

## **Aplicación del índice de vulnerabilidad costera en el sector de la loma de Crucita, Cantón Portoviejo, Provincia de Manabí.**

*Application of the coastal vulnerability index in the Loma de Crucita sector, Portoviejo Canton, Manabí Province.*

**Roberth William Zambrano De La Torre** <sup>(1)</sup>

**Gema Stefany Barreiro Mendoza** <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto Superior Tecnológico Portoviejo con condición Superior Universitario. Manabí, Ecuador.  
Email: zroberthwilliam@itsup.edu.ec, Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5450-5037>

<sup>(2)</sup> Instituto Superior Tecnológico Portoviejo con condición Superior Universitario, Manabí. Ecuador:  
Email: stefanybarreiro@gmail.com, Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9661-9761>

**Contacto:** zroberthwilliam@itsup.edu.ec

**Recibido: 10-07-2023**

**Aprobado: 19-09-2023**

### **Resumen**

El presente trabajo busca analizar la vulnerabilidad costera de la franja costanera la urbanización Balsamaragua e identificar los potenciales peligros geológicos para la población, mediante la técnica CVI (Coastal Vulnerability Index) y aplicación de la escala macro sísmica de efectos ambientales. Se presenta a continuación un estudio cuantitativo. El estudio se realizó en la Parroquia Crucita del Cantón Portoviejo, de la provincia de Manabí para la urbanización Balsamaragua. Como resultado se obtuvo que las categorizaciones de niveles de riesgos según los CVI (costal vulnerability index) son intervalos con los siguientes valores: muy bajos, de 1 a 3, bajos de 3 a 5, moderado de 5 a 7, alto de 7 a 9, y muy alto de 9 a 12 dando como resultado un índice de vulnerabilidad de 7.35. Siendo este dato de relevancia para el análisis de la factibilidad de construcción de proyectos habitacionales asentados en esta zona costera.

**Palabras clave:** vulnerabilidad costera, CVI, riesgo costero.

### **Abstract**

The present work seeks to analyze the coastal vulnerability of the coastal strip of the Balsamaragua urbanization and identify the potential geological dangers for the population, through the CVI (Coastal Vulnerability Index) technique and the application of the macro-seismic scale of environmental effects. A quantitative study is presented below. The study was carried out in the Crucita Parish of the Portoviejo Canton, in the province of Manabí for the Balsamaragua urbanization. As a result, it was obtained that the categorizations of risk levels according to the CVI (costal vulnerability index) are intervals with the following values: very low, from 1 to 3, low from 3 to 5, moderate from 5 to 7, high from 7 to 9, and very high from 9 to 12 resulting in a vulnerability

index of 7.35. This data is relevant for the analysis of the feasibility of building housing projects located in this coastal area.

**Keywords:** Coastal Vulnerability, CVI, Coastal Risk.

## **Introducción**

Las variaciones costeras donde los niveles de mareas tienen cambios significativos en los retrocesos de acantilados por erosión, pueden afectar zonas urbanas e infraestructuras viales de conexión entre un sitio a otro poblado. Estas variaciones pueden incrementar su tasa de velocidad de erosión en fenómenos El Niño o en mareas altas extremas donde la elevación momentánea del nivel de mar puede erosionar significativamente en terrenos sueltos y rocas blandas de formaciones geológicas Cuaternarias y Terciarias.

En recientes años, varias iniciativas de gobiernos seccionales y entidades gubernamentales de control en la gestión de riesgos, han desarrollado análisis para entender la problemática de peligros naturales que pueden generarse por amenazas sísmicas y climáticas, las cuales podrían formar peligros como: (i) incrementar la tasa de erosión costera de acantilados y reducción de zonas de playas, (ii) inestabilidades de taludes en macizos rocosos bien fracturados, y suelos cohesivos sueltos que pueden formar coladas de detritos en materiales saturados, (iii) licuefacción de suelos de tipo lateral (ie., lateral spreading) en los márgenes fluviales y de acantilados marinos. La integración de datos geológicos identificando los tipos de rasgos geomorfológicos, sean estos de acantilados medios o bajos, planicies litorales y zonas de manglares, pueden delinear zonas de interés donde los niveles de vulnerabilidad pueden variar entre un extremo de la costa a otra de un mismo sector.

