

FORTALECIMIENTO AL PROYECTO DE
FORMULACIÓN ADOPCIÓN E
IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE
ORDENAMIENTO TERRITORIAL POT DEL
MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA,
SANTANDER.

CONTRATO No. 3349-17

INFORME EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO DE
VIVIENDAS POR RIESGO SÍSMICO DE BARRANCABERMEJA,
SANTANDER.

Barrancabermeja, Santander, Colombia - Febrero 2018





Gestores del Proyecto

Darío Echeverri Serrano

Alcalde Municipio de Barrancabermeja 2016-2019,
Municipio de Barrancabermeja

Elizabeth Lobo Gualdrón,

Asesora de Planeación
Oficina Asesora de Planeación, Barrancabermeja

Autores

Gabriel Alberto Bayona Fetecua

Geólogo, Universidad EAFIT • Magíster en Ciencias de la Tierra. Universidad EAFIT • Director de Proyecto, SAGGES S.A.S. • info@sagges.com.

Juan Camilo Hinestroza Farfán

Ingeniero Civil, Universidad EAFIT • Magister en Ingeniería: Riesgo Sísmico, Universidad EAFIT • Especialista en Ingeniería sísmo-resistente, Universidad EAFIT • Coordinador de Área.

Laura Andrea Silva Gelves,

Ingeniera Civil, Universidad Industrial de Santander • Coordinadora de ingenieros en campo, SAGGES S.A.S.

Jhon Tylor Herrera Rodriguez,

Ingeniero Civil, Universidad Industrial de Santander • Ingeniero Civil, SAGGES S.A.S

Fabio Arley Barreto Iriarte,

Ingeniero Civil, Universidad Industrial de Santander • Ingeniero Civil, SAGGES S.A.S.

Colaboradores

Ana Beatriz Acevedo Jaramillo

Ingeniera civil • Maestría y Doctorado en Reducción del Riesgo Sísmico, ROSE SCHOOL – Universidad de Pavía, Italia • Asesor Externo. Universidad EAFIT.

Mario Fernando Restrepo

Ingeniero Civil, Universidad EAFIT • Magister en Ingeniería y Sostenibilidad, Universidad EAFIT • Coordinador de Ingeniería.

Jazmith Dominguez Rincón,

Ingeniera Civil, Universidad Industrial de Santander • Ingeniera Civil, SAGGES S.A.S.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1-13
1.1. EXPOSICIÓN SOCIAL	1-13
1.2. EXPOSICIÓN FINANCIERA	1-15
1.1. EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO.....	1-16
2. AMENAZA SÍSMICA.....	2-17
2.1. MARCO TECTÓNICO EN COLOMBIA.....	2-17
2.2. AMENAZA SÍSMICA LOCAL	2-18
2.3. EFECTOS DE SITIO.....	2-19
2.3.1. VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE A LOS 30 METROS DE PROFUNDIDAD (VS30)	2-20
3. MODELO DE EXPOSICIÓN	3-22
3.1. CLASIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS EXPUESTAS.	3-23
3.1.1. DESCRIPCIÓN DE TIPOLOGIAS ESTRUCTURALES.....	3-24
3.2. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.	3-35
3.2.1. ENCUESTAS DIGITALES	3-35
3.2.2. ENCUESTAS DE CAMPO.....	3-37
3.2.3. INFORMACIÓN SECUNDARIA	3-40
3.3. ÁREA CONSTRUIDA.....	3-41
3.3.1. INVASIONES Y LOTES NO CONSTRUIDOS.	3-41
3.3.2. UNIFORMIDAD DE PREDIOS	3-41
3.4. NUMERO CONSTRUCCIONES (EDIFICIOS)	3-44
3.5. INDICE DE CONSTRUCCIONES NO RESIDENCIALES (Iu)	3-45
3.6. NUMERO DE VIVIENDAS POR EDIFICIO	3-45

3.7. COSTOS DE REPOSICIÓN DE BIENES EXPUESTOS.....	3-46
3.8. ZONAS HOMOGENEAS.....	3-46
3.8.1. DISTRIBUCIÓN EN ALTURA.....	3-47
3.8.2. ESTRATO.....	3-47
3.8.3. USO.....	3-47
3.1. RESULTADOS DEL MODELO DE EXPOSICIÓN.....	3-48
3.1.1. CÁLCULO DE CANTIDAD DE EDIFICIOS.....	3-48
3.1.2. CALCULO DE ÁREA CONSTRUIDA.....	3-50
3.1.3. HIPOTESIS DE CANTIDAD DE VIVIENDAS Y POBLACIÓN.....	3-50
3.1.4. RESULTADOS.....	3-51
4. CURVAS DE FRAGILIDAD.....	4-63
4.1. FRAGILIDAD DE ESTRUCTURAS.....	4-63
5. CURVAS DE VULNERABILIDAD FÍSICA.....	5-64
5.1. VULNERABILIDAD DE ESTRUCTURAS.....	5-64
6. EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO.....	6-65
6.1. ANALISIS ESTOCASTICO DE EVENTOS.....	6-65
6.2. ESCENARIOS SÍSMICOS.....	6-66
6.2.1. SELECCIÓN DE ESCENARIOS SÍSMICOS.....	6-66
6.2.1. RESULTADOS DE EVENTO #12. SUBDUCCIÓN INTRAPLACA.....	6-70
6.2.2. RESULTADOS DE ESCENARIOS.....	6-79
7. CONCLUSIONES.....	7-81
7.1. CONCLUSIONES DE LA AMENAZA SÍSMICA.....	7-81
7.2. CONCLUSIONES DE LA FRAGILIDAD DE ESTRUCTURAS.....	7-81

7.3. CONCLUSIONES DEL MODELO DE EXPOSICIÓN	7-82
7.4. CONCLUSIONES DEL LA EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO.	7-83
8. RECOMENDACIONES PARA LA PREPARACIÓN, PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO.	8-84
9. ANEXOS.....	9-85
9.1. DISTRIBUCIÓN DE TAXONOMÍAS DE CADA ZONA HOMOGÉNEA.	9-85
9.2. EVENTO #1 SUBDUCCIÓN INTRAPLACA	9-91
9.3. EVENTO #2 CORTEZA SUPERFICIAL.	9-92
9.4. EVENTO #3 CORTEZA SUPERFICIAL.	9-94
9.5. EVENTO #4 CORTEZA SUPERFICIAL	9-96
9.6. EVENTO #5 SUBDUCCIÓN INTRAPLACA.	9-98
9.7. EVENTO #6 SUBDUCCIÓN INTRAPLACA.	9-100
9.8. EVENTO #7 SUBDUCCIÓN INTRAPLACA.	9-102
9.9. EVENTO #8 SUBDUCCIÓN INTRAPLACA.	9-104
9.10. EVENTO #9 SUBDUCCIÓN INTRAPLACA.	9-106
9.11. EVENTO #10 SUBDUCCIÓN INTRAPLACA.	9-108
9.12. EVENTO #11 CORTEZA SUPERFICIAL	9-110
10. REFERENCIAS	10-113

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Ecuaciones de atenuación usadas para la región tectónica de la zona de estudio. Para más información ver página web: http://docs.openquake.org/oq-hazardlib/0.12/gsim/index.html	2-18
Tabla 2.2 Velocidad de Onda de corte según la Tabla A.2.4.4 de la NSR-10	2-20
Tabla 3.1 Nomenclatura GEM	3-23

Tabla 3.2 Cantidad de encuestas por barrio.	3-38
Tabla 3.3 Información provista por Planeación	3-40
Tabla 3.4 Porcentaje obtenido de área construida para cada Barrio. (%c).....	3-42
Tabla 3.5 índice de construcciones (edificios) para los tres barrios de análisis. (Ic)	3-44
Tabla 3.6 Índice de usos diferentes a residencias (Iu).....	3-45
Tabla 3.7 Numero promedio de viviendas según la taxonomía y el número de pisos.	3-45
Tabla 3.8 Costo de reposición por estrato	3-46
Tabla 3.9 Tipos de Distribuciones en Altura para la Zona de Estudio.....	3-47
Tabla 3.10 Código de Estrato	3-47
Tabla 3.11 Uso predominante	3-47
Tabla 3.12 Distribución de taxonomías de la zona homogénea E1,2/A1/RES	3-48
Tabla 3.13 Distribución de taxonomías de la zona homogénea E3,4/A2/RES	3-49
Tabla 3.14 Número de habitantes por vivienda según estrato.....	3-51
Tabla 3.15 Resultado de Modelo de exposición para el Barrio Rafael Rangel.....	3-51
Tabla 3.16 Área total construida de cada taxonomía y su respectivo costo de reposición.	3-53
Tabla 3.17 Resumen de resultados del Modelo de exposición.....	3-54
Tabla 3.18 Modelo de exposición por barrio y Corregimiento.	3-56
Tabla 4.1 Referencia de autores de las curvas de fragilidad usadas para cada taxonomía.	4-63
Tabla 5.1 Modelo de pérdidas económicas	5-64
Tabla 6.1 Escenarios de sismos.....	6-68
Tabla 6.2 Característica de la ruptura. E12	6-70
Tabla 6.3 Perdidas según la Taxonomía. En Millones de pesos	6-71
Tabla 6.4 Distribución de daños según la tipología	6-74

Tabla 6.5 Resumen de resultados de cada ruptura organizados por periodo de retorno de pérdidas. 6-79

Tabla 9.1 Distribución de taxonomías de la zona homogénea E1,2/A1/INV	9-86
Tabla 9.2 Distribución de taxonomías de la zona homogénea E1,2/A1/RES	9-86
Tabla 9.3 Distribución de taxonomías de la zona homogénea E3,4/A2/RES	9-86
Tabla 9.4 Distribución de taxonomías de la zona homogénea E5,6/A1/RES	9-87
Tabla 9.5 Distribución de taxonomías de la zona homogénea E3,4/A2/MIX	9-87
Tabla 9.6 Distribución de taxonomías de la zona homogénea E1,2/A1/OTRO	9-88
Tabla 9.7 Distribución de taxonomías de la zona homogénea E1,2/A1/MIX	9-88
Tabla 9.8 Distribución de taxonomías de la zona homogénea E3,4/A1/RES	9-89
Tabla 9.9 Distribución de taxonomías de la zona homogénea E1,2/A1/VIS	9-89
Tabla 9.10 Distribución de taxonomías de la zona homogénea AT1 (Atípico 1).....	9-90
Tabla 9.11 Porcentaje de edificios afectados según la tipología estructural E1	9-91
Tabla 9.12 Perdidas económicas por cada tipología. Millones de COP E1	9-92
Tabla 9.13 Porcentaje de edificios afectados según la tipología estructural E2.....	9-92
Tabla 9.14 Perdidas económicas por cada tipología. Millones de COP E2	9-94
Tabla 9.15 Distribución de daños de edificios por tipología E3	9-94
Tabla 9.16 Perdidas económicas por cada tipología Millones de COP E3	9-96
Tabla 9.17 Distribución de daños de edificios por tipología E4	9-96
Tabla 9.18 Perdidas económicas por cada tipología Millones de COP E4	9-98
Tabla 9.19 Distribución de daños de edificios por tipología E5	9-98
Tabla 9.20 Perdidas económicas por cada tipología Millones de COP E5	9-100
Tabla 9.21 Distribución de daños de edificios por tipología E6	9-100

Tabla 9.22 Perdidas económicas por cada tipología Millones de COP E6	9-102
Tabla 9.23 Distribución de daños de edificios por tipología E7	9-102
Tabla 9.24 Perdidas económicas por cada tipología Millones de COP E7	9-104
Tabla 9.25 Distribución de daños de edificios por tipología E8	9-104
Tabla 9.26 Perdidas económicas por cada tipología Millones de COP E8	9-106
Tabla 9.27 Distribución de daños de edificios por tipología E9	9-106
Tabla 9.28 Perdidas económicas por cada tipología Millones de COP E9	9-108
Tabla 9.29 Distribución de daños de edificios por tipología E10	9-108
Tabla 9.30 Perdidas económicas por cada tipología Millones de COP E10	9-110
Tabla 9.31 Distribución de daños de edificios por tipología E11	9-110
Tabla 9.32 Perdidas económicas por cada tipología Millones de COP E11	9-112

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Localización de Barrancabermeja	1-13
Figura 1.2 Población Barrancabermeja.....	1-14
Figura 1.3 Pirámides poblaciones.....	1-15
Figura 2.1 Fallas Activas más representativas (Izquierda) y zonificación de la amenaza para un 10% probabilidad de excedencia en 50 años (Derecha). (Servicio Geológico Colombiano, SGC)...	2-17
Figura 2.2 Fallas cercanas al Municipio Barrancabermeja y ubicación de sismos históricos ocurridos cerca de la zona de estudio.....	2-19
Figura 2.3 Mapa de velocidad de onda de corte a 30m de profundidad para Colombia, basado en el gradiente topográfico a partir de un SRTM de 7.5 arcosegundos. (Jaime Eraso & SGC, 2015)	2-21
Figura 2.4 Vs30 de Corregimientos de Barrancabermeja.	2-22
Figura 3.1 Mampostería reforzada.....	3-27

Figura 3.2	Muros de Bahareque.....	3-29
Figura 3.3	Muros vaciados en concreto reforzado.....	3-30
Figura 3.4	Pórtico en concreto.....	3-31
Figura 3.5	Pórtico de acero.....	3-32
Figura 3.6	Pórtico en acero arrollado.....	3-33
Figura 3.7	Prefabricado en concreto.....	3-34
Figura 3.8	Sistema combinado	3-35
Figura 3.9	Distribución geográfica de encuestas en zona urbana.....	3-36
Figura 3.10	Distribución geográfica de encuestas en zona rural.	3-37
Figura 3.11	Inconvenientes de campo y recomendaciones.....	3-40
Figura 3.12	Barrio con manzanas y predios uniformes (LU) Barrio La Esperanza, , Comuna 5 ..	3-42
Figura 3.13	Barrio con manzanas y predios irregulares. (LIR) Barrio Alcázar, Comuna 5.....	3-43
Figura 3.14	Barrio con manzanas y predios irregulares. (LMIR) Barrio Miraflores, Comuna 5...	3-44
Figura 3.15	Costo de reposición total para cada tipología estructura (En millones de COP)	3-52
Figura 3.16	Distribución porcentual del área construida de las tipologías estructurales de Barrancabermeja.....	3-52
Figura 3.17	Distribución porcentual de construcciones residenciales en Barrancabermeja.	3-53
Figura 3.18	Zonificación de la población en los barrios	3-55
Figura 3.19	Distribución de áreas de vivienda construidas en la ciudad.	3-55
Figura 3.20	Zonificación de los costos de reposición de las viviendas en la ciudad en Millones de COP.	3-56
Figura 4.1	Curva de fragilidad para casas de mampostería no reforzada de 1 nivel. (Acevedo et al, 2017).....	4-63
Figura 5.1	Curvas de vulnerabilidad para construcciones de mampostería no reforzada de 1 a 6 pisos. Acevedo et al (2017).....	5-65

Figura 6.1	Curva de probabilidad de excedencia de perdidas.	6-66
Figura.6.2	Curva de probabilidad de excedencia de perdidas: Rango de Incertidumbres.	6-68
Figura 6.3	Incertidumbre de perdidas económicas.....	6-68
Figura 6.4	Influencia de cada región tectónica.....	6-68
Figura 6.5	Ubicación de epicentros de escenarios	6-69
Figura 6.6	Aceleración pico efectiva del terreno (PGA) usando AbrahamsonEtAl2015SSlab.	6-71
Figura 6.7	Perdidas según la Taxonomía. En Millones de pesos	6-72
Figura 6.8	Distribución de perdidas según la taxonomía considerando la desviación estándar. Unidades en Millones de COP.	6-72
Figura 6.9	Zonificación de pérdidas económicas para escenario E12. En Millones de Pesos	6-73
Figura 6.10	Barrios con mayores pérdidas económicas para el escenario de estudio.....	6-74
Figura 6.11	Barrios con más estructuras colapsadas.....	6-74
Figura 6.12	Zonificación de las pérdidas económicas en millones de COP: Barrios	6-75
Figura 6.13	Zonificación de las pérdidas económicas en millones de COP. Corregimientos	6-76
Figura 6.14	Escenario de daños de escenario #12.....	6-77
Figura 6.15	Zonificación de cantidad de estructuras Colapsadas.	6-78
Figura 6.16	Distribución de daños en edificaciones.	6-79
Figura 6.17	Perdidas económicas en cada escenario. Millones de pesos.....	6-80
Figura 6.18	Edificios Colapsados en cada escenario.	6-80
Figura 8.1	Estructura de capas de riesgo.....	8-85
Figura 9.1	Porcentaje de edificios afectados según la tipología estructural E1	9-91
Figura 9.2	Cantidad de edificios afectados por el sismo E1	9-92
Figura 9.3	Porcentaje de edificios afectados según la tipología estructural E2	9-93

Figura 9.4 Cantidad de edificios afectados por el sismo E2	9-94
Figura 9.5 Distribución de daños de edificios por tipología E3	9-95
Figura 9.6 Cantidad de edificios afectados por el sismo E3	9-96
Figura 9.7 Distribución de daños de edificios por tipología E4	9-97
Figura 9.8 Cantidad de edificios afectados por el sismo E4	9-98
Figura 9.9 Distribución de daños de edificios por tipología E5	9-99
Figura 9.10 Cantidad de edificios afectados por el sismo E5	9-100
Figura 9.11 Distribución de daños de edificios por tipología E6	9-101
Figura 9.12 Cantidad de edificios afectados por el sismo E6	9-102
Figura 9.13 Distribución de daños de edificios por tipología E7	9-103
Figura 9.14 Cantidad de edificios afectados por el sismo E7	9-104
Figura 9.15 Distribución de daños de edificios por tipología E8	9-105
Figura 9.16 Cantidad de edificios afectados por el sismo E8	9-106
Figura 9.17 Distribución de daños de edificios por tipología E9	9-107
Figura 9.18 Cantidad de edificios afectados por el sismo E9	9-108
Figura 9.19 Distribución de daños de edificios por tipología E10	9-109
Figura 9.20 Cantidad de edificios afectados por el sismo E10	9-110
Figura 9.21 Distribución de daños de edificios por tipología E11	9-111
Figura 9.22 Cantidad de edificios afectados por el sismo E11	9-112

EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO DE BARRACABERMEJA

OBJETIVO GENERAL

El estudio tiene como objetivo determinar los niveles de intensidad sísmica probable para la zona de estudio, realizar un inventario de edificios según las características de material de construcción, número de pisos y sistema de resistencia sísmica para luego asociar cada estructura con una curva de fragilidad y vulnerabilidad, lo que da como resultado el cálculo de daños y pérdidas económicas generadas por escenarios sísmicos.

Objetivos específicos

- ✓ Llevar a cabo un trabajo de campo para determinar las condiciones físicas de las edificaciones residenciales de la ciudad, a partir de una muestra representativa de los polígonos que se localizan en zonas de alto riesgo.
- ✓ Realizar inspecciones remotas que complementen el trabajo realizado en campo y de esta forma abarcar un mayor número de edificaciones que permitan obtener indicadores más puntuales.
- ✓ Realizar un análisis estocástico de eventos sísmicos.
- ✓ Determinar los niveles de intensidad del movimiento de suelo para sismos con diferentes periodos de retorno de pérdidas.
- ✓ Desarrollar mapas de riesgo que indique los barrios más afectados por escenarios sísmicos.
- ✓ Determinar la pérdida promedio anual.
- ✓ Calcular pérdidas económicas probables para diferentes escenarios sísmicos.
- ✓ Calcular cantidad probable de edificios colapsados para cada escenario sísmico.

1. INTRODUCCIÓN

La evaluación del riesgo sísmico, el cual estima pérdidas económicas, viene como resultado de asociar tres factores fundamentales: la amenaza sísmica, que se entiende como la probabilidad de ocurrencia de terremotos en un lugar en específico, la exposición, que se refiere a las estructuras y población susceptibles de sufrir afectaciones por sismos, y la vulnerabilidad, que es la capacidad de las estructuras de sobrellevar los efectos sísmicos.

Para realizar un estudio de riesgos sísmico se debe entender entonces las características poblacionales de la ciudad, la cultura de construcción y ordenamiento territorial, las distribuciones socioeconómicas, y la economía de la ciudad las cuales se exponen a continuación.

1.1. EXPOSICIÓN SOCIAL

El municipio de Barrancabermeja posee una extensión de 1.154 kilómetros cuadrados, se encuentra situada en una planicie sobre la margen derecha del Río Magdalena a una altura sobre el nivel del mar de 75.94 Metros, su temperatura promedio es de 27.6° C, según los datos del Censo del DANE de 2005 proyectados, en 2016 cuenta con una población de 191.704 habitantes de los cuales el 49,2% son hombres y el 50,8 % son mujeres.

