

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE ABREVIATURAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABLAS

<u>RESUMEN</u>	<u>1</u>
<u>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u>	<u>2</u>
1.1 INTRODUCCIÓN	2
1.2 ANTECEDENTES	6
1.2.1 VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES.	6
1.2.2 ANTECEDENTES DE ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO SÍSMICO EN OTROS PAISES.	9
1.2.3 ANTECEDENTES DE ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO SÍSMICO EN COLOMBIA.	11
1.2.3.1 Cali.....	11
1.2.3.2 Popayán.....	14
1.2.3.3 Medellín.	15
1.2.3.4 Bogotá.....	16
1.2.3.5 Pereira.	17
1.3 JUSTIFICACIÓN	18
1.3.1 PERTINENCIA DEL ESTUDIO.	18
1.3.2 VULNERABILIDAD DE LAS EDIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL.	19
1.3.3 REPRESENTATIVIDAD DEL BARRIO.	20
1.3.4 ASPECTO PATRIMONIAL.	21
1.3.5 HERRAMIENTA PARA LA PLANIFICACIÓN.	22
1.3.6 HERRAMIENTA METODOLÓGICA PARA DIAGNOSTICAR LA VULNERABILIDAD	

SÍSMICA.	22
1.4 OBJETIVOS	23
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.	23
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	23
1.5 ALCANCES	24
1.6 LIMITACIONES	25
2. MARCO TEÓRICO	26
2.1 GENERALIDADES	26
2.2 CONCEPTOS GENERALES	27
2.3 AMENAZA SÍSMICA	29
2.3.1 SISMICIDAD HISTÓRICA.	32
2.3.2 CATÁLOGO MACROSÍSMICO.	33
2.3.3 ESCALAS DE MAGNITUD E INTENSIDAD.	43
2.3.3.1 Intensidad.	44
2.3.3.2 Magnitud	46
2.3.3.3 Relación entre Intensidad y Magnitud	47
2.3.4 DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS LOCALES.	50
2.3.4.1 Efecto de sitio por la geología.	51
2.3.4.2 Efecto topográfico.	52
2.3.5 AMENAZAS COLATERALES O EFECTOS DE SEGUNDO ORDEN	55
2.4 VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES	56
2.4.1 DEFINICIÓN.	56
2.4.2 CAUSAS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.	56
2.4.2.1 Vulnerabilidad por origen.	56
2.4.2.2 Vulnerabilidad progresiva.	57
2.4.3 COMPONENTES DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.	58
2.4.3.1 Vulnerabilidad física.	59
2.4.3.2 Vulnerabilidad estructural.	59
2.4.3.3 Vulnerabilidad no estructural.	64
2.4.3.4 Vulnerabilidad funcional.	65
2.5 SISMO RESISTENCIA	66
2.5.1 DEFINICIÓN.	66
2.5.2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS.	66
2.5.3 PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA SISMO RESISTENCIA.	68
2.5.3.1 Configuración geométrica.	69
2.5.3.2 Configuración estructural.	71
2.5.3.3 Bajo peso.	72

