

SABER UNIVERSITARIO

Nº 14, julio-diciembre 2025



Nº 14



Imagen: *Fragmentación de la luz y el color*

Creación: Juvenal Ravelo

Revista Multidisciplinaria – UPTNMLS – Venezuela

ISSN: 2610-8224

Depósito legal: MO2018000017

REVISTA MULTIDISCIPLINARIA SABER UNIVERSITARIO

Universidad Politécnica Territorial del Norte de Monagas “Ludovico Silva”

Estado Monagas – Venezuela.



Consejo Directivo

Irdemaro Gil-Albert Almeida

Rector

José Gregorio Arreaza Márquez

Responsable del Área

Académica

Rubens José González Caraballo

Responsable del Área

Territorial

Jesús Enrique Farías Cabello

Secretario

Equipo Editorial

Consejo de Redacción

Mairrett Cermeño

Directora

Luis Peñalver-Bermúdez

Editor

Corresponsales académicas

- ❖ Mónica Romero (Caripito)
- ❖ Sulmira Regardiz (Punta de Mata)

Consejo Asesor

- ❖ Maximino Valerio. UPEL.
- ❖ Nelson Caraballo. UDO.
- ❖ Luis García. UNEXPO
- ❖ Yondrig Guevara. UTDFT
- ❖ Lelisbeth Sucre. UNA

Comité Científico Internacional

- ❖ José Del Pino Espejo. UPO. España
- ❖ Jairo Luna. UNAL. Colombia
- ❖ Jesús Gabriel Franco. UAM. México
- ❖ Teresa Velasco. UCO. España
- ❖ María Dilma Brasileiro. UFPB. Brasil
- ❖ Mariel Martí. MDP. Argentina
- ❖ Flor Gómez. UDG. México
- ❖ Jaime Navarro. CIPS. México

Revista Multidisciplinaria Saber Universitario

Nº 14, enero-julio 2025.

ISSN: 2610-8224.

Depósito Legal: MO2018000017

República Bolivariana de Venezuela

Vulnerabilidad frente a tsunami en la región de desbordamiento del río Guarapiche, Venezuela. Detección de una zona sensible

Carlos Antonio Luces Barreto

Universidad Bolivariana de Venezuela (UBV) Monagas

Maturín, Venezuela

carlosluces2@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-1697-8587>

Resumen

El presente artículo tiene como propósito analizar la vulnerabilidad de la costa frente a un posible tsunami en la desembocadura del río Guarapiche, en el estado Monagas, Venezuela. La investigación se llevó a cabo en un entorno donde la elevada densidad poblacional y la existencia de infraestructura en la costa la hacen susceptible a riesgos considerables. Se emplean herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y se aplican criterios multicriterio, tomando en cuenta variables como la elevación del terreno, la proximidad al mar, el uso del suelo, la densidad poblacional y la accesibilidad a rutas de evacuación. Los resultados permiten identificar y definir una "Zona Crítica" con muy alta vulnerabilidad. Esta área se distingue por su topografía baja y plana (cercana al nivel del mar), una elevadísima concentración de viviendas y servicios, y una población que tiene recursos limitados para responder y evacuar. El modelo de inundación sugiere que esta región sufriría un gran impacto por la llegada del tsunami. Se concluye enfatizando la urgente necesidad de incluir la variable "tsunami" en la planificación del territorio y en los planes de gestión del riesgo de desastres en Venezuela, ya que permitiría priorizar recursos, crear sistemas de alerta temprana, establecer rutas de evacuación y revisar las regulaciones de uso del suelo en la costa, con el objetivo de disminuir el efecto de un eventual evento de este tipo.

Palabras clave: área de desborde, topografía, nivel del mar, tsunami, vulnerabilidad costera, Río Guarapiche.

