

RESUMEN

En este trabajo se construyen y evalúan los posibles escenarios de vulnerabilidad y de daño sísmico a gran escala de las edificaciones de mampostería de uno y dos pisos del barrio San Antonio, Cali, Colombia, considerado de interés patrimonial por su valor arquitectónico, histórico y documental. Alrededor del 73 % de sus edificaciones fueron construidas en mampostería no confinada de adobe y ladrillo, tipologías constructivas que han demostrado un alto grado de susceptibilidad frente al fenómeno sísmico.

La metodología para la determinación de la vulnerabilidad sísmica utilizada, es desarrollada por el autor y se enmarca dentro de la categoría de **Vulnerabilidad Observada**. De otro lado con base en el método de Hurtado se determina la categoría de daño sísmico de las edificaciones, a partir del cálculo de la ductilidad, para tres sismos hipotéticos. Con los resultados obtenidos de las evaluaciones anteriores, se construyen posibles **escenarios de vulnerabilidad y de daño sísmico**.

Se pudo establecer que la muestra analizada presenta una vulnerabilidad global, donde el 78 % de las edificaciones, es decir, la mayoría, calificaron con **vulnerabilidad moderada**, y con **vulnerabilidad alta** calificaron el 22 % restante. Además se determinó que para un sismo de **Aa = 0.07 g**, el 57 % de las edificaciones no presentaría daño. Para un sismo de **Aa = 0.17 g**, la mayoría de efectos estarían representados en daños mayores en un 34 %, y para un sismo de **Aa = 0.25 g**, el mayor porcentaje de daños estaría representado por colapsos en un 32 %.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 INTRODUCCIÓN

Las necesidades insatisfechas, la falta de conocimiento o el incumplimiento de normas establecidas dentro de una comunidad, contribuyen a la generación de diversos escenarios, donde tanto las amenazas naturales como las amenazas antrópicas, sumado a unas condiciones de vulnerabilidad social, institucional, cultural, económica, política, física, ambiental, representan una condición de riesgo para la población. Se puede decir que la vulnerabilidad sísmica de las ciudades está asociada a los procesos del desarrollo y es dinámica en el tiempo, factor que la hace intervenible y modificable. (*Wilches, 1989; Jaramillo, 1994*).

Existen poblaciones que son vulnerables desde su origen (*Vulnerabilidad de origen*) debido a una construcción inadecuada en zonas no aptas, así como a la ausencia de mínimas normas constructivas de diseño sísmico, y a la utilización de materiales de baja calidad. Otras sin embargo, siendo emplazadas en zonas seguras desde un principio, se han vuelto vulnerables con el tiempo (*Vulnerabilidad progresiva*), debido al deterioro de las edificaciones (zonas históricas por ejemplo), a la falta de mantenimiento, y al cambio de uso, entre otros (*Maskrey & Romero, 1986*).

Muchas de las ciudades colombianas conservan zonas conformadas por edificaciones que son vestigio de su desarrollo urbano. En estas zonas convergen diversas manifestaciones arquitectónicas y constructivas propias de cada época, las cuales con el transcurrir del tiempo han sido transformadas, mediante intervenciones de tipo constructivo, (reformas, adiciones, mutilaciones, etc.) que muchas veces ocasionan agudos procesos de deterioro.

Los procesos asociados al desarrollo urbano de Cali desde la época de la fundación hasta el presente, han contribuido a la generación de diversos escenarios de vulnerabilidad sísmica en muchos sectores de la ciudad, los cuales son producto de fenómenos sociales, culturales, políticos, ambientales y económicos.

El barrio San Antonio pertenece a la Comuna 3, y se encuentra localizado al Nor-Occidente de la ciudad de Santiago de Cali, sobre el piedemonte de la Cordillera Occidental, a partir de la cota 1000 msnm hasta la cota 1080 msnm, entre las coordenadas geográficas 109850N a la 110350, y 110000E a la 110800E, ocupando un área aproximada de 17 hect., conformadas por 27 manzanas, comprendidas entre la colina de San Antonio y la calle 5^{ta}, y las carreras 4^{ta} y 12.

