

Fecha de presentación del Informe: Día Mes Año **1. Datos generales del Proyecto**

Código del proyecto: CI 4354			
Título del proyecto: Análisis del escenario sísmico en Santiago de Cali ante la ocurrencia de un terremoto similar al del 07 de junio de 1925			
Facultad o Instituto Académico: HUMANIDADES			
Departamento o Escuela: DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA			
Grupo (s) de investigación: GEORIESGOS			
Entidades: Vicerrectoría de Investigaciones – Universidad del Valle			
Palabras claves: Escenario sísmico, macrosísmica, terremoto, intensidad, Santiago de Cali.			
Investigadores ¹	Nombre	Tiempo asignado	Tiempo dedicado
Investigador Principal	Elkin de Jesús Salcedo Hurtado	15H/S	15H/S
Coinvestigadores	Jhon Jairo Barona Mendoza	3H/S	3H/S
Otros participantes	Jorge Andrés Vélez Correa	10H/S	10H/S
	Alba Nidia Castaño Castaño	40H/S	40H/S
	Luisa Fernanda Ríos García	Estudiante	
	Juan Camilo Blandón Silva	Estudiante	

¹ Todas las personas relacionadas en el informe y que participen en el proyecto deben haber suscrito el acta de propiedad intelectual de acuerdo con los formatos establecidos.

2. Resumen ejecutivo

El riesgo sísmico se ve influenciado principalmente por la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico de tipo tectónico, y, a los posibles efectos que conllevaría este tipo de fenómenos en un lugar determinado. Al establecer el riesgo sísmico para un área en particular se deben considerar las distintas estancias para plantear los diferentes escenarios del riesgo, entre ellos el conocimiento adecuado de los sismos históricos y recientes de mayor afectación.

Existen condiciones que predisponen, en mayor o menor medida, a un territorio a ser vulnerable. Dichas condiciones de vulnerabilidad son determinadas, en muchos casos, por: la población acentuada, la densidad y el tipo de construcciones presentes o la estructura del suelo, además de la capacidad de anticipación para resistir un evento natural (sísmico). Esto permite constituir, en gran parte, el grado de riesgo inmerso, teniendo en cuenta, a su vez, el adecuado u óptimo desempeño de la gestión del riesgo.

Estudiar las condiciones de sociales, políticas, institucionales y estructurales que predisponen sitúan a Santiago de Cali en estado de vulnerabilidad frente a eventos sísmicos, permite establecer los escenarios más propensos a sufrir daños sustanciales por la ocurrencia de un terremoto, como el sucedido en esta ciudad en el año 1925 que causó graves daños y la destrucción parcial de algunas de las edificaciones existentes. A pesar de que el sismo de 1925 causó severos daños en la ciudad de Cali, sus parámetros físicos y la fuente generadora son desconocidos desde el punto de vista científico y técnico, situación que agrava las condiciones de amenaza y vulnerabilidad. Esto hace urgente la necesidad de realizar estudios tendientes al esclarecimiento de las particularidades sismológicas del terremoto ocurrido el 07 de junio de 1925 en el suroccidente colombiano.

Las características del desarrollo y crecimiento urbanístico de Cali presuponen su alta condición de vulnerabilidad, colocándola en propensión de sufrir una situación de desastre ante la ocurrencia de un terremoto como el de 1925. Según el principio de “uniformitarismo”, es de suponer que este evento tiende a repetirse en el mismo lugar de su ocurrencia, que

infortunadamente hoy aún desconocemos. Por lo cual, se requiere, de manera inminente, determinar las características físicas del terremoto, el nivel de vulnerabilidad y el estado de la gestión del riesgo en la ciudad. Bajo estas circunstancias, este proyecto de investigación se planteó los siguientes interrogantes:

1. ¿Cuáles son los parámetros físicos reales del terremoto de 07 de junio de 1925, que causó graves daños materiales en la ciudad Santiago de Cali?
2. ¿Cuáles son las condiciones de fragilidad que tiene la ciudad, que ante su desarrollo y crecimiento urbanístico la hacen vulnerable ante un evento sísmico similar al ocurrido en el año de 1925?
3. ¿Está la ciudad de Cali preparada para enfrentar un sismo con características físicas similares al terremoto del año 1925?

Este proyecto se desarrolló con recursos aportados por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Valle, siendo registrado con el código CI 4354. Su ejecución contó con la participación de estudiantes de pregrado y maestría, bajo el compromiso de realizar con los resultados sus respectivos trabajos de grado y tesis. Metodológicamente el proyecto se desarrolló utilizando métodos de la sismología macrosísmica, técnicas estadísticas y de acción participativa para valorar las condiciones de vulnerabilidad y formular las medidas de prevención y mitigación necesarias para la reducción del riesgo.

Los resultados principales obtenidos se encuentran plasmados en tres artículos científicos que han sido sometidos a revistas extranjeras de categoría A1, una tesis de maestría debidamente sustentada y aprobada, dos trabajos (monografías) de grado de estudiantes del programa de Geografía e Ingeniería Civil de la Universidad del Valle, quienes con sus trabajos lograron obtener sus respectivos títulos profesionales, además de varias ponencias realizadas en eventos nacionales e internacionales. Todo ha contribuido al debido fortalecimiento del Grupo de Investigación Georiesgos.

3. Abstract

The seismic risk is mainly influenced by the probability of occurrence of a seismic event of tectonic type, and, by the possible effects that this type of phenomena would involve in a certain place. When establishing the seismic risk for a particular area, several cases must be considered to present the different risk scenarios, including adequate knowledge of both historical and recent earthquakes most affected.

There are conditions that predispose, to a greater or lesser extent, a territory to be vulnerable. These conditions of vulnerability are determined, in many cases, by: the accentuated population, the density and type of buildings present or the structure of the soil, in addition to the ability to anticipate and resist a natural (seismic) event. This allows, to a large extent, the degree of immersed risk, taking into account as well, the adequate or optimal performance of risk management.

Studying the social, political, institutional and structural conditions that places Santiago de Cali in a state of vulnerability in the face of seismic events, allows establishing the most prone scenarios to suffer substantial damage due to the occurrence of an earthquake, such as the one that happened in this city in 1925 it caused serious damage and the partial destruction of some of the existing buildings. Although the earthquake of 1925 caused severe damage in the city of Cali, its physical parameters and the generating source are unknown from a scientific and technical point of view, a situation that aggravates the conditions of threat and vulnerability. This makes urgent the need to carry out studies aimed at clarifying the seismological particularities of the earthquake that occurred on June 7, 1925 in the Colombian Southwest.

The characteristics of urban development and growth in Cali presume its high status of vulnerability, placing it in a propensity to suffer a disaster situation in the event of an earthquake such as 1925. According to the principle of "uniformitarianism", it is to be assumed that this event tends to be repeated in the same place of its occurrence, which unfortunately we still do not know today. Therefore, it is imperative to determine the physical characteristics of the earthquake, the level of vulnerability and the state of risk management in the city. Under these

circumstances, this research project raised the following questions:

1. What are the actual physical parameters from the earthquake of June 7, 1925, which caused serious material damage in the city of Santiago de Cali?
2. What are the conditions of fragility that the city has, which in view of its development and urban growth make it vulnerable to a seismic event similar to the one in 1925?
3. Is the city of Cali prepared to face an earthquake with similar physical characteristics to the one in 1925?

This project was developed with resources provided by the Office of Vice President for Research at the Universidad del Valle, being registered with the code CI 4354. Its execution was attended by undergraduate and master's students, under the commitment to carry out their respective degree and thesis work with the results. Methodically, the project was developed using macro seismic seismology methods, statistical techniques and participatory action to assess the conditions of vulnerability and formulate the necessary measures of prevention and mitigation for risk reduction.

The main results obtained are reflected in three scientific articles that have been submitted to foreign journals of A1 category, a master's thesis duly supported and approved, two degree works (monographs) of students of the Geography and Civil Engineering programs from the Universidad del Valle, who manages to obtain their professional titles with their work, adding to several presentations made at national and international events. Everything has contributed to the suitable strengthening of the Georiesgos Research Group.

4. Síntesis del proyecto:

Tema

Esta investigación se orientó a la determinación del escenario sísmico bajo el cual se encuentra la ciudad de Santiago de Cali ante la posible ocurrencia de un terremoto similar al sucedido el 07 de junio de 1925. Para lo cual fue necesario usar técnicas de la sismología macrosísmica

que permitieron establecer los principales parámetros sismológicos de dicho evento, y, con ello, se analizaron los factores sociales de dos zonas específicas de la ciudad, que de acuerdo con los resultados del estudio de Microzonificación sísmica tiene el mayor valor de aceleración sísmica, para determinar sus condiciones de vulnerabilidad.

5. Objetivos: general y específicos

Como objetivo general se propuso lo siguiente:

Analizar el escenario de riesgo sísmico en la ciudad Santiago de Cali ante la posibilidad de ocurrencia de un sismo similar al de 07 de junio de 1925.

Este se complementó con los siguientes objetivos específicos:

1. Determinar las características físicas del terremoto del 07 de junio de 1925.
2. Relacionar el proceso de desarrollo y expansión urbana de Santiago de Cali con las condiciones de vulnerabilidad ante un evento sísmico, a partir de 1925.
3. Evaluar de manera integral la vulnerabilidad frente a fenómenos sísmicos en el municipio de Santiago de Cali.
4. Evaluar las posibles afectaciones que generaría en la ciudad Santiago de Cali un terremoto como el ocurrido en 1925.
5. Formular lineamiento y estrategias participativas para la gestión del riesgo sísmico en la ciudad Santiago de Cali.

6. Metodología

- *Evaluación de Intensidades*

La ejecución de este proyecto de investigación demandó, como primer paso, evidenciar los efectos causados por el sismo de 1925 en la ciudad y determinar sus características físicas, continuando por un seguimiento en la historia de Cali en cuanto al proceso de crecimiento y

desarrollo de la ciudad, siendo de gran interés para conocer y entender el porqué de las dinámicas que se presentan hoy en día en la ciudad, esto permitió determinar las condiciones de la vulnerabilidad social en las dos zonas de mayor aceleración sísmica determinadas por los resultados del estudio de Microzonificación Sísmica; posteriormente se analizó que tipo de efectos podría causar un sismo como el mencionado anteriormente, para ello se tomó como referencia una edificación indispensable representada en un hospital localizado en una zona de amenaza sísmica alta de la ciudad.

Para establecer los efectos causados por el terremoto del 07 de junio de 1925, se hizo una exhaustiva búsqueda documental en diversas bibliotecas, archivos históricos y hemerotecas locales, regionales y nacional. Para ello se implementó el “método intensivista”, el cual señala que al tener conocimiento de la existencia de un sismo determinado permite, mediante lecturas sistemáticas de publicaciones periódicas y de archivo, adquirir la mayor y mejor cantidad de información posible sobre la cronología, área de perceptibilidad y consecuencias sísmicas contrastadas con hipótesis de intensidad, precursores y réplicas. Con éste método se “intensificó” el conocimiento del sismo bajo estudio, dando como resultado cambiar algunos parámetros conocidos y el mejoramiento y ampliación de datos sismológicos conocidos (Rodríguez de la Torre, 1993; Salcedo y Tabares, 2001). El proceso metodológico adoptado se puede apreciar en la Figura 1.

