



VULNERABILIDADES DE LOS ELEMENTOS ESENCIALES Y EVALUACIÓN INTEGRAL DEL RIESGO DE DESASTRES PARA LA PLANIFICACIÓN URBANA Y GESTIÓN DEL RIESGO EN AZOGUES, ECUADOR

MARÍA AUGUSTA SACOTO FLORES¹, CARLOS SÁNCHEZ-GARCÍA^{2,3*} 

¹ *Universidad de Barcelona, Barcelona, España.*

² *FluvAlps-PaleoRisks Research Group, Departamento de Geografía, Universidad de Barcelona, Barcelona, España.*

³ *IPHES Catalan Institute for Human Palaeoecology and Social Evolution, Tarragona, España.*

RESUMEN: La evaluación integral del riesgo de desastres proporciona información sobre los potenciales efectos adversos que podrían condicionar los procesos de la ciudad, debido a la interacción y contribución de sus componentes en el desarrollo de escenarios de peligrosidad y vulnerabilidad. Analizando las amenazas más relevantes del entorno urbano, identificando las vulnerabilidades de los elementos críticos para el desarrollo de la ciudad y la exposición de los elementos a las amenazas, este estudio se enfoca en la comprensión y evaluación holística del riesgo de desastres de la ciudad de Azogues en Ecuador, con el fin de proporcionar información al gobierno local, a las instituciones y a la población. Se trata de orientar para la toma de decisiones en la planificación urbana y la gestión del riesgo de desastres durante todas sus etapas. Para ello se aplicó una metodología semicuantitativa basada en el Método de Análisis de Decisión Multi-criterio y, dentro de éste, el método “Analytic Hierarchy Process”. También se utilizó el enfoque heurístico y los Sistemas de Información Geográfica y sus herramientas. En los resultados se determinó que algunos elementos relacionados a los sectores salud, educación y suministro presentan ciertas vulnerabilidades, aunque éstas no están asociadas a la exposición a las amenazas. Con relación a las amenazas más relevantes, aproximadamente el 7% y el 33% del área total de estudio presentan niveles altos de peligrosidad a deslizamientos e incendios forestales. Finalmente, se estableció que los factores más importantes que inciden sobre los deslizamientos son los aspectos geológicos y la pendiente del terreno; y en los incendios forestales la cobertura del suelo (vegetación) y la radiación.

Essential element vulnerabilities and comprehensive disaster risk assessment for urban planning and risk management in Azogues, Ecuador

Abstract: The comprehensive assessment of disaster risk provides information on the potential adverse effects that could condition the city's processes, due to the interaction and contribution of its components in the development of hazard and vulnerability scenarios. By analyzing the most relevant hazards of the urban environment, identifying the vulnerabilities of the critical elements for the development of the city and the exposure of the elements to hazards; this study focuses on the understanding and holistic assessment of the disaster risk of the city of Azogues in Ecuador, in order to provide information to the local government, institutions and the population, to guide decision-making in urban planning and disaster risk management during all stages of disasters. To this end, a semi-quantitative methodology was applied based on the Multi-criteria Decision Analysis Method, and within this, the Analytic Hierarchy Process method and the heuristic approach and Geographic Information Systems and their tools. The results determined that some elements related to the health, education

and supply sectors present certain vulnerabilities, although these are not associated with exposure to hazards. In relation to the most relevant hazards, approximately 7% and 33% of the total study area present high levels of susceptibility to landslides and forest fires, respectively. Finally, it was established that the most important factors affecting landslides are geological aspects and slope; and for forest fires, land use (vegetation) and radiation.

Palabras clave: desastres naturales, vulnerabilidad, evaluación y gestión de riesgos, planificación urbana.

Key words: Natural hazards, vulnerability, natural hazard assessment and management, urban planning.

Recibido: 4 enero 2023

Aceptado: 9 marzo 2023

Correspondencia: Carlos Sánchez-García, FluvAlps-PaleoRisks Research Group, Departamento de Geografía, Universidad de Barcelona, Barcelona, España; IPHES, Institut de Paleoecologia Humana i Evolució Social. E-mail: csanchezg@ub.edu; csanchezgarcia@iphes.cat

1. Introducción

Los fenómenos naturales extremos con consecuencias devastadoras se intensifican año tras año y en el caso de los países en desarrollo esto se traduce en más muertes y pérdidas económicas importantes (Zorn, 2018). Además, como queda de manifiesto en los últimos estudios, el cambio climático está incrementando el número de eventos extremos en cuanto a riesgos naturales (Sánchez-García y Francos, 2022). De acuerdo con Promper *et al.* (2015) y Sun *et al.* (2019), los cambios en los sistemas sociales ejercen presión sobre los sistemas naturales hasta el punto de provocar una respuesta física en el territorio (como p. ej. los deslizamientos (DL)) y esto a su vez genera una reacción en los sistemas sociales debido a la interrelación de los mismos.

Los eventos peligrosos o amenazas que producen situaciones de riesgo en zonas vulnerables se manifiestan en la intersección de estos sistemas (Aksha *et al.*, 2020); por lo cual, para reducir el riesgo de desastres (RD) es necesario comprender y evaluar el riesgo y sus componentes (amenazas, vulnerabilidad, grado de exposición de personas y bienes, capacidades y entorno) (Lummen y Yamada, 2014; Kühnl *et al.*, 2022). Los autores Schneiderbauer y Ehrlich (2004) definen a los desastres como una perturbación grave en el funcionamiento de una sociedad, ocasionando afectaciones y daños importantes (pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales), que sobrepasan las capacidades y recursos de respuesta. El riesgo por otra parte, está definido como la probabilidad de que se produzcan daños o pérdidas esperadas como resultado de un elemento expuesto a un peligro o amenaza en un período de tiempo establecido. De acuerdo a la terminología desarrollada por la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2016), el riesgo (de desastres) está determinado de forma probabilística como una función de la amenaza, la exposición, la vulnerabilidad y la capacidad.

En relación a esto, dentro del concepto del riesgo se identifican algunos componentes como las amenazas o peligros caracterizadas principalmente por la potencialidad de daño, aspecto común a los conceptos antes mencionados, las cuales se presentan de forma probable en cierto espacio geográfico y se categorizan por su origen de tipo natural, tecnológico, social o socio-natural (Villagrán de León, 2006). Se tienen también los elementos expuestos los cuales hacen referencia a todos aquellos componentes constitutivos de un espacio geográfico en particular (edificaciones o instalaciones, población, medios de vida, actividades económicas, servicios públicos, entre otros), que podrían verse

afectados de forma directa o indirecta por una amenaza (Lummen y Yamada, 2014). La medida o grado en el que se encuentran expuestos los elementos ha sido definida como la exposición.

Adicionalmente se tienen las capacidades y medidas que incluyen a todos aquellos recursos, habilidades o atributos colectivos de una comunidad, los cuales pueden ser utilizados para reducir o minimizar los niveles de RD y los impactos negativos de las amenazas, exposición y/o vulnerabilidades (Lummen y Yamada, 2014). Finalmente, dentro de los componentes del riesgo se tiene la vulnerabilidad, concepto que ha sido identificado como las condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad de una persona, una comunidad, los bienes o los sistemas a los efectos de las amenazas; la susceptibilidad, término que para efectos de este estudio ha sido reemplazado por peligrosidad, hace referencia al grado de fragilidad interna de un sujeto, objeto o sistema para enfrentar una amenaza y recibir un posible impacto debido a la ocurrencia de un evento peligroso (SNGRE, s.f.).

Debido a lo indicado y desde las aproximaciones más recientes, se establece la necesidad de la evaluación holística del RD donde se incluyan las particularidades del entorno físico, construido y social, de un espacio geográfico (Carreño *et al.*, 2017; Aksha *et al.*, 2020; Gencer *et al.*, 2021). Según Gómez-Orea y Gómez-Villamarino (2014), el espacio geográfico o territorio es el lugar en el que se manifiestan estas interacciones, el cual, a su vez, es gestionado, organizado y regulado bajo ciertos criterios y prioridades del ámbito social, económico, ambiental, de prevención del RD, etc. para facilitar su funcionalidad y evolución sostenible. Además, se persigue que las decisiones en el territorio no contribuyan al desarrollo de nuevos escenarios de riesgo o agudicen los ya existentes.

De acuerdo con el informe más reciente sobre el RD en América Latina y el Caribe, en el periodo 1997-2017, se registraron en esta región uno de cada cuatro desastres a nivel mundial (UNDRR, 2021). Adicionalmente, una de las afectaciones más recurrentes a causa de los desastres extensivos por efectos del cambio climático son los daños en las infraestructuras críticas de las ciudades como las escuelas, las infraestructuras sanitarias y las infraestructuras viarias (UNDRR, 2019). Según D'Ercole *et al.* (2009), una urbanización que se extiende y densifica sin considerar las vulnerabilidades o peligrosidades, en un contexto geodinámico y climático desfavorable, y sin tener en cuenta las formas de desarrollo que incrementan las vulnerabilidades especialmente en los países andinos, está predispuesta a la ocurrencia de eventos destructivos.

Las sociedades modernas dependen de la efectividad y eficiencia operativa de los elementos esenciales (infraestructuras críticas) que se encuentran en las ciudades, para ofrecer servicios públicos, mejorar la calidad de vida y estimular el crecimiento económico (Gencer *et al.*, 2021). Al mismo tiempo, los elementos esenciales pueden presentar ciertas fragilidades fundamentales relacionadas con su funcionamiento, operación, autonomía, exposición a amenazas, etc. (D'Ercole y Metzger, 2004). Kühnl *et al.* (2022) señalan que la magnitud de los desastres está asociada directamente con la vulnerabilidad y la exposición al riesgo de los elementos que, por su potencial afectación, podrían condicionar los procesos de desarrollo (UNDRR, 2021). En este sentido, la evaluación integral del RD en el entorno urbano, es esencial para la toma de decisiones desde la planificación y la gestión del riesgo de desastres (GRD) (Lummen y Yamada, 2014; Qie y Rong, 2017).

En función de lo indicado, a partir de algunas iniciativas globales y regionales para la reducción del RD como el Marco Sendai (UNDRR, 2015), la Estrategia Andina para la GRD [EAGRD] (Comunidad Andina, 2017), y desde la comunidad científica, se desarrollan una serie de metodologías cualitativas y cuantitativas para la evaluación del RD y sus componentes; además, para su implementación se disponen de varios modelos y herramientas que utilizan la información del territorio para el análisis matemático, estadístico, computacional o espacial, o una combinación de éstos (Pardeshi *et al.*, 2013; Gautam *et al.*, 2021).

A partir del concepto del RD (Lummen y Yamada, 2014; Schelhorn *et al.*, 2014), se distinguen tres enfoques metodológicos en los estudios aplicados a nivel global. El primero es el análisis de la

peligrosidad frente a una o varias amenazas como podrían ser los DL (deslizamientos) (Barrantes *et al.*, 2011; Younes y Erazo, 2016), los incendios forestales (IF) (Pazmiño, 2019; Reyes y Balcázar, 2021; Francos *et al.*, 2021, 2022; Sivrikaya y Küçük, 2022) y las inundaciones (Rahmati *et al.*, 2016; Sánchez-García *et al.*, 2019). El segundo es la evaluación del riesgo multi amenazas y vulnerabilidades (sociales, físicas o espaciales) como las múltiples amenazas (Aksha *et al.*, 2020), las inundaciones (López-Valencia, 2019), los DL (Singh *et al.*, 2021) y los sismos (Xofi *et al.*, 2022). Y el tercero es el análisis del riesgo multi amenazas, vulnerabilidad y exposición (población e infraestructuras) como las múltiples amenazas (D'Ercole y Metzger, 2004), los DL (Promper *et al.*, 2015), los huracanes (Lummen y Yamada, 2014), las inundaciones (Schelhorn *et al.*, 2014) y los sismos (Qie y Rong, 2017).

Gran parte de los estudios realizados están orientados al primer enfoque, aunque en este no se considera el efecto-cascada que se produce cuando las amenazas se presentan de forma simultánea (Ranke, 2016; Gautam *et al.*, 2021). En los estudios más recientes, sobre todo en los países en desarrollo, se observa que el enfoque de la evaluación del RD transita hacia el abordaje integral del mismo, a pesar de que, en términos generales, en estas áreas la información es limitada y/o heterogénea (Barrantes, 2018; Aksha *et al.*, 2020; Xofi *et al.*, 2022). Por otra parte, Aksha *et al.* (2020) identifican en los estudios integrales del RD algunas limitaciones de tipo epistemológico, metodológico, de información limitada, entre otras; sin embargo, los autores señalan que la relevancia de este enfoque es la posibilidad de obtener una evaluación más realista de los potenciales impactos de los desastres, debido a que en el análisis se consideran de forma simultánea los elementos sociales, económicos y culturales con la geografía física de un territorio. Algunos resultados esperados por la evaluación integral del RD son: comprensión del RD y sus componentes, orientación para la toma de decisiones (desarrollo de políticas, programas y medidas para la reducción del RD), actualización de los planes de GRD y ordenamiento territorial actual y prospectivo articulado con la GRD (D'Ercole y Metzger, 2004; Promper *et al.*, 2015; Carreño *et al.*, 2017; Barrantes, 2018; Aksha *et al.*, 2020; Gautam *et al.*, 2021).

En este contexto, este estudio se orienta a la evaluación del RD de la ciudad de Azogues en Ecuador, para su uso en la planificación urbana y en la GRD. El área de estudio seleccionada presenta algunas características propias de las ciudades de los Andes asociadas con el clima, topografía y ecosistemas (SNI, 2018; Puente-Sotomayor *et al.*, 2021). Además, se encuentra inmersa dentro de un proceso de expansión urbana y desarrollo donde no se ha considerado el RD (SNI, 2018). Los tipos de amenazas identificadas como más relevantes en el entorno urbano de Azogues son los DL e IF, por lo que en la evaluación del RD se incluyen únicamente estas dos amenazas. Esta información se obtuvo por la estimación de las amenazas en función de su frecuencia, el territorio afectado por la ocurrencia de las mismas y la severidad de las afectaciones o daños a la población en las viviendas y en los bienes (Sacoto-Flores, 2022). Los datos de los eventos asociados al RD del área de estudio corresponden al periodo que va del año 2010 hasta el año 2021 (SNGRE, 2021).

