

## ÍNDICE DE VULNERABILIDAD COSTERA DEL PERFIL COSTERO DESDE LA LIBERTAD HASTA SALINAS Y SU IMPACTO

**Coastal vulnerability index of the coastal profile from La Libertad to Salinas and its impact**

**Índice de vulnerabilidade costeira do perfil costeiro de La Libertad a Salinas e seu impacto**

Tnlgo. José Israel Reyes Álava \*, <https://orcid.org/0000-0001-9209-7150>

Lcda. Lissette Rodríguez Vera, <https://orcid.org/0009-0007-9816-3287>

Fuerzas Armadas del Ecuador- Instituto Superior Tecnológico “Centro Tecnológico Naval”, Ecuador

\*Autor para correspondencia. email jose.reyes@ctenav.armada.mil.ec

**Para citar este artículo:** Reyes Álava, J. I. y Rodríguez Vera, L. (2025). Índice de vulnerabilidad costera del perfil costero desde La Libertad hasta Salinas y su impacto. *Maestro y Sociedad*, 22(4), 3415-3426. <https://maestroysociedad.uo.edu.cu>

### RESUMEN

**Introducción:** El estudio evalúa o estima la vulnerabilidad que puede presentarse expuestas en el tramo comprendido en la línea de costera entre los cantones La Libertad y Salinas de la provincia de Santa Elena (Ecuador), ante impactos significantes como el cambio climático y la influencia antrópicas en el borde costero, aplicando el Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) mediante el programa cartográfico QGIS y el entorno de modelamiento InVEST. **Objetivo:** Evaluar o estimar el Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) mediante el uso integrado de plataforma de QGIS e InVEST, con el fin de identificar los sectores críticos y su evolución espacial actual. **Materiales y métodos:** La investigación se presenta a través de un enfoque cuantitativo, una representación geoespacial y entorno multivariado, integrando variables físicas, ecológicas, océano-atmosféricas y socioeconómicas. La franja costera se la dividió en 10 tramos o segmentos de 250 metros, permitiendo de forma estructurada y esquemática espacios donde se pudo realizar un análisis detallado y replicable. **Resultados:** Se evidenció en el área de interés una estimación aproximada del 70% en lo que respecta a vulnerabilidad que va de moderada a alta, enfatizándose que las áreas de menor elevación, ecosistemas frágiles y con cercanía al mar, registran significativamente mayor exposición. Entre los componentes determinantes de la evaluación del IVC, pudieron identificar a la geomorfología y la degradación de los hábitats naturales, incidentes significativos de la capacidad adaptativa del sector ante la erosión y el aumento del nivel del mar. **Discusión:** La aplicación metodológica de QGIS en conjunto con InVEST, generó efectivamente una estimación de su impacto y se pudo sustentar la gestión del riesgo necesario para consolidar de forma segura el ordenamiento territorial y la planificación urbana. **Conclusión:** El área de interés presentó un índice cualitativo que va de moderado a alto, debido por su dinámica y requiere acciones prioritarias como el resurgimiento de ecosistemas protectores, la mitigación ante la presión antrópica y el fortalecimiento de estrategias de adaptación para futuros escenarios, basándose con el potenciamiento de modelos que proyecten la capacidad predictiva y que puedan favorecer su resiliencia.

**Palabras clave:** vulnerabilidad costera, geomorfología, hábitats costeros, modelación geoespacial, gestión del riesgo.

### ABSTRACT

**Introduction:** The study evaluates and estimates the vulnerability that may arise along the coastal stretch between the cantons of La Libertad and Salinas in the province of Santa Elena (Ecuador), in response to significant impacts such as climate change and anthropogenic influences on the coastal zone, applying the Coastal Vulnerability Index (CVI) through the QGIS cartographic software and the InVEST modeling environment. **Objective:** To evaluate and estimate the Coastal Vulnerability Index (CVI) using the integrated application of QGIS and InVEST platforms, with the purpose of identifying critical sectors and their current spatial evolution. **Materials and Methods:** The research is presented through a quantitative approach, geospatial representation, and a multivariate framework, integrating physical, ecological, ocean-atmospheric, and socioeconomic variables. The coastal strip was divided into 10 segments of 250 meters, allowing for a structured and schematic framework in which detailed and replicable analyses could be conducted. **Results:** The area of interest evidenced an approximate estimation of 70% vulnerability

ranging from moderate to high, emphasizing that low-lying areas, fragile ecosystems, and nearshore zones exhibit significantly greater exposure. Among the determining components of the CVI evaluation, geomorphology and the degradation of natural habitats were identified as significant factors influencing the adaptive capacity of the sector against erosion and sea-level rise. Discussion: The methodological application of QGIS combined with InVEST effectively generated an estimation of impacts and supported the risk management necessary to consolidate territorial planning and urban development in a secure manner. Conclusion: The area of interest presented a qualitative index ranging from moderate to high, due to its dynamic nature, and requires priority actions such as the restoration of protective ecosystems, mitigation of anthropogenic pressures, and strengthening of adaptation strategies for future scenarios related to climate change, based on the enhancement of predictive models that can foster resilience in the area of interest.

**Keywords:** coastal vulnerability, geomorphology, coastal habitats, geospatial modeling, risk management.

## RESUMO

Introdução: O estudo avalia e estima a vulnerabilidade que pode se manifestar ao longo do trecho costeiro compreendido entre os cantões La Libertad e Salinas, na província de Santa Elena (Equador), diante de impactos significativos como as mudanças climáticas e as influências antrópicas sobre a zona costeira, aplicando o Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) por meio do software cartográfico QGIS e do ambiente de modelagem InVEST. Objetivo: Avaliar e estimar o Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) mediante o uso integrado das plataformas QGIS e InVEST, com o propósito de identificar os setores críticos e sua evolução espacial atual. Materiais e Métodos: A pesquisa é apresentada através de uma abordagem quantitativa, uma representação geoespacial e um contexto multivariado, integrando variáveis físicas, ecológicas, oceano-atmosféricas e socioeconômicas. A faixa costeira foi dividida em 10 segmentos de 250 metros, permitindo de forma estruturada e esquemática a realização de análises detalhadas e replicáveis. Resultados: Evidenciou-se na área de interesse uma estimativa aproximada de 70% de vulnerabilidade variando de moderada a alta, enfatizando que áreas de menor elevação, ecossistemas frágeis e próximas ao mar registram exposição significativamente maior. Entre os componentes determinantes da avaliação do IVC, identificaram-se a geomorfologia e a degradação dos habitats naturais como fatores que incidem de forma significativa sobre a capacidade adaptativa do setor frente à erosão e ao aumento do nível do mar. Discussão: A aplicação metodológica do QGIS em conjunto com o InVEST gerou efetivamente uma estimativa de impactos e sustentou a gestão de riscos necessária para consolidar de forma segura o ordenamento territorial e o planejamento urbano. Conclusão: A área de interesse apresentou um índice qualitativo que varia de moderado a alto, devido à sua dinâmica constante, e requer ações prioritárias como o restabelecimento de ecossistemas protetores, a mitigação das pressões antrópicas e o fortalecimento de estratégias de adaptação para cenários futuros relacionados às mudanças climáticas, fundamentando-se no aprimoramento de modelos que projetem a capacidade preditiva e favoreçam a resiliência da área em questão.

