

Estimación básica de la vulnerabilidad física en la infraestructura para áreas urbanas

Basic estimation of physic vulnerability in urban infrastructures

Nelson Flórez Maldonado

Ing. Geólogo. M.sc. Gestión del Riesgo y Desarrollo, Escuela de Ingenieros Militares. Bogotá, Colombia. Ingeonel@hotmail.com

Fecha de Recepción: 04/04/2018

Fecha de Aceptación: 12/07/2018

Página
100

ESING

-REVISTA INGENIEROS MILITARES
Número 13, Año 2018, ISSN 2145-3144 / BOGOTÁ-COLOMBIA

RESUMEN

La presente investigación, surge del desarrollo de tesis de maestría [1], propuesta por el autor, enmarcada conforme a lo dispuesto por la Ley 1523, en el proceso del conocimiento del riesgo que, pretende, identificar y caracterizar la vulnerabilidad física en la infraestructura por movimientos en masa, además de, alimentar el proceso de reducción del riesgo. Los resultados, aportaran una valiosa información para plantear estudios geotécnicos en el área urbana y de expansión, y, que a su vez, aportará en el desarrollo y planificación del ordenamiento territorial de los municipios de categoría 6, donde, los administradores locales de los municipio podrán reducir en tiempo y recursos, las áreas a proponer para la adopción y determinación de las medidas de intervención, tanto prospectivas como correctivas, a aquella infraestructura determinada, delimitada y zonificada de vulnerabilidad física alta, como estrategias para reducir el riesgo en la comunidad.

PALABRAS CLAVE

Vulnerabilidad física, sistemas de información geográfica, infraestructura.

ABSTRACT

The present research comes out from the development of a Master thesis [1], proposed by the author, framed in accordance with the Law

1523, in the process of information about the risk that aims to identify and characterize the physic vulnerability in the infrastructure due to mass movements, in addition to fuel the risk reduction process. The results will provide valuable information to propose geotechnical researches in the urban and expansion area, while contributing to the development and territorial planning of the sixth category municipalities. Where the local administrators could reduce time and resources to propose the adoption and the determination of the prospective or corrective intervention of the areas to propose to that determined, delimited and zoned infrastructure whose physical vulnerability has a high level, as well as strategies to reduce risks in the community.

KEYWORDS

Physical vulnerability, geographic information systems, infrastructure.

INTRODUCCIÓN

En el contexto internacional, la campaña de Sendai (2016-2022) [2], tiene como meta para el año 2019. “reducir considerablemente los daño generados por los desastres en la infraestructura...”; así mismo en [3], en uno de sus objetivos y estrategias busca “fortalecer el conocimiento de las condiciones de la amenaza, exposición, vulnerabilidad y riesgos por fenómenos naturales”, igualmente pretende “desarrollar una metodología para la elaboración e inventario de elementos expuestos y vulnerabilidad

Para citar este artículo / To cite this article

N. Flórez Maldonado. Estimación básica de la vulnerabilidad física en la infraestructura para áreas urbanas. Revista Ingenieros Militares, No. 13, pp 100. 2018.

frente a eventos de origen hidrometeorológicos”, en concordancia con [4], que busca “reducir el riesgo a través de intervenciones correctivas...”, además, en [5] no contempla un análisis básico de la vulnerabilidad de la infraestructura acorde a la escala básica (1:5000) del área urbana y de expansión, y que por el contrario solo se realiza el análisis pertinente a escala de detalle (1:2000), por tal motivo, esta investigación, pretende aportar conocimiento básico a la gestión del riesgo haciendo énfasis en la vulnerabilidad física de la infraestructura residencial, comercial y mixta. Por cuanto que, la población objeto de estudio, representada en las áreas urbanas de los municipios de Tenza y Sutatenza en Boyacá son susceptibles a la amenaza movimientos en masa (ver Figura 1), en donde se han identificado afectaciones por fracturas e inclinaciones en la integridad de su infraestructura (ver Figura 2 y Figura 3).

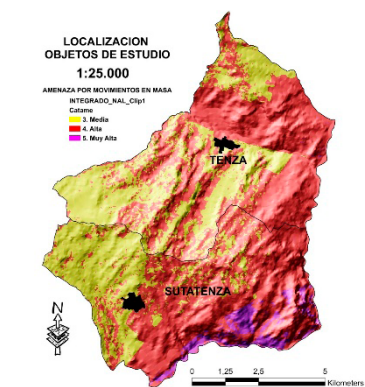


Figura 1. Localización de los municipios objeto de estudio y categorización del nivel de la amenaza a escala 1:25000. Fuente: [6].