2.5.3.4	Mayor rigidez.	74
2.5.3.5	Buena estabilidad.....	77
2.5.3.6	Suelo firme y buena cimentación.	77
2.5.3.7	Estructura apropiada.....	79
2.5.3.7	Materiales competentes.	79
2.5.3.8	Calidad en la construcción.	80
2.5.3.9	Capacidad de disipar energía.	81
2.5.3.10	Fijación de acabados e instalaciones.	82
2.5.3.11	Estado de conservación de la edificación.....	83
2.5.4	DUCTILIDAD, DEFORMABILIDAD Y CAPACIDAD DE ABSORBER DAÑO.	84
2.5.4.1	Ductilidad.	85
2.5.4.2	Deformabilidad.....	85
2.5.4.3	Capacidad de absorber daño.....	86
2.6	CAUSAS DE DAÑO SÍSMICO EN EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA.....	87
2.6.1	CLASIFICACIÓN DE LAS CONSTRUCCIONES DE MAMPOSTERÍA.....	87
2.6.1.1	Mampostería no reforzada.	88
2.6.1.2	Mampostería confinada.....	88
2.6.1.3	Mampostería reforzada.	89
2.6.2	FALLAS Y DAÑOS TÍPICOS DE CONSTRUCCIONES DE MAMPOSTERÍA.	89
2.6.2.1	Causas de falla sísmica en viviendas de mampostería.....	90
2.6.3	DAÑOS TÍPICOS DE CONSTRUCCIONES DE MAMPOSTERÍA.	93
2.6.3.1	Daños en elementos no estructurales.	93
2.6.3.2	Daños en elementos estructurales (muros portantes).....	93
2.6.4	COMPORTAMIENTO TÍPICO DE LAS EDIFICACIONES EN ADOBE FRENTE A LOS SISMOS.....	94
2.6.4.1	Tipos de fallas de estructuras en tierra.	95
2.7	EFFECTOS DE SISMOS EN EDIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL.....	102
2.7.1	SISMO DE CÚCUTA 17 DE OCTUBRE DE 1981.....	104
2.7.2	SISMO DE POPAYÁN DEL 31 DE MARZO DE 1983.....	106
2.7.3	SISMO DEL EJE CAFETERO DEL 25 DE ENERO DE 1999.....	109
2.8	RIESGO SÍSMICO.....	111
2.8.1	EVALUACIÓN RIESGO SÍSMICO.	111
2.8.1.1	Evaluación de la amenaza sísmica.....	112
2.8.1.2	Identificación de los elementos expuestos.....	113
2.8.1.3	Evaluación del daño y funciones de vulnerabilidad.....	113
2.8.1.4	Estimación del riesgo sísmico específico.....	114
2.8.1.5	Estimación del riesgo sísmico total.	115
2.8.2	ESCENARIOS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	116

2.8.3	ESCENARIOS DE DAÑO SÍSMICO.	116
2.8.4	CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS DE VULNERABILIDAD Y DAÑO SÍSMICO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO – SIG.	117

3. DESARROLLO URBANÍSTICO DE CALI Y SUS IMPLICACIONES EN LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS EDIFICACIONES. 119

3.1	GENERALIDADES.	119
3.2	PERIODO PRE-HISPÁNICO	120
3.3	PERIODO COLONIAL	124
3.4	PERIODO REPUBLICANO	135
3.5	PERIODO DE TRANSICIÓN.	139
3.6	PERIODO MODERNO-CONTEMPORÁNEO.	140

4. EL CONTEXTO DEL BARRIO SAN ANTONIO 146

4.1	GENERALIDADES.	146
4.2	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	147
4.3	DELIMITACIÓN Y CRECIMIENTO HISTÓRICO.	148
4.3.1	DELIMITACIÓN.	148
4.3.2	CRECIMIENTO HISTÓRICO Y URBANÍSTICO	149
4.3.2.1	Siglo XVI.	149
4.3.2.2	Siglo XVII.	150
4.3.2.3	Siglo XVIII.	151
4.3.2.4	Siglo XIX.	152
4.3.2.5	Siglo XX	155
4.3.3	CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO	160
4.3.4	DENSIDAD POBLACIONAL	160
4.3.5	CONFORMACIÓN SOCIO-ECONÓMICA Y USOS DE LAS EDIFICACIONES	161
4.4	DESCRIPCIÓN URBANÍSTICA Y SECTORIZACIÓN	162
4.4.1	DESCRIPCIÓN URBANÍSTICA.	162
4.4.2	SECTORIZACIÓN	162
4.4.2.1	Zonas de frontera	163
4.4.2.2	Zonas internas	166
4.5	EVOLUCIÓN DE LAS CONSTRUCCIONES	170
4.5.1	TRADICIÓN COLONIAL.	172
4.5.2	REPUBLICANO.	173

4.5.3	ECLÉCTICO.....	174
4.5.4	MODERNO POPULAR.....	175
4.6	FACTORES DE AMENAZA SÍSMICA LOCAL.....	177
4.6.1	SUELOS Y GEOMORFOLOGÍA.....	177
4.6.2	EFFECTOS LOCALES DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	182
4.6.2.1	Efecto de sitio por geología.....	182
5.	<u>REVISIÓN DE LITERATURA SOBRE METODOLOGÍAS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES</u>.....	184
5.1	GENERALIDADES.....	184
5.2	MÉTODOS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES EXISTENTES.....	185
5.2.1	MÉTODOS ANALÍTICOS.....	186
5.2.2	MÉTODOS SUBJETIVOS.....	188
5.2.2.1	Métodos que predicen el daño.....	189
5.2.2.2	Métodos que evalúan la capacidad sísmica.....	192
5.2.3	PROBLEMAS ASOCIADOS CON LOS MÉTODOS SUBJETIVOS.....	223
6.	<u>METODOLOGÍA DESARROLLADA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES</u>.....	225
6.1	GENERALIDADES.....	225
6.2	DETERMINACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	226
6.3	PROPUESTA METODOLÓGICA.....	228
6.3.1	DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	228
6.3.2	DESCRIPCIÓN DE LOS INDICADORES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA	232
	Alta.....	245
	FUENTE: AIS, 2001.....	245
	FUENTE (AIS, 2001).....	249
6.3.3	VENTAJAS DE LA METODOLOGÍA.....	256
7.	<u>INVENTARIO DE LAS EDIFICACIONES</u>.....	258
7.1	GENERALIDADES.....	258
7.2	RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	262
7.3	ANÁLISIS DEL INVENTARIO.....	267

