de acantilados costeros de Ancón y Anconcito en la provincia de Santa Elena, este estudio se llevó a cabo mediante vuelos fotogramétricos con tecnología UAV, realizado por tres vuelos en la zona de estudio. Se encontró que el sector de estudio corresponde a una costa rocosa de tipo inclinada, en donde se hallaron deslizamientos de masas (suelos) y deslizamientos de rocas, tales como: rotacionales, flujos de tierra, cárcavas de erosión, caída de bloques, socavamientos, roturas planares y roturas en cuña. Los resultados identificados en las zonas estudiadas resaltan la importancia en conocer cuan susceptibles son a diferentes tipos de movimientos debido a la alta erosión costera por incidencia del oleaje y otros factores, por otro lado, se debe realizar investigaciones que denoten cuanto es el retroceso costero (m/año) producido por deslizamientos en estas zonas.

Palabras clave: deslizamientos; acantilados; erosión costera; socavamientos; vuelos fotogramétricos.

ABSTRACT

On the Ecuadorian coasts, landslides are frequent that occur on cliffs that correspond to an instability maintained by the mechanical characteristics of soils and rocks in which there are discontinuities, fault planes that are activated by precipitation or coastal erosion; for this reason, this research was focused on identifying the different types of landslides found in the coastal cliff areas of Ancón and Anconcito in the province of Santa Elena, this study was carried out by photogrammetric flights with UAV technology, carried out by three flights in the study area. It was found that the study sector corresponds to an inclined rocky coast, where mass landslides (soils) and rockslides were found, such as: rotational, earth flows, erosion gullies, falling blocks, sinkholes, planar breaks, and wedge breaks. The results identified in the studied areas highlight the importance of knowing how susceptible they are to different types of movements due to high coastal erosion due to wave incidence and other factors, on the other hand, research should be carried out to show how much the coastal retreat is (m/year) produced by landslides in these areas.

Keywords: landslides; cliffs; coastal erosion; undermining; photogrammetric flights.

Recibido: 24-05-2022.

Aceptado: 24-08-2022.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

Un tema de impacto para poblaciones y autoridades de todo el mundo es la erosión que se presenta en los acantilados costeros (Conforti et al., 2014; De la Peña & Sánchez, 2018; López & Vidal, 2012; Ordoqui & Hernández, 2009; Del Río & Gracia 2014) y la pérdida de terrenos montañosos (Milheiro, 2007), varios son los factores que influyen en la vulnerabilidad de las zonas costeras (Azuz et al., 2020; Merlotto et al., 2017; Ricaurte et al., 2021), considerándose como detonante a la intensidad y frecuencia de las precipitaciones (Bezerra et al., 2011; Kyprioti et al., 2021; Lemke & Miller, 2021; Useros, 2013). , y aumento acelerado del nivel del mar (Evelpidou et al., 2021; Louisor et al., 2021; Silveira et al., 2021; Wu et al., 2002). En el mundo más del 37% de la población vive dentro de los 100 km de la costa, siendo el 80% de estas, costas rocosas (Brambati, 2004; Cuervas et al., 2021; Emery & Kuhn, 1982; Rangel & Posada, 2013; Sunamura, 1993; Violante, 2009), las zonas de acantilados se encuentran en el 52% de las zonas costeras a nivel global (Gómez & Pérez, 2021), se erosionan, amenazando con frecuencia a las comunidades costeras (Bruno et al., 2021; Coca et al., 2019; Mineo et al., 2018; Stephens et al., 2021), la infraestructura (Andreadis et al., 2021; Pappalardo et al., 2016) y los sitios históricos en todo el mundo (Fanti et al., 2013; Young & Ashford, 2008).

Las costas rocosas son el resultado complejo de procesos marinos y subaéreos; asimismo, son una combinación de muchos factores endógenos y exógenos (Calista et al., 2019), tal como el entorno morfoestructural y estratigráfico, la litología, el clima, la energía de las olas y los cambios del nivel del mar a largo plazo (Miccadei et al., 2019), que dan como resultado una variedad de accidentes geográficos (Furlani et al., 2020; Kennedy et al., 2014), y representan zonas de alto valor económico, social, cultural y turístico (Ghanavati et al., 2021; Roös & Jones, 2015; Troiani et al., 2020). Los deslizamientos de tierra son fenómenos complejos (Peruzzetto et al., 2020), juegan un papel importante en la evolución del relieve (Crozier, 2010; Lu & Kim, 2021; Ma et al., 2020; Ubaidulloev

et al., 2021) y ocurren por lo general como caídas de roca y tierra, avalanchas, derrumbes o flujos (Melis et al., 2020), generando el retroceso de los acantilados costeros (Dong & Guzzetti, 2005; Hapke, 2005). Los acantilados costeros se caracterizan por una evolución morfológica (Gómez & Gonçalves, 2020), relativamente rápida debido a una intensa erosión, acompañada de procesos de falla, en la interfaz mar-tierra (Matano et al., 2015), las rocas que se desprenden de acantilados que presentan erosión pueden ser realmente peligrosas (López et al., 2021), para cualquiera que ocupe áreas en su base o en playas cercanas (Haque et al., 2019).

La erosión en acantilados representa un peligro en muchas áreas a través del desprendimiento de rocas a pequeñas escala y eventos de deslizamientos de tierra más grandes (Dickson & Perry, 2016). Durante mucho tiempo se ha identificado que la energía entregada al pie de los acantilados costeros a través de olas rompientes provoca el retroceso costero (Castedo et al., 2012; Xiang & Istrati, 2021; Zhang et al., 2021) y también puede desencadenar varios tipos de movimientos masivos, incluidos derrumbes, fallas de bloques y deslizamientos de tierra (Bernatchez et al., 2021). La socavación que se presenta en los acantilados por acción de las olas (Bernatchez & Dubois, 2004) y la posterior falla masiva es el mecanismo por el cual la mayoría de los acantilados costeros se erosionan (Costa et al., 2019), independientemente de su litología (Lim et al., 2011; Young & Ashford 2008). La geomorfología de la plataforma costera y de la playa (Walkden & Hall, 2005) frente al acantilado influyen en la estabilidad de este (Kline et al., 2014; Moreno et al., 2019), de tal manera que la velocidad de retroceso de estos depende del forzamiento hidrometeorológico (Barnhart et al., 2014) y de las condiciones ambientales (Sinitsyn et al., 2020), a veces también por intervenciones antropogénicas en la costa (Belova et al., 2020; Devoto et al., 2021). La presente investigación estuvo enfocada en identificar los tipos de deslizamientos que ocurren en los acantilados de las zonas costeras de Ancón y Anconcito.

MATERIAL Y MÉTODOS

El presente artículo de investigación científica tiene un carácter exploratorio correspondiente a un estudio basado en la perspectiva cualitativa (Ramos, 2020), pues su orientación principal busca

explorar y describir los tipos de deslizamientos en masa (suelos) y rocas que ocurren en las zonas de acantilados entre las costas de Ancón y Anconcito. El estudio se llevó a cabo en tres etapas (Figura 1).