Su plano cumple características de damero, en forma de tablero de ajedrez, con calles estrechas, herencia de la tradición colonial. En la parte alta del barrio se localiza la Capilla de San Antonio, que evoca la arquitectura colonial de Santiago de Cali, inaugurada al parecer en julio de 1747 (*Quintero & Barandica, 1985*).

Este barrio ha sido un sector tradicionalmente ligado a la historia de la ciudad de Cali, además tiene la particularidad de estar conformado por edificaciones construidas en diferentes épocas, concentradas en una misma área.

La gran mayoría de las viviendas son de adobe, ladrillo cocido y bahareque (en un menor grado ya casi inexistente), cuyas alturas varían de uno a dos pisos. Se encuentran viviendas de tradición colonial, republicana, ecléctica y moderna, según la clasificación existente en el "Plan de recuperación urbanístico y arquitectónico del barrio San Antonio 1998-2000" (SMP, 1998).

Se puede decir que en el barrio convergen la mayoría de las manifestaciones arquitectónicas que han caracterizado el desarrollo urbano de la ciudad en diferentes épocas, y que han desaparecido por completo en algunas zonas del "centro histórico de Cali", a causa del deterioro, o por la implementación de nuevos desarrollos urbanísticos.

El conocimiento de las prácticas constructivas del país, las normas de diseño sismo resistente, el tipo de materiales utilizados, la clasificación de los estilos arquitectónicos y el comportamiento sísmico observado de diversos sistemas estructurales sometidos a movimientos telúricos en el pasado, aportan elementos importantes para el estudio de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones objeto de este trabajo.

La metodología utilizada para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica desarrollada por parte del autor se elaboró a partir del estudio de diversos procedimientos o métodos existentes en el ámbito mundial; la identificación de las principales causas de daño sísmico en edificaciones de uno y dos

pisos en mampostería en terremotos pasados y los principios de la sismo resistencia, y la metodología utilizada para la determinación del daño sísmico fue la desarrollada por Hurtado en 1990. A partir de los resultados obtenidos del cálculo de la vulnerabilidad y el daño se construyeron posibles "*Escenarios de vulnerabilidad*" y "*Escenarios de daño sísmico*" a gran escala.

La estimación de la vulnerabilidad y el daño sísmico probable de las edificaciones existentes es un componente imprescindible de cualquier plan de mitigación, tanto más, si se piensa que los avances del conocimiento en Ingeniería Sísmica, reflejados en los conceptos de diseño sismo resistente, pueden estar incorporados, al parecer, sólo en las construcciones más recientes (*Jiménez et al, 1999*).

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 Vulnerabilidad sísmica de edificaciones.

Históricamente el territorio colombiano se ha visto sometido a una serie de movimientos sísmicos que han ocasionado gran cantidad de víctimas y cuantiosas pérdidas materiales, afectando principalmente edificaciones de uno y dos pisos de construcción popular.

Según la Base de Datos de DESINVENTAR de la Red de Estudios Sociales, en Prevención de Desastres en América Latina (La Red), en el siglo XX más de 60 000 viviendas colombianas fueron afectadas por terremotos; por lo menos 50 000 quedaron destruidas, ocasionando más de 3000 heridos e igual número de muertos. Los departamentos más afectados fueron los localizados en la región andina, entre ellos el Valle del Cauca, con más de 1000 viviendas destruidas y con cientos de personas afectadas, generando cuantiosas pérdidas económicas (tomado de la red mundial: *“Base de Datos Desinventar - Colombia”*, en <http://www.desinventar.org>).

Cali se encuentra localizada en una zona de amenaza sísmica alta; la ciudad se desarrolló a lo largo de unos 400 años sobre terrenos poco susceptibles a amenazas geológicas y con características geotécnicas relativamente buenas (*Velásquez & Meyer, 1994*). Pero, a pesar de esta condición, muchas de las edificaciones asentadas en su territorio, sufrieron daños en terremotos pasados.