Por otra parte, para este análisis se ha seleccionado el tercer enfoque metodológico identificado previamente. La aplicación de este enfoque se efectúa por el análisis individual de las amenazas y vulnerabilidades y la exposición a las amenazas, para que, posteriormente, esta información se cruce para evaluar el RD por el análisis simultáneo de sus componentes (Schelhorn *et al.*, 2014; Ghorbanzadeh *et al.*, 2019; Xofi *et al.*, 2022). Como parte de una visión más amplia sobre la problemática del riesgo, en el análisis de la vulnerabilidad se determinan las fragilidades y posibles consecuencias de la pérdida, destrucción o no funcionamiento de los elementos esenciales de la ciudad (D'Ercole y Metzger, 2004). En este enfoque la exposición a amenazas está considerada como un tipo de vulnerabilidad de los elementos esenciales.

Los elementos esenciales (infraestructuras críticas) tienen características propias y dependen de la forma de desarrollo y capacidades de los territorios. Con la ejecución de este estudio se pretende identificar, desde una interpretación sistémica y estructural de la ciudad (Gencer *et al.*, 2021), las infraestructuras que requieren atención desde las etapas previas hasta el post-desastre, para que los tomadores de decisiones prioricen y ejecuten las acciones necesarias que garanticen el desarrollo de los

procesos de la misma, tanto en situación normal como en caso de una emergencia. Además, servirá para que la reconstrucción y respuesta frente a una nueva eventualidad sea más efectiva. Es decir, para garantizar el funcionamiento de la ciudad y la adaptación, desde la perspectiva de transformación y no de ajuste a condiciones pre-existentes (Bocco, 2019).

Para efectuar la evaluación del RD se utilizó la Metodología de Análisis de Decisión Multicriterio (MADM) en el análisis de: 1) amenazas más relevantes en la ciudad, 2) importancia de las infraestructuras críticas, y 3) vulnerabilidad y exposición a amenazas de las infraestructuras críticas. Por otra parte, para elaborar los mapas de peligrosidad a amenazas se utilizó el MADM “*Analytic Hierarchy Process*” (AHP) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y sus herramientas. Para la zonificación de peligrosidad a DL se empleó la cartografía del Servicio Nacional de Gestión del Riesgo y Emergencias [SNGRE] (SNGRE, 2019), debido a la falta de información local para el estudio de esta amenaza en particular (SNI, 2018); y respecto a los IF, se aplicó el modelo nacional para el análisis físico del fenómeno, el cual está fundamentado principalmente en el enfoque heurístico y de ponderación de variables (Reyes y Balcázar, 2021).

De acuerdo con la legislación ecuatoriana, los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) son los responsables de incorporar la GRD en los procesos municipales y de desarrollo territorial (SNGRE, 2022), por lo que los resultados obtenidos en este estudio serán de utilidad para el GAD Municipal de Azogues en la ejecución de los procesos de planificación urbana y de desarrollo, y para la actualización de planes o programas enfocados en la reducción del RD urbano.

2. Área de estudio

La ciudad de Azogues está localizada en el sur de Ecuador en la provincia de Cañar y su extensión es de 6.094 ha. La también llamada parroquia urbana Azogues, la cual se ubica dentro del cantón del mismo nombre, está integrada dentro de una conurbación de creación reciente debido al aumento demográfico y expansión urbana de las últimas décadas (SNI, 2018). Sin embargo, la compleja topografía del área de estudio ha limitado la expansión urbana en varios sentidos, disponiendo en la actualidad de una serie de infraestructuras básicas (agua, energía, movilidad, telecomunicaciones, etc.), y de edificaciones culturales y sociales de difícil construcción. En la Figura 1 se puede observar la ubicación de la ciudad de acuerdo con la división político-administrativa por provincias y parroquias.

El río Burgay divide a la ciudad, que se encuentra entre los 2480 y los 3780 m s.n.m. (SNI, 2018), de norte a sur. Las temperaturas medias anuales oscilan entre los 15 y los 17°C, y las precipitaciones medias anuales se sitúan en el rango de los 700 hasta los 900 mm (IGM, 2009). El clima del cantón Azogues es ecuatorial mesotérmico semi-húmedo, aunque en las zonas con mayor elevación (nororiental) se asemeja más al clima ecuatorial de alta montaña (MAGAP, 2014). De acuerdo con el instrumento de planificación territorial, en el cantón se presentan terrenos inestables debido a modificaciones antrópicas tales como: cultivos y construcciones sin técnicas adecuadas de conservación del suelo, procesos de deforestación y pérdida de la cobertura vegetal (SNI, 2018). Este impacto antrópico se ve reflejado en las consecuencias de los últimos eventos extremos de precipitaciones torrenciales, situación similar a otras ciudades ubicadas en zonas de sierra en Ecuador (Pauca, 2016).

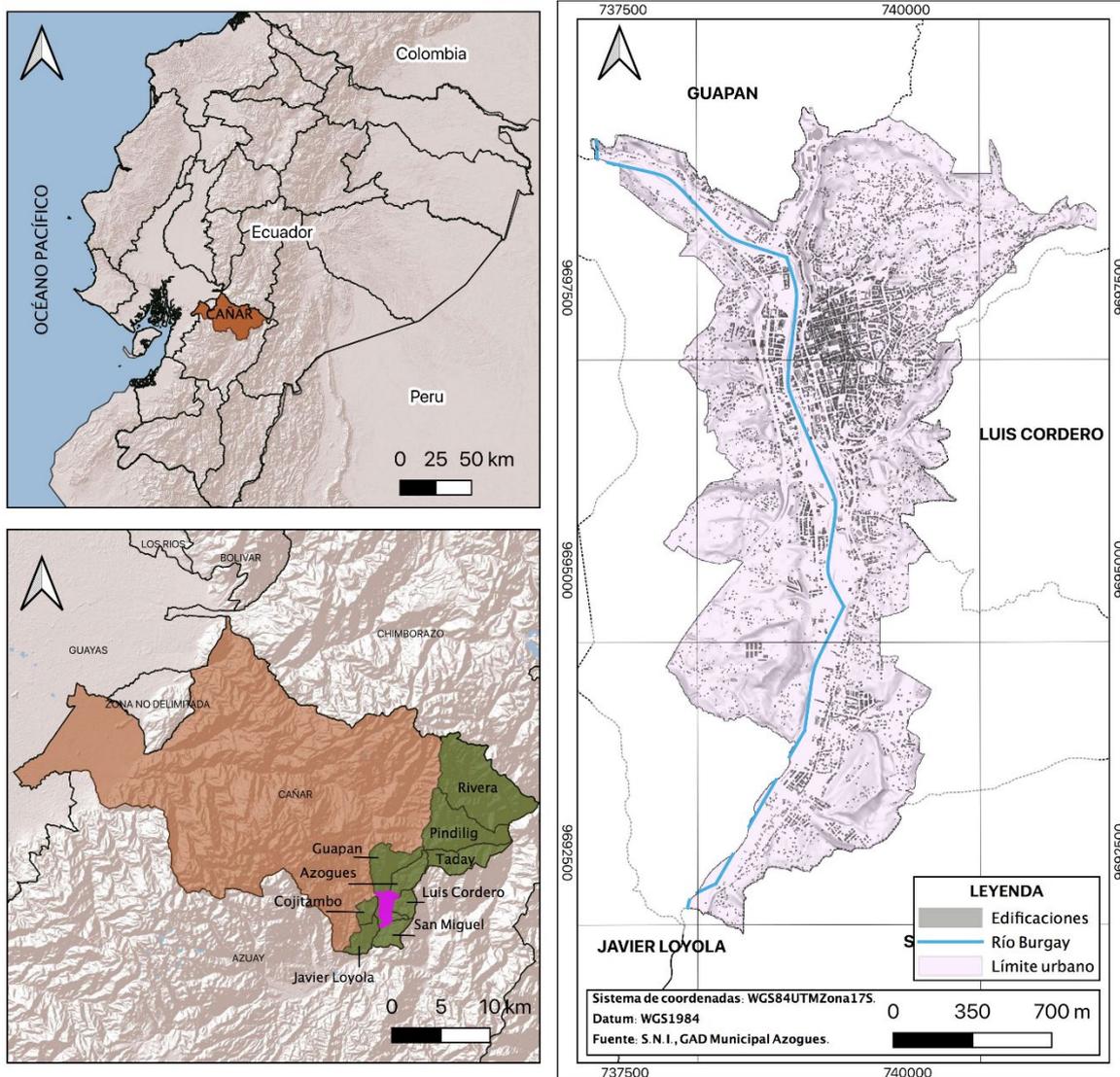


Figura 1. Área de estudio: Ciudad de Azogues, Cañar - Ecuador. Fuente: GAD Azogues (2011).

El cantón presenta una topografía irregular con pendientes pronunciadas, lomas, llanuras onduladas y el valle alto andino del río Burgay. Las unidades geomorfológicas predominantes en el área urbana son: flancos de pliegue (con pendientes superiores al 5%); fondos de pliegue (con pendientes inferiores al 12%); superficies y vertientes de chevron (con pendientes superiores al 12%); superficies y planos estructurales originados en capas plegadas (con pendientes entre el 2 y el 40%); vertientes rectilíneas y heterogéneas (con pendientes superiores al 12%); superficie horizontal, horizontal disectada, inclinada disectada y de coluvión aluvial muy antiguo (con pendientes entre el 2 y el 40%); y, en menor medida, restos de superficie estructural (con pendientes superiores al 5%), barrancos y garganta (con pendientes muy pronunciadas superiores al 70%), coluviones antiguos (con pendientes del 2 al 5%) y terraza alta antigua (con pendientes del 2 al 15%) (IGM, 2018).

Por otra parte, las principales formaciones geológicas identificadas en el área de estudio son: Formación Guapán (M_G) (compuesta por areniscas tobáceas de color marrón, diaclasadas, moderadamente duras, intercaladas con lutita de color café oscuro a gris claro, fracturada a muy fracturada y ligeramente meteorizada), Formación Azogues (M_{AZ}) (compuesta principalmente por areniscas tobáceas color marrón de grano medio a grueso, fracturada, moderadamente dura, intercalada con lutita marrón muy fisil ligeramente meteorizada y conglomerado, ocasionalmente húmeda) y

Formación Loyola (M_L) (compuesta por lutitas de color blanco marrón y gris claro en secciones frescas; se encuentra fracturada a muy fracturada, moderadamente meteorizada) (IGM, 2018).

De acuerdo con las unidades de cobertura y uso de suelo, en la zona central se consolidan gran parte de las edificaciones e infraestructuras (16,47% del área total), las cuales se extienden hacia el sur de la ciudad; adicionalmente, las zonas circundantes al área urbana están ocupadas por pastizal permanente, vegetación arbustiva y vegetación herbácea (29,61%), plantaciones forestales de Eucalyptus (eucalipto) (24,91%), y cultivos (29,01%) (MAGAP, 2014; IGM, 2018).

3. Métodos

3.1. Esquema general y datos

El método utilizado en este estudio ha sido desarrollado por las instituciones del Ecuador (SNGRE, s.f.) con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), en conformidad con los objetivos y principios del Marco de Sendai 2015-2030. En este apartado se describe el método aplicado el cual ha sido dividido en 4 fases. En la Tabla 1 se presentan los datos utilizados para la evaluación del RD los cuales han sido recopilados desde las bases de datos de acceso libre a nivel nacional e internacional. El diagrama de flujo del proceso metodológico se presenta en la Figura 2.

Tabla 1. Información de las variables utilizadas para la evaluación del riesgo de desastres

Ítem	Clase	Variable	Datos	Año	Fuente
1	Eventos naturales y/o antrópicos	Perfil histórico del riesgo	Registros históricos de eventos naturales y/o antrópicos de la ciudad de Azogues	2010-2021	SNGRE (2021)
2	Factores condicionantes	Cobertura Vegetal	Mapa Cobertura Vegetal Escala: 1:25000	2009-2015	Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIGTIERRAS) https://sigtierras.gob.ec
		Suelo (textura)	Mapa Geopedología Escala: 1:25000		
		Elevación	Modelo Digital Elevación (MDE) Resolución: 30 m. Año: 2016.	2016	
3	Factores desencadenantes	Temperatura	Mapa Isotermas e Isoyetas Escala: 1:50000	1985-2009	Instituto Geográfico Militar https://www.geoportaligm.gob.ec/visorIEE/composer/
		Precipitación			
		Radiación	Cálculo realizado: Radiación solar ($\text{kJm}^{-2} \text{day}^{-1}$) 30 seg. ($\sim 1 \text{ km}^2$) conversión a: kWh/m^2	1970-2000	WorldClim (Fick y Hijmans, 2017) https://worldclim.org
4	Sociales	Elementos esenciales	Edificaciones de: salud, educación, seguridad pública, suministro, etc.	2011-2021	Sistema Nacional de información, Secretaría Nacional de Planificación https://sni.gob.ec/inicio