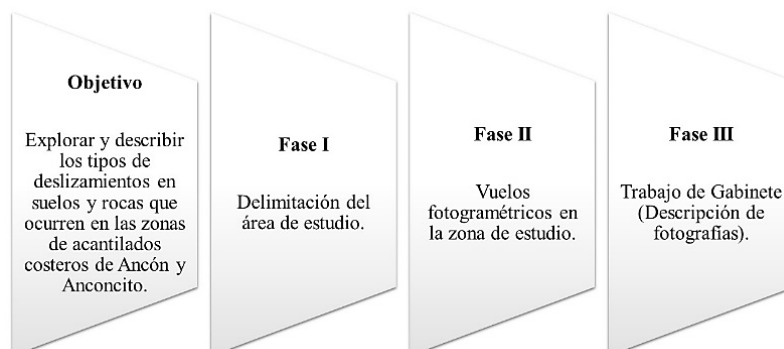


Figura 1. Diagrama de flujo del estudio.

Fase I: Delimitación del área de estudio

El área de estudio comprende la zona costera de acantilados que existen entre la Parroquia Ancón y Anconcito de la Provincia de Santa Elena, Ecuador. Se realizó un reconocimiento del área y se colocaron 11 hitos de hormigón identificables en el campo y en las imágenes, mismos que se consideraron puntos de control y permitieron el

levantamiento de fotografías (Figura 2). Cada hito fue delimitado por sus coordenadas que fueron medidas con el equipo GNSS estático, el cual se conecta por una red satelital (Correa, 2018) y por medio de un aparato receptor (drone) de información se obtuvieron las coordenadas en tiempo real (Agüero et al., 2018).



Figura 2. Delimitación del área de estudio (hitos de hormigón).

Fase II: Vuelos fotogramétricos en la zona de estudio

Delimitado los puntos de control en la zona de estudio, se elaboró un plan de vuelo que fue llevado a cabo mediante el uso del drone *Dji Mavic 2 Pro* (González et al., 2019), este posee cámara fotográfica y de videos que sirve para capturar imágenes aéreas (Crucil et al., 2022; Rivera, 2020), estos equipos de drones pueden tener un alcance inimaginable para muchas actividades (Oniga et al., 2022) y son la manera más eficaz, económica y precisa de obtener imágenes de alta calidad (Cienciała et al., 2022; Mugnai & Tucci, 2022; Santamaría & Sanz, 2011).

Elaborado el plan de vuelo, se utilizó la aplicación del software *Pix4D capture* para dispositivos

móviles (Barbasiewicz et al., 2018), instalados previamente en el dispositivo móvil manejado en campo, esta aplicación tiene una vista satelital que permitió delimitar los vuelos efectuados en noviembre 2020, abril y septiembre del 2021.

Fase III: Trabajo de Gabinete

Realizados los vuelos fotogramétricos con el uso del drone, se procedió a realizar el trabajo de oficina o gabinete, que consistió en la descripción e identificación de las fotografías tomadas, identificando deslizamientos de masa (tierra): rotacionales, flujos de tierra y cárcavas de erosión; y deslizamientos en roca: caída de bloques, socavamientos, deslizamiento planar y deslizamiento en cuña.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificó que el accidente geográfico que se halla en la zona costera de acantilados entre Ancón y Anconcito corresponde a una costa rocosa con plataforma costera tipo A (Tipo inclinado), esta plataforma es una superficie de erosión que desciende de manera suave y se extiende desde la base de un acantilado marino hasta debajo del nivel del mar sin una ruptura topográfica perceptible (Moreno et al., 2021; Sunamura, 2015) (Figura 3). Se logró identificar que en la zona de estudio se identificaron diferentes tipos de deslizamientos en masa (suelos), estos movimientos están asociados con inestabilidades costeras relacionadas con la actividad marina y el retroceso costero, tanto a

escala regional como local (Cuervas-Mons et al. 2021). Se encontraron deslizamientos rotacionales y cárcavas de erosión en Ancón y flujos de tierra en Anconcito (Tabla 1).

Se identificó diferentes tipos de deslizamientos en rocas, estos son inestabilidades más frecuentes y extendidos que afectan a las laderas pronunciadas en acantilados marinos (Abellán et al., 2006; Paranunzio et al., 2016), el proceso de desprendimiento de rocas se presenta cuando un fragmento de roca desprendido que cae a lo largo de un acantilado vertical o subvertical (Abellán et al., 2011), continúa cuesta abajo rebotando y rodando sobre taludes o pendientes de escombros

(Varnes, 1978). Se evidenciaron tres tipos de deslizamientos en masa (suelos) y cuatro en rocas, de ellos se pudo diferenciar los siguientes: caída de bloques, socavamientos al pie del acantilado,

deslizamiento planar y deslizamiento en cuña en Ancón y en Anconcito socavamientos al pie del talud (Tabla 1).

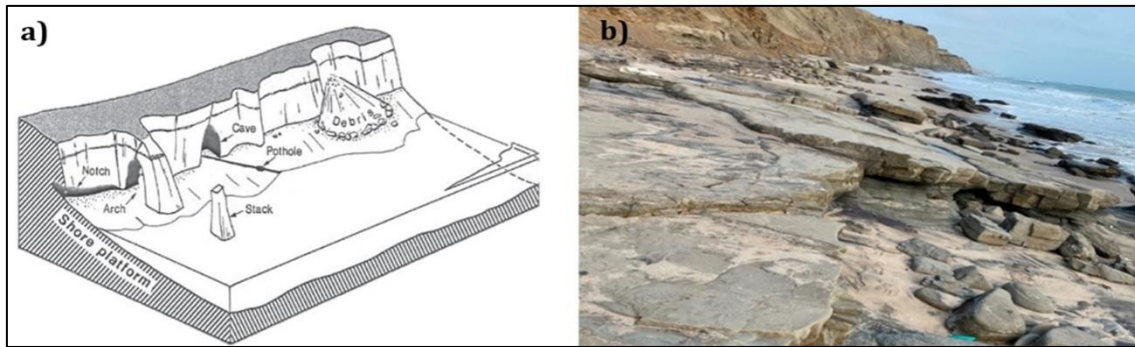


Figura 3. La figura representa: **a)** Esquema de plataforma de abrasión (Moreno et al., 2021; Sunamura, 2015); **b)** Plataforma costera tipo A (Tipo inclinado) - Ancón y Anconcito, Fuente: Fotografía tomada por los autores. Coordenadas UTM: 516475.00 E - 9741833.00 N.