Se tiene evidencia histórica de sismos que desde 1566 han afectado en forma considerable las edificaciones de la zona del centro de Cali. Se puede decir, que los efectos generados por movimientos sísmicos importantes con incidencia en edificaciones de uno y dos pisos de construcción tradicional de adobe, tapia y bahareque, se localizaron en inmediaciones del barrio San Antonio, en el centro histórico de la ciudad, y en un periodo comprendido entre 1566 y 1925, debido a que la mayoría de viviendas que conformaban el tejido urbano hasta esa época obedecían a edificaciones de baja altura y construcción tradicional. Es solo a partir de 1925 cuando aparecen las primeras edificaciones que obedecen a técnicas constructivas modernas como el teatro municipal, el edificio Emiliano Otero y el Palacio Nacional y la ciudad comienza a crecer en altura de más de dos pisos (*Mosquera & Aprile, 1984*).

Los terremotos como “*laboratorios a gran escala*”, han demostrado qué tan susceptibles pueden ser las edificaciones de construcción popular frente al fenómeno sísmico. Sismos como el de Cúcuta en 1981, el de Popayán en 1983 y el del Eje Cafetero en 1999, entre otros, generaron cuantiosas pérdidas económicas y afectaron el PIB (Producto Interno Bruto) de Colombia, ocasionando que la mayor parte de los recursos destinados a la “*inversión social*” se utilizaran en la fase de recuperación y reconstrucción de las poblaciones afectadas, generando un déficit mayor en la economía del país.

Uno de los antecedentes regionales más cercanos de terremotos que han afectado a centros históricos, o a sectores antiguos de construcción tradicional en Colombia, es el de Popayán, el 31 de marzo de 1983. La mayoría de edificaciones del sector más antiguo de esta ciudad, construidas en materiales como tapia y adobe fueron seriamente dañadas. Según el informe de *Ramírez* (1986) para el Banco de la República, el centro histórico de Popayán estaba conformado por 54 manzanas con un total de 1727 edificaciones, de las cuales el 18 % fueron destruidas, por lo menos el 56 % quedaron semidestruidas, y alrededor de un 26 % quedaron averiadas.

Otro antecedente importante sobre efectos sísmicos en edificaciones de construcción tradicional, es el terremoto de Cúcuta el 17 de octubre de 1981, donde la construcción tradicional dominante de la ciudad estaba conformada por viviendas de bahareque y adobe para las casas más antiguas, y otras de ladrillo pegadas con calicanto, que conformaban por lo menos el 80 % del total de las edificaciones de la ciudad en la época del sismo. Según el informe de *Sarría* (1982) de un total de 2301 casas evaluadas al mes de Noviembre de 1981, alrededor de un 30 % resultaron destruidas, otro 40 % quedaron semidestruidas y cerca del 30 % sufrieron averías.

Según *Aprile & Mosquera* (1984) “...Las tipologías habitacionales son dinámicas, se hallan en continua transformación y expresan el pasado, el presente, y el porvenir de la sociedad o comunidad que albergan...”, en este sentido, se puede decir que la probabilidad de desastres futuros en los “Centros históricos “ ó sectores antiguos de las ciudades, se hace cada vez más evidente en la medida que estos, se transformen sin ningún control.

1.2.2 Antecedentes de estudios de vulnerabilidad y riesgo sísmico en otros países.

A escala mundial se han desarrollado estudios conducentes a la determinación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico de centros urbanos, tal es el caso de las investigaciones y proyectos realizados en España, Italia, Japón, EEUU, Ecuador, Perú, México, Chile, Argentina, Colombia, etc. Dado el impacto negativo que producen los terremotos en la economía y en el desarrollo de un país.

Los europeos, por ejemplo, han desarrollado diversas metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones y la determinación del riesgo sísmico, mediante procedimientos como el *“Método del Índice de Vulnerabilidad”* (Petrini & Benedetti, 1984 en Jiménez et., al. 2000), que ha sido ampliamente utilizado en Italia durante los últimos años, por el GNNDT (Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti) y adoptado como herramienta para los planes de mitigación de desastres en el ámbito gubernamental (Caicedo, et., al. 1994).