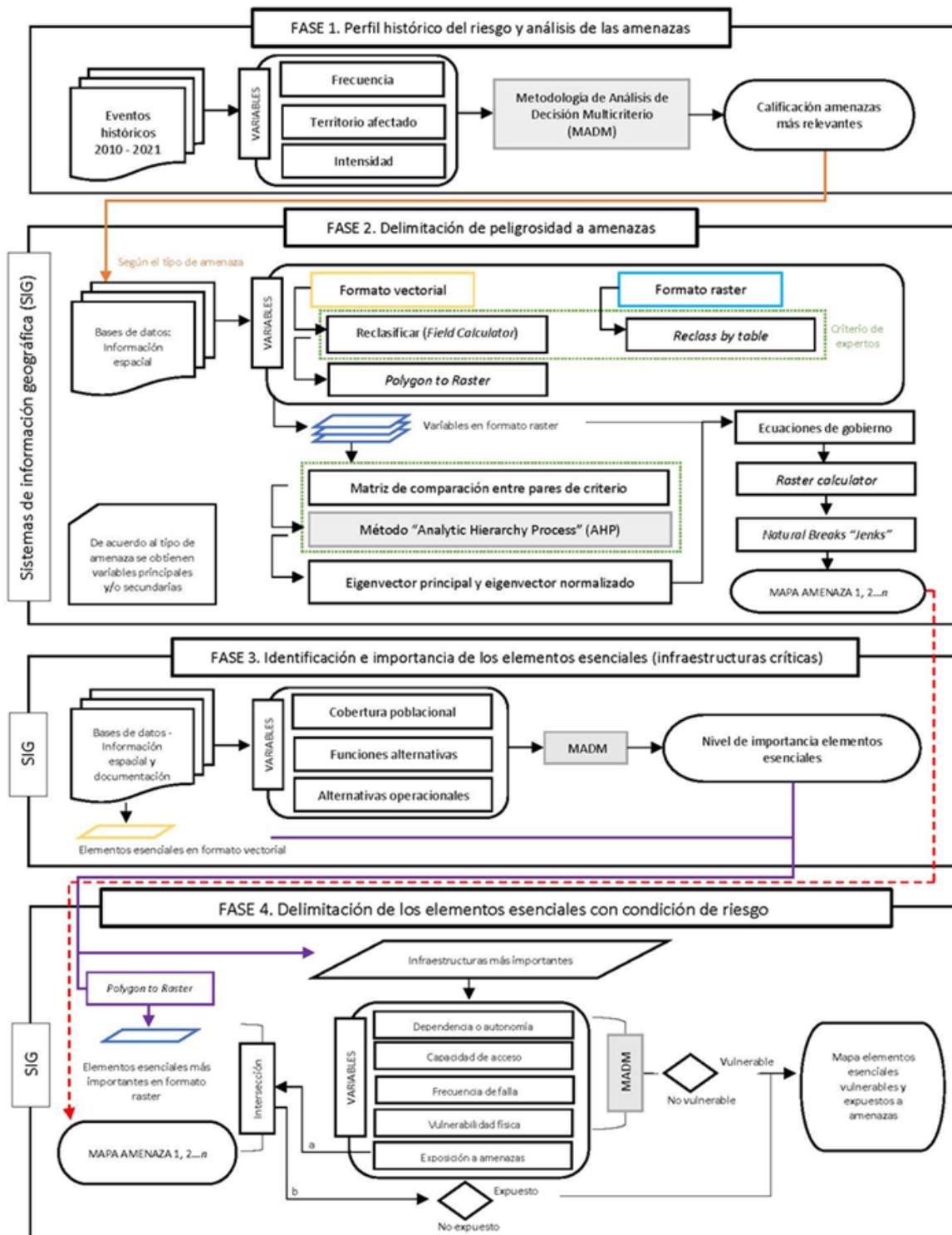


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso metodológico. Fuente: SNGRE (2019, 2021).

3.2. Fase 1: Perfil histórico del riesgo y análisis de las amenazas

Las amenazas están caracterizadas por su potencialidad de daño y el análisis de las mismas está en función de su ubicación, intensidad o magnitud, frecuencia y probabilidad (UNDRR, 2016). En esta fase se determina la relevancia de las amenazas a partir del perfil histórico del riesgo de la zona de estudio (Tabla 1., ítem 1) y por la evaluación de las variables: frecuencia, territorio afectado e intensidad de los daños (SNGRE, s.f.). Los parámetros (variables y valores para la calificación) utilizados para la

evaluación se pueden observar en la Tabla 2. En la evaluación se aplicó la MADM, método utilizado para analizar diferentes alternativas (variables) que cuentan con dos o más parámetros (Rahmati *et al.*, 2016; El-Kholei, 2019). Finalmente, para la siguiente fase se consideran únicamente las amenazas con calificación media o alta.

Tabla 2. Análisis de los peligros o amenazas. Fuente: SNGRE (s.f.).

Variable	Descripción	Valor	Calificación
Frecuencia	Más de una vez en 1 a 3 años	3	(7 – 9) alta
	Por lo menos una vez entre 3 y 5 años	2	
	Al menos una vez cada 5 años o +	1	
Territorio afectado	Más del 30% en un periodo > 5 años	3	(4- 6) media
	Entre 15 a 30% en un periodo > 5 años	2	
	Menos del 15% en un periodo > 5 años	1	
Intensidad	> 10% de Viviendas destruidas (Vd) o > 30% de Población afectada (Pa) en un periodo > 5 años	3	(1 – 3) baja
	5 a 10% de Vd o 15 a 30% de Pa en un periodo > 5 años	2	
	< del 5% de Vd o < del 15% de Pa en un periodo > 5 años	1	

3.3. Fase 2: Delimitación de peligrosidad frente a las amenazas

En esta fase se identifican las zonas en el área de estudio que podrían verse afectadas por una u otra amenaza. El análisis de peligrosidad se realiza por la identificación de las variables asociadas a los factores condicionantes y desencadenantes que inciden sobre la ocurrencia de las amenazas (Ranke, 2016; Agrawal, 2018). En el área de estudio se identificaron como amenazas más relevantes los DL e IF; sin embargo, como se indicó anteriormente, en el caso de los DL no se cuenta con la información necesaria para el análisis. Debido a esto, de acuerdo al instrumento de planificación de la ciudad los análisis efectuados sobre esta amenaza corresponden únicamente a estudios referenciales de tipo regional o nacional (SNI, 2018). En el año 2019 el SNGRE desarrolló y publicó metodologías para la evaluación de estas dos amenazas en el territorio ecuatoriano, así como un mapa de DL elaborado por esta misma institución (SNGRE, 2019). Este mapa ha sido obtenido para la aplicación del método general utilizado en este estudio.

Las metodologías seleccionadas para elaborar los mapas de peligrosidad DL e IF cumplen con un proceso similar de aplicación y se fundamentan principalmente en los métodos heurístico y de ponderación de variables debido a la limitada información disponible (Castellanos, 2008; Barrantes, 2018). De acuerdo con Reyes *et al.* (2020) esto no incide en la complejidad del análisis. El proceso para la aplicación de estos métodos inicia con la sistematización de las variables dentro de los SIG, donde estas son reclasificadas de acuerdo con los pesos predeterminados en estudios similares y por la experiencia y conocimiento del territorio (Paucar, 2016; SNGRE, 2019). Las variables obtenidas en las bases de datos se encuentran en formato vectorial y raster (ítem 2 y 3, Tabla 1). En la reclasificación de las variables se utilizaron 5 categorías de ponderación para representar mayor incidencia (5) o menor incidencia (1) de los parámetros de cada variable sobre el desarrollo de los procesos naturales. Las variables en formato vectorial se reclasificaron con la herramienta *Field Calculator* para luego convertirlas en formato raster con la herramienta *Polygon to Raster*. En el caso de los IF la variable en formato raster – radiación se obtuvo a partir de la información de WorldClim (Fick y Hijmans, 2017) y se procesó mediante la herramienta *Raster Calculator*. Las variables elevación y pendiente se obtuvieron a partir del MDE de SIG TIERRAS. Para obtener la variable pendiente se utilizó la herramienta *Slope*. Por otra parte, las variables en formato raster se reclasificaron mediante la herramienta *Reclass by table*, en consideración de los requerimientos propuestos en el método. Para los IF la resolución espacial (tamaño de celda) utilizada es de 25 m, precisión considerada para la conversión de todas las variables que fueron ordenadas en formato raster para el cálculo final. Según los metadatos del mapa de DL, el tamaño de celda utilizado es de 30 m (SNGRE, 2019).

En el paso siguiente del proceso se aplica el método MADM – AHP para integrar y determinar la importancia de las variables (Ghorbanzadeh *et al.*, 2019; Aksha *et al.*, 2020) y para obtener sus pesos relativos (Rahmati *et al.*, 2016). Para aplicar el método AHP se establece inicialmente una matriz de comparación por pares, definida en su número de filas y columnas según los criterios a ponderar en el análisis de acuerdo a cada amenaza. A las variables seleccionadas se les designa un orden jerárquico (según su nivel de importancia) el cual ha sido establecido de acuerdo al criterio de los expertos que desarrollaron los modelos metodológicos (SNGRE, 2019). Se utiliza además una escala de medida que permite evaluar la importancia relativa por pares, de tipo continuo (ratios o razón) y de 1 hasta 9, que implica un nivel de importancia baja o alta respectivamente (SNGRE, 2019; Aksha *et al.*, 2020). Para obtener el conjunto de ponderaciones más adecuado se calcula el eigenvector principal de la matriz comparativa por pares utilizando las ponderaciones (Suryabhadgavan *et al.*, 2016; SNGRE, 2019) y como resultado de este cálculo se determina la importancia relativa de cada variable por el peso obtenido: a mayor peso mayor influencia de la variable sobre la ocurrencia de la amenaza (Suryabhadgavan *et al.*, 2016). Finalmente, se efectúa el cálculo del eigenvector normalizado resultado del cociente del valor de cada eigenvector principal y el número de variables utilizadas, para obtener una medida cuantitativa de los juicios de valor entre pares de factores que corresponde a los valores utilizados en el análisis final (SNGRE, 2019). En el caso de los IF se obtienen productos parciales por la correlación de algunas variables, los cuales son utilizados en el producto final (peligrosidad). Con esta información y para el modelamiento espacial se aplica la herramienta *Raster Calculator*, la cual permite combinar los criterios preestablecidos para cada variable mediante una expresión matemática sencilla y obtener el mapa final a partir de la superposición de las variables. En los requerimientos del modelo de IF se establecen varias ecuaciones de gobierno alternativas para el cálculo y zonificación de la peligrosidad. Estas fueron aplicadas y seleccionadas en función de la validación de los resultados por la comparación con los registros de los eventos de esta amenaza en el periodo 2010 hasta 2021 (septiembre); siendo las ecuaciones más óptimas para este caso de estudio: entrada radiación I, entrada humedad I y salida amenaza I (SNGRE, 2019). Los 5 niveles de peligrosidad utilizados –muy baja, baja, media, alta y muy alta– son el resultado de la aplicación del método *Natural Breaks (“Jenks”) Classification* (Ghorbanzadeh *et al.*, 2019). La sistematización y geoprocésamiento de las variables se realiza en el software QGIS 3.16.

Los SIG y los MADM - AHP se aplican regularmente de manera conjunta en estudios similares, tanto para el modelamiento espacial como para la determinación de la importancia relativa de las variables (Castellanos, 2008; Pardeshi *et al.*, 2013; Rahmati *et al.*, 2016; Suryabhadgavan *et al.*, 2016; Ghorbanzadeh *et al.*, 2019; Sun *et al.*, 2019; Sivrikaya y Küçük, 2022).

3.4. Fase 3: Identificación e importancia de los elementos esenciales (infraestructuras críticas)

En esta fase se identifican espacialmente los elementos esenciales y se determina su relevancia respecto a: 1) población expuesta al RD, y 2) importancia de los elementos esenciales (infraestructuras críticas) (SNGRE, s.f.). De acuerdo con el método utilizado, el análisis de la población expuesta al RD es en función de: acceso a alertas de evacuación y grado de dependencia de evacuación (delimitación de zonas seguras). Debido a la falta de información local respecto a lo indicado, este análisis no pudo ser efectuado.

Por otra parte, con relación a las infraestructuras críticas y desde el enfoque adoptado, se identificó en la ciudad todo aquello que se considera importante en situación normal o de emergencia (D’Ercole y Metzger, 2004; Schelhorn *et al.*, 2014). A partir de esta información se determina la importancia de cada infraestructura seleccionada por el análisis de los parámetros de la Tabla 3. Los datos utilizados en esta fase se detallan en el ítem 4 de la Tabla 1; además, se solicitó información al GAD Municipal de Azogues para complementar el análisis. En la evaluación se aplicó el MADM (SNGRE, s.f.).

Tabla 3. Nivel de importancia de los elementos esenciales. Fuente: SNGRE (s.f.)

Variable	Descripción	Valor	Calificación
Cobertura poblacional	Más del 60%	3	(6 o más) alta
	Del 41% al 60%	2	
	Hasta el 40%	1	
Funciones alternativas	Multi-funcional	3	(4 a 5) media
	Dos funciones	2	
	Una función	1	
Alternativas operacionales	Insustituible	3	(0 a 3) baja
	Un sustituto	2	
	Dos o más sustitutos	1	

3.5. Fase 4: Delimitación de los elementos esenciales con condición de riesgo

Como paso final se determina la vulnerabilidad de las infraestructuras críticas seleccionadas en la Fase 3 en términos de vulnerabilidades físicas (debilidades estructurales), de dependencia, de capacidad de control, de alternativas de funcionamiento, de capacidad de manejo de situaciones de emergencia, y exposición a amenazas (Tabla 4) (D’Ercole y Metzger, 2004). De acuerdo con Castellanos (2008), los mapas de vulnerabilidad se expresan con valores entre 0 y 1, donde 0 significa no vulnerable o no hay daño, y 1 vulnerable. Este criterio ha sido aplicado también en este estudio. Por otra parte, para la exposición a amenazas, con el uso de los SIG se identificaron las infraestructuras críticas situadas en las zonas con niveles de peligrosidad media, alta y muy alta (en cada celda o píxel), tanto para los DL como para los IF. Un análisis similar ha sido aplicado en los estudios de Lummen y Yamada (2014) y Promper y Glade (2016).

Tabla 4. Vulnerabilidades de los elementos esenciales. Fuente: SNGRE (s.f.)

Variable	Calificación
Dependencia o autonomía para su funcionamiento	(1) vulnerable (0) no vulnerable
Capacidad de acceso al elemento (rutas de ingreso o salida)	
Frecuencia de falla (p. ej. Gestión o mantenimiento inadecuado)	
Vulnerabilidad física (debilidades estructurales)	
Exposición a amenazas	

Finalmente, la evaluación del RD se efectúa por la identificación de todas las infraestructuras vulnerables expuestas simultáneamente a las amenazas más relevantes del área de estudio, lo cual es posible, por la superposición espacial y análisis de la capa de vulnerabilidad de los elementos esenciales considerados como críticos para los procesos de la ciudad, y los mapas de peligrosidad a amenazas. De acuerdo con Ghorbanzadeh *et al.* (2019), la superposición simple de la información de los componentes del RD en el entorno de los SIG, es una aproximación común en la evaluación del RD aplicada en varios estudios sobre este tema.