Figura 2. Afectaciones por fracturamiento e inclinación en la infraestructura del área urbana del municipio de Tenza. Fuente: [1].

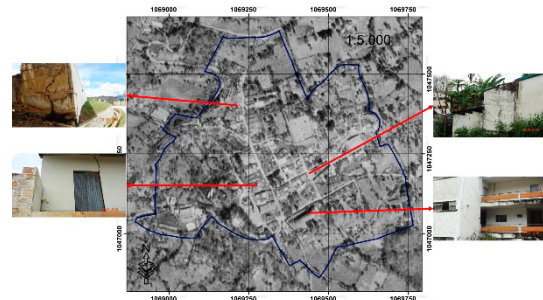


Figura 3. Afectaciones por fracturamiento en la infraestructura del área urbana del municipio de Sutatenza. Fuente: Autor.

Desarrollo Teórico

Teniendo en cuenta el objetivo de esta investigación, es necesario indagar en lo posible, cual procedimiento o metodología utilizar para determinar la vulnerabilidad física en la infraestructura, donde, el objeto de estudio sea susceptible o presente afectaciones por la amenaza de movimientos en masa y otras amenazas, con las cuales apoyar y/o soportar la propuesta metodológica de esta investigación a la escala de trabajo definida (1:5000), de las cuales fue necesario identificar, análisis conceptuales, variables, procedimientos y la evaluación de la vulnerabilidad por amenazas.

La propuesta metodológica surge como un proceso complementario y paralelo a los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo a escala 1:5000 en la incorporación de la gestión del riesgo a los planes de ordenamiento territorial de acuerdo con lo establecido en el capítulo III artículo 40 de [7], en principio de gradualidad con [5], por cuanto se entiende que las áreas en condición de riesgo, se asume como la superposición de los elementos expuestos por la zonificación de la amenaza por movimientos en masa a escala 1:5000, artículo 12 de [5], la cual no considera que, la vulnerabilidad física en la infraestructura, deberá ser una variable independiente con una serie de atributos o variables, sujetos a un pertinente análisis y geoprocésamiento en los estudios de gestión de riesgos a escala básica 1:5000.

METODOLOGÍA

Para determinar las variables en esta investigación, la información, datos o atributos necesarios para el análisis y geoprocuremento en sistemas de información geográfica, podrán ser diagnosticados y verificados en campo mediante la inspección visual en las fachadas de las edificaciones, para la cual se deberá tener en cuenta la densidad o cantidad de fracturas, el ancho y longitud de las fracturas, la tipología de la infraestructura, el área de cada edificación, el área construida por manzana catastral definida por [8] como. “porción de terreno urbano delimitado generalmente por vías o accidentes naturales tales como ríos, taludes, drenajes, entre otros.”, y, el área total de cada manzana dentro del área definida y delimitada dentro del área urbana de los municipios objeto de estudio [9].

En la fase de análisis en campo, para el municipio de Tenza, se tomó una muestra del 100% de la infraestructura del área urbana donde se determinó que, de las 815 edificaciones identificadas en el área urbana, de uso residencial, comercial y mixto, 90 presentan una densidad de fracturamiento desde 1 hasta 9 fracturas en la fachada de cada edificación, con un ancho entre 1 mm hasta 80mm de separación y, una longitud desde 0.5m hasta 4.2m; en 30 edificaciones se identificaron inclinaciones entre 1° hasta 8° respecto de la vertical.

El municipio de Sutatenza donde se identificaron 326 edificaciones, se obtuvo una muestra del 61,7% correspondientes a 201 edificaciones dentro del área urbana, de las cuales 111 presentan una densidad de fracturamiento desde 1 hasta 28 fracturas en la fachada de las edificaciones, con un ancho entre 1mm hasta 40mm de separación y, una longitud desde 0.5m hasta 4.5m y, se identificó tan solo una edificación con una inclinación de 3° respecto de la vertical.

La investigación, como propuesta, hará hincapié en formular una ecuación básica aplicada en sistemas de información geográfica (SIG) que permita estimar la vulnerabilidad física (Vf) en

la infraestructura de edificaciones en las áreas urbanas de los municipios, las cuales tienen incidencia por amenazas de movimientos en masa, dando como resultado que algunas de las edificaciones presenten fracturas e inclinaciones en la integridad de su infraestructura.