**Palavras-chave:** vulnerabilidade costeira, geomorfologia, habitats costeiros, modelagem geoespacial, gestão de riscos.

Recibido: 21/7/2025      Aprobado: 4/9/2025

## INTRODUCCIÓN

El sector costero se caracteriza por ser un espacio estratégico en el desarrollo turístico, económico y social de los países, sin embargo, son también sectores altamente vulnerables ante el impacto de eventos naturales y de acciones antrópicas negativas. En el contexto actual del cambio climático, el incremento del nivel del mar, la energía que expone los eventos naturales característicos de un sector y el crecimiento desorganizado de la expansión urbana, son variables que se establecen como amenazas latentes para la desarrollo ambiental, estabilidad estructural y seguridad de los asentamientos costeros (ESPOL, 2017). El perfil costero del Ecuador, con más de 2,000 km<sup>2</sup> de línea de costa aproximadamente, enfrenta esta problemática significativa y recurrente, en especial la provincia de Santa Elena, donde las condiciones climáticas, oceanográficas, geomorfológicas y la urbanización acelerada que converge dinámicamente.

Los cantones de Salinas y La Libertad, presentan un comportamiento físico y socioeconómico susceptible a procesos adversos como la erosión, la inundación y la pérdida progresiva de hábitats naturales. Según estudios previos analizan y evidencian que la vulnerabilidad costera en estos cantones está directamente asociada a la poca elevación del terreno, al crecimiento geométrico de la poblacional costera y a la poca o ausente cobertura vegetal (Vera et al., 2021). Además, la negativa influencia antrópica proyectada intensifica la necesidad de aplicar herramientas técnicas que permitan modelar escenarios positivos ante el riesgo y nos ayude a orientar su planificación territorial costera.

En este contexto, el presente artículo aplica la ejecución del modelo Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) mediante el uso y modelamiento de herramientas geoespaciales como QGIS e InVEST (Bajaña, 2019), permitiendo estimar el índice de vulnerabilidad costera y su impacto en la actualidad. La metodología empleada

permite simular las condiciones actuales mediante el ajuste de las capas vectoriales y capas ráster, aplicando el análisis de sensibilidad por variable, generando mapas temáticos que permiten visualizar la evolución espacial del riesgo costero y poder aportar con estos resultados una evidencia técnica para gestionar la toma de decisiones optimas, la adaptación climática, el fortalecimiento del ordenamiento territorial y el ofrecimiento de una base replicable para estudios similares en otros sectores costeros del país (De La Torre, 2022).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se analizó y evaluó bajo una orientación no experimental, transversal y multivariado, lo que permitió desarrollar esquemáticamente la evaluación y determinación del Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) a través de una estructura cuantitativa, geoespacial y proyectiva, con la integración de variables físicas, océano-atmosféricas, ecológicas y socioeconómicas aplicados dentro de un entorno georreferenciado y sin afectar las condiciones naturales del entorno. Según Núñez et al. (2016), determina que un diseño para poder determinar este índice ha sido largamente manejado en estudios determinísticos de vulnerabilidad costera, como lo refuerza Gutiérrez & Armijos (2021) en su análisis costero de la Puntilla de Santa Elena, en lo que respecta a los eventos erosivos.



Figura 1: Figura 1: Componentes metodológico para estimar el IVC

Fuente: Elaboración propia. Ecuación básica para unificar dos entornos y obtener un producto como el IVC.

La orientación multivariada analizó técnicas de modelamiento, geoprocесamiento y análisis espacial dentro de un entorno SIG, lo que permitió la integración de información ráster y vectorial con datos espaciales que evaluados para estimar el índice de vulnerabilidad (Theocharidis et al., 2024). Sin embargo, para Botello et al. (2017), como representación transversal se permitió la evaluación de los escenarios con condiciones actuales y proyectadas, determinando resultados georreferenciados con componentes de modelamiento numérico que se detalla en la figura 1.

## Área de estudio

El área de estudio (Figura 2, Mapa 1) se encuentra ubicado en la zona activa del pacífico, específicamente en la Bahía de Santa Elena y contempla los cantones de Salinas ubicado en la posición 2° 12' 00"S y 80° 58' 48"O y La Libertad ubicado en la posición 2° 13' 12"S 80° 55' 12"O, forma parte del margen de subducción donde la placa de Nazca se pierde con una velocidad de ~56 mm/año por debajo de la placa Sudamericana (igepn.2021) y zona sensible al impacto creciente del cambio climático que afecta las zonas costeras, según proyecciones técnicas del IPCC (2021) y erosivos como lo evidencia Espinoza et al. (2022). Este sector se caracteriza por presentar una alta urbanización, considerable densidad poblacional y un poder económico generado a través de la actividad turística, pesquera y comercial; susceptible a eventos tectónicos, erosivos, oceánicos y atmosféricos extremos.

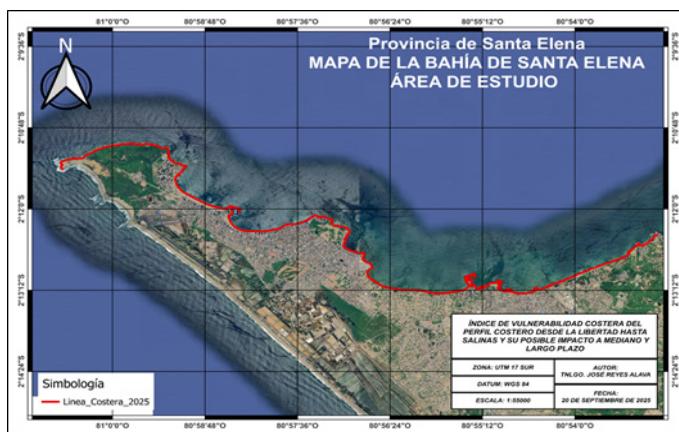


Figura 2 Mapa 1: Mapa del área de estudio con delimitación de sectores críticos

Fuente: Elaboración propia a partir de información geoespacial procesada en QGIS (versión 3.x). El mapa representa el área de estudio con la delimitación de la línea de costa. Año 2025.