8. PROCEDIMIENTOS, TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y RESULTADOS	280
8.1 GENERALIDADES	280
8.2 DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA	281
8.2.1 PROCEDIMIENTO	281
8.2.2 ANÁLISIS Y RESULTADOS	281
8.3 DETERMINACIÓN DE LA CATEGORÍA DE DAÑO SÍSMICO	284
8.3.1 PROCEDIMIENTO.	284
8.3.1.1 Definición de los parametros para el cálculo del daño sísmico. 286	
8.3.1.2 Definición de las hipótesis de sismo.	286
8.3.1.3 Definición del espectro.....	288
8.3.1.4 Cálculo de la categoría de daño sísmico.	290
8.3.2 ANALISIS Y RESULTADOS	296
8.4 EJEMPLO DE APLICACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y DAÑO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN	299
8.4.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	299
8.4.2 DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	301
8.4.3 DETERMINACIÓN DE LA CATEGORÍA DE DAÑO SÍSMICO.....	303
8.5 DETERMINACIÓN ESCENARIOS DE VULNERABILIDAD Y DAÑO SÍSMICO	307
8.5.1 PROCEDIMIENTO	307
8.5.2 DETERMINACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ..	309
8.5.2.1 Escenario de vulnerabilidad por época de construcción.	309
8.5.2.2 Escenario de vulnerabilidad por sistema estructural.....	311
8.5.2.3 Escenarios de vulnerabilidad por configuración geométrica. .	312
8.5.2.4 Escenarios de vulnerabilidad por peso de la edificación.....	314
8.5.2.5 Escenarios de vulnerabilidad por rigidez.....	316
8.5.2.6 Escenario de vulnerabilidad por elementos no estructurales. 320	
8.5.2.7 Escenarios de vulnerabilidad por suelo y cimentación.....	321
8.5.2.8 Escenario de vulnerabilidad por estado de conservación.	324
8.5.2.9 Escenario de vulnerabilidad física-global o de conjunto.....	325
8.5.3 ESTIMACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE DAÑO SÍSMICO	326
8.5.3.1 Daño Sísmico en las edificaciones.....	326
8.5.3.2 Escenario de daño sísmico para una $A_a = 0.07 g$	328
8.5.3.3 Escenario de daño sísmico para una $A_a = 0.17 g$	329
8.5.3.4 Escenario de daño sísmico para una $A_a = 0.25 g$	330
8.5.3.5 CALCULO DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS.....	333