Tabla 1

Tipos de deslizamientos identificados en las zonas de Ancón y Anconcito

Deslizamiento	Tipo de deslizamiento	Zona	Coordenadas UTM	
			Este	Norte
Deslizamiento rotacional	Deslizamiento en masa (suelos)	Ancón	516526.00	9741760.00
Flujos de tierra	Deslizamiento en masa (suelos)	Anconcito	514358.00	9743153.00
Cárcava de erosión	Deslizamiento en masa (suelos)	Ancón	515251.00	9742610.00
Caída de bloque	Deslizamiento en roca	Ancón	515820.00	9742284.00
Socavamiento al pie del acantilado	Deslizamiento en roca	Ancón	515536.00	9742475.00
		Anconcito	512925.00	9743171.00
Deslizamiento planar	Deslizamiento en roca	Ancón	516811.00	9741610.00
Deslizamiento en cuña	Deslizamiento en roca	Ancón	515153.00	9742708.00

De los deslizamientos ocurrentes en masa (suelos) se identificaron los siguientes:

Deslizamiento rotacional

Son movimientos a lo largo de una superficie de rotura curvilínea y con la concavidad hacia arriba (Azañón et al., 2005), en este tipo de movimientos es común el retroceso del deslizamiento hacia

cabecera, lo que da lugar a un movimiento múltiple y retrogresivo (Cruden & Varnes, 1996). En la figura 4, se puede observar a) la representación esquemática del deslizamiento rotacional y b) la fotografía tomada en la zona costera de acantilados de Ancón, en donde se evidenció deslizamientos rotacionales (Figura 4).

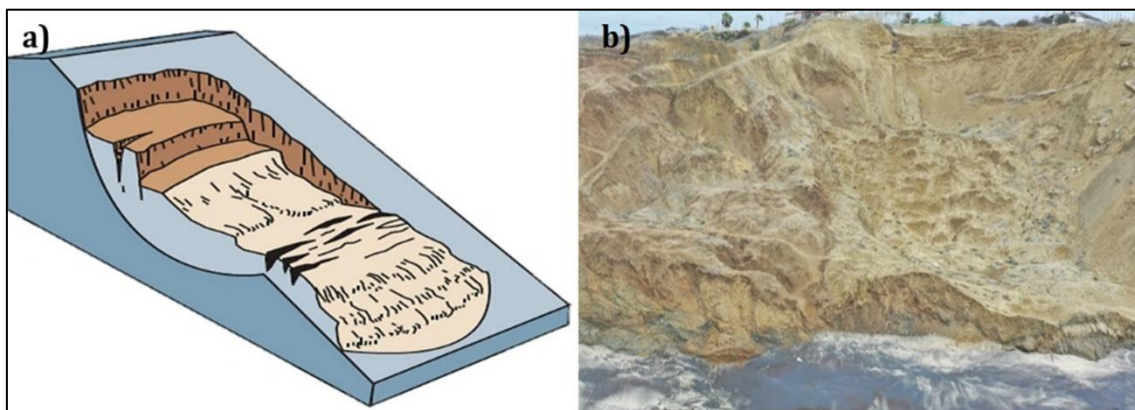


Figura 4. La figura representa: **a)** Esquema de deslizamiento rotacional (Von Huene et al., 2016); **b)** Deslizamiento rotacional en Ancón, Fuente: Fotografía tomada por los autores.

Flujos de tierra

Esto se presenta cuando el material del talud se licua y se escurre, formando una cuenca, el flujo es alargado y generalmente ocurre en materiales de grano fino o rocas arcillosas en pendientes moderadas y en condiciones de saturación

(Guerrero et al., 2012; Pettinga, 1987). En la Figura 5 se puede observar a) la representación esquemática del flujo de tierra y b) la fotografía tomada en la zona costera de acantilados de Anconcito, en donde se evidenció flujos de tierra.

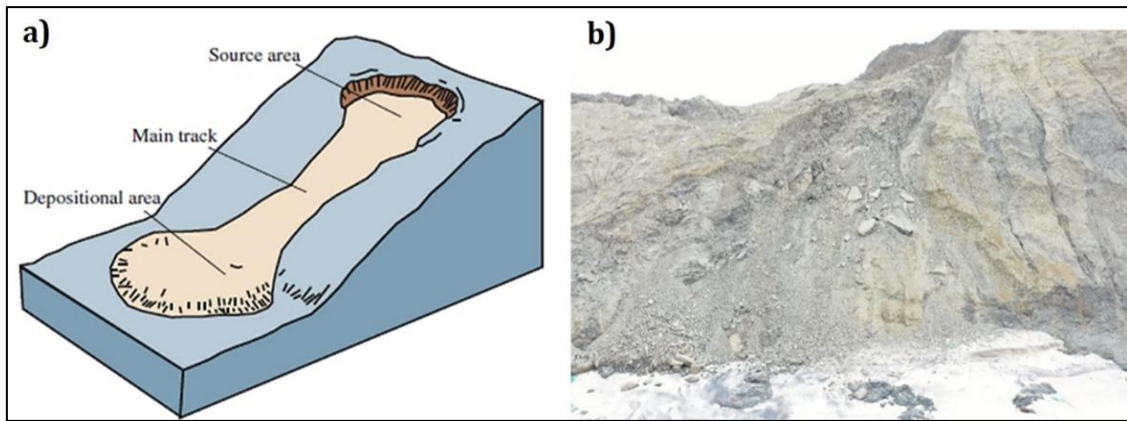


Figura 5. La figura representa: a) Esquema de flujos de tierra (Von Huene et al. 2016); b) Flujo de tierra en Anconcito.

Cárcava de erosión

Estas cárcavas se presentan por la degradación del suelo por erosión muy severa en zonas de suelos acantilados, generalmente son generadas por eventos de pluviosidad (Rivera et al., 2014). En la

Figura 6, se puede observar a) la representación esquemática de cárcava de erosión y b) la fotografía tomada en la zona costera de acantilados de Anconcito, en donde se evidenció esta cárcava provocada por la erosión.

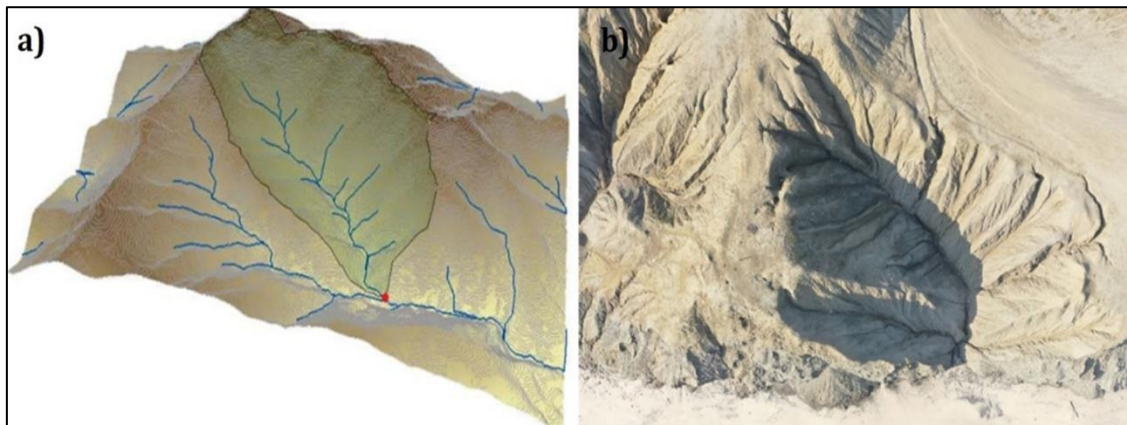


Figura 6. La figura representa: a) Esquema de cárcava de erosión (Gómez, 2019); b) Cárcava de erosión en Ancón.