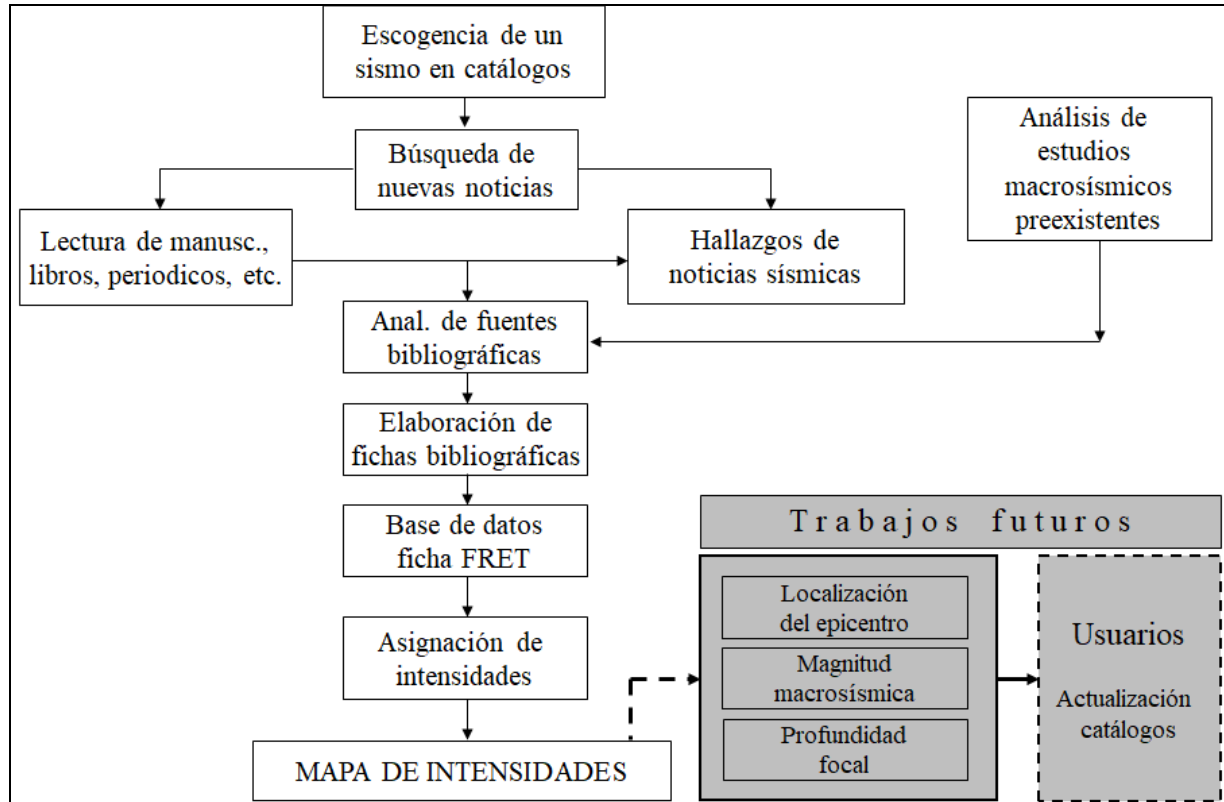


Figura 1. Proceso metodológico para la revaloración de la intensidad del terremoto del 07 de junio de 1925 (**Fuente:** modificado de Salcedo, 1999; Salcedo *et al.*, 2007)

Al tener buen conocimiento del sismo y de su campo macrosísmico (es decir, campo de daños y efectos), se procedió a elaborar los correspondientes mapas de intensidad y de isosistas, y con ello se aplicaron técnicas del análisis macrosísmico permitiendo definir los parámetros físicos del terremoto y la posición del foco sísmico. Para determinar el nivel de intensidad se utilizó la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98), cuya descripción se ajusta mejor a las particularidades estructurales, culturales y naturales del territorio colombiano. Luego se realizó el trazado del mapa de isosistas usando herramientas de los sistemas de información geográfica.

- *Evaluación de Parámetros Físicos del terremoto*

La determinación de las características físicas del terremoto, las cuales se relacionan con la evaluación de sus parámetros físicos (localización, tiempo de ocurrencia, magnitud, intensidad,

profundidad, tamaño del foco), se realizó a partir de datos macrosísmicos obtenidos de la búsqueda documental y la aplicación de métodos macrosísmicos empíricos.

Se utilizó el método de Bakun and Wentworth (1997), el cual analiza datos de intensidad macrosísmica para determinar la localización y la magnitud de la fuente sísmica. Este método es apropiado para eventos históricos cuyos parámetros sísmicos son poco conocidos, y por lo regular asignados de manera subjetiva.

Físicamente el método se basa en dos elementos básicos: a) Para una profundidad focal dada, las intensidades decrecen con la distancia desde el epicentro, y b) Para una distancia epicentral dada, la intensidad es función de la magnitud. El método utiliza un modelo de fuente puntual, ubicada a una profundidad h y un funcional empírico apropiado de atenuación de la intensidad macrosísmica “ I ” en función de la distancia y de la magnitud del terremoto. Tiene la forma:

$$I_{ij} = f(M_j, R_{ij}) \quad (1)$$

donde “ M_j ” es la magnitud del j -ésimo terremoto (con $j = 1, \dots, N_{eq}$, donde N_{eq} es el número de terremotos considerados), “ R_{ij} ” es la distancia hipocentral [$R = (x^2 + h^2)^{1/2}$] para el “ j -ésimo” terremoto sentido en el sitio “ i ” e I_{ij} es la intensidad macrosísmica, siendo “ x_{ij} ” la distancia epicentral del “ j -ésimo” terremoto sentido en el sitio “ i ”, “ h ” la profundidad de la fuente, en la versión original, los autores fijan este valor en 10 km.

Tradicionalmente el método Bakun & Wentworth, para el modelo de atenuación, usa una funcional que es lineal con la magnitud momento y log-lineal con la distancia:

$$I_{ij} = a + bM_w - cR_{ij} - d(\log_{10} R_{ij}) \quad (2)$$

donde “ a ”, “ b ”, “ c ”, “ d ” son constantes, las cuales son calibradas de acuerdo a la región bajo estudio. En particular “ c ” corresponde al coeficiente de atenuación anaelástico y “ d ” al coeficiente de atenuación geométrico (Howell and Schultz, 1975).

Este método ha sido utilizado exitosamente para evaluar parámetros sísmicos de terremotos históricos ocurridos en el territorio colombiano (Salcedo-Hurtado y Gómez-Capera, 2013 Gómez-Capera *et al.*, 2014).

Este método aplica la ecuación (2) para modelar una magnitud MI calculada a partir de solo datos de intensidad macrosísmica, dicha magnitud computada es equivalente a la M_w si en el proceso de calibración se utilizan sismos con magnitudes en esta escala.

Para la determinación de la profundidad del foco del terremoto se aplicó el modelo de atenuación de la intensidad establecido por Blake-Shebalín, el cual en términos de la i -ésima isosista es expresado como:

$$I_i = I_0 - \gamma \log(r_i/h) \quad (3)$$

Este modelo representa la atenuación geométrica en la ecuación general del campo macrosísmico, de tal manera que la profundidad h se determina por la siguiente expresión:

$$h_n = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\sqrt{(10^{2(I_0-I_i)/\gamma} - 1)}} \quad (4)$$

Donde N es el número total de isosistas correspondiente al campo macrosísmico normal del terremoto y x_i es la distancia epicentral de la i -ésima isosista.

En la ecuación (4) h_n representa la profundidad normal del terremoto, la cual es asociada con el lugar donde inicia la ruptura. La profundidad local h_l , que corresponde a la prolongación y culminación de la ruptura, y a la cual se asocian los efectos locales del terremoto, se determina por la expresión:

$$h_i = \frac{x_j}{\sqrt{(10^{2(I_0-I_j)/\gamma} - 1)}} \quad (5)$$

En este caso, x corresponde a las isosistas de mayor valor que claramente indican el incremento de la intensidad para la generación de efectos locales. En las ecuaciones (4) y (5) el coeficiente de Blake-Shebalín (γ), puede ser determinado por la siguiente relación:

$$\gamma = -\frac{2}{\log(S_i/S_{i+1})} \quad (6)$$

donde; S_i es el área de la i -ésima isosista.

- *Evaluación de la Vulnerabilidad Social*

Para valorar las condiciones de vulnerabilidad frente en la ciudad Santiago de Cali frente al terremoto considerado, se hizo el análisis mediante la utilización de métodos mixtos (cuantitativos y cualitativos) usando datos socioeconómicos, demográficos, institucionales y estructurales, que se obtuvieron durante el trabajo de campo aplicando instrumentos y herramientas propias de la estadística y las ciencias sociales. La metodología se estructuró en siguientes fases.

- ✓ *En la Fase 1. Recolección y Análisis de Datos (Evaluación de la Fragilidad)* mediante fuentes primarias, se implementó un muestreo aleatorio simple dado el número de predios que era de 161.000 localizados en la zona de estudio, luego se diseñó y aplicó una encuesta en los predios seleccionados en la muestra, posterior a esto se realizó el análisis estadístico multivariado para datos cualitativos categóricos usando las técnicas de Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM) y Análisis de Componentes Principales (ACP), se seleccionaron 19 variables que se agruparon en tres componentes: Población, Conocimiento del riesgo y Estructural. Luego se estandarizaron los datos. Por último, se normalizaron los datos entre 0 y 1 para hacer el cálculo de la Fragilidad.
- ✓ *En la Fase 2. Recolección Datos (Evaluación de la Exposición)* se realizó mediante fuentes

secundarias, para lo cual se tomó la zona de amenaza sísmica alta de la Microzonificación sísmica de la ciudad Santiago de Cali, realizado por INGEOMINAS y DAGMA en el año 2005.

- ✓ En la Fase 3. Representación Espacial Mediante uso de SIG, en esta fase se realizó la categorización y representación espacial de la vulnerabilidad social.

La valoración de la vulnerabilidad social se llevó a cabo en la zona del abanico aluvial del río Cañaveralejo y en la Llanura aluvial del río Cauca, para ello, por un lado, se analizó el crecimiento poblacional y de infraestructura desde 1925 considerando la condición de fragilidad, y, por el otro, la exposición en torno a las propiedades geotécnicas de los suelos que cubren la ciudad. La Figura 2 muestra el proceso metodológico seguido en este proyecto.



Figura 2. Proceso metodológico para la evaluación de la vulnerabilidad social.

Fuente: elaboración propia

- *Evaluación de la Vulnerabilidad Estructural*

Para la vulnerabilidad estructural, se tomó como caso de aplicación la evaluación de la vulnerabilidad sísmica del Hospital Carlos Carmona Montoya ubicado en la zona de influencia de la Llanura aluvial del río Cauca en la ciudad Santiago de Cali (Figura 3), el cual se compone de tres edificaciones (Figura 4), las cuales fueron evaluadas de manera independiente a partir de la adaptación de una metodología cualitativa.

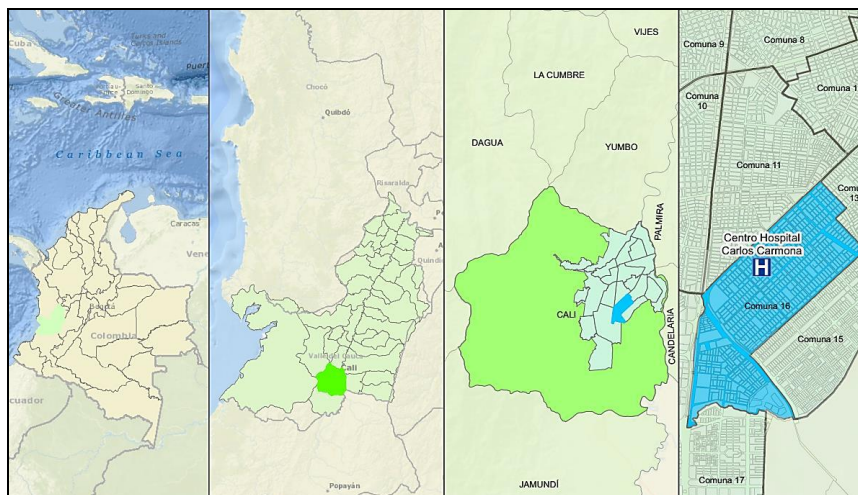


Figura 3. Localización del hospital Carlos Carmona en la ciudad Santiago de Cali.