4. Resultados

4.1. Peligrosidad a amenazas

4.1.1. Movimientos en masa: deslizamientos

En la evaluación de los movimientos en masa se ha identificado la relación e influencia de los factores condicionantes y desencadenantes para que se materialice esta amenaza, así como para determinar los impactos sobre los sistemas sociales cuando en el análisis se incluyen las vulnerabilidades. En el estudio de esta amenaza de acuerdo con el método aplicado y por los parámetros seleccionados se identificó que, para el caso Ecuador, las variables: densidad estructural (fallas

geológicas y alineamientos estructurales) y pendiente del terreno son los factores con mayor influencia sobre los DL. Las variables precipitación, profundidad efectiva del suelo e índice de estabilidad tienen menor relevancia (Fig. 3). La profundidad efectiva del suelo hace referencia al espacio en el que las raíces de las plantas atraviesan el suelo para obtener agua y nutrientes. Para este análisis, a mayor profundidad del suelo se tiene mayor capacidad de retención de la humedad, por lo tanto en la ponderación un suelo menos profundo tiene mayor influencia sobre los DL. Los parámetros utilizados para la elaboración del mapa se detallan en el documento del método (SNGRE, 2019).

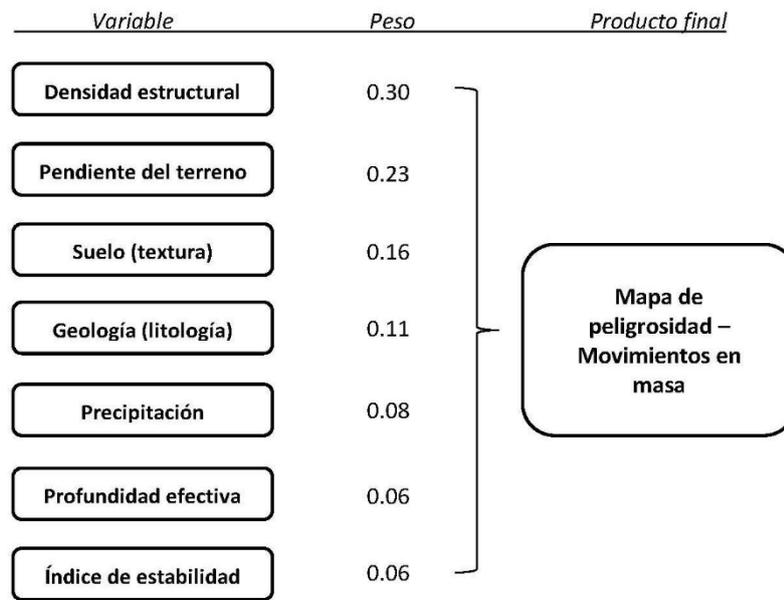


Figura 3. Variables y pesos para el mapa de peligrosidad a movimientos en masa. Fuente: SNGRE (2019).

Con base en los resultados obtenidos se ha identificado que en las zonas de planificación urbana Chacapamba y Bellavista predominan los niveles de peligrosidad a DL alta y muy alta, lo cual representa aproximadamente el 7% del área total de estudio (Fig. 4). Estas zonas se encuentran vinculadas a las siguientes formaciones geológicas: Formación Guapán (M_G) y Formación Loyola (M_L) (IGM, 2018). De acuerdo con Vélez (2012), y por lo indicado en el instrumento de planificación (SNI, 2018), estas formaciones se vinculan a una peligrosidad a terrenos inestables moderada a alta. En estas zonas predominan las geoformas vertiente rectilínea y heterogénea, superficies y planos estructurales originados en capas plegadas, flanco de pliegue, superficie coluvial y aluvial muy antiguo y restos de superficie estructural (IGM, 2018); además, hay pendientes desde planas a suaves (no mayor al 5%), hasta pendientes muy fuertes a escarpadas (mayor al 70%) (IGM, 2018; SNGRE, 2019). Según el tipo de cobertura de suelo (vegetación) en estas zonas se tienen cultivos de maíz, plantaciones forestales de eucalipto, pastizales, vegetación arbustiva seca; y en menor medida, vegetación herbácea (MAGAP, 2014; IGM, 2018).

Por otra parte, los niveles de peligrosidad baja y muy baja se observan en más del 75% del área total de estudio, principalmente en las zonas Uchupucun, Bayas y Charasol. Estas zonas están vinculadas a la Formación Azogues (M_{AZ}) y Formación Guapán (M_G) (IGM, 2018). Con relación a lo indicado, según Vélez (2012) la peligrosidad a terrenos inestables de la Fm. Azogues, es de tipo moderada a baja.

En cuanto a la precipitación, según los datos registrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de Ecuador [INAMHI] en el año 2017, en la estación meteorológica Biblián (M0137), la mayor intensidad de precipitaciones medias se presenta en el periodo de octubre a mayo, durante la estación lluviosa de la sierra ecuatoriana (INAMHI, 2017). Según el perfil del RD de la ciudad, en el

periodo de 2010 hasta 2021 se registraron un total de 15 DL en el área urbana (SNGRE, 2021), algunos de los cuales han sido representados espacialmente en la Figura 4. Los DL en la ciudad han sido reportados con mayor frecuencia en los meses de enero hasta mayo, y también en los meses de junio, julio, agosto y diciembre (SNGRE, 2021). Los DL en el periodo de lluvia torrencial están considerados como eventos comunes en otras ciudades de esta región del Ecuador (Paucar, 2016; Reyes *et al.*, 2020).

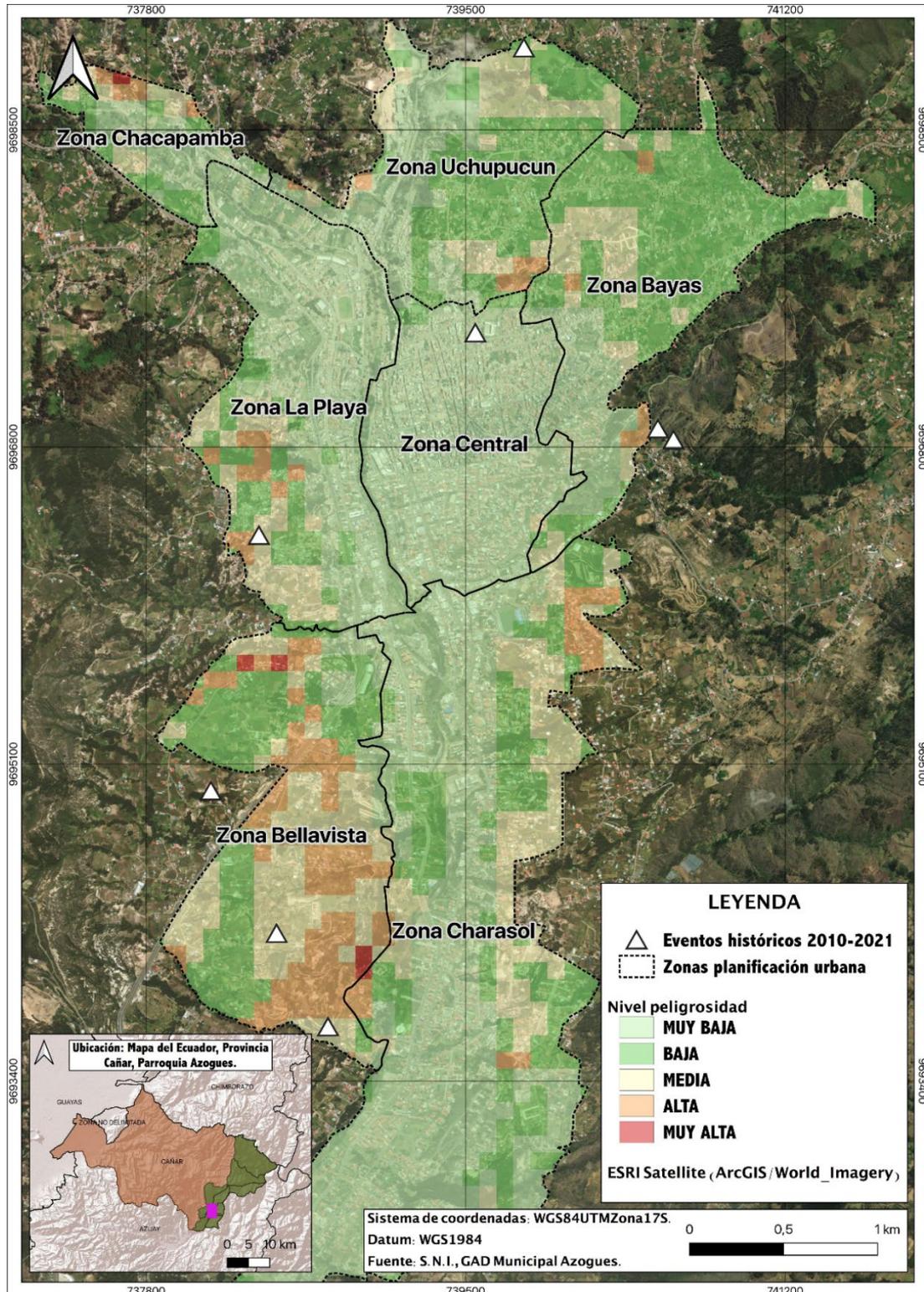


Figura 4. Mapa peligrosidad a movimientos en masa, elaborado con la información del GAD Municipal Azogues (2011) y SNGRE (2019, 2021).

4.1.2. Incendios Forestales

El modelo metodológico nacional aplicado para la zonificación de la peligrosidad a IF se enfoca en la identificación de los factores que intervienen en el origen y desarrollo de las etapas previas a los procesos de avance y propagación del fuego (SNGRE, 2019). En el análisis de esta amenaza, y de acuerdo a la metodología aplicada, se determinó que las variables más significativas en los IF son la cobertura vegetal y la “entrada radiación”. Las variables de menor incidencia son la “entrada humedad”, la textura del suelo y la temperatura. Las variables “entrada radiación” y “entrada humedad” resultan de la correlación de otras variables como radiación y elevación, y de las variables precipitación, textura del suelo, temperatura, cobertura vegetal y pendiente; respectivamente (SNGRE, 2019) (Fig. 5). Este análisis ha sido aplicado y adaptado para esta investigación con la determinación de los parámetros de las variables específicos para el área de estudio, así como en la ponderación de los mismos de acuerdo a las recomendaciones del método nacional.

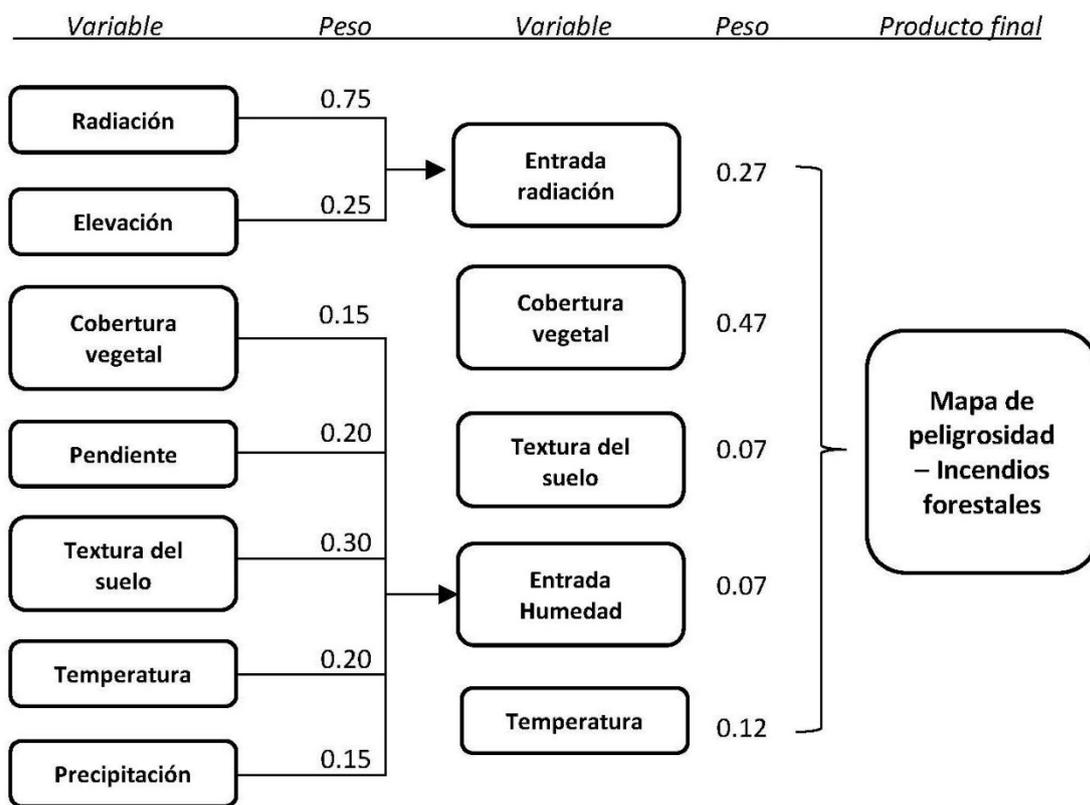


Figura 5. Variables y pesos para el mapa de peligrosidad a incendios forestales. Fuente: SNGRE (2019).

Por otra parte, para validar el método se utilizó el coeficiente Kappa como medio de verificación espacial (Robles *et al.*, 2016), el cual reveló un resultado de 0.63, es decir, el método utilizado posee un nivel de concordancia buena. Los parámetros utilizados para el análisis de peligrosidad física a los IF en el área de estudio se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros aplicados para el análisis de peligrosidad a los IF. Fuente: IGM (2009, 2018), MAGAP (2014), SNI (2014) y SNGRE (2019).