De los deslizamientos ocurrentes en rocas se identificaron los siguientes:

Caída de bloque

Estas caídas son movimientos bruscos de materiales geológicos que se desprenden de laderas acantiladas (León, 2021). La separación se produce a lo largo de discontinuidades como fracturas, juntas y planos de lecho, y el movimiento

se produce por caída libre, rebote y rodadura; por lo general, estas caídas se dan por la influencia de la gravedad, la meteorización mecánica y la presencia de agua intersticial (Abbruzzese & Labiouse, 2020). En la Figura 7 se puede observar a) la representación esquemática de la caída de bloque y b) la fotografía tomada en la zona costera de acantilados de Ancón, en donde se evidenció este deslizamiento.

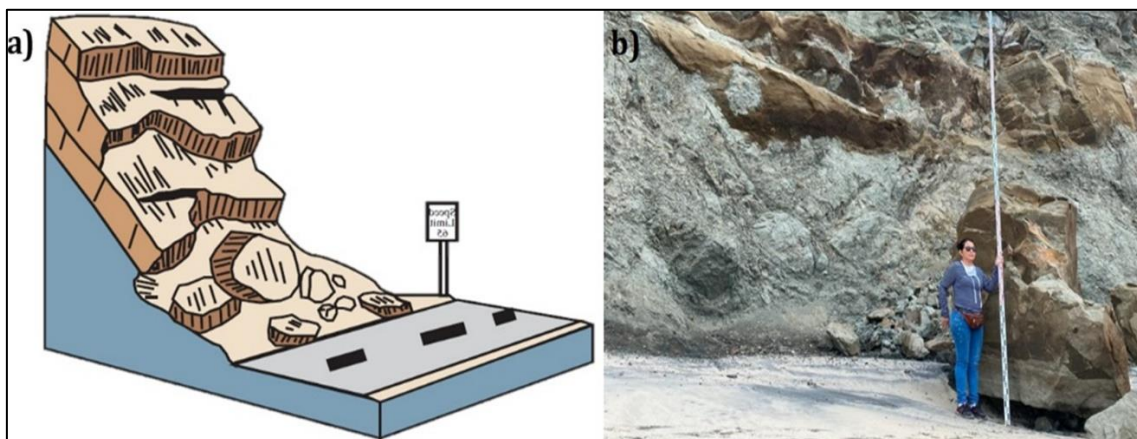


Figura 7. La figura representa: a) Esquema de caída de bloque (Von Huene et al., 2016); b) Caída de bloque en Ancón.

Socavamiento al pie del acantilado

Estas socavaciones se provocan cuando el oleaje llega paralelo a la costa y su energía se enfoca en producir un lavado y relavado principalmente sobre zona de terrazas (Nozal & Montes, 2013). Este proceso se ve magnificado cuando las olas chocan con el acantilado, debido a que se refractan con muchas energía e incrementan así el efecto de

la siguiente ola (Fucks et al., 2015); no ocurre lo mismo cuando la costa es baja, pues la ola incidente se disipa sobre la zona intermareal y al regresar, su energía es muy baja (Rangel & Posada, 2005). En la Figura 8 se puede observar a) la representación esquemática de socavamiento en zonas rocosas y b) la fotografía tomada en la zona costera de acantilados de Ancón y Anconcito.

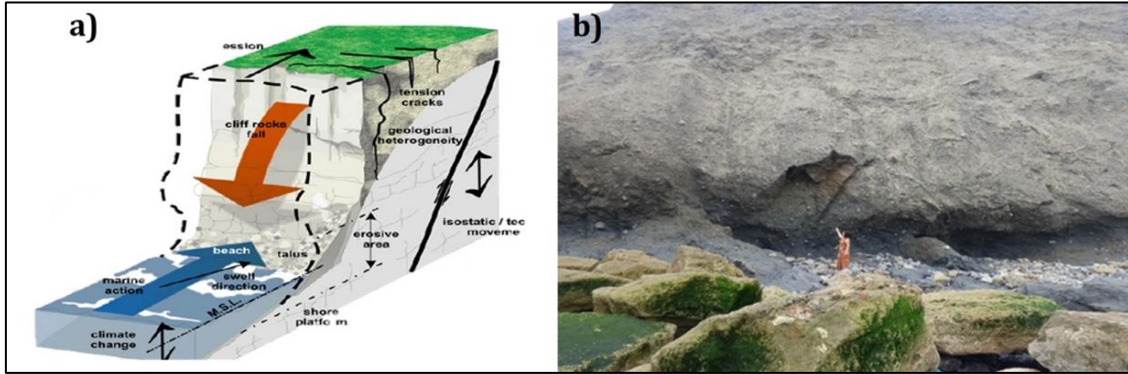


Figura 8. La figura representa: **a)** Esquema de socavamiento al pie del acantilado (Castedo et al., 2012); **b)** Socavaciones en Ancón y Anconcito.

Deslizamiento planar

Estos deslizamientos se desarrollan sobre una superficie plana o la combinación de dos superficies oblicuas. Por lo general son los deslizamientos más habituales que se presentan en el macizo rocoso (Ballantyne, 1986), que son controladas por la red

de discontinuidades; asimismo, estos deslizamientos se desarrollan de manera rápida (Clemente, 2019). En la Figura 9 se puede observar a) la representación esquemática de la rotura planar de un talud y b) la fotografía tomada en la zona costera de acantilados de Ancón.