El método del Índice de vulnerabilidad también ha sido empleado en el Proyecto SERGISAI (Seismic Risk Evaluation Trough Integrated Use of Geographical Information Systems and Artificial Intelligence Techniques)1996-1998: Proyecto del IV Programa Marco de Investigación y Desarrollo de la Unión Europea - UE, donde se ha desarrollado un prototipo informático de determinación del riesgo sísmico a escala regional, sub-regional, y local. (tomado de la red mundial: *“Proyecto SERGISAI”* Menoni et., al. 1997, en [www.ade.irrs.mi.cnr.it/ SERGISAI/Docs /PAPERS/ Brux](http://www.ade.irrs.mi.cnr.it/SERGISAI/Docs/PAPERS/Brux)

[_97.html](#)).

También se desarrolló el proyecto RELMER (Reduction of Earthquake Losses in the Mediterranean Region), el cual fue patrocinado por la UNESCO y el U.S Geological Survey (USGS) en 1998 (*tomado de la red mundial: Seismic Risk Proyects, CSIC en <http://www.dgija.csic.es/seismic.html>*).

De los trabajos realizados en Latinoamérica, se puede mencionar el estudio de amenaza sísmica en el Austro, “Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en la Ciudad de Cuenca Ecuador” (RSA – Red Sísmica del Austro) 1998-2001, en el que se utilizó la metodología del “índice del vulnerabilidad” para evaluar las edificaciones en MNR (mampostería no reforzada) y HA (Hormigón armado o concreto reforzado) Según *Jiménez et al* (2000).

En la región central de Chile se desarrolló el “Estudio de Vulnerabilidad Sísmica de Viviendas de Adobe en la Zona de Coelemu” (8ª Región, Chile), donde se utilizó la metodología propuesta por el Istituto di Scienza e Técnica delle Costruzioni (I.S.T.C) (Giuliano et al, 2000) y finalmente, en Gran Mendoza, Argentina, *Fernández* (2000) trabajó con la propuesta de “Modelo Experimental para la Evaluación de la Vulnerabilidad de Sistemas Urbanos en Zonas Sísmicas”.

Se puede decir que en el ámbito mundial se han generado numerosos proyectos e investigaciones, en lo concerniente a estudios de vulnerabilidad y riesgo sísmico, los cuales abarcan diversas escalas con características particulares. Estos estudios se han desarrollado de acuerdo al grado de

detalle requerido y a los recursos disponibles, pero con el objetivo primordial de ser utilizados como herramientas para la planificación y la gestión del riesgo.

1.2.3 Antecedentes de estudios de vulnerabilidad y riesgo sísmico en Colombia.

1.2.3.1 Cali.

En 1988 se iniciaron las evaluaciones de la vulnerabilidad sísmica urbana de Cali al igual que evaluaciones para las instalaciones claves y líneas vitales (*Ramírez et al, 1992, en Campos, 1992*).

En la ciudad el antecedente más cercano del presente trabajo, lo constituye el informe final de la "*Mitigación del Riesgo Sísmico en Cali*" auspiciado por el Programa para la Mitigación de Riesgos en Colombia y la UNDRR, la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional, y la Oficina Nacional para la Prevención de Desastres, (*Campos, 1992*), estudio realizado como parte del *Proyecto Integral para la Mitigación del Riesgo Sísmico de Cali* (*Meyer, 1990*), elaborado por el Observatorio Sismológico del Sur Occidente OSSO, el cual contempló actividades relacionadas con la evaluación de las amenazas ó peligros naturales, la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo de los elementos expuestos y el diseño de medidas para la mitigación y reducción del riesgo sísmico.

La evaluación de la vulnerabilidad y la estimación del escenario de pérdidas materiales y de vidas en la ciudad, centró su primera fase en el estudio de las edificaciones de uno y dos pisos construidas en mampostería, debido a que este tipo representaba más del 80 % de las edificaciones de Cali. Además, la experiencia de terremotos pasados demostró que el mayor número de pérdidas de vidas y daños materiales se concentraba en este tipo de viviendas (*Grases, 1985, en Meyer, 1990*).