En la formulación de la ecuación (1) de vulnerabilidad física (Vf) en la infraestructura, relaciona la suma de dos variables, el fracturamiento (Fra) y la inclinación de la estructura (Inc), las cuales pueden ser diagnosticadas y verificadas en campo mediante inspección visual de las fachadas en la infraestructura, en la cual se suman los valores reclasificados que, posteriormente y según el intervalo determinado se volverán a reclasificar para obtener una categorización de la vulnerabilidad física (Vf) en datos de tipo cuantitativo [10], afirma que “Esta operación posibilita convertir los datos en escala de intervalos y de razón a una clasificación ordinal”, finalmente se representará en información cualitativa como baja, media o alta.

$$Vf = \text{Fra} + \text{Inc} \quad (1)$$

La variable (Fra) en una propuesta básica, se determina mediante el producto de las siguientes variables: el estado de afectación de la infraestructura (Eai), la tipología (Tip) y la concentración de la densidad construida [D(c)], ecuación (2):

$$\text{Fra} = [\text{Eai}] * [\text{Tip}] * [\text{D(c)}] \quad (2)$$

(Eai), es el estado de afectación de la infraestructura por fracturamiento en una aproximación básica, ver ecuación (3), que relaciona las variables de densidad de fracturas y el área correspondiente a las fracturas, (ver figura 4).

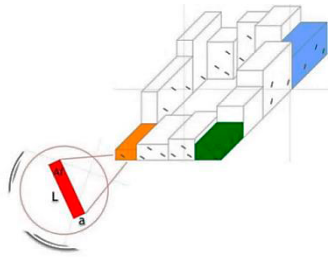


Figura 4. Estado de afectación por fracturamiento .
Fuente: Autor.

$$Eai=[denf*fract] \quad (3)$$

La variable de densidad de fracturas (denf), es determinada mediante inspección visual de la infraestructura, en la cual, se realiza el conteo de la cantidad de fracturas por unidad o edificación, además, se debe tener en cuenta la sumatoria del total de fracturas identificadas por manzana, ecuación (4):

$$denf= [(# fract Edif)*(# fract Manz)] \quad (4)$$

La variable correspondiente al área de las fracturas (fract), ecuación (5), se determina tomando el área de la fractura ecuación (6), donde la longitud (L) y el ancho (A) sea la medida máxima entre todas las fracturas identificadas en una edificación, por el factor de la sumatoria de las áreas de las fracturas tanto de longitud y ancho máximo por cada manzana, las cuales serán reclasificadas de acuerdo a los valores propuestos.

$$fract= [(Area fract Edif)*(Area fract Manz)] \quad (5)$$

Donde,

$$Area Fractura=[A *L] \quad (6)$$

Para la evaluación de la variable de tipología (Tip), se tiene en consideración el tipo de construcción de la edificación de acuerdo a las costumbres y el tipo de materiales empleados, e identificados mediante inspección visual.

La definición de los elementos tipológicos se tomó de [11], y se clasificaron de acuerdo al propósito de la investigación (ver tabla 1)

Tabla 1. Tipología de estructuras. Fuente: Ajustado de [8].

Vulnerabilidad por Tipología de estructuras		
Tipo de Construcción	Reclasificación	Categoría
Construcciones Simples	3	Alto
Estructuras Ligeras		
Estructuras con Confinamiento deficiente	2	Medio
Mampostería reforzada		
Edificaciones reforzadas	1	Bajo
Edificaciones con reforzamiento especial		

En una aproximación al cálculo de la variable concentración de la densidad construida D(c), se considerara la densidad de la infraestructura de acuerdo a la distribución en las edificaciones por altura (Al) y por área superficial (As), (ver figura 5) así:

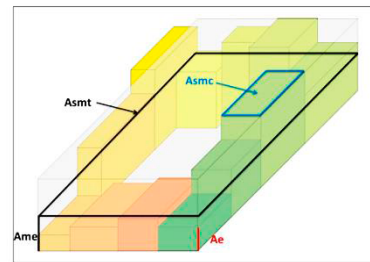


Figura 5. Relación conceptual Fuente: Autor.

La variable de altura [Al], ecuación (7) se define como el producto del elemento altura de cada edificación, donde (Ae) es la altura de cada edificación en (m) reclasificado por el elemento altura media de cada manzana (Ame) en (m) reclasificada, ecuación (8):

$$Al =[(Ae)*(Ame)] \quad (7)$$

Y,

$$Ame = \frac{\sum_1^n [Ae]}{n} \quad (8)$$

La variable área superficial [As], ecuación (9), se define como el producto entre (Asec), reclasificada, y (K) reclasificada.

