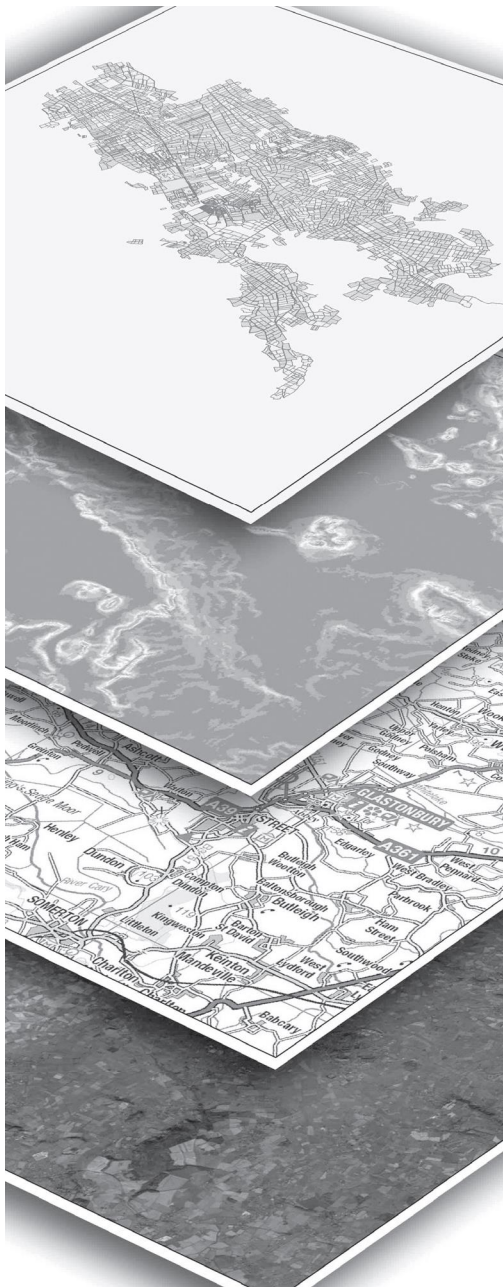


# Sistemas de información geográfica en evaluación de susceptibilidad de fenómenos de remoción en masa y sistemas estructurales

## GIS in assessing of landslide susceptibility and structural systems

Néstor Iván Rojas Gamba\*, Wilson Alfredo Medina Sierra\*\* y Javier Alcides Soto Monroy\*\*\*



### RESUMEN

Actualmente los sistemas de información geográfica (SIG), son una herramienta fundamental en la captura, procesamiento, análisis y divulgación de datos espaciales. En ingeniería geotécnica y estructural, donde es importante la caracterización de materiales y construcciones, los SIG facilitan la inclusión de datos descriptivos llamados atributos a los registros espaciales o geográficos. En el presente trabajo se muestran dos aplicaciones de este tipo de procesamiento cartográfico; la primera tiene que ver con la evaluación de susceptibilidad ante fenómenos de remoción en masa (FRM), donde se aplican dos metodologías que dividen el área de estudio en celdas de tamaño definido, procesando la información en SIG, desde la captura de datos hasta la generación de salidas gráficas. La segunda aplicación está orientada hacia determinación y análisis de los diferentes sistemas estructurales, donde se realiza la evaluación de aspectos estructurales contenidos en la Norma Sismo Resistente 2010 (NSR-10), los datos son recopilados e incluidos en el SIG de forma sistemática, con el fin que sean parte de los atributos de cada edificación representada por un polígono. Las dos aplicaciones se desarrollan en la ciudad de Tunja, Boyacá y pretenden hacer parte de un estudio preliminar de vulnerabilidad sísmica que fundamente un estudio de microzonificación, necesario para la ciudad. Este tipo de aplicaciones no habían sido desarrolladas en la ciudad y generan bases de datos cartográficas muy útiles en la toma de decisiones para la planeación y distribución de recursos en temas relacionados con la amenaza sísmica y la atención en zonas de mayor vulnerabilidad. Se apreció la forma como los SIG facilitan el procesamiento de información

\* Grupo de investigación ACBI, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, Boyacá, Colombia, nestor.rojas@usantoto.edu.co

\*\* Grupo de investigación ACBI, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, Boyacá, Colombia, wilson.medina@usantoto.edu.co

\*\*\* Grupo de investigación GIISAG, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, UPTC, Tunja, Boyacá, Colombia, javieralcides.soto@uptc.edu.co

espacial y descriptiva y su importancia en el análisis de tendencias espaciales y la caracterización de zonas geográficas y de edificaciones.