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	336
9.1 CONCLUSIONES.....	336
9.1.1 CARACTERÍSTICAS ARQUITECTÓNICAS.....	336
9.1.2 ESTADO DE CONSERVACIÓN.....	336
9.1.3 CAUSAS DE LA VULNERABILIDAD.....	337
9.1.4 POSIBLES CAUSAS DE FALLA SÍSMICA.....	337
9.1.5 ANTECEDENTES DE VULNERABILIDAD DE LA MUESTRA ANALIZADA.	337
9.1.6 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS.....	338
9.1.7 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES.....	339
9.1.8 VULNERABILIDAD FÍSICA-GOLBAL O DE CONJUNTO.....	339
9.1.9 INDICADORES QUE GENERAN UN MAYOR GRADO DE VULNERABILIDAD .	339
9.1.10 VULNERABILIDAD CON RESPECTO A LA RIGIDEZ GLOBAL DE LAS EDIFICACIONES.....	340
9.1.11 VULNERABILIDAD CON RESPECTO AL SISTEMA ESTRUCTURAL.....	342
9.1.12 VULNERABILIDAD CON RESPECTO AL TIPO DE CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA.....	342
9.1.13 VULNERABILIDAD CON RESPECTO AL ESTADO DE CONSERVACIÓN....	343
9.1.14 VULNERABILIDAD CON RESPECTO A LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES.....	343
9.1.15 VULNERABILIDAD CON RESPECTO AL PESO DE LAS EDIFICACIONES. .	344
9.1.16 VULNERABILIDAD CON RESPECTO A TIPO DE SUELO Y CIMENTACIÓN.	344
9.2 RECOMENDACIONES.....	347
9.2.1 AMPLIAR EL UNIVERSO DE ESTUDIO DE EDIFICACIONES EN EL BARRIO.	347
9.2.2 REFINAMIENTO DEL ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL BARRIO SAN ANTONIO.....	347
9.2.3 CONSIDERAR EL EFECTO TOPOGRÁFICO.....	348
9.2.4 CONSERVACIÓN INTEGRAL DEL CONJUNTO PATRIMONIAL.....	348
9.2.5 EVALUAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS LÍNEAS VITALES.....	350
9.2.6 HERRAMIENTA PARA LA PLANIFICACIÓN.....	350
9.2.7 ESTUDIOS EN OTROS SECTORES DE LA CIUDAD.....	350
9.2.8 SOCIALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	351
9.2.9 REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD.....	351
9.2.10 MANTENIMIENTO DE LAS EDIFICACIONES.....	352
10. BIBLIOGRAFÍA.....	353

LISTA DE ABREVIATURAS

- CERESIS** - Centro Regional de Sismología para América del Sur.
- OSSO** - Observatorio Sismológico del Sur Occidente.
- AIS** - Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- UNESCO** – Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura.
- CCC** - Cámara de Comercio de Cali.
- CIMNE** - Centro internacional de Métodos Numéricos de Ingeniería.
- UNIVALLE** - Universidad de Valle.
- CISMID** - Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres.
- RSA** - Red Sísmica del Austro.
- DAPM** - Departamento Administrativo de Planeación Municipal.
- CARDER** - Corporación Autónoma de Risaralda.
- CCCSR-84** - Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes (Decreto 1400 de 1984).
- EMCALI** - Empresas Municipales de Cali.
- UNDRO** - Oficina del Coordinador de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastres.
- ONAD** - Oficina Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.
- ATC** - Applied Technology Council.
- FEMA** - Federal Emergency Management Agency
- OPS** - Organización Panamericana de la Salud.
- NSR-98** - Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente

Colombiana (Ley 400 de 1997, Decreto 33 de 1998).

INGEOMINAS - Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras y Nucleares.

CVC – Corporación Autónoma del Valle del Cauca.

CERESIS – Centro Regional de Sismología para América del Sur.

DANE- Departamento Administrativo Nacional de Estadística .

UNAM- Universidad Autónoma de México.

SMP- Sociedad de Mejoras Públicas de Cali.

UNSAAC – Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de resultados de pérdidas de vidas y materiales.....	12
Tabla 2. Comparación de índices relativos de riesgos	13
Tabla 3. Sismos con daños en Cali y sus fuentes sismogénicas.....	41
Tabla 4. Relación entre Intensidad y Magnitud según Richter (1958).	48
Tabla 5. Relación intensidad – aceleración.	49
Tabla 6. Matriz de vulnerabilidad sísmica de edificios de hormigón armado.....	190
Tabla 7. Matriz de calificación de la vulnerabilidad de edificaciones mampostería, método del índice vulnerabilidad.....	196
Tabla 8. Matriz de calificación de edificios de hormigón armado. método del Índice de vulnerabilidad	197
Tabla 9. Matriz de calificación de la vulnerabilidad método de Cardona. ...	198
Tabla 10. Matriz de calificación de índices de vulnerabilidad método <i>Velasco & Tassios</i>	201
Tabla 11. Factor de importancia de las edificaciones.....	202
Tabla 12. Matriz de calificación de la vulnerabilidad método AIS.....	204
Tabla 13. Calificación de la vulnerabilidad del método argentino.....	205
Tabla 14. Matriz de calificación de vulnerabilidad método ISTC.	206
Tabla 15. Matriz de categoría de daños método de Hurtado.....	216
Tabla 16. Matriz de calificación de la vulnerabilidad método propuesto.....	231
Tabla 17. Matriz de calificación de vulnerabilidad física-global o de conjunto	231

