

Evaluación de vulnerabilidad y zonificación de riesgo por deslizamiento mediante Sistemas de Información Geográfica

Vulnerability assessment and landslide risk zoning through Geographic Information Systems

 Carlos Javier Flores Pacheco¹
carlos.flores.pacheco@gmail.com

Fecha de Recepción: 04-03-2026
Fecha de Aprobación: 05-05-2026

 Juan Asdrúbal Flores-Pacheco*²
asdrubal.flores@do.bicu.edu.ni

RESUMEN

Los deslizamientos de tierra y las inundaciones constituyen amenazas recurrentes en el Caribe nicaragüense, donde la alta pluviosidad, los suelos arcillosos y la expansión urbana no planificada incrementan la vulnerabilidad territorial. El objetivo de este estudio fue evaluar la vulnerabilidad y zonificar el riesgo por amenazas de inundaciones y deslizamiento de tierras en el barrio Loma Fresca, sector 2 de la ciudad de Bluefields. La investigación tiene un enfoque mixto de corte transversal y alcance descriptivo-analítico. Se desarrolló mediante la integración de Sistemas de Información Geográfica (SIG), análisis jerárquico multicriterio (AHP), observación de campo, levantamiento georreferenciado y análisis multitemporal de imágenes Sentinel-2 por el período 2017–2023. Para la zonificación del riesgo se construyeron capas temáticas de pendiente, precipitación, distancia a drenajes, cobertura del suelo, densidad de infraestructura y vulnerabilidad estructural, las cuales fueron ponderadas mediante matrices de comparación por pares del método AHP e integradas en ArcGIS Pro para generar mapas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo. Los resultados evidenciaron que el 63 % del área analizada presenta riesgo alto por deslizamientos y que aproximadamente el 48 % del territorio municipal registra algún nivel de amenaza por inundación. Además, se identificó una pérdida superior a 31,000 ha de cobertura arbórea, asociada a la expansión urbana y agropecuaria, con efectos directos sobre la escorrentía superficial y la inestabilidad del terreno. Se concluye que el riesgo en Bluefields resulta de la interacción entre factores naturales y antrópicos, lo que exige fortalecer el ordenamiento territorial, la gestión ambiental y la planificación urbana con enfoque preventivo.

Palabras clave: cambio climático, desastre natural, gestión de riesgo, planificación urbana, sistemas de información geográfica

¹ Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua – Managua (UNAN-Managua). Área de Conocimiento Ciencias Básicas y Tecnología, Managua, Nicaragua

² Bluefields Indian & Caribbean University (BICU), Departamento de Investigación, RACCS, Nicaragua

*Autor de correspondencia



ABSTRACT

Landslides and floods are recurrent hazards in the Nicaraguan Caribbean, where high rainfall, clay soils, and unplanned urban expansion increase territorial vulnerability. The purpose of this study was to assess vulnerability and to zone landslide and flood risk in sector 2 of the Loma Fresca neighborhood in the city of Bluefields. The research employs a mixed-methods, cross-sectional and descriptive-analytical approach. It was conducted through the integration of Geographic Information Systems (GIS), the Analytic Hierarchy Process (AHP), field observation, georeferenced surveying, and multitemporal analysis of Sentinel-2 imagery for the 2017–2023 period. For risk zoning, thematic layers of slope, precipitation, distance to drainage networks, land cover, infrastructure density, and structural vulnerability were developed, weighted through AHP pairwise comparison matrices, and integrated in ArcGIS Pro to generate hazard, vulnerability, and risk maps. The results showed that 63 % of the analyzed area presents high landslide risk and that approximately 48 % of the municipal territory registers some level of flood hazard. In addition, a loss of more than 31,000 ha of tree cover was identified, associated with urban and agricultural expansion, with direct effects on surface runoff and terrain instability. It is concluded that risk in Bluefields results from the interaction between natural and anthropogenic factors, which calls for strengthening land-use planning, environmental management, and urban planning through a preventive approach.

Keywords: Climate change, natural disasters, risk management, urban planning, geographic information systems

Para citar en APA: Flores Pacheco, C. J., & Flores-Pacheco, J. A. (2026). Evaluación de vulnerabilidad y zonificación de riesgo por deslizamiento mediante Sistemas de Información Geográfica. *Wani*, (84), e22795. <https://doi.org/10.5377/wani.v1i84.22795>

INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos de tierra y las inundaciones constituyen amenazas recurrentes y de alta capacidad destructiva en territorios tropicales húmedos, especialmente en aquellos donde convergen precipitaciones intensas, pendientes inestables, suelos susceptibles a saturación y procesos acelerados de ocupación humana (Darking Tucker et al., 2025). A escala global, estos fenómenos forman parte de las expresiones más críticas del riesgo de desastres, debido a su impacto sobre la vida, la infraestructura, los medios de subsistencia y la sostenibilidad ambiental, afectando con mayor intensidad a los países en desarrollo, donde persisten debilidades estructurales en la planificación territorial, la gobernanza del suelo y la reducción preventiva del riesgo (UNDRR, 2019; UNDP, 2004). En este marco, el riesgo no puede entenderse como una condición exclusivamente natural, sino como el resultado de la interacción entre amenaza, exposición y vulnerabilidad, configurada por dinámicas sociales, económicas, ambientales e institucionales (Flores-Pacheco et al., 2013).



En Centroamérica, la ocurrencia de deslizamientos e inundaciones se encuentra estrechamente asociada a la relación entre procesos geomorfológicos y transformaciones antrópicas del territorio (Britton Nelson et al., 2024). La deforestación, la ocupación informal de laderas, la alteración de drenajes naturales y la expansión urbana carente de regulación técnica incrementan la inestabilidad del terreno y amplifican la exposición de la población a eventos extremos (Rivas Suazo et al., 2025). En Nicaragua, los inventarios de movimientos de masa muestran que una proporción significativa de los deslizamientos se presenta en áreas previamente intervenidas por actividades humanas, particularmente en zonas deforestadas y con pendientes pronunciadas, donde las lluvias actúan como factor detonante inmediato (Devoli et al., 2007). Esta relación entre degradación ambiental y riesgo también ha sido ampliamente documentada en la literatura especializada, que señala que la pérdida de cobertura vegetal reduce la cohesión del suelo, disminuye la capacidad de infiltración y favorece la erosión superficial y la inestabilidad de laderas (Sidle & Bogaard, 2016).

Bajo este enfoque, el municipio de Bluefields representa un escenario de particular interés para el análisis del riesgo territorial. Su condición costera, la presencia de asentamientos en laderas y zonas bajas, la expansión urbana sobre áreas ambientalmente frágiles y la presión creciente sobre la cobertura vegetal configuran un contexto donde los deslizamientos y las inundaciones no responden únicamente a la dinámica hidrometeorológica, sino también a patrones de ocupación y uso del suelo insuficientemente planificados (Gómez Ortega et al., 2024). Tal como advierte Quesada-Román (2023), en los territorios centroamericanos la ausencia de ordenamiento territorial con enfoque de riesgo ha favorecido la consolidación de asentamientos en espacios físicamente inadecuados, intensificando la vulnerabilidad de poblaciones con menores capacidades de adaptación. En consecuencia, el análisis del riesgo en contextos urbanos como Bluefields exige incorporar una perspectiva territorial que considere tanto las condiciones físicas del entorno como las desigualdades socioespaciales que estructuran la exposición.

En este proceso, los cambios de cobertura y uso del suelo constituyen una dimensión analítica central (Cortez, 2014). La evidencia satelital sobre transformación del paisaje ha mostrado que la reducción de cobertura arbórea y la expansión de superficies urbanas o agropecuarias modifican los patrones hidrológicos, incrementan la escorrentía superficial y debilitan la estabilidad del terreno, con efectos directos sobre la susceptibilidad a inundaciones y deslizamientos (European Space Agency [ESA], 2021). Por ello, la lectura del riesgo desde una perspectiva espacial requiere herramientas capaces de integrar variables físicas, ambientales y territoriales en un marco analítico común. En este sentido, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han consolidado como instrumentos fundamentales para la representación, superposición y análisis espacial de factores de amenaza, exposición y vulnerabilidad, facilitando la identificación de sectores críticos y la formulación de decisiones preventivas basadas en evidencia.