La Ciudad limita al Norte con el Municipio de Puerto Wilches, al Sur con los Municipios de Puerto Parra, Simacota y San Vicente de Chucurí, al Oriente con el Municipio de San Vicente de Chucurí y Girón, y al Occidente con el río Magdalena. En la Figura 1.1 siguiente se presenta la localización del municipio.



Figura 1.1 Localización de Barrancabermeja
Fuente: Centro de estudios regionales del Magdalena Medio

La forma en como el municipio de Barrancabermeja se ha configurado como ciudad está en función a dos tipos de organizaciones de asentamientos poblacionales; estos son, un área central que es la base donde se empezó a gestar la habitabilidad del territorio, con un crecimiento moderado en la actualidad, y un área periférica que ha tenido un crecimiento poco controlado y se ha dado debido a la minería petrolera, principal actividad económica de la ciudad.

En la zona urbana se encuentran zonas residenciales, comerciales, industriales, deportivas, institucionales, administrativas. Cuenta con un aeropuerto "Yariguies" y un Terminal de fluvial de Transportes. La ciudad se encuentra dividida 7 comunas, 6 corregimientos y la zona de refinería de petróleo más importante del país.

Los avances que ha tenido la ciudad en temas sociales son significativos, ya que según los indicadores de pobreza medida por NBI, Barrancabermeja paso de 29,48% a 22,23% de 1993 a 2005, ubicándose de esta forma por debajo del nivel de pobreza a nivel nacional (27,78%), aclarando que en la zona urbana para ese año fue de 20,99% mientras que para la zona rural fue de 32,37%.

Para el año 2016 la población total de la ciudad fue de 191.704 habitantes, en donde 94.619 eran hombres y 97.085 mujeres (ver Figura 1.2).

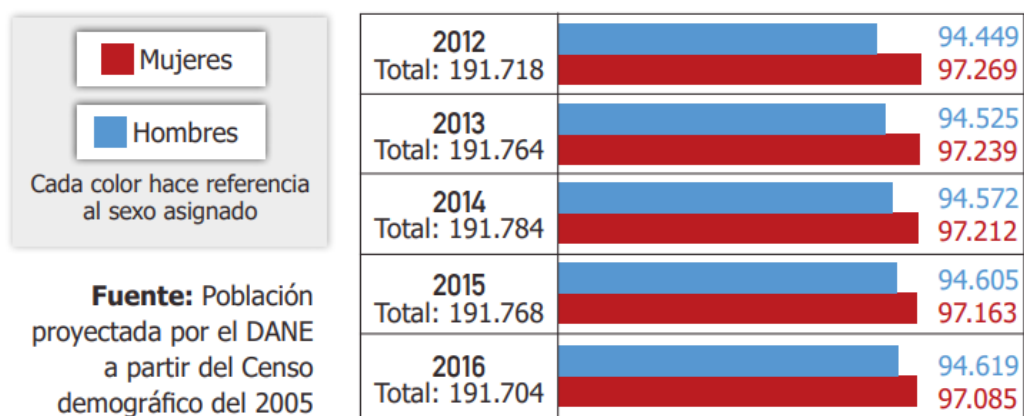
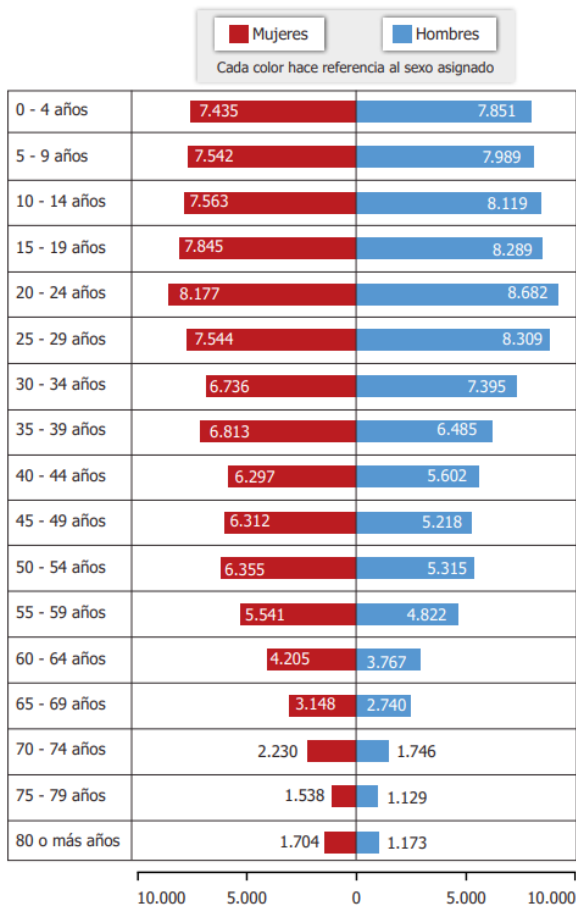


Figura 1.2 Población Barrancabermeja

Frente al análisis de la Encuesta de Hogares realizada por el CER a finales de 2011 y de los datos de proyecciones de población del DANE, se logró obtener indicadores del estado actual de la ciudad en aspectos básicos de su dinámica poblacional. Como región, Barrancabermeja es una de las ciudades colombianas que registra mayores modificaciones en su tamaño poblacional, pero a su vez con grandes transformaciones en el proceso de transición demográfica, contribuyendo con ello a la transición demográfica que el país ha tenido en su conjunto. La estructura poblacional ha cambiado y seguirá cambiando, muestra de hecho son las pirámides poblaciones del municipio, presentadas a continuación:

Pirámide poblacional 2017



Pirámide poblacional 2020

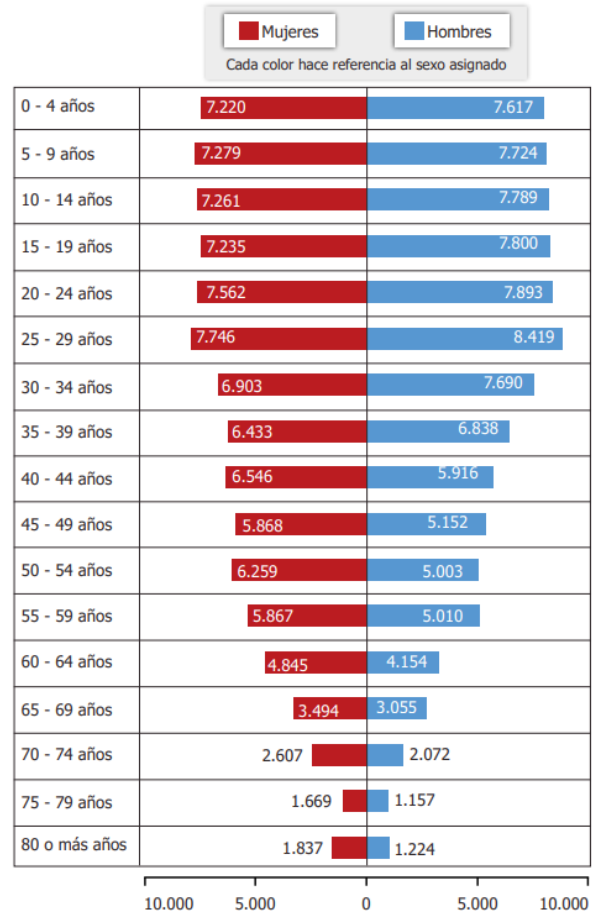


Figura 1.3 Pirámides poblaciones
Fuente: Proyección estimada por el DANE a partir del censo demográfico del 2005

1.2. EXPOSICIÓN FINANCIERA

Barrancabermeja es el mayor centro urbano de la Región del Magdalena Medio, es conocida como la Capital Petrolera de Colombia, es la cuarta economía del país, si de municipios se habla en Colombia; así lo estableció el Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE, tras elaborar el Indicador de Importancia Económica Relativa Municipal (IIERM), amparado en datos de 2014, tomado como referente para determinar la categoría de los municipios del país. Es de entender que el indicador de Importancia Económica Relativa Municipal (IIERM) se concibe como el peso relativo que representa el Producto Interno Bruto (PIB) de cada uno de los municipios dentro de su departamento. La posición que actualmente goza el municipio se debe en gran medida a que Barrancabermeja ha sido por excelencia la sede de la industria petrolera en Colombia. Desde hace años, esta ciudad convive diariamente con la exploración, perforación y refinación de crudo, hasta un punto que aporta a la economía local alrededor del 70%.

1.1. EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO

Los sismos son fenómenos naturales que amenazan el desarrollo económico que ha alcanzado la ciudad. Una incorrecta planificación y alistamiento ante la ocurrencia de un terremoto podría generar una ciudad poco resiliente frente a fenómenos naturales como los sismos, inundaciones, deslizamiento, entre otros. Es por esto por lo que nace la necesidad de evaluar los riesgos sísmicos que podría generar pérdidas económicas y humanas en la ciudad y dar soluciones para prevenir y mitigar los riesgos.

Es de interés en el cálculo del riesgo, analizar en primera instancia las viviendas puesto que son en ellas donde se concentra la mayoría de población. El modelo de exposición realizado demuestra que en Barrancabermeja la cantidad de construcciones residenciales supera el 75% de todas las construcciones, por lo que debe ser de mayor interés y de prioridad para los entes gubernamentales conocer cuáles son los riesgos sísmicos asociadas a las viviendas de la ciudad.

Para la evaluación de la amenaza sísmica se hizo uso de herramientas, softwares e información provista por la entidad “Global EarthquakeModel” o GEM por sus siglas en inglés, asociación público-privada que impulsa un esfuerzo de colaboración global para desarrollar recursos enfocados en la estimación y gestión del riesgo sísmico. Evaluar el riesgo sísmico en el mundo y comunicarlo abiertamente es el principal objetivo de la Fundación GEM. Para lograrlo, GEM investiga y transfiere información y conocimiento que se traducen en la posibilidad de mitigar pérdidas económicas y, lo más importante, preservar vidas. Una de las herramientas desarrolladas por GEM es OpenQuake. Este software, usado en el presente estudio, es un conjunto de programas de libre acceso que permite a la comunidad utilizar datos, metodologías y aplicaciones desarrollados de forma colaborativa.

2. AMENAZA SÍSMICA

2.1. MARCO TECTÓNICO EN COLOMBIA

El territorio colombiano se localiza sobre un ambiente tectónico caracterizado por la convergencia de las placas de Caribe y Suramérica, que en consecuencia se refleja en una actividad sísmica alta. Las fuentes sismogénicas más representativas están asociadas a la zona de subducción del Océano pacífico, subducción intraplaca y la sismicidad de corteza generada por fallas geológicas activas ubicadas a lo largo de las cordilleras de los andes (Servicio Geológico Colombiano, SGC). La Figura 2.2 describe las fallas activas más representativas en términos de actividad sísmica en Colombia.

GEM es una organización sin ánimo de lucro que tiene como finalidad estudiar y evaluar el riesgo sísmico alrededor del mundo. GEM desarrolló un análisis probabilístico de la amenaza sísmica para toda Suramérica, también llamado Proyecto SARA por sus siglas en inglés. El modelo sísmico de SARA incluye todas las fuentes sismogénicas y las describe en términos de geometría 3D, distribución de magnitud-frecuencia, relación de ocurrencia y rangos de posibles magnitudes. El modelo de amenaza de Colombia fue desarrollado en colaboración del Servicio Geológico Colombiano (SGC).

Para el estudio de amenaza se consideraron 4 regiones tectónicas que son de influencia para el territorio colombiano. La incertidumbre epistémica se modeló por medio de árboles lógicos que permiten darles peso a diferentes ecuaciones de atenuación (GroundMotionPredictionEquation) para cada región técnica. La Tabla 2.1 indica las ecuaciones de atenuación usadas con su respectivo peso.

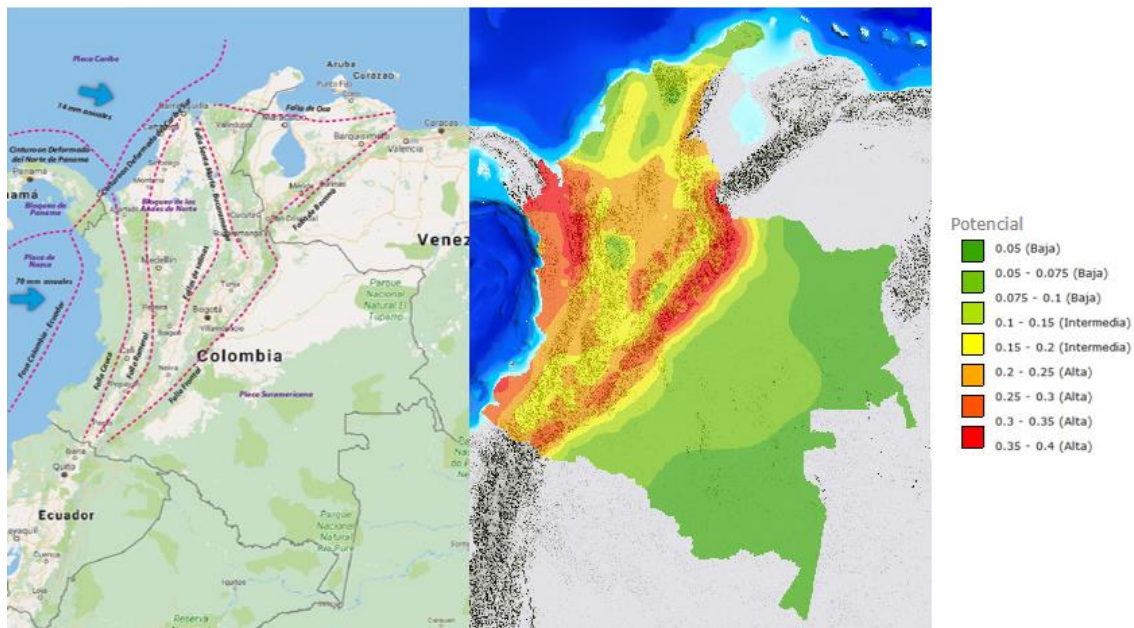


Figura 2.1 Fallas Activas más representativas (Izquierda) y zonificación de la amenaza para un 10% probabilidad de excedencia en 50 años (Derecha). (Servicio Geológico Colombiano, SGC)

Tabla 2.1 Ecuaciones de atenuación usadas para la región tectónica de la zona de estudio. Para más información ver página web: <http://docs.openquake.org/oq-hazardlib/0.12/gsim/index.html>.

Tipo de región tectónica	Ecuación de atenuación (GMPE)	Influencia
Subducción Interface	ZhaoEtAl2006SInter	33.3%
	AbrahamsonEtAl2015SInterHigh	33.3%
	MontalvaEtAl2016Sinter	33.4%
Subducción Intraplaca	AbrahamsonEtAl2015SSlab	50.0%
	MontalvaEtAl2016SSlab	50.0%
Corteza superficial activa. (Active ShallowCrust)	AkkarEtAlRjb2014	33.3%
	BindiEtAl2014Rjb	33.3%
	BooreEtAl2014	33.4%

2.2. AMENAZA SÍSMICA LOCAL

Barrancabermeja está ubicada en zona de sismicidad intermedia, aun así, limita con una zona de sismicidad alta denominada nido de Bucaramanga (NSR-10). La Figura 2.2 ilustra la actividad sísmica asociada a las fallas más cercanas a la ciudad de estudio, se observa además que la zona de actividad sísmica alta está a menos de 100 km de la zona urbana de Barrancabermeja, la figura muestra además las fallas identificadas por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) en el 2007 y en el 2017

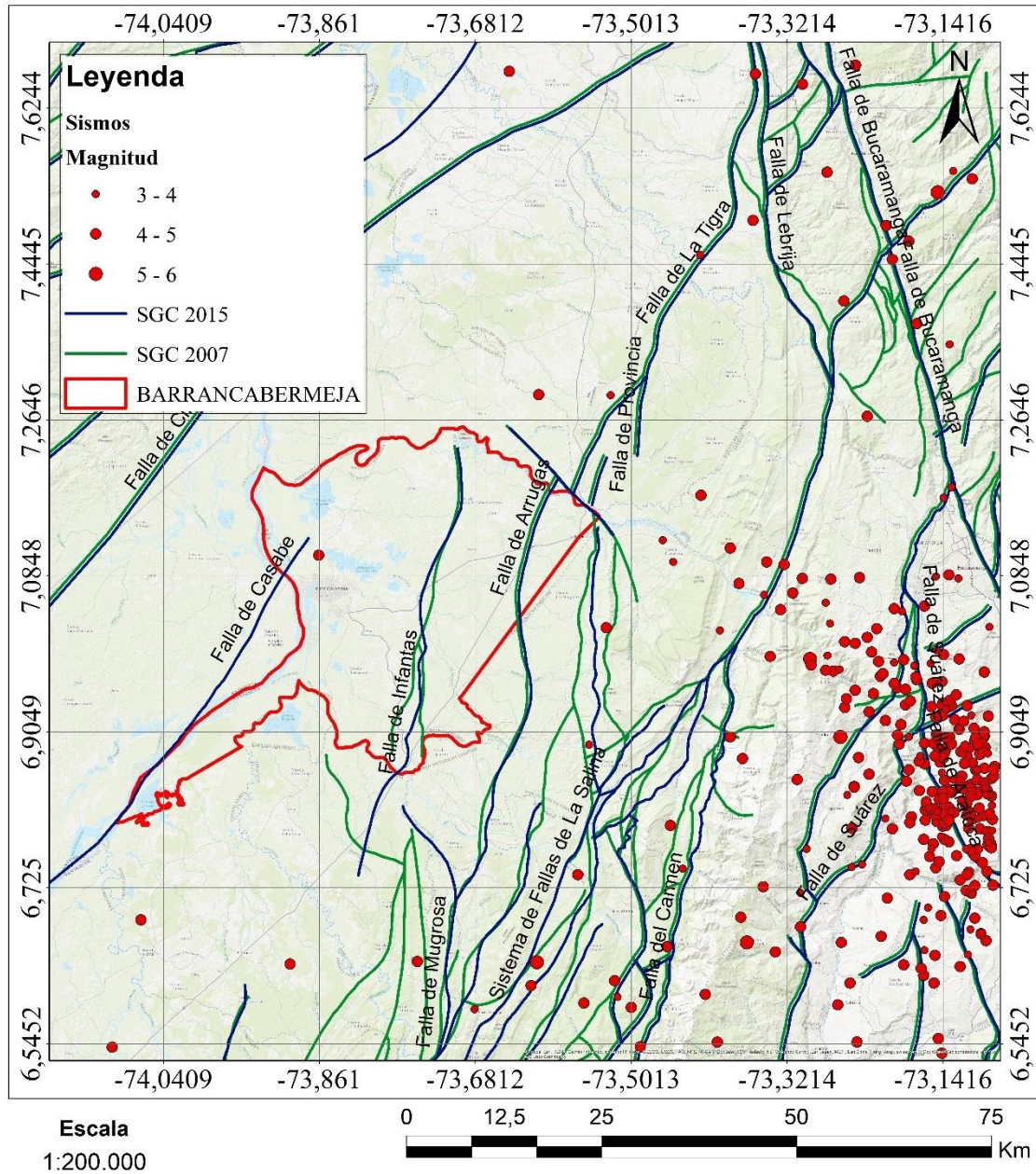


Figura 2.2 Fallas cercanas al Municipio Barrancabermeja y ubicación de sismos históricos ocurridos cerca de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración Propia.

2.3. EFECTOS DE SITIO

Se conoce como efecto de sitio aquellas diferencias entre valores de intensidad de movimiento registrados en los acelerogramas instalados en condiciones geológicas y topográficas diferentes. Se ha observado que los suelos blandos, tienen gran influencia en la propagación de la onda sísmica, no solo es posible obtener una amplificación de la intensidad de movimiento, sino también posibles reflexiones y refracciones de onda que incrementan la duración del evento sísmica. Estos fenómenos dependen principalmente del tipo de suelo, sus características y el espesor del depósito.

(Celebi, Prince, Dietel, Onate, & Chavez, 1987), (BorcherdtR. , 1996), (Eraso & Lizcano, 2006). Es necesario entonces incluir en el análisis del riesgo los posibles efectos de sitio que puedan influir en la zona de estudio.

2.3.1. VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE A LOS 30 METROS DE PROFUNDIDAD (VS30)

El promedio de la velocidad de onda de corte a los 30 metros de profundidad es un parámetro que ha demostrado aproximarse a los efectos de sitio generado por un sismo de superficie (Jaime Eraso & SGC, 2015). El cálculo del Vs30 por medio de gradiente topográfico (Wald & Allen, 2007) es un método útil cuando se carece de mediciones o estudios directos en el sitio de análisis. Para el caso de Barrancabermeja, que al no poseer una base de datos de estudios de suelos que permitan zonificar la velocidad promedio en la ciudad, el uso de este método resulta útil al tener información topográfica.

