

PROGRESIÓN DE LA VULNERABILIDAD FRENTE A SISMOS EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE SANTIAGO DE CALI, COLOMBIA

Jorge Andrés Vélez Correa^{1*}, Elkin de Jesús Salcedo Hurtado^{1,2} y Alba Nidia Castaño Castaño¹

1. Grupo de Investigación Georiesgos, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

2. Observatorio Sismológico del Suroccidente Colombiano, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

*Autor de correspondencia:
jorge.velez@correounivalle.edu.co

DOI:
<https://doi.org/10.55467/reder.v7i2.135>

RECIBIDO
19 de febrero de 2023

ACEPTADO
28 de mayo de 2023

PUBLICADO
1 de julio de 2023

Formato cita

Recomendada (APA):

Vélez Correa, J.A., Salcedo Hurtado, E.J. & Castaño Castaño, A.N. (2023). Progresión de la vulnerabilidad frente a sismos en la zona urbana del Distrito de Santiago de Cali, Colombia. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 7(2), 233-248. <https://doi.org/10.55467/reder.v7i2.135>



Todos los artículos publicados en REDER siguen una política de Acceso Abierto y se respaldan en una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres (REDER)

Diseño: Lupe Bezzina

RESUMEN

La gestión del riesgo de desastres en entornos urbanos depende en gran medida de la disposición de información relacionada con estudios y productos cartográficos que expresen las condiciones sociales, económicas y ambientales que intervienen en la construcción de los escenarios de vulnerabilidad y riesgo. El artículo presenta una contribución al conocimiento de la vulnerabilidad del Distrito de Santiago de Cali – Colombia frente a fenómenos sísmicos. Se analizaron datos de cobertura en servicios sociales y aspectos biofísicos, usando estadística multivariada para tres ventanas de tiempo (años 2000, 2012 y 2018) y se generaron representaciones espaciales de los resultados a través de sistemas de información geográfica. La metodología empleada facilitó la obtención de índices de capacidades biofísicas y sociales a partir del Análisis Factorial Múltiple (AFM), que operados con los factores de presión de impacto del fenómeno y la exposición permitieron establecer los valores de vulnerabilidad. Los resultados obtenidos evidencian la progresión de la vulnerabilidad en las ventanas de tiempo seleccionadas donde se muestran variaciones persistentes influenciadas por aspectos sociales, en algunas zonas de la ciudad, en contraste con los aspectos biofísicos. Los hallazgos constituyen pistas importantes que permitirían la priorización de algunos sectores de Cali que pueden ser objeto de intervención.

PALABRAS CLAVES

Sistema; Vulnerabilidad; Amenaza Sísmica; Capacidades Sociales; Capacidades Biofísicas; Colombia

PROGRESSION OF VULNERABILITY TO EARTHQUAKES IN THE URBAN AREA OF THE DISTRICT OF SANTIAGO DE CALI, COLOMBIA

ABSTRACT

Disaster risk management in urban environments depends to a large extent on the availability of information related to studies and cartographic products that express the social, economic and environmental conditions that intervene in the construction of vulnerability and risk scenarios. The article presents a contribution to the knowledge of the vulnerability of the District of Santiago de Cali, Colombia, against seismic phenomena. Coverage data in social services and biophysical aspects were analyzed, using multivariate statistics for three-time windows (years 2000, 2012 and 2018) and spatial representations of the results were generated through geographic information systems. The methodology used facilitated the obtaining of indices of biophysical and social capacities from the Multiple Factorial Analysis (AFM), which, operated with the impact pressure factors of the phenomenon and the exposure, allowed to establish the vulnerability values. The results obtained show the progression of vulnerability in the selected time windows where persistent variations influenced by social aspects are shown, in some areas of the city, in contrast to biophysical aspects. The findings constitute important clues that would allow the prioritization of some sectors of Cali that can be the object of intervention.

KEYWORDS

System; Vulnerability; Seismic hazard; Social capacities; Biophysical capacities; Colombia

INTRODUCCIÓN

La ocurrencia de fenómenos naturales, sociales y tecnológicos en los diferentes entornos del planeta y sus efectos devastadores sobre amplios sectores poblacionales siguen siendo objeto de perplejidad para las autoridades y grupos sociales que se resignan, en la mayoría de los casos, a soportar las consecuencias de diferentes procesos (sociales, económicos, ecológicos, políticos y culturales) que en su relación sistémica enmarcan los escenarios de riesgo y constituyen potenciales situaciones de desastre.

Evidencia de lo anterior, se encuentra en el informe elaborado por la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastre (UNISDR) y el Centro para la Investigación en Epidemiología de los Desastres (CRED), donde se plantea que entre 1998 y 2017, desastres de origen geofísico y relacionados con el clima mataron a 1.3 millones de personas y dejaron otros 4.4 mil millones de heridos, sin hogar, desplazados o en necesidad de asistencia de emergencia (Mizutori & Guha-Sapir, 2019). Mientras que la mayoría de las muertes están asociadas a eventos generados por factores geofísicos (terremotos y tsunamis), el 91% de todos los desastres fueron causados por inundaciones, tormentas, sequías, olas de calor y otros fenómenos meteorológicos extremos (Wallemacq & House, 2018).

La materialización del desastre y sus impactos son el resultado de complejos procesos que enmarcan la confluencia en el territorio de situaciones dinámicas de amenaza con factores progresivos de vulnerabilidad. De esta manera, cuando coinciden la ocurrencia de un fenómeno de origen natural o antrópico, en un entorno cuyas condiciones enmarcan la presencia de gran variedad de elementos expuestos (población, infraestructura, bienes, etc.) y estos se encuentran en condiciones que no les permiten hacer frente o resistir la presión que se genera durante el evento, se podrá generar un desastre.

El distrito de Santiago de Cali, Colombia, no es ajeno a estas dinámicas, en el territorio coexisten amplios grupos poblacionales en un escenario de amenaza sísmica alta caracterizado por la presencia de fuentes sismogénicas que han dejado huellas en la ciudad. Adicionalmente la capital del Valle del Cauca ha sido el epicentro de oleadas de crecimiento urbanístico desordenado que enmarcan complejas condiciones de vulnerabilidad (Vásquez, 1990; Salcedo & Alvarado, 2007; Ocampo, 2017).

La ciudad presenta una amenaza sísmica que proviene de las dinámicas tectónicas presentes entre las placas de Nazca, Caribe y Sudamericana, las cuales interactúan en el territorio colombiano creando diversos sistemas de fallas geológicas y una zona de subducción al occidente del país. Este sistema es el responsable de la presencia de importantes sismos que han ocurrido en todo el territorio nacional incluyendo a Cali, ello se ratifica con los resultados del Estudio de Microzonificación Sísmica desarrollado en 2005 (INGEOMINAS-DAGMA, 2005a).

Existen evidencias históricas de los sismos ocurridos en el área de influencia de la ciudad de Cali según los datos reportados en el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD) desarrollado en el Distrito en el año de 2018 se encontraron un total de 97 registros de eventos sísmicos en la zona de influencia de Cali producto de la investigación documental elaborada para el periodo 1566 – 2018. En el informe de historicidad correspondiente a la caracterización del escenario sísmico indican que, de la información encontrada, se puede concluir que los años en los que se encontró mayor presencia del fenómeno con incidencia en la ciudad fueron 1957 y 1974 con un total de 5 y 4 eventos respectivamente, plantean en el mismo informe que los sismos más antiguos generaron daños en el centro de la ciudad y que los más recientes han tenido mayor impacto en el abanico de Cañaveralejo una zona de Cali con una mayor respuesta sísmica por las condiciones de sus suelos (Alcaldía de Santiago de Cali, 2018a).

Para el caso del sismo ocurrido el 7 de junio de 1925, los mayores daños se registraron en la zona norte y central del Departamento del Valle del Cauca, siendo más notorios en la ciudad de Santiago de Cali, donde resultaron destruidos algunos hoteles e iglesias, agrietamiento de muros, desprendimiento de cornisas, capiteles y cúpulas, principalmente en las iglesias de San Pedro, San Francisco, La Ermita, San Nicolás, Santa Rosa, la Merced y la capilla de Santa Librada. Daños mayores se notaron en edificaciones como el Salón Moderno, el edificio del diario El Relator, La Clínica, el cuartel de la policía y la Casa Municipal, entre otros (Salcedo et al., 2007).