Entre los enfoques metodológicos aplicados a la evaluación espacial del riesgo, el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) ha demostrado una utilidad significativa para la ponderación multicriterio de variables territoriales. Su principal fortaleza radica en permitir la estructuración jerárquica de factores, la comparación por pares y la asignación de pesos relativos a cada criterio, generando bases más objetivas para la toma de decisiones espaciales (Saaty, 2008). La integración del AHP en entornos SIG ha sido reconocida como una estrategia metodológica robusta para el



análisis de problemas territoriales complejos, ya que mejora la transparencia del proceso decisional y fortalece la consistencia de los modelos de zonificación y priorización espacial (de Oliveira & de Souza, 2019). Estudios recientes también han destacado que la combinación entre análisis geoespacial y conocimiento territorial contribuye a una gestión del riesgo más contextualizada y operativa, especialmente en regiones tropicales expuestas a amenazas múltiples (Velásquez-Espinoza & Alcántara-Ayala, 2024).

Desde la perspectiva de la gobernanza territorial, este tipo de herramientas adquiere una relevancia aún mayor. La planificación y gestión de infraestructuras, asentamientos y servicios en territorios vulnerables demanda marcos institucionales capaces de articular evidencia técnica, prevención y sostenibilidad (Flores-Pacheco et al., 2023). Sin embargo, la gobernanza de la infraestructura no se limita a la ejecución de obras, sino que implica la capacidad de planificar, priorizar y regular intervenciones con base en criterios de riesgo, valor público y resiliencia territorial (Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2020). En consecuencia, la evaluación espacial del riesgo mediante SIG y AHP no solo constituye una estrategia técnica de análisis, sino también un insumo estratégico para fortalecer el ordenamiento territorial y orientar decisiones más coherentes frente a la expansión urbana en contextos ambientalmente sensibles.

En este marco, el presente estudio tiene como objetivo evaluar la vulnerabilidad y zonificar el riesgo por deslizamientos e inundaciones en el barrio Loma Fresca, sector 2, de la ciudad de Bluefields y su contexto municipal, mediante el uso integrado de Sistemas de Información Geográfica, análisis jerárquico multicriterio y análisis de cobertura del suelo. La investigación busca aportar evidencia científica sobre la relación entre transformación territorial, exposición urbana y configuración del riesgo, con el propósito de contribuir al ordenamiento territorial, la gestión ambiental y la reducción preventiva del riesgo de desastres en esta ciudad. Desde esta perspectiva, el estudio se justifica tanto por su valor académico como por su utilidad práctica para la construcción de territorios más seguros, sostenibles y resilientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Enfoque metodológico y diseño del estudio

El estudio se desarrolló bajo un enfoque mixto, integrando métodos cuantitativos y cualitativos, lo que permitió abordar la vulnerabilidad y el riesgo por deslizamientos desde una perspectiva integral, territorial y comunitaria. El diseño fue no experimental, de tipo descriptivo-analítico y de corte transversal, dado que las variables se analizaron tal como se presentan en el contexto real, sin manipulación deliberada, durante el período 2024–2025.

Este enfoque metodológico facilitó la identificación de relaciones entre variables físicas (pendiente, morfometría), constructivas (materiales, tipología de vivienda), ambientales (cobertura del suelo, drenaje) y sociales (percepción del riesgo, condiciones socioeconómicas), permitiendo una lectura sistémica del riesgo.

Área de estudio y delimitación espacial

La investigación se realizó en el barrio Loma Fresca, sector 2, localizado en la ciudad de Bluefields, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (RACCS), Nicaragua. La delimitación espacial del área de estudio se efectuó mediante herramientas SIG, considerando criterios topográficos, hidrológicos

Figura 1

Macro Localización de la zona en estudio

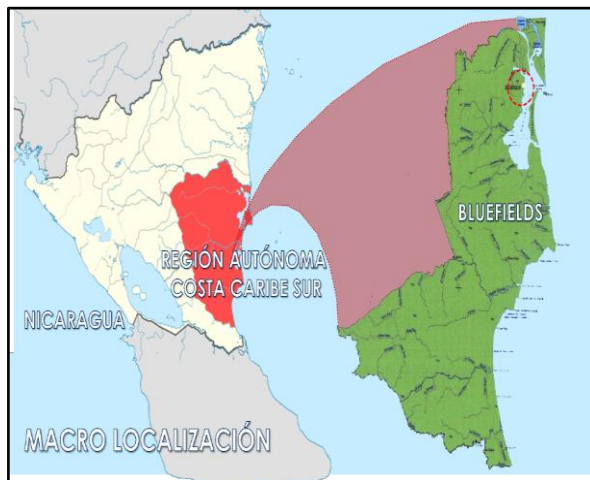


Figura 2

Zona de Estudio, Riesgo por Deslizamiento Barrio Loma Fresca sector 2, Bluefields.



y de ocupación urbana. El área se caracteriza por pendientes pronunciadas, presencia de taludes inestables, drenajes naturales sin canalización y procesos de urbanización no planificada, condiciones que incrementan la susceptibilidad a deslizamientos e inundaciones.

Población, unidad de análisis y muestra

La población de estudio estuvo constituida por 104 viviendas, que albergan aproximadamente 416 habitantes, localizadas dentro del polígono definido del sector 2 del barrio Loma Fresca. La unidad de análisis correspondió a cada vivienda y su entorno inmediato. Debido al tamaño manejable del universo, se aplicó un muestreo censal, evaluando la totalidad de las viviendas, lo que garantizó representatividad total y redujo el error muestral.

Técnicas e instrumentos de recolección de información

La recolección de datos se realizó mediante una combinación de técnicas, con el objetivo de asegurar la triangulación metodológica y la validez de los resultados:

- **Observación directa sistemática**, utilizando fichas técnicas estructuradas para el registro de condiciones constructivas, estabilidad del terreno, presencia de obras de drenaje, evidencias de erosión y cercanía a fuentes hídricas
- **Encuestas semiestructuradas** aplicadas a habitantes del sector, orientadas a identificar percepción del riesgo, experiencias previas ante eventos de deslizamiento e inundación, y capacidades de respuesta familiar y comunitaria

- **Levantamiento geoespacial**, mediante el uso de GPS y la aplicación Survey123, para georreferenciar viviendas, puntos críticos, cárcavas, taludes y zonas de escorrentía superficial
- **Revisión documental y cartográfica**, basada en información institucional (SINAPRED, INETER, MARENA), normativa nacional y literatura científica especializada

Análisis morfométrico y físico del terreno

El análisis morfométrico se desarrolló a partir de Modelos Digitales de Elevación (MDE), procesados en un entorno SIG. Se calcularon parámetros clave como pendiente, altitud, dirección de escorrentía y forma del relieve, los cuales permitieron identificar zonas con mayor susceptibilidad a la inestabilidad del terreno. La pendiente fue categorizada en rangos (baja, media, alta y muy alta), considerando valores superiores al 30 % como altamente críticos para la ocurrencia de deslizamientos.

Evaluación de la vulnerabilidad estructural

La vulnerabilidad estructural de las viviendas se evaluó mediante la metodología de Villagrán, adaptada al contexto urbano del Caribe nicaragüense. Esta metodología integró factores como material constructivo, sistema estructural, ubicación topográfica, proximidad a recargas hídricas y condiciones de drenaje. Cada vivienda fue clasificada en rangos de vulnerabilidad baja, media o alta, permitiendo establecer patrones espaciales y correlaciones con las condiciones socioeconómicas del asentamiento.

Análisis multicriterio y zonificación del riesgo mediante SIG y AHP

Para la zonificación del riesgo por deslizamientos e inundaciones se aplicó un análisis multicriterio en entorno SIG, sustentado en el Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP) propuesto por Saaty (2008), el cual permitió jerarquizar y ponderar las variables con mayor incidencia en la generación del riesgo. Este enfoque fue seleccionado por su utilidad para integrar criterios físicos, ambientales, estructurales y territoriales dentro de un modelo espacial de apoyo a la toma de decisiones (de Oliveira & de Souza, 2019).

En una primera fase se definieron las variables de análisis a partir de revisión documental, observación de campo y disponibilidad de información geoespacial. Para el análisis de deslizamientos se consideraron, entre otras, la pendiente del terreno, cobertura y uso del suelo, proximidad a drenajes, tipo de material superficial, densidad de viviendas y vulnerabilidad estructural. Para el análisis de inundaciones se integraron variables como pendiente, altitud relativa, distancia a cauces, cobertura del suelo, drenaje natural y grado de ocupación urbana. Cada variable fue procesada en ArcGIS Pro y convertida en una capa temática georreferenciada.