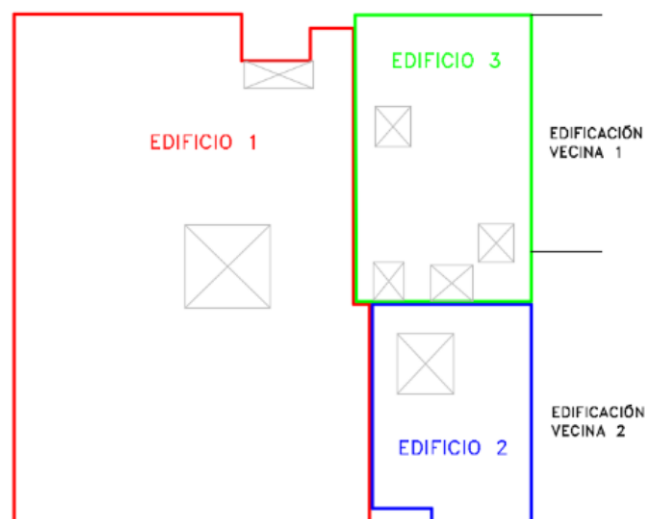


Figura 4. Vista en planta del Hospital Carlos Carmona Montoya.

La metodología utilizada adopta el método el Índice de Vulnerabilidad propuesto por Benedetti y Petrini en 1984, donde se consideran once parámetros que se fundamentan en dos aspectos: el primero consiste en la modificación de los pesos de evaluación, por medio de un análisis estadístico simple de las calificaciones dadas en investigaciones semejantes y la opinión de expertos en la línea de estructuras. El segundo aspecto corresponde a la adaptación de los parámetros de evaluación a partir de especificaciones técnicas de la Norma Sismoresistente (NSR-10) e investigaciones sobre vulnerabilidad.

Los parámetros considerados fueron los siguientes:

- Organización del sistema resistente, con este parámetro se evaluó la organización de los elementos estructurales verticales y horizontales, sin considerar el tipo de material;
- Calidad del sistema resistente, este parámetro evalúa la calidad del sistema resistente de la edificación, considerando dos factores: diseño estructural y patologías existentes;
- Resistencia convencional, evalúa la resistencia de la estructura sujeta a la acción de cargas horizontales, a partir de las condiciones técnicas con la que cuenta la edificación actualmente;
- Interacción suelo – estructura, evalúa las propiedades del suelo de acuerdo con la información disponible sobre estudios geotécnicos de la edificación;
- Diafragmas Horizontales (losas), evalúa la rigidez y las condiciones físicas que presenta los diafragmas horizontales en la edificación;
- Configuración en planta, evalúa la irregularidad en planta que pueda presentar la edificación midiendo el nivel de simetría;
- Configuración en elevación, evalúa las irregularidades en altura que no requieren de modelos analíticos conforme a las especificaciones técnicas de la NSR-10;
- Conexión entre elementos, estimar el comportamiento monolítico del esqueleto estructural, de acuerdo con la simplicidad de sus conexiones;
- Elemento de baja ductilidad, evalúa la presencia de columnas cortas;
- Elementos no estructurales, evalúa el estado de los elementos no estructurales.

Cada uno de los parámetros propuestos se le asignó su respectiva calificación y peso para la de

evaluación. Además, se establece el sistema estructural de pórticos en concreto reforzado como único sistema estructural de evaluación. Se realizaron las visitas de campo para el levantamiento de información.

Para determinar el nivel de vulnerabilidad de la estructura se toma el índice de vulnerabilidad y se clasifica en tres rangos (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación del índice de vulnerabilidad.

Clasificación del índice de vulnerabilidad	A	0 – 50	Vulnerabilidad baja
	B	51 – 100	Vulnerabilidad media
	C	101 – 150	Vulnerabilidad alta

7. Resultados obtenidos

7.1. Intensidad Macrosísmica:

En este proyecto se realizó la búsqueda de nuevas fuentes bibliográficas en archivos, hemerotecas y bibliotecas de diversas zonas del país, logrando con ello la pesquisa de nuevos datos que, con relación a los estudios macrosísmicos anteriores, amplían el número de poblaciones donde se reportan algún tipo de daño o afectación asociados al terremoto del 07 de junio de 1925, permitiendo densificar la información para, por un lado, cubrir el “gap” geográfico que presentan los estudios anteriores, y, por el otro, lograr una mejor asignación de intensidades macrosísmica en cada una de las poblaciones afectadas. La evaluación de la intensidad se hizo utilizando la descripción de la Escala EMS-98. En total se presentan 42 puntos de intensidad en diferentes poblaciones (Tabla 2).

Estos valores de intensidad complementan y mejoran la información macrosísmica sobre el terremoto del terremoto del 07 de junio de 1925 en el territorio colombiano, que previamente había sido analizado por otros autores como lo muestra la Tabla 3.

Tabla 2. Asignación de Intensidades para el terremoto del 07 de junio de 1925 en el Colombia, realizado en el presente estudio.

No.	Población Afectada	Departamento	Latitud	Longitud	Intensidad EMS-98	Calidad (Factor Q)
1	Armenia	Quindío	4,540345	-75,673538	IV	B
2	Barranquilla	Atlántico	10,996821	-74,817697	III	B
3	Bogotá	Cundinamarca	4,666816	-74,074907	IV	B
4	Briceño	Boyacá	5,690084	-73,923329	IV	B
5	Buenaventura	Valle del Cauca	3,876433	-77,00516	VI	B
6	Buga	Valle del Cauca	3,895907	-76,296803	VI	B
7	Calarcá	Quindío	4,530719	-75,640009	VI	A
8	Cali	Valle del Cauca	3,433499	-76,508045	VIII	A
9	Cerrito	Valle del Cauca	5,371984	-76,608491	VI	B
10	Cértegui	Chocó	3,724447	-75,484929	III	B
11	Chaparral	Tolima	4,21394	-74,981144	VI	B
12	Chicoral	Tolima	5,096786	-76,654594	IV	B
13	Condoto	Chocó	7,897548	-72,507868	III	B
14	Cúcuta	Norte de Santander	3,685962	-76,312964	II	B
15	Facatativá	Cundinamarca	4,809336	-74,352656	IV	B
16	Girardot	Cundinamarca	4,302331	-74,80079	IV	B
17	Guamo	Tolima	4,03175	-74,967927	IV	B
18	Ibagué	Tolima	4,435935	-75,203499	VI	B
19	Istmina	Chocó	5,15547	-76,686817	IV	B
20	Juanchito	Valle del Cauca	3,449301	-76,472402	VII	B
21	La Cumbre	Valle del Cauca	3,649477	-76,568443	VI-VII	B
22	La Unión	Valle del Cauca	4,533423	-76,103137	V-VI	B
23	Líbano	Tolima	4,92272	-75,06556	IV	B
24	Manizales	Caldas	5,066866	-75,48887	V	B
25	Medellín	Antioquia	6,256793	-75,567289	III	B
26	Palmira	Valle del Cauca	3,539569	-76,297163	V-VI	B
27	Pandi	Cundinamarca	4,192129	-74,48715	IV	B
28	Pasto	Nariño	1,210554	-77,271779	IV	B
29	Pereira	Risaralda	4,808684	-75,690835	V	B
30	Piendamó	Cauca	2,643095	-76,533272	V	B
31	Popayán	Cauca	2,466428	-76,58351	VI	B
32	Quibdó	Chocó	5,686157	-76,653563	IV	B
33	Restrepo	Valle del Cauca	3,823012	-76,520837	VI	B
34	Roldanillo	Valle del Cauca	4,414995	-76,149067	VI	B
35	Salento	Quindío	4,637412	-75,570608	IV	B
36	Sevilla	Valle del Cauca	4,265498	-75,932476	VII	B
37	Subachoque	Cundinamarca	4,929389	-74,17353	III-IV	B
38	Tadó	Chocó	5,263408	-76,55907	III	B
39	Toro	Valle del Cauca	4,63722	-76,081663	V	B
40	Ubalá	Cundinamarca	4,745284	-73,530085	III-IV	B
41	Villahermosa	Tolima	5,030765	-75,117183	III-IV	B
42	Yotoco	Valle del Cauca	3,860607	-76,38304	V-VI	B

Tabla 3. Intensidades del terremoto de 1925 asignadas en estudios anteriores.

No.	Población afectada	Departamento	Espinosa (2003) (MM)	Salcedo et al. (2007) EMS-92	Ingeominas (2010) EMS-98	Martínez, (2014) EMS-98
1	Armenia	Quindío	V	---	V	V
2	Barranquilla	Atlántico	IV	---	---	---
3	Bogotá	Cundinamarca	IV	---	IV	V
4	Briceño	Boyacá	V	---	---	---
5	Buenaventura	Valle del Cauca	VI	V	V	IV
6	Buga	Valle del Cauca	VII	VII	VI	VII
7	Calarcá	Quindío	VI	V	V	V
8	Cali	Valle del Cauca	VIII	VII-VIII	VII-VIII	VII-VIII
9	Cértégui	Chocó	---	---	---	---
10	Chaparral	Tolima	V	---	---	---
11	Chicoral	Tolima	V	---	---	---
12	Condoto	Chocó	---	---	---	---
13	Cúcuta	Norte de Santander	---	---	---	---
14	El cerrito	Valle del Cauca	---	VII	VII	VII
15	Facatativá	Cundinamarca	IV	---	---	---
16	Girardot	Cundinamarca	V	V	V	V
17	Guamo	Tolima	IV	---	---	---
18	Ibagué	Tolima	VI	VI	V	VI
19	Istmina	Chocó	---	---	---	---
20	Juanchito	Valle del Cauca	---	VII	V	V
21	La Cumbre	Valle del Cauca	VIII	VII	VII	VII
22	La Unión	Valle del Cauca	VII	VII	VI	VII
23	Líbano	Tolima	IV	---	---	---
24	Manizales	Caldas	V	---	V	V
25	Medellín	Antioquia	IV	---	IV	V
26	Palmira	Valle del Cauca	V	VI	V	VI
27	Pandi	Cundinamarca	IV	---	V	V
28	Pasto	Nariño	III	---	---	---
29	Pereira	Risaralda	VI	V	V	V
30	Pichindé	Cali – Valle del Cauca	---	---	---	V
31	Piendamó	Cauca	VII	---	---	---
32	Popayán	Cauca	VI	VI	VI	VI
33	Quibdó	Chocó	IV	---	IV	V
34	Restrepo	Valle del Cauca	VIII	VII	---	VII
35	Roldanillo	Valle del Cauca	VII	VI	VII	VI
36	Salento	Quindío	IV	---	V	V
37	Sevilla	Valle del Cauca	---	---	VI	---
38	Subachoque	Cundinamarca	IV	---	---	---
39	Tadó	Chocó	---	---	---	---
40	Toro	Valle del Cauca	---	---	---	VI
41	Ubalá	Cundinamarca	IV	---	---	---
42	Villahermosa	Tolima	IV	---	---	---
43	Yotoco	Valle del Cauca	VIII	V	VI	V

La reevaluación de las intensidades macrosísmicas de este terremoto se hace necesario, por un lado, debido a que los estudios macrosísmicos anteriores no unifican la información y evaluación de intensidades para todas las poblaciones que en conjunto ellos indican; por otro lado, a pesar que la asignación de intensidades encierra cierta incertidumbre debido a la subjetividad en el análisis de la información, se muestran grandes diferencias en las evaluaciones macrosísmicas anteriores sin que existan fuertes correlaciones estadísticas en los diversos estudios o asignaciones considerados, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Coeficiente de correlación entre los diferentes valores de intensidad asignados en estudios anteriores para el terremoto del 07 de junio de 1925.

Fuentes de Información	Espinosa (2003)	Salcedo et al. (2007)	Ingeominas (2010)	Martínez (2014)
Espinosa (2003)	1	0,485	0,388	0,459
Salcedo et al. (2007)	0,485	1	0,693	0,759
Ingeominas (2010)	0,388	0,693	1	0,816
Martínez (2014)	0,459	0,759	0,816	1

Para establecer la relación entre los diversos valores de intensidad asignados en los estudios anteriores se aplicó el coeficiente de correlación lineal de Pearson, expresado como:

$$r_{xy} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (7)$$

Donde: σ_{XY} es la covarianza muestral de las variables (X, Y) y σ_X es la desviación estándar muestral de la variable X, y σ_Y la desviación estándar muestral de la variable Y. El coeficiente de correlación es adimensional y varía en el intervalo [-1, +1], donde -1 expresa una correlación máxima inversa, mientras +1 representa una correlación máxima directa; un valor de correlación 0 que no existe correlación alguna entre las variables consideradas.