(Asec), corresponde al área superficial construida por edificación y, (K) ecuación (10), como el producto entre (Asmc) que corresponde al área superficial construida por manzana sobre (Asmt) que corresponde al área total de cada manzana.

$$(As)=[(Asec)*(k)] \quad (9)$$

Donde,

$$k = \frac{Asmc}{Asmt} \quad (10)$$

La variable, inclinación en la infraestructura (Inc) ecuación (11), como propuesta básica e inicial de diagnóstico y evaluación se tendrá en consideración el producto entre la inclinación de la infraestructura en las edificaciones que será medida en la fachada con respecto al eje vertical y la orientación de esta de la inclinación con respecto de la orientación de la ladera donde se desarrolla el movimiento en masa.

$$Inc=(Inin)*(Orin) \quad (11)$$

La inclinación de la infraestructura (Inin) en este apartado se tomara en cuenta a partir de la lectura o medición que se realizara directamente en la fachada, de la cual se podrán adoptar como propuesta básica algunas consideraciones acerca de la severidad de la inclinación que por efecto del movimiento en masa, (ver tabla 2), ejercida sobre la infraestructura o que también pueden obedecer a consolidaciones diferenciales por la misma composición del subsuelo.

Tabla 2. Elementos de evaluación por inclinación en la infraestructura (Inin). Fuente: Autor.

Inclinación Edificación		Observaciones
0°	1	No se registran inclinaciones
1° - 2°	2	Inclinaciones leves a moderadas
> 3°	3	Inclinaciones graves

La variable de orientación (orin), en la inclinación tiene el objetivo de determinar si la orientación de la inclinación es concordante con la orientación de la pendiente de la ladera en la cual se desarrolla el movimiento en masa presente en el área urbana del municipio de Tenza, para ello se proponen y asignan valores de acuerdo a la orientación de la inclinación (ver tabla 3).

Tabla 3. Asignación de valores para la variable de orientación de la inclinación en la infraestructura. Fuente: Autor.

CONCORDANCIA	VALOR
No hay evidencia de inclinación	1
No concordancia con la orientación de la ladera del movimiento en masa	2
Si hay concordancia con la orientación de la ladera del movimiento en masa	3

Conforme a lo propuesto en la ecuación (1), se identificó que, para el municipio de Tenza (ver figura 6 y tabla 4), se determinaron 25 casos que corresponden a 36 edificaciones delimitadas y zonificadas por vulnerabilidad física alta, mientras que, para el municipio de Sutatenza (ver figura 7 y tabla 5), se determinaron 13 casos que corresponden a igual numero de edificaciones delimitadas y zonificadas de vulnerabilidad física alta.

En los casos donde se delimito y zonifico como de vulnerabilidad física (Vf) alta, son aquellas que presentan afectaciones considerables en su infraestructura tanto por fracturamiento como por inclinaciones, mientras que aquellas que, cuentan con una vulnerabilidad física media, presentan algunas fracturas, que ameritan realizar seguimiento, monitoreo y control periódico en la infraestructura.

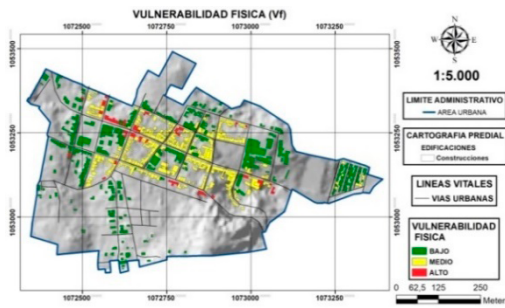


Figura 6. Vulnerabilidad Física en la Infraestructura (Vf) para el municipio de Tenza. Fuente: Autor.

Tabla 4. Resultados de la Vulnerabilidad Física en la Infraestructura para el municipio de Tenza. Fuente: Autor.

VULNERABILIDAD FÍSICA - TENZA		
ZONIFICACIÓN	ÁREA (m ²)	% ÁREA
ALTA	3503	5.63
MEDIA	26989	43.38
BAJA	31727	50.99

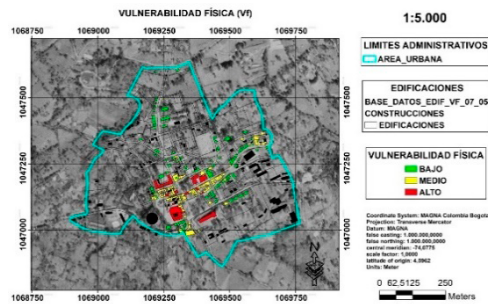


Figura 7. Vulnerabilidad Física en la Infraestructura (Vf) para el municipio de Sutatenza. Fuente: Autor.