En lo referente a los entornos naturales, registra ecosistemas frágiles con la poca presencia o ausencia de entornos de protección, considerando un sector con playas arenosas y sectores intermareales que acompañado

con los escenarios de nivel del mar y oleajes potenciales, generar impactos directos a la infraestructura asentadas en el borde costero, lo que conlleva socioeconómicamente a un incremento de exposición progresiva que reduce la capacidad adaptativa ante eventos de mayor magnitud en escenarios futuros, considerando que el presente estudio pretende focalizar la gestión del riesgo y la adaptación climática en el área de interés que abarca aproximadamente 23,14 km de línea costera entre la puntilla de Santa Elena (Chocolatera) hasta punta Murciélagos (Faro Ballenita) con un entorno físico representado en playas arenosas, acantilados rocosos, terrazas marinas y sectores urbanos de baja elevación (INOCAR, 2020).



Figura 3 Mapa 2: Segmentación de la línea de costa utilizada para el análisis de vulnerabilidad costera (Modelo InVEST).

Fuente: Elaboración propia a partir de información geoespacial procesada en QGIS (versión 3.x). Los puntos delimitan los segmentos de la línea de costa utilizados para el análisis de vulnerabilidad costera en el área costera de Salinas y la Libertad.

El área de interés comprende la línea de costa ubicada entre los puntos Alpha (A) y Juliett (J). Cada segmento representa un tramo consecutivo de la franja litoral comprendida dentro de los límites geográficos establecidos cartográficamente (Figura 3, Mapa 2), que abarca desde 2,19° S y 81,01° O hasta 2,21° S y 80,88° O. En la tabla 1, se detalla las coordenadas geográficas de los puntos extremos que definen la segmentación de cada uno de los sectores costeros analizados para la obtención del IVC.

Tabla 1: Coordenadas geográficas de los límites de los segmentos de la

Zona	Latitud (°S)	Longitud (°O)	Sector
ALPHA	-2.190181893	-81.01078821	Chocolatera
BRAVO	-2.184035397	-80.99663350	Pta. Vieja – ESSUNA
CHARLIE	-2.190334311	-80.98479461	Playa de Chipipe
DELTA	-2.200072365	-80.97550622	Playa de Salinas
ECHO	-2.203772779	-80.96097112	Petrópolis – Santa Rosa
FOXTROT	-2.210649827	-80.94722669	Playa Costa Serena
G GOLFO	-2.217506302	-80.94379991	Playa Milina Salinas
HOTEL	-2.220538143	-80.92691749	Malecón La Libertad
INDIA	-2.220745488	-80.91039558	SUINLI – Marañón
JULIETT	-2.214490360	-80.89579068	Chulluype – Pta. Murciélagos

Fuente: Elaboración propia a partir de información georreferenciada procesada en QGIS (EPSG:32717 – WGS 84 / UTM Zona 17S). Los puntos Alpha a Juliett delimitan los segmentos costeros definidos para el análisis espacial de vulnerabilidad costera en la zona de Salinas, provincia de Santa Elena.

### Variables integradas

Para poder estimar el Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC), se integraron variables obtenidas desde portales geoespaciales, considerando su categoría o entorno físico, océano-atmosférico, ecológico y socioeconómico. Para González & Laguna (2023), cada variable categorizada fue seleccionada por su relevancia en el área de interés (AOI) considerando su exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa ante eventos adversos y que fueron normalizados a través de ponderaciones obtenidos por medio del modelamiento y validado por expertos e información tangible.

La siguiente tabla resume las variables integradas en el modelamiento del Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) considerando la aplicación del entorno InVEST, donde se podrá evaluar la exposición costera combinando variables físicas, ecológicas, océano-atmosféricas y socioeconómicas en una distribución geoespacial

estandarizada. Cada variable fue apartada por su relevancia en la dinámica costera y formatos relacionados con entornos de sistema de información geográfica.

Tabla 2: variables integradas en el modelamiento del Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC)

Física	Altura del terreno	Altura sobre el nivel del mar	Ráster	Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)
Climático	Batimetría	Profundidad del fondo marino cerca de la costa.	Ráster	GEBCO, EMODnet Bathymetry, datos batimétricos
	Geomorfología	Características del relieve costero.	Vector	SIGTIERRAS, shapefiles de uso del suelo
	Exposición al viento	Impacto del viento que incide sobre la costa.	Vector	NOAA WaveWatch III
	Exposición al oleaje	Impacto directo de las olas en la línea costera	Vector	NOAA WaveWatch III
	Oleaje potencial	Energía de olas generadas por eventos distantes (swell)	Vector	NOAA WaveWatch III
Ecológico	Hábitat costero	Clasificación de las actividades humanas sobre la superficie terrestre (urbano, agrícola, natural).	Ráster	Inventarios ecológicos, Global Mangrove Watch, shapefiles de conservación.
Sociológico	Densidad poblacional	Número de habitantes por unidad de superficie en zonas costeras	Ráster	WorldPop, CIESIN (Gridded Population of the World), INEC.

Fuente: Elaboración propia. Adaptado de la estructura metodológica propuesta por Gornitz et al. (1990) y Hammar-Klose y Thieler (2001). La tabla integra las variables utilizadas en el modelamiento del Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) aplicados al área de estudio.

Una vez expuestas la variable utilizadas en la modelación y estimación del IVC; la figura 4, representa el flujo integrado y modelado de las variable que integradas alimentan el programa InVEST, donde se cumple paso a paso el detalle del cumplimiento de los criterios técnicos o la revisión esquematizada de su estructura que se ajustaría de ser necesario, para poder garantizar la trazabilidad, coherencia y replicabilidad en entornos de los sistemas de información geográfica como QGIS, proporcionando un análisis cuantitativo y cualitativo a través de la resultante comparativa expuestas por celdas en la complementación espacial de los mapas temáticos.