La Figura 2.3 muestra como varía la velocidad de onda de corte según la topografía de todo el territorio colombiano. El Vs30 alcanza niveles altos (>760 m/s) en zonas con altas pendientes y niveles bajos en planicies. La Tabla 2.2 muestra los parámetros geotécnicos dados por la norma NSR-10 para caracterizar las velocidades de onda de corte.

Tabla 2.2 Velocidad de Onda de corte según la Tabla A.2.4.4 de la NSR-10

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$1500 \text{ m/s} > v_s \geq 760 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$760 \text{ m/s} > v_s \geq 360 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > v_s \geq 360 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50$, ó $su \geq 100 \text{ kPa}$ ($\approx 1 \text{ kgf/cm}^2$)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > v_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15$, ó 100 kPa ($\approx 1 \text{ kgf/cm}^2$) $> su \geq 50 \text{ kPa}$ ($\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2$)
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180 \text{ m/s} < v_s$
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$P > 20$ w $\geq 40\%$ 50 kPa ($\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2$) $> su$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: F1- Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F2 -Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F3- Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75) F4-Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m)	

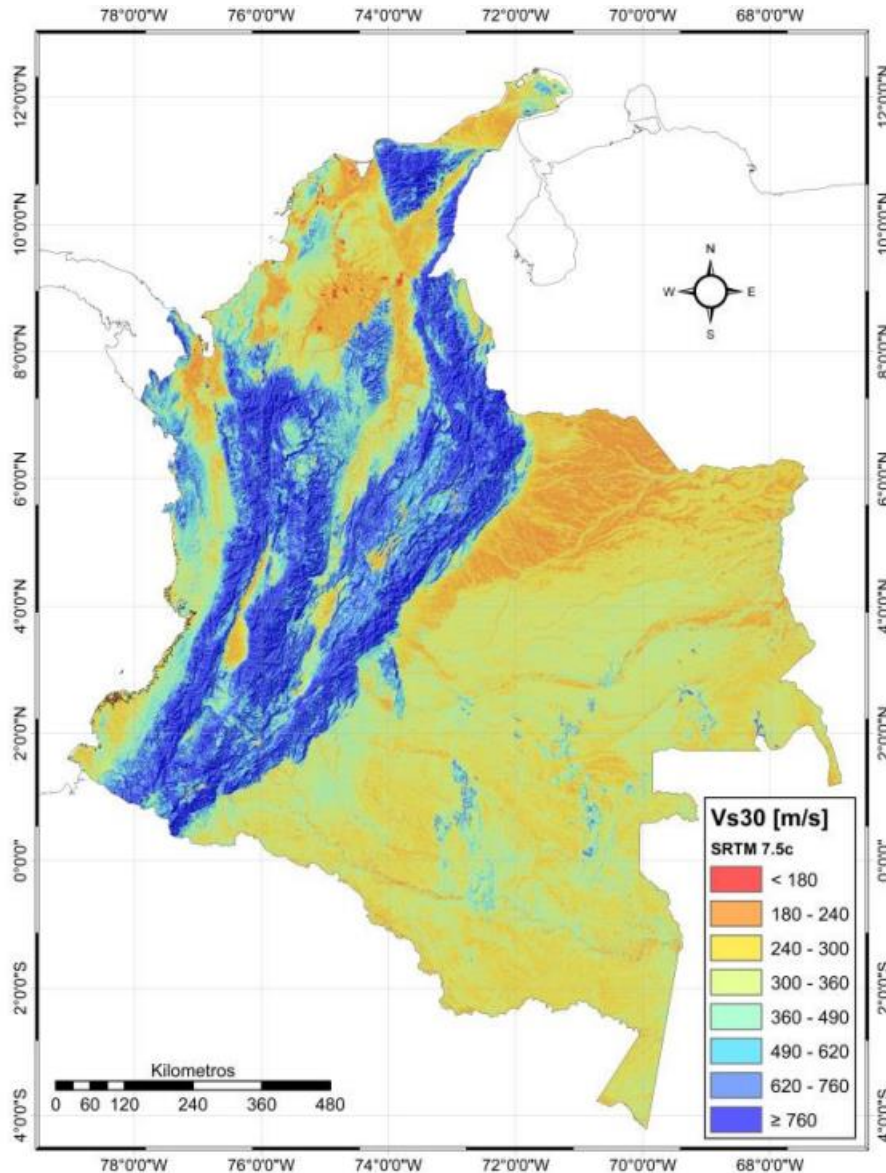


Figura 2.3 Mapa de velocidad de onda de corte a 30m de profundidad para Colombia, basado en el gradiente topográfico a partir de un SRTM de 7.5 arcossegundos. (Jaime Eraso & SGC, 2015)

La velocidad de Onda de Corte se discretizó para cada barrio y corregimiento de Barrancabermeja, obteniendo así un promedio de 270 m/s para la ciudad tal y como se ilustra en la Figura 2.4. Comparando el valor promedio obtenido en la ciudad con los parámetros dados en la Tabla 2.2, se obtiene que en la ciudad predomina el suelo tipo D.

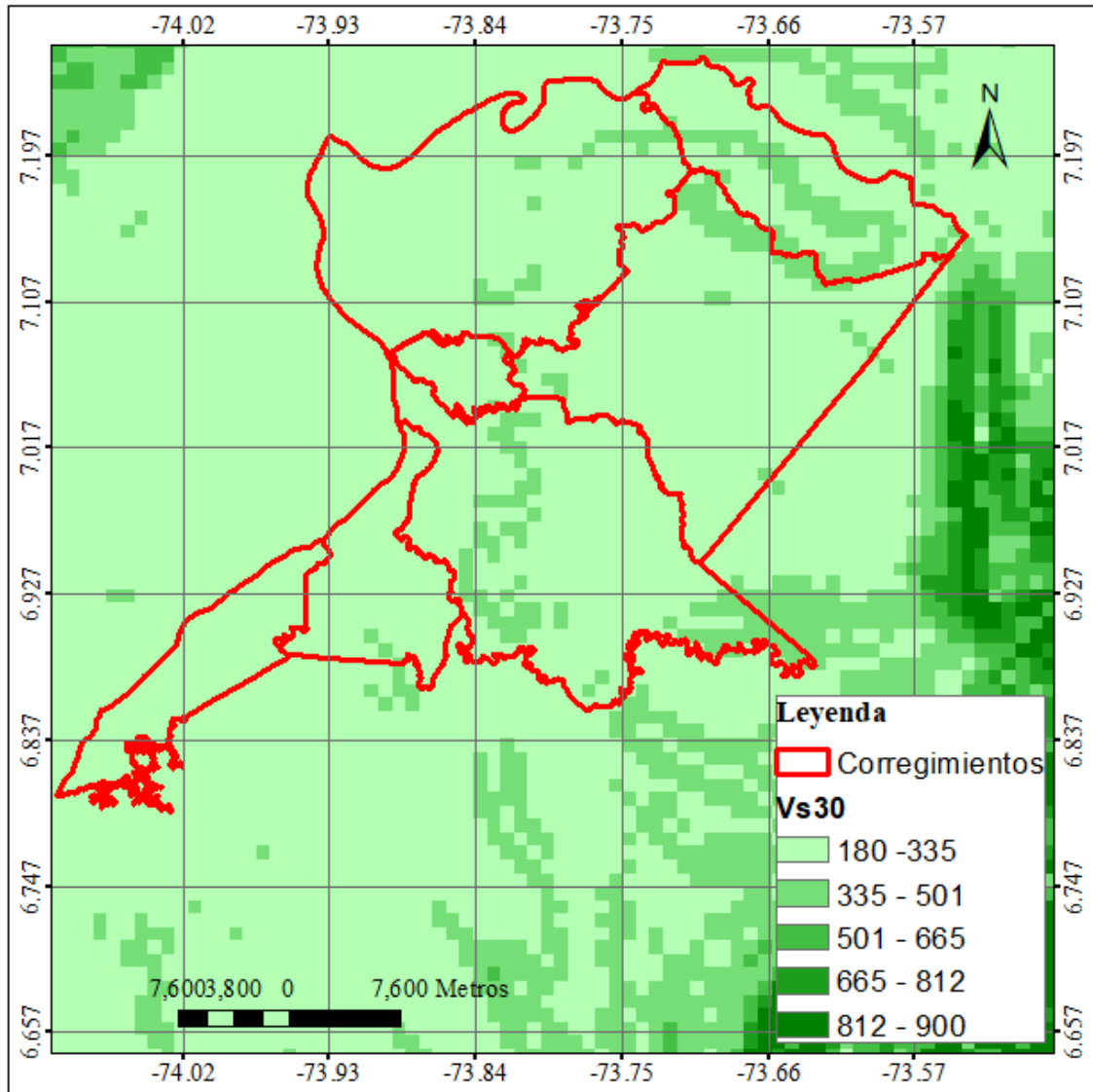


Figura 2.4 Vs30 de Corregimientos de Barrancabermeja.
 Fuente: Información de USGS adaptada.

3. MODELO DE EXPOSICIÓN

El cálculo de riesgo está compuesto por tres variables principales: Amenaza, la cual es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural, ya sea movimiento en masa, inundación o sismo; exposición, que indica los elementos susceptibles de sufrir daños debidos deformaciones del suelo y fuerzas de agentes externos como viento, agua, colisiones de materiales y desplazamientos generados por un sismo; y vulnerabilidad, que se tiene como la capacidad de las estructuras sobrellevar y disipar estos fenómenos.

El modelo de exposición tiene como finalidad describir la distribución geográfica de los bienes y habitantes expuestos, evaluar el costo necesario para reponer construcciones dañadas por efectos de fenómenos naturales y evaluar la población que sería afectada. Para realizar el modelo de

exposición es necesario conocer muy bien la zona de estudio, la cultura constructiva de la ciudad e identificar distribuciones socioeconómicas de la población.

3.1. CLASIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS EXPUESTAS.

La clasificación de la estructura de los edificios expuestos es esencial para entender el nivel de resistencia contra cargas laterales y gravitacionales de las construcciones y poder definir los posibles mecanismos de falla que se representarían por medio de curvas de fragilidad. Para ello se deben catalogar teniendo presente las propiedades de los materiales, tipo de sistema estructural y su capacidad de disipar energía (Ductilidad).

Para catalogar las estructuras se usó la nomenclatura propuesta por GEM (Global Earthquake Model). Una de las herramientas que ha desarrollado la organización es una base de datos que uniformiza la manera de clasificar los parámetros que describen la taxonomía de un edificio, estos parámetros finalmente se traducen en resistencia y ductilidad frente a amenazas naturales. La Tabla 3.1 muestra las tipologías estructurales más representativas para la ciudad de estudio junto con los códigos correspondientes.

Tabla 3.1 Nomenclatura GEM

Tipología	Código
Construcción improvisada	UNK
Mampostería confinada	MCF/LWAL/DUC
Mampostería confinada sin Ingeniería	MCF/LWAL/DNO
Mampostería no reforzada	MUR/LWAL/DNO
Mampostería reforzada	MR/LWAL/DUC
Muros bahareque	UNK
Muros de tapia pisada	UNK
Muros estructurales en concreto reforzado	CR/LWAL/DUC
Paneles en madera y otros	UNK
Pórtico de concreto reforzado	CR/LFINF/DUC
Pórticos de acero	S/LFINF/DUC
Pórticos de acero arriostrado	S+SR/LFBR/DUC
Pórticos de concreto reforzado sin Ingeniería	CR/LFINF/DNO
Prefabricados en concreto	CR+PC/LWAL/DUC
Sistema combinado en concreto reforzado	CR/LDUAL/DUC

La nomenclatura para indicar la cantidad de niveles del edificio se compone del indicativo “HEX:” seguido con la cantidad de pisos. Por ejemplo, para un edificio de Mampostería confinada sin ingeniería de 3 niveles posee el siguiente código: “MCF/LWAL/DNO/HEX:3”

3.1.1. DESCRIPCIÓN DE TIPOLOGIAS ESTRUCTURALES

A continuación, se procederá a describir cada una de las tipologías analizadas en el estudio, la nomenclatura entre paréntesis corresponde a su código según el GEM.

3.1.1.1. *Construcción Improvisada (UNK):*

Muchas de ellas son obras de autoconstrucción; es decir, las han edificado las personas que tienen los mínimos conocimientos, porque son con base en experiencia, en su gran mayoría son con materiales livianos, tales como madera y láminas (ver Fotografía 3.1)



Fotografía 3.1 Construcción improvisada

3.1.1.2. Mampostería confinada (MCF/LWAL/DUC):

Se clasifica como mampostería confinada aquella que se construye utilizando muros de mampostería rodeados con elementos de concreto reforzado, vaciados posteriormente a la ejecución del muro y que actúan monolíticamente con éste. (NSR,2010)



Fotografía 3.2 Mampostería confinada

Fuente: <http://tiposdemamposteria.blogspot.com.co/>

3.1.1.3. Mampostería confinada sin ingeniería (MCF/LWAL/DNO):

Se denomina mampostería confinada sin ingeniería aquella que cuenta con elementos que confinan los mampuestos pero que no fue supervisada por profesionales, sino por el contrario fue autoconstrucción, o que debido a su antigüedad no cuenta con los criterios que deben cumplir actualmente una estructura denominada de esta forma.



Fotografía 3.3 Mampostería confinada sin ingeniería

3.1.1.4. Mampostería reforzada (MR/LWAL/DUC):

El sistema de mampostería reforzada se fundamenta en la construcción de muros con piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzadas internamente con barras y alambres de acero, cumpliendo los requisitos de análisis, diseño y construcción apropiados establecidos en la NSR – 2010. Este sistema permite la inyección de todas sus celdas con mortero de relleno o inyectar sólo las celdas verticales que llevan refuerzo (verFigura 3.1).

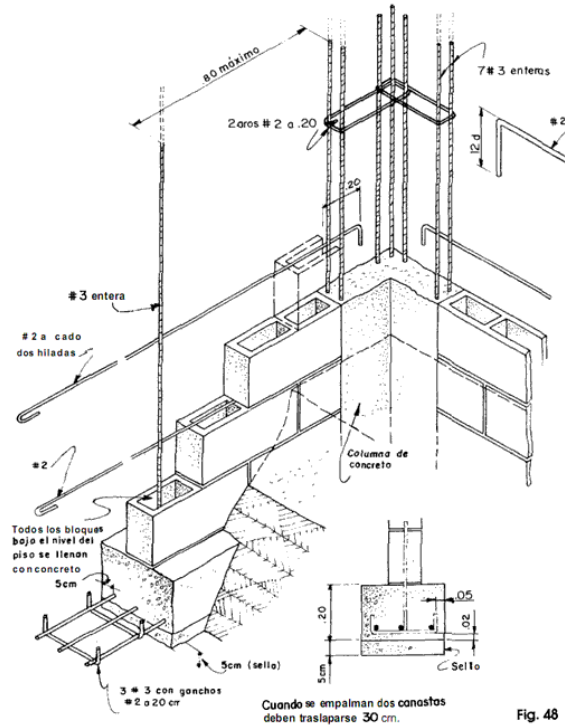


Figura 3.1 Mampostería reforzada

Fuente: <http://jorgemartinezlarios.com/mamposteria-reforzada-normas-agies/#.WqgGd-huaUk>

3.1.1.5. Mampostería no reforzada (MUR/LWAL/DNO):

Se entiende como mampostería no reforzada como aquella que se encuentra unida solo con material cementante, pero que no hace uso de elementos que confinen ni refuercen la estructura.



Fotografía 3.4 Mampostería no reforzada apoyada sobre columnas y losa de concreto

3.1.1.6. Muros bahareque (UNK):

El bahareque es un americanismo que significa “pared de cañas y/o maderas y tierras”; ha sido a lo largo de la historia una solución tecnológica al hábitat constructivo de muchas culturas. Las fundaciones típicas para este sistema se construyen a partir de cimientos continuos o corridos (ver Figura 3.2)

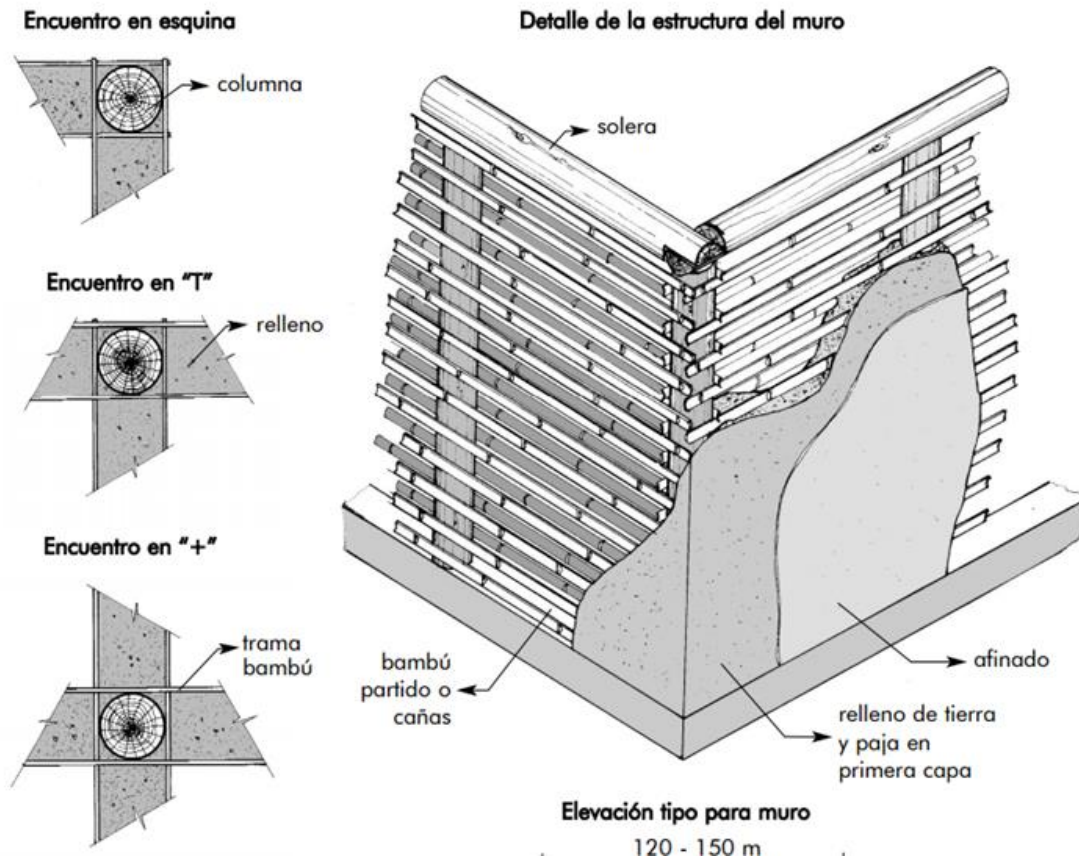


Figura 3.2 Muros de Bahareque
Fuente: <https://www.emaze.com/@AZTRFQIZ>

3.1.1.7. Muros estructurales en concreto reforzado (CR/LWAL/DUC)

Sistema estructural que hace uso de concreto reforzado con barras o mallas de acero. Fundamentalmente transmiten cargas verticales y no permite la restructuración de su forma, por lo que la flexibilidad con los espacios es limitada (ver Figura 3.3).



Figura 3.3 Muros vaciados en concreto reforzado

Fuente: <http://blog.360gradosenconcreto.com/generalidades-y-tipos-de-aditivos-para-el-concreto-segun-lan-ntc-1299/>

3.1.1.8. Pórtico de concreto reforzado (CR/LFINF/DUC):

Son estructuras de concreto armado con la misma dosificación columnas -vigas peraltadas, o chatas unidas en zonas de confinamiento donde forman Angulo de 90° en el fondo o parte superior y lados laterales, es el sistema de los edificios porticados. El porticado o tradicional consiste en el uso de columnas, losas y muros divisorios en ladrillo que están adosados a la estructura. (ver Figura 3.4). El indicativo “LFINF” es la abreviación de “Lateral Frame In fill” que traduce en un sistema porticado con muros adosados.



Figura 3.4 Pórtico en concreto

Fuente: <http://pedramixconcretos.com.br/news/item/vantagens-das-estruturas-de-concreto/32?tmpl=component>

3.1.1.9. Pórticos de acero (S/LFINF/DUC)

Estructura compuesta de columnas y vigas; cuyo material de construcción es el acero estructural, tal como se observa en la Figura 3.5.