Variables		Peso humedad		Peso amenaza		Variables		Peso radiación		Peso amenaza	
Cobertura suelo (vegetación)	Bosque Eucalipto	5	MA	5	MA	Elevación (m)	0 a 500	5	MA		
	Cultivos	4	A	4	A		500 a 1500	4	A		
	Pasto cultivado	3	M	3	M	1500 a 2200	3	M			
	Vegetación arbustiva	3	M	5	MA	2200 a 3000	2	MB			
	Vegetación herbácea	2	MB	4	A	> 3000	1	B			
Textura del suelo	Grupo textural G1	1	B	2	MB	Radiación (kWh/m ²)	0 a 500	1	B	1	B
	Grupo textural G2	3	M	3	M		500 a 1000	2	MB	2	MB
	Grupo textural G3	3	M	3	M	1000 a 1500	3	M	3	M	
	Grupo textural G4	4	A	3	M	1500 a 2000	4	A	4	A	
Temperatura (°C)	0 a 8	1	B	1	B		> 2500	5	MA	5	MA
	8 a 16	2	MB	2	MB						
	16 a 24	3	M	3	M						
	24 a 32	4	A	4	A						
	> 32	5	MA	5	MA						
Precipitación (mm)	0 a 800	5	MA								
	800 a 1600	4	A								
	1600 a 2400	3	M								
	2400 a 3200	2	MB								
	> 3200	1	B								
Pendiente (%)	0 a 12	1	B								
	12 a 25	2	MB								
	25 a 40	3	M								
	40 a 70	4	A								
	> 70	5	MA								

Peligrosidad Incendios Forestales

Baja (B): 1
 Muy Baja (MB): 2
 Media (M): 3
 Alta (A): 4
 Muy alta (MA): 5

Los resultados de la zonificación espacial de la peligrosidad muestran que en las zonas Chacapamba, La Playa, Bellavista y Charasol se tienen los niveles de peligrosidad media, alta y muy alta; y en las zonas Uchupucun y Bayas predominan los niveles muy alta y alta (Fig. 6). Todas las zonas de planificación urbana tienen algún nivel de peligrosidad alta, aunque en la zona central la incidencia es mínima. Los niveles de peligrosidad alta y muy alta corresponden al 33% del área total de estudio, mientras que los niveles muy bajos y bajos, alrededor del 50%. Con relación a los informes de la última década (2010-2021), se registraron un total de 191 IF en el área urbana, y las afectaciones principales reportadas son los daños en la cobertura vegetal. Además, la causa principal para que se produzcan los IF está relacionada con el componente antrópico (SNGRE, 2021). Estos eventos han sido representados espacialmente en la Fig. 6. Respecto a los tipos de cobertura vegetal en las zonas con los niveles de peligrosidad alta y muy alta se tienen plantaciones forestales de eucalipto, cultivos de maíz, vegetación arbustiva (matorral seco), vegetación herbácea y pasto cultivado (MAGAP, 2014; IGM, 2018).

En Uchupucun, Bayas, La Playa y Charasol, predominan las geoformas flancos de pliegue, vertientes rectilíneas y heterogéneas, superficie horizontal disectada e inclinada disectada; y en menor medida, fondos de pliegue, restos de superficie estructural, barranco, garganta, superficies y frente de chevron (IGM, 2018).

Por otra parte, según los datos de precipitación y temperatura media anual, registrados por el INAMHI, la menor intensidad de precipitaciones y los valores más altos de temperatura se registran en

los meses de junio a septiembre, durante la época seca de la sierra ecuatoriana (INAMHI, 2017). Según los informes históricos de esta amenaza, los IF se registran con mayor frecuencia en los meses de septiembre y enero (SNGRE, 2021).

En cuanto a la variable radiación, en el instrumento de planificación se indica que en el cantón los valores de insolación global anual promedio van desde 4750 hasta 4925 Wh/m²/día, siendo valores medios en comparación a otros territorios del país (SNI, 2018). Con relación a la variable humedad, según Portilla (2018), en la zona central andina del Ecuador (en la cual se localiza la provincia del Cañar), los valores promedio son mayores al 80% de humedad relativa media anual. No obstante, como se había indicado anteriormente, la variable humedad resulta del análisis de otras variables por lo que su incidencia sobre los IF es indirecta (SNGRE, 2019).

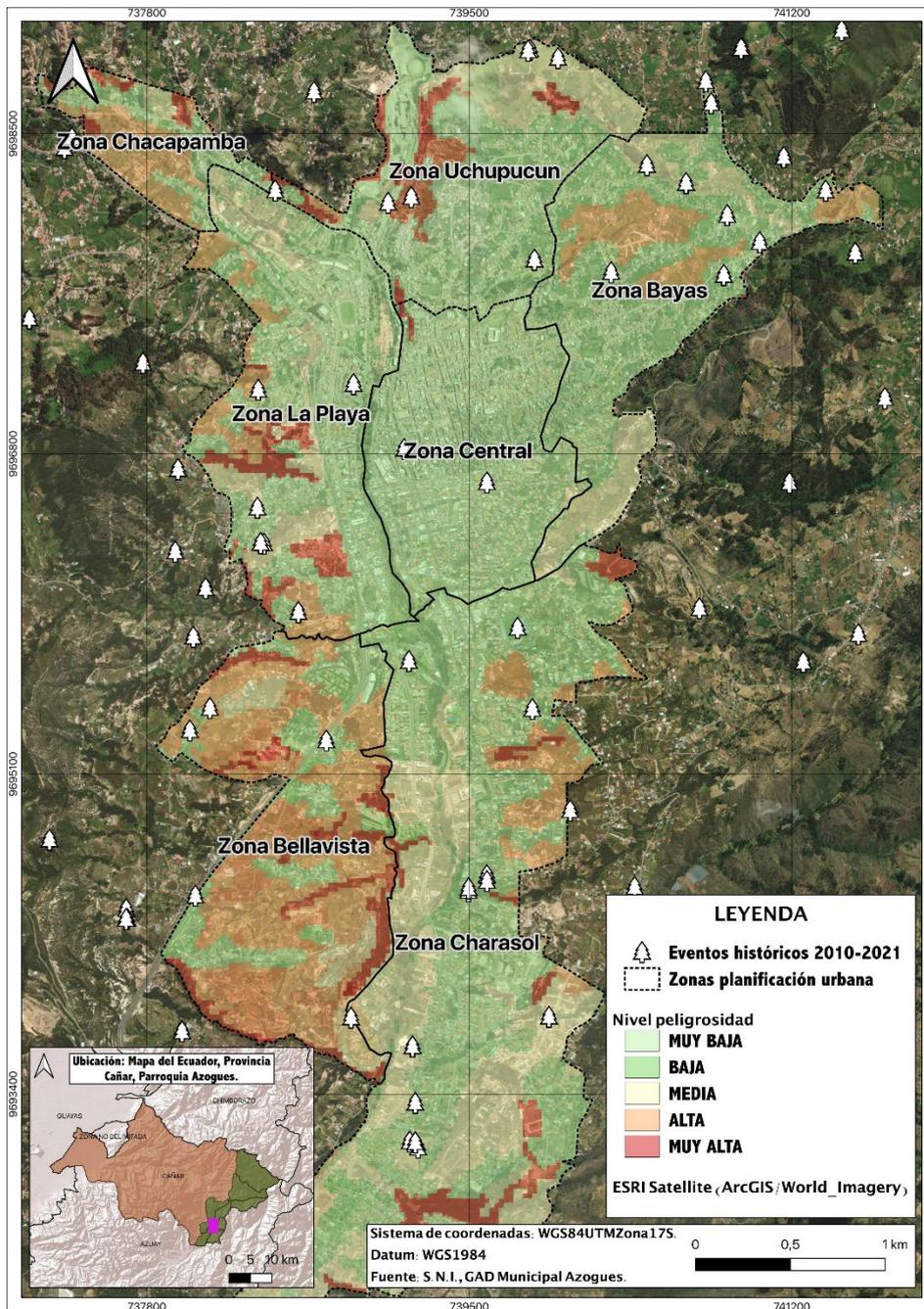


Figura 6. Mapa peligrosidad a incendios forestales, elaborado con la información del GAD Municipal Azogues (2011), SNI (2014) y SNGRE (2021).

En el instrumento de planificación se menciona que en el cantón se realizan algunas actividades como el depósito de escombros, la quema de vegetación para siembra y el cambio de uso de suelo en beneficio de la ganadería (SNI, 2018; IGM, 2018). Esto, sumado a la topografía y condiciones climáticas propias de los Andes ecuatoriales, podrían influir sobre la generación, propagación y prevalencia de los IF en la zona de estudio (Pazmiño, 2019; Reyes y Balcázar, 2021).

4.1.3. Análisis de las vulnerabilidades y la exposición a las amenazas

En este apartado se efectuó el análisis de las vulnerabilidades de los elementos esenciales (infraestructuras críticas) más relevantes y su exposición a las amenazas identificadas y evaluadas en los puntos anteriores. Con relación a las vulnerabilidades, D'Ercole y Metzger (2004) establecen en su estudio que las vulnerabilidades de los elementos esenciales están en función de las fragilidades físicas (infraestructuras, viviendas), organizativas (sistemas de alerta y respuesta), productivas, político-administrativas, etc.; y de otras dimensiones como las debilidades internas, falta de autonomía o alternativas de funcionamiento, etc. Con este criterio se identificaron las infraestructuras críticas más importantes de la ciudad de Azogues a partir del análisis de los parámetros descritos en la Tabla 3 y 6. Los tipos de infraestructuras seleccionadas corresponden a hospitales y otras entidades de salud, instalaciones educativas, infraestructuras de transporte y suministro, respuesta a emergencias, y entidades de seguridad pública. Todas estas infraestructuras están en concordancia con las recomendaciones del Marco de Sendai 2015-2030 para la reducción del RD (Gencer *et al.*, 2021). En total se identificaron 56 infraestructuras críticas en el área de estudio.

Tabla 6. Elementos esenciales (infraestructuras críticas) de la ciudad. Fuente: SNI (2014), GAD Municipal (2011)

Tipo	Clases	Cantidad	Características generales
Salud	Hospital General	1	año de construcción 1982, capacidad: 150 camas de hospitalización
	Hospital Básico, Ambulatorio y Centro de Salud	6	año construcción: desde 1980
Educación	Universidad (privada)	1	año de fundación: 1980
	Colegios y escuelas (estatales y privadas)	29	aulas en buen y regular estado (± 144)
Transporte	Terminal terrestre de conexión interparroquial y parroquial	2	última remodelación: año 2016
Suministro	Planta de tratamiento de agua potable	1	capacidad 94 l/s
	Gasolineras y sitios de abastecimiento de gas licuado de petróleo	9	Servicio de comercialización al por menor
Emergencia	Bomberos	3	Forman parte del Sistema Integrado de Seguridad ECU 911
Seguridad pública	Unidades de Policía Comunitaria	4	
TOTAL		56	

Por otra parte, las vulnerabilidades de las infraestructuras seleccionadas se determinaron de acuerdo con los parámetros de la Tabla 4, donde se incluye la exposición a las amenazas. Los resultados de esta evaluación muestran que infraestructuras como los establecimientos de salud (centro de salud), las instituciones educativas (colegios y escuelas) y la planta de tratamiento de agua potable, son las infraestructuras que cuentan con la categoría media de vulnerabilidad (Fig. 7). Sin embargo, ninguna de las infraestructuras críticas se encuentra expuesta a las amenazas. Respecto a las vulnerabilidades, los servicios de salud y educación están relacionados con la capacidad de cobertura poblacional, por lo que estos elementos dependen de infraestructuras más grandes cuando la demanda de servicios sobrepasa sus capacidades. Gran parte de las infraestructuras están sujetas a remodelaciones y mantenimiento

periódico, no obstante, de acuerdo con el estudio de Romero (2016), desde el año 1970, en la ciudad se realizaron construcciones de hormigón armado sin control de diseño sismorresistente. Por otra parte, la planta de tratamiento de agua forma parte del sistema integral de agua potable de la ciudad, por lo que depende de otras infraestructuras de menor o mayor tamaño y capacidad, y de los caudales de algunas captaciones. La última remodelación efectuada de esta infraestructura se realizó entre el año 2001 y el año 2004 (Idrovo, 2010). De acuerdo con la información disponible en este apartado se consideró la propuesta metodológica para el análisis de las vulnerabilidades en función de las amenazas a nivel municipal (SNGRE-PNUD, 2011), y la información del instrumento de planificación sobre las vulnerabilidades de las infraestructuras (SNI, 2018).

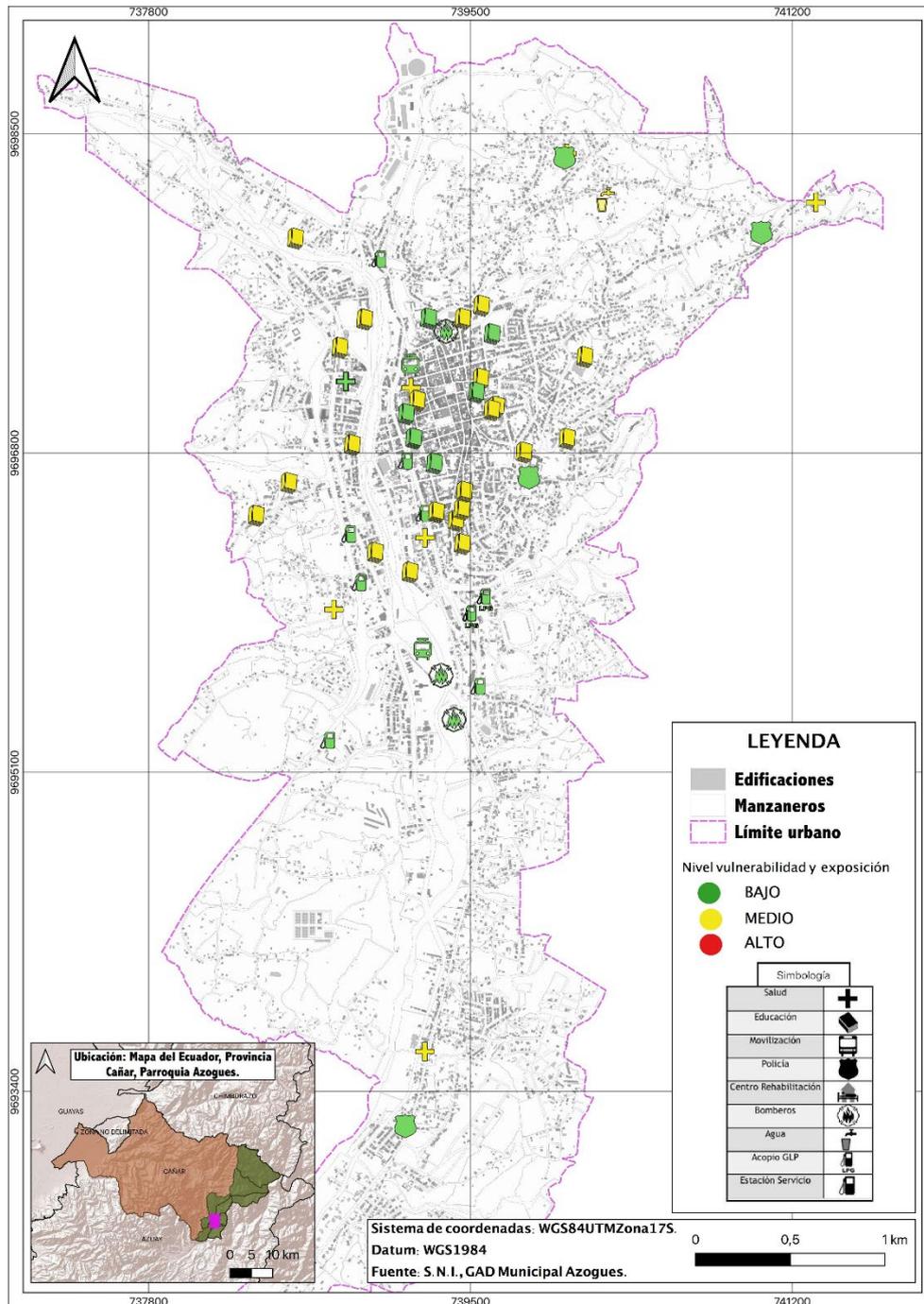


Figura 7. Mapa infraestructuras críticas con condición de riesgo de desastres, elaborado con la información del GAD Municipal Azogues (2011) y SNI (2014).