**Palabras clave:** SIG, susceptibilidad, remoción en masa, sistemas estructurales.

## ABSTRACT

Currently, geographic information systems (GIS) are a fundamental tool in the capture, processing, analysis and dissemination of spatial data. Geotechnical and structural engineering, where the characterization of materials and structures is important, GIS facilitate the inclusion of descriptive data called attributes to spatial or geographic records. In this paper two applications of this type of mapping is processing; The first has to do with the evaluation of susceptibility to landslide phenomena where two methodologies that divide the study area into cells of defined size are applied, GIS processing information from data capture to the generation of outputs graphs. The second application is geared towards identifying and analyzing the different structural systems, where the assessment of structural aspects contained performed in the Standard Seismic Resistant 2010 (NSR-10), the data are collected and included in the GIS systematically, in order that they are part of the attributes of each building represented by a polygon. The two applications are developed in the city of Tunja, Boyacá and intended to be part of a preliminary study of seismic vulnerability to substantiate a study of micro-zoning, necessary for the city. Such applications were not developed in the city and generate useful cartographic database data in decision-making for the planning and distribution of resources on issues related to seismic hazard and attention in areas of greatest vulnerability. How GIS appreciated facilitate processing of spatial and descriptive information and its importance in the analysis of spatial trends and characterization of geographic areas and buildings.

**Keywords:** GIS, susceptibility, landslides, structural systems.

## I. INTRODUCCIÓN

Dentro de los factores más determinantes en la magnitud de la pérdida de vidas y de bienes, ante condiciones medioambientales severas o eventos sísmicos de magnitud considerable, se encuentran la susceptibilidad a desarrollar fenómenos de remoción en masa y la calidad de las construcciones de la zona. En el presente trabajo se describen procedimientos basados en SIG a través de los cuales se realizó la evaluación de la susceptibilidad ante FRM, para la zona norte de la ciudad de Tunja. En Colombia son utilizadas diversas metodologías para el desarrollo de este

tipo de estudios, dependiendo de la información disponible y de las características particulares de la zona, como el uso del suelo, el origen geológico y geomorfológico, la actividad antrópica y factores ambientales como el régimen de precipitaciones que puede ocasionar procesos de erosión. Fueron aplicadas dos metodologías, la de Ramírez y González, (1989) [1] y la propuesta metodológica de Jiménez Omar, (2009) [2], las cuales no habían sido desarrolladas mediante SIG.

De la misma forma se describe el uso de SIG en el manejo y divulgación de los diferentes tipos de sistemas estructurales existentes en las edifica-

ciones de algunos barrios de la misma ciudad, en donde a partir de información primaria recolectada mediante visitas e inspecciones a las viviendas y el uso de fuentes secundarias, se incluyen dentro de una base de datos geográfica, que contiene los atributos de cada edificación visitada de acuerdo a criterios estructurales establecidos para el desarrollo del mismo. A partir de esta información se pueden generar salidas gráficas que muestran claramente la tendencia espacial de las características de las construcciones y se constituye en una fuente importante de información para la toma de decisiones objetivas [3].

## II. MATERIALES

Para el desarrollo de las metodologías de susceptibilidad de FRM, se partió de la información cartográfica de la zona de estudio, en lo referente a cartografía básica, uso y tipo de suelo, la cual se complementó con inspección a los sitios donde se evidencian procesos erosivos o actividades antrópicas que generen algún tipo de impacto sobre la zona, taludes con inclinación considerable y desprovistos de recubrimiento, pendientes fuertes del terreno, deslizamientos, cárcavas, etc. Con respecto a la evaluación de los sistemas estructurales, se realizó la inclusión de información en el SIG a partir de las encuestas tabuladas

en formato digital, donde se almacenaron los datos de las características de las edificaciones.

## III. MÉTODOS

### A. Evaluación de susceptibilidad de FRM

Los métodos para la evaluación de FRM se desarrollaron dividiendo la zona de estudio en polígonos de 50 m de lado, lo cual genera un detalle adecuado para el análisis. A cada polígono se le asigna una calificación de los parámetros. En la Tabla I, [1] se señalan los parámetros que se tienen en cuenta para la metodología de Ramírez y González, su símbolo, valor máximo y los factores de evaluación de cada uno.