Posteriormente, las variables fueron estandarizadas en una escala común de susceptibilidad, con valores crecientes según su contribución al riesgo. Esta normalización permitió comparar capas con unidades de medida diferentes dentro de un mismo modelo espacial. A continuación, se construyó una matriz de comparación por pares, aplicando la escala fundamental de Saaty de 1 a 9, con el fin de establecer la importancia relativa de cada criterio respecto al fenómeno analizado.

La asignación de valores se realizó con base en la literatura especializada, el conocimiento técnico del área de estudio y la evidencia empírica obtenida durante el trabajo de campo.

Una vez elaborada la matriz de comparación, se procedió al cálculo de los pesos normalizados de cada variable mediante el vector propio principal, obteniendo así la ponderación relativa de los criterios incorporados al modelo. Con el propósito de verificar la coherencia de las valoraciones, se estimó la razón de consistencia (CR) del modelo, siguiendo el criterio metodológico de aceptabilidad establecido por Saaty (2008), según el cual los valores de consistencia deben mantenerse dentro de rangos técnicamente admisibles para garantizar la confiabilidad de la jerarquización.

Los pesos obtenidos mediante AHP fueron integrados en el entorno SIG a través de una combinación lineal ponderada, superponiendo las capas temáticas reclasificadas para generar los mapas de susceptibilidad, vulnerabilidad y riesgo. El procedimiento permitió obtener una superficie continua de valores espaciales, posteriormente reclasificada en categorías de riesgo bajo, medio y alto, según la intensidad acumulada de los factores analizados. Este proceso facilitó la identificación de sectores críticos y la delimitación de zonas prioritarias para intervención, prevención y planificación territorial.

La integración de AHP con SIG permitió no solo representar espacialmente la distribución del riesgo, sino también transparentar el proceso de ponderación de variables y fortalecer la trazabilidad metodológica del modelo. De esta manera, la zonificación obtenida no se sustentó únicamente en superposición cartográfica, sino en un procedimiento analítico jerarquizado que articuló evidencia geoespacial, criterios técnicos y observación territorial.

Análisis y tratamiento de los datos

Los datos cuantitativos fueron procesados mediante estadística descriptiva, presentándose en frecuencias, porcentajes, tablas y gráficos. La información cualitativa derivada de las encuestas y de la observación directa fue analizada mediante interpretación temática, con el propósito de complementar la lectura espacial del riesgo y explicar las relaciones entre vulnerabilidad física, condiciones socioeconómicas y localización de las viviendas. La integración de ambas dimensiones permitió construir una lectura territorial más amplia del fenómeno estudiado.

En el componente geoespacial, el tratamiento de los datos incluyó la depuración, georreferenciación, clasificación y superposición de capas temáticas, así como la elaboración de mapas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo total. El análisis multitemporal de cobertura del suelo se realizó a partir de imágenes Sentinel-2 para identificar cambios en la vegetación arbórea y en los usos del suelo entre 2017 y 2023, incorporando estos resultados como evidencia complementaria en la interpretación del riesgo. En conjunto, el procesamiento estadístico, el análisis temático y la modelación geoespacial permitieron generar insumos técnicos para la planificación territorial y la gestión local del riesgo.

Tabla 1

Matriz metodológica para la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) en entorno SIG

Criterio	Fenómeno asociado	Descripción metodológica	Fuente de datos	Tratamiento en SIG
Pendiente del terreno	Deslizamientos / Inundaciones	Variable morfométrica derivada del Modelo Digital de Elevación, utilizada para identificar laderas inestables y zonas con diferente capacidad de escorrentía.	Modelo Digital de Elevación (MDE)	Cálculo de pendiente, reclasificación por rangos de susceptibilidad y conversión a ráster temático
Altitud relativa	Inundaciones	Permite identificar zonas bajas con mayor probabilidad de acumulación de agua y anegamiento.	MDE	Generación de capa hipsométrica y reclasificación por niveles de exposición
Distancia a drenajes	Deslizamientos / Inundaciones	Evalúa la proximidad de viviendas y superficies urbanizadas a cauces naturales, zonas de recarga y áreas de escorrentía concentrada.	Red hidrográfica, GPS, cartografía base	Cálculo de buffers de distancia y reclasificación por proximidad
Cobertura y uso del suelo	Deslizamientos / Inundaciones	Identifica tipos de cobertura (vegetación, suelo desnudo, urbano, agropecuario) que inciden en la infiltración, escorrentía y estabilidad del terreno.	Imágenes Sentinel-2, interpretación geoespacial	Clasificación supervisada, validación temática y reclasificación por nivel de susceptibilidad
Cambio de cobertura del suelo	Deslizamientos / Inundaciones	Analiza la transformación multitemporal del paisaje entre 2017 y 2023, con énfasis en pérdida de cobertura arbórea y expansión urbana.	Serie temporal Sentinel-2	Comparación multitemporal y generación de mapas de cambio
Tipo de material	Deslizamientos	Permite valorar la susceptibilidad del terreno según características	Cartografía temática,	Digitalización, reclasificación y ponderación espacial

Criterio	Fenómeno asociado	Descripción metodológica	Fuente de datos	Tratamiento en SIG
superficial / suelo		Geológicas y edáficas, especialmente en suelos arcillosos y saturables.	Revisión documental	
Densidad de viviendas	Deslizamientos / Inundaciones	Expresa la concentración de infraestructura urbana y la presión antrópica sobre áreas inestables o inundables.	Levantamiento geoespacial, Survey123, GPS	Georreferenciación, cálculo de densidad y reclasificación por concentración
Vulnerabilidad estructural	Deslizamientos / Inundaciones	Considera materiales constructivos, sistema estructural, ubicación topográfica y condiciones de drenaje de las viviendas.	Fichas de observación directa y encuestas	Clasificación por niveles de vulnerabilidad y conversión a capa temática
Precipitación	Deslizamientos / Inundaciones	Variable climática utilizada para valorar la incidencia de lluvias intensas en la saturación del suelo, escorrentía y detonación de eventos.	Registros pluviométricos e información secundaria	Interpolación o incorporación como capa temática de intensidad relativa
Drenaje natural y pluvial	Inundaciones	Evalúa la presencia, ausencia o deficiencia de sistemas de drenaje natural y urbano que condicionan el comportamiento hidrológico local.	Observación de campo, cartografía, GPS	Identificación de puntos críticos y reclasificación de capacidad de drenaje

Nota. La ponderación de cada criterio se estableció mediante una matriz de comparación por pares del método AHP, utilizando la escala fundamental de Saaty (1–9).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 2

Caracterización del sistema constructivo y ubicación de las viviendas del barrio Loma Fresca, sector 2

Sistema Constructivo Viviendas	Loma Fresca sector 2	Método de observación directa (materiales de construcción)	Método de observación directa (Ubicación)
vivienda de madera con techo zinc ondulado	64	Maderas de poca duración(suave) viviendas ubicadas en pendientes y zonas de recargas hídricas.	El 90 % de estas viviendas se encuentran asentadas es sitios vulnerables críticos a deslizamientos (menor adquisición económica)
Vivienda de mampostería concreto con techo zinc ondulado	40	Predominante uso de bloques de concreto, sobre vigas sísmicas e intermedias	El 85 % de estas viviendas se encuentran asentadas en zonas menos propensas a deslizamientos (planicies) reflejan mayor capacidad adquisitiva económica.

Los resultados obtenidos mediante observación directa sistemática en el barrio Loma Fresca, sector 2, evidencian una marcada heterogeneidad en los sistemas constructivos y en la localización espacial de las viviendas, configurando un patrón claro de vulnerabilidad estructural y socioambiental. Del total de 104 viviendas evaluadas, el 61.5 % (64 viviendas) corresponde a edificaciones de madera con techo de zinc ondulado, mientras que el 38.5 % (40 viviendas) presenta sistemas de mampostería confinada de concreto, construidos sobre vigas sísmicas e intermedias.