No se han incluido en el análisis las infraestructuras de sistema vial, de alcantarillado e infraestructuras de energía y telecomunicaciones, debido principalmente a la falta de información sobre los parámetros de vulnerabilidad. Por otro lado, estas infraestructuras sí han sido incluidas en el análisis del RD en estudios similares realizados por otros autores (D'Ercole y Metzger, 2004; Paucar 2016).

5. Discusión

De acuerdo con el perfil del RD de Azogues se han identificado las amenazas relacionadas a los desastres extensivos: IF y DL que tienen un alto potencial de impacto social, económico y ambiental. En este apartado se analizan los resultados obtenidos de la evaluación del RD de la ciudad.

5.1. Peligrosidad a Movimientos en Masa - Deslizamientos

Los aspectos estructurales (geología) y la pendiente del terreno son los factores con mayor influencia en el proceso de los DL, y la precipitación uno de los factores menos relevantes. Respecto a la pendiente, los resultados de este estudio concuerdan con los estudios de Reyes *et al.* (2020) y Barrantes *et al.* (2011). Este último, efectuado en Costa Rica, determinó que los niveles alto y muy alto de peligrosidad se asocian a zonas de fuerte pendiente, aunque en ese estudio el factor desencadenante fueron los sismos. Por otra parte, Sherstha *et al.* (2021) identifican una relación similar en Nepal e incluyen a la variable geología junto con la pendiente y la distancia a las vías, como los factores de mayor incidencia sobre los DL en ese territorio. No obstante, Paudel (2016) señala que el uso de información topográfica y geológica no es siempre importante. Dentro de este mismo análisis, para Sherstha *et al.* (2021) otros aspectos como la orientación de la pendiente, vinculada con la exposición al sol, viento y precipitaciones influyen sobre algunos factores como la humedad y cobertura vegetal, lo cual contribuye al aumento de DL. Respecto a esta variable, Younes y Erazo (2016) identifican en los Andes ecuatoriales que los DL ocurren independientemente de la orientación de la pendiente.

Por otro lado, Reyes *et al.* (2020) infieren que, si la pendiente aumenta y se encuentra vinculada a suelos con un tipo de material litológico no consolidado o fracturado, o cuentan con poca vegetación, y a estos se suman las precipitaciones torrenciales, se incrementan los niveles de peligrosidad. En el estudio de Younes y Erazo (2016) se determinó una asociación importante entre los DL, algunos tipos de uso del suelo y la litología. Respecto a la litología, los autores señalan que esto puede ocurrir por la diversidad de subunidades que componen las unidades geológicas principales, lo cual se observa en este caso de estudio. Además, la asociación de los aspectos geológicos con los DL ha sido identificada en Loja, ciudad que, como la del estudio, está localizada en una de las cuencas intramontanas neógenas del sur del Ecuador (Soto *et al.*, 2017). Estas variables están asociadas a los terrenos inestables a nivel cantonal, de acuerdo a lo indicado por Vélez (2012). En cuanto a la cobertura vegetal, para Reyes *et al.* (2020) la estabilidad de la pendiente en función de esta variable está condicionada por efectos del clima y topografía. De este modo, según los autores estos factores afectan en las zonas con fuertes vientos y pendiente, dado que los árboles pueden desestabilizarse y generar la pérdida de suelo por medio de sus raíces, y añadir peso a pendientes inestables (Sherstha *et al.*, 2021). En el cantón Azogues se observan suelos inestables a causa de algunas modificaciones antrópicas (cultivos y construcciones), las cuales, por las características topográficas del área, se presentan sobre pendientes fuertes (SNI, 2018). Adicionalmente, según Younes y Erazo (2016) y Sherstha *et al.* (2021), el tipo de cobertura del suelo mixta (diferentes usos del suelo) se asocia a la ocurrencia de los DL. En este sentido, en el caso de los cultivos o construcciones en las laderas de las colinas, puede favorecer a la filtración de agua y a la concentración de humedad en períodos de precipitaciones torrenciales, e incidir en el incremento de la peligrosidad a los DL (Paucar, 2016). Las modificaciones en el territorio han sido catalogadas como un factor determinante en la ocurrencia de los DL en Ecuador (Carrión-Mero *et al.*, 2021; Puente-Sotomayor *et al.*, 2021), y en otras ciudades de los Andes, aunque de acuerdo con D'Ercole *et al.* (2009)

y Puente-Sotomayor *et al.* (2021) estas prácticas podrían estar guiadas por procesos sociales y políticos más complejos.

En cuanto a la precipitación, Paucar (2016) determinó que la precipitación no es un factor muy relevante en la ocurrencia de los DL, debido principalmente a los valores constantes de esta variable. No obstante, para Puente-Sotomayor *et al.* (2021) la precipitación es el factor desencadenante más importante de los DL en los Andes, dado que en esta región se presenta alta variabilidad de precipitaciones debido a su orografía, altitud y microclimas. Lo indicado por el autor se identifica en el estudio de Soto *et al.* (2017). Asimismo, Younes y Erazo (2016) analizaron la peligrosidad a DL en algunas ciudades de los Andes ecuatorianos occidentales e identificaron que la precipitación se encuentra asociada a los DL, si los valores de precipitación media se presentan entre los 1500 hasta los 1750 mm anuales. Aunque en este caso de estudio no se considera la variabilidad de las precipitaciones, los rangos de esta variable en la ciudad de Azogues son similares a los del estudio de Paucar (2016), y menores a los del estudio de Younes y Erazo (2016). No obstante, tal y como se ha descrito en los resultados, esta variable no está asociada directamente a los DL en el área de estudio.

De acuerdo con algunos autores, en el análisis de los DL se pueden obtener diferentes resultados debido al método utilizado (Pardeshi *et al.*, 2013; Puente-Sotomayor *et al.*, 2021), a la selección y ponderación de las variables (Reyes *et al.*, 2020), a la calidad de la información (Puente-Sotomayor *et al.*, 2021; Kühnl *et al.*, 2022), o la identificación de una escala óptima de los parámetros causales de los DL (Paudel, 2016). Los métodos aplicados en este trabajo se fundamentan en el enfoque heurístico y análisis multicriterio. Según Pardeshi *et al.* (2013), en estos métodos se considera la subjetividad en la asignación de pesos, por lo que los parámetros utilizados no facilitarían su comparación debido a las variaciones significativas en los diferentes territorios. Aunque se presenten estas disparidades los autores concuerdan en la importancia de los resultados como soporte para la toma de decisiones en la GRD y en la planificación territorial (Bernal *et al.*, 2017, Sun *et al.*, 2019; Nefeslioglu y Gorum, 2020; Sherstha *et al.*, 2021; Carrión-Mero *et al.*, 2021; Puente-Sotomayor *et al.*, 2021; Kühnl *et al.*, 2022).

Finalmente, en este estudio se determinó que la pendiente y los aspectos geológicos, son los factores con mayor incidencia sobre la ocurrencia de los DL, además de los cambios en los usos del suelo. La variable precipitación no tiene mayor representación en el proceso de los DL. Los resultados obedecen al análisis espacial de la peligrosidad a DL con datos a escala regional, debido a la falta de información local sobre los aspectos geológicos. Es importante disponer de información local para la ejecución de estudios más complejos, sobre todo en el nivel urbano.

5.2. Incendios Forestales

En Ecuador, los IF se presentan con mayor recurrencia en las ciudades de los Andes, especialmente en la época seca (Pazmiño, 2019; Reyes y Balcázar, 2021; Zapata-Ríos *et al.*, 2021). En sus estudios los autores identifican como una acción recurrente en esta época, la quema de vegetación con el fin de preparar el suelo para el nuevo cultivo. En relación con lo indicado, para Reyes y Balcázar (2021) el predictor más importante sobre la ocurrencia de los IF es el componente antrópico. Por otra parte, Bento *et al.* (2013) identificaron una asociación importante entre el componente antrópico y los IF, junto con algunas variables climáticas. No obstante, de acuerdo con Bento-Gonçalves *et al.* (2012) y Serra Dávalos *et al.* (2019), en otras regiones a nivel global, el abandono del campo y zonas de pasto son factores que incrementan la peligrosidad a los IF debido a que estas prácticas (ganadería y agricultura) actúan como gestores del paisaje y ordenación del territorio. En el cantón de Azogues se presentan estas dos realidades, tanto el uso del fuego para las actividades económicas, como el abandono del campo debido a la migración de los habitantes a otras regiones. De acuerdo con el perfil del RD de la ciudad, la causa principal de los IF son las actividades antrópicas (SNGRE, 2021). Sin embargo, de acuerdo con el análisis de Reyes y Balcázar (2021), a nivel nacional el 99% de los IF se atribuyen a estas actividades, aunque hay un vacío estadístico hasta la fecha.

El uso del fuego para la agricultura y ganadería está directamente relacionado con la variable cobertura vegetal, determinante en el proceso de ignición (Busico *et al.*, 2019). Ésta ha sido establecida como un factor muy relevante según los resultados de este estudio. Respecto a esta variable, en Etiopía Suryabhadgavan *et al.* (2016) identifican a esta variable como el parámetro más importante sobre la ocurrencia de los IF, y asocian a los pastizales a una mayor incidencia de esta amenaza. Por otro lado, en Chile, Úbeda y Sarricolea (2016) establecen que los tipos de cobertura plantaciones forestales (especialmente eucalipto y pino) muestran mayor incidencia sobre la ocurrencia de los IF. A nivel regional, en Ecuador, Zapata-Ríos *et al.* (2021) y Reyes y Balcázar (2021) vinculan directamente a los tipos de vegetación arbustiva y herbácea con la ocurrencia de los IF; aunque en el estudio de Zapata-Ríos *et al.* (2021) se identificó también como parámetro determinante de la distribución espacio-temporal de los IF a las zonas boscosas y agrícolas. Con relación a lo indicado, Pazmiño (2019) señala que los bosques de eucalipto son una especie muy abundante y vulnerable a la ocurrencia de los IF en los Andes de Ecuador, siendo además una especie oportunista tras el incendio. En la ciudad de Azogues, los tipos de cobertura vegetal con mayor influencia sobre los IF son los bosques de eucalipto, los cultivos agrícolas y la vegetación arbustiva (SNGRE, 2019), lo cual concuerda con los estudios efectuados en los Andes.

Por otra parte, además de la cobertura vegetal, Suryabhadgavan *et al.* (2016) correlacionan las variables topográficas y de proximidad, como distancia a carreteras, para el estudio de la peligrosidad a IF. En cuanto a la pendiente y elevación, variables que influyen en el comportamiento del fuego y en el proceso ignición (Busico *et al.*, 2019; Francos *et al.*, 2021), algunos autores establecen que con rangos mayores de pendiente la peligrosidad a los IF se incrementa, y en el caso de la elevación, existe mayor peligrosidad en las zonas bajas (Moraga, 2010; Suryabhadgavan *et al.*, 2016; Enoh *et al.*, 2021; Sivrikaya y Küçük, 2022; Francos *et al.*, 2022). Lo señalado es consistente con lo identificado en este estudio, lo cual puede ser relacionado a las pendientes vinculadas a las geoformas de las zonas con mayor peligrosidad.

Por otro lado, Sivrikaya y Küçük (2022) identifican en su estudio como factores principales a las variables climáticas, las cuales influyen en los procesos de ignición, propagación e intensidad de los IF (Pazmiño, 2019). Para Sivrikaya y Küçük (2022) la peligrosidad a IF se asocia a precipitaciones bajas, incremento de temperatura, mayor intensidad solar y mayor velocidad del viento. En los resultados de este estudio, aunque no se ha considerado la velocidad del viento, la variable radiación se correlaciona con la elevación para determinar la intensidad solar esperada en función de la altura de exposición, con lo cual se obtiene la variable “entrada radiación”. Y en la variable “entrada humedad” se correlacionan algunas variables como la precipitación y la temperatura para identificar el tipo de influencia (retardante o intensificadora) que ejercen sobre el proceso de ignición (SNGRE, 2019). En este sentido, de acuerdo con los parámetros utilizados para identificar la peligrosidad a IF en el área de estudio, la variable precipitación tiene una relación indirecta e inversamente proporcional con la peligrosidad, y las variables temperatura y radiación tienen una relación directa e indirecta con la misma y de manera proporcional. No se ha identificado el uso de variables compuestas en otros casos de estudio, sin embargo, la influencia de precipitaciones bajas y temperaturas altas sobre la incidencia de los IF, es claramente positiva (Ghorbanzadeh *et al.*, 2019; Pazmiño, 2019; Busico *et al.*, 2019; Zapata-Ríos *et al.*, 2021; Sivrikaya y Küçük, 2022). En cuanto a la radiación solar, Sivrikaya y Küçük (2022) identifican que el incremento de los valores de esta variable aumenta la peligrosidad a los IF. Moraga (2010) por parte, determina esta relación en el tiempo, y analiza la cantidad de horas sol que reciben ciertas áreas en función de la orientación de la pendiente. En relación con los parámetros utilizados en este estudio, los valores más altos de radiación y más bajos de elevación se asocian con una mayor peligrosidad de IF.