En 2004 se presentó un sismo en Pizarro, en el Pacífico colombiano que dejó huella en la ciudad de Cali, afectando principalmente el sector conocido como la Cubeta del Cañaveralejo,

lugar donde según los estudios la aceleración de respuesta del suelo frente a sismos es mayor, esto se expresó en una serie de afectaciones sociales y estructurales (pérdida de bienes, daños en edificios, traumas psicosociales, etc.), que desnudaron importantes rasgos de vulnerabilidad. Por otra Parte, el estudio de Microzonificación Sísmica de Cali (MZSC) develó que la ciudad ha crecido ocupando zonas conformadas por suelos rellenos de grandes espesores de sedimentos depositados a lo largo del tiempo por los siete ríos que surcan el área urbana, convirtiéndose esto en un factor de propensión al incremento de las posibles condiciones de afectación, es decir la construcción social del riesgo (INGEOMINAS & DAGMA, 2005b).

Dado lo anterior, el artículo aborda la progresión de la vulnerabilidad frente a fenómenos sísmicos en la zona urbana de Santiago de Cali – Colombia desde una perspectiva sistémica y multitemporal. Se inicia con una breve síntesis de los enfoques y conceptos involucrados en el estudio de la vulnerabilidad, seguido por la caracterización de la zona de estudio, la metodología aplicada, los resultados y discusión en donde se evidencia que en las ventanas de tiempo analizadas se ha dado una progresión de la vulnerabilidad con expresiones diferenciadas en las comunas de la ciudad. Las comunas corresponden a la subdivisión político administrativa del Distrito a la cual se suscriben barrios en los que se distribuye la población de la ciudad.

Precisamente la clave para comprender el riesgo radica en la articulación de las dinámicas propias del entorno, cuya esencia es el cambio constante y los procesos socioeconómicos de las comunidades que en él habitan, lo anterior pone de manifiesto la presencia de amenazas en interacción con las condiciones de vulnerabilidad que persisten en amplios grupos poblacionales. La materialización de esta interconexión es el riesgo que ante la falta de gestión oportuna genera escenarios de desastre.

Para dimensionar el riesgo, existe consenso en considerarlo como el resultado de la interacción entre amenazas y condiciones de vulnerabilidad en sistemas o elementos expuestos (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño y Oteo, 2002; Narváez, Lavell y Pérez, 2009; Congreso de la República, 2012). Estas consideraciones son resultado de procesos teóricos y metodológicos que han evolucionado en el tiempo, por ejemplo, el paso de un enfoque fiscalista, centrado en el estudio del fenómeno natural hacia consideraciones interdisciplinarias que incluyen aspectos sociales, políticos, culturales, entre otros, que priorizan el análisis de las condiciones de vulnerabilidad en la valoración del riesgo como se evidencia en la literatura aportada por la Red de Estudios Sociales en Prevención y Atención de Desastres en América Latina (LA RED).

El estudio del riesgo ha sido abordado desde diferentes disciplinas y con enfoques que dan cuenta de investigaciones con distintos métodos, técnicas e intereses, prevaleciendo la visión fiscalista (agenciada desde las ciencias naturales y experimentales) enfocada en el análisis de eventos como los terremotos, huracanes, tormentas, inundaciones, movimientos en masa, etc. De esta perspectiva se derivan para el caso específico de la vulnerabilidad investigaciones cuyo interés era las condiciones de fragilidad física de los elementos expuestos ante el fenómeno apelándose a los conceptos de resistencia, ductilidad, elasticidad, es decir, las condiciones propias de las estructuras para resistir el embate del fenómeno (García, 2001; Cardona, 2001).

Aunque los aportes desde esta perspectiva son innegables en cuanto al conocimiento de la amenaza y la valoración de las condiciones estructurales de los elementos expuestos, son insuficientes para lograr un dimensionamiento integral de la vulnerabilidad. A partir de las décadas de los 70's y 80's se logra identificar en la literatura un mayor vínculo de las investigaciones provenientes de las ciencias sociales al estudio de la vulnerabilidad, enfatizando en las condiciones socioeconómicas de las comunidades, donde se involucran aspectos educativos, culturales, políticos e institucionales que darían cuenta de cómo en diferentes contextos el impacto de los fenómenos naturales varía como resultado de complejas condiciones sociales (teoría social del riesgo) (White, 1974; Westgate & O'Keefe, 1976; Blaikie, et al., 1994; Rodríguez, 2017)

Tal como lo expresa Bauman (2012) al referirse a los efectos sociales del Huracán Katrina “Las víctimas más golpeadas por la catástrofe natural fueron quienes ya eran desecho de clase y residuos de la modernización mucho antes de que Katrina asolará la ciudad: ya eran víctimas del mantenimiento del orden y del progreso económico, dos empresas eminentemente humanas y claramente antinaturales” (p 16).

Estas concepciones dejan claro que la vulnerabilidad está íntimamente relacionada con aspectos socioeconómicos que marcan las condiciones de fragilidad en que habitan las

comunidades y que de paso constituyen sus factores subyacentes, los cuales se ponen a prueba cuando aparecen las amenazas, de tal manera que, dependiendo de los niveles de desarrollo y organización alcanzados por los grupos sociales, tendrán o no la capacidad para resistirlos y con ello preservar sus condiciones de bienestar (*well-being*), en esta aproximación los individuos tienen un rol más activo a diferencia de las visiones donde se los considera agentes indefensos frente a las situaciones de peligro (Wilches, 1993; Blaikie et al., 1994; Moser, 1998).

La vulnerabilidad es tanto un problema del desarrollo como un problema arraigado en las estructuras culturales más profundas de la sociedad de la nueva modernidad o sociedad del riesgo en que este es resultado de la trama de procesos sociales, biofísicos, económicos y culturales enmarcados en la interacción de amenazas globales, regionales y locales en relación con situaciones progresivas de vulnerabilidad (Beck, 1998; Cutter et al., 2003; Chardón, 2004).

Birkmann y Wisner (2006) se refieren a la diversidad de posturas y métodos en cuanto a la medición de la vulnerabilidad, lo cual ha ampliado significativamente el espectro de posibilidades en cuanto al uso y abordaje del concepto. En su trabajo plantea que existen al menos cinco tendencias en las que se puede apreciar esto. 1) la vulnerabilidad vista como un factor de riesgo interno. 2) como la probabilidad de experimentar daños centrado en las personas. 3) un enfoque dual en el que se contraponen la susceptibilidad y la capacidad de respuesta. 4) una estructura múltiple de susceptibilidad, capacidad de respuesta, exposición y adaptación. 5) un proceso multidimensional que abarca factores físicos, sociales, económicos e institucionales (Birkmann & Wisner, 2006; Birkmann, 2007).

Para el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2007), la vulnerabilidad es el grado de susceptibilidad o de incapacidad que tiene un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático, y en particular la variabilidad del clima y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema, y de su sensibilidad y capacidad adaptativa basada en ecosistemas; los cuales sean parte del proceso de adaptación sostenible.

Las interpretaciones provenientes del enfoque de evaluación de la vulnerabilidad en el contexto del cambio climático vinculan en el análisis conceptos como el de resiliencia, adaptación, exposición e impacto, lo cual constituye una aproximación diferente, que amerita ser revisada en detalle antes de incurrir en generalizaciones que puedan expresarse en mayores confusiones frente al tratamiento de la vulnerabilidad (Brooks, 2003; Füssel, 2006; Lampis, 2013).

Por ahora, se puede visualizar en la literatura un interesante cruce de posiciones entre los investigadores de la gestión del riesgo de desastres (GRD) y quienes se vinculan al enfoque de adaptación al cambio climático (ACC) (Turner et al., 2003; Fussel, 2006; Lavell, 2011).

En la actualidad se puede hablar de una “nueva vulnerabilidad”, en el sentido que nuestras sociedades se ven enfrentadas a un conjunto de crisis de carácter sistémico, esto se relaciona con los múltiples procesos en que la vulnerabilidad se encuentra en el centro de las interacciones de subsistemas sociales y ecológicos, un enfoque que plantea una interesante dialógica entre las ciencias sociales y las ciencias naturales cuyo efecto transdisciplinar se aprecia desde la óptica de las ciencias ambientales (Vallejo & Velez, 2001; Turner, 2003; Walker et al., 2004; Janssen et al., 2006; Gallopin, 2006; Vergara, 2011).