Los valores obtenidos se suman para generar un valor de susceptibilidad y clasificar cada polígono dentro de una de las 6 categorías que se contemplan. La Tabla II, [4] describe estas 6 categorías.

La metodología propuesta por Jiménez [2], es similar a la anterior, contempla parámetros de material, relieve, hipsometría y morfometría de la cuenca o microcuenca, sismicidad, evidencias de inestabilidad y erosión, la categorización se describe en la Tabla III.

**Tabla I.** Parámetros de evaluación de zonas homogéneas inestables (Método Ramírez y González)

Parámetro		Símb. y valor Máximo	Factores
Mat.	Roca	M / 50	Tipo de material rocoso Condición de fracturamiento
	Intermedio		Tipo de material intermedio influencia de las estructura
	Suelo		Tipo de suelo Condición <i>in-situ</i>
Relieve		R / 44	Pendiente Forma de perfil longitudinal
Drenaje		D / 35	Densidad de drenaje Pendiente promedio de cauces
Erosión		E / 35	Tipo de erosión, porcentaje de área afectada
Clima		C / 40	Precipitación
Vegetación		V / 32	Pendiente Tipo de vegetación % de área cubierta
Sismicidad		S / 24	Amenaza sísmica tipo de material
Evidencia de Inestabilidad		F / 40	Porcentaje de áreas afectadas

Fuente: Ramírez y González, 1999.

**Tabla II.** Categorías de estabilidad o susceptibilidad (Método Ramírez y González)

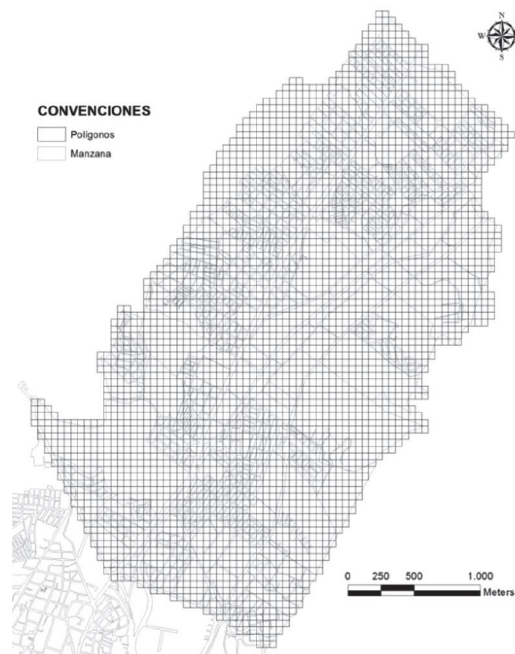
Categorías de estabilidad	Intervalos	Susceptibilidad
I	>185	MUY BAJA
II	150 – 185	BAJA
III	120 – 150	MODERADA
IV	85 – 120	MEDIA
V	55 – 85	ALTA
VI	< 55	MUY ALTA

Fuente: Ramírez y González, 2009.

**Tabla III.** Intervalos de evaluación para susceptibilidad por FRM metodología propuesta (Método Jiménez)

Categoría	Intervalo	Susceptibilidad
I	< 100	Muy Baja
II	100 - 135	Baja
III	135 - 165	Moderada
IV	165 - 200	Media
V	200 - 230	Alta
VI	> 230	Muy Alta

Fuente: Jiménez, 1999.



**Figura 1.** Polígonos de la zona de estudio.  
Fuente: los autores.

Una vez definidos los parámetros de evaluación, éstos son incluidos en una hoja de cálculo, en la cual se enumera cada polígono y se le asigna una calificación para cada parámetro.

En el SIG se grafican los polígonos y cada uno posee la misma numeración que le corresponde en la hoja de cálculo. En la Figura 1 se aprecian los polígonos de la zona norte de la ciudad de Tunja.

En el SIG, se relaciona la información de la hoja de cálculo con la tabla de atributos de los polígonos, a través de la numeración que se encuentra en las dos tablas y corresponde al atributo en común que permite incluir toda la información descriptiva contenida en la hoja de cálculo, dentro de los atributos de los polígonos que se encuentran en la base de datos geográfica. De esta forma se puede totalizar las calificaciones en el SIG y categorizar la susceptibilidad de FRM para cada polígono en el SIG.