De acuerdo con Reyes y Balcázar (2021), los IF son difíciles de predecir debido a que son el resultado de un proceso complejo y no lineal. Respecto a lo indicado, en este estudio se identifica en términos generales que la peligrosidad física de los IF está asociada a las variables: cobertura vegetal y radiación, con una asociación importante a la topografía (pendiente, elevación). En relación a las

variables climáticas precipitación y temperatura, de acuerdo con los datos para el análisis, se encuentra una relación directa e indirecta con la peligrosidad física a los IF. Para el estudio de los IF se utilizaron los SIG y el método AHP, los cuales están considerados como métodos altamente efectivos para el estudio de las amenazas (Pardeshi *et al.*, 2013; Rahmati *et al.*, 2016; Sivrikaya y Küçük, 2022). El limitante más importante sobre el análisis de esta amenaza está relacionado con la información, debido a que esta es heterogénea (posee varias escalas, no está actualizada, ha sido generada en diferentes periodos de tiempo), lo cual podría influir en los resultados.

5.3. Vulnerabilidad y exposición a amenazas

En el estudio del RD se ha dado prioridad a la identificación de las fragilidades fundamentales de los elementos esenciales para profundizar sobre la afectación más real en los procesos de la ciudad en el caso de la ocurrencia de un desastre (D'Ercole y Metzger, 2004). De acuerdo con los resultados obtenidos en la ciudad de Azogues las infraestructuras críticas más relevantes no se encuentran expuestas a las amenazas de DL o IF; no obstante, algunas de ellas presentan otras vulnerabilidades (físicas, autonomía, funcionalidad) que podrían transmitirse al conjunto del territorio. Los resultados pueden asociarse con lo indicado por Lumen y Yamanda (2014), quienes señalan que en las comunidades (ciudades) pequeñas se tienen menos elementos en riesgo y bajos niveles de exposición.

Con relación al enfoque utilizado, el cual ha sido identificado a partir del concepto del RD, se tienen pocos estudios aplicados a nivel global. En el estudio de Qie y Rong (2017), los elementos población e infraestructuras críticas, así como el entorno formativo de amenazas, son factores de análisis para identificar el riesgo relativo de pérdidas por desastres, debido a amenazas similares en regiones diferentes. Por otro lado, Schelhorn *et al.* (2020) efectúan un estudio para identificar geográficamente y de forma actualizada, las infraestructuras críticas expuestas a la amenaza de inundaciones. Se tiene también el estudio de Lummen y Yamada (2014) en el que se incluye a la población, las infraestructuras críticas y los medios de subsistencia económica para identificar el RD asociado a la amenaza huracán. Adicionalmente, también se incluye las capacidades y recursos, lo cual representa la inclusión integral de los componentes del RD para el análisis. Finalmente, en el estudio de Promper y Glade (2016) respecto a la amenaza DL, se identifican los niveles de exposición a esta amenaza respecto a las infraestructuras críticas y edificios residenciales para determinar la potencial afectación a la población (p. ej. personas en viviendas, niños en escuelas), e infraestructuras importantes durante la etapa post-desastre.

En Ecuador, los estudios sobre las vulnerabilidades territoriales provienen de iniciativas locales, nacionales y desde entidades internacionales, dentro del contexto de la construcción del conocimiento colectivo para la territorialización del riesgo (SNGR-PNUD, 2014). El modelo metodológico nacional aplicado para la ciudad de Azogues está relacionado con el estudio de la vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito (D'Ercole y Metzger, 2004). En este estudio los autores identificaron las vulnerabilidades de los elementos esenciales de movilidad, energía, agua, empresas, población y salud, y las vulnerabilidades espaciales. Estas últimas, definidas como espacios que simultáneamente presentan debilidades y contienen elementos esenciales del territorio. En este enfoque, los elementos esenciales tienen el control de su propia vulnerabilidad, y los efectos de los desastres se deben más a sus propias debilidades que a la sola acción de los fenómenos externos (amenazas) (D'Ercole y Metzger; 2004).

Las diferentes realidades territoriales reflejan en los resultados múltiples escenarios de riesgo debido a las características propias de cada territorio. La identificación de los elementos esenciales es específica de acuerdo con el tipo de evaluación del RD que se efectúe, por lo que dificulta el análisis comparativo (Schelhorn *et al.*, 2014). Adicionalmente, este tipo de estudios presentan condiciones de incertidumbre (García-Aristizabal *et al.*, 2015), que en el caso de Ecuador se deben principalmente a la información espacial y estadística disponible (SNGRE-PNUD, 2011).

6. Conclusiones

El RD de la ciudad de Azogues ha sido determinado por el análisis y evaluación integral de las amenazas más relevantes, los elementos esenciales (infraestructuras críticas) para los procesos de la ciudad y sus vulnerabilidades, y por la exposición simultánea de los elementos esenciales a las amenazas. Los resultados muestran que los niveles altos de peligrosidad a DL se presentan en aproximadamente el 7% del área total de estudio, y en el caso de los IF, estos niveles corresponden al 33%. Las zonas de planificación urbana Bellavista y Chacapamba presentan los niveles más altos de peligrosidad a DL, y con relación a los IF, estos niveles se observan en todas las zonas de planificación, aunque en menor medida en la zona central donde se encuentra gran parte de la población. Por otra parte, las infraestructuras críticas más relevantes en la ciudad están vinculadas a los sectores de salud, educación, suministro, transporte, emergencia y seguridad pública; dentro de las cuales, algunas infraestructuras de salud, educación y suministro, presentan vulnerabilidades. Los resultados permiten identificar un nivel intermedio de exposición al RD de las infraestructuras críticas de la ciudad, aunque esto no está asociado a la exposición a amenazas.

Los modelos metodológicos aplicados en este estudio se fundamentan principalmente en el método heurístico y en el método de ponderación de variables, en los cuales se incluye la subjetividad para el análisis. No obstante, esos métodos son comúnmente utilizados en estudios similares a nivel global y alcanzan un nivel de precisión y fiabilidad cuando se aplica un proceso de validación estadística. El cumplimiento de este proceso no se pudo determinar en el caso de los DL. En las condiciones de incertidumbre propias de este tipo de análisis, podría incidir la falta y calidad de información. Esta característica es común en toda la región tanto a nivel local como a nivel nacional. Sin embargo, los resultados obtenidos proveen de información fundamental para el GAD Municipal Azogues y la población en general, sobre las fragilidades del entorno urbano y sus elementos, y para la comprensión del riesgo como un proceso integrado y no como un evento aislado. Esta información facilitará el cumplimiento de las políticas públicas y los lineamientos para la GRD articulada con la planificación urbana, así como para el desarrollo y ejecución de planes y programas de emergencia y respuesta a desastres en el nivel local, acorde con las características propias de la ciudad.

Agradecimientos

Carlos Sánchez-García está actualmente financiado con un contrato postdoctoral Margarita Salas (ref. MARSALAS21-22) financiado por European Union-Next Generation EU y el Ministerio de Universidades. Este trabajo también ha recibido apoyo del Proyecto del Ministerio de Ciencia e Innovación en el Programa de Proyectos de Retos FluvAlps-PaleoRisk (PID2020-113664RB-I00). Carlos Sánchez-García está adscrito al Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social (IPHES-CERCA) que recibe financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación a través del programa de excelencia "María de Maeztu" (CEX2019-000945-M).

Referencias

- Agrawal, N., 2018. Defining Natural Hazards – Large Scale Hazards. *Natural Disasters Risk Management in Canada*. Springer Dordrecht 1, 23. <https://doi.org/10.1007/978-94-024-1283-3>
- Aksha, S.K., Resler, L.M., Juran, L., Carstensen Jr.L.W., 2020. A geospatial analysis of multi-hazard risk in Dharan, Nepal. *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 11(1), 88-111. <https://doi.org/10.1080/19475705.2019.1710580>
- Altamirano, A., Salas, C., Yaitul, V., Smith-Ramirez, C., Ávila, A., 2013. Influencia de la heterogeneidad del paisaje en la ocurrencia de incendios forestales en Chile Central. *Revista de Geografía Norte Grande* 55, 157-170. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022013000200011>
- Barrantes, C.G., Barrantes, S.O., Núñez, R.O., 2011. Efectividad de la metodología Mora-Vahrson modificada en el caso de los deslizamientos provocados por el terremoto de Cinchona, Costa Rica. *Revista Geográfica de*

- América Central* 2 (47), 141-162. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=451745770006> (Acceso: 8 noviembre 2022)
- Barrantes, C. G., 2018. Multi-hazard model for developing countries. *Natural hazards* 92(2), 1081-1095. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3239-6>
- Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., Úbeda, X., Martín, D., 2012. Fire and soils: key concepts and recent advances. *Geoderma* 191, 3-13. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.01.004>
- Busico, G.A., Salgado-Gálvez, M.A., Zuloaga, D., González, D., Cardona, O.D., 2017. Integration of Probabilistic and Multi-Hazard Risk Assessment Within Urban Development Planning and Emergency Preparedness and Response: Application to Manizales, Colombia. *International Journal of Disaster Risk Science* 8, 270–283. <https://doi.org/10.1007/s13753-017-0135-8>
- Bocco, G., 2019. Vulnerabilidad, adaptación y resiliencia sociales frente al riesgo ambiental. Teorías subyacentes. *Investigaciones Geográficas* 100. <https://doi.org/10.14350/rig.60024>
- Busico, G., Giuditta, E., Kazakis, N., Colombani, N., 2019. A Hybrid GIS and AHP Approach for Modelling Actual and Future Forest Fire Risk Under Climate Change Accounting Water Resources Attenuation Role. *Sustainability* 11, (24), 7166. <https://doi.org/10.3390/su11247166>
- Carreño, M.L., Cardona, O.D., Barbat, A.H., Suarez, D.C., Perez, M.D.P., Narvaez, L., 2017. Holistic disaster risk evaluation for the urban risk management plan of Manizales, Colombia. *International Journal of Disaster Risk Science* 8, 258-269. <https://doi.org/10.1007/s13753-017-0136-7>
- Carrión-Mero, P., Briones-Bitar, J., Morante-Carballo, F., Stay-Coello, D., Blanco-Torrens, R., Berrezueta, E., 2021. Evaluation of Slope Stability in an Urban Area as a Basis for Territorial Planning: A Case Study. *Appl. Sci.* 11, 5013. <https://doi.org/10.3390/app11115013>
- Castellanos, A.E.A., 2008. *Multiscale landslide risk assessment in Cuba*. Dissertation 154, 1-10, Utrecht University, The Netherlands.
- Comunidad Andina, 2017. *Estrategia Andina para la Gestión del Riesgo de Desastres (EAGRD). Decisión N° 819*. Perú, Comunidad Andina. Disponible en: <https://www.comunidadandina.org/StaticFiles/2017522151956ESTRATEGIA%20ANDINA.pdf> (Acceso: 6 abril 2022)
- D’Ercole, R., Metzger, P.P., 2004. *Vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito*. IRD / MDMQ. AH/Editorial, 23, 496, Colección Quito Metropolitano.
- D’Ercole, R., Hardy, S., Metzger, P., Robert J., 2009. Vulnerabilidades urbanas en los países andinos. Introducción general. *Bulletin de l’Institut français d’études andines* 38 (3), 401-410. <https://doi.org/10.4000/bifea.2222>
- El-Kholei, A.O., 2019. Chapter 8 - Risks, hazards, and disasters: can a smart city be resilient? In *Smart Cities: Issues and Challenges*, pp. 125-146, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816639-0.00008-9>
- Enoh, M.A., Okeke, U.C., Narinua, N.Y., 2021. Identification and modelling of forest fire severity and risk zones in the Cross-Niger transition forest with remotely sensed satellite data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 24(3), 879-887. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.09.002>
- Fick, S.E., Hijmans, R.J., 2017. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37 (12), 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Francos, M., Sánchez-García, C., Girona-García, A., Fernández-García, V., 2021. Influence of topography on sediment dynamics and soil chemical properties in a Mediterranean forest historically affected by wildfires: NE Iberian Peninsula. *Environmental Earth Sciences* 80(12), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09731-2>
- Francos, M., Sánchez-García, C., Corvacho-Ganahín, O., Fernández-García, V., 2022. Soil minor elements in contrasting profiles in an area frequently affected by fire. NE Iberian Peninsula. *Fire* 5, 189. <https://doi.org/10.3390/fire5060189>
- GAD Azogues, 2011. *SIG Municipal*. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Azogues, Ecuador. Disponible en: <https://www.azogues.gob.ec/portal/index.php> (Acceso: 7 septiembre 2022)