Las viviendas de madera se caracterizan por el uso de maderas de baja durabilidad y una implantación predominante en pendientes pronunciadas y zonas de recarga hídrica, lo que incrementa significativamente su exposición a procesos de inestabilidad del terreno. En este grupo, 58 viviendas (90 %) se encuentran asentadas en sitios críticos altamente vulnerables a deslizamientos, condición asociada tanto a la precariedad constructiva como a limitadas capacidades económicas, que restringen el acceso a terrenos más seguros. Estos hallazgos son consistentes con estudios que señalan que los asentamientos informales en pendientes inestables constituyen uno de los principales factores de riesgo en ciudades del trópico húmedo (Devoli et al., 2007).

En contraste, las viviendas de mampostería de concreto se localizan mayoritariamente en zonas de menor pendiente o planicies, donde 34 viviendas (85 %) presentan niveles de vulnerabilidad media o baja. Este patrón refleja una mayor capacidad adquisitiva, acceso a mejores materiales constructivos y selección de terrenos con menor susceptibilidad geomorfológica, evidenciando una



segregación socioespacial del riesgo, fenómeno ampliamente documentado en contextos urbanos con crecimiento no planificado (UNDP, 2004).

Desde el punto de vista físico-ambiental, el entorno del barrio muestra topografía irregular, taludes inestables y drenajes naturales sin canalización, condiciones que amplifican los efectos de las precipitaciones intensas y favorecen la ocurrencia de movimientos de masa. La combinación de estos factores físicos con variables sociales —ingreso, nivel educativo y conocimiento del riesgo— genera un riesgo compuesto, donde la amenaza natural se ve intensificada por la exposición y la vulnerabilidad social. Este enfoque coincide con el planteamiento de que el riesgo de desastre no es únicamente el resultado de procesos naturales, sino de la interacción entre amenazas y condiciones estructurales preexistentes (UN-Habitat, 2002).

Los resultados observados en Loma Fresca corresponden con el inventario nacional de deslizamientos desarrollado por Devoli et al. (2007), quienes documentaron que más del 70 % de los deslizamientos en Nicaragua ocurrieron en áreas con pendientes superiores al 25 %, ocupadas por viviendas con materiales de baja resistencia y coberturas vegetales degradadas. Asimismo, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) advierte que la pobreza estructural y la falta de planificación urbana son determinantes directos del riesgo de desastre en países con alta exposición a amenazas naturales, como Nicaragua (UNDP, 2004).

Desde una perspectiva de gestión del riesgo, la situación del barrio Loma Fresca evidencia debilidades significativas en términos de planificación local, participación comunitaria y obras de mitigación, tales como estabilización de taludes, drenajes pluviales y muros de contención. La Federación Internacional de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja (IFRC) subraya que la reducción efectiva del riesgo requiere integrar indicadores estructurales, sociales y ambientales, promoviendo la autogestión comunitaria y la educación preventiva como pilares de la resiliencia local (IFRC, 2007).

En este sentido, los hallazgos confirman que la vulnerabilidad del barrio Loma Fresca, sector 2, no puede interpretarse de manera aislada, sino como el resultado de la interacción entre infraestructura precaria, degradación ambiental y limitadas capacidades sociales. Este patrón es consistente con estudios recientes que demuestran que las comunidades expuestas a lluvias intensas y degradación ambiental presentan mayores tasas de deslizamientos y pérdidas de medios de vida cuando existe una planificación territorial deficiente y escasa integración del conocimiento local (Velásquez-Espinoza & Alcántara-Ayala, 2024).

En síntesis, la Tabla 1 pone de manifiesto una relación directa entre condición socioeconómica, tipo constructivo y nivel de exposición al riesgo, confirmando que el barrio Loma Fresca, sector 2, se encuentra en un estado de alta vulnerabilidad estructural y social, lo que exige la implementación urgente de estrategias de mitigación y gestión comunitaria del riesgo para reducir la probabilidad de deslizamientos y mejorar la seguridad habitacional.

Tabla 3

Niveles de riesgo por deslizamientos en el barrio Loma Fresca según zonificación geoespacial

Nivel de riesgo	Porcentaje del área	Características predominantes
Alto	63 %	Taludes pronunciados, suelos deforestados, viviendas de madera, drenaje deficiente
Medio	25 %	Pendientes moderadas, uso mixto del suelo, escasa cobertura arbórea
Bajo	12 %	Áreas planas, cobertura vegetal densa, baja densidad poblacional

La zonificación geoespacial del riesgo por deslizamientos en el barrio Loma Fresca, sector 2, evidencia una alta concentración del riesgo en gran parte del territorio analizado. Los resultados muestran que el 63 % del área se clasifica como riesgo alto, caracterizado por la presencia de taludes pronunciados, suelos deforestados, drenaje superficial deficiente y predominio de viviendas de madera, condiciones que incrementan significativamente la probabilidad de inestabilidad del terreno. El 25 % del área presenta riesgo medio, asociado a pendientes moderadas, uso mixto del suelo y escasa cobertura arbórea, mientras que únicamente el 12 % corresponde a zonas de riesgo bajo, localizadas en áreas planas con mayor cobertura vegetal y menor densidad poblacional.

Estos resultados reflejan un patrón espacial de riesgo fuertemente condicionado por factores físicos y antrópicos, donde la pendiente, la pérdida de cobertura vegetal y el tipo de ocupación urbana actúan de manera sinérgica. La predominancia del riesgo alto coincide con estudios que señalan que la combinación de pendientes superiores al 25 %, suelos degradados y urbanización informal constituyen uno de los principales detonantes de deslizamientos en regiones tropicales húmedas (Devoli et al., 2007).

La comparación multitemporal de la cobertura de suelo (1992–2023) refuerza la interpretación de estos resultados. En 1992, el área de vegetación y bosque latifoliado alcanzaba 515.97 km²; para el año 2020 se redujo a 333.9 km², lo que representa una pérdida del 35.3 %. De manera más reciente, entre 2017 y 2023, la cobertura arbórea disminuyó de 333,096 ha a 301,824 ha, evidenciando una reducción adicional de 31,272 ha. Esta tendencia sostenida de deforestación confirma un proceso de degradación ambiental progresiva, estrechamente vinculado a la expansión urbana no planificada y al incremento de superficies impermeables, factores que favorecen la escorrentía superficial, la erosión y la inestabilidad de laderas.

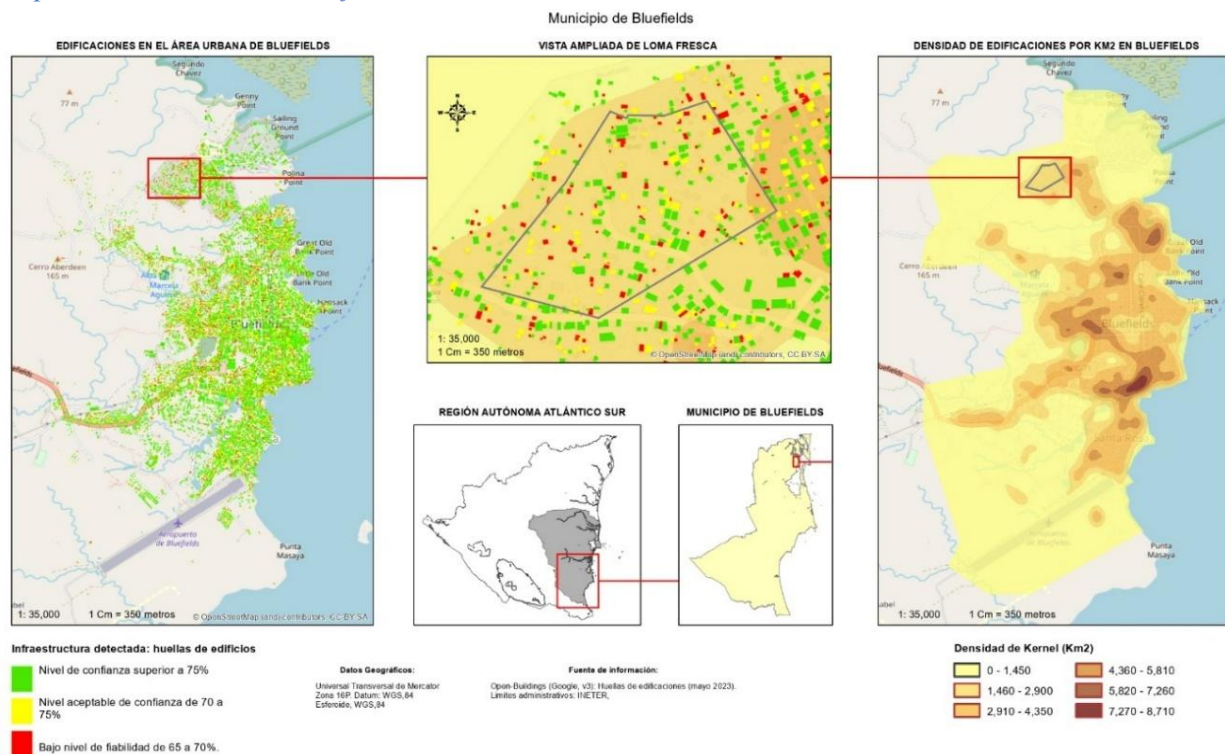
Desde una perspectiva geomorfológica y ambiental, la pérdida de cobertura vegetal reduce la cohesión del suelo y la capacidad de infiltración, aumentando la susceptibilidad a deslizamientos, especialmente bajo condiciones de lluvias intensas, típicas del Caribe nicaragüense. Este comportamiento ha sido ampliamente documentado en la literatura científica, donde se destaca que la deforestación en laderas tropicales incrementa significativamente la frecuencia y magnitud de los movimientos de masa (Glade, 2003; Sidle & Bogaard, 2016).