El objetivo de este estudio es, determinar los niveles de vulnerabilidad costera considerando parámetros geomorfológicos, valores de acreción sedimentaria y erosión marina, inclinaciones de pendientes en zonas de playas arenosas y plataformas rocosas de abrasión, mareas y alturas de olas máximas esperadas, y su relación con el incremento del nivel de mar a escala regional.

La propuesta de este artículo es contribuir en los planes de desarrollo habitacional, salvaguardando la seguridad de las familias ocupantes y la ubicación adecuada de los proyectos de interés social en los cuales el estado ecuatoriano destina fondos de inversión públicos.

El estudio se desarrolla en una de las parroquias pesqueras, turísticas de la Provincia de Manabí, Crucita del Cantón Portoviejo, en un sector denominado bajos de la loma de Crucita, específicamente en un proyecto de vivienda denominado Urbanización Balsamaragua. La franja costera en estudio ha estado expuesta a permanentes amenazas de erosión del perfil costero. El área escogida para el presente estudio está ubicada en la parte sur de la Parroquia Crucita, específicamente frente a la Urbanización Balsamaragua la cual comprende 510 metros de longitud.

Por las características climáticas de vegetación y orográficas similares a las de la Parroquia Crucita, y de acuerdo a la clasificación de Koeppen (Blandin, 1976), se considera a la zona de estudio, como Tropical Monzón. En el área de Crucita las precipitaciones se presentan generalmente entre los meses de diciembre a mayo, manteniendo un acumulado del periodo de 317 mm, siendo febrero el

mes con el mayor acumulado mensual con un promedio de 109.4 mm (Base de Datos del INOCAR), conservando el régimen natural de lluvias de la región costa o litoral. La temperatura promedio de 26°C, la máxima temperatura alcanzada en la zona es 35.5°C.

La Parroquia Crucita se levanta sobre suelos de tipo MUG, es decir formación de villangota de lutitas y areniscas. El basamento rocoso es conformado por conglomerados basales y areniscas, en la parte superior de esta sucesión estratigráfica, arcillolitas, de la formación Angostura. Los principales afloramientos en cortes de colinas, son de la formación Onzole, compuesto de lutitas y tobas volcánicas.

### **Materiales y métodos**

El trabajo de investigación comprende dos fases: la primera (i) analizar la vulnerabilidad costera de la franja costera la urbanización Balsamaragua, aplicando la técnica CVI (Coastal Vulnerability Index), que considera parámetros geomorfológicos, erosión y acreción de acantilados y zonas de playas, inclinación de la zona intermareal y supratidal de playas, incremento anual de marea a nivel regional, y alturas de olas y mareas en la zona de Crucita. La técnica CVI es una metodología con enfoque numérico para clasificar en la costa en secciones, basadas en la intensidad de las influencias por parámetros relevantes (Gornitz et al., 1994); adecuada para playas activas con significantes modelamientos en su geomorfología costera y categorizada en cinco distintas clases (ie., muy baja, baja, moderada, alta y muy alta vulnerabilidad costera). La ecuación que conlleva al valor numérico del índice se desarrolla a continuación:

$$CVI = \sqrt{[(a \times b \times c \times d \times e \times f)/6]}$$

Donde, a = geomorfología, b = puntuación de acreción/erosión de la línea de costa, c = pendiente de la costa, d = valor relativo del nivel de mar, e = altura media de ola, y f = rango medio de marea.

La segunda etapa (ii) identificar los potenciales peligros geológicos para la población costera de la urbanización Balsamaragua, que podrían incrementar las intensidades de efectos físicos en el terreno (ie., deslizamientos, retrocesos costeros, licuefacción de suelos), debido a eventos sísmicos y climáticos. La aplicación de la escala macrosísmica de efectos ambientales (ESI-2007, Environmental Seismic Intensity, Michetti et al., 2007), permitirá asociar las máximas intensidades estimadas, dependiendo de los parámetros sísmicos (magnitud, distancia Rrup, PGA) y geológicos (consistencia litológica, topografía y edades geológicas de suelos y rocas). Trabajos previos de fuentes sísmicas y máximas magnitudes estimadas son referidas de Chunga et al. (2017).

Toda esta información permitirá elaborar un mapa de vulnerabilidad aplicable a la planificación y ordenamiento territorial, además de conocer los sectores no adecuados para construcciones, de los cuales se debe estudiar en detalle soluciones técnicas de defensa litoral y obras civiles para reducir los niveles de vulnerabilidad.