- García-Aristizabal, A., Gasparini, P., UHINGA, G., 2015. Multi-risk Assessment as a Tool for Decision-Making. En: S. Pauleit, A. Coly, S. Fohlmeister, P. Gasparini, G. Jørgensen, S. Kabisch, W. J. Kombe, S. Lindley, I. Simonis, K. Yeshitela (Eds.). *Urban Vulnerability and Climate Change in Africa*, pp 229-258. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-03982-4_7
- Gautam, D., Thapa, S., Pokhrel, S., Lamichhane, S., 2021. Local level multi-hazard zonation of Nepal. *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 12(1), 405-423. <https://doi.org/10.1080/19475705.2021.1879941>
- Gencer, E., Panda, A., Amaratunga, D., 2021. The Role and Challenges for Local Governments in Achieving the Resilience of Critical Infrastructure. En: D. Amaratunga, R. Haigh, N. Dias (Eds) *Multi-Hazard Early Warning and Disaster Risks*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73003-1_8
- Ghorbanzadeh, O., Blaschke, T., Gholamnia, K., Aryal, J., 2019. Forest fire susceptibility and risk mapping using social/infrastructural vulnerability and environmental variables. *Fire* 2(3), 50. <https://doi.org/10.3390/fire2030050>
- Gómez-Orea, D., Gómez-Villamarino, M., 2014. Marco conceptual para la ordenación territorial y reflexiones sobre el proceso ecuatoriano en la materia. In *IX Simposio nacional de desarrollo urbano y planificación territorial*, (21). Disponible en: http://www.sndu.org/ponencias/panel1/D_Gomez_Orea.pdf (Acceso: 8 diciembre 2022)
- Idrovo, C., 2010, *Optimización de la planta de tratamiento de Uchupucún*. Tesis de Pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- IGM, 2009. *Descarga de información planificación nacional*. Visor geográfico. Instituto Geográfico Militar, Quito, Ecuador. Disponible en: <https://www.geoportaligm.gob.ec/geoinformacion/index-alt7.html> (Acceso: 13 agosto 2022)
- IGM, 2018. *Aptitud física del territorio 2018 y Memorias Técnicas, Ciudad de Azogues*. Instituto Geográfico Militar, Quito, Ecuador. Disponible en: <https://www.geoportaligm.gob.ec/geoinformacion/index-alt3.html> (Acceso: 13 agosto 2022)
- INAMHI, 2017. *Anuario meteorológico*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de Ecuador.
- Kühnl, M., Sapena, M., Wurm, M., Geiß, C., Taubenböck, H., 2022. Multitemporal Landslide Exposure and Vulnerability Assessment in Medellín, Colombia, PREPRINT (1), *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1309670/v1>
- López-Valencia, A.P., 2019. Vulnerability assessment in urban areas exposed to flood risk: methodology to explore green infrastructure benefits in a simulation scenario involving the Cañaveralejo River in Cali, Colombia. *Natural Hazards* 99, 217–245. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03736-8>
- Lummen, N. S., Yamada, F., 2014. Implementation of an integrated vulnerability and risk assessment model. *Natural Hazards* 73, 1085-1117. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1123-6>
- MAGAP, 2014. *Memoria Técnica: Cantón Azogues, Proyecto: “Levantamiento de Cartografía Temática escala 1:25.000, Lote I”*. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca, Quito, Ecuador. Disponible en: http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Memoria_tecnica_Coberturas_AZOGUES_20150306.pdf (Acceso: 9 octubre 2022)
- Moraga, P.J.C., 2010. Evaluación del riesgo ante incendios forestales en la cuenca del río Tempisque, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central* 2(45), 33-64. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=451744669002> (Acceso: 4 noviembre 2022)
- Nefeslioglu, H. A., Gorum, T., 2020. The use of landslide hazard maps to determine mitigation priorities in a dam reservoir and its protection area. *Land Use Policy* 91, 104363. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104363>
- Pardeshi, S.D., Autade, S.E., Pardeshi, S.S., 2013. Landslide hazard assessment: recent trends and techniques. *SpringerPlus* 2, 523. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-523>
- Paucar, C.J.A., 2016. *Modelo para la articulación de la Gestión del Riesgo en el proceso de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Guaranda/Ecuador*. Tesis Doctoral, Universitat de València, España.

- Paudel, U., 2016. *Landslide susceptibility assessment using machine learning with emphasis on scaling and topographic representation issues*. Dissertation, The University of Tokyo, Tokyo. <https://doi.org/10.15083/00075345>
- Pazmiño, D., 2019. Peligro de incendios forestales asociado a factores climáticos en Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo* 1(1), 10–18. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1800>
- Portilla, F.F., 2018. *Agroclimatología del Ecuador*. Ed. Universitaria Abya-Yala, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.
- Promper, C., Glade, T., 2016. Multilayer-exposure maps as a basis for a regional vulnerability assessment for landslides: applied in Waidhofen/Ybbs, Austria. *Natural Hazards* 82, 111-127. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2311-3>
- Promper, C., Gassner, C., Glade, T., 2015. Spatiotemporal patterns of landslide exposure—a step within future landslide risk analysis on a regional scale applied in Waidhofen/Ybbs Austria. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 12, 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.11.003>
- Puente-Sotomayor, F., Egas, A., Teller, J., 2021. Land policies for landslide risk reduction in Andean cities. *Habitat International* 107, 102298. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2020.102298>
- Qie, Z., Rong, L., 2017. An integrated relative risk assessment model for urban disaster loss in view of disaster system theory. *Nat Hazards* 88, 165–190. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2861-z>
- Rahmati, O., Zeinivand, H., Besharat, M., 2016. Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. *Geomatics, Natural Hazard and Risk* 7(3), 1000-1017. <https://doi.org/10.1080/19475705.2015.1045043>
- Ranke, U., 2016. Chapter 7: Risk Assessment. *Natural disaster risk management*. Switzerland: Springer International Publishing. <http://doi.org/10.1007/978-3-319-20675-2>
- Reyes, B.F., Balcázar, G.C., 2021. Factores que inciden en la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales en Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo* 11(1), 50–60. <https://doi.org/10.29166/revfig.v11i1.2634>
- Reyes, P.M.D., Moreno, I.V.J., López, A.A.C., Lasso, B.L., Suango, S.V., Toulkeridis, T., 2020. Use of the Heuristic Model and GIS to Zone Landslide Hazards in the Mira River Basin, Ecuador. En: M.G. Rodríguez, C.E.R. Fonseca., J.P. Salgado, P. Pérez-Gosende, C.M. Orellana, S. Berrezueta (Eds). *Information and Communication Technologies*. TICEC 2020. Communications in Computer and Information Science, 1307. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62833-8_19
- Robles, A., Rodríguez-Garrido, M. A., Álvarez-Taboada, M. F., 2016. Characterization of wildland-urban interfaces using LiDAR data to estimate the risk of wildfire damage. *Revista de Teledetección* 45, 57-69. <https://doi.org/10.4995/raet.2016.3967>
- Romero, A.A.N., 2016. *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica para la ciudad de Azogues*. Tesis de Maestría, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Sacoto-Flores, M.A., 2022. *Implementación de los lineamientos para la Gestión del Riesgo de Desastres del Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE) en el Plan del Buen Vivir y Ordenamiento Territorial (PBVOT) del cantón Azogues*. Tesis de Máster, Universitat de Barcelona, Barcelona, España.
- Sánchez-García, C., Francos, M., 2022. Human-environmental interaction with extreme hydrological events and climate change scenarios as background. *Geography and Sustainability* 3, 232-236. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2022.08.002>
- Sánchez-García, C., Schulte, L., Carvalho, F., Peña, J.C., 2019. A 500-year flood history of the arid environments of southeastern Spain. The case of the Almanzora River. *Global and Planetary Change* 181, 102987. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.102987>
- Schelhorn, S. J., Herfort, B., Leiner, R., Zipf, A., De Albuquerque, J. P., 2014. Identifying elements at risk from OpenStreetMap: The case of flooding. En S.R. Hiltz, M.S. Pfaff, L. Plotnick, and A.C. Robinson (Eds).

Proceedings of the 11 th International ISCRAM Conference – University Park, Pennsylvania, USA, May 2014

- Schneiderbauer, S., Ehrlich, D., 2004. *Risk, Hazard and People's Vulnerability to Natural Hazards: A Review of Definitions, Concepts and Data*. European Commission Joint Research Centre, EUR 21410 EN. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/268149143_Risk_Hazard_and_People%27s_Vulnerability_to_Natural_Hazards_a_Review_of_Definitions_Concepts_and_Data
- Serra-Dávalos, M., Plana-Bach, E., Cerdan-Heredia, R., 2019. La integración del riesgo de incendios forestales en el urbanismo: una aproximación normativa, analítica y práctica para el caso de Cataluña. *XI Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo, Barcelona-Santiago de Chile, Junio 2019*. Barcelona: DUOT, 2019. <https://doi.org/10.5821/siiu.6567>
- Shrestha, K., Khadka, U.R., Singh Shrestha, M., 2021. Comparative GIS-Based Assessment of Landslide Susceptibility of Chepe River Corridor, Gandaki River Basin, Nepal. En: R. Djalante, M.F.B. Bisri, R. Shaw (Eds). *Integrated Research on Disaster Risks. Disaster Risk Reduction*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55563-4_7
- Singh, A., Pal, S., Kanungo, D.P., 2021. An integrated approach for landslide susceptibility–vulnerability–risk assessment of building infrastructures in hilly regions of India. *Environ. Dev. Sustain.* 23, 5058–5095. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00804-z>
- Sivrikaya, F., Küçük, Ö., 2022. Modeling forest fire risk based on GIS-based analytical hierarchy process and statistical analysis in Mediterranean region. *Ecological Informatics* 68, 101537. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101537>
- SNGRE. s.f., *SNGRE publica lineamientos para incluir la gestión del riesgo en planes de ordenamiento territorial*. Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, Guayaquil, Ecuador. Disponible en: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/sngre-publica-lineamientos-para-incluir-la-gestion-del-riesgo-en-planes-de-ordenamiento-territorial/> (Acceso: 19 septiembre 2022)
- SNGRE, 2019. Geoportail – SNGRE. *Descarga de archivos geográficos: Incendios Forestales y Movimientos en Masa*. Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, Guayaquil, Ecuador. Disponible en: <https://informacion.gestionderiesgos.gob.ec:8443/centrodedescarga/contenidos/> (Acceso: 19 septiembre 2022)
- SNGRE, 2021. *Registros históricos de eventos naturales y/o antrópicos de la ciudad de Azogues desde el año 2010 hasta el año 2021*. Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, Zonal 6, Ecuador.
- SNGRE, 2022. *Lineamientos para la Gobernanza de la Gestión del Riesgo de Desastres en los GADs municipales y metropolitanos*. Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, Guayaquil, Ecuador. Disponible en: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/documentos-de-gestion-de-riesgos/> (Acceso: 19 septiembre 2022)
- SNGRE-PNUD, 2011. *Propuesta Metodológica para el análisis de vulnerabilidades en función de amenazas a nivel municipal: sísmica, volcánica, inundación y deslizamiento de tierra*. Biblioteca Virtual SNGRE. Disponible en: <https://biblioteca.gestionderiesgos.gob.ec:8443/items/show/122> (Acceso: 19 septiembre 2022)
- SNGRE-PNUD, 2014. *Lineamientos metodológicos para comprender la vulnerabilidad a partir de la identificación de elementos esenciales*. Biblioteca Virtual SNGRE. Disponible en: <https://biblioteca.gestionderiesgos.gob.ec:8443/items/show/59> (Acceso: 1 diciembre 2022)
- SIN, 2014. *Portal de descargas*. Servicio Nacional de Información, Quito, Ecuador. Disponible en: <https://sni.gob.ec/inicio> (Acceso: 18 noviembre 2022)
- SIN, 2018. *Plan del Buen Vivir y Ordenamiento Territorial (PBVOT) del cantón de Azogues – Ecuador*. GAD Municipal de Azogues. Servicio Nacional de Información, Quito, Ecuador. Disponible en: <https://multimedia.planificacion.gob.ec/PDOT/descargas.html> (Acceso: 20 diciembre 2022)
- Soto, J., Galve, J.P., Palenzuela, J.A., Azañón, J.M., Tamay, J., Irigaray, C., 2017. A multi-method approach for the characterization of landslides in an intramontane basin in the Andes (Loja, Ecuador). *Landslides* 14, 1929-1947. <https://doi.org/10.1007/s10346-017-0830-y>

- Sun, L., Ma, C., Li, Y., 2019. Multiple geo-environmental hazards susceptibility assessment: a case study in Luoning County, Henan Province, China. *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 10 (1), 2009-2029. <https://doi.org/10.1080/19475705.2019.1658648>
- Suryabhagavan, K.V., Alemu, M., Balakrishnan, M., 2016. GIS-based multi-criteria decision analysis for forest fire susceptibility mapping: a case study in Harenna forest, southwestern Ethiopia. *International Society for Tropical Ecology* 57(1), 33-43
- UNDRR, 2015. *What is the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction?* United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Disponible en: <https://www.undrr.org/implementing-sendai-framework/what-sendai-framework>
- UNDRR, 2016. *Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction.* United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Disponible en: <https://www.preventionweb.net/quick/11605>
- UNDRR, 2019. *Critical infrastructure including schools, health facilities and roads threatened by climate crisis.* United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Geneva, October 11.
- UNDRR, 2021. *Regional Assessment Report on Disaster Risk in Latin America and the Caribbean (RAR 2021).* United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Disponible en: <https://www.undrr.org/launch-regional-assessment-report-disaster-risk-latin-america-and-caribbean>
- Vélez, D.P.E., 2012. *Comprobación de las correlaciones de la presión de expansión con las propiedades índices en suelos del sector Challuabamba, Cuenca, recomendaciones para la construcción de cimentaciones.* Tesis de Maestría, Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Villagrán De León, J.C., 2006. *Vulnerability: a conceptual and methodological review.* Studies of the University: Research, Counsel, Education – Publication Series of UNU Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS), No. 4/2006, Bonn, Germany. Disponible en: <https://collections.unu.edu/view/unu:1871#viewAttachments>
- Xofi, M., Domingues, J.C., Santos, P.P., Pereira, S., Oliveira, S.C., Reis, E., Zêzere, J.L., Garcia, R.A.C., Lourenço, P.B., Ferreira, T. M., 2022. Exposure and physical vulnerability indicators to assess seismic risk in urban areas: a step towards a multi-hazard risk analysis. *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 13(1), 1154-1177. <https://doi.org/10.1080/19475705.2022.2068457>
- Younes, C.N., Erazo, M.E., 2016. Landslide susceptibility analysis using remote sensing and GIS in the western Ecuadorian Andes. *Natural Hazards* 81, 1829–1859. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2157-8>
- Zapata-Ríos, X., Lopez-Fabara, C., Navarrete, A., Paguay-Torres, Flores, M., 2021. Spatiotemporal patterns of burned areas, fire drivers, and fire probability across the equatorial Andes. *Journal of Mountain Science* 18, 952–972. <https://doi.org/10.1007/s11629-020-6402-y>
- Zorn, M., 2018. Natural Disasters and Less Developed Countries. In: S. Pelc, M. Koderman (Eds). *Nature, Tourism and Ethnicity as Drivers of (De)Marginalization.* Perspectives on Geographical Marginality, vol 3. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59002-8_4