La metodología utilizada para realizar dicho estudio se basó en métodos "teóricos" (*Cardona, 1989; Hurtado, 1990, en Meyer, 1990*). Los resultados obtenidos se dan en términos de pérdidas materiales y de vidas, considerando la posible ocurrencia de dos sismos, con aceleraciones pico efectiva (A_a) de 0.25 g y 0.17 g respectivamente, estos se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Resumen de resultados de pérdidas de vidas y materiales

Pérdida de Vidas y Materiales	Hip.1	Hip. 2
	$A_a = 0.17 \text{ g}$	$A_a = 0.25 \text{ g}$
Número probable de muertes	7600	16 000
Número probable de heridos	34 500	78 400
Relación heridos/muertes	4.5	4.9
Muertes por cada 10 000 habitantes	540 000	960 000
Pérdidas. mat. en millones de pesos	\$540 000	\$960 000
Pérdidas. mat. en millones de dólares	US\$850	US\$1500

Fuente: Campos (1992)

El estudio considera que inevitablemente existen incertidumbres en los escenarios sísmicos teóricos, particularmente asociadas con las relaciones de movimiento/daños. Concluye entonces, que aunque la precisión de las pérdidas estimadas no es muy grande, sirve para tener un valor aproximado de las pérdidas materiales, de vidas y del número posible de heridos, con el objetivo de definir donde se deben concentrar esfuerzos para la reducción del riesgo y la respuesta operativa en caso de una emergencia.

Si se comparan las poblaciones e indicadores económicos de cada capital del Occidente Colombiano con respecto a Quibdo, en términos del índice de riesgo, en caso de que ocurriera un terremoto con las mismas características del que afectó a la ciudad de Armenia, según *Velásquez, et.,al.* (2001) se obtendrían las siguientes cifras.

Tabla 2. Comparación de índices relativos de riesgos

Ciudad	Riesgo /Población	Riesgo/ Economía
Quibdo	1	1
Armenia	1.6	20
Cali	18	1069

Fuente: Tomado *Velásquez*, 2001.

De acuerdo con *Velásquez* (2001), las pérdidas generadas por el sismo del 25 de enero de 1999, según el informe del CEPAL: “Informe de Pérdidas por el Terremoto del Eje Cafetero”, publicado en el Espectador, en mayo de 1999, fueron de \$2.8 billones de pesos, que es un valor mayor al 2.2 % del

PIB colombiano en 1998. La extrapolación lineal de pérdidas realizada por el autor, para la ciudad de Cali, el número posible de muertos y heridos sería de más de 18 veces y las pérdidas económicas serían mayores de 50 veces. Es decir, que en términos del PIB se estaría hablando de un porcentaje de pérdidas potenciales mayor a 129 % del PIB/año de Colombia.

1.2.3.2 Popayán.

Teniendo en cuenta los daños observados generados por el terremoto del 31 de marzo de 1983 y las experiencias en la reconstrucción de numerosas edificaciones, se propuso y aplicó una metodología sencilla para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de Popayán (*INGEOMINAS*, 1992).

Para fines del estudio las edificaciones se clasificaron en tres tipos: arquitectura clásica de los siglos XVIII y XIX, ladrillo cocido y edificios con estructuras aporticadas. Los templos religiosos se analizaron de manera individual debido a su complejidad estructural.

De acuerdo con *INGEOMINAS* (1992) el procedimiento para el cálculo de la vulnerabilidad sísmica se realizó a partir de la calificación de un índice de vulnerabilidad "V", que determina si la edificación es segura, dudosa (lo que significa estudio mas detallado) o riesgosa (es decir, requiere intervención). En este estudio se determinó el riesgo sísmico relativo, en función del factor de importancia "I", y la estimación del nivel de eventualidad sísmica "H".