Como se aprecia en la Tabla 4, independientemente del tipo de escala macrosísmica utilizada en cada estudio, se nota muy baja correlación en los valores de intensidad asignados, mostrándose que la mayor correlación se presenta en las asignaciones dadas por Ingeominas (2010) y Martínez (2014), con un coeficiente del orden de 0,82. La correlación que existe entre

la evaluación hecha por Espinosa (2003) con las demás fuentes, es muy baja. El estudio de Espinosa (2010) se toma como referencia debido a la cantidad de poblaciones evaluadas, sin embargo, la evolución de las intensidades que este autor presenta se realizó con la escala de Mercalli Modificada que, en los últimos años, en Colombia, ha entrado en desuso para evaluación de intensidades. Todos estos aspectos marcan o justifican la necesidad de hacer nuevas interpretaciones de la información y reevaluación de la intensidad macrosísmica para el terremoto del 07 de junio de 1925, preferiblemente usando una única escala de intensidad, en este caso la EMS-98 cuya descripción y definición de niveles de intensidad, según Salcedo y Franco (2001), se ajustan mejor a las particularidades estructurales, culturales y naturales del territorio colombiano, su aplicación, como lo muestran (Salcedo y Castaño, 2011; Salcedo y Gómez, 2013; Gómez et al., 2014), presenta ventajas frente a resultados obtenidos con otras escalas macrosísmicas tradicionalmente usadas en Colombia.

A partir de la información de la Tabla 2, se realizó el respectivo mapa de intensidades, el cual muestra que la distribución geográfica de los puntos de intensidad marca una ligera tendencia SW-NE, donde los mayores valores de intensidad se asignan a las poblaciones del departamento del Valle del Cauca, en un rango que va desde V hasta VIII, el valor máximo se reporta en la ciudad de Cali. A partir de esta ciudad, se nota el decaimiento de la intensidad tanto hacia el NE como hacia el SW, marcando mayor elongación hacia el NE, tendencia que también ha sido notada en el caso de otros eventos sísmicos históricos ocurridos en la región. Dicha tendencia es claramente marcada en el mapa de isosistas, cuyas isolíneas tienen forma elíptica mostrando que su eje mayor transcurre en un azimuth de dirección SW-NE, en la cual se supone la mejor propagación de la energía elástica. Mientras que el eje menor aparece en la dirección NW-SE, en la cual se tiene mayor atenuación de la energía elástica (Figura 5).

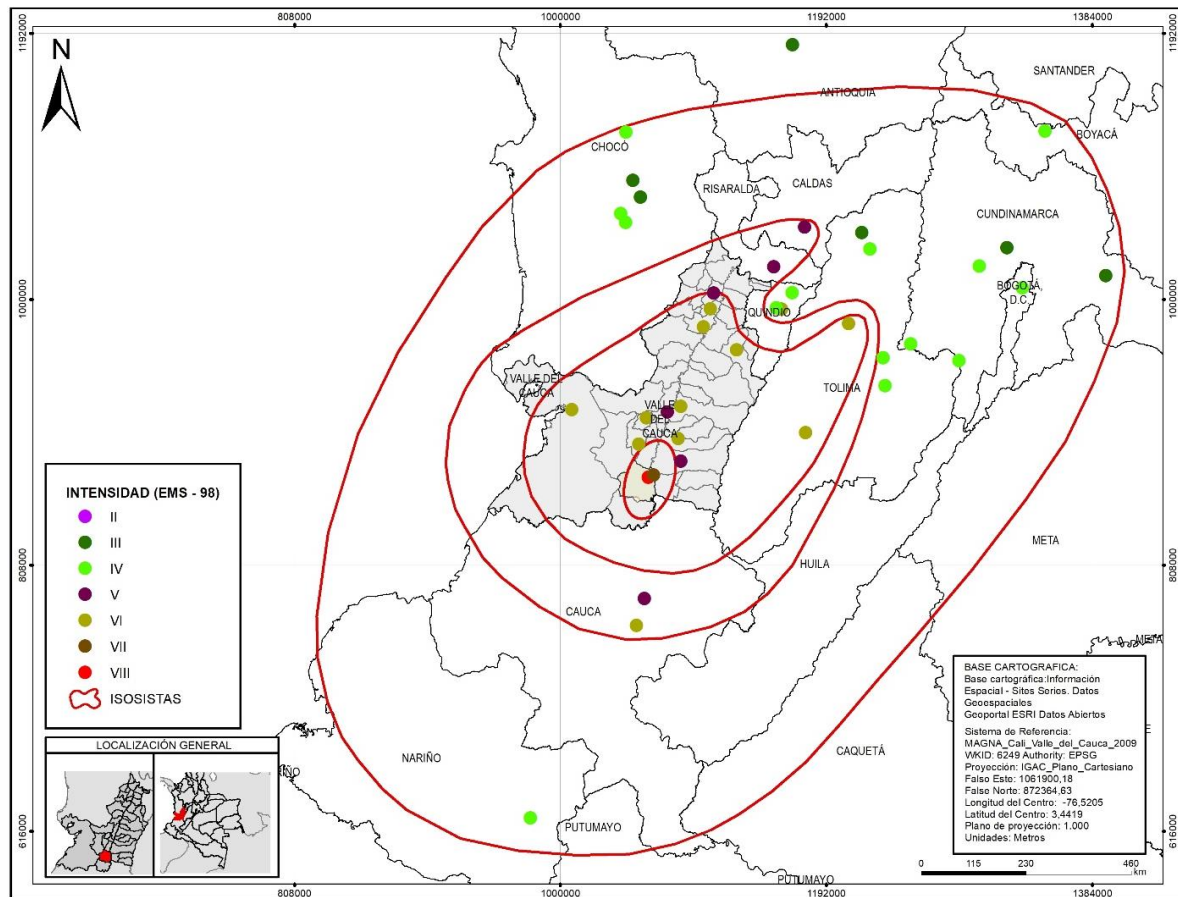


Figura 5. Mapa intensidades e isosistas del terremoto sísmico del 07 de junio de 1925.

Fuente: elaboración propia

7.2. Parámetros Físicos del terremoto:

A partir de las curvas de isosistas trazadas en este estudio se aplicaron algunos métodos empíricos de análisis macrosísmico que permitieron determinar los principales parámetros sismológicos del terremoto ocurrido el 07 de junio de 1925 en la región suroccidental de Colombia. Los resultados muestran que el epicentro macrosísmico local (E_l) se ubica en las coordenadas $\varphi = 3,45^\circ\text{N}$; $\lambda = 76,49^\circ\text{W}$, y el epicentro macrosísmico normal (E_n) está localizado en $\varphi = 3,78^\circ\text{N}$; $\lambda = 76,18^\circ\text{W}$. Se encontró que la profundidad del foco normal $hn = 37,4 \pm 2,89$ km, y la del foco local $hl = 15,2 \pm 4,0$ km. Estos datos permitieron proponer un modelo geométrico de ruptura del foco sísmico.

La magnitud y energía sísmica liberada se calcularon aplicando ecuaciones existentes en la literatura, obteniéndose 5,4M; la energía sísmica liberada obtenida es $E = 5,75 \cdot 10^{21}$ ergios. De igual manera, se evaluó el momento sísmico escalar $M_0 = 1,15 \cdot 10^{26}$ dinas-cm y la respectiva magnitud momento sísmico $M_w = 6,67$. Por último, se calculó la magnitud de ondas superficiales $M_s = 6,17$, valor concordante con el de 6,3Mw encontrado recientemente por el proyecto Global Earthquake Model (USGS-ISCgem, 2015). La aceleración sísmica es de 0,15 g. En la Tabla 5, se resumen los parámetros sismológicos del terremoto del 07 de junio de 1925 obtenidos en el presente estudio.

Tabla 5. Parámetros sismológicos del terremoto del 07 de junio de 1925, obtenido a partir de datos macrosísmicos.

Parámetro sismológico	Símbolo	Unidad	Valor
Epicentro macrosísmico local	E_l	grados	$\varphi = 3,45^\circ\text{N};$ $\lambda = -76,49^\circ\text{W}$
Epicentro macrosísmico normal	E_n	grados	$\varphi = 3,78^\circ\text{N};$ $\lambda = -76,18^\circ\text{W}$
Coefficiente de expansión geométrica	γ	adimensional	7,94
Profundidad normal del foco	h_n	km	$37,4 \pm 2,89$
Profundidad local del foco	h_l	km	$15,6 \pm 4,0$
Buzamiento plano de fractura	θ	grados	24°
Extensión horizontal del foco	l_x	km	15,2
Extensión vertical del foco	l_z	km	32,7
Intensidad macrosísmica máxima	I_0	escala EMS-98	VIII (8)
Magnitud Richter	M	adimensional	5,4
Energía sísmica liberada	E	ergios	$5,75 \cdot 10^{21}$
Momento sísmico escalar	M_0	dinas-cm	$1,15 \cdot 10^{26}$
Magnitud momento sísmico	M_w	adimensional	6,67
Magnitud de ondas superficiales	M_s	adimensional	6,17
Aceleración sísmica	a	cm/seg ²	$146,78 \approx 0,15g$

7.3. Vulnerabilidad Social

- *Índice Fragilidad*

Tal como se mencionó en la metodología, para el cálculo del Índice de Vulnerabilidad Social, es decir la Fragilidad, se realizó la normalización de los resultados obtenido mediante el análisis de componentes principales de tal manera que este estuviese escalado entre 0 y 1, permitiendo comparación de las diferentes variables.

De acuerdo al cálculo del IVS que da respuesta a la fragilidad, siendo este un componente de la vulnerabilidad social, se puede evidenciar que en la zona de estudio se presentan tres niveles de fragilidad alta, media y baja. En las Figuras 6 y 7 se muestra que de los 1.093 predios encuestados en la Llanura se consideran que 477 predios, es decir, el 44% presentan una alta fragilidad, 455 predios que corresponde al 42% presentan una fragilidad media y 161 predios, que corresponde al 15%, presentan una baja fragilidad. En cuanto al Abanico, de los 386 predios encuestados dio como resultado que 109 predios, es decir, el 28% se considera una alta fragilidad, el 42% que corresponde a 154 predios presentan una fragilidad media y 123 predios que corresponden al 32% presentan una baja fragilidad.

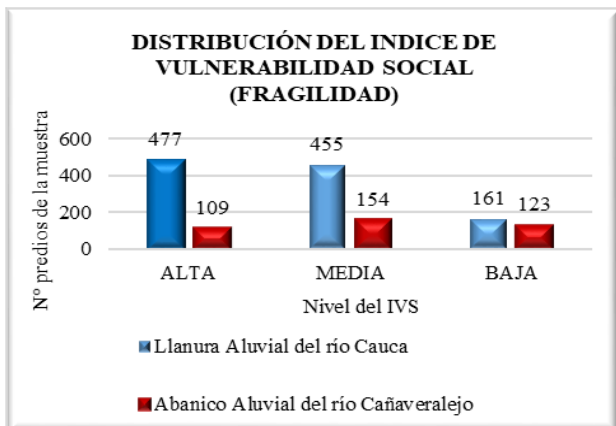


Figura 6. Índice de Vulnerabilidad Social IVS por predios seleccionados en la muestra

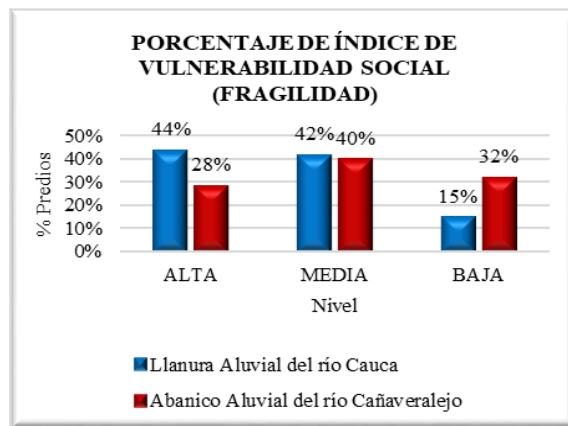


Figura 7. Porcentaje del IVS en los predios encuestados

En la Figura 8 se muestra espacialmente la distribución de la fragilidad en cada uno de los predios encuestados. En esta representación gráfica se logra visualizar algunas concentraciones en la Llanura Aluvial del río Cauca, los predios encuestados en el barrio Brisas de los Álamos en la comuna 2 presentan una alta Fragilidad, hacia el barrio Ciudadela Floralia en la comuna 6, en la comuna 21 hacia el sector de Potrero Grande y Pizamos, en la comuna 15 en el barrio Valle Verde, En el Abanico Aluvial del río Cañaveralero se puede visualizar que en la comuna 17 en los barrios El Gran Limonar, Primero de Mayo, El Guabal. en la comuna 19 en el barrio Tequendama, San Fernando y El Cedro, Cañaveralero-Seguros Patria y Pampalinda, en la comuna 10 en el barrio El Panamericano.