## Resultados

**Tabla 1.** Parámetros y valoración en la técnica de Índice de vulnerabilidad costera.

Parámetros	Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto
	1	2	3	4	5
Tipo de Geomorfología costera	Acantilados de rocas volcánicas	Acantilados medios y altos, sedimentarias	Planicie litoral, dunas, acantilados bajos	Playas gravas, desembocadura de río, lagunas costeras, bahías semicerradas, estuarios salinos	Playas arenosas, manglares, marisma, planicie de marea
Erosión y acreción acantilados y línea de costa (m/año)	> 3	1 a 3	-1 a 1	-1 a -3	< -3
Pendientes de zonas de playas (grados)	> 8	6 a 8	4 a 6	2 a 4	< 2
Cambios relativos del nivel de mar (mm/año)	< 1,8	1,8 a 2,5	2,5 a 3	3 a 3,4	> 3,4
Altura media de olas (m)	< 0,3	0,3 a 0,6	0,6 a 0,9	0,9 a 1,2	> 1,2
Rango de marea media (m)	> 6	4 a 6	2 a 4	1 a 2	< 1

## **Cálculo de índice de vulnerabilidad costera**

### ***Tipo de Geomorfología costera***

La franja de estudio tiene 510 m en el límite de la urbanización Balsamaragua.

Acorde al Mapa geológico de la República del Ecuador, 20017 y la ubicación de la zona de estudio Parroquia Crucita), se presenta un tipo de suelo Mvg formación Villignota, Lutitas y Areniscas.

La zona de estudio se presenta en un acantilado frente al mar con alta evidencia de deformación costera en función a imágenes satelitales de construcción colindante destruida por la erosión costera.

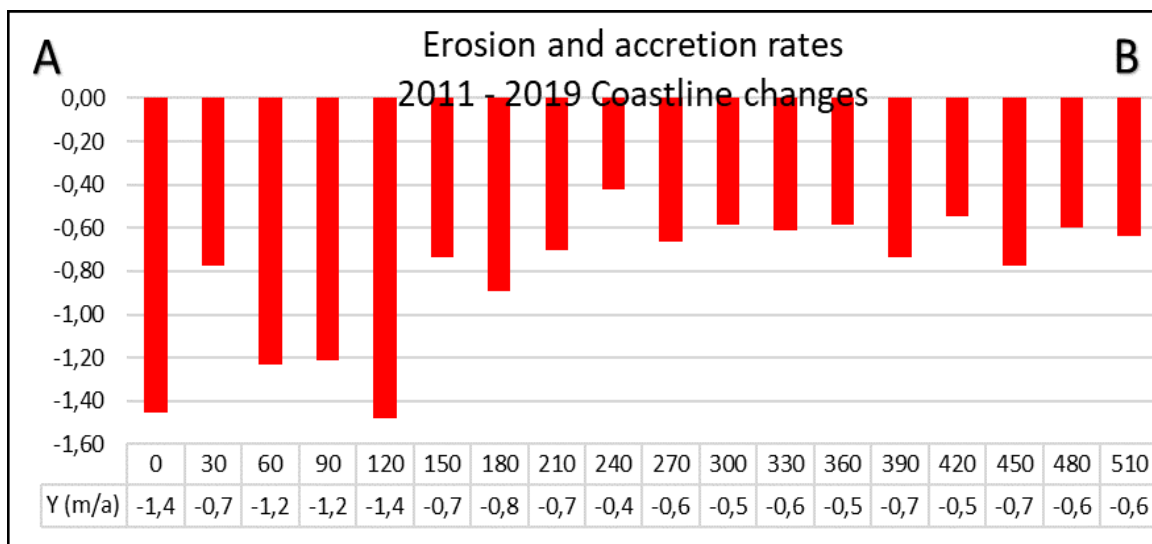
### ***Erosión y acreción en acantilados y línea de costa***

Para esta fase de trabajo, se usaron imágenes satelitales de sensores remotos desde google earth de los años 2011 y 2019, fotos áreas a escala 1: 60.000 y orthofotos a escala 1: 10.000 de los años 1984 y 2012, permitieron estimar la tasa de erosión marina y acreción sedimentaria en los límites de marea alta de acantilados costeros. Los avances o retrocesos de la línea de costa dependen por lo tanto de los aportes continentales o erosiones marinas por las altas energías de las olas. La posición geográfica de los rasgos de planicies inundables ha sido diferenciada como planicies litorales y flechas litorales por su influencia directa con las ondas marinas, las planicies aluviales con influencia de ríos y arrastres de depósitos coluviales en zonas de quebradas entre colinas.