Los diferentes enfoques, dominios y tradiciones frente al concepto de vulnerabilidad muestran aproximaciones que operan a diferentes escalas y responden a diversos intereses que van desde la expresión de las tensiones propias de los abordajes disciplinares hasta la incorporación de visiones interdisciplinares que buscan unificar criterios para la solución de los retos globales. De esta manera, los desacuerdos, confusiones y acercamientos para la comprensión de la vulnerabilidad seguirán siendo tema de debate, lo que permitirá una mayor evolución en la construcción del concepto (Lavell, 2011; Lei et al., 2014; Fussel, 2006; Turner et al., 2003).

En este trabajo se retoma el estudio de la vulnerabilidad desde el enfoque de sistemas, lo que implica considerar que en la interacción de sus componentes sociales y biofísicos surgen estados que expresan nuevas condiciones del sistema. Ello, conduce necesariamente a la comprensión del carácter multidimensional de la vulnerabilidad y de paso a la necesidad de estimar su progresión en función de una temporalidad, lo que conlleva a examinar diferentes ventanas de tiempo, donde se pueden expresar diversos estados de vulnerabilidad.

AREA DE ESTUDIO

Localización

El Distrito de Santiago de Cali se encuentra ubicado en el sur occidente colombiano, en el Valle geográfico del río Cauca siendo su límite oriental y surcado al occidente por Los Farallones de Cali que forman parte de la Cordillera Occidental (Figura 1). La ciudad cuenta con una población estimada de 2.227.642. Se encuentra dividida por 22 comunas en su zona urbana y 15 corregimientos en su ruralidad. Las comunas corresponden a la subdivisión político administrativo del Distrito a la cual se suscriben barrios en los que se distribuye la población de la ciudad. De acuerdo con las estimaciones de la Alcaldía de Cali la ciudad cuenta con 691.815 viviendas (Alcaldía de Cali, 2018b).

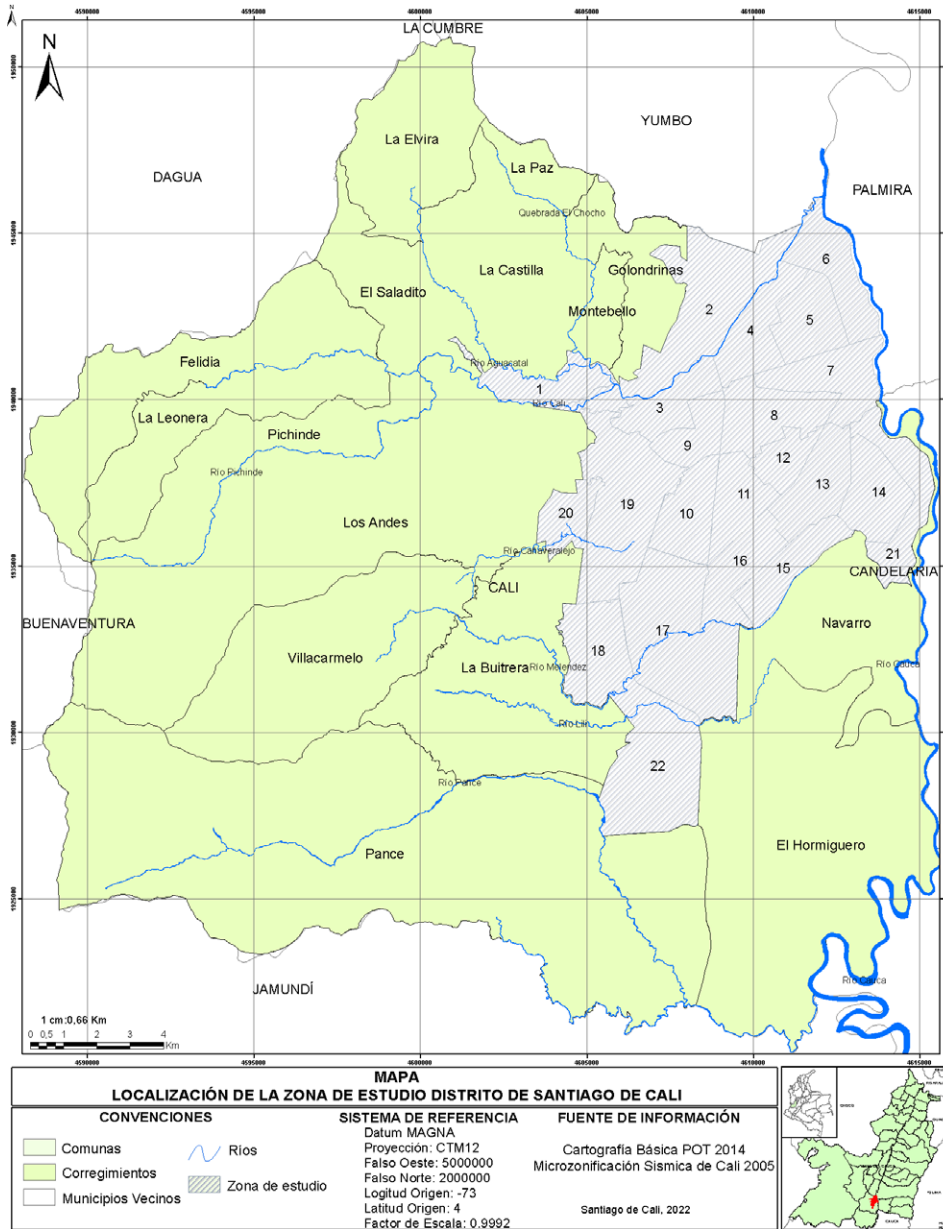


Figura 1. Localización de la Zona de Estudio
Fuente: Autores, 2023, con datos del POT (Concejo Distrital de Santiago de Cali, 2014).

METODOLOGÍA

El estudio se aborda desde una comprensión de la vulnerabilidad como un proceso progresivo en el tiempo en el que es necesario vincular aspectos sociales y biofísicos, desde una perspectiva sistémica, en este sentido se consideran las propuestas de Moser (1998) y Turner (2003) para proponer la siguiente aproximación:

La evaluación de la vulnerabilidad en el tiempo contempla como se indica en la ecuación (1):

Ecuación 1

$$V = [E * F]$$

Dónde: V es la vulnerabilidad del sistema, E es la exposición, F la fragilidad.

Es importante mencionar que las condiciones de fragilidad de los diversos elementos del sistema expuesto ante determinado tipo de amenaza emergen cuando son sometidos a una presión o fuerza de impacto del fenómeno, evento, suceso o proceso amenazante, situación que genera algunas acciones de resistencia (capacidades) del elemento frente al fenómeno perturbador (Du et al., 2014; Servicio Geológico Colombiano, 2016).

Teniendo en cuenta lo anterior, se propone en la ecuación (2) para el cálculo de la fragilidad:

Ecuación 2

$$F = P_{imp} - C$$

Donde: F corresponde a la fragilidad, P_{imp} es la Presión de impacto del sismo y C son las capacidades.

Reemplazando (2) en (1), como se indica en la ecuación (3):

Ecuación 3

$$V = E [P_{imp} - C]$$

Dónde: V es la vulnerabilidad del sistema, E es la exposición, P_{imp} la presión de impacto del sismo y C las capacidades.

Materiales y Métodos

Recolección y Análisis de los Datos

Se obtuvieron y analizaron datos de coberturas relacionados con aspectos sociales y factores biofísicos extraídos de fuentes oficiales, en este caso las estadísticas por comunas de la ciudad de Cali reportadas para tres ventanas de tiempo (2000 – 2012 y 2018). Los factores biofísicos, en este caso representados en la variable suelos fueron correlacionados a partir del estudio de microzonificación sísmica de Cali de 2005, donde se hace un análisis de la respuesta sísmica de las diferentes zonas de la ciudad usando como sismo de referencia el ocurrido el 15 de noviembre de 2004. Lo anterior se complementó con la clasificación de intensidades de Salcedo y Alvarado (2007) realizadas con base en los datos macrosísmicos e instrumentales del mismo evento sísmico.

Descripción de los componentes de cobertura (Sociales y Biofísicas)

Teniendo en cuenta la propuesta de Moser (1998) con relación a las condiciones de bienestar, se considera apropiado identificar las capacidades sociales, en este caso con relación a las coberturas identificadas para este componente con datos disponibles en las estadísticas de Cali en cifras documento oficial de la Secretaría de Planeación de la Alcaldía del Distrito donde se evidencian diversos indicadores sociales por comunas. En este caso se tuvieron en cuenta las dimensiones del desarrollo humano: salud, educación, medios de sustento, empleo, instituciones que representa la presencia de entidades del gobierno local con diferente competencia, así como otras variables relacionadas con la cobertura de necesidades en materia de servicios públicos.