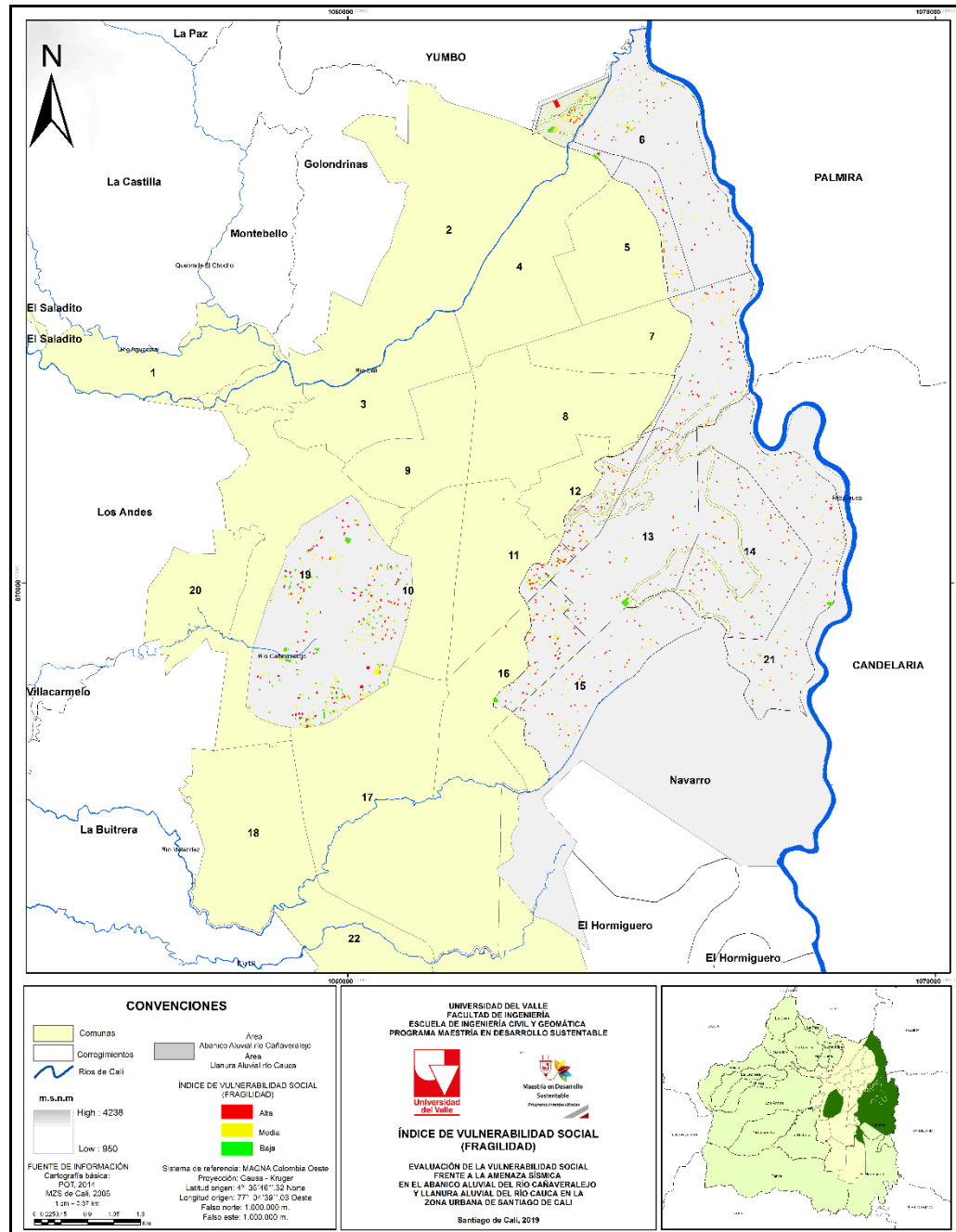


Figura 8. Representación del Índice de Vulnerabilidad Social – IVS (Fragilidad)
Fuente: elaboración propia

- *Evaluación de la Exposición*

La evaluación de la exposición hace referencia a los elementos estructurales y la población de una determinada área geográfica que por su localización son potencialmente afectables ante la ocurrencia de un evento amenazante.

Para este estudio la exposición es entendida como una relación entre la peligrosidad y la densidad de los elementos en contacto directo con la misma, es decir aquellas edificaciones y personas asentadas sobre las zonas de estudio con un cierto nivel de amenaza. La localización espacial de cada uno de los elementos estructurales y población, que de acuerdo con los resultados del estudio de la Microzonificación sísmica de la ciudad Santiago de Cali, particularmente para la zona de estudio, corresponde a un nivel de amenaza alta, por lo tanto, se considera que todos los elementos que allí se localizan están en grado de exposición alto.

Teniendo en cuenta lo anterior, se tiene un total de 149.057 edificaciones y 1.597.039 de personas expuestas en la Llanura aluvial del río Cauca y 12.329 edificaciones y 382.199 de personas en el Abanico aluvial del río Cañaveralejo expuestas en amenaza alta ante la ocurrencia de un sismo.

- *Categorización y Especialización de la Vulnerabilidad Social*

La vulnerabilidad social en este estudio fue definida como una condición intrínseca de la población y las edificaciones en términos del grado de exposición y el IVS (fragilidad), frente a la ocurrencia de un sismo similar al ocurrido el 07 de junio de 1925, es decir, la fragilidad es una medida de la capacidad de un elemento para anticipar y responder ante los efectos causados por un fenómeno amenazante. Mientras que la exposición hace alusión al grado de sometimiento de un determinado elemento frente a un nivel de peligrosidad dada, es decir la zona de contacto entre el elemento expuesto y la amenaza.

Después de haber obtenido la vulnerabilidad social, se adoptó una escala numérica que

indica los niveles de vulnerabilidad (Alto, Medio y Bajo). Esto se realizó usando el método clasificación de Corte Natural (herramienta de Arcgis 10.2 académica). Este método permite organizar la información de acuerdo a unas clases que muestran agrupaciones de datos con valores similares y al mismo tiempo maximizan las diferencias de las clases.

En las Figuras 9 y 10 se muestra la distribución y el porcentaje de la Vulnerabilidad Social en cada uno de los predios seleccionados en la muestra, dando como resultado que de los 1093 predios de la Llanura 984 presentan una vulnerabilidad social alta, es decir el 90%, y 109 predios que corresponden al 10% presentan una Vulnerabilidad media. En cuanto al Abanico se tiene que, de los 386 predios de la muestra, 286 presentan vulnerabilidad social alta, siendo el 74% y el 26% corresponde a los 100 restantes se encuentran en vulnerabilidad social media.

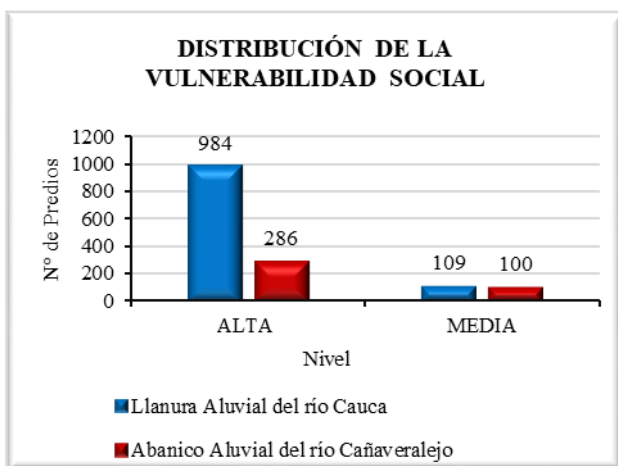


Figura 9. Distribución de la vulnerabilidad social

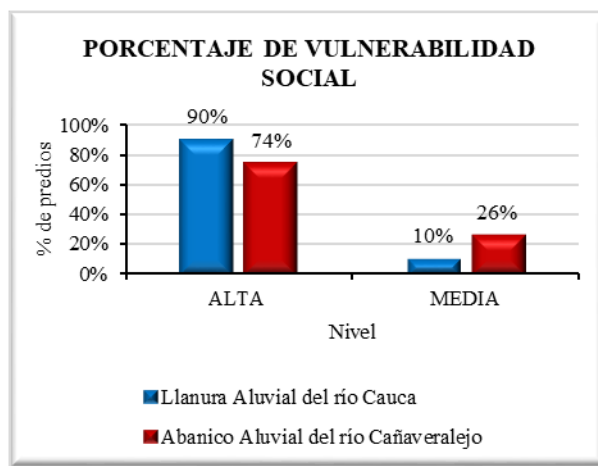


Figura 10. Porcentaje de la Vulnerabilidad Social

En la Figura 11 se espacializan los resultados de la vulnerabilidad social, el cual es el producto del cálculo del Índice del Vulnerabilidad Social (fragilidad) con la exposición de los elementos que se encuentra localizados en la zona de estudio.