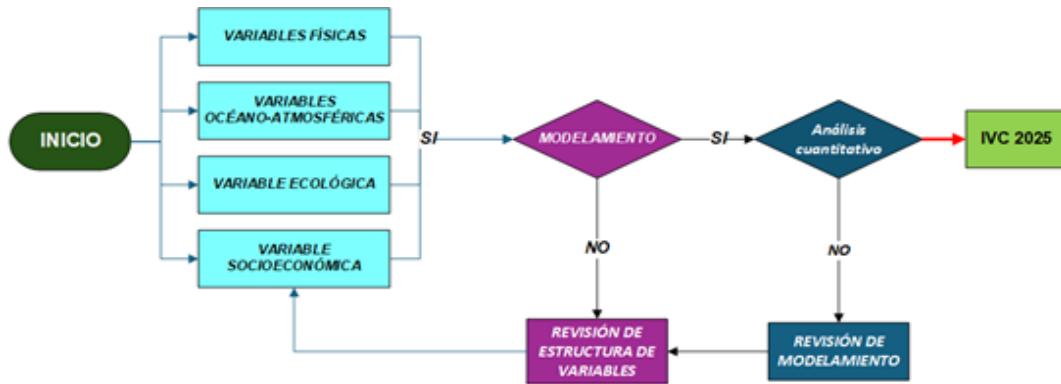


Figura 4: Esquema básico del cálculo de Índice de Vulnerabilidad Costera

Fuente: Elaboración propia. Esquema básico del cálculo del Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC). El diagrama muestra la interacción y flujo de las variables integradas en el entorno InVEST para la estimación del IVC.

### Procesamiento geoespacial en QGIS

El procesamiento geoespacial del presente estudio en el área de interés, se ejecutó en el software libre QGIS versión 3.40, debido a capacidad amigable al integrar datos multiformato, aplicar sistemáticamente el análisis espacial y exportar resultados compatibles al entorno InVEST (Coastal Vulnerability), donde las resultantes, facilitaron la normalización, zonificación y comparativas cuantitativamente por grilla.

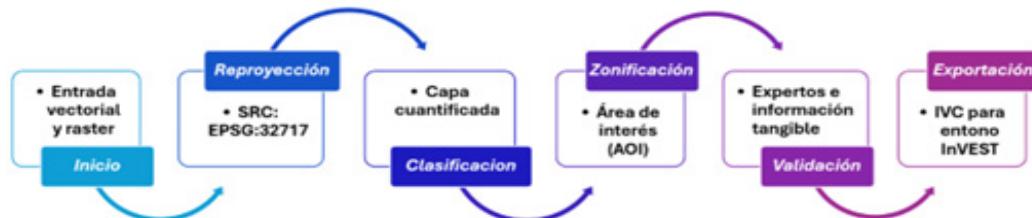


Figura 5: Esquema técnico del procedimiento de las capas bases para alimentar el InVEST

Fuente: Elaboración propia

La figura 5 refleja esquemáticamente el flujo técnico aplicado en QGIS, desde la entrada del vector o ráster hasta la exportación final de las capas utilizadas en el modelamiento, considerando que preliminarmente recibieron un tratamiento como la reproyección al sistema EPSG:32717 (UTM zona 17S), se aseguró su georeferenciación, posicionamiento y segmentación grillada a 250 metros, utilizando una precisión del 75% en las métricas enfocadas en el análisis del perfil costero, aplicando información relevante técnica de la tabla 1, garantizando la consistencia espacial a través del cruce de capas verificando errores, duplicados y vacíos durante procedimiento de las capas bases para alimentar el InVEST, concluyendo esta etapa previa al modelamiento de las capas que integran el modelo Coastal Vulnerability del entorno, asegurando replicabilidad técnica y compatibilidad en el escenario para determinar el nivel del riesgo y poder determinar el origen de las causales que afectan el entorno costero del área de interés.

### Modelamiento del IVC con InVEST

La obtención de las capas finales que exponen el Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC), fueron generadas en el entorno InVEST, específicamente en su entorno Coastal Vulnerability Model (NatCap). Esta herramienta ayudo a estimar la exposición cuantificada en la línea costera del área de interés a través de la combinación de las variables físicas, ecológicas, océano-atmosféricas y socioeconómicas en una malla espacial definida por celdas espaciadas en 250 metros. La figura 6 presenta el flujo de entrada y salida del modelo, considerando el cumplimiento de los archivos requeridos, su formato reestructurado y función dentro del flujo de cálculo (Natural Capital Project, 2023).



Figura 6: Diagrama esquemático del flujo y cálculo de IVC en el entorno InVEST

Fuente: Elaboración propia. Diagrama esquemático del flujo y cálculo del Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) en el entorno InVEST, adaptado de la estructura establecida por NatCap.

Generado el modelamiento en el entorno InVEST, la capa resultante es de formato gpkg, que almacena información vectorial, ráster y de atributos geográficos, garantizando su portabilidad y compatibilidad con otras aplicaciones que manejan los sistemas de información geográfica. Esta capa se representa normalizada y ponderada según los criterios de sensibilidad, exposición y capacidad adaptativa de lo determina el InVEST al momento del cálculo, considerando que en el presente estudio se utilizó seis de las siete variables consideradas y que se clasificaron individualmente en ponderados de vulnerabilidad cuantitativa que van desde 1 (muy baja) a 5 (muy alta). Esta clasificación permitió la integración representativa y proyectada de las variables fundamentas en las siguientes ecuaciones (Ec. 1 y Ec. 2) que finalmente proporciona el IVC.

$$\text{IVC} = \sqrt[n]{R_{Geo} \cdot R_{Rel} \cdot R_{Hab} \cdot R_{Wind} \cdot R_{Wave} \cdot R_{Surge}} \quad (\text{Ec. 1}), \text{ o podemos considerar también}$$

el modo general:  $\text{IVC} = (\prod_{i=1}^n R_i)^{1/n}$  (Ec. 2).

## RESULTADOS

Los resultados del presente estudio se expresan mediante una representación cartográfica, elaborado a partir de las componentes del IVC. La metodología permitió generar mapas temáticos por componente, así como una síntesis espacial y representativa del IVC.