Las ventanas de tiempo a analizar fueron los años 2000, 2012 y 2018 cuya selección se hizo teniendo como criterio fundamental la disponibilidad y completitud de la información. A continuación, se describen los componentes y variables seleccionados.

Componente Salud: Se evalúa la cobertura de instituciones de salud en cada comuna de la ciudad a partir de las siguientes variables: 1) Puestos de Salud, 2) Centros de Salud y Centros de Atención Básica, 3) Centro Hospital, 4) Hospitales y Clínicas, y 5) Mortalidad General.

Componente Educación: En este componente se analiza la cobertura de educación básica (preescolar, primaria y secundaria) que tienen las diferentes comunas del Distrito de Cali teniendo en cuenta las siguientes variables: 1) Estudiantes Preescolar, 2) Matricula Estudiantes Preescolar, 3) Estudiantes Primaria, 4) Matricula Estudiantes de Primaria, 5) Estudiantes Secundaria y 6) Matricula Estudiantes de Secundaria.

Medios de Sustento: Para este componente solo se reporta información de la variable tasa de desempleo de la cual se puede derivar con análisis complementarios la variable empleo.

Instituciones: Para el componente institucional se contó con información de las siguientes variables: 1) Inspecciones y Comisarías, 2) Estaciones de policía 3) Centros de atención inmediata y 4) Estaciones de bomberos.

NBI – Servicios Públicos: Se identificaron las coberturas de servicios públicos esenciales en cuanto a las condiciones de bienestar de las comunidades, estas incluyen las siguientes variables: 1) Acueducto, 2) Alcantarillado, 3) Energía, 4) Gas, 5) Teléfono y 6) Aseo.

Para el componente biofísico se trabajó con datos obtenidos del estudio de Microzonificación Sísmica de Cali elaborado por INGEOMINAS y DAGMA en 2005. Los datos del estudio permiten analizar las características específicas de los suelos de la ciudad y su comportamiento geomecánico. En este sentido, para el componente suelo las variables consideradas son: 1) Espesor 2) Periodo de vibración 3) Aceleración y 4) Consistencia.

Se utilizó el análisis factorial múltiple, un método adaptado al tratamiento de bases de datos en las que un mismo conjunto de individuos se describe a través de varios grupos de variables. Un típico ejemplo es aquel en el que se observan las mismas variables a lo largo del tiempo: un grupo puede entonces estar constituido por un mismo conjunto de variables medidas en distintos periodos de tiempo o por el conjunto de las variables observadas en el mismo periodo de tiempo. Estos grupos de variables pueden surgir de la utilización conjunta de variables de diferente naturaleza, cuantitativas y cualitativas, generalmente conocidas como tablas mixtas (Escofier & Pagés, 2008).

Según Escofier y Pagés (2008), este análisis factorial induce un análisis global de condiciones en el que cada condición se representa, en el espacio R^2 , por la matriz $W_j D$, donde $D = \text{diag}(P_j)$ y W_j corresponde a una matriz $l \times l$ de productos escalares establecidos entre individuos para el grupo j , como se indica en la ecuación (4):

Ecuación 4

$$W_j = X_j M_j X_j ; M_j = \begin{pmatrix} 1 \\ \lambda_j^1 \end{pmatrix}$$

En la Figura 2 se muestra el procedimiento del Análisis Factorial Múltiple (AFM). Para la implementación de un análisis factorial múltiple se parte de las tablas de variables cuantitativas y cualitativas, se hace un análisis tanto para los vectores fila, como para los vectores columna en ambas tablas. Al definir sobre qué espacio se trabaja, el siguiente paso es realizar el análisis separado en cada una de las tablas, esto es un Análisis de Componentes Principales (ACP) para la tabla de variables cuantitativas y el respectivo Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM) de la tabla de variables cualitativas. Paso siguiente se muestra la ponderación por el inverso del primer valor propio del respectivo análisis y la conformación de la tabla yuxtapuesta la cual se denomina la matriz de entrada del posterior ACP global.

En ambos casos con el análisis estadístico de los componentes sociales y biofísicos se obtienen resultados expresados en forma de índices, en este caso de capacidades los cuales son operados en coherencia con la formulación planteada para la estimación de la vulnerabilidad mediante herramientas SIG, lo cual de paso permite la representación espacial. En primera instancia de la vulnerabilidad social y en segunda instancia de la vulnerabilidad biofísica. Finalmente se establece la vulnerabilidad total o global de las comunas de la ciudad en las tres ventanas de tiempo definidas.

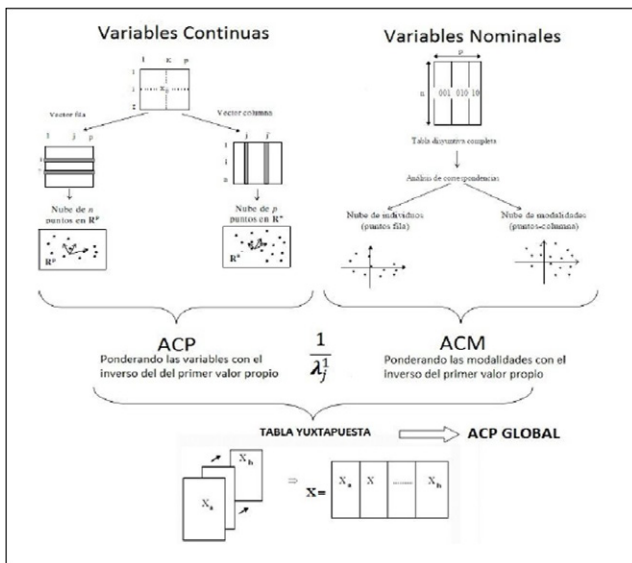


Figura 2. Procedimiento del AFM
Fuente: Escofier y Pagés (2008).

RESULTADOS

Exposición frente a la amenaza sísmica

Teniendo en cuenta los datos recuperados del estudio de microzonificación sísmica de Santiago de Cali (MZSC) realizado en 2005, donde se establecen la respuesta sísmica de los diferentes suelos de la ciudad frente a la presencia de ondas cortantes, se encontró que se tipificaron diez microzonas, que especifican su respectivo periodo de vibración y aceleración pico. A partir de esta información se realizó el análisis espacial considerando la localización de las comunas y se establecieron los valores de exposición para cada una de estas unidades espaciales, donde el criterio fue que a mayor aceleración de las ondas mayor peso de exposición y en sentido contrario las menores aceleraciones generarían un menor peso de exposición. En la Tabla 1 se muestran los rangos de exposición considerados:

Rangos de Aceleración (Amax)	Peso de Exposición	Nivel de Exposición
0,22 a 0,28	0,5	Baja
0,29 a 0,35	0,8	Media
> a 0,35	1,0	Alta

Tabla 1. Rangos de exposición frente a sismos
Fuente: Autores, 2023, con datos de INGEOMINAS y DAGMA, (2005b).

En este sentido se encontró que las 22 comunas de Santiago de Cali presentan condiciones diferenciadas de exposición frente a la amenaza sísmica. Esta clasificación fue considerada para las ventanas de tiempo seleccionadas sin que ello implique un mapa de exposición para cada periodo. Las zonas de mayor exposición corresponden a las comunas 10 y 19. La exposición media está localizada en las comunas 3, 9, 18 y 20. El resto de las comunas presentan una exposición baja (Figura 3).

Condiciones de Fragilidad frente a la amenaza sísmica

Es importante recordar que, de acuerdo con la ecuación (2), para el cálculo de la fragilidad (F) frente a la amenaza sísmica, se requiere conocer los valores de presión de impacto (P_{imp}) de la amenaza y las capacidades (C) de cada una de las comunas, de esta forma se obtuvieron los valores de presión de impacto teniendo como sismo de referencia el ocurrido en 2004, el cual dejó huella en algunas zonas de la ciudad. Usando la clasificación de intensidades para este sismo (Salcedo y Alvarado, 2007) se realizó el respectivo análisis espacial y se definieron los rangos de presión de impacto a partir de las intensidades tipificadas para cada comuna con sus pesos correspondientes (Tabla 2).