Los mapas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo total generados en el estudio, junto con el registro fotográfico georreferenciado, permiten identificar con claridad los sectores críticos del barrio, validando visual y espacialmente los resultados obtenidos mediante el análisis multicriterio. La superposición de capas evidencia que las zonas de riesgo alto coinciden con áreas de mayor pendiente, mayor grado de deforestación y predominio de viviendas construidas con materiales de baja resistencia, lo que confirma la consistencia interna del modelo geoespacial aplicado.

En términos de gestión del riesgo, estos hallazgos son coherentes con los planteamientos del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, que subraya que la degradación ambiental y la urbanización no planificada son factores clave en la construcción social del riesgo de desastres, particularmente en ciudades intermedias de países en desarrollo (UNDP, 2004). Asimismo, la Federación Internacional de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja enfatiza que la identificación espacial de zonas de alto riesgo constituye una herramienta fundamental para la priorización de intervenciones preventivas y de mitigación a escala comunitaria (IFRC, 2007).

En síntesis, la Tabla 2 confirma que el barrio Loma Fresca, sector 2, presenta un escenario de riesgo territorialmente concentrado, donde más de la mitad del área se encuentra bajo condiciones críticas de exposición a deslizamientos. La relación directa entre deforestación, pendiente y tipología constructiva evidencia que, de no implementarse medidas de planificación urbana, recuperación de cobertura vegetal y obras de mitigación, el riesgo tenderá a incrementarse, comprometiendo la seguridad habitacional y la sostenibilidad ambiental del entorno urbano.

Figura 1
 Mapa de la distribución de infraestructura urbana



El análisis geoespacial de la distribución de la infraestructura urbana en el municipio de Bluefields permitió identificar patrones espaciales directamente asociados con la generación y concentración del riesgo por deslizamientos, con especial énfasis en el barrio Loma Fresca, sector 2. Para ello, se integraron en ArcGIS Pro cuatro variables principales: pendiente, cobertura del suelo, precipitación y proximidad a drenajes, las cuales fueron transformadas en capas temáticas raster y reclasificadas según su nivel de incidencia en la susceptibilidad al deslizamiento. Posteriormente, se aplicó el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) propuesto por Saaty, mediante una matriz de comparación por pares, con el propósito de establecer la importancia relativa de cada criterio dentro del modelo multicriterio. Este procedimiento permitió jerarquizar las variables y asignar pesos normalizados en función de su influencia en la ocurrencia del fenómeno.

Como resultado de la ponderación, el modelo otorgó mayor peso a la precipitación (35 %) y a la distancia a ríos o drenajes (35 %), seguidas por la pendiente (16 %) y la cobertura vegetal (14 %). Esta distribución de pesos evidencia que, en el contexto de Bluefields, los procesos hidrometeorológicos y la cercanía a cauces naturales constituyen los factores más determinantes en la configuración espacial del riesgo, por encima de otros criterios físicos. Una vez ponderadas, las capas fueron integradas mediante una combinación lineal ponderada en entorno SIG, generándose así el mapa de zonificación del riesgo, posteriormente clasificado en tres categorías: riesgo bajo, medio y alto.

La Figura 2 evidencia una alta concentración de edificaciones en el casco urbano central, con densidades superiores a 4,000 edificaciones/km², mientras que en los sectores periféricos se observa un patrón más disperso. Sin embargo, en áreas como Loma Fresca esta dispersión ocurre sobre laderas con pendientes pronunciadas, sin obras de estabilización ni sistemas adecuados de drenaje, lo que refleja una expansión urbana desordenada y carente de control técnico municipal. La superposición entre la capa de infraestructura urbana y el modelo ponderado de riesgo mostró que 63 % del área total se clasifica como riesgo alto, 25 % como riesgo medio y 12 % como riesgo bajo. Las zonas de mayor riesgo coinciden espacialmente con sectores de deforestación intensa, suelos arcillosos, predominio de viviendas de madera y drenajes naturales sin infraestructura de canalización, lo que confirma la consistencia territorial del modelo aplicado.

Desde una perspectiva interpretativa, la aplicación del AHP permitió transparentar el peso específico de cada variable y fortalecer la base analítica del mapa resultante, al evitar una superposición cartográfica meramente descriptiva. En este sentido, el riesgo por deslizamientos en Bluefields no responde a una amenaza exclusivamente geológica, sino a la interacción entre factores naturales y antrópicos que, al ser jerarquizados y especializados, revelan con mayor precisión los sectores críticos del territorio. Este comportamiento coincide con lo documentado por Devoli et al. (2007), quienes señalan que la mayoría de los deslizamientos registrados en Nicaragua están asociados a lluvias intensas sobre suelos previamente alterados por deforestación y ocupación urbana informal, particularmente en zonas de pendiente elevada.

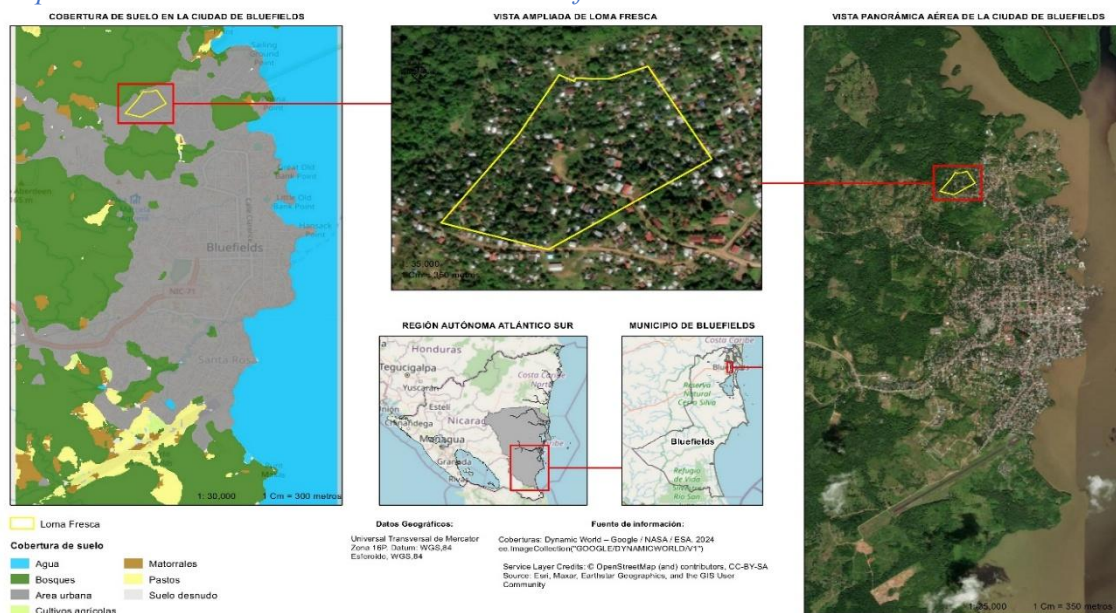
Asimismo, estudios basados en teledetección y análisis satelital han demostrado que la pérdida de cobertura boscosa en regiones tropicales costeras reduce la capacidad de retención hídrica del suelo y acelera los procesos de erosión superficial. En este sentido, la Agencia Espacial Europea (ESA),

a través de su programa Climate Change Initiative, ha reportado una reducción sostenida de la cobertura forestal en el municipio de Bluefields, lo que incrementa la susceptibilidad a deslizamientos y otros procesos de degradación del suelo (ESA, 2021). La inclusión de esta variable en el modelo AHP, aunque con menor peso relativo que la precipitación y la proximidad a drenajes, permitió incorporar la dimensión ambiental como un componente estructural del riesgo.