Figura 3.5 Pórtico de acero

Fuente: <http://www.steelbuildingchina.es/7-1-1-steel-workshop-case.html>

3.1.1.10. Pórticos de acero arriostrado (S+SR/LFBR/DUC):

Estructura compuesta de columnas y vigas en acero estructural, que se encuentran arriostrados por elementos diagonales que rigidizan la estructura frente a desplazamientos horizontales.



Figura 3.6 Pórtico en acero arrostrado

Fuente: <https://www.goratoools.com/single-post/Dise%C3%B1o-Ductil-SCBF>

3.1.1.11. Pórticos de concreto reforzado sin Ingeniería (CR/LFINF/DNO):

Este sistema estructural tiene el mismo concepto que el descrito en el Pórtico de concreto reforzado, pero con la diferencia que aquí no existe un acompañamiento ni asesoramiento de un profesional ni en la etapa de diseño ni construcción de la estructura.

3.1.1.12. Prefabricados en concreto (CR+PC/LWAL/DUC):

Elemento o pieza que se fabrica en taller para luego ser transportado e instalado en el edificio. Son Utilizados principalmente en bodegas y naves industriales.



Figura 3.7 Prefabricado en concreto

Fuente: <http://www.arqhys.com/construccion/los-prefabricados.html>

3.1.1.13. Sistema combinado en concreto reforzado (CR/LDUAL/DUC):

El sistema dual es combinación de los sistemas de pórticos de concreto reforzado y los muros de concreto. Se utilizan en grandes rascacielos, en donde se combinan la acción de los muros perimetrales y céntricos o núcleo con los marcos y entramados.



Figura 3.8 Sistema combinado

Fuente: <http://blog.360gradosenconcreto.com/ventajas-usos-mas-frecuentes-los-sistemas-combinado-dual/>

3.2. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

Para elaborar el modelo de exposición es necesario conocer muy bien la distribución de usos del suelo, estratos socioeconómicos, distribución de los edificios por alturas, sistemas estructurales predominantes, estados de conservación (Antigüedad y nivel de daños) y, sobre todo, conocer la cultura constructiva de la ciudad, entendiéndose cultura constructiva como los materiales y procedimientos típicos que usan los maestros de obra y los ingenieros de la zona.

La información se recopiló por medio de tres fuentes principales: Encuestas en campo, encuestas remotas o digitales y por medio de Información secundaria de estudios y estadísticas anteriores. A continuación, se describirá cada una de las formas de recolección de la información:

3.2.1. ENCUESTAS DIGITALES

Las encuestas digitales o remotas se realizaron usando la herramienta Google Streetview, la cual permite recorrer gran porcentaje de las vías de la ciudad y consigo observar las edificaciones, tomar registros fotográficos y tener georreferencia de las encuestas.

En total se realizaron 4.500 encuestas remotas en donde se recolectó la siguiente información:

- **Tipología Estructural:** El tipo de estructura se determinó a partir de rasgos exteriores del edificio, permitiendo dar cuenta del tipo de material usado y el sistema estructural probable. Existen herramientas literarias que ayudan a determinar tipos de sistemas de resistencia a cargas laterales, basándose en la premisa de que la persona sea capaz de catalogar a partir de

la observación de la fachada; por ejemplo, la guía FEMA-154 (2002) propone observar el espaciamiento y tamaño de las ventanas para deducir la estructura, otro factor importante es el material de construcción predominante.

- Numero de niveles: Se determina la cantidad de pisos que hay sobre el terreno.
- Uso: Se determina el tipo de uso del edificio (Residencial, comercial, mixto, institucional, gubernamental u otros.)
- Coordenadas: Se determina la longitud y latitud de centroide del área construida.
- Registro Fotográfico: Se deja registro fotográfico de la edificación encuestada. La foto deja constancia de la coordenada, el número de pisos, y permite inferir el uso y la tipología estructura.

En la Figura 3.9y Figura 3.10 ilustra la ubicación de las encuestas realizadas en zona urbana y rural respectivamente, tanto de manera remota como en campo.

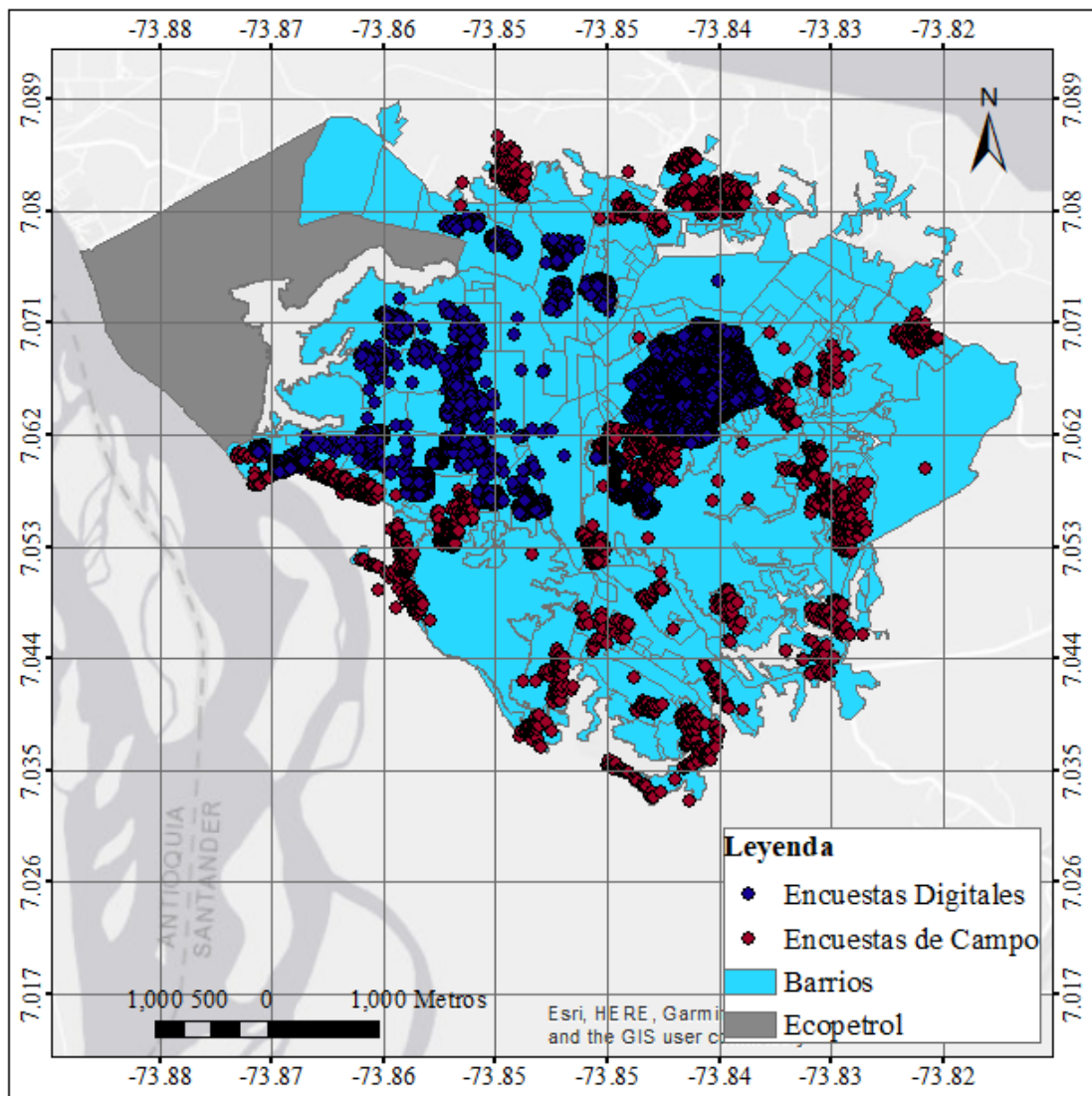


Figura 3.9 Distribución geográfica de encuestas en zona urbana.
 Fuente: Elaboración propia

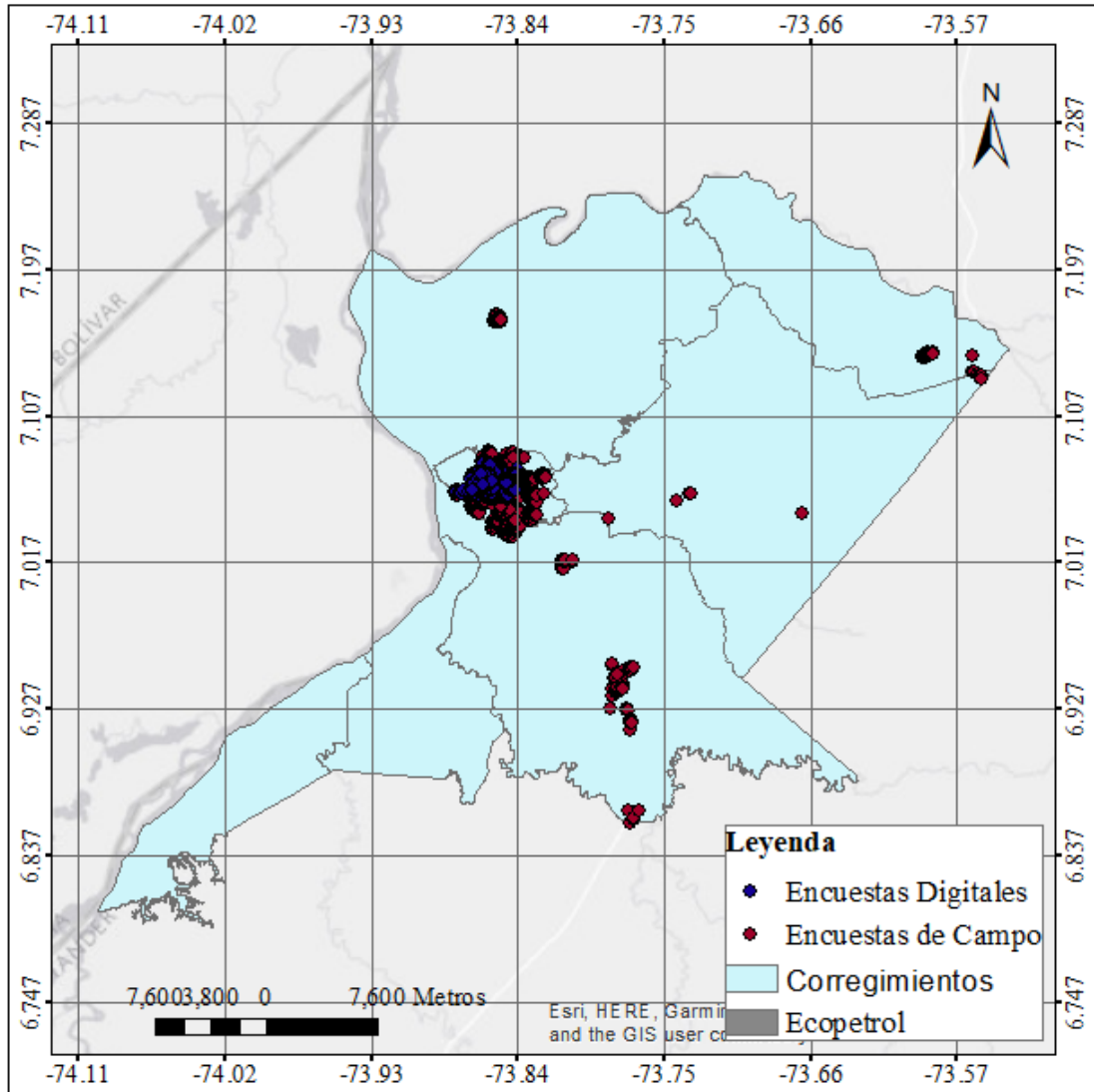


Figura 3.10 Distribución geográfica de encuestas en zona rural.
Fuente: Elaboración propia

3.2.2. ENCUESTAS DE CAMPO

Para el desarrollo de riesgo por amenazas naturales se llevó a cabo un trabajo de campo riguroso que permitiera recabar información de una muestra representativa de las edificaciones existentes en el municipio.

A partir de lo anterior, se procedió a determinar las zonas de la ciudad que estuvieran en alto riesgo geológico y de inundación, y a partir de esto sacar una muestra representativa de cada polígono para proceder a recabar información primaria a partir de las encuestas desarrolladas. Una vez determinados las áreas a estudiar y conociendo la densidad del sector, se determinó realizar 2.400 repartidas en los Barrios que muestra la Tabla 3.2.

Las estadísticas para el año 2014 refleja una cantidad total de 63.800 predios. Al sumar la cantidad de encuestas digitales y de campo se obtiene una muestra del 8.73% de las edificaciones de la ciudad, siendo esta muestra bastante representativa para el trabajo en cuestión.

Tabla 3.2 Cantidad de encuestas por barrio.

Barrio	# Encuestas	Barrio	# Encuestas
Miraflores	161	El Campin	25
22 de Marzo	154	Centro	23
Arenal	148	Oro Negro 1	22
Coviba	96	La fortuna	18
La Victoria	96	La paz	17
Buenvista	92	San Luis	14
9 de abril	88	Los nogales	13
Rafael Rangel	85	Campo 16	13
Caminos de San Silvestre	85	Cincuentenario	12
Santa Bárbara	84	Urbanización 2000	12
El Dorado	79	Campana	12
Chapinero	65	Centro	12
Villarelis 2	58	Sector comercial	11
El Llanito	57	El quemadero	11
Nuevo horizonte	56	Nuevo Milenio	10
Los Laureles	53	Campo 23	9
Jerusalén	49	El progreso	8
Campestre	47	María Eugenia	7
Kennedy	47	Urbanización los nogales	7
La Candelaria	46	Cincuentenario autoconstrucción.	6
Prado del campestre	44	Yuma	6
Las Nieves	44	La cira	6
El Paraíso	40	Arenal - Brisas del rio	5
Cardales	39	Pueblo regado	5
Los Pinos	39	Comuneros	3
Progreso I	38	Urbanización los comuneros	3
Limonar	38	Lagos de Venecia	2
El palmar	35	Los Columpios	2
La meseta de san Rafael	32	Tres unidos	2
El castillo	31	Las Granjas	1
Yarima	31	Simón Bolívar	1
Buenos aires 2	30	Buena vista	1
Madrigal	27		

Para la recolección de la información primaria, se partió de las encuestas desarrolladas según la platilla de levantamiento detallado propuesta por la Guía del SGC, para esto se hizo uso de las tecnologías de la información y la comunicación con el propósito de velar por la seguridad de la investigación, a la par de tenerlas en tiempo real y realizar seguimiento a la información allí plasmada. En este orden de ideas, se configuro una encuesta virtual, en donde los profesionales, tanto sociales como civiles, haciendo uso de un celular, Tablet, o cualquier elemento con conexión a internet pudieran llenar los datos de interés para el estudio.



Fotografía 3.5 Recolección de información en campo

Esta estrategia permitió la eficiencia del trabajo, ya que no era necesario la digitalización del formulario; asimismo, y con el propósito de prever posibles fallas con el servicio de internet, cada equipo (Social –ingeniero Civil) contaba con un paquete de encuestas físicas que pudiera dar soporte a la herramienta virtual por si en algún momento esta llegase a presentar inconvenientes.

El trabajo de campo tuvo una duración de 1 mes, en donde se veló por recabar la muestra representativa de cada uno los polígonos definidos. Para este proceso se contó con seis cuadrillas de profesionales, en donde cada equipo estaba integrado por un profesional civil y un profesional social, lo anterior con la finalidad darle tranquilidad a cada uno de los individuos que eran abordados.

El trabajo del profesional social iba encaminado a brindarle confianza a las personas que colaboraban con la encuesta, así como socializar la finalidad del estudio y la razón de este. En cuanto al profesional civil, su tarea iba encaminada a indagar las condiciones técnicas de la vivienda, y para esto era necesario un recorrido de la estructura para inspeccionar posibles daños a la estructura y sistema constructivo; otras de las funciones esenciales era averiguar la forma en

como se había construido la edificación y su sistema de cimentación, por lo cual era fundamental tener un acercamiento con la persona de tal forma que permitiera conocer en detalle la vivienda.

Durante el desarrollo de trabajo de campo, los profesionales evidenciaron algunos inconvenientes e incertidumbres, estos son descriptos en la Figura 3.11 y paralelamente se presentan recomendaciones ante dichas problemáticas,

INCONVENIENTES AL CLASIFICAR LAS ESTRUCTURAS	NIVEL DE INCERTIDUMBRE ESTRUCTURAL	RECOMENDACIONES
<p>Los inconvenientes mas frecuentes que se presentaron se describen a continuación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La Interpretación de la tipología estructural en las edificaciones con acabados arquitectónicos. • Al momento de clasificar la estructura, cuando se realizó la encuesta a una persona que no presencié el proceso constructivo de la misma. • La presencia de diferentes sistemas estructurales en la edificación y el no poder identificar claramente cual de todos predomina. • La evaluación de la estructura, cuando esta se realizó de manera externa. 	<p>El nivel de incertidumbre depende del sector que se inspeccionó, según las condiciones socioeconómicas y la antigüedad de la construcción.</p> <p>En promedio se puede afirmar que el nivel de incertidumbre no superó el 15 %, al momento de evaluar las estructuras.</p> <p>En Barrancabermeja la mayoría de edificaciones no cuentan con supervisión profesional, predominando un mismo patrón de construcción, para el caso específico el sistema estructural es mampostería simple y construcción improvisada (madera, bahareque y fibrocemento), cabe resaltar que en pocas ocasiones se identificó sistemas en mampostería confinada y pórticos en concreto reforzado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Contactar a personas fundadoras del barrio, con el fin que estos proporcionen información acerca de las metodologías de construcción del sector. ✓ Solicitar al residente de la edificación, el ingreso a las zonas donde finaliza la construcción de la edificación (patio, sótanos), con el objetivo de evidenciar claramente el sistema estructural, tipo de cubierta y cimentación en casos específicos. ✓ Recibir capacitaciones por profesionales en manejo de relaciones interpersonales, adquiriendo conocimientos e instrucciones por parte de ellos en cuanto al manejo de palabras y actitudes, ante diferentes situaciones que se pueden presentarse al momento de abordar al residente de la edificación, logrando una buena interacción con las personas y así obteniendo una mayor información de interés.

Figura 3.11 Inconvenientes de campo y recomendaciones.

3.2.3. INFORMACIÓN SECUNDARIA

Para el desarrollo del estudio fue fundamental tener información cartográfica de la ciudad. En la Tabla 3.3 se expone la información suministrada por Planeación para llevar a cabo el presente proyecto:

Tabla 3.3 Información provista por Planeación

	Formato	Contenido	Variables
Comunas y Barrios	Shape.shp	Contiene todos los polígonos de las comunas y barrios de la ciudad.	Perímetro y área.
Predios	Shape.shp	Contiene algunos de los polígonos de los lotes construidos y vacíos de la ciudad.	Perímetro y área.

	Formato	Contenido	Variables
Equipamientos	Shape.shp	Contiene todos los polígonos de los centros de salud pública, parques públicos, estaciones de bomberos, policía otras instituciones gubernamentales para el servicio de la comunidad.	Perímetro y área.
Espacios Públicos	Shape.shp	Contiene zonas verdes públicas, plazoletas, zonas deportivas y parques.	Perímetro y área.
Vías	Shape.shp	Contiene la ubicación de las vías de la ciudad.	Longitud
Infraestructura eléctrica	Shape.shp	Ubicación de torres eléctricas	Ubicación

Esta información cartográfica provista es fundamental para determinar las estadísticas de área construida, número de edificios y viviendas y usos del suelo.

3.3. ÁREA CONSTRUIDA

El área construida es uno de los parámetros más influyentes en el resultado de la evaluación de pérdidas económicas debidas a un desastre natural, debido a que los costos de reposición de los bienes expuestos están expresados en función del área construida, por tal razón este parámetro deberá ser lo más cercano a la realidad.

El inconveniente a la hora de calcular el área construida usando los polígonos de los predios suministrados fue que estos contienen tanto área construida como zonas verdes de antejardines y patios traseros, en otras palabras, los predios también incluyen área sin construir. Por este motivo se generó un procedimiento que se ajustase el área construida de los predios

3.3.1. INVASIONES Y LOTES NO CONSTRUIDOS.

Usando la herramienta ArcGIS y una foto a escala 1:500, se generaron nuevos polígonos para aquellas áreas construidas que no poseían predios registrados por catastro, posiblemente por ser invasiones o construcciones no legalizadas. De manera contraria, se eliminaron aquellos predios de lotes vacíos sin construir.