Rangos Presión de Impacto (Datos de Intensidad)	Peso de Exposición	Nivel de Exposición
I a IV	0,3	Baja
V a VIII	0,8	Media
IX a XII	1,0	Alta

Tabla 2. Rangos de Presión de Impacto de la amenaza sísmica
Fuente: Autores con datos de Salcedo y Alvarado, (2007).

La presión de impacto obtenida de acuerdo con el análisis de intensidades del sismo ocurrido en 2004 en Santiago de Cali permite evidenciar que en las comunas 3,5,7,8,9,10,15,16,17 y 18 no se registraron daños por lo tanto estas aparecen en la cartografía con un nivel bajo. En nivel medio se encuentran las comunas 1,2,4,6,11,12,13,14,19,20,21 y 22. Lo cual indica que el sismo se sintió con fuerza y dejó evidencias de daños en edificios de varios pisos, algunas clínicas y edificios comerciales, donde se encontraron efectos en la mampostería, algunos muros y escaleras. No se encontraron registros de intensidades altas por lo que no hay una presión de impacto de este nivel en la ciudad, al menos con relación al sismo de referencia (Figura 3).

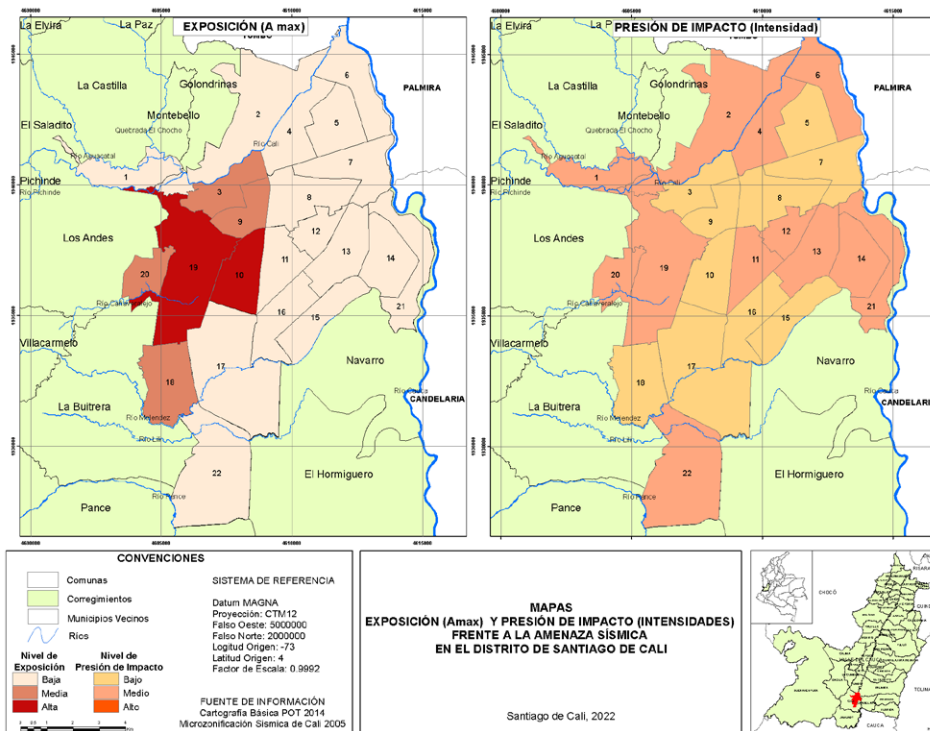


Figura 3. Mapas de exposición y presión de impacto
Fuente: Autores, 2023, con datos de MZSC INGEOMINAS Y DAGMA, (2005) y Salcedo y Alvarado, (2007).

En cuanto a las capacidades, como se indicó en el apartado metodológico, estas se evaluaron a partir del análisis factorial múltiple (AFM) para las tres ventanas de tiempo, con datos obtenidos en la estadísticas de Cali en Cifras, con relación a las coberturas en salud, educación, medios de sustento, Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) específicamente en servicios públicos e instituciones. Se construyó el índice de capacidades sociales (ICS) para los tres periodos de tiempo definidos, donde se puede evidenciar diferentes trayectorias en la evolución de este proceso en la ciudad en los periodos de tiempo considerados, es decir que algunas comunas han mantenido unas capacidades constantes, otras han mejorado como resultado del aumento en las coberturas estudiadas, o por el contrario, existen zonas donde se presentan declives en los resultados.

En cuanto a las capacidades sociales por comuna, los niveles más altos implican una mayor capacidad de respuesta frente a la ocurrencia de los sismos, en este sentido, se puede evidenciar que la comuna 1 al poseer los valores más bajos de este índice es la que presenta mayores limitaciones. Caso contrario sucede con la comuna 19, la cual tiene valores más altos. La comuna 21 viene mejorando en este aspecto al pasar de ser una zona con marcadas deficiencias en el primer periodo de estudio (año 2000), mejorando en los periodos restantes. Este mismo

comportamiento se puede notar en las comunas 7 y 12, en contraste con las comunas 3 y 18, que con el pasar de los años han tenido un comportamiento decreciente en sus capacidades. Es importante mencionar que las comunas 1, 3 y 20 se encuentran localizadas en zonas de pie de monte y ladera con notables deficiencias en las diferentes coberturas, lo que explica sus bajas capacidades.

En cuanto al componente biofísico, es importante aclarar que los valores obtenidos del estudio de MZSC realizado en 2005 son los mismos para las tres ventanas de tiempo, de esta forma se obtiene un solo resultado. Las variables consideradas fueron: 1) Espesor 2) Periodo 3) Aceleración y 4) Consistencia, que corresponden a características geomecánicas del suelo, a partir de las cuales se obtuvo el respectivo índice de capacidades biofísicas (ICB) (Figura 4).

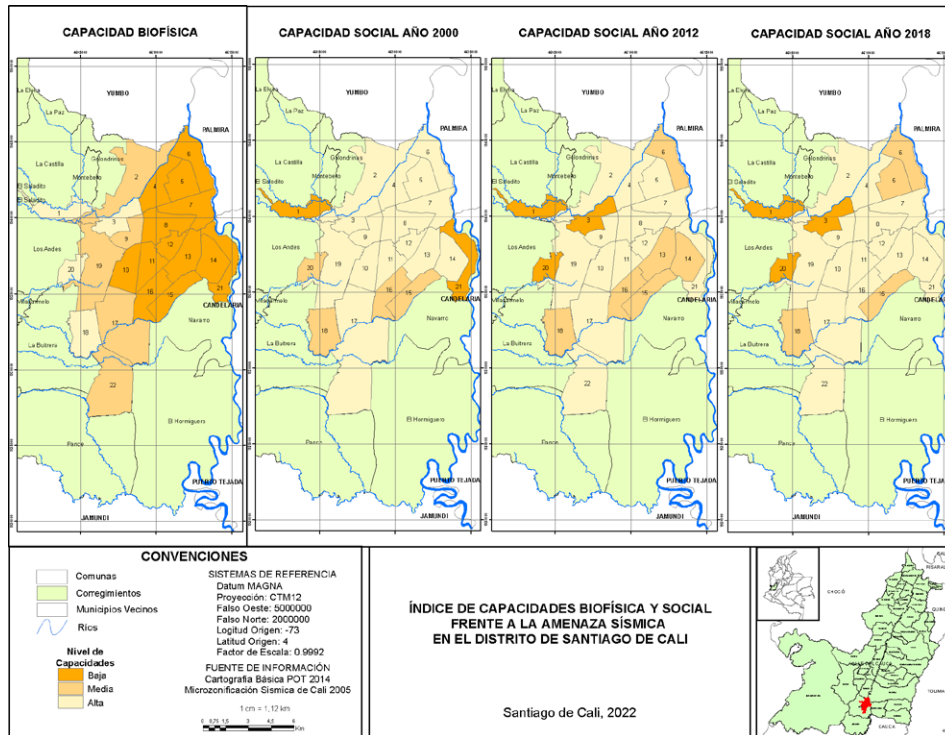


Figura 4. Índices de Capacidades Biofísicas y Sociales de Santiago de Cali Fuente: Autores, 2023, con datos de Cali en Cifras (Alcaldía de Santiago de Cali 2000 – 2012 – 2018) y MZSC (INGEOMINAS-DAGMA (2005).

Se puede observar que más de la mitad de las comunas presentan valores inferiores en cuanto a sus capacidades biofísicas, ya que exhiben índices menores al 20%, en particular las comunas 6,13,14,15 y 21 son las que poseen los valores más bajos. En gran contraste con las comunas 1,3,18 y 20 que tiene valores de 64.39, 76.36 y 96.31, respectivamente, las cuales son las de los valores más altos, por lo tanto, su grado de capacidades biofísicas es mayor.