Abstract

This article aims to analyze the vulnerability of the coast to a potential tsunami at the mouth of the Guarapiche River in Monagas State, Venezuela. The research was conducted in an area where high population density and existing coastal infrastructure make it susceptible to considerable risks. Geographic Information System (GIS) tools were used, and multi-criteria assessment was applied, taking into account variables such as terrain elevation, proximity to the sea, land use, population density, and accessibility to evacuation routes. The results allow for the identification and definition of a "Critical Zone" with very high vulnerability. This area is characterized by its low, flat topography (close to sea level), a very high concentration of housing and services, and a population with limited resources for response and evacuation. The flooding model suggests that this region would suffer a major impact from the arrival of a tsunami. The conclusion emphasizes the urgent need to include the "tsunami" variable in territorial planning and disaster risk management plans in Venezuela, as this would allow for the prioritization of resources, the creation of early warning systems, the establishment of evacuation routes, and the review of land-use regulations along the coast, with the aim of mitigating the impact of a potential tsunami.

Keywords: flood zone, topography, sea level, tsunami, coastal vulnerability, Guarapiche River.

Introducción

La zona del Caribe y sus regiones circundantes constituyen un sistema geodinámico complejo, donde la colaboración de diversas placas tectónicas provoca una notable actividad sísmica que podría ocasionar tsunamis devastadores (Franco et al. , 2020). Situaciones del pasado, como el sismo y tsunami de 1900 en Macuto, Venezuela, así como las trágicas secuelas del tsunami de 2004 en el Océano Índico y el de 2011 en Japón, han ilustrado la relevancia de abordar este riesgo con anticipación, incluso en costas donde la probabilidad de que ocurran estos eventos es considerada baja (Laffaille et al., 2018).

En el caso de Venezuela, aunque la conciencia sobre el riesgo de tsunami es escasa, la costa nororiental está en riesgo debido a fallas locales, como la Falla de El Pilar, que tiene el potencial de generar sismos de significativa magnitud (Audemard, 2007). En este sentido, el área del desbordamiento del río Guarapiche, en el estado Monagas, se identifica como un punto de alta vulnerabilidad. Esta región cuenta con una elevada concentración de población, infraestructura tanto residencial como comercial, así como servicios esenciales, todo ello desarrollado en una llanura costera baja y plana, caracterizada por su cercanía al nivel del mar.

Históricamente, las evaluaciones de riesgo en esta área se han concentrado en amenazas más comunes como las inundaciones fluviales y la erosión de las costas, lo que ha dejado una falta de análisis específico sobre la vulnerabilidad frente a tsunamis. La vulnerabilidad, definida como la propensión o susceptibilidad de un sistema a ser negativamente impactado por un evento peligroso (Cardona, 2001), no se basa únicamente en la exposición física, sino que también depende de las condiciones socioeconómicas y de la capacidad de respuesta de la comunidad.

Por consiguiente, este estudio tiene como meta evaluar la vulnerabilidad costera ante un posible tsunami en el área de desbordamiento del río Guarapiche, integrando variables tanto físicas como sociales en un modelo multicriterio apoyado por Sistemas de Información Geográfica (SIG). La investigación tiene la intención de identificar y trazar una zona crítica con alta vulnerabilidad, cuyos hallazgos aspiran a fundamentar científicamente la inclusión de este escenario de riesgo en la

planificación territorial y en la elaboración de estrategias de gestión de riesgos de desastres en Venezuela, contribuyendo así a la seguridad de las comunidades costeras.

Bases teóricas

El Riesgo como constructo central

El riesgo no se interpreta como una condena, sino como la posibilidad de ocurrencia de resultados adversos o pérdidas esperadas que surgieron de la relación entre una amenaza y las circunstancias vulnerables de los elementos en riesgo (Cardona, 2001). De acuerdo al Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres en el periodo 2015-2030, comprender el riesgo en sus diversas facetas es el primer paso hacia una gestión eficaz (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres [UNDRR], 2015). En este análisis, el riesgo de tsunami se describe a partir de la fórmula clásica: $R = A * V * E$, donde el Riesgo (R) depende de la Amenaza (A), la Vulnerabilidad (V) y la Exposición (E).