3.3.2. UNIFORMIDAD DE PREDIOS

Se clasificaron las manzanas de los barrios según la uniformidad de los lotes y de las cantidades de zonas verdes de los predios. La Figura 3.12 muestra a manera de ejemplo lo que sería un barrio con lotes uniformes, con tamaños similares y zonas verdes pequeñas, por otro lado, la Figura 3.13 exhibe que el barrio Miraflores posee gran cantidad de zonas verdes y lotes muy irregulares. Al comparar el área construida con el área de los predios de los lotes de cada barrio, se obtuvieron el porcentaje promedio construido de los predios. La Tabla 3.4 muestra los porcentajes de área construida obtenidos para los barrios analizados.

Tabla 3.4 Porcentaje obtenido de área construida para cada Barrio. (%c)

Tipo de predios	Código	Porcentaje construido (Ic)
Lotes Uniformes	LU	90%
Lotes Irregulares	LIR	75%
Lotes Muy Irregulares	LMIR	67%

A cada barrio se le asignó la tipología de Lotes según lo observado con la ortofoto. Para calcular entonces el área construida total se sumó el área de todos los predios de cada barrio y se multiplicó por su correspondiente porcentaje construido.



Figura 3.12 Barrio con manzanas y predios uniformes (LU) Barrio La Esperanza, , Comuna 5



Figura 3.13 Barrio con manzanas y predios irregulares. (LIR) Barrio Alcázar, Comuna 5

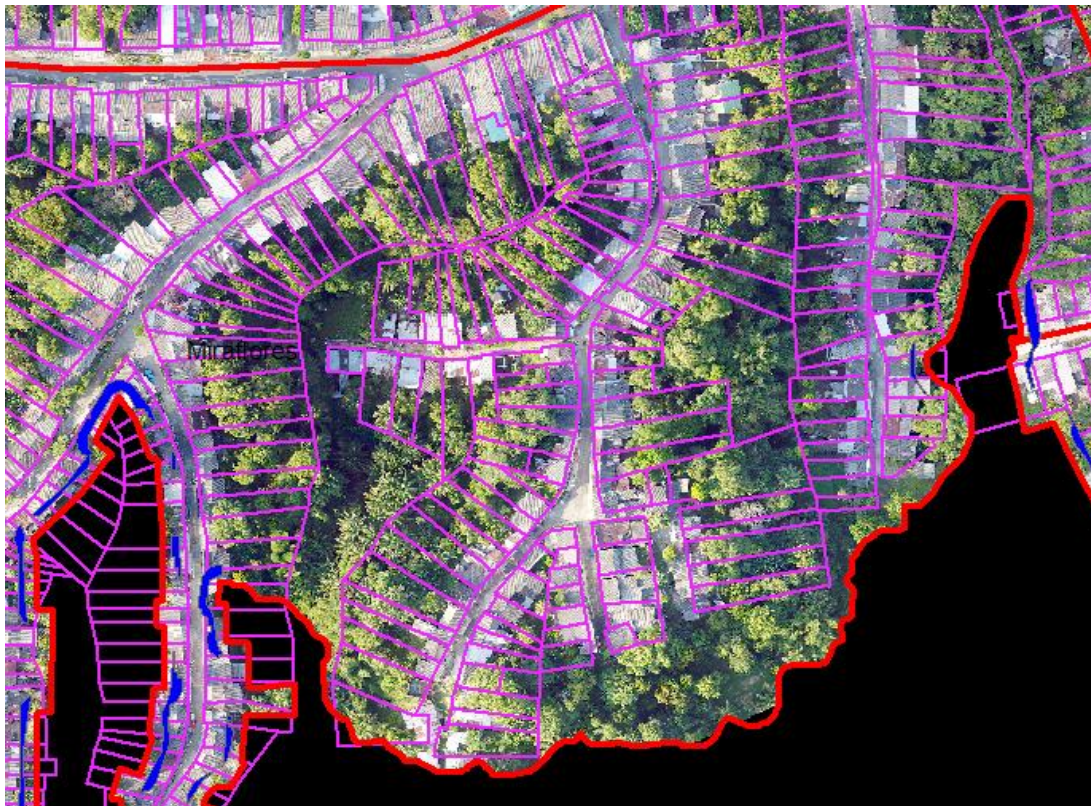


Figura 3.14 Barrio con manzanas y predios irregulares. (LMIR) Barrio Miraflores, Comuna 5

3.4. NUMERO CONSTRUCCIONES (EDIFICIOS)

Para conocer la cantidad de edificios que posee la ciudad se hizo uso de la información catastral de predios. Inicialmente se tomó la hipótesis de que en cada lote o predio existe una sola construcción, pero a la hora de realizar las encuestas remotas y observar la orto-foto se observó que en algunos predios existen 2 o más construcciones diferentes, por lo que no es posible calcular la cantidad de edificios o construcciones como igual a la cantidad de predios que aparecen en catastro.

En este orden de ideas, se calculó la relación entre cantidad de construcciones identificadas y predios de catastro para 3 Barrios: El Alcázar, La Esperanza y Miraflores. A cada barrio se encuestaron la totalidad de edificios y se comparó con la cantidad de predios, el resultado de dicha actividad es el presentado Tabla 3.5.

Tabla 3.5 índice de construcciones (edificios) para los tres barrios de análisis. (Ic)

	Uniformidad de Lotes	Numero de construcciones identificadas	Numero de predios de catastro	Índice (No. Construcción/No predios)
El Alcázar	LIR	559	442	1.265
La Esperanza	LU	1079	987	1.093
Miraflores	LMIR	534	437	1.222

Los resultados de los índices obtenidos en la Tabla 3.5 anterior, se aplicaron a todos los barrios de la ciudad según la uniformidad que poseían los predios o lotes.

3.5. INDICE DE CONSTRUCCIONES NO RESIDENCIALES(Iu)

Como se mencionó al inicio del informe, es de interés evaluar el riesgo de las viviendas de la ciudad, para ello es necesario discriminar las construcciones según el tipo de uso. Así las cosas, se realizaron encuestas en diferentes manzanas de los barrios, con el fin de conocer cuál es la proporción de construcciones identificadas con uso diferente a vivienda, respecto a la cantidad real de residencias. Los resultados son los presentados en la Tabla 3.6 siguiente.

Tabla 3.6 Índice de usos diferentes a residencias (Iu)

Uso de suelo que predomina en el Barrio	Índice Otros Usos/Residencias
COMERCIO	0.30
MIX	0.20
OTROS	0.10
RES	0.08

3.6. NUMERO DE VIVIENDAS POR EDIFICIO

Es de interés conocer no solo la cantidad de edificios, sino también la cantidad de viviendas que hay en cada edificio o construcción, ya que este dato posibilita conocer la cantidad de individuos promedio en cada estructura y con ello calcular la cantidad probable de heridos y/o muertos que generarían los daños y colapsos de las construcciones.

La Tabla 3.7 muestra la matriz de distribución de viviendas según la tipología estructura y el número de niveles. Esta información se obtuvo por medio de las encuestas de campo e información secundaria.

Tabla 3.7 Numero promedio de viviendas según la taxonomía y el número de pisos.

Taxonomía GEM	Viviendas el Numero de Pisos										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 a 19
CR/LDUAL+DUC	1	1.2	2.8	8	10	18	28	36	36	36	60
CR/LFINF+DNO	1	1.2	2.8	8	10	18	28	36	36	36	60
CR/LFINF+DUC	1	1.2	2.8	8	10	18	28	36	36	36	60
CR/LWAL+DUC	1	1.2	2.8	8	10	24	42	54	54	54	90
CR+PC/LWAL+DUC	1	1.2	2.8	-	-	-	-	-	-	-	-
MCF/LWAL+DNO	1	1.2	3	5	6	12	-	-	-	-	-
MCF/LWAL+DUC	1	1.2	2.5	5	6	12	-	-	-	-	-
MR/LWAL+DUC	1	1.2	2.5	8	20	24	28	SINF	SINF	SINF	SINF

Viviendas el Numero de Pisos											
Taxonomía GEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 a 19
MUR	1	1.2	2.5	4	6	-	-	-	-	-	-
UNK	1	1.2	3	-	-	-	-	-	-	-	-

3.7. COSTOS DE REPOSICIÓN DE BIENES EXPUESTOS.

El costo de reposición se refiere al costo directo del edificio (diseños, mano de obra y materiales). El valor comercial de un inmueble no solo incluye los costos directos mencionados, sino que incluye el valor comercial del lote y la valorización del inmueble. Para el presente estudio, es de interés conocer el costo de reposición puesto que es el valor por el cual habría que reponer las construcciones dañadas o colapsadas sin incluir costo de lote y valorización.

Luego de consultar precios y encuestar constructores de la ciudad en mención, se determinó que los acabados y elementos *No Estructurales* es lo que más peso tiene en los costos directos de un edificio, variando entre el 70% a 75% el costo total, mientras que la estructura del edificio llega a ser entre el 25% al 30%. En la mayoría de los casos, la calidad y cantidad de acabados, los elementos No estructurales y arquitectónicos dependen en gran medida del estrato socioeconómico del sector. Por esta razón, se decide catalogar los precios de construcción únicamente según el estrato y no por la tipología estructural. La Tabla 3.8 muestra los costos de reposición obtenidos para el presente estudio.

Tabla 3.8 Costo de reposición por estrato

Estrato	Costo de reposición/m ²
1	\$ 600,000
2	\$ 700,000
3	\$ 1,100,000
4	\$ 1,400,000
5	\$ 1,800,000
6	\$ 2,200,000

Usando estadísticas de Censos anteriores, se obtuvo los estratos predominantes en cada Barrio. El libro Barrancabermeja en Cifras. 2012 -2014 da una distribución socioeconómica para cada Comuna, más no está discretizada por barrios, por lo que fue necesario apoyarse del trabajo de campo para determinar el estrato predominante de los sectores. En aquellos barrios donde no se tuvo alcance con las encuestas se usó el estrato promedio indicado en estudios anteriormente mencionados.

3.8. ZONAS HOMOGENEAS.

Con el fin de determinar las zonas de la ciudad las cuales poseían características similares en cuanto a distribución en altura de los edificios, uso de suelos y estratos, se asignó un código para cada parámetro mencionado con el propósito identificar cada barrio.

Aquellos barrios en los que no se hayan realizado encuestas, pero poseen las mismas características que alguna zona homogénea, se podrá usar los mismos parámetros de la zona homogénea, pero aplicados a la cantidad de predios y área que posea el barrio en análisis.

3.8.1. DISTRIBUCIÓN EN ALTURA.

Usando los criterios mostrados en la Tabla 3.9, se le asignó a cada barrio una distribución en altura. Para decidir a qué clase de distribución pertenece el barrio, se realizó un recorrido general usando la Herramienta Google StreetView en donde se hizo un conteo ágil de edificios según su altura con el fin de determinar si predominan las construcciones de 1 nivel ó 2 o más niveles.

Tabla 3.9 Tipos de Distribuciones en Altura para la Zona de Estudio

Altura > 50%	Código
1 Nivel	A1
2 o más niveles	A2

3.8.2. ESTRATO

Se agruparon los barrios por grupo de estratos como lo muestra la Tabla 3.10.

Tabla 3.10 Código de Estrato

Nivel Socioeconómico	Código
Estrato 1 y 2	E1,2
Estrato 3 y 4	E3,4
Estrato 5 y 6	E5,6

3.8.3. USO

Según el tipo de uso principal del barrio se le asigna un código como lo muestra la Tabla 3.11.

Tabla 3.11 Uso predominante

Nivel Socioeconómico	Código
Residencial	RES
Mixto	MIX
Viviendas Interés Social	VIS
Otros	OTROS

3.1. RESULTADOS DEL MODELO DE EXPOSICIÓN

3.1.1. CÁLCULO DE CANTIDAD DE EDIFICIOS

Una vez caracterizados los barrios según el tipo de zona homogénea a la que pertenece, se determina las estadísticas de la distribución de las taxonomías en cada barrio, haciendo uso de las encuestas. La Tabla 3.12 muestra los resultados de las encuestas remotas y de campo de la zona homogénea E1,2/A1/RES que corresponde a estratos 1 y 2, donde predominan las residencias en un 90% y prevalecen las construcciones de un nivel en más de un 50%. Así las cosas, si un barrio de esta zona homogénea posee 100 construcciones, 86 de ellos serán de mampostería no reforzada de 1 piso (MUR/HEX:1), 4 edificios de mampostería no reforzada de 2 pisos (MUR/HEX:2) y así sucesivamente hasta alcanzar el 100%. Los decimales se redondean a cero si son menores a 0.5 o a 1 si son mayores a 0.5, siguiendo el ejemplo de los 100 edificios, los pórticos de concreto dúctiles de 4 pisos (CR/LFINF+DUC/HEX:4/RES) representan 0.2 construcciones, por lo que se asumen como cero.

Tabla 3.12 Distribución de taxonomías de la zona homogénea E1,2/A1/RES

E1,2/A1/RES			
Curva de Fragilidad	% Edificios	Tipología	# Niveles
CR/LFINF+DNO/HEX:1/RES	0.70%	CR/LFINF+DUC	1
CR/LFINF+DUC/HEX:2/RES	0.40%	CR/LFINF+DUC	2
CR/LFINF+DUC/HEX:3/RES	0.40%	CR/LFINF+DUC	3
CR/LFINF+DUC/HEX:4/RES	0.20%	CR/LFINF+DUC	4
MCF/LWAL+DUC/HEX:1/RES	1.90%	MCF/LWAL+DUC	1
MCF/LWAL+DUC/HEX:2/RES	1.10%	MCF/LWAL+DUC	2
MCF/LWAL+DNO/HEX:1/RES	1.00%	MCF/LWAL+DUC	1
MCF/LWAL+DNO/HEX:2/RES	1.00%	MCF/LWAL+DUC	2
MUR/HEX:1	86.00%	MUR	1
MUR/HEX:2	4.00%	MUR	2
MUR/HEX:3	2.00%	MUR	3
UNK	1.30%	UNK	1

La Tabla 3.13 muestra los resultados estadísticos de la distribución de taxonomías en los barrios de estrato 3 y 4, donde predominan las residencias en un 90% y predominan las construcciones de más de 2 niveles.

Tabla 3.13 Distribución de taxonomías de la zona homogénea E3,4/A2/RES

E3,4/A2/RES			
Curva de Fragilidad	% Edificios	Tipología	# Niveles
CR/LFINF+DUC/HEX:1/RES	0.80%	CR/LFINF+DUC	1
CR/LFINF+DUC/HEX:2/RES	0.60%	CR/LFINF+DUC	2
CR/LFINF+DUC/HEX:3/RES	3.00%	CR/LFINF+DUC	3
CR/LFINF+DUC/HEX:4/RES	1.50%	CR/LFINF+DUC	4
CR/LFINF+DUC/HEX:5/RES	1.50%	CR/LFINF+DUC	5
CR/LFINF+DUC/HEX:6/RES	1.10%	CR/LFINF+DUC	6
CR/LFINF+DUC/HEX:7/RES	0.40%	CR/LFINF+DUC	7
CR/LWAL/HBET:8,19	0.40%	CR/LDUAL+DUC	8
CR/LWAL/HBET:8,19	0.40%	CR/LDUAL+DUC	9
CR/LWAL/HBET:8,19	0.40%	CR/LDUAL+DUC	10
CR/LWAL/HBET:8,19	0.30%	CR/LDUAL+DUC	11
CR/LWAL/HBET:8,19	0.10%	CR/LDUAL+DUC	12
CR/LWAL/HBET:8,19	0.10%	CR/LDUAL+DUC	13
CR/LWAL/HBET:8,19	0.10%	CR/LDUAL+DUC	14
CR/LWAL/HBET:8,19	0.10%	CR/LDUAL+DUC	15
MCF/LWAL+DUC/HEX:1/RES	8.00%	MCF/LWAL+DUC	1
MCF/LWAL+DUC/HEX:2/RES	22.00%	MCF/LWAL+DUC	2
MCF/LWAL+DNO/HEX:1/RES	23.20%	MCF/LWAL+DNO	1
MCF/LWAL+DNO/HEX:2/RES	18.00%	MCF/LWAL+DNO	2
MUR/HEX:1	10.00%	MUR	1
MUR/HEX:2	7.20%	MUR	2
MUR/HEX:3	0.80%	MUR	3

Para efectos de simplicidad solo se ilustra las distribuciones de las zonas homogéneas E1,2/A1/RES y E3,4/A2/RES. Las demás distribuciones se podrán encontrar en los anexos.

La cantidad de edificios identificados debe ser modificado con el índice de construcciones (I_c) mostrado en la Tabla 3.5 presentada con anterioridad y se le debe restar el porcentaje correspondiente a los usos diferentes de vivienda (I_u) mostrados en la Tabla 3.6.

Acontinuación, la ecuación usada:

$$\#E_{dr} = E_d * I_c * (1 - I_u)$$

Donde:

- $\#E_{dr}$: Cantidad de edificios residenciales
- E_d : Cantidad de predios identificados con la cartografía de catastro y la ortofoto.

- Ic: Índice de construcciones
- Iu: Índice de usos diferentes a vivienda.

3.1.2. CALCULO DE ÁREA CONSTRUIDA

En vista de que el área construida se calcula usando los predios de catastro, y este no incluye el área construida de las losas áreas de los edificios de 2 o más pisos, es necesario calcular el área faltante haciendo uso de la distribución de taxonomías de cada barrio y siguiendo la ecuación mostrada:

$$Ac = Ab * \%c * [1 + Ed(i) * (N - 1)]$$

Donde:

- Ac: área construida(m²)
- %c: Porcentaje construido en planta según la Tabla 3.4
- Ab: Área bruta del lote calculado con la información de catastro. (m²)
- Ed(i): Porcentaje de edificios de una tipología “i” de la zona homogénea a la que pertenezca el barrio.
- N: Número de pisos
- $Ed(i) * (N - 1)$: representa en área construida en losas aéreas.

El área construida (Ac) se debe modificar con el Índice de construcciones (Ic) mostrado en la Tabla 3.5 y se le debe restar el porcentaje correspondiente a los usos diferentes de vivienda (Iu) mostrados en la Tabla 3.6.

Se muestra a continuación la ecuación usada:

$$AT = Ac * Ic * (1 - Iu)$$

Donde:

- AT: área total construida de viviendas(m²)
- Ic: Índice de construcciones
- Iu: Índice de usos diferentes a vivienda.

3.1.3. HIPOTESIS DE CANTIDAD DE VIVIENDAS Y POBLACIÓN

La cantidad de viviendas resulta de asociar la cantidad de edificios de una tipología en específico con la distribución de viviendas mostrada en la Tabla 3.7. El cálculo de la población se realizó en base a un promedio de habitantes por viviendas según el estrato mostrado en el libro “Barrancabermeja en cifras 2012-2014”. En la Tabla 3.14 se ilustra la información.

Tabla 3.14 Número de habitantes por vivienda según estrato

Nivel Socioeconómico	Número de Habitantes por Vivienda
Estrato 1	3.9
Estrato 2	3.5
Estrato 3	3.3
Estrato 4	3.3
Estrato 5	2.8
Estrato 6	3.5

Se aclara que, por los ajustes de área, cantidad de edificios y viviendas, el resultado final de la cantidad de ocupantes puede diferir un poco de la hipótesis inicial de ocupantes por vivienda.

3.1.4. RESULTADOS

Siguiendo la metodología descrita previamente, se caracterizó cada barrio según la uniformidad de los lotes, se calculó el área construida total dentro del barrio, se determinó el nivel socioeconómico, se calculó la cantidad de edificios y viviendas, la población y el costo de reposición total del barrio. La Tabla 3.15 muestra los resultados para el barrio Rafael Rangel.

Tabla 3.15 Resultado de Modelo de exposición para el Barrio Rafael Rangel

Barrio	Rafael Rangel
Zona Homogénea	E1,2/A1/RES
Latitud	7.069043
Longitud	-73.822368
Estrato	1
Uniformidad de los lotes	LIR
Área construida (m2)	32196
Cantidad de edificios	322
Cantidad de viviendas	344
Viviendas/Edificio	1.068
Ocupantes/Vivienda	3.195
Población	1099.28
Costo de reposición/m2 (COP)	\$600,00
Costo de reposición Total (COP)	\$19,318,020,450
Vs30 (m/s)	287.275543

La Figura 3.15 muestra la distribución de costos de reposición según la tipología estructural. Se puede observar que la tipología de muros no reforzados (MUR), es la taxonomía más común en la ciudad de Barrancabermeja, por lo que el acumulado de su costo supera los 3.7 Billones de pesos. La segunda tipología más común en la ciudad es la mampostería confinada, la cual en algunos casos se construye con todos los requisitos sísmicos de la norma NSR-10 (MFC/LWAL+DUC) y en

otros casos edificaciones levantadas bajo procesos de autoconstrucción (MFC/LWAL+DNO), la tercera tipología más frecuente son los pórticos de concreto reforzado con y sin ingeniería.