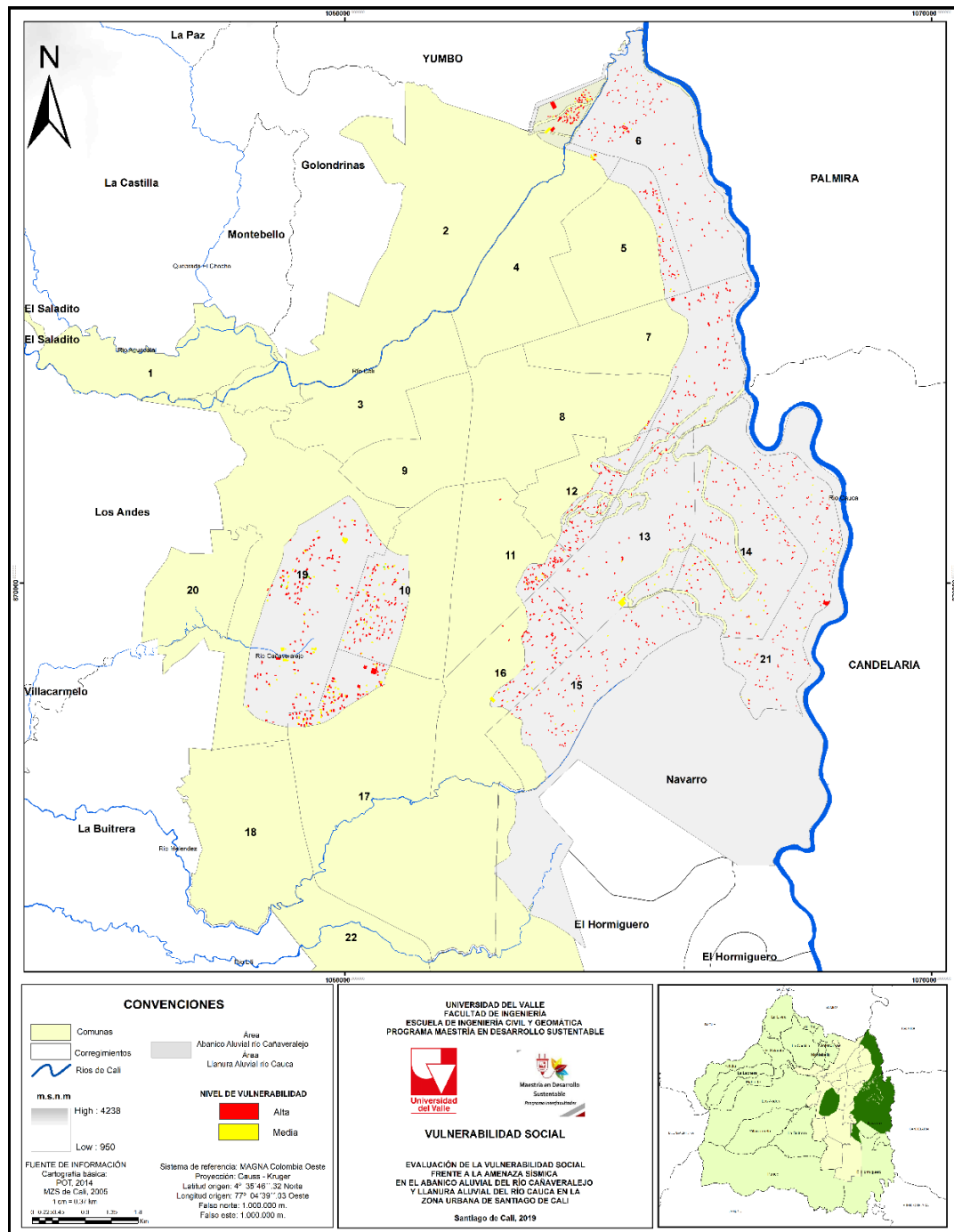


Figura 11. Representación de la Vulnerabilidad Social ante amenaza sísmica

En la Figura 12 se muestra el porcentaje del nivel de vulnerabilidad social de cada una de las comunas considerando el mayor porcentaje de predios en el nivel de vulnerabilidad social, la comuna 4, el 64% de los predios se encuentran en vulnerabilidad social media, el resto de las comunas presentan porcentajes entre el 68% y el 97% de los predios con el nivel de vulnerabilidad alta.

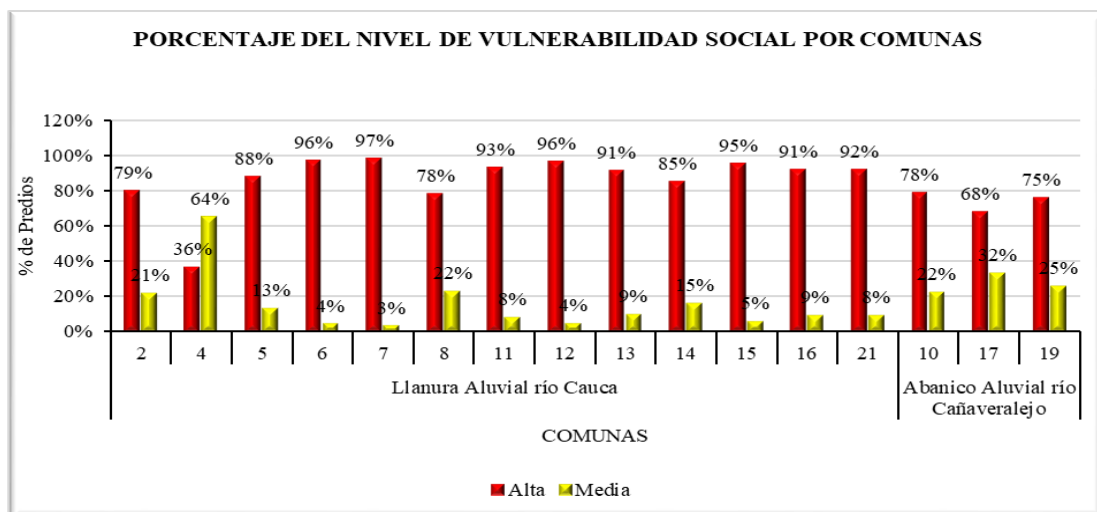


Figura 12. Porcentaje del nivel de Vulnerabilidad Social por comunas.

Los niveles de vulnerabilidad se interpretan de la siguiente manera:

- ✓ Vulnerabilidad social Baja: son las zonas que se caracterizan por presentar niveles de amenaza baja con unas condiciones de vulnerabilidad bajas.
- ✓ Vulnerabilidad Media: son las zonas que se caracterizan por presentar niveles de amenaza moderada con niveles de vulnerabilidad socioeconómica y estructural moderados.
- ✓ Vulnerabilidad Alta: son las zonas que se caracterizan por presentar condiciones de amenaza alta, además de una vulnerabilidad alta debido a que las edificaciones presentan deficiencias en los materiales de construcción y daños moderados o graves. La población con poca o nula capacidad de resistencia.

La Figura 13 muestra espacialmente la vulnerabilidad social en cada una de las comunas.

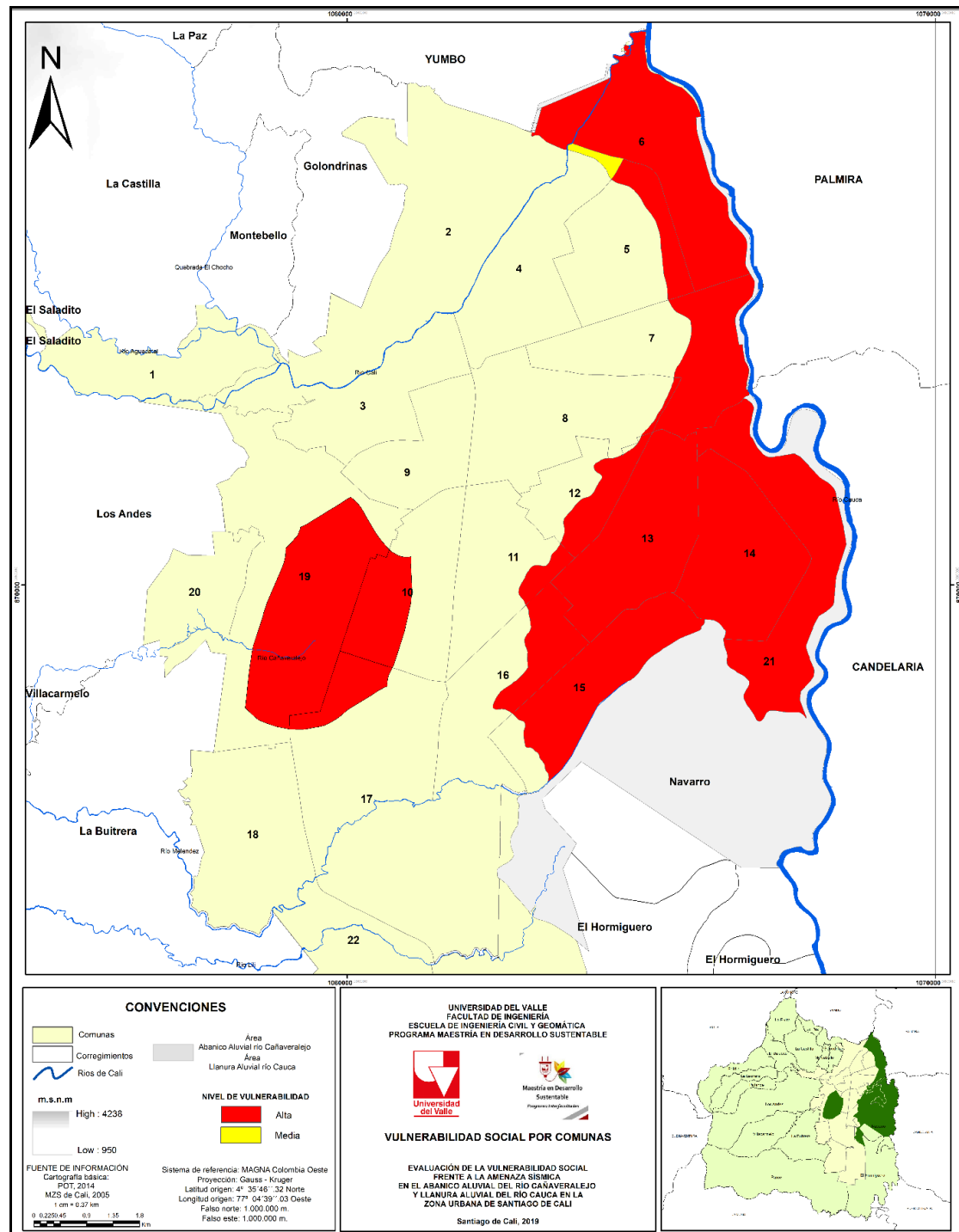


Figura 13. Representación de la Vulnerabilidad Social por Comunas.

7.4. Vulnerabilidad Estructural

En la Tabla 7 se muestra el puntaje obtenido para determinar el nivel de Vulnerabilidad de cada una de las edificaciones, a partir de los criterios establecidos en cada parámetro y con los pesos propuestos.

Tabla 7. Clasificación de la evaluación del índice de vulnerabilidad

Parámetros de evaluación	Edificación 1		Edificación 2		Edificación 3	
	Calificación		Calificación		Calificación	
	Puntaje	Tipo	Puntaje	Tipo	Puntaje	Tipo
1. Organización del sistema resistente	29,2	A	0	A	0	A
		B		B		B
		C		C		C
2. Calidad del sistema resistente	12,6	A	12,6	A	12,6	A
		B		B		B
		C		C		C
3. Resistencia convencional	14,6	A	14,6	A	14,6	A
		B		B		B
		C		C		C
4. Interacción suelo estructura	7,8	A	7,8	A	7,8	A
		B		B		B
		C		C		C
5. Diafragmas horizontales (Losas)	4,1	A	0	A	0	A
		B		B		B
		C		C		C
6. Configuración en planta	0	A	0	A	0	A
		B		B		B
		C		C		C
7. Configuración en elevación	15,2	A	15,2	A	15,2	A
		B		B		B
		C		C		C
8. Conexión entre elementos	11,4	A	11,4	A	11,4	A
		B		B		B
		C		C		C
9. Elemento de baja ductilidad	5,9	A	5,9	A	5,9	A
		B		B		B
		C		C		C
10. Elementos no estructurales	5,6	A	5,6	A	5,6	A
		B		B		B
		C		C		C
11. Estado de conservación	17	A	0	A	0	A
		B		B		B
		C		C		C
SUMATORIA	123,4	A	73,1	A	73,1	A
		B		B		B
		C		C		C

Se muestra que, a partir de la metodología aplicada, para el Hospital Carlos Carmona Montoya que se compone de tres edificaciones evaluadas por independiente, el índice de vulnerabilidad presenta una calificación de “C”, alta para la edificación 1, siendo está la más vulnerable y “B” para la edificación 2 y 3 con vulnerabilidad media (Tabla 8).

Tabla 8. Resultados de la evaluación del índice de vulnerabilidad.

Edificación	Índice de vulnerabilidad	Nivel de vulnerabilidad
Edificación 1	123,4	Alta
Edificación 2	73,1	Media
Edificación 3	73,1	Media

Para el cálculo del índice de daño del Hospital Carlos Carmona Montoya se obtiene el porcentaje de afectación para cada edificación considerando las características mencionadas mediante la “Simulación de funciones de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño sísmico para edificaciones de hormigón armado en sistema pórtico”. En la simulación se hizo el análisis bajo fuerzas sísmicas y desempeño estructural, para determinar el índice de daño de la estructura frente a seis niveles de demanda sísmica y finalmente obtener las funciones de vulnerabilidad para cada nivel de aceleración para cada edificación (Figura 14).