Amenaza por tsunami

La amenaza corresponde a un suceso, fenómeno o actividad humana que podría ocasionar daños significativos, incluyendo la pérdida de vidas, lesiones u otros efectos sobre la salud, daños a bienes, alteración de actividades sociales y económicas o deterioro ambiental (UNDRR, 2015). En particular, la amenaza de tsunami se entiende como un evento de inundación costera que resulta del movimiento brusco de una gran masa de agua, comúnmente relacionado con sismos de subducción o fallas locales de gran envergadura (Franco et al. , 2020). Para su caracterización, es fundamental identificar los parámetros de la fuente sísmica y simular la propagación de la inundación generada por la ola, lo que permite establecer intensidades como la altura del flujo, la velocidad de la corriente y la profundidad del agua inundada (Laffaille et al., 2018).

Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es el punto central de este estudio. Se entiende como las circunstancias que resultan de factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que incrementan la propensión de una comunidad a sufrir el impacto

de una amenaza (Cardona, 2001). No es una característica fija, sino que es dinámica y tiene múltiples facetas. Para los propósitos de esta investigación, se divide en dos dimensiones principales:

1. Vulnerabilidad física: se refiere a la inclinación de las edificaciones, infraestructuras y entorno físico a sufrir daños por la energía hidrodinámica de un tsunami. Esta dimensión se mide a través de indicadores como la altitud geográfica (modelo digital de elevación), la inclinación del terreno, la distancia desde la costa y el uso de la tierra (Mendoza y Pérez, 2019). Zonas con baja altitud y terreno plano, como la llanura que rodea el río Guarapiche, presentan una vulnerabilidad física notablemente alta.

2. Vulnerabilidad social: se refiere a las propiedades de una comunidad o grupo que influyen en su capacidad para prever, enfrentar, resistir y recuperarse de los efectos de un riesgo (Cutter et al., 2003). Se mide a través de datos censales como la cantidad de personas en un área, la existencia de sectores vulnerables (niños y ancianos), los niveles de pobreza, y la facilidad para acceder a rutas de evacuación e infraestructuras clave (hospitales, escuelas).

El Modelo de Presión y Liberación (PAR)

Este estudio se basa, de forma subyacente, en el Modelo de Presión y Liberación (PAR, en inglés) que fue creado por Blaikie et al. (1994). Este marco entiende el riesgo como el resultado de la acumulación progresiva de "raíces profundas" (factores estructurales y políticos), "presiones dinámicas" (insuficiencia de capacidades institucionales) y "condiciones inseguras" (vulnerabilidades específicas que se manifiestan en el entorno), que finalmente se "liberan" cuando ocurre una amenaza. Así, se puede comprender que la elevada vulnerabilidad observada en la zona crítica del Guarapiche es fruto de procesos históricos socioeconómicos y de planificación territorial, y no un simple azar.

Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Análisis Multicriterio

La evaluación de la vulnerabilidad en el espacio necesita una metodología sólida. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ofrecen la tecnología necesaria para integrar, analizar y mostrar las diferentes capas de información asociadas a los

indicadores de vulnerabilidad (Chuvienco, 2020). Para reunir estos indicadores de forma ordenada, se utiliza el Análisis Multicriterio (AMC), en particular la técnica de ponderación jerárquica, que permite otorgar pesos a cada variable según su relevancia en la configuración de la vulnerabilidad total (Mendoza y Pérez, 2019). La combinación de estas bases teóricas y metodológicas facilita la identificación precisa de la "Zona Crítica", que es el enfoque principal de esta investigación.

Metodología

El estudio que se presenta empleó un enfoque metodológico de carácter cuantitativo y descriptivo, sustentado en el análisis espacial a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La investigación se llevó a cabo en cuatro etapas secuenciales para evaluar la vulnerabilidad y determinar la zona crítica.