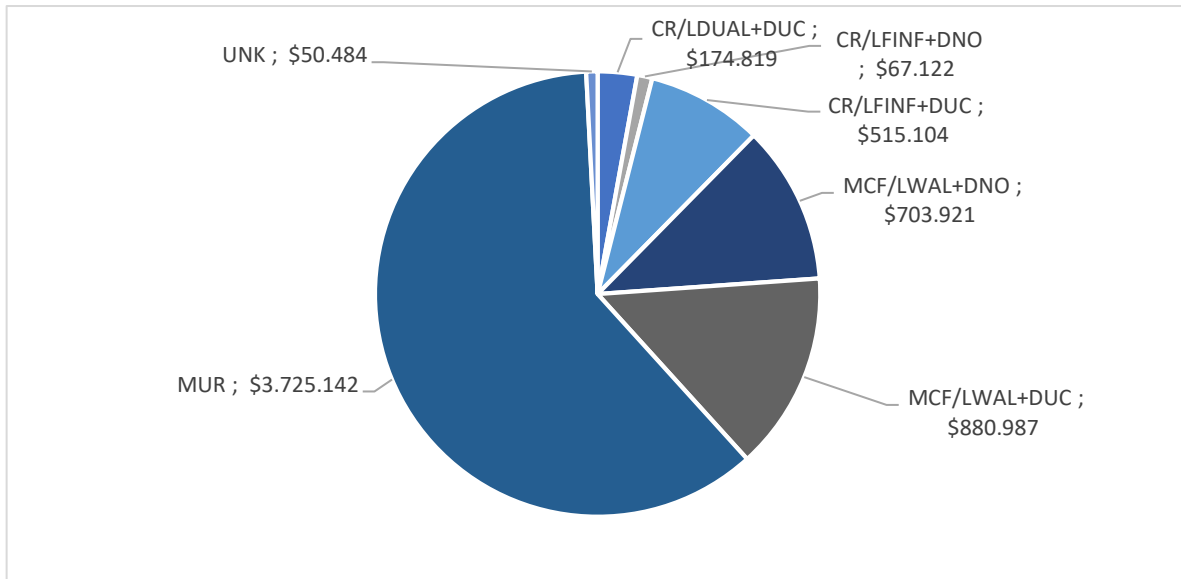


Figura 3.15 Costo de reposición total para cada tipología estructura (En millones de COP)

Fuente: Elaboración propia

La mampostería no reforzada está asociada en la mayoría de los casos a procesos de autoconstrucción generados en estratos 1 y 2. Aunque la mampostería sin refuerzo es el método de construcción más común en la ciudad de estudio, dicha tipología es la más vulnerable y frágil de todas. Para esta investigación es de interés analizar las viviendas, debido a que son el 88% de las construcciones de la ciudad y en su mayoría son construcciones sin características de sismo resistencia. (ver Figura 3.17).

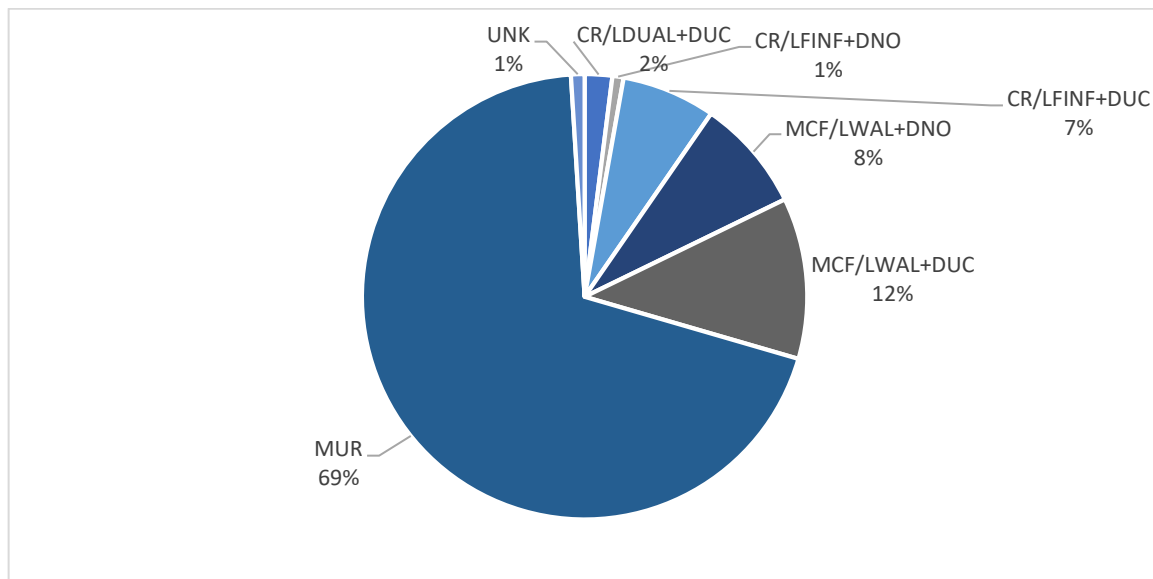


Figura 3.16 Distribución porcentual del área construida de las tipologías estructurales de Barrancabermeja.

Fuente: Elaboración propia

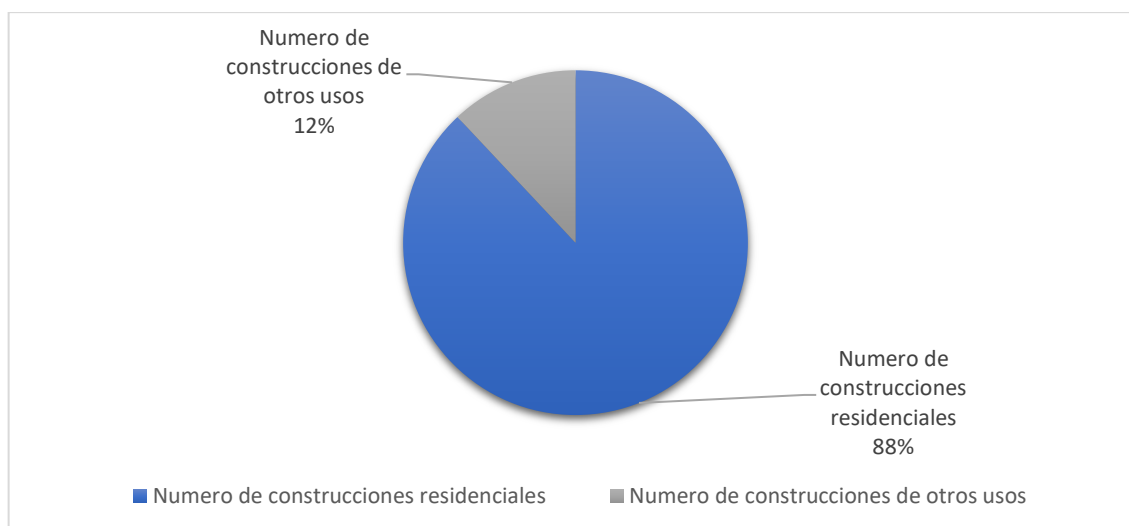


Figura 3.17 Distribución porcentual de construcciones residenciales en Barrancabermeja.
Fuente: Elaboración propia

La Tabla 3.16 muestra el área construida total para cada taxonomía. Se observa que, aunque los pódicos duales (CR/LDUAL+DUC) poseen la menor cantidad de área construida en la ciudad, llegan a tener un costo de reposición mayor que las viviendas de carácter improvisado, las cuales poseen más área construida. Los pódicos duales están asociados a construcciones de más de 10 niveles, en zonas de estrato superior a 3 y que cumplen en su mayoría los requisitos de la norma de sismo resistencia.

Tabla 3.16 Área total construida de cada taxonomía y su respectivo costo de reposición.

Taxonomía	Área construida (m ²)	Costo de reposición (Millones de COP)
CR/LDUAL	158,926	\$174,819
CR/LFINF+DNO	64,484	\$67,122
CR/LFINF+DUC	541,178	\$515,104
MCF/LWAL+DNO	649,496	\$703,921
MCF/LWAL+DUC	930,129	\$880,987
MUR	5,524,057	\$3,725,142
UNK	78,348	\$50,484
TOTAL	7,946,618	\$ 6,117,581

El modelo de exposición arrojó un total de 234.338 habitantes los cuales se distribuyen en un área construida de viviendas total de 7.95 km², siendo La Floresta y las Colinas los sectores más poblados de la ciudad (Ver Figura 3.18). Al calcular la densidad de población por m² se obtiene un total de 0.029 habitantes/m² construido. Comparando la población obtenida con los valores de población dada por el DANE (2005) y proyectados a la fecha de hoy, se obtiene 191.495

habitantes. Según lo indica el libro de estadísticas de la ciudad, (Estadísticas, 2012-2014), para el año 2014 la ciudad poseía 6 km² construidos. Al calcular la densidad población para estos datos estadísticos se obtiene un total de 0.032 habitantes/m² construido.

Al comparar los valores de densidad, tomando el valor de las estadísticas como el teórico, se obtiene una diferencia del 7.8%. La diferencia entre estos valores podría asociarse a las razones:

- El estudio realizado comprende todas las zonas construidas de la ciudad, como se mencionó anteriormente, se usaron ortofotos de alta calidad para la identificación de predios tomadas a final del año 2017, estas incluyen las zonas de invasión no legalizadas las cuales en muchos casos no se registran en las bases de datos de catastro por la situación de informalidad que presentan estas viviendas.
- Como se mencionó en la introducción, la dinámica económica y demográfica ha variado durante los últimos años en función al crecimiento de la compañía Ecopetrol, lo que cuestiona si realmente los parámetros usados para la proyección de la población se han mantenido constantes desde el Censo del 2005.

Tabla 3.17 Resumen de resultados del Modelo de exposición

Resultados General del Modelo	
Área construida (m2)	7,946,618
Cantidad de edificios residenciales	60,294
Cantidad de viviendas	73,028
Población	234,338
Costo de reposición Total (COP)	\$ 6,117,581
Habitante/ m2	0.029
Habitante/ m2 según estadísticas	0.032

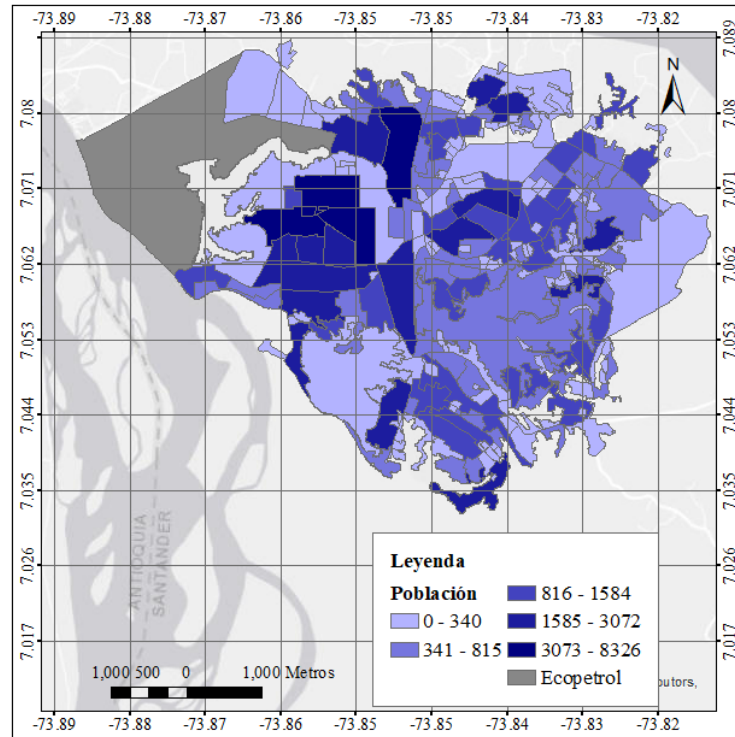


Figura 3.18 Zonificación de la población en los barrios
Fuente: Elaboración propia

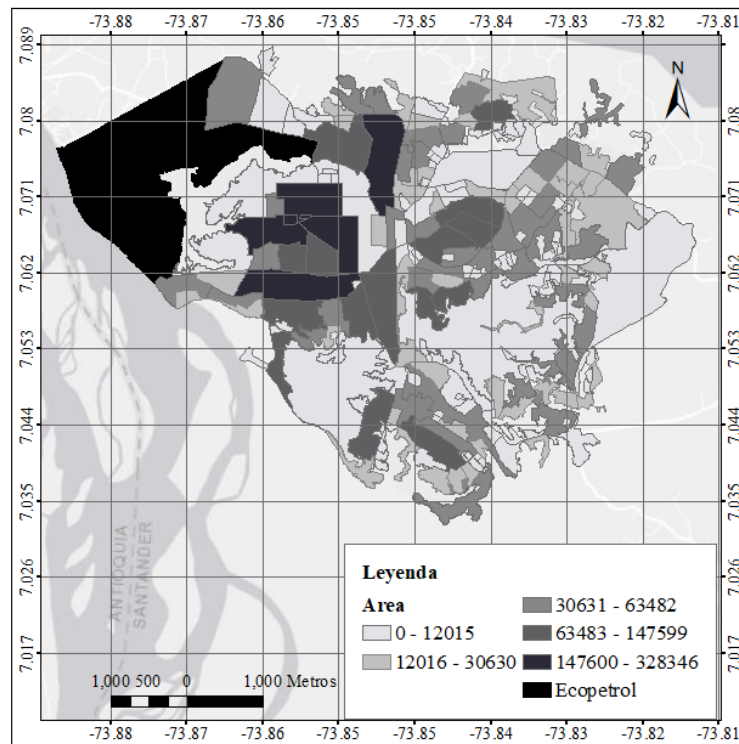


Figura 3.19 Distribución de áreas de vivienda construidas en la ciudad.
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.20 siguiente, se presenta la zonificación de costo de reposición para la ciudad en Millones de COP.

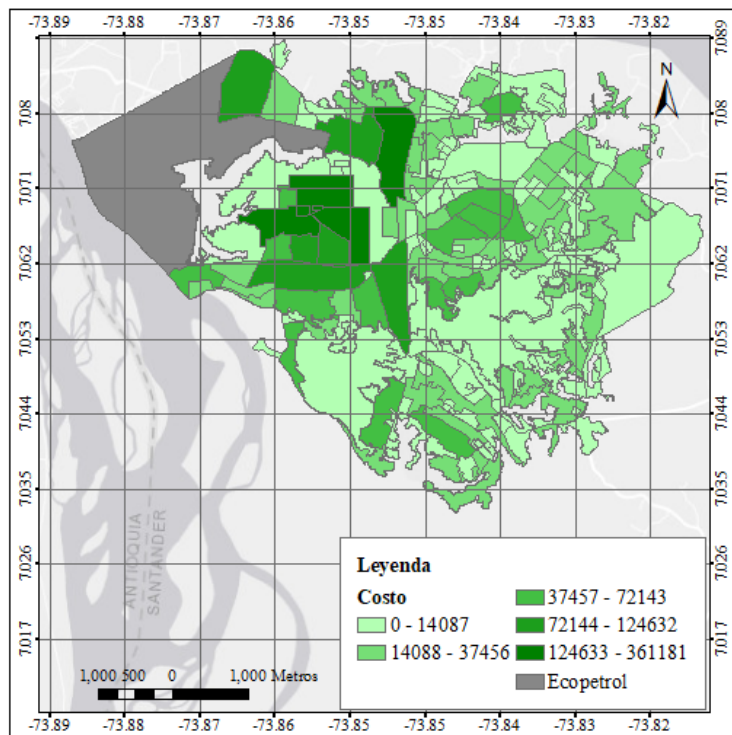


Figura 3.20 Zonificación de los costos de reposición de las viviendas en la ciudad en Millones de COP.
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.18 Modelo de exposición por barrio y Corregimiento.

Longitud	Latitud	Barrio	Estrato	ZH	Población	#Viviendas	#Construcciones	Área construida
-73.824209	7.074592	Danubio	1	E1,2/A1/RES	483	151	143	20541
-73.822368	7.069043	Rafael Rangel	1	E1,2/A1/RES	1099	344	322	32197
-73.834996	7.055598	Vereda la Independencia	1	E1,2/A1/RES	519	163	154	14935
-73.84271	7.065547	1º Mayo	2	E1,2/A1/RES	3378	1057	993	113139
-73.835368	7.077884	12 de Agosto	1	E1,2/A1/RES	219	69	66	3814
-73.82517	7.046328	16 de marzo	1	E1,2/A1/RES	711	223	212	21570
-73.829639	7.07454	20 de agosto	2	E1,2/A1/RES	1746	546	514	55745
-73.854929	7.080842	20 de Enero	3	E3,4/A1/RES	955	299	275	29735
-73.829965	7.070144	20 de julio	2	E1,2/A1/RES	1211	379	355	49858
-73.859385	7.079031	25 de Agosto	3	E3,4/A1/RES	118	37	36	7537
-73.834003	7.082207	Acacios	1	E1,2/A1/RES	333	104	100	8696
-73.829673	7.061224	Asentamiento Altos del Mirador	1	E1,2/A1/RES	244	77	74	5066
-73.861997	7.069495	Aguas Claras	3	E3,4/A2/RES	1620	507	201	53607
-73.827743	7.071792	Alpes	1	E1,2/A1/RES	666	208	198	20190

Longitud	Latitud	Barrio	Estrato	ZH	Población	#Viviendas	#Construcciones	Área construida
-73.844191	7.072491	Alto del Rosario	2	E1,2/A1/RES	365	114	110	6087
-73.844277	7.052577	Altos de Cañaveral	2	E1,2/A1/RES	193	60	58	6163
-73.834026	7.078905	Altos de Israel	1	E1,2/A1/RES	568	178	169	13886
-73.846492	7.069907	Altos de los Angeles	2	E1,2/A1/RES	398	124	120	10412
-73.833198	7.045412	Altos del Campestre	1	E1,2/A1/RES	963	301	280	35544
-73.845279	7.04909	Antonia Santos	1	E1,2/A1/RES	193	60	58	7629
-73.861687	7.050586	Arenales	1	E1,2/A1/RES	2777	869	815	87324
-73.824969	7.048069	Asentamiento 3 de Octubre	1	E1,2/A1/RES	244	77	74	6331
-73.824663	7.049731	Asentamiento 3 de Octubre Etapa II	1	E1,2/A1/RES	265	83	79	5427
-73.823766	7.049239	Asentamiento 9 de Agosto	1	E1,2/A1/RES	963	301	280	16485
-73.821781	7.073854	Asentamiento Brisas de San Martín	1	E1,2/A1/RES	1965	615	579	45291
-73.824243	7.060926	Asentamiento Brisas de villarelys	1	E1,2/A1/RES	160	50	48	2572
-73.823764	7.051743	Asentamiento Brisas del Vivero	1	E1,2/A1/RES	117	37	35	1827
-73.829831	7.048103	Asentamiento Cielos Abiertos	1	E1,2/A1/RES	758	237	225	16629
-73.829483	7.059662	Asentamiento El diamante	1	E1,2/A1/RES	434	136	128	9614
-73.827123	7.069372	Asentamiento Kennedy 2	1	E1,2/A1/RES	140	44	42	2748
-73.831288	7.059653	Asentamiento La esmeralda	1	E1,2/A1/RES	244	77	74	4381
-73.825542	7.061756	Asentamiento La Juventud	1	E1,2/A1/RES	216	68	65	3708
-73.834362	7.043551	Asentamiento las Flores 2	1	E1,2/A1/RES	98	31	29	1720
-73.824431	7.051663	Asentamiento Los acacios	1	E1,2/A1/RES	428	134	126	6509
-73.823497	7.080391	Asentamiento San Martín	1	E1,2/A1/RES	1909	598	563	41585
-73.836743	7.078439	Asentamiento Villa Dios	1	E1,2/A1/RES	193	60	58	3865
-73.831801	7.077118	Asentamiento Villa Luisa I	1	E1,2/A1/RES	111	35	33	3069
-73.833169	7.080024	Asentamiento Villa Luisa II	1	E1,2/A1/RES	183	57	55	4637
-73.830539	7.08056	Asentamiento Villa Luisa III	1	E1,2/A1/RES	114	36	34	3662
-73.830491	7.082837	Asentamiento Villa Luisa IV	1	E1,2/A1/RES	104	33	31	3474
-73.834281	7.051909	Asentamiento Villa Napoles	1	E1,2/A1/RES	147	46	44	3761
-73.835571	7.079145	Asentamiento Yuma	1	E1,2/A1/RES	298	93	89	7139
-73.832573	7.062365	Barracabermeja	2	E1,2/A1/RES	1377	431	403	42622
-73.846085	7.08144	Belen	2	E1,2/A1/RES	698	218	208	28344
-73.84258	7.037307	Bellavista	1	E1,2/A1/RES	900	282	262	32385
-73.82475	7.064926	Bendición de Dios	1	E1,2/A1/RES	2741	858	804	62328
-73.833867	7.070269	Benjamin Herrera	2	E1,2/A1/RES	388	121	117	14979
-73.831497	7.042387	Bonanza	1	E1,2/A1/RES	45	14	14	1699
-73.829944	7.042037	Bosques de la Cira	3	E3,4/A1/RES	723	226	213	15513