En la cartografía de fragilidad biofísica se evidencia que las comunas localizadas sobre depósitos de llanuras aluviales y suelos de transición entre los abanicos y las llanuras son las que se encuentran clasificadas con fragilidad alta, en este grupo están las comunas 4,5,6,7,8,10,11,12,13,14,15,16 y 21, lo cual representa el 59.09 % del suelo urbano. Las zonas catalogadas con fragilidad media corresponden a las comunas 2, 3, 9, 17, 19 y 22 que son el 27.27 %. La fragilidad biofísica baja está localizada en las comunas 1, 20 y 18 ubicadas en la zona de ladera de la ciudad, estas representan el 13.63%.

En cuanto a la fragilidad social para las 3 ventanas de tiempo se puede notar que existe persistencia en las condiciones de fragilidad social alta en la comuna 1 y 20 para los tres periodos seleccionados, las comunas 3 y 18 han tenido un declive pasando de fragilidad baja en el primer periodo a fragilidad alta en los demás periodos. Las comunas 4, 9 y 21 evolucionaron positivamente y pasaron en el caso de las dos primeras de tener una fragilidad media en el año 2000 a una fragilidad baja en los dos periodos siguientes. La comuna 21 mejoró considerablemente, en el primer periodo su condición era de fragilidad alta y en los periodos restantes se mantuvo en baja.

Las comunas 6, 11 y 14 presentan una variación en sus condiciones de fragilidad pasando del nivel bajo en 2000 a nivel medio en 2012 y 2018. Las comunas 2, 5, 7, 8, 10, 17, 19 y 22 han permanecido constantes en el tiempo manteniendo sus condiciones de baja fragilidad (Figura 5).

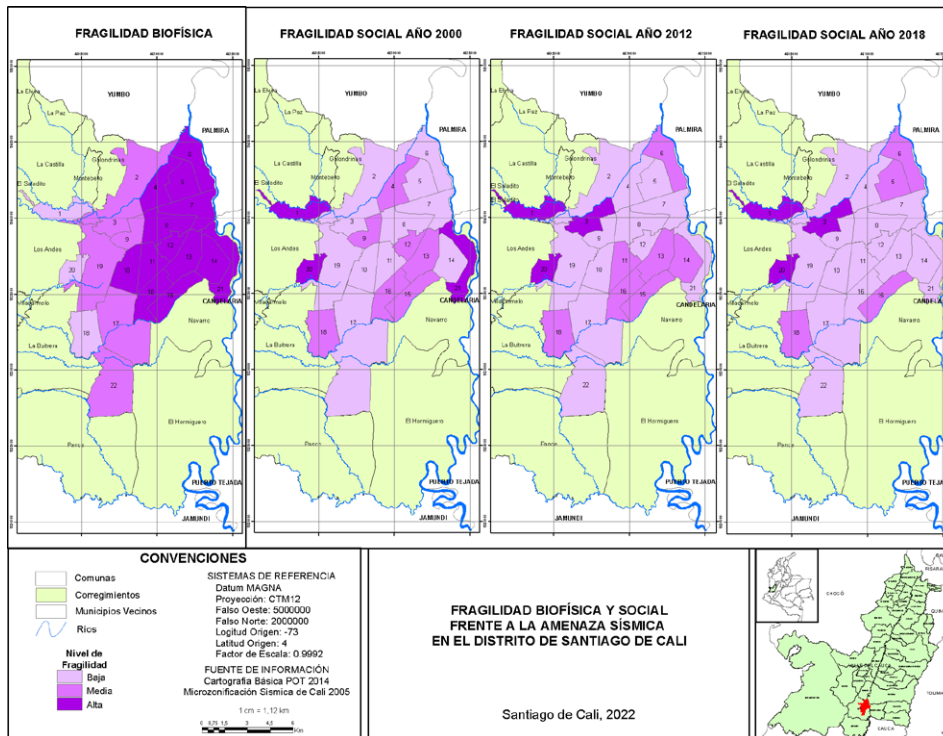


Figura 5. Fragilidad Biofísica y Social en el Distrito de Santiago de Cali
Fuente: Autores, 2023.

Condiciones de Vulnerabilidad frente a la amenaza sísmica.

Con los resultados obtenidos, es decir las condiciones de exposición y fragilidad se puede completar la ecuación de la vulnerabilidad y obtener los valores para las dimensiones biofísica y social, las cuales se expresan en la cartografía de vulnerabilidad. En la zonificación de la vulnerabilidad biofísica puede notarse que las comunas 1, 2, 3, 17, 18 y 20 se encuentran localizadas en zonas de vulnerabilidad biofísica baja, es decir que exhiben condiciones de exposición y fragilidad bajas que representan el 31.8% de la zona urbana, las demás comunas se encuentran en el rango de vulnerabilidad biofísica media, que representan el 63,6% del suelo urbano de la ciudad. En contraste la comuna 10 presenta vulnerabilidad biofísica alta, la cual se explica por los altos valores de exposición y fragilidad, corresponde al 4,5% de la zona de estudio.

En la cartografía de la vulnerabilidad social correspondiente a los periodos de tiempo seleccionados se pueden ver las variaciones que han experimentado las comunas de Santiago de Cali en este proceso. La comuna 1 ha mantenido condiciones de vulnerabilidad moderada. Las comunas 3 y 20 han tenido un deterioro de sus condiciones de vulnerabilidad social. La comuna 3 pasó del rango bajo en el primer periodo a rangos medio y alto en los periodos restante. Por su parte la comuna 20 pasó de rango medio en 2000 a rangos altos en 2012 y 2018. Estas comunas se encuentran en zona de pie de monte y ladera donde confluyen condiciones de exposición y fragilidad. Las demás comunas han tenido mejoras constantes en cuanto a las coberturas estudiadas lo que hace que presenten vulnerabilidad social baja Figura 6.

Para determinar las condiciones de vulnerabilidad global del distrito de Santiago de Cali se integran los resultados de la dimensión biofísica con la social otorgando pesos de 0,4 a la primera y 0.6 a la segunda, la razón de la distribución de los pesos tiene que ver directamente con el dinamismo de los procesos sociales que son determinantes en cuanto a la progresión de la vulnerabilidad por factores (políticos, económicos) que escapan al control de las comunidades e incluso de los tomadores de decisiones.

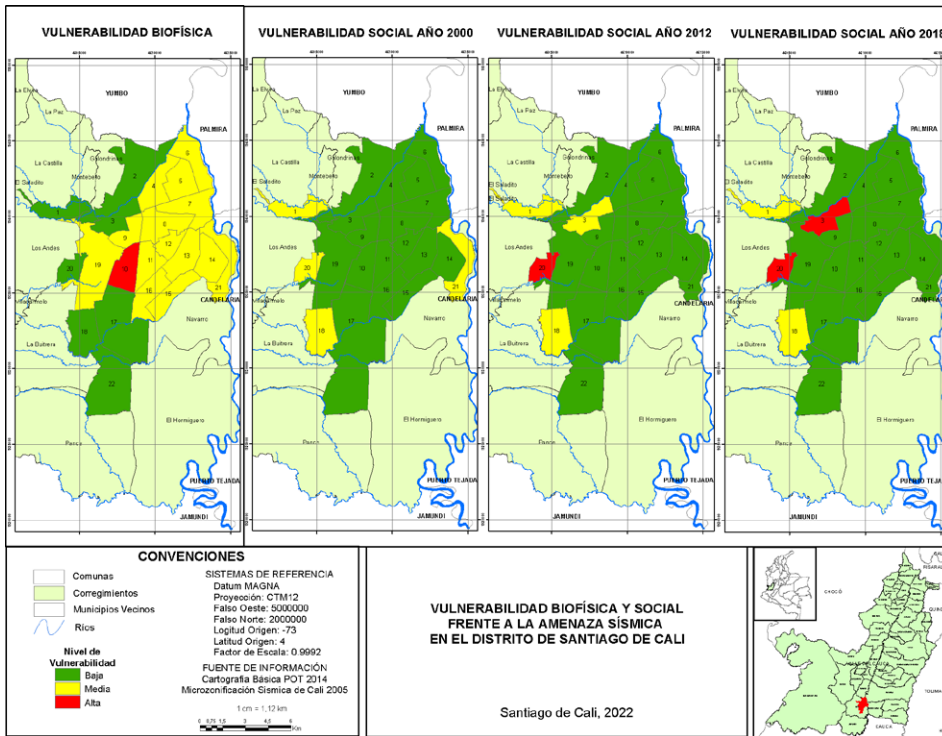


Figura 6. Vulnerabilidad Biofísica y Social de Santiago de Cali
 Fuente: Autores, 2023.