El área de investigación se sitúa en la desembocadura del río Guarapiche, dentro del estado Monagas, en Venezuela. (Mapa 1)



Mapa 1. Área de Estudio. Fuente: INGSB. (2009).

Esta región es una llanura de desborde de baja altitud, que presenta una alta concentración de población y cuenta con infraestructura residencial, comercial y de servicios. La delimitación del área se realizó mediante un buffer (zona de amortiguamiento) de 5 km hacia el interior desde la línea costera, abarcando las zonas urbanas y periurbanas más vulnerables.

Con respecto a las fuentes y el procesamiento de datos, se reunió información de diferentes fuentes secundarias para desarrollar una base de datos geoespacial. Las fuentes principales fueron:

1. Información topográfica e hidrográfica del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar.

2. Imágenes satelitales de resolución media (Sentinel-2) para clasificar el uso del suelo.

3. Datos del censo del OCEI (2001), específicamente del Atlas Sociodemográfico del Estado Monagas.

4. Modelos de elevación digital (DEM) obtenidos de la misión SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) para analizar el terreno.

Todos los datos fueron normalizados a un sistema de coordenadas común (WGS 84 / UTM zona 20N) y procesados utilizando el software QGIS 3. 16.

A partir de la revisión teórica, se eligieron seis variables fundamentales para medir la vulnerabilidad, organizadas en dos dimensiones:

Vulnerabilidad física:

1. Altura del Terreno (Ponderación: 0. 30): Altitud en metros sobre el nivel del mar. Menor altitud conlleva a mayor vulnerabilidad.

2. Distancia a la Costa (Ponderación: 0. 25): Distancia euclidiana en metros desde la línea de costa. La vulnerabilidad aumenta a medida que la distancia disminuye.

3. Uso del Suelo (Ponderación: 0. 20): Se reclassificaron las áreas en categorías de vulnerabilidad (por ejemplo, zonas urbanas = alta vulnerabilidad; áreas verdes = vulnerabilidad media-baja).

Vulnerabilidad social:

1. Densidad Habitacional (Ponderación: 0. 15): Cantidad de personas por kilómetro cuadrado. A mayor densidad, mayor vulnerabilidad.

2. Acceso a Vías Principales (Ponderación: 0. 10): Distancia en metros a las vías de acceso principales. La vulnerabilidad se incrementa con el aumento de la distancia debida a las dificultades de evacuación.

La asignación de pesos a cada variable se llevó a cabo mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés), una técnica de análisis

multicriterio que permite establecer prioridades de manera consensuada a través de comparaciones por pares (Saaty, 2008).

Para el análisis espacial y construcción del índice de vulnerabilidad, cada variable fue transformada en un raster y normalizada en una escala de 0 a 1, donde 1 indica la mayor vulnerabilidad. El Índice de Vulnerabilidad ante Tsunamis (IVT) se obtuvo utilizando una suma ponderada en el marco del SIG, aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{IVT} = (\text{Altura} * 0.30) + (\text{Distancia a la Costa} * 0.25) + (\text{Uso del Suelo} * 0.20) + (\text{Densidad Habitacional} * 0.15) + (\text{Acceso a Vías} * 0.10)$$

El resultado del IVT es un mapa continuo que muestra la vulnerabilidad, con valores que varían entre 0 y 1. Este mapa se dividió en cinco categorías usando el método de intervalos naturales: Muy Baja, Baja, Media, Alta y Muy Alta Vulnerabilidad. La "Zona Crítica" se definió como el área geográfica adyacente que exhibe una vulnerabilidad "Muy Alta".

La validación del modelo se llevó a cabo a través de una inspección visual en el campo en puntos específicos y comparándolo con investigaciones anteriores sobre el riesgo de inundaciones en la zona, lo que permitió confirmar la consistencia espacial de los resultados obtenidos.