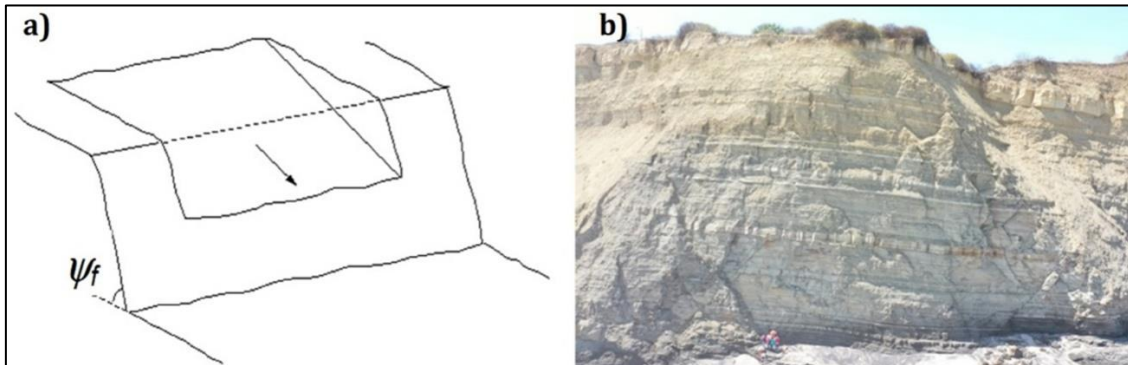


Figura 9. a) Esquema de deslizamiento planar (Lain et al., 2004); b) Rotura planar de un talud.

Deslizamiento en cuña

Estos son producidos a través de discontinuidades dispuestas oblicuamente a la superficie de un talud o ladera, con la línea de intersección de ambas aflorando en la superficie del mismo y buzando en

sentido desfavorable (Almaguer & Guardado, 2006). En la Figura 10 se puede observar a) la representación esquemática de la rotura en cuña de un talud y b) la fotografía tomada en la zona costera de acantilados de Ancón.

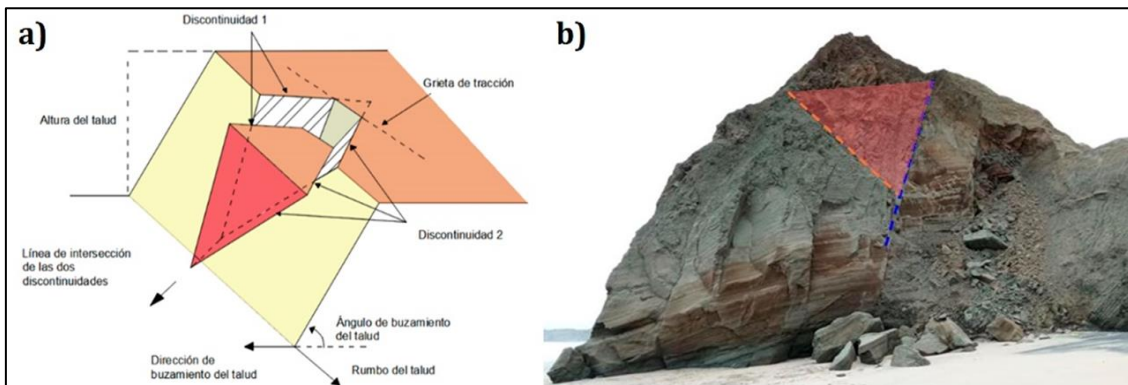


Figura 10. a) Esquema de rotura en cuña de un talud (Morante et al., 2019); b) Deslizamiento en cuña en Ancón.

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece a Miguel Puestas Chully, Ana Grijalva Endara, Gilda Rubira Gómez y Joan Alberto

Suárez Tomalá, colaboradores para la realización de este artículo.

CONCLUSIONES

En las zonas costeras de acantilados de las parroquias Ancón y Anconcito de la Provincia de Santa Elena, Ecuador se pueden evidenciar diferentes tipos de deslizamientos, considerando así que la zona es muy susceptible a los mismos debido a la incidencia del oleaje y otros factores. En las zonas estudiadas se encontró que existen muchos socavamientos provocados por el oleaje. En la zona de Ancón se logró identificar más deslizamientos en masa (suelos) y rocas que en Anconcito encontrándose así que la zona de Ancón, se hallaron dos tipos de deslizamientos en masa (suelos): deslizamientos rotacionales y cárcavas de