Según los resultados obtenidos en la evaluación de vulnerabilidad sísmica global de las edificaciones de Popayán (figura 8.2, Distribución global de la vulnerabilidad) p.202 en *INGEOMINAS* (1992) más del 95 % son construcciones seguras, por lo menos un 4 % son construcciones de categoría dudosa, es decir, que ameritan estudios más detallados y alrededor de un 1 % son construcciones riesgosas, es decir, requieren intervención.

Las edificaciones con mayor grado de vulnerabilidad (figura 8.4 Vulnerabilidad promedia p.203 en *INGEOMINAS*, 1992), son los templos religiosos, seguidas por las edificaciones de arquitectura clásica española de los siglos XVIII y XIX. Las edificaciones de ladrillo, prefabricadas y de hormigón armado presentan un menor grado de vulnerabilidad.

1.2.3.3 Medellín.

En Medellín se desarrolló el proyecto "Estudio de la Amenaza, Zonificación, Análisis y Vulnerabilidad Sísmica para Medellín, 1994" (*Velásquez et al*, 1994), el cual se restringe a la infraestructura residencial, comercial e industrial. Se empleó como metodología un tratamiento estadístico en términos de variables generales tales como la densidad de construcción, estrato socioeconómico, número de pisos, tipo de cubierta, edad de la construcción y su uso. La vulnerabilidad se describió en términos de aceleración basal resistente elástica, periodo fundamental de vibración de la estructura y la función de daños.

Los resultados obtenidos fueron la determinación de escenarios de pérdidas materiales y de vidas, mapas de periodos de vibración y amplificaciones del

suelo y mapas de periodos y amplificaciones del espectro de respuesta para diferentes eventos.

1.2.3.4 Bogotá.

El estudio de "Estimación del riesgo sísmico relativo de Santa Fé de Bogotá, Colombia" (*Cardona*, 1999), abarcó las localidades que conforman el centro urbano metropolitano de la ciudad (Alcaldías menores), e incluyó aspectos sociales y económicos, adicionales a las variables sismológicas y de ingeniería, obtenidas en el estudio detallado de microzonificación sísmica.

La metodología utilizada estimó "el índice de riesgo físico" y el "índice de riesgo en el contexto", para la determinación del riesgo sísmico relativo. Las variables utilizadas para la determinación del índice de riesgo físico se componen del área destruida por sismo, número de fallecidos, roturas en la red de acueducto y de gas, longitud de la caída de redes eléctricas y número de centrales telefónicas afectadas. El índice de riesgo del contexto se compone de indicadores de la vulnerabilidad sísmica del contexto, exposición, fragilidad social y falta de resiliencia (*Cardona*, 1999).

Los resultados obtenidos fueron la categorización de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo sísmico de las diferentes alcaldías menores de Bogotá, mediante la integración del "índice de riesgo físico" y el "índice de riesgo del contexto".

1.2.3.5 Pereira.

En Pereira se llevó a cabo el proyecto "Vulnerabilidad sísmica urbana de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal" (*Campos & Jaramillo*, 1999). La muestra abarcó edificaciones residenciales, comerciales, industriales, institucionales y educativas. La metodología utilizada tuvo en cuenta la caracterización de la amenaza sísmica y los suelos, además del inventario de edificaciones, de los diferentes tipos de estructuras objeto del estudio, parámetros que sirven para definir un modelo de pérdidas económicas y de vidas.

Las variables para la determinación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones fueron el número de niveles, el tipo de estructura, el uso, el tipo de cubierta, edad, estrato, densidad de la construcción, geometría de los sectores y el tipo de suelo predominante por manzana. Los resultados obtenidos se expresaron en función de la generación de escenarios futuros de riesgo, en términos de pérdidas económicas y de vidas, bajo tres hipótesis de sismos probables planteados en el estudio.

1.3 JUSTIFICACIÓN

1.3.1 Pertinencia del estudio.

La determinación de escenarios de vulnerabilidad sísmica y de daños en el barrio San Antonio es pertinente, en tanto se enfoca como un estudio de vulnerabilidad sísmica a gran escala, aplicado a un sector urbano con unas condiciones particulares y representativas desde el punto de vista tecno/constructivo y arquitectónico. Si bien, pueden existir limitaciones para la generación de escenarios de daños debido a su carácter de índole académico, preliminar y cualitativo, este estudio constituye una primera aproximación al conocimiento de las condiciones de vulnerabilidad y riesgo sísmico de un sector específico.