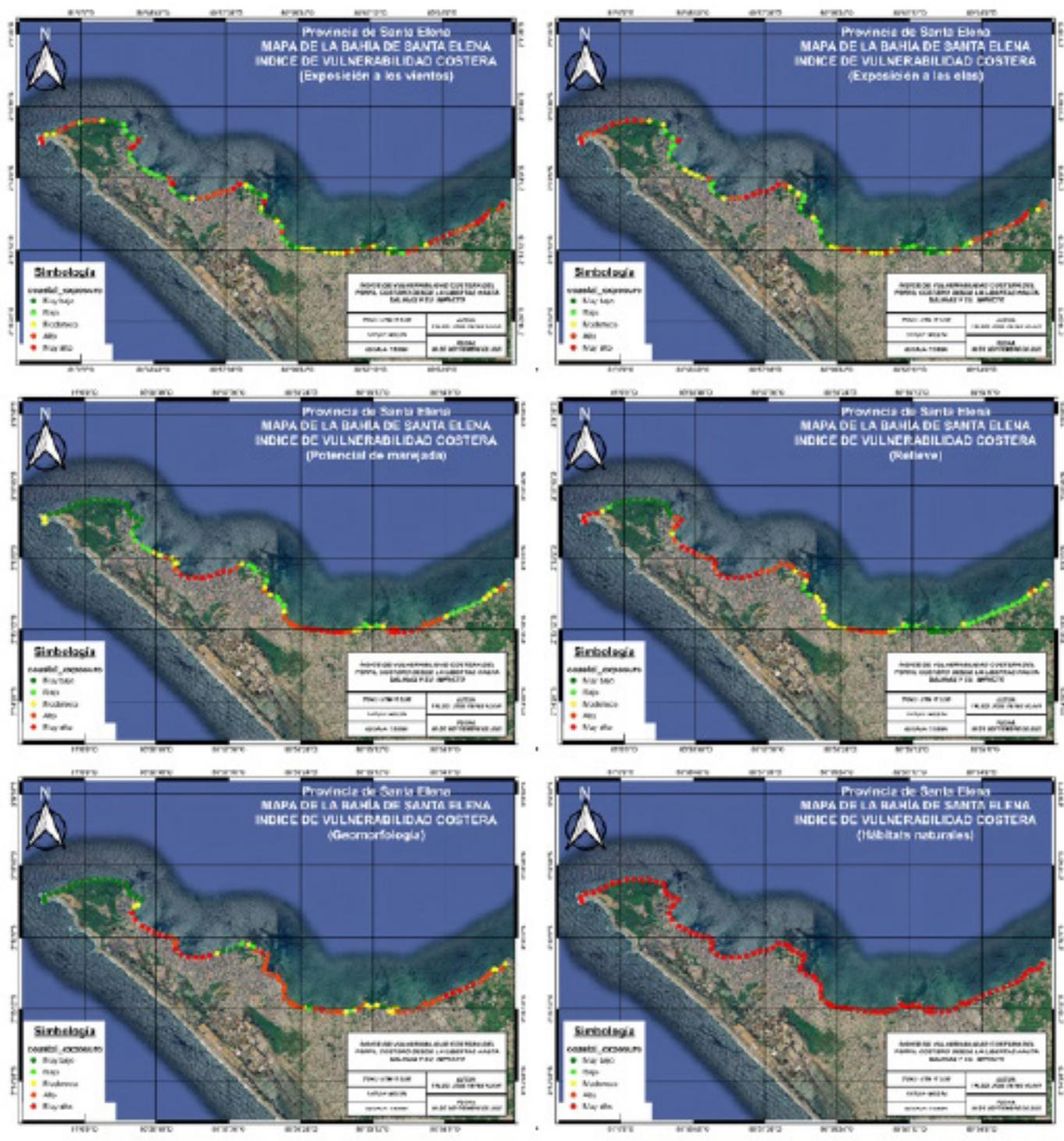


Figura 7 Mapa 3: Mapas resultantes de cada componente para estimar el IVC

Fuente: Elaboración propia. La información fue estructurada mediante la modelación en InVEST y georreferenciada espacialmente en QGIS, con el propósito de representar cartográficamente los resultados de las variables físicas, climáticas, ecológicas y antrópicas integradas en la estimación del Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC).

Los mapas (Figura 7) de cada variable utilizadas para poder determinar en índice de vulnerabilidad costera, expone las resultantes del modelamiento con una distribución particular de la fragilidad cuantificada en cada sector segmentado del área de estudio. El análisis espacial del Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) por variables, la componente hábitat natural registra una ponderación aproximada del 24% aproximadamente, lo que implica que la capacidad de protección ecológica frente a la dinámica costera y efectos del cambio climático, es muy alta debido a la pérdida o degradación de ecosistemas costeros protectores, lo que incrementa significativamente la exposición del área de interés.

En lo que respecta a la exposición del viento y la estructura geomorfológica con un 16% aproximadamente cada una, reflejan el impacto de las condiciones atmosféricas de forma directa en las características físicas costeras de los sectores evaluados. Le sigue en relevancia el impacto de las variables de oleaje y relieve,

que se presentan con un 15% de la ponderación porcentual, debido a la incidencia que genera las variables oceanográficas como las corrientes y el tren de olas que impactan con el borde costero, favoreciendo la acumulación o erosión costera, debido a las pendientes bajas existentes. Finalmente, la marejada potencial se presenta con una ponderación porcentual del 14% aproximadamente, lo que representa la elevación temporal del nivel del mar en sectores abiertos expuestos a marejadas significantes o mareas vivas. En conjunto, los mapas resultantes de cada componente preliminar el índice de vulnerabilidad, es producto de la interacción que sufre el área de estudio o interés, donde se puede resaltar que la pérdida del hábitat y la geomorfología son los principales determinantes del riesgo.

Tabla 3: Evaluación de los niveles de riesgo por sector y sus posibles causas asociadas

Zona	R_hab	R_wind	R_wave	R_surge	R_relief	R_geomorp	Condición o evento dominante
						h	
A	●	○	●	●	○	●	Alta exposición al viento y oleaje predominante del suroeste; energía marina intensa y relieve moderado.
B	●	○	○	●	○	●	Disminución del viento y oleaje por efecto de abrigo costero; relieve bajo con hábitat estable.
C	●	○	○	●	○	●	Sectores con relieve escarpado y fuerte influencia geomorfológica; predominan procesos erosivos costeros.
D	●	○	○	●	●	○	Alta exposición a marejadas y oleaje persistente sobre topografía baja; zona crítica por erosión.
E	●	○	○	●	●	●	Relieve bajo con playas arenosas; vulnerabilidad media asociada a oleaje moderado.
F	●	○	○	●	●	○	Zona de transición con relieve plano y alta influencia geomorfológica; baja protección natural.
G	●	○	○	●	●	○	Alta incidencia de marejadas y procesos oceánicos; vulnerabilidad alta por exposición directa.
H	●	○	○	●	●	○	Áreas heterogéneas, con baja acción eólica, pero exposición estacional al oleaje.
I	●	○	○	●	●	○	Alta vulnerabilidad geomorfológica por erosión activa; influencia de oleaje moderado.
J	●	○	●	●	●	●	Mayor exposición al oleaje en playas abiertas y relieve irregular; dinámica marina activa.