erosión y cuatro tipos de deslizamientos en rocas: caídas de bloques, socavamientos, deslizamientos planares y en cuña; por otra parte, en la zona de Anconcito se encontró que los flujos de tierra predominan como deslizamientos en masa y los socavamientos como deslizamientos en roca. Es recomendable que se sigan realizando monitoreos con más frecuencia en estas zonas, debido a que se presentan diferentes tipos de deslizamientos a lo largo de estas; identificando que la socavación al pie del acantilado es un factor de riesgo para los sectores de estudio, por lo tanto, se debe plantear soluciones a estos problemas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbruzzese, J. M., & Labiouse, V. (2020). New Cadanan Methodology for Rock Fall Hazard Zoning Based on 3D Trajectory Modelling. *Geosciences (Switzerland)*, 10(11), 1–25.
- Abellán, A. J., Vilaplana, M., Calvet, J., García-Sellés, D., & Asensio, E. (2011). Rockfall Monitoring by Terrestrial Laser Scanning - Case Study of the Basaltic Rock Face at Castellfolit de La Roca (Catalonia, Spain). *Natural Hazards and Earth System Science*, 11(3), 829–41.
- Abellán, A., Vilaplana, J. M., & Martínez, J. (2006). Application of a Long-Range Terrestrial Laser Scanner to a Detailed Rockfall Study at Vall de Núria (Eastern Pyrenees, Spain). *Engineering Geology*, 88(3–4), 136–48.
- Agüero, E., Montilla, A., & Valero, G. (2018). Medición de Puntos GPS Por El Método Estático Con Equipo Diferencial. Una Experiencia Didáctica En El Instituto Pedagógico de Maturín. *Tecné Episteme y Didaxis: TED*, (43), 137–53.
- Almaguer, Y., & Guardado, R. (2006). Tipología de movimientos de masas desarrolladas en el territorio de Moa, Cuba. *Minería Y Geología*, 22(1), 1–17.
- Azañón, J., & Mateos R. (2005). Los Movimientos de Ladera En La Sierra de Tramuntana de La Isla de Mallorca: Tipos, Características y Factores Condicionantes. *Revista de La Sociedad Geológica de España*, 18(1), 89–99.
- Azuz-Adeath, I., Rodríguez-Cardózo, L., & H. Alonso-Peinado. (2020). Ecosistemas Costeros Complejos. *Gobernanza y Manejo de Las Costas y Mares Ante La Incertidumbre Una Guía Para Tomadores de Decisiones*, (7), 517–30.
- Ballantyne, C. (1986). Landslides and Slope Failures in Scotland: A Review. *Scottish Geographical Magazine*, 102(3), 134–50.
- Barbasiewicz, A., Widderski, T., & Daliga, K. (2018). The Analysis of the Accuracy of Spatial Models Using Photogrammetric Software: Agisoft Photoscan and Pix4D. *E3S Web of Conferences*, 26.
- Barnhart, K. R., Anderson, R., Overeem, I., Wobus, C., Clow, G., & Urban, F. (2014). Modeling Erosion of Ice-Rich Permafrost Bluffs along the Alaskan Beaufort Sea Coast. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 119(5), 1155–79.
- Belova, N. G., Novikova, A., Günther, F., & Shabanova, N. (2020). Spatiotemporal Variability of Coastal Retreating Rates at Western Yamal Peninsula, Russia, Based on Remotely Sensed Data. *Journal of Coastal Research*, 95(1), 367–71.
- Bernatchez, P., Boucher-Brossard, G., Maude, C. C., & Barnett, R. (2021). Long-Term Evolution and Monitoring at High Temporal Resolution of a Rapidly Retreating Cliff in a Cold Temperate Climate Affected by Cryogenic Processes, North Shore of the St. Lawrence Gulf, Quebec (Canada). *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(12).
- Bernatchez, P., & Dubois, J. M. (2004). A Review of Coastal Erosion Dynamics on Laurentian Maritime Quebec Coasts. *Geographie Physique et Quaternaire*, 58(1), 45–71.
- Bezerra, M. M., Moura, D., Ferreira, O., & Taborda, R. (2011). Influence of Wave Action and Lithology on Sea Cliff Mass Movements in Central Algarve Coast, Portugal. *Journal of Coastal Research*, 27(6), 162–71.
- Brambati, A. (2004). Coastal Zone Problems and Management: A Brief Review. *Chemistry and Ecology*, 20(1), 37–41.
- Bruno, M. F., Motta, G., Barbanente, A., & Damiani, L. (2021). Understanding the Cognitive Components of Coastal Risk Assessment. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(7).
- Calista, M., Mascioli, F., Menna, V., Miccadei, E., & Piacentini, T. (2019). Recent Geomorphological Evolution and 3d Numerical Modelling of Soft Clastic Rock Cliffs in the Mid-Western Adriatic Sea (Abruzzo, Italy). *Geosciences (Switzerland)*, 9(7).
- Castedo, R., Murphy, W., Lawrence, J., & Paredes, C. (2012). A New Process-Response Coastal Recession Model of Soft Rock Cliffs. *Geomorphology*, 177–178.
- Cienciała, A., Sobura, Z., & Sobolewska-Mikulska, K. (2022). Optimising Land Consolidation by Implementing UAV Technology. *Sustainability*, 14, 4412.
- Clemente, J. (2019). *Análisis de Dinámicas Gravitacionales En Zonas Del Acantilado Costero Del Geoparque de La Costa Vasca En Zumaia (Gipuzkoa)*. Universidad del país Vasco.
- Coca-Domínguez, O., & Ricaurte-Villota, C. (2019). Validation of the Hazard and Vulnerability Analysis of Coastal Erosion in the Caribbean and Pacific Coast of Colombia. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(8).
- Conforti, M., Muto, F., Rago, V., & Critelli, S. (2014). Landslide Inventory Map of North-Eastern Calabria (South Italy). *Journal of Maps*, 10(1), 90–102.
- Correa-Muñoz, N. A., & Cerón-Calderón, L. A., (2018). Precision and Accuracy of the Static Gns Method for Surveying Networks Used in Civil Engineering. *Ingeniería e Investigación*, 38(1), 52–59.
- Costa, S., Maquaire, O., Letortu, P., Thirard, G., Compain, V., Roulland, T., Medjkane, M., Davidson, R., Graff, K., Lissak, C., Delacourt, C., Duguet, T., Fauchard, C., & Antoine, A. (2019). Sedimentary Coastal Cliffs of Normandy: Modalities and Quantification of Retreat. *Journal of Coastal Research*, 88, 46–60.
- Crozier, M. J. (2010). Landslide Geomorphology: An Argument for Recognition, with Examples from New Zealand. *Geomorphology*, 120(1–2), 3–15.
- Crucil, G., Zhang, H., Pauly, K., & Van Oost, K. (2022). A Semi-Empirical Anisotropy Correction Model for UAS-Based Multispectral Images of Bare Soil. *Remote Sensing*, 14(3), 1–15.
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Chapter 3 Landslide Types and Processes. *Landslides: Investigation and Mitigation, Transportation Research Board Special Report 247, Washington D.C.* (Bell 1992), 36–75.
- Cuervas-Mons, J., Domínguez-Cuesta M. J., Mateos, F., Barra, A., Monserrat, O., Valenzuela, P., & Jiménez-Sánchez, M., (2021). Sentinel-1 Data Processing for Detecting and Monitoring of Ground Instabilities in the Rocky Coast of Central Asturias (N Spain). *Remote Sensing*, 13(16), 1–21.
- De la Peña, J., & Sánchez, J. (2018). Respuesta de La Costa a Las Variaciones Del Nivel Del Mar : Efecto Sobre Las Playas En España. *Ingeniería Civil*, 191, 74–85.
- Del Río, L., & Gracia, J. (2014). Análisis de La Vulnerabilidad de Los Acantilados Atlánticos de La Provincia de Cádiz Ante La