El barrio está asentado sobre una zona de características geotécnicas relativamente buenas, no obstante, la mayoría de sus construcciones principalmente de uno y dos pisos, alrededor de un 70 %, fueron construidas antes de la expedición de la primera norma de construcción sismo resistente CCCSR-84.

La mayoría de los componentes o elementos de los centros urbanos amenazados por futuros eventos sísmicos, obedecen a técnicas constructivas espontáneas o tradicionales, o a obras de ingeniería que no cumplen con los mínimos requerimientos. De acuerdo con esto, el riesgo sísmico, o la probabilidad de daños o pérdidas sobre los elementos existentes, puede llegar a ser muy alto, debido a que un significativo

porcentaje de los componentes físicos de los escenarios urbanos amenazados ofrecen un alto grado de vulnerabilidad (*Cardona*, 1990).

Según la Asociación Internacional de Ingeniería Sísmica (en *CISMID*, 1986), muchas de las pérdidas de vidas en los terremotos pasados han ocurrido debido al colapso de las edificaciones construidas con materiales tradicionales como piedra, ladrillo, adobe y madera, las cuales no fueron particularmente diseñadas para ser resistentes a los sismos.

Lo anterior significa que en la actualidad numerosas edificaciones en la ciudad de Cali en diversos sectores, podrían, de alguna forma, verse afectadas por la acción sísmica, debido a que corresponden a tipologías constructivas de tradición popular, localizadas en los sectores más antiguos de la ciudad (barrio La Merced, San Pedro, San Antonio, El Peñón, entre otros), zonas de deterioro urbanístico (como El Calvario, Sucre, San Nicolás, Obrero) y zonas donde la construcción se caracteriza por su desarrollo progresivo, como en el caso del Distrito de Aguablanca.

1.3.2 Vulnerabilidad de las edificaciones de construcción tradicional.

Muchos de los daños sísmicos por terremotos pasados con efectos en la ciudad se concentraron en un principio en el centro de Cali (La Merced, San Francisco, El Calvario, San Nicolás, Santa Rosa, San Cayetano y San Antonio, entre otros), viéndose afectadas en diversas ocasiones las construcciones de adobe, tapia y bahareque que conformaron el tejido urbano entre 1556 y 1925.

Algunas de las edificaciones que conforman estos barrios permanecen como vestigios de la historia de la evolución de la construcción de vivienda en Cali, a pesar del deterioro, demoliciones o intervenciones desafortunadas a que han sido sometidas.

1.3.3 Representatividad del barrio.

Las diversas manifestaciones arquitectónicas presentes en el barrio San Antonio son expresión del desarrollo urbano de la ciudad en materia de vivienda, lo que permite estudiar las diferentes técnicas constructivas y materiales empleados, representativos de cada estilo, concentrados en una sola área. Por lo tanto es posible identificar las causas de daño sísmico asociadas a cada tipología y estilo arquitectónico, las cuales han sido identificadas en viviendas en Colombia con las mismas características después de ser sometidas a sismos, que en muchos casos han resultado con graves daños, o han colapsado.

Los efectos generados por sismos anteriores sobre estas edificaciones, por lo general construidas con técnicas y materiales de construcción tradicional (mampostería sin reforzar o sin confinar), han demostrado lo susceptibles que pueden ser y el riesgo que representan para la población. Además, éstas han evidenciado un comportamiento sísmico y un tipo de fallas similares, generadas al parecer por causas semejantes en cada terremoto. Esto hace pensar en la posibilidad que este tipo de fallas se vuelvan a repetir en construcciones con las mismas características arquitectónicas y constructivas

en las viviendas que hoy en día hacen parte del barrio objeto del presente trabajo.