Tabla 18. Valor de (M_0) para distintas aceleraciones (A_a)	245
Tabla 19. Espesor mínimo de muros en centímetros	249
Tabla 20. Edificaciones estudiadas por manzanas.....	260
Tabla 21. Características arquitectónicas de las edificaciones por estilos.....	268
Tabla 22. Características estructurales de las edificaciones por estilo.....	272
Tabla 23. Características constructivas de las edificaciones por estilo.	277
Tabla 24. Valores de S_a o CSE para las tres hipótesis de aceleración pico efectiva A_a	291
Tabla 25. Tipo de cubiertas y peso asociado	292
Tabla 26. Densidad de muros.....	292
Tabla 27. Causas de daño sísmico por estilos arquitectónicos	297
Tabla 28. Calificación de indicadores de vulnerabilidad	301
Tabla 29. Resumen resultados de daño sísmico.....	327
Tabla 30. Posibles causas de vulnerabilidad por estilos arquitectónicos. ..	332
Tabla 31. Área afectada según categoría de daños.....	334
Tabla 32. Cálculo de pérdidas económicas.....	335

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Marco tectónico regional	29
Figura 2. Mapa de sismicidad regional.....	31
Figura 3. Sismos con efectos en Cali.....	34
Figura 4. Iglesia La Ermita en Cali, destruida por el terremoto de 1925.	39
Figura 5. Localización de daños sísmicos en Cali.....	40
Figura 6. Efectos de daños sísmicos en el sector de fundación de la ciudad de Cali desde 1556 hasta el presente.	42
Figura 7. Propagación de las ondas sísmicas.....	51
Figura 8. Graves daños en edificaciones construidas en pendiente. terremoto de Iran 1968.	55
Figura 9. Componentes de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes.....	59
Figura 10. Vivienda construida en materiales de baja calidad.	60
Figura 11. Edificación de bahareque deteriorada en el barrio San Antonio. 61	
Figura 12. Edificación con irregularidad en altura.	62
Figura 13. Edificación de tipo estructural de muros de carga no confinados.	63
Figura 14. Edificaciones sobre terrenos inestables, en el Eje Cafetero.	64
Figura 15. Formas sencillas y complejas en planta y en elevación.....	70
Figura 16. Edificación irregular en planta y altura.	70
Figura 17. Comportamiento sísmico de edificaciones.....	71
Figura 18. Edificación con piso flexible.	72
Figura 19. Viviendas construidas en materiales livianos.....	73
Figura 20. Vivienda en ladrillo, con cubierta de teja de barro, edificación	

relativamente pesada barrio Capri en la ciudad Cali.....	74
Figura 21. Asimetría estructural.	74
Figura 22. Distribuciones aceptables no simétricas con elementos del mismo material.	75
Figura 23. Continuidad y discontinuidad vertical de muros en una edificación.	76
Figura 24. Colapso de una edificación de bahareque por falta de estabilidad.	77
Figura 25. Pérdida de la capacidad portante del suelo por licuación, Nigata (Japón) 1964.....	78
Figura 26. Colapso de una edificación por deficiencias en su estructuración.	79
Figura 27. Colapso de una edificación por falta de confinamiento en el terremoto del 25 de enero de 1999 en el Eje Cafetero.	80
Figura 28. Colapso del hospital del Municipio de Córdoba Quindío, por deficiencias constructivas, terremoto del 25 enero de 1999 en el Eje Cafetero.	81
Figura 29. Edificio moderno de estructura aporticada.	82
Figura 30. Falla en elementos estructurales mal conectados o diseñados. .	83
Figura 31. Vivienda en mal estado de conservación en el barrio San Antonio.	84
Figura 32. Vivienda en mampostería no confinada.	88
Figura 33. Edificación de mampostería Confinada.....	88
Figura 34. Vivienda en mampostería reforzada.	89
Figura 35. Fisuramiento de muros portantes.....	94
Figura 36. Vivienda de adobe destruida por el terremoto de Arequipa de 2001.....	95