## B. Sistemas estructurales

Para la evaluación de los diferentes sistemas estructurales de las edificaciones, se diseñó un formato de fácil aplicación para la recolección de la información en terreno, en éste se diligencian los datos de cada vivienda visitada. El formato se elaboró tomando como referente, la información y recomendaciones dadas documentos relacionados con la temática, como lo son guías y formatos para evaluación postsísmica del FOPAE en la ciudad de Bogotá [5], diversos manuales emitidos por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) [6] y varios trabajos de grado de diversas universidades [7] [8] [9] [10], entre otros.

La información consignada en este formato de encuesta, incluye diferentes aspectos que se incluyen en un sistema de información geográfica, los cuales fueron definidos por los autores para el desarrollo del mismo, como lo son el sistema estructural dominante de la edificación, la presencia de daños en las viviendas y el número de pisos entre otros.

La información recolectada en estas encuestas se depura y procesa en hoja de cálculo, donde se

- Sistemas de información geográfica en evaluación de susceptibilidad de fenómenos de remoción en masa •

OBJECTID	9
codigo_cat	15-001-01-03-0255-0051-000
fotofachada	
NUMFOTO	2463
Codigo	008
DIRECCION	Diagonal_1_A_#25-20
BARRIO	El_Dorado
HOMBRES_MENORES_DE_18	<Null>
MUJERES_MENORES_DE_18	1
HOMBRES_MAYORES_DE_18	4
MUJERES_MAYORES_DE_18	1
HOMBRES_MAYORES_DE_60	<Null>
MUJERES_MAYORES_DE_60	<Null>
AÑO_DE_CONSTRUCCION	Antes_de_1984
TERRENO	Inclinado_(7-20%)
INUNDACION	No
P_MANZANA	Libre_por_dos_costado

**Figura 2.** Atributos del SIG para evaluación de los sistemas estructurales. Fuente: los autores.

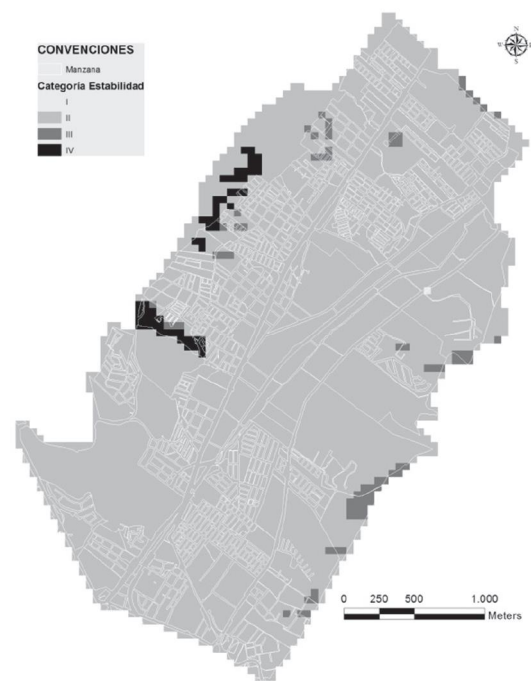
clasifica cada edificación de acuerdo a la información recopilada en la cual se incluye el código catastral de cada edificación.

El SIG se basa en el plano catastral, que incluye edificaciones donde se actualiza la información faltante. En esta etapa se cuenta con la cédula catastral como atributo para cada polígono que representa la edificación. Posteriormente, mediante herramientas de unión entre tablas se agrega la información descriptiva de la hoja de cálculo a la información vectorial de las edificaciones, en función del código catastral presente tanto en la hoja de cálculo como en la base de datos gráfica. En la fig. 2 se muestra un ejemplo de la información contenida en el SIG, con datos de sistema estructural, el cual incluye un atributo tipo *raster* con la fotografía de la fachada de la edificación evaluada.