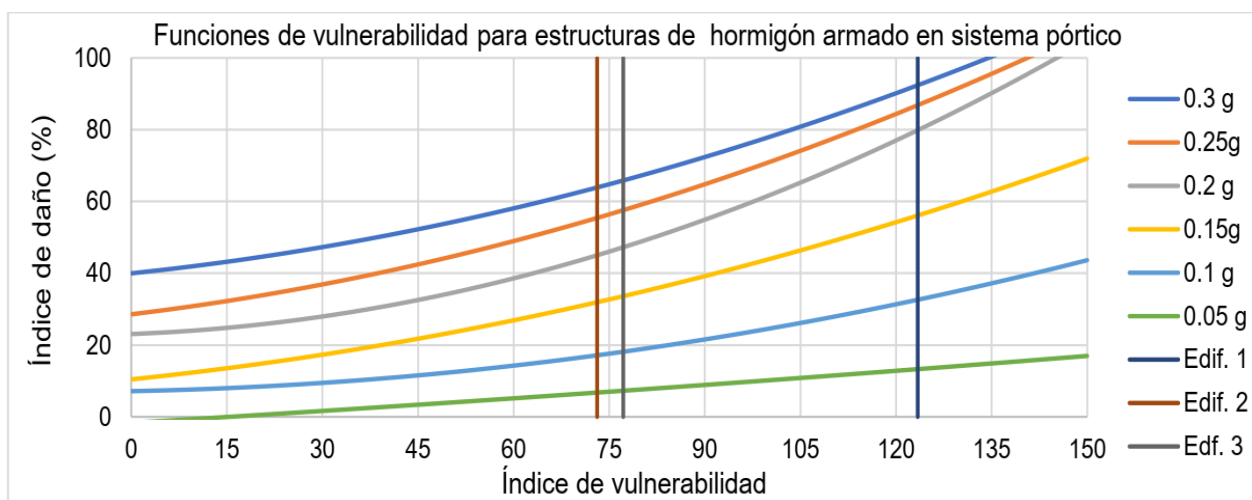


Figura 14. Funciones de vulnerabilidad para estructuras de hormigón armado en sistema pórtico.
Fuente: (Maldonado, Gómez, & Chio, 2008).

La Figura 15 indica el porcentaje de daño para cada edificación y nivel de aceleración. Como se puede observar la edificación 1 comprende los porcentajes más altos de índice de daño, esto se debe al alto nivel de vulnerabilidad que posee.

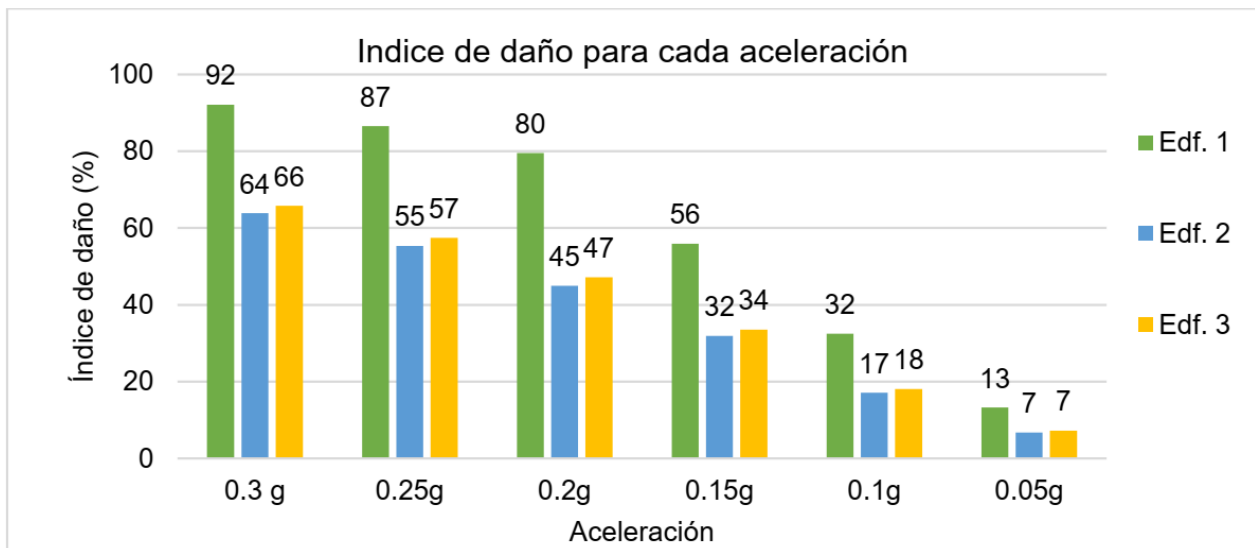


Figura 15. Índice de daño para cada edificación y aceleración.

Se establece que el índice de daño, a partir de la aplicación de la función de vulnerabilidad y con un sismo de diseño de 0,25 g, es de 87%, 55% y 57% para las edificaciones 1, 2 y 3, respectivamente. De acuerdo con estos resultados se puede decir que, en el caso de ocurrencia de un sismo de gran magnitud, el Hospital Carlos Carmona no podría operar en su totalidad y las zonas de mayor afectación se reflejarían en la edificación 1 donde se ubican, la sala de partos, sala de hospitalización, urgencias y algunos consultorios, servicios de gran importancia para los usuarios.

Finalmente, se realizó un análisis de las probables pérdidas funcionales debidas a las fallencias estructurales halladas en las edificaciones, distinguiendo las zonas vulnerables que podrían quedar inhabilitadas. La evaluación permite al Hospital conocer su estado de vulnerabilidad, haciendo énfasis en las zonas críticas y de afectación, de tal forma que se realicen análisis estructurales más detallados para futuras intervenciones.

8. Principales conclusiones y/o recomendaciones

Estos resultados muestran que el análisis macrosísmico es una buena herramienta para determinar los parámetros sismológicos de terremotos históricos poco estudiados, lo cual redundará en beneficio de los catálogos sismológicos y contribuye a mejorar los resultados de la amenaza y el riesgo sísmico local y regional.

De esta manera, se establece que, por los efectos y daños causados en diversas poblaciones de la región suroccidental del territorio colombiano, el terremoto ocurrido el día 07 de junio de 1925 puede considerarse como uno de los eventos intraplacas que posiblemente contribuyen al incremento significativo del riesgo sísmico de la principal zona de amenaza sísmica del país. Por tales circunstancias, el estudio de las particularidades de este sismo ha sido tema de interés para diferentes autores, quienes han aportado datos e información de tipo instrumental y macrosísmico para lograr mejor el conocimiento de sus características físicas.

Para el presente trabajo, se ha realizado la búsqueda de nuevas fuentes bibliográficas en archivos, hemerotecas y bibliotecas de diversas zonas del país, logrando con ello la pesquisa de nuevos datos que, con relación a los estudios macrosísmicos anteriores, amplían el número de poblaciones donde se reporta algún tipo de daño o afectación, permitiendo densificar la información para, por un lado, cubrir el “gap” geográfico que presentan los estudios anteriores, y, por el otro, lograr una mejor asignación de intensidades en la escala macrosísmica europea EMS-98. Se presentan 42 puntos de intensidad en diferentes poblaciones, permitiendo la elaboración del respectivo mapa de intensidades, el cual muestra que la distribución geográfica de los puntos de intensidad marca una tendencia SW-NE, donde los mayores valores de intensidad se asignan a las poblaciones del departamento del Valle del Cauca, en un rango que va desde V hasta VIII, el valor máximo se reporta en la ciudad de Cali. A partir de aquí, se nota el decaimiento de la intensidad tanto hacia el NE como hacia el SW, marcando mayor elongación hacia el NE, tendencia que coincide con las principales estructuras tectónicas de la región.

Los parámetros sismológicos (localización y magnitud del terremoto del 07 de junio de 1925, se calcularon aplicando el método Bakun and Wentworth y la relación de atenuación propuesta por Gómez-Capera y Salcedo-Hurtado, la cual corresponde a una “Intensity Prediction Equation” (IPE), obteniéndose una magnitud macrosísmica equivalente a M_w de $6,64 \pm 0,16$. Mientras que para la localización epicentral se proponen las coordenadas $3,289^\circ$ de latitud norte y $76,94^\circ$ de longitud oeste, ubicado a unos 50 km al sur-oeste de la ciudad Santiago de Cali.

Por otro lado, la aplicación del método de Shebalin, arroja que el epicentro macrosísmico local (E_l) se localiza en la coordenadas $\varphi = 3,45^\circ N$; $\lambda = 76,49^\circ W$, mientras que el epicentro macrosísmico normal (E_n) está localizado a $\varphi = 3,78^\circ N$; $\lambda = 76,18^\circ W$. Se encontró que la profundidad foco normal es $h_n = 37,4 \pm 2,89$ km, y la del foco local es $h_l = 15,6 \pm 4,0$ km. La magnitud y energía sísmica liberada se calcularon aplicando las ecuaciones formuladas por Gutenberg and Richter (1942), obteniéndose que $M = 6,88$, valor muy similar al propuesto inicialmente por Gutenberg-Richter (1954), quienes asignaron magnitud de 5,4; el valor de la energía sísmica liberada $E = 5,75 \cdot 10^{21}$ ergios. De igual manera, usando las relaciones empíricas desarrolladas por Kanamori (1977), se determinó el momento sísmico escalar $M_0 = 1,15 \cdot 10^{26}$ dinas-cm y la respectiva magnitud momento sísmico $M_w = 6,67$. Por último, también mediante una relación empírica se obtuvo la magnitud de ondas superficiales $M_s = 6,17$. Se obtuvo un valor de aceleración sísmica de 0,15g. Se nota la concordancia entre de los valores de magnitud M_w obtenidos con los dos modelos macrosísmicos de Bakun and Wentworth (1997) y Shebalin (1968).

La aplicación del método de índice de vulnerabilidad en el presente proyecto permitió entender el comportamiento sísmico de las edificaciones que conforman el Hospital Carlos Carmona Montoya, a partir del análisis de las características físicas observadas en la evaluación cualitativa; orientando de esta manera, la ejecución de estudios más avanzados. Se establece que el índice de daño, para el Hospital Carlos Carmona, considerando un sismo de diseño de 0,25 g, es de 87%, 55% y 57% para las edificaciones 1, 2 y 3, respectivamente. Estos resultados permiten pronosticar que, en caso de ocurrencia de un sismo, por de gran magnitud, por ejemplo, similar al del 07 de junio de 1925, el Hospital Carlos Carmona no podría operar en su totalidad y las zonas de mayor afectación se reflejarían en la edificación 1 donde se ubican,

la sala de partos, sala de hospitalización, urgencias y algunos consultorios, servicios de gran importancia para los usuarios.

Con el análisis de pérdidas funcionales realizado en el Hospital Carlos Carmona Montoya, se evidenció que estos pueden ser de gran utilidad para la planificación de reformas futuras a una edificación, pues tienen en cuenta aspectos funcionales y de operatividad con las que ésta cuenta. Además, justifica dichas reformas, señalando puntualmente las consecuencias en el caso de no ejecutarlas.

Esta investigación contribuye con una alternativa metodológica para la determinación de la vulnerabilidad sísmica en establecimientos de salud de la ciudad, que cuenten con un sistema de resistencia de pórticos en concreto reforzado. Ayudando de esta forma, a analizar la capacidad de atención que puedan tener estos ante el impacto que puede generar un evento sísmico.

9. Impactos actual o potencial:

Desde el punto de vista académico, el proyecto permitió llevar al aula con los estudiantes de los cursos de sismología y geodinámica, para apropiación de los estudiantes, la aplicación de los métodos macrosísmicos empíricos de Bakun and Wentworth (1997) y Shebalin (1968), para la determinación de parámetros físicos de terremotos históricos, que también pueden ser utilizados para sismos recientes. De igual manera, permitió que los estudiantes precisaran y profundizaran en los métodos de evaluación de la vulnerabilidad social y estructural ante eventos sísmicos.