Fuente: Elaboración propia a partir de la modelación

En la tabla 3, se presenta en nivel de exposición de cada componente del Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC), destacando el nivel de riesgo asociado a su impacto o evento dominante, útil para orientar medidas de adaptación alternativa al PDOT y línea base comparable con diferentes escenarios futuros.

### Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC)



Figura 8 Mapa 4: Mapa resultante del IVC en línea costera de la bahía de Santa Elena

Fuente: Elaboración propia. El mapa representa la distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) obtenido mediante el entorno InVEST y procesado en QGIS.

El mapa del Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) de la bahía de Santa Elena (Figura 8, Mapa 4), comprendida entre La Libertad y Salinas, evidencia una diversidad en los niveles de exposición costera. Según la información resultante del modelo Coastal Vulnerability del entorno InVEST y georreferenciado en el programa QGIS, expone que el área occidental de área de interés presenta una vulnerabilidad de baja a moderada, debido a la existencia de espigones, estructuras urbanas y zonas con menor energía dinámica marina. Por otro lado, los sectores centrales y orientales exponen índices altos y muy altos, por la incidencia dinámica del oleaje, la irregularidad del terreno con pendientes bajas y la ausencia significante del hábitat natural protector.

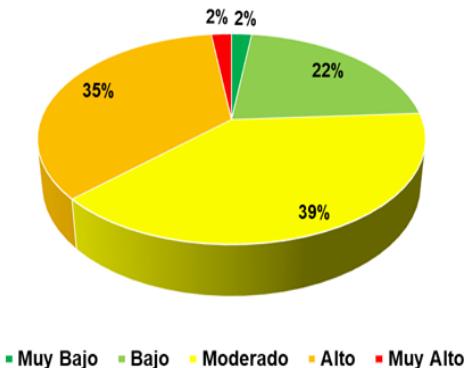


Figura 9: Distribución de los niveles significantes del Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) en el área costera de la bahía de Santa Elena

Fuente: Elaboración propia. El gráfico muestra la ponderación porcentual del Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) para línea costera de la bahía de Santa Elena, obtenida mediante el modelo Coastal Vulnerability del entorno InVEST, exponiendo que la distribución resultante evidencia la variabilidad espacial ante el impacto potencial de procesos erosivos e incremento significante del nivel del mar.

La exposición a los niveles de riesgo del IVC, registra cuantitativamente una interacción entre variables físicas, geomorfológicas, atmosféricas y ecológicas, lo que permite identificar sectores expuestos y donde se requiere medidas de mitigación ante procesos dinámicos erosivos y ascendentes como el incremento del nivel del mar. En la figura 9, se observa que el nivel moderado con un 39% aproximadamente registra el índice porcentual mas alto, seguida por el nivel alto con un 35%, evidenciando que la exposición en el área de interés estima condiciones de exposición moderadas a altas. En lo que respecta a los niveles muy bajos y bajos, representa un índice conjunto del 24% y la categoría muy alto registra el 2% del impacto en el área de interés.

En contexto general, La distribución observada registra un grado de vulnerabilidad moderada a alta, como se visualiza esquemáticamente en la distribución observada (Figura 10), lo que nos lleva a deducir que la dinámica erosiva plautina, la poca o escasa hábitat natural, el bajo terreno con considerables pendiente y el impacto incidente del oleaje, pueden incrementar significativamente los niveles de riesgo y exposición de la línea costera frente a la bahía de Santa Elena.

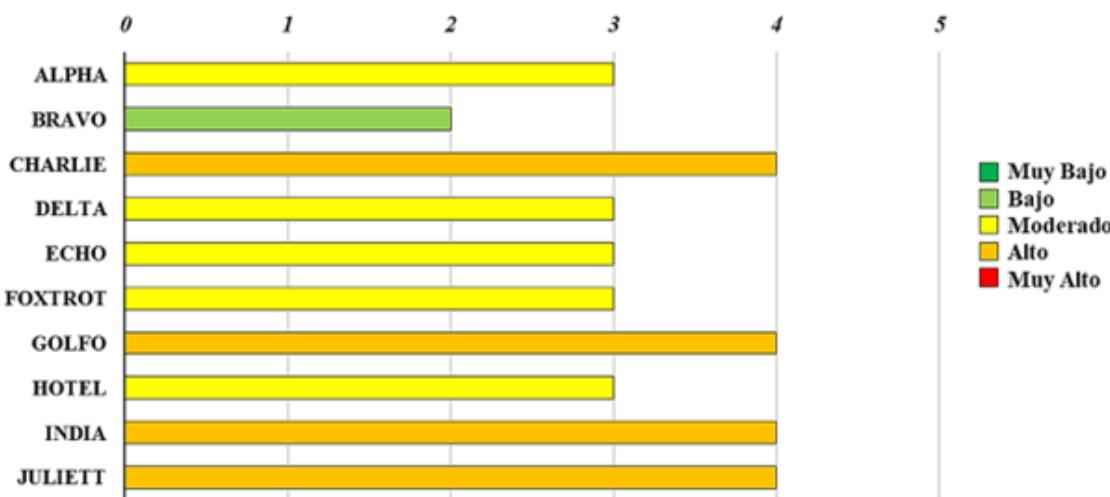


Figura 10: Niveles de vulnerabilidad por sectores del área de interés

Nota: Elaboración propia. El gráfico expone los niveles de vulnerabilidad asignados a cada sector del ADI, clasificada en una escala de niveles de vulnerabilidad que va de 1 para muy baja y 5 para muy alta, representado por la escala de color representativa, y que sirve para poder priorizar acciones de mitigación según el grado de exposición.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la línea de costa que comprende el perfil de la bahía de Santa Elena, evidencian un índice de vulnerabilidad significativa, especialmente en sectores urbanos de baja elevación. En el análisis, se pretende explicar la interacción de las variables, su modelamiento numérico en el entorno InVEST y su posterior procesamiento en el programa QGIS, revelando cualitativamente patrones espaciales del riesgo de forma georreferenciada y confirmando principios ampliamente calculados y reconocidos cuantitativamente, reforzando la base bibliográfica utilizada para la ejecución del presente estudio.