Longitud	Latitud	Barrio	Estrato	ZH	Población	#Viviendas	#Construcciones	Área construida
-73.826147	7.07854	Brisas de Acapulco	1	E1,2/A1/RES	259	81	77	5922
-73.839085	7.079713	Brisas de Altamira	1	E1,2/A1/RES	816	256	243	22659
-73.853681	7.079406	Brisas de La Libertad	3	E3,4/A1/RES	655	205	192	18003
-73.837923	7.078133	Brisas de la Paz	1	E1,2/A1/RES	431	135	127	9651
-73.832649	7.06606	Brisas de Versalles	1	E1,2/A1/RES	186	58	56	7918
-73.826017	7.068546	Brisas del Oriente	1	E1,2/A1/RES	352	110	106	8910
-73.864545	7.051426	Brisas del Rio	1	E1,2/A1/INV	684	214	214	11369
-73.838725	7.034746	Buenavista	1	E1,2/A1/RES	2575	806	754	51327
-73.859784	7.056944	Buenos Aires	1	E1,2/A1/MIX	2393	749	703	96979
-73.83886	7.082509	Camino de San Silvestre	1	E1,2/A1/RES	2478	775	731	64852
-73.842261	7.06208	Campo Alegre	2	E1,2/A1/RES	715	224	213	38889
-73.857483	7.080833	Campo Hermoso	2	E1,2/A1/RES	209	66	63	6190
-73.844563	7.060993	Candelaria	1	E1,2/A1/RES	914	286	266	46366
-73.865476	7.058501	Cardales	1	E1,2/A1/RES	910	285	265	38957
-73.848223	7.067844	Carmelias	2	E1,2/A1/OTRO	746	234	120	37672
-73.841709	7.060698	Chapinero	2	E1,2/A1/RES	692	216	206	27345
-73.897864	6.928908	Ciénaga del Opón	1	E1,2/A1/RES	632	189	179	21630
-73.849228	7.039992	Cincuentenario VII Eta.	3	E3,4/A1/RES	361	113	109	7866
-73.827282	7.043963	Colinas del campestre	1	E1,2/A1/RES	140	44	42	4251
-73.842299	7.081313	Colinas del Norte	2	E1,2/A1/RES	460	144	136	13147
-73.845	7.069209	Colinas del Seminario	2	E1,2/A1/OTRO	414	130	72	8178
-73.858687	7.059845	Colombia	2	E1,2/A1/MIX	4209	1317	1234	208551
-73.848116	7.043404	Conjunto Cerrado Refugio	3	AT1	197	62	52	7521
-73.828177	7.070086	Corinto	1	E1,2/A1/RES	193	60	58	5331
-73.827649	7.070307	Corinto II	1	E1,2/A1/RES	143	45	43	2884
-73.842798	7.075245	Cortijillo	3	E3,4/A1/RES	229	72	70	8534
-73.849599	7.042608	Costelación 2000	2	E1,2/A1/RES	134	42	40	3024
-73.852467	7.08172	Coviba	2	E1,2/A1/RES	1521	476	446	50116
-73.844018	7.073424	Cristo Rey	2	E1,2/A1/RES	704	220	210	17608
-73.849448	7.06663	Cuidad Bolivar	3	E3,4/A2/MIX	782	245	119	32720
-73.836989	7.085221	Cuidad de Dios	1	E1,2/A1/RES	131	41	39	4823
-73.851901	7.046039	Cuidadela cincuentenario	2	E1,2/A1/RES	232	73	70	10545
-73.844706	7.075543	CuidadelaPipaton	2	E1,2/A1/RES	1448	453	425	41675
-73.843193	7.074724	CuidadelaPipaton IV Eta	2	E1,2/A1/RES	213	67	64	4614
-73.828144	7.052578	Divino Niño	1	E1,2/A1/RES	111	35	33	2824
-73.838233	7.066902	El Alcazar	2	E1,2/A1/RES	1762	551	519	94938
-73.837306	7.039253	El Bosque	2	E1,2/A1/RES	49	15	15	2498
-73.827134	7.076114	El Boston	2	E1,2/A1/RES	1792	561	527	38721

Longitud	Latitud	Barrio	Estrato	ZH	Población	#Viviendas	#Construcciones	Área construida
-73.828479	7.044312	El Campestre	2	E1,2/A1/RES	1396	437	409	62785
-73.827265	7.051018	El Campin	2	E1,2/A1/RES	1583	495	465	48880
-73.843162	7.041416	El castillo	2	E1,2/A1/RES	1956	612	576	90006
-73.784748	6.966061	El Centro	1	E1,2/A1/RES	15466	4669	4385	527719
-73.837314	7.060537	El Chico	1	E1,2/A1/RES	784	245	233	37878
-73.850507	7.04433	El Cincuentenario	2	E1,2/A1/RES	3293	1031	968	94361
-73.864576	7.057064	El Dorado	1	E1,2/A1/RES	1050	329	307	35057
-73.851424	7.037753	El Limonar	3	E3,4/A1/RES	779	244	230	17368
-73.838896	7.157931	El Llanito	1	E1,2/A1/RES	5435	1638	1540	185339
-73.849152	7.041161	El Madrigal	3	E3,4/A1/RES	180	56	55	4187
-73.841482	7.045562	El Palmar	1	E1,2/A1/RES	1373	430	402	36736
-73.835591	7.047431	El Paraiso	2	E1,2/A1/RES	1318	413	385	29825
-73.82725	7.061497	El Poblado	1	E1,2/A1/RES	813	255	242	17528
-73.838146	7.062477	El Porvenir	2	E1,2/A1/RES	22	7	7	1026
-73.828944	7.064342	El Progreso I	1	E1,2/A1/RES	32	10	10	961
-73.829792	7.06527	El Progreso II	1	E1,2/A1/RES	1544	483	453	46357
-73.851926	7.056995	El Recreo	2	E1,2/A1/RES	2177	681	641	116724
-73.847702	7.044605	El Refugio	2	E1,2/A1/RES	565	177	168	17024
-73.82604	7.041752	El Reten	2	E1,2/A1/RES	101	32	30	5077
-73.866856	7.082887	El Rosario	6	E5,6/A1/RES	434	136	133	57771
-73.838041	7.061636	El Triunfo	2	E1,2/A1/RES	477	149	141	12037
-73.81789	7.077919	Expasión Baja San Martin	1	E1,2/A1/RES	193	60	58	5313
-73.841209	7.070687	Feria	1	E1,2/A1/RES	174	54	52	6896
-73.84688	7.064221	Ferrovias	2	E1,2/A1/OTRO	6	2	2	334
-73.842124	7.073588	Fertilizantes	1	E1,2/A1/RES	151	47	45	10093
-73.846148	7.071205	Gaitan	2	E1,2/A1/RES	963	301	280	36129
-73.853985	7.066202	GalanGomez	3	E3,4/A2/RES	7695	2408	924	339276
-73.83379	7.05354	Humedal el Castillo	1	E1,2/A1/RES	2011	629	593	47405
-73.854915	7.056935	Inscredial	2	E1,2/A1/RES	970	303	282	55265
-73.845475	7.072932	Internacional	2	E1,2/A1/RES	727	228	217	17139
-73.836316	7.0803905	Inv. 22 de Marzo	2	E1,2/A1/RES	3172	993	931	83622
-73.8574	7.079613	Inv. La Granvia	2	E1,2/A1/RES	307	96	92	6769
-73.841412	7.07606	Inv. La virgen	1	E1,2/A1/RES	330	103	99	9941
-73.849086	7.043361	Invasión Los Nogales	1	E1,2/A1/RES	186	58	56	3892
-73.848987	7.042438	Invasión Nuevo Milenio	1	E1,2/A1/RES	82	26	24	1842
-73.826233	7.062931	Invasión Pozo 7	1	E1,2/A1/RES	388	121	117	7341
-73.854391	7.052242	Isla del Zapato	2	E1,2/A1/RES	644	201	191	14122
-73.839491	7.039825	Jaime Garzón	2	E1,2/A1/RES	55	17	17	2543
-73.844437	7.079527	Jerusalen	1	E1,2/A1/RES	746	234	223	18312



Longitud	Latitud	Barrio	Estrato	ZH	Población	#Viviendas	#Construcciones	Área construida
-73.838202	7.03908	José Antonio Galán	3	E3,4/A1/RES	173	54	53	9261
-73.826371	7.065031	Kennedy	1	E1,2/A1/RES	1031	323	301	26882
-73.872317	7.058922	La Campana	2	E1,2/A1/RES	565	177	168	33395
-73.83783	7.069455	La Esperanza	2	E1,2/A1/RES	3290	1030	967	120001
-73.848729	7.076078	La Floresta	3	E3,4/A2/RES	11258	3523	1421	383579
-73.689719	7.072456	La Fortuna	1	E1,2/A1/RES	3616	1090	1024	123343
-73.845067	7.063828	La Independencia	2	E1,2/A1/RES	320	100	96	8662
-73.853578	7.076451	La Libertad	2	E1,2/A1/RES	2738	857	803	135949
-73.840357	7.037391	La Liga	1	E1,2/A1/RES	506	158	150	19086
-73.840756	7.078235	La Paz	2	E1,2/A1/RES	1306	409	381	39133
-73.839342	7.077392	La Paz II Eta.	1	E1,2/A1/RES	301	94	90	7521
-73.845782	7.040932	La Peninsula	1	E1,2/A1/RES	477	149	141	18956
-73.860858	7.055337	La Playa	1	E1,2/A1/RES	437	137	129	9841
-73.828094	7.064397	La Playita	1	E1,2/A1/RES	154	48	46	3289
-73.838927	7.040033	La Toca	2	E1,2/A1/RES	89	28	26	2159
-73.847121	7.066426	La Tora	2	E1,2/A1/OTRO	860	269	137	19836
-73.856964	7.054151	La Victoria	1	E1,2/A1/RES	1668	522	490	46135
-73.841773	7.079618	La Virgen	1	E1,2/A1/RES	89	28	26	3649
-73.837581	7.041196	Lagos II	2	E1,2/A1/RES	584	183	174	15876
-73.844401	7.066791	Las Americas	2	E1,2/A1/RES	1651	517	485	60801
-73.847138	7.049462	Las Brisas	2	E1,2/A1/RES	291	91	87	11031
-73.861992	7.06646	Las Colinas	3	E3,4/A2/RES	8130	2544	1013	254331
-73.843915	7.039504	Las Colmenas	1	E1,2/A1/RES	311	97	93	13935
-73.833304	7.041883	Las Flores	1	E1,2/A1/RES	272	85	81	8579
-73.832317	7.068001	Las Granjas	2	E1,2/A1/MIX	1395	436	407	59606
-73.831701	7.07281	Las Granjas II	2	E1,2/A1/MIX	513	161	152	33519
-73.854969	7.055017	Las Margaritas	1	E1,2/A1/RES	391	122	118	15362
-73.838796	7.038092	Las Nieves	3	E3,4/A1/RES	352	110	106	17286
-73.836591	7.044819	Las Palmas	1	E1,2/A1/RES	213	67	64	5911
-73.834305	7.06059	Las Torres	1	E1,2/A1/RES	320	100	96	9516
-73.831651	7.07055	Los Alamos	2	E1,2/A1/MIX	275	86	81	11240
-73.836024	7.042489	Los Almendros	3	E3,4/A1/RES	267	84	82	5433
-73.818055	7.068933	Los comuneros	2	E1,2/A1/VIS	197	62	61	5579
-73.832418	7.050036	Los Corales	3	E3,4/A1/RES	460	144	139	8034
-73.829681	7.04398	Los fundadores	1	E1,2/A1/RES	22	7	7	727
-73.837919	7.039904	Los Lagos	2	E1,2/A1/RES	92	29	27	3345
-73.842402	7.044948	Los Mandarinos	2	E1,2/A1/RES	140	44	42	3698
-73.840431	7.043234	Los Naranjos	2	E1,2/A1/RES	595	186	176	16980
-73.845693	7.045425	Los Pinos	2	E1,2/A1/RES	1256	393	369	57866
-73.845614	7.063478	Malvinas	2	E1,2/A1/RES	323	101	97	10800

Longitud	Latitud	Barrio	Estrato	ZH	Población	#Viviendas	#Construcciones	Área construida
-73.835146	7.078375	Mano de Dios	1	E1,2/A1/RES	304	95	91	5896
-73.828452	7.065926	Manzanares	1	E1,2/A1/RES	216	68	65	5821
-73.828813	7.050154	Maria Eugenia	2	E1,2/A1/RES	1505	471	441	48609
-73.8435	7.07586	MaríaIrida	3	E3,4/A1/RES	189	59	58	5100
-73.848687	7.051792	Marsella	2	E1,2/A1/RES	219	69	66	5798
-73.641885	7.174816	Meseta de San Rafael	1	E1,2/A1/RES	633	189	179	21664
-73.832517	7.047815	Minas del Paraiso	1	E1,2/A1/RES	1463	458	428	41617
-73.840566	7.059197	Miraflores	1	E1,2/A1/RES	1508	472	442	85451
-73.842271	7.076184	Novalito	2	E1,2/A1/RES	330	103	99	9378
-73.8368	7.071147	Nueva Esperanza	2	E1,2/A1/RES	1243	389	365	33095
-73.825061	7.05485	Nueve de abril	1	E1,2/A1/RES	1880	588	554	60144
-73.827424	7.056488	Nuevo Horizonte	1	E1,2/A1/RES	333	104	100	9196
-73.862893	7.063565	Olaya Herrera	3	E3,4/A2/MIX	2741	858	345	73822
-73.830255	7.06282	Oro Negro	1	E1,2/A1/RES	216	68	65	4546
-73.830318	7.064907	Oro Negro Etapa 2	1	E1,2/A1/RES	545	171	162	9504
-73.829438	7.063683	Oro Negro Etapa 3	1	E1,2/A1/RES	428	134	126	10061
-73.823512	7.062348	Pablo Acuña	1	E1,2/A1/RES	970	303	282	27695
-73.849108	7.058909	Palmira	2	E1,2/A1/RES	3541	1108	1042	172263
-73.857338	7.070236	Parnaso	3	E3,4/A2/RES	7540	2360	896	241257
-73.841413	7.042345	Planada del Cerro	2	E1,2/A1/RES	1978	619	583	37118
-73.827191	7.046856	Prados del campestre	1	E1,2/A1/RES	477	149	141	17358
-73.849185	7.038857	Prados del Cincuentenario	3	E3,4/A1/RES	173	54	53	4073
-73.83189	7.082467	Proteccion Ambiental	1	E1,2/A1/RES	385	120	116	16183
-73.837063	7.063559	Provivienda	2	E1,2/A1/RES	1178	369	345	46995
-73.824365	7.072569	Puerta del sol	1	E1,2/A1/RES	522	164	155	15488
-73.840478	7.072011	Ramaral	2	E1,2/A1/RES	314	98	94	7569
-73.822766	7.064698	Renacer	1	E1,2/A1/RES	163	51	49	3169
-73.86178	7.054922	San Francisco	1	E1,2/A1/RES	244	77	74	7986
-73.834717	7.062892	San Jose Obrero	1	E1,2/A1/RES	532	167	158	11690
-73.835479	7.062794	San Jose Obrero II	1	E1,2/A1/RES	95	30	28	4042
-73.846383	7.074614	San Judas	2	E1,2/A1/RES	1005	315	293	44834
-73.817146	7.075172	San Martin	1	E1,2/A1/RES	98	31	29	2921
-73.826641	7.073506	San Pedro	1	E1,2/A1/RES	701	219	209	29132
-73.842691	7.069812	San Pedro Claver	2	E1,2/A1/RES	740	232	221	18135
-73.98392	6.902053	San Rafael de Chucuri	1	E1,2/A1/RES	1114	337	315	37942
-73.845941	7.051954	Santa Barbara	1	E1,2/A1/RES	647	202	192	24175
-73.849776	7.081845	Santa Isabel	2	E1,2/A1/RES	914	286	266	43597
-73.846546	7.06236	Santana	2	E1,2/A1/RES	669	209	199	34096
-73.839678	7.063746	Santander	2	E1,2/A1/RES	1086	340	318	47938

Longitud	Latitud	Barrio	Estrato	ZH	Población	#Viviendas	#Construcciones	Área construida
-73.872431	7.060352	Sector Comercial	3	E3,4/A2/MIX	1642	514	214	57082
-73.844035	7.057708	SimonBolivar	1	E1,2/A1/RES	1227	384	360	80303
-73.839217	7.045824	Tamarindos	3	E3,4/A1/RES	189	59	58	5489
-73.833544	7.063473	Tierra Adentro	2	E1,2/A1/RES	281	88	84	5658
-73.834062	7.063131	Tierra Adentro II	2	E1,2/A1/RES	213	67	64	4751
-73.85617	7.063288	Torcoroma	3	E3,4/A2/MIX	3791	1186	492	121298
-73.846934	7.057932	Tres Unidos	2	E1,2/A1/RES	496	155	147	19200
-73.867738	7.060642	Urb. Cincuentenario	3	E3,4/A2/MIX	336	105	52	28356
-73.852232	7.060396	Urb. La Magdalena	3	E3,4/A1/RES	137	43	42	4727
-73.841412	7.063558	Urb. Los Lagos	2	E1,2/A1/RES	288	90	86	6576
-73.8314	7.04969	Urb. Minas del paraíso	3	E3,4/A1/RES	771	241	228	13244
-73.837158	7.061893	Urb. Santa Lucia	1	E1,2/A1/RES	85	27	25	4492
-73.83528	7.06401	Urbanización Los Rosales	2	E1,2/A1/RES	213	67	64	7979
-73.859639	7.063385	Uribe Uribe	3	E3,4/A2/MIX	3089	967	392	91916
-73.834593	7.065945	Versalles	2	E1,2/A1/RES	1208	378	354	69240
-73.826446	7.062414	Villa Aura	1	E1,2/A1/RES	183	57	55	4734
-73.841	7.047913	Villa de Leyva	2	E1,2/A1/RES	640	200	190	12672
-73.832423	7.071091	Villa Fadua	2	E1,2/A1/MIX	230	72	69	11681
-73.855914	7.072835	Villa Luz I	4	E3,4/A1/RES	26	8	8	1188
-73.855312	7.073718	Villa Luz II	4	E3,4/A1/RES	153	48	47	5094
-73.832746	7.078879	Villa Mary	1	E1,2/A1/RES	444	139	131	10375
-73.844048	7.077866	Villa Nueva	2	E1,2/A1/RES	1445	452	424	39919
-73.837936	7.036174	Villa Olimpica	2	E1,2/A1/RES	49	15	15	1545
-73.828141	7.061202	Villa Plata	1	E1,2/A1/RES	189	59	57	4438
-73.834227	7.04023	Villa Rosa	2	E1,2/A1/RES	238	75	72	6651
-73.839038	7.061898	Villa Rosita	2	E1,2/A1/RES	323	101	97	10139
-73.842769	7.044446	Villa Sandra	2	E1,2/A1/RES	140	44	42	3304
-73.82557	7.060784	Villarelys I	1	E1,2/A1/RES	503	157	149	13577
-73.826301	7.059878	Villarelys II	1	E1,2/A1/RES	2700	845	791	70537
-73.82446	7.058369	VillarelysIII	1	E1,2/A1/RES	711	223	212	17855
-73.828641	7.064855	Villas del Coral	1	E1,2/A1/RES	209	66	63	5308
-73.86233	7.080862	Yariguies	5	E5,6/A1/RES	153	48	47	11935
-73.842952	7.050019	Yarima	2	E1,2/A1/RES	571	179	170	19716
-73.839005	7.048439	Yarima II	1	E1,2/A1/RES	339	106	102	13416
-73.843607	7.080876	Zona Institucional	2	E1,2/A1/RES	183	57	55	4860

4. CURVAS DE FRAGILIDAD

4.1. FRAGILIDAD DE ESTRUCTURAS

Las curvas de fragilidad son una herramienta estadística que representan la probabilidad de excedencia de un estado de daño en función de un parámetro de demanda o intensidad que representa el movimiento de terreno, en algunos casos se expresa en PGA (Aceleración pico efectiva del suelo o “PeakGroundAcceleration”) en otros casos de usa la aceleración espectral para periodos de vibración de 0.3, 0.4 y 1 segundo ($Sa(0.3)$, $Sa(0.4)$ y $Sa(1.0)$)

La Figura 4.1 muestra la curva de fragilidad para casas de mampostería de un piso, las cuales representan más del 60% de las construcciones en Barrancabermeja.