**Tabla 2.** Datos para cálculo de erosión y acreción en acantilados y línea de cota (m/año)

Periodo 2011-2019				
	X (m)	2011-2019 (m)	Y (m/a)	Promedios de línea  Por zona
	0	-11,62	-1,45	
0,100	30	-6,22	-0,78	
0,100	60	-9,87	-1,23	
0,100	90	-9,67	-1,21	
0,100	120	-11,85	-1,48	
0,100	150	-5,89	-0,74	
0,100	180	-7,14	-0,89	

0,100	210	-5,62	-0,70	-0,81
0,100	240	-3,38	-0,42	
0,100	270	-5,31	-0,66	
0,100	300	-4,69	-0,59	
0,100	330	-4,88	-0,61	
0,100	360	-4,69	-0,59	
0,100	390	-5,89	-0,74	
0,100	420	-4,35	-0,54	
0,100	450	-6,20	-0,78	
0,100	480	-4,80	-0,60	
0,100	510	-5,12	-0,64	



**Figura 1.** Datos de erosión y acreción en acantilados y línea de cota (m/año)

Análisis: De acuerdo al presente gráfico como longitud de estudio se tomó 510 m de la playa de la parroquia Crucita del Cantón Portoviejo, en donde la longitud antes mencionada se la dividió en 18 zonas iguales, para lo cual se obtuvo la distancia entre la línea de cota correspondiente al año 2011 y la línea de cota del año 2019, de acuerdo a las distancias obtenidas se realizó el cálculo y se obtuvo el valor promedio de -0.81 metros para lo cual hace referencia a que existe erosión en la zona de estudio.

### **Pendientes de zonas de playas**

Planicies y pendientes poco inclinadas entre 0 a 8° corresponde a zonas bajas de planicies inundables, terrazas fluviales y flechas litorales. Los suelos coluviales han sido delineados en zonas entre colinas y depresiones de quebrados aluviales, con inclinación moderadas de 8 a 16° atribuidas a los coluviales antiguos, mientras que valores más altos entre 17 a 55° corresponde a relieves escarpados y muy escarpados de colinas.

### **Cambios relativos del nivel de mar**

Los datos instrumentales del nivel de mar, recogidos con mareógrafos y altímetros satelitales indican diferencias en los valores medidos entre 1901 y 2010, es muy probable que la tasa media de elevación promedio mundial del nivel del mar haya sido de 1,7 mm/año (1,5 a 1,9 mm/año). Desde 1971 y 2010, con un promedio de 2,0 mm/año (1,7 a 2,3 mm/año); y entre 1993 y 2010 de 3,2 mm/año (2,8 a 3,6 mm/año). Es probable que también se registraran tasas altas entre 1920 y 1950 (IPCC, 2013).

La combinación de la pérdida de masa de los glaciares y la expansión térmica del océano provocada por el calentamiento da razón de aproximadamente el 75% de la elevación observada del nivel medio global del mar desde 1970 (nivel de confianza alto). Durante el período 1993-2010, la elevación media mundial del nivel del mar coincide, con un nivel de confianza alto, con la suma de las contribuciones observadas de la expansión térmica del océano debida al calentamiento (0,8 a 1,4 mm/año), y de los cambios en los glaciares (0,39 a 1,13 mm/año), el manto de hielo de Groenlandia (0,25 a 0,41 mm/año), el manto de hielo de la Antártida (0,16 a 0,38 mm/año) y el almacenamiento terrestre de agua (0,26 a 0,49 mm/año) (IPCC, 2013). Todas estas contribuciones suman de 2,3 a 3,4 mm/año. Para los análisis de índice de vulnerabilidad costera en la costa norte del Ecuador, se empleará una tasa de elevación de nivel de mar de 2.8 mm/año.