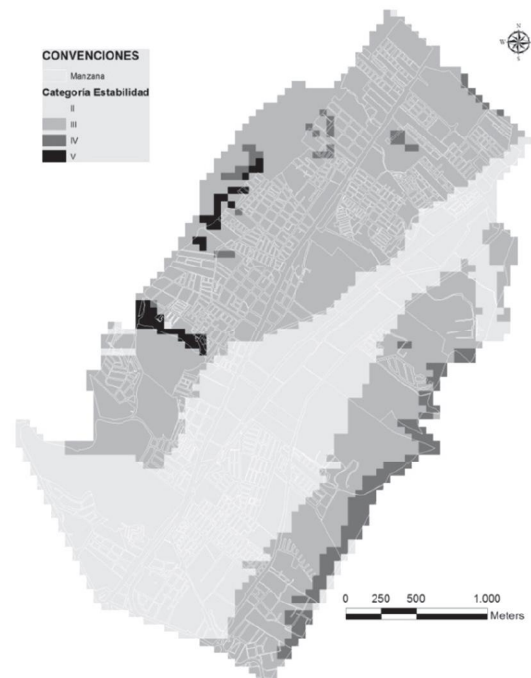
## IV. RESULTADOS

### A. Evaluación de susceptibilidad de FRM

Una vez se tiene toda la información de la evaluación de susceptibilidad a FRM, en cada polígono, es posible generar planos temáticos, los cuales asignan un símbolo (que puede ser por paleta de colores), a cada polígono de acuerdo a su categorización de susceptibilidad. En las Fig. 3 y 4 se aprecian los mapas de susceptibilidad para los métodos Ramírez-González y Jiménez respectivamente.



**Figura 3.** Susceptibilidad de FRM, método Ramírez-González. Fuente: los autores



**Figura 4.** Susceptibilidad de FRM, método Jiménez. Fuente: los autores.



**Figura 5.** Sistemas estructurales.  
Fuente: los autores.

## B. Evaluación de los sistemas estructurales existentes

A partir de la base de datos geográfica, donde se cuentan con los polígonos de las edificaciones visitadas e inspeccionadas, se crean los planos temáticos en donde se aprecia la tendencia espacial de cada uno de los diferentes sistemas estructurales presentes en las edificaciones. En las Figuras 5 a 7 se presentan como ejemplo los resultados obtenidos para sistema estructural predominante, Daños en la Estructura y Número de pisos, de un sector analizado de la ciudad.



**Figura 7.** Número de pisos. Fuente: los autores.



**Figura 6.** Daños en la estructura.  
Fuente: los autores.

## VI. DISCUSIÓN

Con respecto al análisis de susceptibilidad ante FRM, se aprecia en los dos métodos utilizados, que en la mayor parte del área de la zona norte de la ciudad de Tunja, se presenta una susceptibilidad baja a moderada, esta zona corresponde en general a material transportado de depósitos cuaternarios, con pendientes planas, principalmente en el eje del sinclinal que caracteriza morfológicamente la zona [11]. Hacia los flancos, se presentan las zonas de mayor susceptibilidad,

especialmente en parte noroccidental, donde las pendientes son mayores, existe la presencia de cárcavas, exposición de materiales sin recubrimiento y la erosión del material arcilloso es muy fuerte.

El procesamiento de información sobre los diferentes sistemas estructurales mediante SIG, permite evaluar muchas tendencias espaciales, en función de las variables que se incluyen como atributos. A manera de ejemplo se muestra la presencia de edificaciones en mal estado, lo que representaría un mayor potencial de riesgo ante un evento sísmico. De la misma forma, se establecen las edificaciones con presencia de daños estructurales leves y moderados; en el cual se aprecia de manera rápida la localización de las construcciones más críticas. El número de pisos, es un factor determinante en el comportamiento de las estructuras, este parámetro se visualiza fácilmente mediante el SIG. El potencial del uso de los SIG aplicado a usos estructurales para el análisis y desarrollo de planes de ordenamiento territorial municipal o estudios de vulnerabilidad sísmica de las ciudades es enorme. Así como lo evidencian diferentes estudios realizados en la ciudad [12] [13] [14].

## VI. CONCLUSIONES

Al utilizar estos sistemas SIG se puede apreciar una clara coincidencia de resultados de susceptibilidad ante FRM, por los dos métodos analizados.

Lo que se aprecia espacialmente en los mapas generados, resulta consistente con las características de materiales, pendiente y uso de suelo, de la zona de estudio.

Contar con un SIG, facilita la planeación y toma de decisiones bajo parámetros objetivos y confiables, que permitan una mejor destinación de recursos para atender los casos más críticos, en lo que tiene que ver con prevención de desastres y atención a las comunidades menos favorecidas de la ciudad.

Es importante contar con una base de datos geográfica, que contenga información georreferenciada de los sistemas estructurales presentes

de las edificaciones de una ciudad, ésta información, junto con datos de susceptibilidad ante FRM, es básica para estudios detallados a escala local de vulnerabilidad sísmica, los cuales son necesarios y urgentes adelantar para la ciudad de Tunja.

El procesamiento de la información cartográfica mediante SIG, facilita la captura, el procesamiento, los análisis y la divulgación de resultados, especialmente cuando se debe asociar información descriptiva a los registros geográficos.