Tabla 5. Resultados de la Vulnerabilidad Física en la Infraestructura para el municipio de Sutatenza. Fuente: Autor.

VULNERABILIDAD FÍSICA - SUTATENZA		
ZONIFICACIÓN	ÁREA (m ²)	% ÁREA
ALTA	5446	24,92
MEDIA	12461	27,43
BAJA	16880	47,65

RESULTADOS

Teniendo en cuenta que, en esta investigación como propuesta básica e inicial, se integraron atributos mediante análisis conceptuales por infraestructura y conjunto de infraestructura por manzanas del área urbana, fue necesario plantear ecuaciones que permitieran relacionar y procesar los atributos de

tipo cuantitativo como la densidad de fracturas, el área de estas y la concentración del área construida cuyos resultados fueron reclasificados, junto a atributos de tipo cualitativo como la tipología, inclinación y la orientación de la inclinación que, finalmente fueron clasificadas y reclasificadas para obtener datos de tipo cuantitativo, con el objetivo de procesar la información en sistemas de información geográfica (SIG) y, así obtener un mapa que permita visualizar la vulnerabilidad física en la infraestructura y del el, extraer la cantidad y área correspondiente de la delimitación y zonificación de la infraestructura de las áreas urbanas objeto de esta investigación.

Del análisis de los resultados obtenidos en base a la propuesta metodológica, en contraste con la validación de estos resultados en campo, se puede establecer que aún existe un margen de error aproximado al 10% por cuanto que, se delimitó y zonificó infraestructura en vulnerabilidad física media cuando en campo debería encontrarse en vulnerabilidad física alta para los dos casos objetos de la investigación, para lo cual, es necesario calibrar, ponderar las relaciones matemáticas y adicionar nuevos atributos o variables, que permitan obtener resultados con un margen de error inferior al obtenido.

CONCLUSIONES

Como objetivo principal de esta investigación es la de formular y desarrollar una propuesta metodológica básica a escala 1:5000 para determinar y/o estimar la vulnerabilidad física en la infraestructura acorde con [3] y, así mismo aportar al proceso del conocimiento de [5], como un valioso insumo al desarrollo y planificación del territorio de las áreas urbanas con las cuales se pueda reducir en tiempo y recursos la ejecución de las medidas de intervención en la infraestructura delimitada y zonificada de vulnerabilidad física alta.

La cartografía base de las variables de esta investigación fue soportada por cada secretaria de planeación de los municipios objeto de estudio,

con la cual se estructuró, analizó e interpreto la información conforme a las observaciones identificadas y tomadas en campo sobre los elementos expuestos susceptibles a la amenaza por movimientos en masa, afectaciones reflejadas en el fracturamiento y la inclinación en las fachadas de la infraestructura.

REFERENCIAS

- [1] Maldonado, N. F. Estimación del riesgo físico en la infraestructura por movimientos en masa en el área urbana del municipio de Tenza Boyacá. Caso de estudio. Tesis de Maestría, Escuela de Ingenieros Militares, Bogotá. 2019.
- [2] UNISDR. La campaña de SENDAI Siete metas (2016-2022) pág. 1, 2016.
- [3] DNP. Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2018 - 2022. Bogotá. pág 377. 2018.
- [4] UNGRD. Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres 2015-2025. Bogotá. 2015.
- [5] Ministerio de Vivienda. Decreto 1807. "Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto Ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones". Bogotá, Colombia. (19 de Septiembre de 2014).
- [6] IGAC. Datos Abiertos. Subdirección de Cartografía y Geografía. Obtenido de Descarga de Datos Catastrales IGAC: <http://datosabiertos-geoportal-igac.opendata.arcgis.com/pages/catastro>. (28 de Mayo de 2018).
- [7] Colombia, C. Ley 1523. "Por el cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. Bogotá, Colombia. (24 de Abril de 2012).
- [8] IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Obtenido de Glosario: https://www.igac.gov.co/es/contenido/glosario#_m. (02 de Abril de 2019).
- [9] DNP. Modelo de Jerarquización y Categorización de los Departamentos y Municipios. Bogotá. 2015.
- [10] Eydel Jaime, R. L. Hacia métodos de análisis de datos espaciales raster en el nivel semántico. *Computación y Sistemas*, 15(1), 91 - 106. (pág. 97) 2011.
- [11] SGC. Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa. Bogotá. págs. 94-95. 2016.