### **Altura media de olas**

Este parámetro es obtenido desde la estación de la ciudad de Manta, los oleajes moderados provienen del pacífico sur. Los sitios revisados fueron de tide-forecast, (<https://www.tide-forecast.com/>), myforecast (<https://www.myforecast.com/>), y de control de condiciones de oleajes proporcionado por el Inocar. El valor de altura promedio de ola de 0.7 m (entre 0.25 a 1.1 metros y olas de arriba con periodos de 12 a 14 segundos), es considerado en este análisis.



Condición de las olas frente a las costas continentales e insulares (aguas medias):

ZONA	FECHA	DIRECCIÓN DE LAS OLAS	MÍNIMO Y MÁXIMO DE ALTURAS	PERIODO DE LAS OLAS	ESTADO DEL MAR ZONA COSTERA (Basado en índice de amenaza)
Borde costero continental	12 de marzo	Oestenoroeste- Sursuroeste	Mín: 0.25 m. Máx.:1.00-1.10 m.	12-14 segundos	Moderado y Ligero
Borde costero continental	13 hasta el 16 de marzo	Oestenoroeste- Sursuroeste	Mín: 0.25 m. Máx.:1.10-1.30 m.	13 -18 segundos	Moderado y Ligeramente Agitado Periodo de aguaje: Del 13 hasta el 16 de marzo
Borde costero insular	12 de marzo	Zona norte y oeste del Archipiélago: Oestenoroeste- Sursuroeste Zona sur del Archipiélago: Suroeste- Sursuroeste	Mín.: 0.60 m. Máx.:1.10-1.50 m.	13 -14 segundos	Moderado y Ligero
Borde costero insular	13 hasta el 16 de marzo	Zona norte y noroeste del Archipiélago: Oestenoroeste- Oestesuroeste Zona oeste y sur del Archipiélago: Suroeste- Sursuroeste	Mín.: 0.60 m. Máx.:1.00-1.70 m.	12 -17 segundos	Moderado y Ligeramente Agitado Periodo de aguaje: Del 13 hasta el 16 de marzo

Figura 2. Valor de altura media de olas obtenida por el Inocar

### Rango de marea media

Los datos de altura de mareas referidas a un nivel de referencia denominado MLWS por sus siglas en inglés (promedio de mareas de bajamares de sicigia), es obtenido desde el Website del Inocar ([www.inocar.mil.ec](http://www.inocar.mil.ec)). La estación mareógrafo de Manta, es la más cercana a la parroquia Crucita, indicando un valor medio de marea de 3.34 m (2.28 a 4.52 m).