Motivados por la enseñanza de estos métodos, se logró que cuatro estudiantes de pregrado de los programas académicos de Geografía e Ingeniería Civil, y una de Maestría en Desarrollo Sustentable, decidieran realizar sus respectivos trabajos de grado y tesis para optar los correspondientes títulos profesionales. Los trabajos fueron culminados satisfactoriamente.

De igual manera, en el proyecto estuvo vinculado un estudiante de Doctorado en Ciencias

Ambientales de la Universidad del Valle, quien también adelanta su trabajo de tesis en la temática relacionada con este proyecto.

En lo relacionado con la divulgación, los resultados obtenidos fueron presentados en diversos:

Interno: Participación en el evento La sinergia en la gestión del riesgo, realizado en la Universidad del Valle. En este evento se presentaron los resultados de los trabajos grado y tesis de los estudiantes de pregrado y maestría.

Local: Presentación de los resultados de los parámetros físicos del terremoto del 07 de junio de 1925 ante el Consejo Municipal de Gestión del Riesgo del municipio Santiago de Cali.

Internacional: Participación en el Primer Encuentro Internacional de Cuerpos Académicos de Investigación en materia de Problemáticas Territoriales, organizado por el cuerpo académico de Procesos Socioeconómicos y Espaciales de la Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México. En este evento participó el estudiante de Doctorado en Ciencias Ambientales, Jorge Andrés Vélez Correa, vinculado al proyecto y perteneciente al grupo de investigación Georiesgo, quien presentó la ponencia “Análisis del Escenario de Riesgo sísmico en Santiago de Cali ante la ocurrencia de un terremoto similar al de junio de 1925.

Como resultados del proyecto, se realizaron tres artículos que han sido sometidos en revistas internacionales: Andean Geology (Revista Geológica de Chile) y Cuadernos de Investigación Geográfica de la Universidad de la Rioja (España).

Desarrollos futuros: Se espera que los parámetros físicos del terremoto del 07 de junio de 1925 obtenidos en el presente proyecto sean incorporados en los catálogos sísmicos regionales y nacional, y sean usados apropiadamente para mejorar la evaluación de la amenaza y riesgo sísmico, así como en los proyectos relacionados con la planificación territorial y del desarrollo local y regional.

10. Productos:

Tabla 9. Cantidad y tipo de productos pactados en el *Acta de Trabajo y Compromiso* y productos finalmente presentados

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS				No. de PRODUCTOS PRESENTADOS			
Productos de nuevos conocimientos								
Artículo en revista ISI-SCOPUS:	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
Artículo completo publicado en revistas indexadas	A1	A2	B	C	A1	A2	B	C
		2			3 (1 En corrección 2 En revisión)			
Libros de autor que publiquen resultados de investigación								
Capítulos en libros que publican resultados de investigación								
Productos o procesos tecnológicos patentados o registrados								
☐ Prototipos y patentes								
☐ Software								
Productos o procesos tecnológicos usualmente no patentables o protegidos por secreto industrial								
Normas basadas en resultados de investigación								

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
	No. de estudiantes vinculados	No. de tesis	No. De estudiantes Vinculados	No. De tesis
Formación de recursos humanos				
Estudiantes de pregrado	1	1	2	1
Semillero de Investigación	1	1	2	1
Estudiantes de maestría	1	1	1	1
Estudiantes de doctorado	1	--	1	--
Joven investigador				
Productos de divulgación				
Publicaciones en revistas no indexadas				
Ponencias presentadas en eventos (congresos, seminarios, coloquios, foros)	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales
Propuesta de investigación	1	1	4	1
Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación.	1		1 Propuesto	

A continuación, se precisa la información de cada uno de los productos obtenidos y relacionados en la tabla anterior, y se anexa copia de las respectivas constancias.

Tabla 10. Detalle de productos

Tipo de producto:	Artículo
Nombre General:	Revista Andean Geology (Revista Geológica de Chile). En corrección. Se anexa manuscrito.
Nombre Particular:	Parámetros sismológicos del terremoto del 07 de junio de 1925 a partir de datos macrosísmicos.
Ciudad y fechas:	Santiago (Chile). Artículo en Corrección a partir de las observaciones de los revisores
Participantes:	Elkin De Jesús Salcedo Hurtado, Juan Camilo Blandón Silva y Luisa Fernanda Ríos García.
Sitio de información:	Centro de Documentación OSSO
Formas organizativas:	Grupos de investigación Georiesgo – OSSO, Departamento de Geografía

Tipo de producto:	Artículo
Nombre General:	Cuadernos de Investigación Geográfica. Sometido. Se anexa manuscrito.
Nombre Particular:	Determinación de la magnitud y epicentro macrosísmico del terremoto del 07 de junio de 1925 en Colombia aplicando el algoritmo Bakun y Wentwort.
Ciudad y fechas:	La Rioja (España). Artículo sometido, en espera de conceptos y observaciones de los revisores.
Participantes:	Elkin De Jesús Salcedo Hurtado, Luisa Fernanda Ríos García, Juan Camilo Blandón Silva y Augusto Antonio Gómez Capera.
Sitio de información:	Centro de Documentación OSSO
Formas organizativas:	Grupos de investigación Georiesgo – OSSO, Departamento de Geografía



Tipo de producto:	Artículo
Nombre General:	Cuadernos de Investigación Geográfica. Sometido. Se anexa manuscrito.
Nombre Particular:	Evaluación de Intensidades macrosísmicas del terremoto del 07 de junio de 1925 en el suroccidente de Colombia.
Ciudad y fechas:	La Rioja (España). Artículo sometido, en espera de conceptos y observaciones de los revisores.
Participantes:	Elkin De Jesús Salcedo Hurtado, Juan Camilo Blandón Silva y Luisa Fernanda Ríos García.
Sitio de información:	Centro de Documentación OSSO
Formas organizativas:	Grupos de investigación Georiesgo – OSSO, Departamento de Geografía



Tipo de producto:	Trabajo de Grado
Nombre General:	Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un hospital ubicado en la zona de influencia de la llanura aluvial del Río Cauca en la ciudad Santiago de Cali, a partir de la adaptación de una metodología cualitativa existente.
Nombre Particular:	Trabajo de Grado - Pregrado en Ingeniería Civil, Universidad del Valle.
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali, 2019
Participantes:	Estudiante: Juliana Andrea Pinilla Montoya y Omar Andrés Prieto Arias Director: Elkin De Jesús Salcedo Hurtado
Sitio de información:	Biblioteca Central, Centro de Documentación Escuela de Ingeniería Civil y Geomática, Universidad del Valle.
Formas organizativas:	Grupos de investigación Georiesgo – OSSO, Departamento de Geografía, Universidad del Valle.



Tipo de producto:	Trabajo de Grado
Nombre General:	Determinación de parámetros macrosísmicos del terremoto del 07 de junio de 1925 y configuración de elementos expuestos en Santiago de Cali ante la probabilidad de su ocurrencia.
Nombre Particular:	Trabajo de Grado - Pregrado en Geografía, Universidad del Valle.
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali, 2017
Participantes:	Estudiante: Luisa Fernanda Ríos García y Juan Camilo Blandón Silva Director: Elkin De Jesús Salcedo Hurtado
Sitio de información:	Biblioteca Central, Centro de Documentación Departamento de Geografía, Universidad del Valle.
Formas organizativas:	Grupos de investigación Georiesgo – OSSO, Departamento de Geografía, Universidad del Valle.



Tipo de producto:	Tesis
Nombre General:	Vulnerabilidad social frente a la amenaza sísmica en el abanico aluvial del río Cañaveralejo y llanura aluvial del río Cauca en la zona urbana de Santiago de Cali, Colombia.
Nombre Particular:	Tesis de Maestría en Desarrollo Sustentable, Universidad del Valle.
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali, 2020
Participantes:	Estudiante: Alba Nidia Castaño Castaño Director: Elkin De Jesús Salcedo Hurtado
Sitio de información:	Biblioteca Central, Centro de Documentación Escuela de Ingeniería Civil y Geomática, Universidad del Valle.
Formas organizativas:	Grupos de investigación Georiesgo – OSSO, Departamento de Geografía, Universidad del Valle.



Tipo de producto:	Ponencia Nacional
Nombre General:	Segunda sesión ordinaria del Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres de Santiago de Cali.
Nombre Particular:	Eventos sísmicos que han afectado la ciudad de Cali desde 1566 hasta 2013, asignación magnitud y profundidad teniendo como marco de referencia el terremoto del 07 de junio para la expansión de la zona urbana desde 1910 hasta 2014.
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali, 29 de marzo de 2017
Participantes:	Estudiante: Elkin De Jesús Salcedo Hurtado
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Grupos de investigación Georiesgo – OSSO, Departamento de Geografía, Universidad del Valle.



Tipo de producto:	Ponencia Nacional
Nombre General:	Taller "LA SINERGIA EN LA GESTION DEL RIESGO. Facultad de Humanidades y Departamento de Geografía, Universidad del Valle
Nombre Particular:	Cálculo de los parámetros físicos del terremoto del 07 de junio de 1925 a partir de datos macrosísmicos.
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali, 24 al 27 de julio de 2018
Participantes:	Estudiante: Luisa Fernanda Ríos García
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Grupos de investigación Georiesgo – OSSO, Departamento de Geografía, Universidad del Valle.



Tipo de producto:	Ponencia Nacional
Nombre General:	Taller “LA SINERGIA EN LA GESTION DEL RIESGO. Facultad de Humanidades y Departamento de Geografía, Universidad del Valle
Nombre Particular:	Gestión del Riesgo y Ordenamiento Territorial.
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali, 24 al 27 de julio de 2018
Participantes:	Estudiante: Jorge Andrés Vélez Correa
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Grupos de investigación Georiesgo – OSSO, Departamento de Geografía, Universidad del Valle.

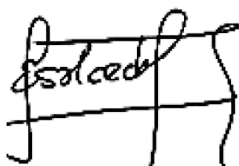


Tipo de producto:	Ponencia Nacional
Nombre General:	Taller "LA SINERGIA EN LA GESTION DEL RIESGO. Facultad de Humanidades y Departamento de Geografía, Universidad del Valle
Nombre Particular:	Metodología para la evaluación macrosísmica.
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali, 24 al 27 de julio de 2018
Participantes:	Estudiante: Alba Nidia Castaño Castaño
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Grupos de investigación Georiesgo – OSSO, Departamento de Geografía, Universidad del Valle.

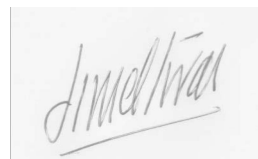


Tipo de producto:	Ponencia Internacional
Nombre General:	Primer encuentro internacional de Cuerpos Académicos de Investigación en materia de Problemas Territoriales, organizado por el cuerpo académico de Procesos Socioeconómicos y Espaciales de la Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México.
Nombre Particular:	Análisis de escenario de riesgo sísmico en Santiago de Cali ante la ocurrencia de un terremoto similar al de junio de 1925.
Ciudad y fechas:	Toluca, México, 26 de noviembre de 2018
Participantes:	Estudiante: Jorge Andrés Vélez Correa
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Grupos de investigación Georiesgo – OSSO, Departamento de Geografía, Universidad del Valle.

Tipo de producto:	Propuesta de Proyecto de Investigación. NO FINANCIADO, NO EJECUTADO
Nombre General:	Proyecto de investigación presentado a la Convocatoria 852 de 2019 – Colciencias.
Nombre Particular:	Determinación de la relación entre las anomalías registradas en la temperatura superficial del suelo y las variables físico-mecánicas y ambientales involucradas durante los procesos de actividad sísmica de la zona de subducción colombiana.
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali, 2019
Participantes:	• Grupo Georiesgos - Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente Colombiano (OSSO), • Grupo GIPER – Facultad de Ingeniería Civil y Geomática • Grupo OPTICA CUANTICA – Facultad de Ciencias Investigador Principal: Elkin De Jesús Salcedo Hurtado
Sitio de información:	Vicerrectoría de Investigaciones, Archivo OSSO, Universidad del Valle.
Formas organizativas:	Grupos de investigación.



Firma del investigador principal



VoBo. Vicedecano de Investigaciones