

Integración de aspectos geomorfológicos, socioeconómicos y ecológicos en el estudio de la vulnerabilidad costera ante el ascenso del nivel del mar en el suroccidente del Caribe colombiano

Integration of geomorphological, socioeconomic and ecological aspects in the study of Coastal Vulnerability to Sea Level Rise in the southwestern Colombian Caribbean

M. GARCÍA¹, J. ALCÁNTARA-CARRIÓ², A. JARAMILLO³ & A. FONTÁN-BOUZAS⁴

1. Grupo de Investigación en Sistemas Marinos y Costeros (GISMAC), Corporación Académica Ambiental, Universidad de Antioquia, Colombia. marleny.garcia@udea.edu.co
2. Departamento de Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid. javier.alcantara@uam.es
3. Grupo de Investigación en Sistemas Marinos y Costeros (GISMAC), Corporación Académica Ambiental, Universidad de Antioquia, Colombia. alfredo.jaramillo@udea.edu.co
4. Centro de Investigación Mariña, Universidad de Vigo. afontan@uvigo.es

Resumen: El suroeste del Caribe Colombiano es susceptible al ascenso del nivel del mar y el acelerado retroceso de la línea de costa. Ante este escenario, este trabajo propone evaluar la vulnerabilidad ante el ascenso del nivel del mar en cuatro sectores críticos del litoral antioqueño en el Caribe colombiano: Punta Las Vacas, Zapata, Río Hobo y Volcán de Lodo, mediante el Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC), Índice de Vulnerabilidad Socioeconómico (IVSe) e Índice de Vulnerabilidad Ecológica (IVE) calculados a partir de 14 variables: geomorfología, pendiente costera, tasa de cambio de línea de costa, oleaje significativo medio, tasa de cambio del nivel relativo del mar, rango mareal, cobertura de ecosistemas, nivel de intervención de los ecosistemas, diversidad biológica, uso del suelo, Índice K, densidad de población, actividad turística y patrimonio. La integración de todas las variables permitió conocer la Vulnerabilidad Costera Integrada (IVCI). De manera general, las líneas de costa de Volcán de lodo y Río Hobo muestran vulnerabilidades muy altas y altas en un 90%, mientras Zapata y Punta Las Vacas muestran una vulnerabilidad más diversificada.

Palabras clave: geomorfología, cobertura de ecosistemas, patrimonio.

Abstract: The southwest of the Colombian Caribbean is susceptible to the sea level rise and the accelerated coastline retreat. In this sense, this work proposes a vulnerability evaluation in front of the sea level rise in four critical zones on the Antioquian coast (Colombian Cari-

be): Punta Las Vacas, Zapata, Río Hobo and Volcán de Lodo, the Coastal Vulnerability Index (IVC), Index of Socioeconomic Vulnerability (IVSe) and Index of Ecological Vulnerability (IVE) was calculated using 14 variables: geomorphology, coastal slope, coastline change rate, mean significant waves, relative sea level change rate, tidal range, ecosystem coverage, ecosystem intervention level, biological diversity, land use, K Index, population density, tourist activity and heritage. The integration of all the variables allowed us to know the Integrated Vulnerability Coastal Index (IVCI). In general, the 90% of Volcán de Lodo and Río Hobo coastlines show high and very high vulnerabilities, while Zapata and Punta Las Vacas show a diversified vulnerability.

Keywords: geomorphology, ecosystem coverage, heritage.

1. Introducción

En los 145 km de costa desde Turbo a Arboletes, en el suroeste del Caribe Colombiano, algunos sectores han sido ampliamente modificados antrópicamente (Correa y Vernet, 2004). Punta Las Vacas, situada en la línea costera del municipio de Turbo, comenzó a erosionarse desde la década de los años 40, con retrocesos estimados de 70 m, en los últimos 80 años (Correa *et al.*, 2005). La erosión del corregimiento de Zapata se inició hace más de 40 años, estimándose un retroceso del casco urbano de unos 40 m (Gobernación de Antioquia, Universidad de Antioquia *et al.*, 2021). Para el caso particular de Volcán de lodo y Río Hobo en Arboletes, la erosión se aceleró como resultado de la construcción de numerosas obras de defensa costera que interrumpieron el transporte longitudinal de arena hacia el sur (Gobernación de Antioquia, Universidad de Antioquia *et al.*, 2021). La vulnerabilidad se suele abordar analizando aspectos socioeconómicos, ecológicos o geomorfológicos. En ese trabajo se evalúa la vulnerabilidad ante el ascenso del nivel del mar en los cuatro sectores críticos antes mencionados del suroeste del Caribe colombiano: Punta Las Vacas, Zapata, Río Hobo y Volcán de Lodo e integrando el análisis de los tres aspectos citados.

2. Materiales y métodos

Se utilizaron cuatro índices a partir de 14 variables (ver Tabla 1), a las cuales se le asignó un valor 1 a 5, siendo 5 el valor con mayor vulnerabilidad y 1 el de menor vulnerabilidad.

Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC): Variables: a) Geomorfología, b) Pendiente de playa, c) Tasa de Cambio de la Línea de Costa, d) Altura Significante del oleaje, e) Ascenso del nivel del mar, f) Rango Mareal $IVC = \sqrt{\frac{a * b * c * d * e * f}{6}}$	El Índice de Vulnerabilidad Socioeconómico (IVSe): Variables: j) Uso del Suelo, k) Índice K, l) Población, m) Turismo, n) Patrimonio Histórico. $IVSe = \sqrt{\frac{j * k * l * m * n}{5}}$
Índice de Vulnerabilidad Ecológica (IVE): Variables: g) Cobertura de Ecosistemas y Hábitats, h) Nivel de Intervención de los Ecosistemas, i) Diversidad Biológica. $IVE = \sqrt{\frac{g * h * i}{3}}$	Vulnerabilidad Costera Integrado (IVCI) $IVCI = \sqrt{\frac{a * b * c * d * e * f * g * h * i * j * k * l * m * n}{14}}$

Tabla 1. Índices utilizados para el cálculo de la Vulnerabilidad Costera.

3. Resultados y discusión

En la aplicación del IVC planteado por Ojeda *et al.* (2009), se obtuvieron vulnerabilidades altas y muy altas en el 85% del litoral, las cuales son atribuidas a lugares con formaciones geológicas de alta erodabilidad, retrocesos altos, ascensos del nivel del mar y rango micromareal, resultados similares a los encontrados en la Manga del Mar Menor, en el sureste de España (Marinas *et al.*, 2020).

Por su parte, el IVE muestra vulnerabilidades altas y muy altas en el 9% del litoral, principalmente en sitios dominados por manglar, que han sido intervenidos. Ninguno de los ecosistemas costeros estudiados está ausente de presiones antropogénicas causadas por los usos del suelo, por lo que su vulnerabilidad sigue siendo muy alta (Yanes *et al.*, 2019). Las zonas con vulnerabilidad socioeconómica (IVSe) alta y muy alta se presentaron en el 50% del litoral, estando relacionadas con áreas de tejido urbano o instalaciones de recreación y turismo; igual que en otras costas, la urbanización, combinada con escenarios actuales de incremento de la población, aumentan la vulnerabilidad (Hidalgo *et al.*, 2020). De manera general, las líneas de costa de Volcán de lodo y Río Hobo muestran vulnerabilidades muy altas y altas en un 90%, mientras Zapata y Punta Las Vacas presentan una vulnerabilidad más diversificada. La vulnerabilidad del sur oeste del Caribe Colombiano ante el incremento del nivel del mar es evidente. Por tanto, en aquellas zonas prioritarias o de alta vulnerabilidad, se sugiere combinar estos estudios con análisis detallados de amenazas y cálculo de riesgo.

4. Conclusión

Los valores del IVCI muestran que las líneas de costa con vulnerabilidades alta y muy alta son en su mayoría sectores costeros que combinan valores altos de mínimo 5 variables. De ellas, las más comunes fueron: tasa de cambio de la línea de costa, nivel relativo del mar, rango mareal, cobertura de ecosistemas, uso del suelo y turismo. Las diferentes combinaciones de variables pueden producir el mismo nivel de vulnerabilidad, por lo que es importante no solo analizar el índice integrado, sino también particularizar los componentes socioeconómicos, ecológicos y geomorfológicos y analizarlos según el contexto local y regional.

Referencias

- Correa, I. D. y Vernet G. (2004). Introducción al problema de la erosión litoral en Urabá (sector Arboletes-Turbo) Costa Caribe Colombiana. *Boletín de investigaciones marinas y costeras*, 33: 7-28.
- Correa, I. D. y Alcántara-Carrió, J. (2005). Historical and recent shore erosion along the Colombian Caribbean coast. *Journal of coastal research*, 52-57.
- Gobernación de Antioquia, Universidad de Antioquia, Universidad Nacional y Universidad del Norte. (2021). Erosión Costera en el Litoral Antioqueño. Compilación de resultados.
- Hidalgo, R., Martínez, C., Henríquez, C., Arenas, F., Rangel-Buitrago, N., y Contreras-López, M. (2020). La zona costera en Chile: adaptación y planificación para la resiliencia. *Instituto de geografía de la pontificia universidad católica de Chile*, 40 p.
- Marinas, D. I., Pelegrín, G. A. B., Balibrea, J. S., Moreno, P. G., y Serrato, F. B. (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.
- Ojeda, J., Álvarez, J. I., Martín, D y Fraile, P. (2009). El uso de las TIG para el cálculo del índice de vulnerabilidad costera (CVI) ante una potencial subida del nivel del mar en la costa andaluza (España). *GeoFocus*, (9), 83-100.
- Yanes, A., Botero, C. M., Arrizabalaga, M. y Vásquez, J. G. (2019). Methodological proposal for ecological risk assessment of the coastal zone of Antioquia, Colombia. *Ecological Engineering*, 130, 242-251.