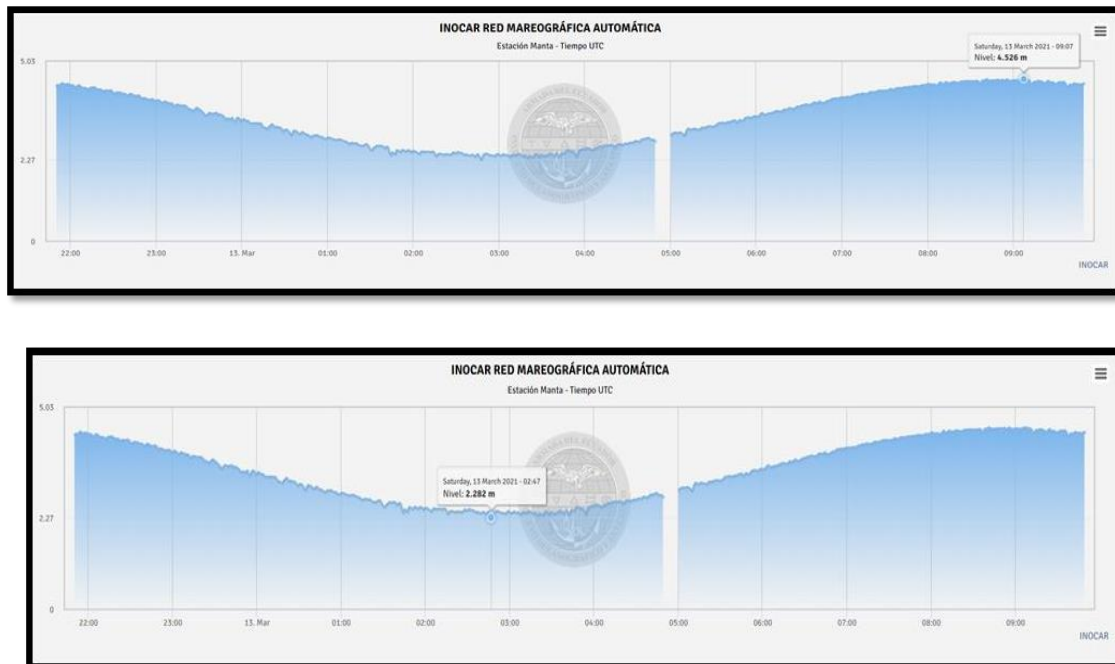


Figura 3. Datos de marea media obtenidos por el Inocar



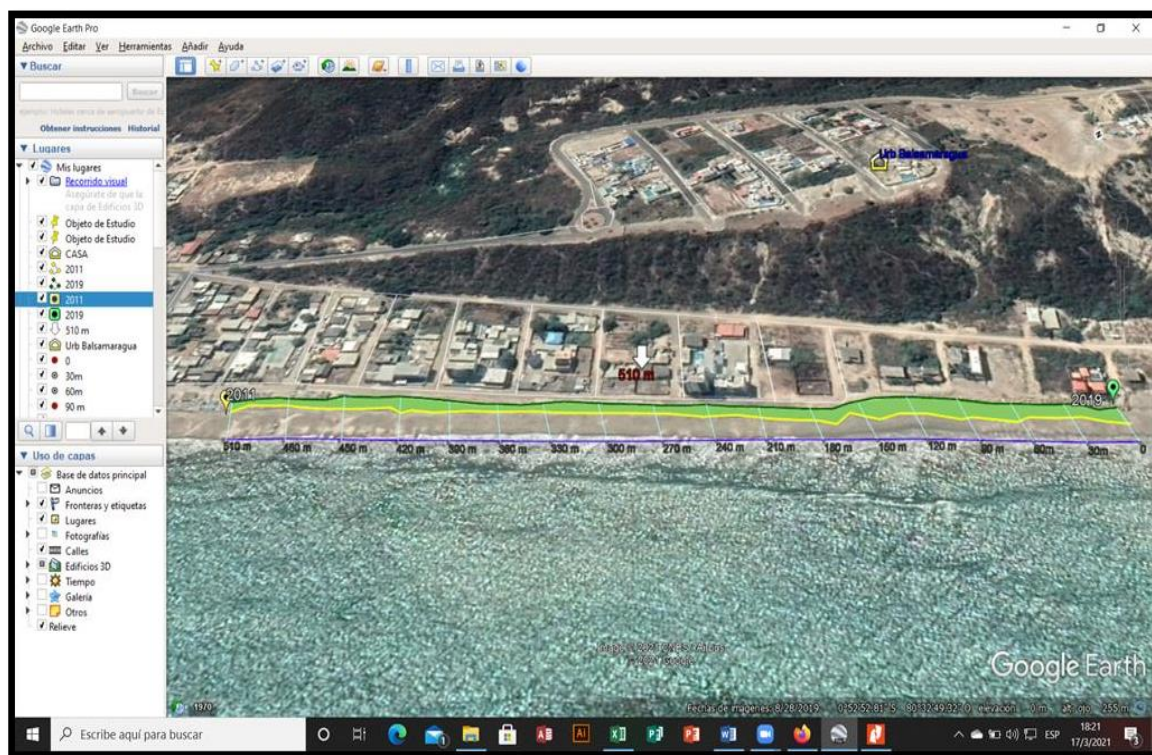


Figura 4. Estudio realizado en google earth

Tabla 3. Valoración calculada para la técnica CVI para la franja costera Urbanización Balsamaragua

Parámetros	Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto
	1	2	3	4	5
Tipo de Geomorfología costera	Acantilados de rocas volcánicas	Acantilados medios y altos, sedimentarias	Planicie litoral, dunas, acantilados bajos	Playas gravas, desembocadura de río, lagunas costeras, bahías semicerradas, estuarios salinos	Playas arenosas, manglares, marisma, planicie de Marea
Erosión y acreción en acantilados y línea de costa (m/año)	> 3	1 a 3	-1 a 1	-1 a -3	< -3
Pendientes de zonas de playas (grados)	> 8	6 a 8	4 a 6	2 a 4	< 2