Figura 37. Vivienda en adobe con cimientos insuficientes.....	96
Figura 38. Deterioro de muros de adobe por humedad.	96
Figura 39. Avería en templos religiosos en Popayán debido al sismo del 31 de marzo de 1983.	97
Figura 40. Edificación con gran cantidad de vanos, afectada por el terremoto de Popayán el 31 de marzo de 1983	98
Figura 41. Vivienda de adobe, en el Perú, con deficiencias constructivas...	98
Figura 42. Falla típica de una construcción en adobe.....	99
Figura 43. Daño típico de una edificación de adobe dos pisos no reforzada.	99
Figura 44. Colapso de cubiertas pesadas en construcciones de adobe, debido al terremoto de Popayán del 31 de marzo de 1983.	100
Figura 45. Falla típica de colapso de cubierta en edificaciones de adobe.	100
Figura 46. Viviendas destruidas por el terremoto de San Juan, Argentina, en 15 de enero de 1944.....	101
Figura 47. Causas de falla típicas en edificaciones construidas en tierra.	101
Figura 48. Efectos del terremoto de Cúcuta en edificaciones populares ...	105
Figura 49. Viviendas de adobe afectadas por el terremoto del 31 de marzo de 1983 en Popayán.....	107
Figura 50. Bloques de Pubenza en Popayán.....	108
Figura 51. Colapso de un edificio moderna en Armenia, durante la replica de las 5:40 p.m el 25 de enero de 1999.	109
Figura 52. Colapso de una edificación moderna de construcción popular, terremoto del 25 de enero de 1999 en el Eje Cafetero.	110
Figura 53. Edificaciones de bahareque “Estilo temblorero” en el Eje Cafetero.	111
Figura 54. Esquema en planta y en altura de un bohío.....	121

Figura 55. Esquema en planta y en altura de un Caney	122
Figura 56. Viviendas coloniales Municipio de Villa de Leiva.	125
Figura 57. Morfología predial de la época de la conquista.	126
Figura 58. Vivienda construida en bahareque y techo de paja.....	128
Figura 59. Vivienda típica caleña con cubierta constituida por guaduas, en el barrio San Nicolás a finales del siglo XIX.....	129
Figura 60. Perfil de una calle del siglo XVIII.....	130
Figura 61. Características de una vivienda colonial	131
Figura 62. Desintegración del latifundio urbano y paso del solar al lote (1719 –1752).	132
Figura 63. Popayán a finales del siglo XIX y principios del XX.	133
Figura 64. Vivienda de tradición colonial en la zona de estudio.....	135
Figura 65. Edificación de estilo republicano en la zona de estudio.	138
Figura 66. Edificación ecléctica en la zona de estudio.....	140
Figura 67. Edificación moderna en el barrio San Antonio.	143
Figura 68. Panorámica del barrio San Antonio 1999.....	146
Figura 69. Localización del barrio.	147
Figura 70. Delimitación barrio.	148
Figura 71. Panorámica del barrio San Antonio en 1880.....	153
Figura 72. Vista de la antigua carrera 4 con calle 2, limite del barrio.....	153
Figura 73. Calle de San Antonio a finales del siglo. En el centro de la calle se observa el drenaje de aguas negras y lluvias XIX.	154
Figura 74. San Antonio a principios del siglo XX.....	154
Figura 75. San Antonio a finales del siglo XIX.	155
Figura 76. Panorámica del barrio San Antonio tomada entre 1920 y 1930.....	155
Figura 77. San Antonio en el año de 1925.....	156
Figura 78. Al fondo la colina de San Antonio en 1917. Foto tomada desde el	

río Cali.	156
Figura 79. San Antonio desde el barrio El Peñón en 1920.	157
Figura 80. La zona de "El Empedrado" en el año de 1935.	157
Figura 81. Panorámica del barrio San Antonio tomada entre 1920 y 1930	158
Figura 82. Colina de San Antonio en el año de 1960.....	159
Figura 83. Parte alta de San Antonio en el año de 1965.....	159
Figura 84. Calle del barrio en un día de "calle del arte".	161
Figura 85. Sectores del barrio.....	163
Figura 86. Zona A - Carrera 4ª.....	164
Figura 87. Zona B – Calle 5ª	165
Figura 88. Zona C – Carrera 12.....	166
Figura 89. Zona D ó Central.....	167
Figura 90. Zona E- Colina de San Antonio.....	168
Figura 91. Zona F - Empedrado ó "Barrio Chino".....	169
Figura 92. Zona G - Altos de San Antonio.	170
Figura 93. Capilla de San Antonio construcción colonial (1747) y Cámara de Comercio de Cali sede San Antonio.	172
Figura 94. Edificaciones estilo republicano.....	173
Figura 95. Edificaciones de estilo ecléctico.....	174
Figura 96. Edificaciones de estilo moderno- popular.	176
Figura 97. Edificaciones modernas de mas de tres pisos.	176
Figura 98. Mapa hipsométricos de Cali y el barrio.	177
Figura 99. Modelo de pendientes del barrio.....	178
Figura 100. Geología y coeficiente de sitio de la zona de estudio.	179
Figura 101. Corte estratigráfico ubicado en la Avenida Circunvalar, parte alta del barrio San Antonio	180
Figura 102. Conformación del suelo en el barrio San Antonio, Avenida	