El uso integrado de SIG y AHP se consolida, así como una herramienta estratégica para la gestión del riesgo territorial, al permitir la ponderación explícita de variables, la delimitación espacial de áreas críticas y la generación de cartografía técnicamente sustentada. Tal como señalan Velásquez-Espinoza y Alcántara-Ayala (2024), el análisis geoespacial facilita la identificación de zonas prioritarias para intervención, el establecimiento de umbrales de alerta y la comunicación efectiva del riesgo a las comunidades, fortaleciendo los procesos de prevención y resiliencia local. En concordancia, Quesada-Román (2023) destaca que la planificación territorial en Centroamérica debe incorporar explícitamente indicadores de riesgo en los instrumentos de ordenamiento urbano, particularmente en ciudades con crecimiento acelerado y limitadas capacidades institucionales.

El análisis de la distribución de la infraestructura urbana demuestra que el riesgo alto por deslizamientos, identificado en el 63 % del área, está estrechamente vinculado a la combinación ponderada de precipitación, proximidad a drenajes, pendiente y pérdida de cobertura vegetal, así como a la presión ejercida por la ocupación urbana en zonas de alta fragilidad. Estos resultados respaldan la necesidad de fortalecer los sistemas locales de información geoespacial, integrar el monitoreo climático en los planes de desarrollo urbano y promover estrategias de resiliencia territorial participativa, en articulación con las autoridades municipales, la academia y las comunidades locales.

Figura 2
Mapa de cobertura de suelo de la ciudad de Bluefields



El análisis multitemporal de la cobertura del suelo en el municipio de Bluefields, realizado a partir de imágenes satelitales Sentinel-2 de la Agencia Espacial Europea (ESA) y procesadas en ArcGIS Pro, permitió identificar transformaciones significativas del paisaje durante el período 2017–2023, con implicaciones directas sobre la estabilidad del terreno y el riesgo por deslizamientos. Como parte del modelo multicriterio, la cobertura del suelo fue incorporada como criterio ambiental dentro del método AHP, a partir de su influencia en la infiltración, la protección superficial del terreno y la estabilidad de los taludes. Para ello, las clases de cobertura identificadas en las imágenes satelitales fueron reclasificadas según su nivel de susceptibilidad, asignando mayor valor de riesgo a las superficies deforestadas, urbanizadas o con suelo desnudo, y menor valor a las áreas con vegetación arbórea más conservada. Esta capa temática fue posteriormente ponderada e integrada al análisis espacial mediante superposición en entorno SIG.

La Figura 3 muestra una reducción sostenida de la cobertura vegetal arbórea, la cual pasó de 333, 096 ha en 2017 a 301, 824 ha en 2023, lo que representa una pérdida neta de 31, 272 ha en apenas seis años. Este resultado no solo evidencia una transformación acelerada del paisaje, sino que también aporta un insumo técnico directo al modelo AHP, al confirmar que la disminución de cobertura vegetal constituye un factor relevante en la configuración del riesgo. En términos porcentuales, las áreas boscosas, que en 2017 cubrían más del 60 % del territorio municipal, se redujeron a menos del 55 % en 2023, mientras que las superficies de suelo desnudo y usos agropecuarios aumentaron de forma proporcional. Este patrón espacial resulta especialmente evidente en los corredores viales que conectan Bluefields con la carretera hacia Nueva Guinea y en los asentamientos periféricos del barrio Loma Fresca, donde la sustitución de vegetación por infraestructura ha modificado los patrones de drenaje superficial y ha incrementado los procesos de erosión hídrica.

En el marco del análisis jerárquico multicriterio, la variable cobertura vegetal recibió una ponderación específica dentro de la matriz de comparación por pares, de acuerdo con su incidencia relativa sobre la susceptibilidad del terreno. Aunque su peso fue menor que el asignado a la precipitación y a la proximidad a drenajes, su inclusión en el modelo permitió incorporar la dimensión ecológica del riesgo y explicar espacialmente por qué los sectores con mayor pérdida de vegetación coinciden con áreas de mayor fragilidad geomorfológica. De esta manera, el uso del AHP con SIG no se limitó a la superposición cartográfica de capas, sino que permitió jerarquizar la contribución real de la cobertura del suelo dentro de la estructura explicativa del riesgo.

Los resultados obtenidos concuerdan con los datos del programa Climate Change Initiative – Land Cover de la European Space Agency, que documenta una pérdida progresiva de la vegetación tropical húmeda en Nicaragua como consecuencia del cambio de uso del suelo y de prácticas de manejo ambiental poco sostenibles (ESA, 2021). La coincidencia espacial entre las áreas deforestadas identificadas en este estudio y los focos regionales de pérdida de cobertura refuerza la validez del análisis geoespacial aplicado y respalda la pertinencia de haber incorporado esta variable dentro de la estructura jerárquica del modelo.

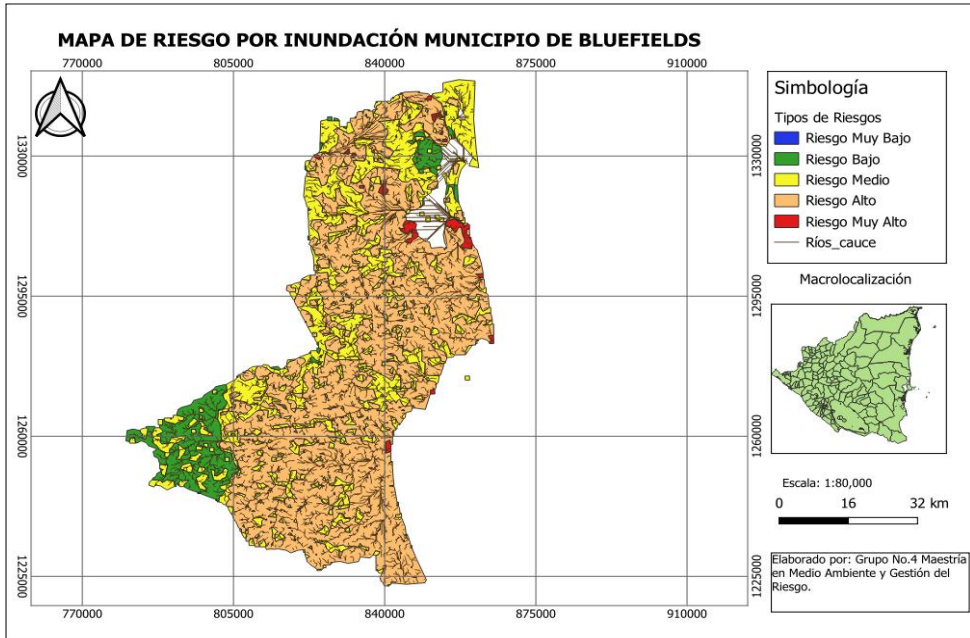
Desde una perspectiva interpretativa, la reducción de la cobertura boscosa constituye un detonante estructural de la vulnerabilidad ambiental, al afectar negativamente la infiltración y la retención de humedad del suelo. La pérdida de raíces disminuye el anclaje del terreno, incrementa la escorrentía superficial y reduce la estabilidad de los taludes, especialmente en laderas con pendientes superiores al 20 %. En este sentido, Velásquez-Espinoza y Alcántara-Ayala (2024) demuestran que la degradación de la cobertura vegetal, combinada con la presión antrópica en zonas de pendiente, incrementa de manera significativa la probabilidad de deslizamientos en regiones tropicales húmedas, al alterar la estructura porosa del suelo y su resistencia al esfuerzo cortante.

Asimismo, los hallazgos se alinean con los planteamientos de Quesada-Román (2023), quien identifica la deforestación y la urbanización no planificada como motores centrales del riesgo de desastre en Centroamérica. El autor subraya que la ausencia de instrumentos de ordenamiento territorial basados en información ambiental actualizada favorece la ocupación de zonas de recarga hídrica y laderas inestables, situación que amplifica la exposición ante eventos de lluvia extrema. Este patrón es claramente observable en Bluefields, donde la transformación del uso del suelo ha precedido al incremento del riesgo por movimientos de masa.