La ausencia predominante del hábitat costero protector en el área de interés, registra un índice crítico del 24%, aseverando de forma espontánea que al no existir este tipo de ecosistemas naturales podría incrementar su exposición al riesgo. Schueler (2017) manifiesta que estos hábitats naturales no solo mitigan el impacto de eventos extremos de origen oceánico, sino que significativamente mejoran progresivamente la resiliencia ante estos eventos adversos. En el área de interés comprendido desde la Chocolatera hasta Punta Murciélagos, la escasa o ausente cobertura vegetal protectora como dunas, manglares y vegetación intermareal; más la presión acelerada de la urbanización han incidido en la capacidad de amortiguación, incrementando los índices de exposición a zonas densamente pobladas.

En lo que respecta a las variables físicas del terreno como la geomorfología y relieve; determinantes para el presente estudio, registran un índice promedio del 16,5% aproximadamente. Vousdoukas et al. (2020) señalan que la dinámica costera en playas abiertas y zonas que registran pendientes suaves e inferiores a 10% que son susceptibles a la acción de procesos erosivos, lo que coincide con los hallazgos del presente estudio en la tabla 3 que representa los niveles de vulnerabilidad, considerando que estas zonas presentan una infraestructura costera muy frágil y que favorece a través de su dinámica costera; el acaparamiento de energía litoral, el impacto erosivo y al intrusión salina que afecta el terreno que no presenta un nivel de adaptación natural.

La resultante del análisis espacial del índice de vulnerabilidad costera, indica que el 39% del área en estudio presenta un nivel moderado y el 39% un nivel alto de exposición, lo que se deduce que cualitativamente la exposición que registra el área va de moderado a alto, lo que implica que se requiere una atención prioritaria como lo deduce Espinoza-Villacís et al. (2025). Este patrón valida la presión antrópica como indicio comprobado, sino también como interrogante viable ante las políticas de ordenamiento territorial; que según Zúñiga (2023), se prioriza para la planificación costera la implementación de modelos numéricos multivariados para poder estimar posibles impactos y diseñar planes de contingencia con respuestas adaptativas integrales.

La caracterización espacial del perfil costero del área de interés detalla la evidencia técnica para poder priorizar la intervención diferenciada de esquemas que permita reforzar los enfoques adaptativos territoriales. La metodología empleada se basa en la aplicación de datos espaciales, capas normalizadas y la segmentación costera que nos ayudó a garantizar esquemáticamente la replicabilidad y trazabilidad, convirtiéndola en una herramienta estratégica para la implementación de resultantes efectivas para otros perfiles costeros del país, considerando que los resultados estimados para el escenario actual reforzaran la línea base investigativa de otros trabajos, que nos permitirá alimentar los modelos de riesgos y activar su capacidad predictiva por medio de estudios recientes en América Latina y el Caribe.

En síntesis, el presente estudio no solo confirma la significante estimación de la vulnerabilidad costera, sino que aporta evidencia práctica y segmentada de la gestión del riesgo en la actualidad. La presente discusión planteada técnicamente un avance hacia una planificación territorial más resiliente, basada en datos, modelamientos y enfoques multivariados que nos permita estimar las condiciones actuales del perfil costero del área de interés, que comprende desde la chocolatera hasta Punta Murciélagos.

## CONCLUSIONES

El presente estudio evidencia que los sectores de baja elevación entre los cantones Salinas y La Libertad presentan un índice de vulnerabilidad costera significativa para el escenario actual. La interacción entre los componentes geomorfológicas, oleaje y hábitats naturales aumenta los niveles de riesgos de procesos erosivos y de intrusión marina, evidenciando técnicamente la orientación a medidas que adapten un plan de ordenamiento territorial, fortaleciendo sistemáticamente la planificación urbana en sectores altamente expuestos.

El hábitat natural costero, se presenta en la estimación como la más influyente barrera ante eventos naturales extremos, sin embargo, para González et al. (2023) la degradación o ausencia de estos ecosistemas

protectores disminuye la capacidad adaptativa de los asentamientos urbanos costeros, por lo que se recomienda la aplicación de estrategias de restauración y posterior conservación ecología a través del ordenamiento territorial y la gestión de riesgos ante eventos de origen climático.

La metodología del presente estudio combina el uso combinado estratégicamente del programa QGIS y el modelador InVEST, permitiendo el modelamiento y posterior estimación que se asemeja a la realidad del Índice de Vulnerabilidad Costero con alta precisión y replicabilidad técnica. La delimitación de la línea costera en tramos de 250 metros y la integración multivariada de los componentes o variables constituyen una herramienta para estudios o estimaciones similares en otros perfiles costeros, fortaleciendo la capacidad de respuesta para anticipar impactos y diseñar planes de contingencia adaptativas.

Los resultados de la estimación muestran una tendencia significativa del 70% del área costera en estudio, presentando niveles de vulnerabilidad moderada a alta, lo que incorpora en la actualidad un desafío para la gestión del riesgo. Esta proporción evidencia que la exposición requiere intervenciones diferenciadas por segmento lo que permite priorizar sectores críticos y poder orientar los recursos hacia medidas de mitigación seguras y consolidar el fortalecimiento de una línea base técnica y estructurada para la toma de decisiones de las autoridades del sector.

El estudio compila nuevas y actualizadas líneas de investigación orientadas a la relación profunda y real de la exposición al riesgo a través de la densidad poblacional, la pérdida de hábitat y la vulnerabilidad costera. Además, se propone incorporar variables adicionales con el fin de dignificar el modelo y poder fortalecer su capacidad predictiva a escenarios futuros, considerando que estas líneas permitirán mejorar la resiliencia y poder diseñar estrategias y habilidades integradas a la adaptación climática a través de la evidencia científica o geoespacial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bajaña, C. (2019). Aplicación del programa InVEST para determinar la influencia del manglar en la reducción de vulnerabilidad ante inundaciones en la parroquia de santa rosa de Flandes, provincia del Guayas, Ecuador. Pontificia universidad católica del ecuador. <https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/343ccf8d-8423-4f7d-a058-751765448032/content>