Mediante el uso de los sistemas de información geográfica se pueden realizar diferentes tipos de análisis estructurales en zonas de la ciudad donde pueda existir un potencial mal comportamiento ante eventos sísmicos.

## TRABAJOS FUTUROS

El procedimiento descrito para la evaluación de la susceptibilidad a FRM, es aplicable a otras metodologías, se podría desarrollar una investigación en la zona centro sur de la ciudad de Tunja, así como también en otras zonas de estudio.

La evaluación de los sistemas estructurales existentes en la ciudad, se viene desarrollando dentro de un proyecto de investigación de varias etapas, el cual pretende abarcar toda la zona urbana de la ciudad de Tunja, el cual es igualmente aplicable a cualquier zona de estudio o ciudad.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al apoyo de la facultad de ingeniería civil de la USTA, seccional Tunja, a la escuela de ingeniería civil de la UPTC y a los estudiantes de semilleros de investigación de la USTA Tunja V.G. Adame, L.M. Arcos, Y.P. Becerra, H.M. Castellanos, J.C. Casallas, M.E. Combariza, I.A. Correa, L.F. Gil, E.D. Hernández, Y.A. López, A.C. Mojica, O. Oliveros, D. Rodríguez, J.C. Rojas, G.H. Romero, Y.X. Roper, J.S. Sannabria, H. S. Sierra, D.S. Vargas, C.C. Villamil y otros por su colaboración como parte del semillero de estructuras SIEC y SIPAV del grupo ACBI de la USTA Tunja, que han participado en el desarrollo de los proyectos de investigación relacionados con los temas descritos.

## CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores del presente trabajo declaran que no existe ningún conflicto de interés, por la presentación del artículo.

## REFERENCIAS

F. Ramírez y A. González, "Stability evaluation for homogeneous zones. In Sount-American", Simposyun Landslides. Paipa, Colombia. Vol 1, pp, 173 – 192. August. 10, 1989

O. Jiménez, "Metodología para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por fenómenos de remoción en masa" (2009, noviembre). Revista de la facultad de ingeniera, UPTC, vol, 19, N°28, pp.7-19, 2010.

A. Moreno J., "Sistemas y Análisis de la Información Geográfica. Manual de autoaprendizaje con ArcGIS", 2 edición. Alfaomega, 2013.

O. Ramírez. "Zonificación Geotécnica de Tunja". Tesis de maestría en Geotecnia. Universidad Nacional de Colombia Bogotá, 1990.

Alcaldía mayor de Bogotá D.C Fondo de Prevención y Atención de Emergencias Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2002. [En línea]. Disponible: [http://www.aq.upm.es/habitabilidadbasica/docs/articulos/Guia\\_Tecnica.pdf](http://www.aq.upm.es/habitabilidadbasica/docs/articulos/Guia_Tecnica.pdf). [Último acceso: 2015].

Asociación de Ingeniería Sísmica, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, vol. Tomo 2, Bogotá D.C: AIS, 2010, pp. 67-89.

A. Agudelo y M. Castro, Estudio de vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Tunja, Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 1999.

Á. R. Caballero Guerrero, Determinación de la vulnerabilidad sísmica por medio del método del índice de vulnerabilidad en las estructuras ubicadas en el centro histórico de la ciudad de Sincelejo, utilizando la tecnología del sistema de información geográfica, Sincelejo: Fundación Universidad del Norte, 2007.

L. Samaniego Polanco y J. Ríos Vara, Estudio de vulnerabilidad sísmica del distrito del Rímac en la ciudad de Lima, Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2005.

E. Maldonado Rondón y G. Chío Cho, Vulnerabilidad sísmica en centros urbanos, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2008.

L. A. Cáceres. "Erosión por flujo superficial y sub-superficial en los alrededores de la ciudad de Tunja". Tesis de maestría en Geotecnia. Universidad Nacional de Colombia Bogotá, 1999.

J. J. Guacaneme Berbeo, "Zonificación de suelos en superficie de la ciudad de Tunja". Revista Épsilon, pp. 29-44, 2006.

A. J. Alfaro Castillo y G. P. Molina Molina, "Evaluación de la acción sísmica para Tunja Colombia". Diciembre 2009. [En línea]. Disponible: <http://www.umng.edu.co/documents/10162/49510/Art2.pdf>. [Último acceso: 22 Marzo 2013].

Instituto Geográfico Universidad Javeriana y Consultoría Colombiana, "Microzonificación sísmica preliminar de Tunja". Bogotá, 2000.