El impacto ecológico y social asociado a la pérdida de más de 31,000 ha de cobertura vegetal en un período relativamente corto representa una tendencia preocupante de transformación del paisaje, que compromete la resiliencia ecosistémica, disminuye la capacidad de regulación climática local y afecta los medios de vida de comunidades dependientes de los recursos forestales. De acuerdo con Devoli et al. (2007), más del 70 % de los deslizamientos registrados en Nicaragua se concentran en zonas previamente deforestadas y con procesos activos de erosión, lo que refuerza la relación directa entre cambio de cobertura del suelo y ocurrencia de movimientos de tierra.

La Figura 3 no solo cuantifica el cambio de cobertura del suelo en la ciudad de Bluefields, sino que demuestra cómo esta variable fue clasificada, jerarquizada e integrada mediante AHP en entorno SIG como un criterio explicativo del riesgo. Los resultados confirman que la degradación progresiva del paisaje constituye un componente estructural del modelo de susceptibilidad territorial y respaldan la necesidad de integrar el análisis multitemporal de cobertura terrestre en la planificación urbana, implementar programas de restauración ecológica y reforestación de taludes, fortalecer el monitoreo de cuencas y regular el uso del suelo mediante instrumentos técnicos sustentados en información geoespacial.

Figura 3
 Mapa de riesgos por inundación del municipio de Bluefields



El Mapa de Riesgo por Inundación del Municipio de Bluefields (Figura 4) muestra la distribución espacial de los distintos niveles de exposición a eventos de anegamiento, asociados a desbordamientos fluviales, saturación del suelo y procesos compuestos de inundación–deslizamiento. Para su elaboración, se integraron en ArcGIS Pro-capas geoespaciales de pendiente, tipo de suelo, cobertura vegetal, red hidrográfica y registros históricos de precipitación, las cuales fueron procesadas, estandarizadas y reclasificadas según su grado de incidencia en la susceptibilidad a inundaciones. Posteriormente, se aplicó el Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP), mediante una matriz de comparación por pares, con el fin de establecer la importancia relativa de cada criterio dentro del modelo espacial. Este procedimiento permitió asignar pesos normalizados a las variables y construir una base analítica más sólida para la zonificación del riesgo.

A partir de la matriz jerárquica, se determinó que las variables asociadas al comportamiento hidrológico, particularmente la proximidad a la red hidrográfica y la precipitación acumulada, presentaban mayor influencia relativa en la configuración del riesgo, seguidas por factores de soporte territorial como la pendiente, el tipo de suelo y la cobertura vegetal. Una vez ponderadas, las capas fueron integradas mediante una combinación lineal ponderada en entorno SIG, generando una superficie continua de susceptibilidad que posteriormente fue reclasificada en cinco niveles de riesgo: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. De esta manera, la cartografía resultante no respondió a una simple superposición de capas, sino a un proceso de jerarquización multicriterio técnicamente estructurado.

Los resultados evidencian que las zonas de riesgo alto y muy alto se concentran principalmente en el norte y noreste del municipio, incluyendo el barrio Loma Fresca, sectores adyacentes al río Escondido y áreas próximas a la laguna de Bluefields. Estas zonas se caracterizan por la presencia de suelos arcillosos, pendientes suaves a moderadas, baja altitud y un marcado proceso de deforestación, condiciones que reducen la capacidad natural de infiltración y drenaje. En contraste, las áreas clasificadas con riesgo medio y bajo se localizan mayoritariamente en el sur y suroeste, donde predominan mayores elevaciones y una cobertura vegetal relativamente más conservada. La distribución espacial obtenida confirma que la zonificación generada por el modelo AHP–SIG logra diferenciar con claridad sectores de distinta susceptibilidad hidrológica dentro del territorio municipal.

Se estima que aproximadamente el 48 % del área evaluada presenta algún nivel de amenaza por inundación, con predominio de las categorías media y alta. Este patrón espacial se encuentra estrechamente vinculado al proceso de urbanización acelerada y pérdida de cobertura boscosa, previamente identificado en el análisis multitemporal de cobertura del suelo. La expansión de superficies impermeables ha disminuido la infiltración y aumentado la escorrentía superficial, incrementando la frecuencia e intensidad de los eventos de inundación. En este sentido, la variable cobertura del suelo, incorporada y ponderada dentro del modelo AHP, permitió explicar por qué las zonas más transformadas por la acción humana coinciden con áreas de mayor exposición. Este comportamiento es consistente con los reportes de la European Space Agency (ESA), que documentan una reducción progresiva de la vegetación en regiones tropicales del Caribe nicaragüense y un aumento concomitante de la exposición a fenómenos hidrometeorológicos extremos (ESA, 2021).

Desde una perspectiva interpretativa, el riesgo por inundación en Bluefields no puede explicarse únicamente por la amenaza hidrometeorológica, sino por la interacción entre factores naturales y antrópicos que el modelo multicriterio permitió integrar y jerarquizar espacialmente. El régimen pluviométrico local, que supera los 4,000 mm anuales, ejerce una presión constante sobre los cauces naturales y los sistemas de drenaje urbano. En este contexto, Devoli et al. (2007) señalan que las lluvias prolongadas sobre suelos saturados y deforestados pueden detonar procesos compuestos de inundación y remoción en masa, generando impactos simultáneos sobre la infraestructura, la vivienda y los medios de vida, patrón que coincide con el escenario observado en el municipio.

El patrón espacial identificado también concuerda con las conclusiones de Quesada-Román (2023), quien advierte que las ciudades costeras de Centroamérica presentan una elevada vulnerabilidad frente a inundaciones debido a la ocupación desordenada de zonas bajas, la alteración de humedales y la ausencia de planificación territorial basada en criterios hidrológicos. En el caso específico de Bluefields, la degradación de humedales y manglares ha reducido significativamente la capacidad natural de absorción y amortiguamiento de las aguas, agravando los efectos de las lluvias extremas. Este fenómeno ha sido ampliamente documentado por Velásquez-Espinoza y Alcántara-Ayala (2024), quienes sostienen que la combinación de deforestación, urbanización no planificada y alta pluviosidad genera un ciclo de retroalimentación del riesgo, en el cual la degradación ambiental

incrementa progresivamente la exposición y vulnerabilidad de las comunidades asentadas en zonas bajas.

Desde el enfoque de la gestión integral del riesgo, la Figura 4 constituye un instrumento estratégico para la planificación preventiva y la toma de decisiones municipales, precisamente porque su construcción metodológica integra ponderación jerárquica de variables, análisis espacial y evidencia territorial. Su aplicación práctica permite delimitar zonas de restricción constructiva, orientar la expansión urbana controlada, priorizar la reforestación de márgenes fluviales y taludes, y fortalecer los sistemas de drenaje pluvial. Asimismo, la implementación de un Sistema Municipal de Alerta Temprana (SMAT), basado en información geoespacial actualizada y pronósticos meteorológicos, incrementaría la capacidad de respuesta institucional ante eventos extremos. En concordancia, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo enfatiza que la reducción del riesgo de desastres exige un enfoque preventivo, intersectorial y participativo, donde la planificación territorial, la gestión ambiental y la organización comunitaria actúen de forma articulada (UNDP, 2004).

En síntesis, los resultados del mapa de riesgo por inundación confirman que las inundaciones en Bluefields son el resultado de una combinación de causas naturales y estructurales, cuya expresión territorial fue identificada mediante un modelo AHP integrado con SIG. La ponderación de variables como precipitación, red hidrográfica, pendiente, tipo de suelo y cobertura vegetal permitió delimitar con mayor precisión los sectores críticos del municipio y demostrar que la presión antrópica ha debilitado la capacidad adaptativa del territorio. La mitigación de este riesgo demanda, por tanto, una política integral de ordenamiento territorial, restauración de ecosistemas estratégicos y fortalecimiento institucional con enfoque de riesgo comunitario, orientada a la construcción de una ciudad más resiliente frente al cambio climático y la variabilidad hidrometeorológica.