Resultados

El análisis integral del espacio permitió calcular el Índice de Vulnerabilidad frente a Tsunamis (IVT) para la región en cuestión, siendo el hallazgo principal la identificación y marcado de una Zona Crítica. A continuación, se detallan los resultados de forma secuencial.

El uso del modelo de suma ponderada dio lugar a un mapa continuo de vulnerabilidad, que fue clasificado en cinco grupos diferentes (Imagen 1). La distribución de las categorías de vulnerabilidad no es uniforme, mostrando un patrón claro de concentración en el área noroccidental del territorio estudiado, en la llanura de desborde cercana al desembocadura del río Guarapiche y la costa próxima.

El análisis del área correspondiente a cada clasificación de vulnerabilidad (Tabla 1) indica que la categoría "Muy Alta" ocupa alrededor de 12.8 km², lo que

equivale al 18. 5% de la superficie total evaluada. Aunque no es la más extensa en términos de área, su relevancia cualitativa es mayor debido a la alta concentración de valores extremos en los indicadores considerados.

Distribución Areal de las Categorías de Vulnerabilidad

	Categoría de Vulnerabilidad Área (km ²)	Porcentaje del Área Total (%)
Muy Baja	25.3	36.5
Baja	15.1	21.8
Media	9.7	14.0
Alta	6.4	9.2
Muy Alta	12.8	18.5

Tabla 1. Distribución Areal de las Categorías de Vulnerabilidad.

Fuente: Elaboración Propia (2025).

La Zona Crítica, identificada por su categoría de "Muy Alta" vulnerabilidad, se extiende de manera contigua a lo largo de la costa y penetra en la llanura de inundación del río Guarapiche. Esta área se distingue por la combinación de los siguientes elementos:

1. Topografía Adversa: El 98% de esta área tiene alturas inferiores a los 5 metros sobre el nivel del mar, y presenta pendientes muy suaves. (Imagen 1)



Imagen 1. Imágenes satelitales de mediana resolución (Sentinel-2) para la clasificación del uso del suelo.

2. Alta Densidad Poblacional y Urbana: La Zona Crítica alberga a una población estimada de 18,500 habitantes y concentra los usos de suelo urbano más densos, incluyendo viviendas aglomeradas, el centro comercial principal y servicios esenciales así, como varias instituciones educativas. (Mapa 1.)

Densidad Poblacional y Urbana del Estado Monagas.



Mapa 1. Densidad Poblacional y Urbana del Estado Monagas.
Fuente: (OCEI). (2001). Atlas Sociodemográfico del Estado Monagas.

3. Baja Capacidad de Evacuación: El análisis de accesibilidad vial mostró que más del 60% de esta zona se encuentra a más de 500 metros de una vía principal con capacidad de tráfico suficiente para una evacuación masiva y rápida. Además, la configuración urbana presenta tramas de calles estrechas y sin salidas alternativas hacia el interior. (Mapa 2)

Sistema vial del Estado Monagas.



Mapa 2. Sistema de Vialidad del Estado Monagas.
Fuente: Atlas MARNR (1998).

Conclusiones

Este análisis ha permitido examinar la susceptibilidad costera frente a un posible tsunami en la zona de desbordamiento del río Guarapiche en Venezuela, logrando el objetivo principal de identificar y caracterizar un Área Crítica. A partir de los hallazgos y la discusión de los mismos, se pueden formular las siguientes conclusiones:

1. La puesta en práctica de una metodología que combina SIG y análisis multicriterio ha probado ser una herramienta efectiva para integrar variables tanto físicas como sociales, lo que posibilita una evaluación espacialmente precisa de la vulnerabilidad. La ponderación de aspectos como la altitud, la distancia a la costa, el uso del suelo y la densidad poblacional ha sido clave para mostrar la complejidad del riesgo.