La cartografía de vulnerabilidad integrada frente a fenómenos sísmicos en el distrito de Santiago de Cali permite evidenciar que para el año 2000 el 38,1% de la zona urbana presenta vulnerabilidad media. El resto de la ciudad que representa el 61,9% presenta valores de vulnerabilidad baja. Para el año 2012 se evidencia una pequeña reducción con 31,9% de vulnerabilidad media y 68,1% de vulnerabilidad baja. En el último periodo 2018, los valores indican que el 27,3% de la zona urbana presenta vulnerabilidad media y el 72,7% baja Figura 7.

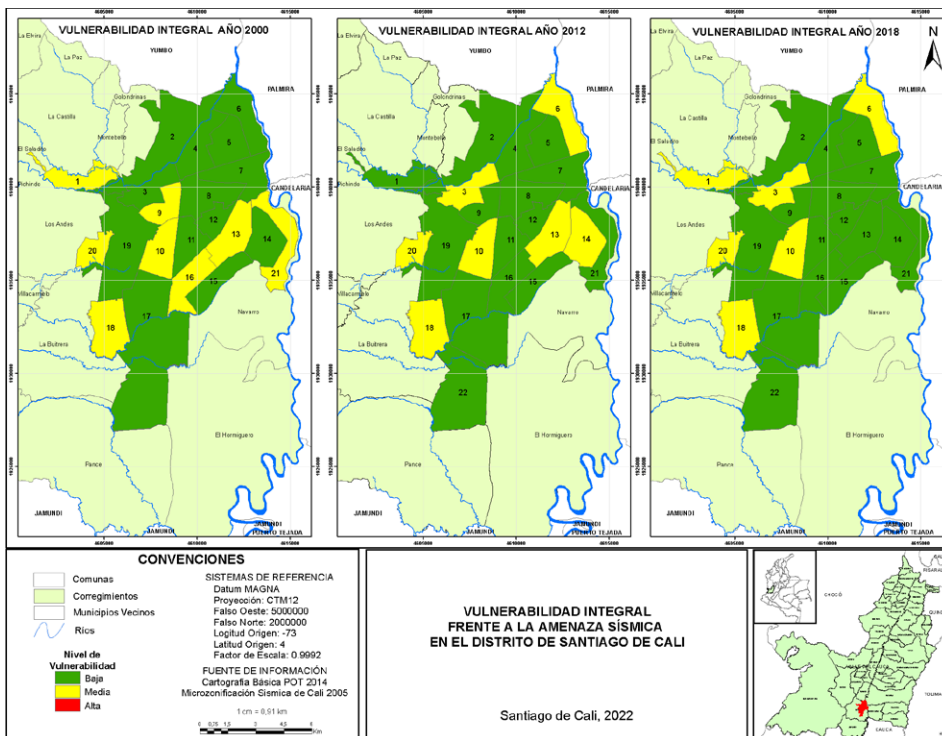


Figura 7. Vulnerabilidad integrada frente a sismos en el Distrito de Santiago de Cali
 Fuente: Autores, 2023.

DISCUSIÓN

La ocurrencia de fenómenos sísmicos continuará generando pérdidas y obstaculizando los ingentes esfuerzos que durante años realizan las naciones para alcanzar niveles de desarrollo que les permitan ofrecer a sus comunidades mejores condiciones de vida. Precisamente, el mayor reto que se plantea desde la gestión del riesgo de desastres es generar los escenarios propicios para reducir las condiciones de vulnerabilidad mediante procesos que impliquen a toda la sociedad.

Santiago de Cali tendrá para el 2035 una población cercana a los 2.600.000 habitantes, de los cuales, el 98% estará ubicado en la zona urbana, lo que implica una evolución hacia complejos escenarios de riesgo. En este sentido, los resultados que se presentan en el artículo constituyen un aporte valioso para comprender la progresión de las condiciones de vulnerabilidad de la zona urbana del Distrito de Cali y con ello desarrollar acciones que permitan anticipar escenarios futuros frente a los fenómenos sísmicos. Aunque el municipio cuenta con instrumentos como el Plan Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD, 2018b), donde se encuentra una caracterización del escenario de riesgo por sismos, este presenta un alcance limitado que apunta a llamar la atención sobre dicho escenario a partir de información secundaria dada su naturaleza. De esta forma la cartografía que se incluye en el presente artículo evidencia las diferentes comunas de la ciudad donde se encuentran condiciones de exposición y fragilidad que son los factores que constituyen la vulnerabilidad, en este caso desde una perspectiva multitemporal (años 2000, 2012 y 2018) lo que permite develar su evolución en el tiempo y de esta forma apuntar a la focalización de acciones encaminadas a la gobernanza del riesgo.

Este estudio determina un indicador semicuantitativo para calificar las condiciones de vulnerabilidad integrada por componentes sociales y biofísicos en aspectos como las coberturas de servicios sociales y las características físicas de los suelos de la ciudad. De acuerdo con la clasificación implementada, los resultados se expresarían en tres rangos de vulnerabilidad (alto, medio y bajo); sin embargo, llama la atención que no se presente la vulnerabilidad integrada alta.

Esta situación obedece a que la ciudad muestra avances importantes en materia de coberturas de servicios sociales lo cual se puede notar en los resultados expuestos en el documento, las condiciones biofísicas que se encontraron muestran un contraste interesante en su articulación con las coberturas sociales donde se evidencia que las zonas con vulnerabilidad biofísica baja presentan dificultades en cuanto a sus coberturas sociales como se puede notar en las comunas 1, 3 y 20. En contraste las zonas que presentan mayor vulnerabilidad biofísica muestran notorias mejorías en las condiciones sociales en cuanto al aumento de sus coberturas en servicios sociales. Ello hace importante el monitoreo de estas condiciones en el tiempo que pueden fortalecer las decisiones de las autoridades para la focalización de recursos con enfoque territorial en la materia.

Lo expuesto permite indicar que la no existencia de zonas de vulnerabilidad integrada alta se explica en lo comentado, sin embargo, será muy importante continuar haciendo el seguimiento de los indicadores en el tiempo para evitar justamente la progresión de la vulnerabilidad hacia condiciones más inseguras.

Es necesario indicar que el Distrito de Santiago de Cali no cuenta con estudios detallados de vulnerabilidad y mucho menos desde la perspectiva que se propuso en este artículo, como se menciona en el documento solo existe una caracterización del escenario de riesgo sísmico que se realiza a partir de información secundaria, lo que no permitiría hacer una comparación pertinente. El trabajo realizado deja abiertas posibilidades para adelantar futuros estudios en la ciudad donde se puedan incluir nuevas variables y metodologías que permitan avanzar en la gestión integral y gobernanza del riesgo.

CONCLUSIONES

El estudio de la progresión de la vulnerabilidad frente a fenómenos sísmicos en el Distrito de Santiago de Cali evidencia como a partir de la correlación de factores de exposición y fragilidad se generan escenarios de vulnerabilidad que registran variaciones en los diferentes periodos analizados.

En cuanto a las condiciones de vulnerabilidad biofísica se encontró que el 31,8% de las comunas presentan niveles bajos representados en las comunas 1,2,3, 17, 18 y 20. El 63,6% presentan niveles medios correspondientes a condiciones moderadas de fragilidad y exposición. La comuna 10 registra un nivel alto dado por sus elevados valores de exposición y fragilidad frente a la amenaza sísmica.

En la cartografía de la vulnerabilidad social correspondiente a los periodos de tiempo estudiados permite evidenciar la progresión de este proceso, tal es el caso de la comuna 1 que permanece con condiciones moderadas de vulnerabilidad. En contraste la comuna 3 ha experimentado una variación creciente al igual que la comuna 20, las cuales se ubican en zona de pie de monte y ladera. El resto de las comunas han tenido una variación positiva que les ha permitido reducir sus condiciones de vulnerabilidad social.