Circunvalar.....	180
Figura 103. Corte estratigráfico ubicado en la parte alta del barrio Avenida Circunvalar.....	181
Figura 104. Corte estratigráfico localizado en la parte baja del Acueducto Municipal en límites con el barrio San Cayetano.....	181
Figura 105. Perfil S-1 de la NSR-98.....	182
Figura 106. Metodologías para evaluar la vulnerabilidad sísmica.....	186
Figura 107. Clasificación de los métodos subjetivos.....	188
Figura 108. Clasificación de los métodos que predicen el daño.	189
Figura 109. Función de vulnerabilidad de edificaciones de mampostería. .	191
Figura 110. Función de daño sísmico	192
Figura 111. Métodos que evalúan la capacidad sísmica.....	192
Figura 112. Diagrama de determinación de la metodología.....	227
Figura 113. Distribución de alturas de edificaciones barrio San Antonio ...	258
Figura 114. Distribución espacial de manzanas estudiadas.	259
Figura 115. Población de edificaciones estudiadas.	261
Figura 116. Partes del formulario de recolección de datos en campo.....	266
Figura 117. Distribución del inventario por estilos arquitectónicos.	269
Figura 118. Distribución del inventario por periodos de construcción	270
Figura 119. Distribución del inventario por número de pisos	271
Figura 120. Distribución del inventario por uso	271
Figura 121. Distribución del inventario por sistema estructural.	273
Figura 122. Detalle de un muro de adobe.....	275
Figura 123. Muro construido en ladrillo unido con calicanto ó mortero pobre.	275
Figura 124. Mezcla de unidades de mampostería.	276
Figura 125. Distribución del inventario por material de muros.	278

Figura 126. Distribución del inventario por tipo de cubierta.	279
Figura 127. Grado de vulnerabilidad física-global	283
Figura 128. Curva de recurrencia de periodo de retorno de aceleraciones.	288
Figura 129. Espectro elástico de diseño NSR-98.....	289
Figura 130. Direcciones principales de la edificación.....	293
Figura 131. Distribución del daño sísmico para $A_a = 0,07$ g	298
Figura 132. Distribución del daño sísmico para $A_a = 0,17$ g	298
Figura 133. Distribución del daño sísmico para $A_a 0,25$ g	299
Figura 134. Comparación de la influencia de los indicadores de vulnerabilidad en la edificación.	302
Figura 135. Planta arquitectónica de la edificación.	304
Figura 136. Elementos básicos para la determinación de escenarios.	307
Figura 137. Representación gráfica de los resultados, elaborados en Mapinfo.....	308
Figura 138. Indicador por época de construcción.	310
Figura 139. Indicador por sistema estructural.	311
Figura 140. Indicador por configuración en planta.	312
Figura 141. Indicador por configuración en altura.....	313
Figura 142. Indicador por número de pisos.....	314
Figura 143. Indicador por tipo de cubierta.....	315
Figura 144. indicador por tipo de mampostería.....	316
Figura 145. Indicador por espesor de muros.....	317
Figura 146. Indicador por altura de muros.	318
Figura 147. Indicador por cantidad de muros en las dos direcciones	319
Figura 148. Indicador por elementos no estructurales.	320
Figura 149. Indicador por coeficiente de sitio.....	321

Figura 150. Indicador por terreno de fundación.	322
Figura 151. Indicador por posición del edificio y de la cimentación.....	323
Figura 152. Indicador por estado de conservación.	324
Figura 153. Vulnerabilidad física-global o del conjunto.	325
Figura 154. Daños hipotéticos con un sismo de 7% de g	328
Figura 155. Daños hipotéticos con un sismo de 17% de g.	329
Figura 156. Daños hipotéticos con un sismo de 25% de g	330