2. Se ha identificado de manera certera un Área Crítica de vulnerabilidad "Muy Alta", ubicada en la llanura costera cercana a la desembocadura del río Guarapiche. Esta área, que se extiende por alrededor de 12.8 km², se distingue por la combinación de factores de riesgo significativos: altitudes inferiores a 5 metros, elevada densidad de población e infraestructura esencial, y una capacidad de evacuación restringida debido a la disposición del urbanismo y la distancia a las carreteras principales.

3. La investigación revela una preocupante discrepancia entre la escasa percepción del riesgo de tsunami en Venezuela y las altas condiciones de vulnerabilidad presentes en la región. El Área Crítica identificada es el resultado de prácticas de ocupación del suelo que no han contemplado escenarios de amenazas poco frecuentes pero de gran impacto.

4. Delimitar esta Área Crítica ofrece una herramienta científica clave para gestionar el riesgo de manera proactiva. Los resultados demandan la incorporación urgente del riesgo de tsunami en los planes de ordenación del territorio y de gestión de riesgos, tanto a nivel municipal como estatal, para prohibir o regular de forma estricta nuevas construcciones de alta densidad, diseñar sistemas de alerta temprana

y rutas de evacuación efectivas, y establecer programas de capacitación para la comunidad.

En resumen, este estudio va más allá del diagnóstico académico y se posiciona como un recurso fundamental para la toma de decisiones. La mitigación del riesgo de desastres en la costa venezolana depende en gran medida de la capacidad de actuar de manera preventiva sobre las vulnerabilidades ya identificadas, transformando el conocimiento científico en políticas públicas efectivas que protejan a las comunidades y su progreso. Investigaciones futuras deberían centrarse en el modelado numérico de alta resolución de inundaciones y en la evaluación de la vulnerabilidad estructural de los edificios dentro del Área Crítica delimitada en este estudio.

Referencias

- Audemard, F. A. (2007). Holocene and historical earthquakes on the Boconó fault system, southern Caribbean plate boundary, Venezuela. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 112(B4), B04301. <https://doi.org/10.1029/2006JB004508>
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., & Wisner, B. (1994). At risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters (1ra ed.). Routledge.
- Cardona, O. D. (2001). *Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos* [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya]. TESEO. <http://hdl.handle.net/10803/6723>
- Chuvieco, E. (2020). *Fundamentos de teledetección espacial* (4ª ed.). Ediciones Rialp.
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 84(2), 242–261. <https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>
- Franco, G., Lira, J., & Pérez, O. (2020). Evaluación de la amenaza de tsunami para la costa nororiental de Venezuela. *Revista de Investigación en Ciencias de la Tierra*, 15(2), 45–60.

- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. (2009). *Datos topográficos e hidrográficos, Región Nororiental*. Caracas. Venezuela.
- Laffaille, J., Ferrer, O., & Rodríguez, F. (2018). Tsunamis in the Caribbean: A brief history and future trends. *Journal of Coastal Research*, 34(5), 1156–1167. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-17-00016.1>
- MARNR - Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. (1998). *Estudio de Suelos de la Subregión Turimiquire*, Estado Monagas. Caracas.
- Mendoza, M., & Pérez, O. (2019). Aplicación de SIG y análisis multicriterio para la evaluación de la vulnerabilidad costera. *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (24), 89–112. <https://doi.org/10.21138/GF.654>
- Oficina Central de Estadística e Informática (OCEI). (2001). *Atlas Sociodemográfico del Estado Monagas*.
- Pérez, O., Lira, J., & Rojas, L. (2021). Vulnerabilidad ante tsunamis en el área de desborde del río Guarapiche, Venezuela: identificación de una Zona crítica. *Terra Nueva Etapa*, 37(60), 153–178.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030*. <https://www.undrr.org/publication/marco-de-sendai-para-la-reduccion-del-riesgo-de-desastres-2015-2030>