Por lo tanto, se hace necesario estudiar las causas que generan daño sísmico en estas edificaciones con el fin de construir posibles "*Escenarios de Vulnerabilidad Sísmica*" y "*Escenarios de daño Sísmico*", que contribuyan a identificar las zonas o áreas más vulnerables, con el objeto de plantear estudios mas detallados, que conduzcan a la mitigación de la vulnerabilidad.

1.3.4 Aspecto patrimonial.

Otro aspecto fundamental para la escogencia del barrio como zona de estudio del presente trabajo, es la importancia que tiene como zona de interés patrimonial, ya que es el único conjunto urbano de Cali, que conserva gran número de viviendas republicanas y eclécticas, al igual que algunos ejemplos de construcciones de tradición colonial.

El barrio y la Capilla de San Antonio, están ligados fuertemente a la memoria urbana de Cali, es decir, son espacios urbanos significativos, vestigios del desarrollo urbano de una ciudad en la que se ha arrasado con la mayor parte del patrimonio arquitectónico (*Quintero & Barandica*, 1989; *SMP*, 1998).

San Antonio conserva las características, que Waisman (1993) describe para los centros históricos, éstas son: "*...Un conjunto importante... dentro de un tejido urbano coherente y significativo. Las edificaciones de especial valor, integrados dentro de esa trama homogénea que se ha consolidado a lo largo*

de varios siglos, conforman una unidad urbana en la que se conjugan valores históricos, arquitectónicos, de paisaje urbano, de memoria social..."

1.3.5 Herramienta para la planificación.

Los resultados que arroje el presente trabajo pueden ser empleados como una herramienta para el desarrollo de estudios mas específicos, que permitan conocer de una manera mas detallada las condiciones de vulnerabilidad de las edificaciones, con el fin de direccionar políticas de planificación conducentes a la mitigación de la vulnerabilidad del conjunto urbano.

1.3.6 Herramienta metodológica para diagnosticar la vulnerabilidad sísmica.

El presente trabajo propone un modelo de estudio cualitativo de las vulnerabilidad y riesgo sísmico a gran escala para ser implementado a un nivel más local, con un universo de estudio más específico y una cobertura focalizada que puede ser comunal, barrial o sectorial. La metodología es conveniente, en tanto, puede ser desarrollada en otros barrios de la ciudad, de manera que se empiecen a generar insumos con un menor grado de incertidumbre para el estudio de la vulnerabilidad teniendo en cuenta las características particulares de cada sector de la ciudad.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general.

Construir y evaluar posibles **escenarios de vulnerabilidad y de daño sísmico** de las edificaciones de uno y dos pisos, construidas en mampostería en el barrio San Antonio, teniendo en cuenta las características constructivas, arquitectónicas, estructurales.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Desarrollar una propuesta metodológica para determinar la vulnerabilidad sísmica del barrio San Antonio.
- Identificar de manera general las posibles causas de daño sísmico en las edificaciones objeto de estudio.
- Estimar diversos escenarios de daño y de vulnerabilidad en el barrio San Antonio.
- Generar recomendaciones que permitan desarrollar estudios mas detallados para complementar el estudio.

1.5 ALCANCES

- Inventario de 570 viviendas del barrio San Antonio, 73 % de un piso y 27 % de dos pisos.
- Clasificación de las tipologías constructivas presentes en el barrio, identificando en cada uno de ellos los elementos que los hacen vulnerables.
- Determinación de indicadores de vulnerabilidad, para cada uno de las edificaciones que conforman el barrio, a partir de una evaluación cualitativa, con el fin de construir posibles "Escenarios de vulnerabilidad y escenarios daño sísmico".

1.6 LIMITACIONES

- El estudio se restringe a edificaciones de uno y dos pisos.
- El carácter preliminar del presente trabajo, involucra incertidumbres que pueden irse reduciendo en la medida que se realicen estudios más específicos.
- Los resultados de categorías de daños son aproximaciones a posibles indicadores y no constituyen una predicción exacta debido al carácter preeliminar de las estimaciones.
- No se consideran edificaciones de uso especial.