La integración de la vulnerabilidad biofísica y social como resultado global para el Distrito de Santiago de Cali, evidencia que la ciudad mantiene niveles medios y bajos de vulnerabilidad en los tres periodos estudiados. Lo que indica que existen zonas en el territorio donde se requiere desarrollar acciones que permitan reducir las condiciones de exposición y fragilidad, es el caso de las comunas 1,3,6,10,19 y 20.

La cartografía de vulnerabilidad construida en el estudio, así como toda la información espacial y metodología empleada para la obtención de las condiciones de exposición y fragilidad constituyen información relevante para la gestión del riesgo de desastres del Distrito de Santiago de Cali, a partir de la cual se pueden priorizar zonas de intervención tanto para la realización de estudios a detalle, como para la implementación de acciones que permitan avanzar en la reducción de las condiciones de vulnerabilidad y mitigación del riesgo.

REFERENCIAS

- Alcaldía del Distrito de Santiago de Cali. (2000). *Cali en cifras 2000*. Departamento Administrativo de Planeación, Santiago de Cali.
- Alcaldía del Distrito de Santiago de Cali. (2012). *Cali en cifras 2012*. Departamento Administrativo de Planeación, Santiago de Cali.
- Alcaldía del Distrito de Santiago de Cali. (2018a). *Documento soporte del Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres*. Santiago de Cali.
- Alcaldía del Distrito de Santiago de Cali. (2018b). *Cali en Cifras*. Departamento Administrativo de Planeación, Santiago de Cali. <https://www.cali.gov.co/planeacion/publicaciones/137803/documentos-cali-en-cifras/>
- Bauman, Z. (2012). *Daños colaterales. Desigualdades sociales en la era global*. Fondo de Cultura Económica.
- Beck, U. (1998). *La sociedad del riesgo. Hacia una nueva modernidad*. Paidós.
- Birkmann, J. (2007). Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications. *Environmental hazards*, 7(1), 20-31. <https://doi.org/10.1016/j.envhaz.2007.04.002>
- Birkmann, J. & Wisner, B. (2006). *Measuring the unmeasurable: the challenge of vulnerability*. UNU-EHS. <http://collections.unu.edu/eserv/UNU:1872/pdf3962.pdf>
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. & Wisner, B. (1994). *Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters*. Rutledge. <https://doi.org/10.4324/9780203714775>
- Brooks, N. (2003). Vulnerability, Risk and Adaptation: A Conceptual Framework. Tyndall Centre for Climate Change Research, 38, 1-16. University of East Anglia.
- Cardona, O. (2001). Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93531/08Capitulo6.pdf>
- Congreso de la República de Colombia. (2012). Ley de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (Ley 1523 de 2012). DO: 48.411. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>
- Concejo Distrital de Santiago de Cali. (2014). Acuerdo N°0373 de 2014. Por medio del cual se adopta la revisión ordinaria del contenido de largo plazo del Plan de Ordenamiento Territorial de Santiago de Cali. Santiago de Cali.
- Cutter, S.L., Boruff, B.J., & Shirley, W.L. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social science quarterly*, 84(2), 242-261.
- Chardon, A.C. (2004). *Un enfoque geográfico de la vulnerabilidad global de un hábitat urbano de ladera expuesto a amenazas naturales. El caso andino de Manizales, Colombia*. Centro de Publicaciones.

- Du, J., Yin, K., Lacasse, S., & Nadim, F. (2014). Quantitative vulnerability estimation of structures for individual landslide: application to the Metropolitan Area of San Salvador, El Salvador. *Electron J Geotech Eng*, 19, 1251-1264.
- Escofier, B. & Pagés, J. (2008). *Analyses factorielles simples et multiples. Objectifs, méthodes et interprétation* (4 ed.). Dunod. https://cdn-cms.f-static.com/uploads/1460418/normal_5b9ba5dc15394.pdf
- Fussler, H. (2006). Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change*, 17(2007), 155-167. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.05.002>
- Gallopin, G.C. (2003). *Sostenibilidad y desarrollo sostenible, un enfoque sistémico*. División de desarrollo sostenible, CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/5763>
- García, F.C. (2001). *Sociedades y territorios en riesgo*. Ediciones del Serbal.
- González de Vallejo L.I., Ferrer M., Ortuño L. & Oteo C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Printice Hall.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS & Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente DAGMA. (2005a). Investigaciones geológicas y geomorfológicas. En *Estudio de Microzonificación sísmica de Santiago de Cali* (pp.1-44). INGEOMINAS.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS & Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente DAGMA. (2005b). Subproyecto de respuesta sísmica. En *Estudio de Microzonificación sísmica de Santiago de Cali* (pp.1-158). INGEOMINAS.
- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. (2007). *Climate Change: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I*. En Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. & Miller, H.L., (Eds.), *Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Janssen, M.A., Schoon, M.L., Ke, W. & Börner, K. (2006). Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change. *Global Environmental Change*, 16(3), 240-252. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.001>
- Lampis, A. (2013). Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: debates acerca del concepto de vulnerabilidad y su medición. *Revista Colombiana de Geografía*, 22(2),17-33.
- Lavell, A. (2011). *Desempacando la adaptación al cambio climático y la gestión del riesgo: Buscando las relaciones y diferencias: Una crítica y construcción conceptual y epistemológica*. FLACSO.
- Lei, Y., Wang, J., Yue, Y., Zhou, H. & Yin, W. (2014). Rethinking the relationships of vulnerability, resilience, and adaptation from a disaster risk perspective. *Natural Hazards*, 70(1), 609-627. <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-013-0831-7>
- Mizutori, M., & Guha-Sapir, D. (2019). *Pérdidas económicas, pobreza y desastres 1998-2017*. EIRD. <https://www.eird.org/americas/docs/perdidas-economicas-pobreza-y-desastres.pdf>
- Moser, C.O. (1998). The asset vulnerability framework: reassessing urban poverty reduction strategies. *World development*, 26(1), 1-19. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305750X97100158>
- Narváez, L., Lavell, A. & Pérez, G. (2009). *La gestión del riesgo de desastres: Un enfoque basado en procesos*. Secretaría General de la Comunidad Andina. https://www.cac.int/sites/default/files/Comunidad_Andina_Gesti%C3%B3n_del_Riesgo_desastres_un_enfoque_basado_en_procesos._2009.pdf
- Ocampo Hoyos, A.M. (2017). *Crecimiento Urbano y Planificación Territorial en la Ciudad de Cali. Evolución 1990 - 2010*. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. <https://www.tdx.cat/handle/10803/404144#page=1>
- Rodríguez, M. (2017). *Factores de vulnerabilidad en la construcción del riesgo*. Universidad Nacional Autónoma de México. Itaca.
- Salcedo Hurtado, E.D.J., & Alvarado Flórez, C.E. (2007). Intensidades del sismo de Pizarro-Chocó del 15 de noviembre de 2004 en Cali-Colombia. *Épsilon*, 1(9), 57-72. <https://ciencia.lasalle.edu.co/ep/vol1/iss9/6/>
- Servicio Geológico Colombiano SGC. (2016). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. SGC.

- Turner, B.L., Kasperson, R.E., Matson, P.A., McCarthy, J.J., Corell, R.W., Christensen, L., ... & Polsky, C. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the national academy of sciences*, 100(14), 8074-8079.
- Vallejo, A. & Vélez, J. (2001). Sistemas de riesgo, una propuesta metodológica para el estudio de los desastres: Casos Comuna 1 y 20 Santiago de Cali. Tesis de pregrado. Universidad del Valle. Cali.
- Vergara, R.A. (2011). *Vulnerabilidad en grandes ciudades de América Latina*. Universidad del Norte.
- Vásquez, E. (1990). Historia del desarrollo económico y urbano en Cali. *Boletín socioeconómico*, 20, 1-28. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/5486/Historia?sequence=1>
- Wallemacq, P. & House, R. (2018). *Economic losses, poverty & disasters: 1998-2017*. CRED & United Nations Office for Disaster Risk Reduction. <https://www.unisdr.org/we/inform/publications/6119>
- Walker, B., Holling, C.S., Carpenter, S.R. & Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 9(2), 5. <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/>
- Wilches, G. (1993). *La vulnerabilidad global. En Los desastres no son naturales*. LA RED, Tercer mundo editores. <https://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales-1.o.o.pdf>
- White, G.F. (1974). *Natural Hazards: Local, National, and Global*. Oxford University Press.
- Westgate, K.N. & O'keefen, P. (1976). Some definitions of disaster. Occasional paper No.4. Disaster Research Unit, University of Bradford.