Cambios relativos del nivel del mar(mm/año)	< 1,8	1,8 a 2,5	2,5 a 3	3 a 3,4	> 3,4
Altura media de olas (m)	< 0,3	0,3 a 0,6	0,6 a 0,9	0,9 a 1,2	> 1,2
Rango de marea media(m)	> 6	4 a 6	2 a 4	1 a 2	< 1

### Discusión

El uso del índice de vulnerabilidad costera para el estudio de los puntos débiles de la costa, es una metodología que se ha desarrollado en las últimas décadas. Una de las ventajas es la rapidez de localizar áreas costeras relativamente concretas (Ibarra Marinas et al., 2020), con gran vulnerabilidad a eventos. Muchos autores destacan que el índice de vulnerabilidad costera presenta una gran diferencia en la escala de los datos que se utilizan para crear los índices, de manera que permiten simplificar modelizaciones robustas y aplicarlas en áreas relativamente pequeñas.

Existen diferentes modelos de vulnerabilidad en las que se incluyen algunas variables que no aparecen en los modelos originales, uno de los problemas de la incorporación de variables en los índices es el aumento de la asimetría (Fernández et al., 2017). Aunque todas las variables del índice están asociadas a factores que contribuyan a cambios costeros, la contribución de determinadas variables lo hacen en mayor medida que otras, esta sobredimensión puede ser corregida a partir de la ponderación de variables lo que permite representarlas en función de su importancia.

### Conclusión

Las categorizaciones de niveles de riesgos según los CVI (costal vulnerability index) son intervalos con los siguientes valores: muy bajos, de 1 a 3, bajos de 3 a 5, moderado de 5 a 7, alto de 7 a 9, y muy alto de 9 a 12.

**Tabla 4:** Cálculo del CVI

Site	Geomorphology	Shoreline change rate (m/year)	Coastal slope (deg)	Relative sea-level change (mm/year)	Mean wave height(m)	Meantide range(m)	Vulnerability / CVI
Crucita	Acantilados medios y altos, sedimentarias	-1 a 1	6 a 8	2,5 a 3	0,6 a 0,9	2 a 4	Alto

Assigned value	2	3	2	3	3	3	7,35
----------------	---	---	---	---	---	---	------

La tabla 4, indica los valores de los parámetros calculados en este análisis con CVI de 7.35 “Alto”, siendo este dato de relevancia para el análisis de la factibilidad de construcción de proyectos habitacionales asentados en esta zona costera.

Es necesario considerar propuestas para mejorar el índice de vulnerabilidad como la protección con muros de piedra escollera sobre la línea costera, espigones de piedra paralelos a la línea costera (como en Puerto Bolívar), espigones desde la línea costera a mar adentro propuestas que permitan mitigar los efectos de erosión registrados en el cálculo del CVI.

## 1. Bibliografía

1. IPCC (2013). Cambio climático: bases físicas. Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. ISBN 978-92-9169-338-2
2. Pourrut, P. Los Climas del Ecuador: Fundamentos Explicativos. In Los climas del Ecuador; CEDIG: Quito, Ecuador; Institut de recherche pour le développement: Marseille, France, 1983; pp. 7– 41.
3. Pourrut, P.; Róvere, O.; Romo, I.; Villacrés, H. Clima del Ecuador. In El Agua en el Ecuador: Clima, Precipitaciones, Escorrentía; Institut de recherche pour le développement: Marseille, France, 1995; pp. 13–26.
4. UNESCO. Atlas Pluviométrico del Ecuador; UNESCO: Quito, Ecuador, 2010.
5. Kottek, M.; Grieser, J.; Beck, C.; Rudolf, B.; Rubel, F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorol. Z. 2006, 15, 259–263. [CrossRef]
6. Fernández, J. M., Bértola, G. R., & Campo, A. M. (2017). *APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD COSTERA (CVI) A LOS BARRIOS COSTEROS DEL PARTIDO DE MARCHIQUITA, BUENOS AIRES, ARGENTINA.*
7. Ibarra Marinas, D., Ballesteros Pelegrín, G. A., Sánchez Balibrea, J., García Moreno, P., & Belmonte Serrato, F. (2020). Evaluación del índice de vulnerabilidad costera en la Manga del Mar Menor (Murcia, España). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 40(2), 373-392. <https://doi.org/10.5209/aguc.72979>