Botello, A., Villanueva, S., Gutiérrez, J., & Rojas, J. (2017). Vulnerabilidad de las zonas costeras de Latinoamérica al cambio climático. México: UJAT–UNAM–UAC. <https://www.redicomar.com/wp-content/uploads/2018/10/Vulnerabilidad-de-las-Zonas-Costeras-de-Latinoamerica-al-Cambio-Climatico.pdf>

Clayre de la Torre Rodríguez. (2023). Estimación y cartografía del índice de vulnerabilidad costera (IVC) en la zona costera del municipio Habana del Este. [Trabajo de diploma, Universidad de La Habana]. [https://fototeca.uh.cu/files/original/2192573/TRABAJO\\_DE\\_DIPLOMA\\_Clayre.pdf](https://fototeca.uh.cu/files/original/2192573/TRABAJO_DE_DIPLOMA_Clayre.pdf)

Espinoza, J., Moreno, J., & Bernal, G. (2022). Suelos del Ecuador. Clasificación, uso y Manejo. Instituto Geográfico Militar (IGM). <https://www.geoportalgim.gob.ec/portal/index.php/estudios-geograficos/>

Espinoza-Villacís, E., Rivas-Oviedo, J., Martillo-Bustamante, C., Muthre, M., Saltos-Andrade, I., Andrade-García, G., Cedeño-Oviedo, J., Cervantes-Bernabé, E., & Chunga, K. (2025). Coastal physical vulnerability to sea level rise for integrated coastal management in Santa Elena Bay in the active Ecuadorian margin. Natural Hazards, 1-25. <https://doi.org/10.1007/s11069-025-07556-x>

ESPOL. (2017). Análisis de vulnerabilidad socioeconómica ante eventos climáticos en los cantones santa elena y la libertad. [https://rraae.cedia.edu.ec/vufind/Record/ESPOL\\_dd9d9929c9ca12d218024292e1b2ca97/Details?sid=2991840&lng=es](https://rraae.cedia.edu.ec/vufind/Record/ESPOL_dd9d9929c9ca12d218024292e1b2ca97/Details?sid=2991840&lng=es)

González G. , F. E., & Laguna , D. (2023). Análisis De La Estimación Del Índice De Vulnerabilidad Costera De Panamá Oeste Mediante Sistemas De Información Geográfica. Synergía, 2(2), 113–126. <https://doi.org/10.48204/synergia.v2n2.4457>

Gutiérrez Zambrano, H. J., & Armijos Salazar, G. S. (2021). Estudio de susceptibilidad ante la erosión costera por medio de categorización de variables geológicas y oceanográficas utilizando sensores remotos y SIG. Caso de estudio: Puntilla de Santa Elena hasta Posorja [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Repositorio ESPOL. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/51487>

IGEPN. (2021). Informe Sísmico Especial No. 2021-008 - Instituto Geofísico- EPN. Igepn. <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1894-informe-sismico-especial-no-2021-008>

- INOCAR. (2020). Derrotero de la costa continental e insular del Ecuador 2021 (6th ed.). INOCAR Guayaquil, Ecuador.
- IPCC. (2021). Cambio climático 2021: Todo el mundo. In Cambio Climático 2021. Todo El Mundo. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/outreach/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SummaryForAll\\_Spanish.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/outreach/IPCC_AR6_WGI_SummaryForAll_Spanish.pdf)
- Natural Capital Project. (2023). Modelo de vulnerabilidad costera. Documentación de InVEST®. [https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest/3.16.2/userguide/es/coastal\\_vulnerability.html](https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest/3.16.2/userguide/es/coastal_vulnerability.html)
- Nuñez, J., Ramos, R., Barba, E., Espinoza, A., & Gama, L. (2016). Índice de vulnerabilidad costera del litoral tabasqueño, México. Investigaciones Geográficas Boletín Del Instituto De Geografía, 91. <https://doi.org/10.14350/rig.50172>
- Schueler, K. (2017). NATURE-BASED SOLUTIONS TO ENHANCE COASTAL RESILIENCE. Inter-American Development Bank. <https://publications.iadb.org/en/publications/spanish/viewer/Soluciones-basadas-en-la-naturaleza-para-fortalecer-la-resiliencia-costera.pdf>
- Theocharidis, C., Doukanari, M., Kalogirou, E., Christofi, D., Mettas, C., Kontoes, C., Hadjimitsis, D., Argyriou, A. V., & Eliades, M. (2024). Coastal Vulnerability Index (CVI) Assessment: Evaluating Risks Associated with Human-Made Activities along the Limassol Coastline, Cyprus. Remote Sensing, 16(19), 3688. <https://doi.org/10.3390/rs16193688>
- Vera, M., Morán, K. C., & Mendoza, I. E. Z. (2021). Evaluación de la vulnerabilidad de la línea de costa para apoyar los desarrollos sostenibles de poblados costeros en Manabí, Ecuador. Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada Yachasun, 5(8Ed.esp.), 51-66. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9016248>
- Youssoufoukas, M.I., Ranasinghe, R., Mentaschi, L. (2020). Sandy coastlines under threat of erosion. Nat. Clim. Chang., 10, 260–263. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0697-0>
- Zuñiga, A. (2023). Vulnerabilidad costera ante inundaciones en el área protegida de recursos manejados península de guanahacabibes. Universidad de La Habana. [https://accesoabierto.uh.cu/files/original/2192569/Trabajo\\_de\\_Diploma\\_Adrian\\_Zuniga\\_Hernandez\\_Facultad\\_de\\_Geografia.pdf](https://accesoabierto.uh.cu/files/original/2192569/Trabajo_de_Diploma_Adrian_Zuniga_Hernandez_Facultad_de_Geografia.pdf)

### **Conflictos de intereses**

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses en relación con la realización de este estudio. Además, aseguran que la integridad de los datos y la interpretación de los resultados se mantuvieron libres influencias externas.

### **Declaración de responsabilidad de autoría**

Los autores del manuscrito señalado, DECLARAMOS que hemos contribuido directamente a su contenido intelectual, así como a la génesis y análisis de sus datos; por lo cual, estamos en condiciones de hacernos públicamente responsables de él y aceptamos que sus nombres figuren en la lista de autores en el orden indicado. Además, hemos cumplido los requisitos éticos de la publicación mencionada, habiendo consultado la Declaración de Ética y mala praxis en la publicación.

Jose Reyes Alava: Realizó el diseño metodológico, redacción de materiales y métodos, el análisis geoespacial, análisis de riesgo y discusión de resultados.

Lissette Rodríguez Vera: Redacción de introducción, conclusiones y traducciones de publicaciones en inglés.