- Erosión Costera. *Revista C & G*, 21(1), 87–101.
- Devoto, S., Hastewell, L., Prampolini, M., & Furlani, S. (2021). Dataset of Gravity-Induced Landforms and Sinkholes of the Northeast Coast of Malta (Central Mediterranean Sea). *Data*, 6(8), 1–16.
- Dickson, M. E., & Perry, G. (2016). Identifying the Controls on Coastal Cliff Landslides Using Machine-Learning Approaches. *Environmental Modelling and Software*, 76, 117–27.
- Dong, P., & Guzzetti, F. (2005). Frequency-Size Statistics of Coastal Soft-Cliff Erosion. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 131(1), 37–42.
- Emery, K. O., & Kuhn, G. (1982). Sea Cliffs: Their Processes, Profiles, and Classification. *Geological Society of America Bulletin*, 93(7), 644–54.
- Evelpidou, N., Petropoulos, A., Karkani, A., & Saitis, I. (2021). Evidence of Coastal Changes in the West Coast of Naxos Island, Cyclades, Greece. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(12).
- Fanti, R., Gigli, G., Lombardi, L., Tapete, D., & Canuti, P. (2013). Terrestrial Laser Scanning for Rockfall Stability Analysis in the Cultural Heritage Site of Pitigliano (Italy). *Landslides*, 10(4), 409–20.
- Fucks, E., Schnack, E., Scalise, A., Ahrendt, K., Vafeidis, N., & Sterr, H. (2015). Procesos Modeladores En Los Acontilados de Las Grutas, Provincia de Río Negro. *Revista de Geología Aplicada a La Ingeniería y Al Ambiente*, (34), 57–73.
- Furlani, S., Vaccher, V., Macovaz, V., & Devoto, S. (2020). A Cost-Effective Method to Reproduce the Morphology of the Nearshore and Intertidal Zone in Microtidal Environments. *Remote Sensing*, 12(11).
- Ghanavati, E., Shah-Hosseini, M., & Marriner, N. (2021). Analysis of the Makran Coastline of Iran's Vulnerability to Global Sea-Level Rise. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(8).
- Gómez-Gutiérrez, Á., & Gonçalves, G. (2020). Surveying Coastal Cliffs Using Two UAV Platforms (Multirotor and Fixed-Wing) and Three Different Approaches for the Estimation of Volumetric Changes. *International Journal of Remote Sensing*, 41(21).
- Gómez-Pazo, A., & Pérez-Alberti, A. (2021). The Use of Uavs for the Characterization and Analysis of Rocky Coasts. *Drones* 5(1), 1–18.
- Gómez, D. (2019). *Cálculo de Cuenas Hidrográficas Mediante Mallas Irregulares*. Universidad Politécnica de Madrid.
- González, R., Ucán, J., Sánchez, I., Medina R., Árcaga F., Zetina, C., and Casares, R. (2019). *Civil Y Geociencias*, 44(6).
- Guerrero, J., Gutiérrez, F., Carbonel, D., Bonachea, J., García-Ruiz, J., Galve, J., & Lucha, P. (2012). 1:5000 Landslide Map of the Upper Gállego Valley (Central Spanish Pyrenees). *Journal of Maps*, 8(4), 84–91.
- Hapke, C. J. (2005). Estimation of Regional Material Yield from Coastal Landslides Based on Historical Digital Terrain Modelling. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30(6), 79–97.
- Haque, U., Da Silva, P., Devoli, G., Pilz, J., Zhao, B., Khaloua, A., Wilopo, W., Andersen, P., Lu, P., Lee, J., Yamamoto, T., Keellings, D., Jian-Hong, W., & Glass, G. (2019). The Human Cost of Global Warming: Deadly Landslides and Their Triggers (1995–2014). *Science of the Total Environment*, 682, 73–84.
- Kennedy, D. M., Stephenson, W. J., & Naylor, L. A. (2014). Introduction to the Rock Coasts of the World. *Geological Society Memoir*, 40(1), 1–5.
- Kline, S. W., Adams, P. N., & Limber, P. W. (2014). The Unsteady Nature of Sea Cliff Retreat Due to Mechanical Abrasion, Failure and Comminution Feedbacks. *Geomorphology*, 219, 53–67.
- Kyprioti, A. P., Adeli, E., Taflanidis, A. A., Westerink, J. J., & Tolman, H. (2021). Probabilistic Storm Surge Estimation for Landfalling Hurricanes: Advancements in Computational Efficiency Using Quasi-Monte Carlo Techniques. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(12).
- Laín, R., Oyanguren, P., & Alejano, L. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes: Rotura Plana Y Rotura En Cuña*, 86–90.
- Lemke, L., & Miller, J. (2021). Role of Storm Erosion Potential and Beach Morphology in Controlling Dune Erosion. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(12).
- León, P. (2021). *Funciones de Vulnerabilidad Para Barreras Rígidas Tipo Voladizo de Concreto Reforzado, Ante Amenaza Por Caidas de Roca*. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Lim, M., Rosser, N., Petley, D., & Keen, M. (2011). Quantifying the Controls and Influence of Tide and Wave Impacts on Coastal Rock Cliff Erosion. *Journal of Coastal Research*, 27(1), 46–56.
- López, M., & Vidal C. (2012). Paisaje Patrimonial y Riesgo Ambiental. Reocupación Cultural y Turística Del Espacio Postminero En Lota, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 165(52), 145–165.
- López, P., Quiñe, J., Henríquez, C., & Martínez, C. (2021). Applicability of Spatial Prediction Models for Landslide Susceptibility in Land-Use Zoning Instruments: A Guideline in a Coastal Settlement in South-Central Chile. *Geocarto International*, 1–20.
- Louisior, J., Rohmer, J., Bulteau, T., Boulahya, F., Pedreros, R., Maspataud, A., & Mugica, J. (2021). Deriving the 100-Year Total Water Level around the Coast of Corsica by Combining Trivariate Extreme Value Analysis and Coastal Hydrodynamic Models. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(12).
- Lu, Z., & Kim, J. (2021). A Framework for Studying Hydrology-Driven Landslide Hazards in Northwestern US Using Satellite InSAR, Precipitation and Soil Moisture Observations: Early Results and Future Directions. *GeoHazards*, 2(2), 17–40.
- Ma, D., Li, Y., Cai, J., Li, B., Liu, Y., & Chen, X. (2020). Real-Time Diagnosis of Island Landslides Based on GB-RAR. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(3), 1–16.
- Matano, F., Pignalosa, A., Marino, E., Esposito, G., Caccavale, M., Caputo, T., Sacchi, M., Somma, R., Troise, C., & De Natale, G. (2015). Laser Scanning Application for Geostrucutural Analysis of Tuffaceous Coastal Cliffs: The Case of Punta Epitaffio, Pozzuoli Bay, Italy. *European Journal of Remote Sensing*, 48, 615–37.
- Melis, M., Da Pelo, S., Erbi, I., Loche, M., Deiana, G., Demurtas, V., Alessio, M., Dessi, F., Funedda, A., Scaioni, M., & Scaringi, G. (2020). Thermal Remote Sensing from UAVs: A Review on Methods in Coastal Cliffs Prone to Landslides. *Remote Sensing*, 12(12), 1–29.
- Merlotto, A., Ricardo, G., & Isla, F. (2017). Riesgo de Erosión Costera de La Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Anuario de Investigaciones*, 7(2), 277–283.
- Miccadei, E., Mascioli, F., Ricci, F., & Piacentini, T. (2019). Geomorphology of Soft Clastic Rock Coasts in the Mid-Western Adriatic Sea (Abruzzo, Italy). *Geomorphology* 324, 72–94.
- Milheiro, P. (2007). Bayesian Statistical Methods for Modeling And. *Coastal Engineering Journal*, 49(1), 45–61.
- Mineo, S., Pappalardo, G., Mangiameli, M., Campolo, S., & Musumeci, G. (2018). Rockfall Analysis for Preliminary Hazard Assessment of the Cliff of Taormina Saracen Castle (Sicily). *Sustainability (Switzerland)*, 10(2), 1–18.
- Morante, Fernando, Carrión, P., Chávez, M. A., Aguilar, M., & Briones, J. (2019). Design of the Stabilization Solutions in the General Patrimonial Cemetery of Guayaquil, Ecuador. *Proceedings of the LACCEL International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology 2019*, 24–26.
- Moreno, L., Muñoz-Rosado, M., & Ramírez-Palma, R. (2019). Caracterización Mecánica De Suelos Del Perfil Costero Entre Ancón Y Anconcito. *Ciencia UNEMI*, 12(31), 13.
- Moreno, L., Carrión, P., Deza, C., Muñoz, M., Grijalva-Endara, A., & Pincay, M. (2021). Modificación de La Línea de Costa a Nivel Mundial Coastline Modification at Worldwide. *Manglar*, 18(3), 317–328.
- Mugnai, F., & Tucci, G. (2022). A Comparative Analysis of Unmanned Aircraft Systems in Low Altitude Photogrammetric Surveys. *Remote Sensing*, 14(3).
- Nozal, F., & Montes, M. (2013). Geomorfología Del Dominio Público Marítimo-Terrestre En La Isla de Formentera. *Geo-Temas*, 15, 209–212.
- Olympos, A., Chatzipavlis, A., Hasiotis, T., Monioudi, I., Manoutsoglou, E., & Velegrakis, A. (2021). Assessment of and Adaptation to Beach Erosion in Islands: An Integrated Approach. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(8).
- Oniga, V., Breaban, A., Pfeifer, N., & Diac, M. (2022). 3D Modeling of Urban Area Based on Oblique UAS Images—An End-to-End Pipeline. *Remote Sensing*, 14(2).
- Ordoqui, J., & Hernández, F. (2009). Caracterización Socioterritorial de Los Asentamientos Turísticos Balnearios Del Litoral Marítimo de La Provincia de Buenos Aires. *Revista Universitaria de Geografía*, 18, 105–140.
- Pappalardo, G., Imposa, S., Mineo, S., & Grassi, S. (2016). Evaluation of the Stability of a Rock Cliff by Means of Geophysical and Geomechanical Surveys in a Cultural Heritage Site (South-Eastern Sicily). *Italian Journal of Geosciences*, 135(2), 308–323.
- Paranunzio, R., Laio, F., Chiarle, M., Nigrelli, G., & Guzzetti, F. (2016). Climate Anomalies Associated with the Occurrence of Rockfalls at High-Elevation in the Italian Alps. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(9), 2085–2106.
- Peruzzetto, M., Mangeney, A., Grandjean, G., Levy, C., Thiery, Y., Rohmer, J., & Lucas, A. (2020). Operational Estimation of