CONCLUSIONES

El presente estudio permitió evidenciar que el riesgo por deslizamientos e inundaciones en el municipio de Bluefields, con énfasis en el barrio Loma Fresca, sector 2, no responde a una amenaza natural aislada, sino a un proceso acumulativo en el que interactúan de manera simultánea factores físicos, ambientales y socioeconómicos. Las condiciones topográficas, caracterizadas por pendientes inestables y suelos arcillosos, combinadas con un régimen de precipitaciones superiores a los 4 000 mm anuales, configuran un escenario naturalmente susceptible que se ve intensificado por la ocupación urbana no planificada y la degradación progresiva del entorno natural.

La zonificación geoespacial del riesgo confirmó que una proporción significativa del territorio se encuentra bajo condiciones críticas de exposición, destacándose que más del 60 % del área analizada presenta niveles altos de riesgo por deslizamientos, mientras que cerca de la mitad del municipio evidencia algún grado de amenaza por inundación. Estas áreas coinciden espacialmente con sectores donde la pérdida de cobertura vegetal, la alta densidad edificatoria y la deficiencia de los sistemas de drenaje han alterado los procesos hidrológicos naturales, incrementando la escorrentía superficial y la inestabilidad del terreno.

El análisis multitemporal de la cobertura del suelo reveló una transformación acelerada del paisaje entre 2017 y 2023, con una pérdida superior a 31000 hectáreas de vegetación arbórea. Esta reducción ha debilitado la capacidad de infiltración y retención hídrica del suelo, afectando la estabilidad de los taludes y actuando como un factor estructural que potencia la ocurrencia de deslizamientos e inundaciones. La sustitución de áreas boscosas por usos urbanos y agropecuarios, especialmente en zonas de pendiente, constituye un elemento clave en la construcción social del riesgo en el contexto urbano de Bluefields.

Asimismo, la caracterización de la infraestructura urbana permitió identificar un patrón de segregación socioespacial del riesgo, donde las viviendas construidas con materiales de menor durabilidad, como la madera, se localizan predominantemente en laderas y zonas de recarga hídrica, mientras que las edificaciones de mampostería se concentran en áreas más estables. Este comportamiento evidencia una relación directa entre condición socioeconómica y nivel de exposición, profundizando la vulnerabilidad de los sectores con menores capacidades económicas y limitadas opciones de localización segura.

La aplicación de Sistemas de Información Geográfica y del análisis jerárquico multicriterio demostró ser una herramienta eficaz para la evaluación integrada del riesgo, al permitir la identificación precisa de sectores críticos y la generación de información útil para la planificación territorial. Asimismo, la integración de datos satelitales, análisis cartográfico y observación de campo fortaleció la consistencia del modelo y proporcionó una base técnica sólida para la toma de decisiones a escala municipal.

En este sentido, los resultados del estudio evidencian la necesidad de transitar hacia un enfoque preventivo de la gestión del riesgo, sustentado en el ordenamiento territorial con enfoque de riesgo, la restauración de la cobertura vegetal, la regulación del uso del suelo y el fortalecimiento de los sistemas de alerta temprana. La ausencia de estas acciones incrementará progresivamente la exposición de la población ante eventos hidrometeorológicos extremos, especialmente en un contexto de cambio climático.

En conclusión, la investigación aporta evidencia científica relevante para la formulación de políticas públicas locales, demostrando que la reducción del riesgo de desastres en Bluefields solo será efectiva si se articulan de manera integrada la planificación urbana, la gestión ambiental, el uso estratégico de la información geoespacial y la participación comunitaria. Este enfoque resulta fundamental para avanzar hacia la construcción de un territorio más seguro, sostenible y resiliente en el Caribe nicaragüense.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

REFERENCIAS

Britton Nelson, F. L., Álvarez Salazar, E. J., & Flores-Pacheco, J. A. (2024). Análisis de vulnerabilidad ante la amenaza de deslizamiento en los asentamientos del barrio San Pedro, Bluefields, 2023 [Tesis de Ingeniería]. Bluefields Indian & Caribbean University (BICU). <http://repositorio.bicu.edu.ni/1412/>



- Cortez, G. O. (2014). Diseño de un plan de gestión de riesgos y desastres ante eventos de deslizamientos, sismos e incendios para la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede. <https://repositorio.pucese.edu.ec/handle/123456789/207>
- Darking Tucker, B. N., Acevedo Somoza, F. R., & Araúz Urbina, J. C. (2025). Evaluación de la vulnerabilidad ante deslizamiento de las infraestructuras del sector 4 del barrio Loma Fresca de la ciudad de Bluefields [Tesis de Ingeniería]. Bluefields Indian & Caribbean University (BICU). <http://repositorio.bicu.edu.ni/1446/>
- de Oliveira, A., & de Souza, C. M. (2019). Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais. *Interações*, 20(2), 407–420. <https://doi.org/10.20435/inter.v20i2.1856>
- Flores-Pacheco, J. A., Castro Jo, S. E., Araúz Urbina, J. C., Cash Hodgson, D. A., & Knight Julian, L. (2023). Sistemas constructivos, gestión integral de riesgo de desastres y adaptación al cambio climático – comunidad indígena Tiktik Kaanu. *Nexo Revista Científica*, 36(04), 458–469. <https://doi.org/10.5377/nexo.v36i04.16749>
- Flores-Pacheco, J. A., Mairena, Á., & Espluga, J. (2013). Evaluación de riesgos en sistemas agrícolas asociados a la utilización de plaguicidas en el Municipio de Kukra Hill, Nicaragua, Centroamérica. *Nexo Revista Científica*, 26(1), 34–44. <https://doi.org/10.5377/nexo.v26i1.1034>
- Devoli, G., Strauch, W., Chávez, G., & Høeg, K. (2007). A landslide inventory for Nicaragua: A tool for landslide hazard assessment. *Engineering Geology*, 94(3–4), 177–194. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2007.08.010>
- European Space Agency. (2021). Climate Change Initiative: Land cover data user guide. <https://climate.esa.int/en/projects/land-cover/>
- Federación Internacional de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja. (2007). World disasters report 2007: Focus on discrimination. IFRC. <https://www.ifrc.org>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2020). *Infrastructure governance*. <https://doi.org/10.1787/80c4cb6f-en>
- Gómez Ortega, I. A., Cabrera Hernández, L. M., & Flores-Pacheco, J. A. (2024). Análisis de la vulnerabilidad ante la amenaza de inundaciones en los asentamientos del Barrio Pancasán, Bluefields, 2024 [Tesis de Ingeniería]. Bluefields Indian & Caribbean University (BICU). <http://repositorio.bicu.edu.ni/1361/>
- Glade, T. (2003). Landslide occurrence as a response to land use change: A review of evidence from New Zealand. *Catena*, 51(3–4), 297–314. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(02\)00170-4](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(02)00170-4)
- Quesada-Román, A. (2023). Landslide risk and territorial planning in Central America: Challenges and opportunities. *Natural Hazards*, 118(2), 985–1004. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-05821-9>
- Rivas Suazo, E. G., Ebanks Mongalo, B. F., Siu Estrada, E. A., & Flores-Pacheco, J. A. (2025). Prevención de incendios forestales en Bluefields a través de la educación ambiental y acción comunitaria. *Índice: Revista De Educación De Nicaragua*, 4(7), 49–62. <https://doi.org/https://revistaindice.cnu.edu.ni/index.php/indice/article/view/273>
- Saaty, T. L. (2008). *Decision making with the analytic hierarchy process*. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98.

https://www.inderscience.com/info/e_inarticletoc.php?jcode=ijssci&year=2008&vol=1&issue=1

Sidele, R. C., & Bogaard, T. A. (2016). Dynamic earth system and ecological controls of rainfall-initiated landslides. *Earth-Science Reviews*, 159, 275–291.

<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.05.013>

United Nations Development Programme. (2004). *Reducing disaster risk: A challenge for development*.

<https://www.undp.org/publications/reducing-disaster-risk-challenge-development>

United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2019). *Global assessment report on disaster risk reduction*. UNDRR.

<https://www.undrr.org/publication/global-assessment-report-disaster-risk-reduction-2019>

UN-Habitat. (2002). *Cities at risk: Environmental management and disaster mitigation*. United Nations Human Settlements Programme.

<https://unhabitat.org>

Velásquez-Espinoza, R., & Alcántara-Ayala, I. (2024). Integrating geospatial analysis and local knowledge for landslide risk management in tropical regions. *Natural Hazards*, 122(1), 1–

22. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06214-9>