- Landslide Runout: Comparison of Empirical and Numerical Methods. *Geosciences (Switzerland)*, 10(11), 1–35.
- Pettinga, J. R. (1987). Ponui Landslide: A Deep-Seated Wedge Failure in Tertiary Weak-Rock Flysch, Southern Hawke's Bay, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 30(4), 415–30.
- Ramos-Galarza, C. (2020). Los Alcances de Una Investigación. *CienciAmérica*, 9(3), 1.
- Rangel-Buitrago, N. G., & Posada-Posada, B. O. (2005). Geomorfología y Procesos Erosivos En La Costa Norte Del Departamento de Córdoba, Caribe Colombiano (Sector Paso Nuevo-Cristo Rey). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 34(895), 101–119.
- Rangel-Buitrago, N., & Posada-Posada, B. O. (2013). Determinación de La Vulnerabilidad y El Riesgo Costero Mediante La Aplicación de Herramientas SIG y Métodos Multicriterio. *Intropica*, 8, 29–42.
- Ricaurte, C., Santamaría, E., Coca, O., & Gonzalez, M. (2021). Determining Factors of the Hazard and Vulnerability By Coastal Erosion in Colombia. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 57(1), 129–139.
- Rivera, O. (2020). Fotogrametría de Drones Para La Prevención de Deslizamientos de Tierra En La Ciudad de México. *Reder*, 4(2), 85.
- Rivera, P., Rivera, J. E., Andrade, E., de la Garza, F., Castro, B., & Belmonte, F. (2014). Medición de La Erosión En Carcavas Por Medio de Imágenes de Satélite. *Terra Latinoamericana*, 32(1), 13–21.
- Roós, P. B., & Jones, D. (2015). Beyond Standard Practice: The Adaptation by Design Coastal Communities' Workshop. *Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs*, 7(1), 52–65.
- Santamaría, J., & Sanz, T. (2011). *Fundamentos De Fotogrametría*.
- Silveira, F., Lopes, C., Pinheiro, J., Pereira, H., & Dias, J. (2021). Coastal Floods Induced by Mean Sea Level Rise—Ecological and Socioeconomic Impacts on a Mesotidal Lagoon. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(12).
- Sinitsyn, A. O., Guegan, E., Shabanova, N., Kokin, O., & Stanislav O. (2020). Fifty Four Years of Coastal Erosion and Hydrometeorological Parameters in the Varandey Region, Barents Sea. *Coastal Engineering*, 157, 103610.
- Stephens, S. A., Paulik, R., Reeve, G., Wadhwa, S., Popovich, B., Shand, T. & Haughey, R. (2021). Future Changes in Built Environment Risk to Coastal Flooding, Permanent Inundation and Coastal Erosion Hazards. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(9).
- Sunamura, T. (1993). Geomorphology of Rocky Coasts. *Choice Reviews Online*, 30(7), 3830–3843.
- Sunamura, T. (2015). Rocky Coast Processes: With Special Reference to the Recession of Soft Rock Cliffs. 91(9), 481–500.
- Troiani, F., Martino, S., Marmoni, G. M., Menichetti, M., Torre, D., Iacobucci, G., & Piacentini, D. (2020). Integrated Field Surveying and Land Surface Quantitative Analysis to Assess Landslide Proneness in the Conero Promontory Rocky Coast (Italy). *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(14).
- Ubaidulloev, A., Kaiheng, H., Rustamov, M., & Kurbanova, M. (2021). Landslide Inventory along a National Highway Corridor in the Hissar-Allay Mountains, Central Tajikistan. *GeoHazards*, 2(3), 212–27.
- Useros, J. (2013). El Cambio Climático: Sus Causas y Efectos Medioambientales. *Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*, 50, 71–98.
- Varnes, D. (1978). Slope Movement Types and Processes. *Special Report*, 176, 11–33.
- Violante, C. (2009). Rocky Coast: Geological Constraints for Hazard Assessment. *Geological Society Special Publication*, 322, 1–31.
- Von Huene, R., Miller, J., & Dartnell, P. (2016). A Possible Transoceanic Tsunami Directed toward the U.S. West Coast from the Semidi Segment, Alaska Convergent Margin. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 17(3), 45–59.
- Walkden, J. A., & Hall, J. (2005). A Predictive Mesoscale Model of the Erosion and Profile Development of Soft Rock Shores. *Coastal Engineering*, 52(6), 535–563.
- Wu, S. Y., Yarnal, B., & Fisher, A. (2002). Vulnerability of Coastal Communities to Sea-Level Rise: A Case Study of Cape May County, New Jersey, USA. *Climate Research*, 22(3), 255–270.
- Xiang, T., & Istrati, D. (2021). Assessment of Extreme Wave Impact on Coastal Decks with Different Geometries via the Arbitrary Lagrangian-Eulerian Method. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(12).
- Young, A. P., & Ashford, S. (2008). Instability Investigation of Cantilevered Seacliffs. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33, 1661–1677.
- Zhang, L., Zhang, S., Liu, X., & Sun, Y. (2021). Characterizing the Effect of Water Content on Small-Strain Shear Modulus of Qiantang Silt. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(12).