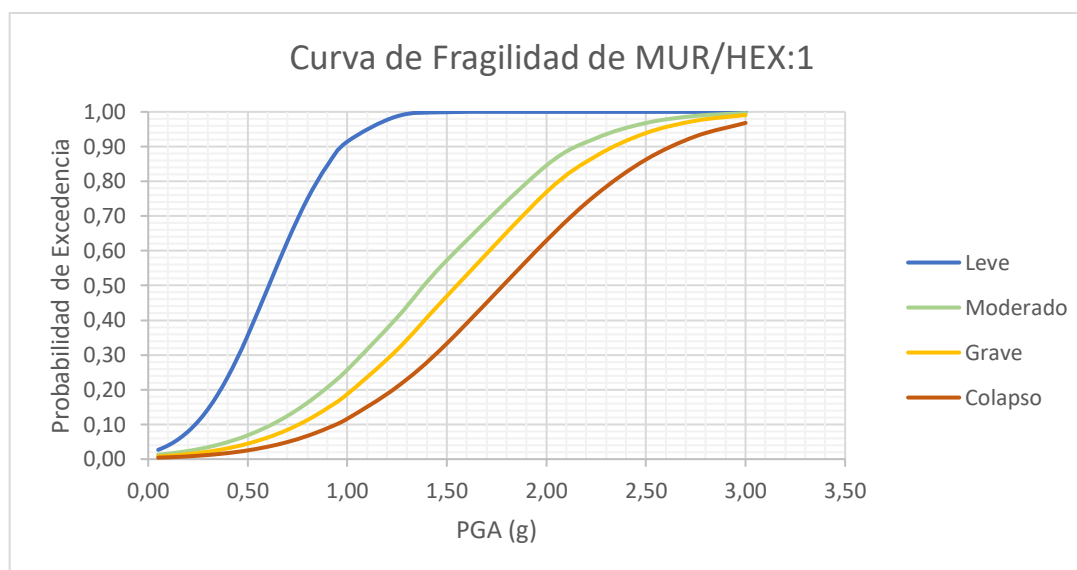


Figura 4.1 Curva de fragilidad para casas de mampostería no reforzada de 1 nivel. (Acevedo et al, 2017)

Tabla 4.1 Referencia de autores de las curvas de fragilidad usadas para cada taxonomía.

REFERENCIA DE AUTOR	TAXONOMIA	NUMERO DE PISOS
Villar-Vega (2014)	UNK	1 piso
Villar-Vega (2014)	MCF/LWAL/DUC	1 a 3 pisos
Villar-Vega (2014)	MCF/LWAL/DNO	1 a 3 pisos
Acevedo et al (2017)	MUR/LWAL/DNO	1 a 6 pisos
Villar-Vega (2014)	MR/LWAL/DUC	1 a 6 pisos
Villar-Vega (2014)	E99	1 piso
Villar-Vega (2014)	E99	1 piso
HAZUS C2L - High code	CR/LWAL/DUC/HBET:1,3	1 a 3 pisos
*HAZUS C2H - High code	CR/LWAL/DUC/HBET:8,19	8 a 19 pisos
Villar-Vega (2014)	UNK	1 piso

REFERENCIA DE AUTOR	TAXONOMIA	NUMERO DE PISOS
Villar-Vega (2014)	CR/LFINF/DUC	1 a 3 pisos
*HAZUS C2H - High code	CR/LFINF/DUC	8 a 19 pisos
Villar-Vega (2014)	CR/LFINF/DNO	1 a 7 pisos
*HAZUS C2H - High code	CR/LDUAL/DUC	8 a 19 pisos

*Las curvas de HAZUS C2H-High Code fueron usadas para edificios de muros de concreto, pórticos y sistemas duales de 8 a 19 pisos

Fuente: Para mayor información sobre las curvas de fragilidad consultar la base de datos de OpenQuake: <https://platform.openquake.org/>

5. CURVAS DE VULNERABILIDAD FÍSICA

5.1. VULNERABILIDAD DE ESTRUCTURAS

Las curvas de fragilidad indican el estado de daños de las edificaciones mientras que las curvas de vulnerabilidad indican la relación de pérdidas asociadas a cada nivel de daño. La Tabla 5.1 muestra el modelo de pérdidas económicas usados para la evaluación de la vulnerabilidad. Se muestra que por ejemplo para un nivel de daño leve, hay una pérdida del 5% del costo total de reposición del edificio mientras que para el colapso la pérdida es del 100%.

Tabla 5.1 Modelo de pérdidas económicas

Relación de pérdidas	
Leve	5%
Moderado	20%
Grave	60%
Colapso	100%

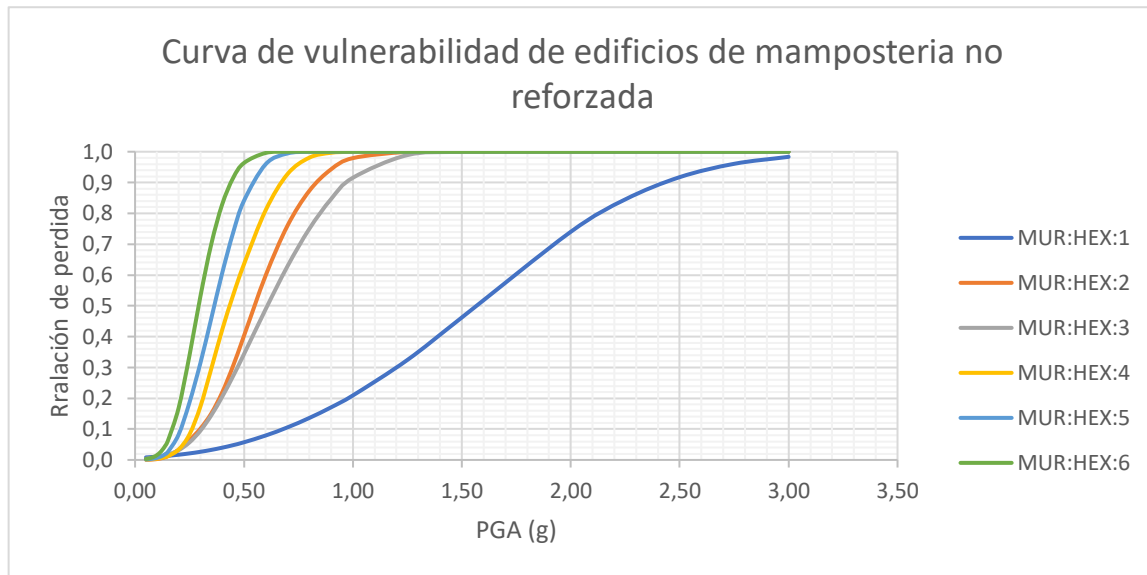


Figura 5.1 Curvas de vulnerabilidad para construcciones de mampostería no reforzada de 1 a 6 pisos. Acevedo et al (2017)

6. EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO

6.1. ANALISIS ESTOCÁSTICO DE EVENTOS

Un análisis estocástico es una simulación que indaga la evolución de variables que pueden cambiar estocásticamente (al azar) con ciertas probabilidades de ocurrencia. Con un modelo estocástico se generan rupturas en las fallas de manera aleatoria, teniendo en cuenta la probabilidad de ocurrencia de cada fuente sismogénica. Los resultados se graban y la proyección se repite con un nuevo conjunto de valores aleatorios. Estos pasos se repiten hasta que se reúna una cantidad suficiente de datos. Al final, la distribución de los resultados muestra las estimaciones más probables, así como un rango de valores en donde es más o menos probable que se presenten rupturas y pérdidas con un valor en específico. Para el estudio se generaron 250.000 rupturas en fallas a 300 kilómetros a la redonda de la ciudad de estudio.

La probabilidad de pérdidas se puede expresar en términos de curvas de probabilidad de excedencia. El promedio de esta distribución se denomina pérdida promedio anual (AAL), o pérdida esperada por año, resultado del promedio de pérdidas considerando la frecuencia de ocurrencia de cada evento. El AAL es útil para conocer cuál es el valor por el que una propiedad o grupo de bienes deberían asegurarse anualmente para alcanzar las pérdidas económicas que puedan generar los terremotos durante varios años.

Las diferentes curvas observadas en la Figura 6.1 corresponden a las combinaciones entre ecuaciones de atenuación asociadas a cada región tectónica. Se observa que para periodos de

retorno inferiores a 100 años las curvas poseen valores similares, entre los periodos de retorno de 100 y 2000 años las curvas se dividen en dos ramas (asociadas a las dos ecuaciones de atenuación de subducción Intraplaca). Para periodos de retorno mayores a 2000 años los datos obtenidos en el análisis son insuficientes para generar una estabilidad numérica por lo que los datos comienzan a ser muy dispersos.

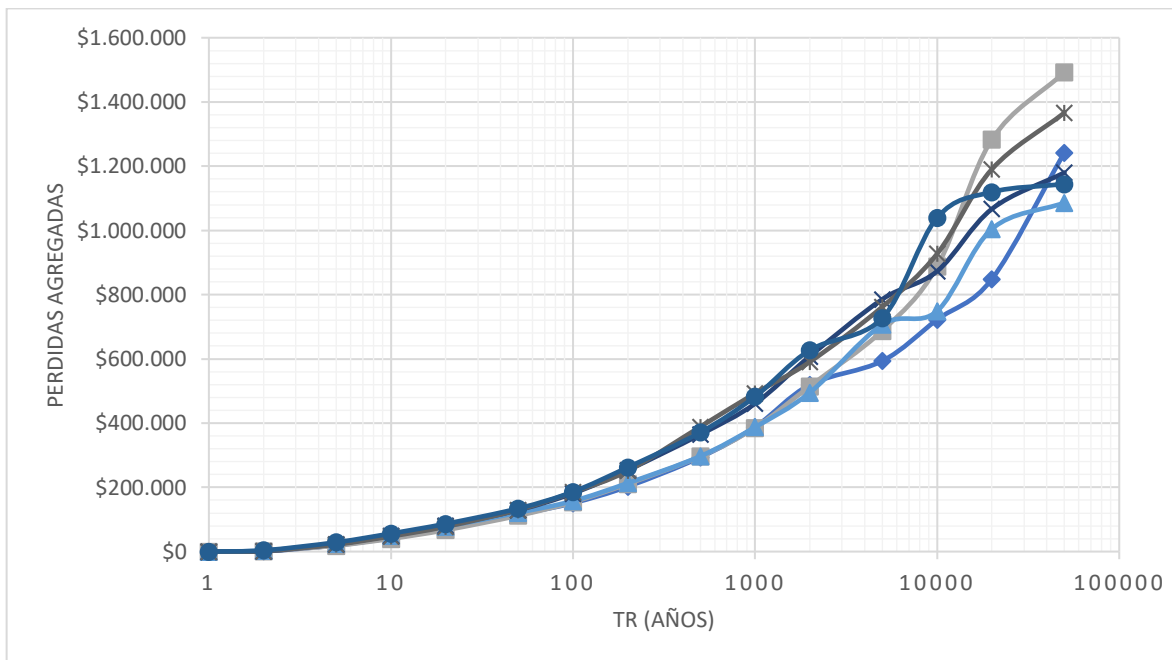


Figura 6.1 Curva de probabilidad de excedencia de pérdidas.

El valor promedio de pérdidas anuales (AAL) obtenido para la ciudad de estudio es de 21.549 millones de pesos referente a costos para reponer viviendas afectadas en la ciudad. Este valor no incluye aquellos costos relacionados en la atención de desastres, daños en comercios, instituciones gubernamentales, centros educativos, hospitales, daños a la infraestructura ni flujos cesantes de empresas y comercios debidas a la interrupción de la producción.

6.2. ESCENARIOS SÍSMICOS

6.2.1. SELECCIÓN DE ESCENARIOS SÍSMICOS.

“Una respuesta rápida, eficiente y efectiva ante la ocurrencia de un evento catastrófico tendrá una gran incidencia en la disminución del impacto social del evento en temas como el número de rescates, la pronta atención de heridos, la pronta recuperación de las comunicaciones y de los servicios, y en general en el impacto del evento sobre la población y la funcionalidad.” (Yamin. L. E et al,2013)

Si bien el análisis estocástico incluye una amplia cantidad de eventos sísmicos que anualmente generan un conjunto de pérdidas económicas, es conveniente analizar escenarios en específico para

conocer en detalles cuales son los daños y pérdidas que podría generar un solo evento en particular. Al analizar cada escenario, se dan parámetros para orientar la repuesta de las entidades gubernamentales de atención de desastres, permite el desarrollo de planes de atención de emergencia, dando prioridad a las zonas que se determinen como las más vulnerables.

En este informe se presentará para cada escenario el promedio de pérdidas económicas obtenido y se considerará la desviación estándar. Cada ecuación de atenuación posee una desviación estándar que describe la variación en los resultados del movimiento fuerte del terreno. La variación de intensidad a su vez genera variación en los resultados del riesgo sísmico.

La Figura.6.2 y Figura 6.3 ilustran los rangos de incertidumbres que existen en las pérdidas económicas. Nótese que, para un mismo periodo de retorno de 1000 años, las pérdidas económicas pueden variar entre 400.000 y 500.000 millones de pesos, de manera similar, las pérdidas económicas de 400.000 millones de pesos pueden asociarse a periodos de retorno entre 600 y 1000 años.

Las razones mencionadas en los párrafos anteriores demuestran finalmente que un evento sísmico en específico puede estar asociado a diferentes periodos de retorno de pérdidas. Se escogieron entonces 12 eventos sísmicos cuyas pérdidas varían entre periodos de retorno de 1 a 600 años, de este modo se podrá observar como varia las pérdidas según la localización de los epicentros, la magnitud y región tectónica.

Para determinar cuál región tectónica escoger, se calculó la influencia en las pérdidas de cada fuente sismogénica para periodos de retorno entre 10 y 600 años. Se encontró que la Subducción Intraplaca influye en más del 70% en las pérdidas generadas en la ciudad de estudio. En vista de esto, se escogieron 8 sismos de Subducción Intraplaca y 4 de corteza superficial. Los escenarios se describen en la Tabla 6.1.

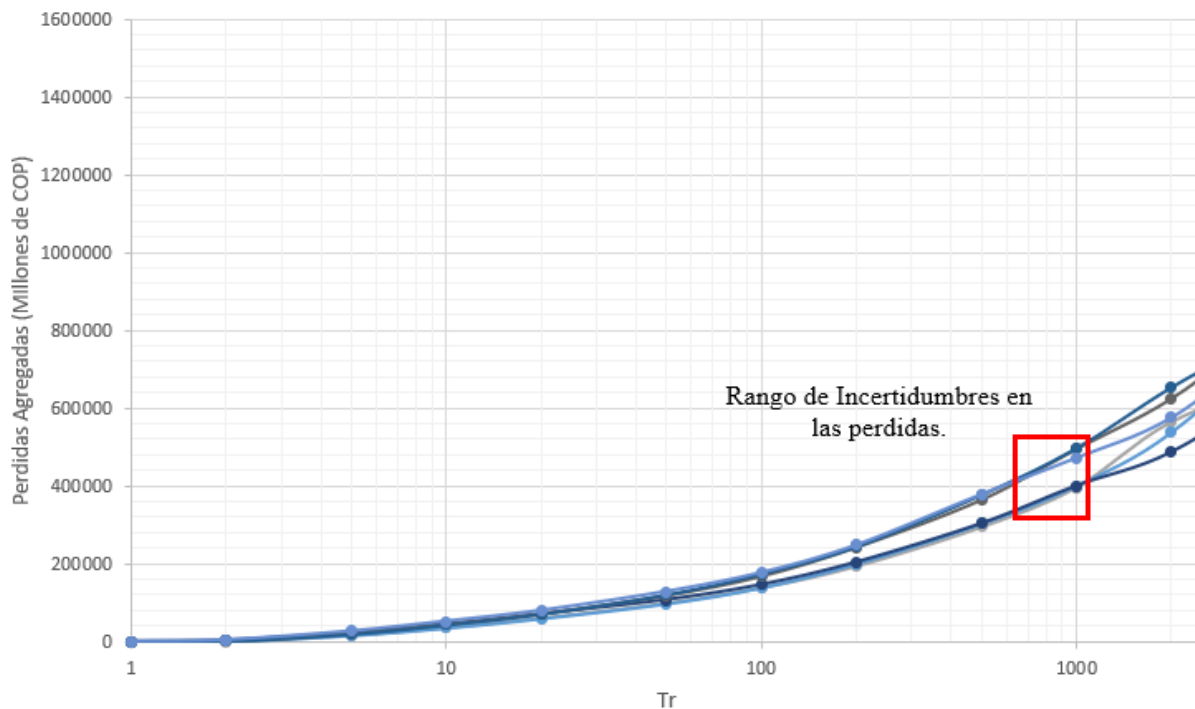


Figura.6.2 Curva de probabilidad de excedencia de perdidas: Rango de Incertidumbres.

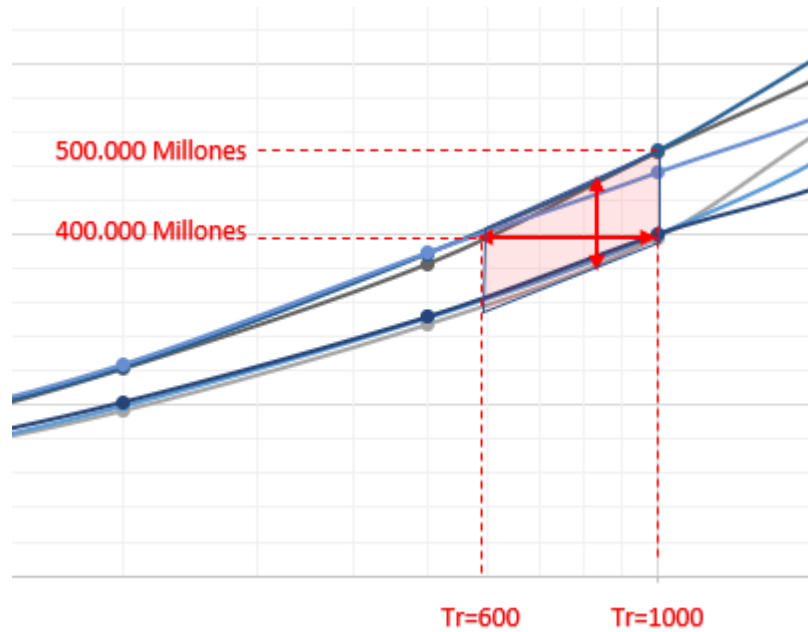


Figura 6.3 Incertidumbre de perdidas económicas.

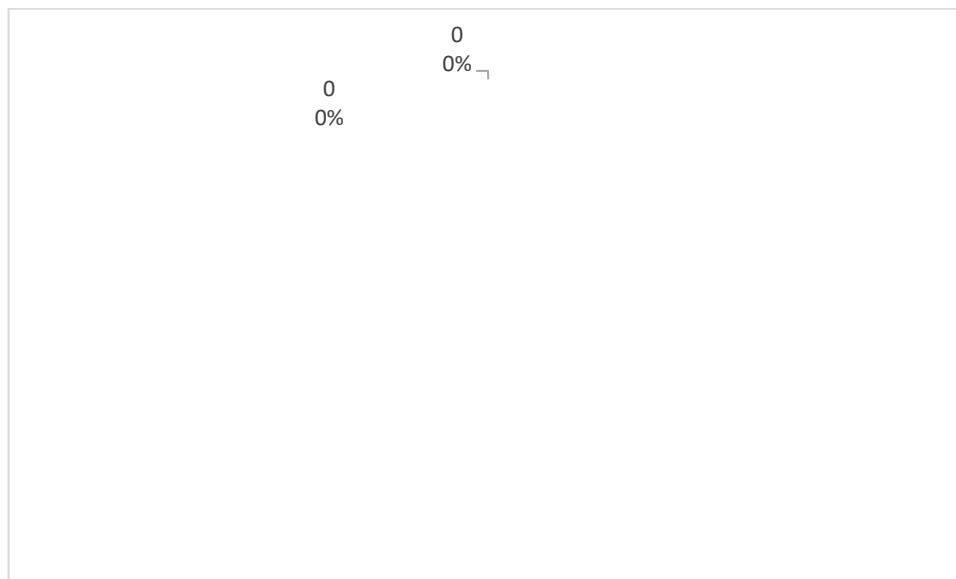


Figura 6.4 Influencia de cada región tectónica

Tabla 6.1 Escenarios de sismos

Ruptura	Región tectónica:	Mag(Mw)	Strike (rumbo)	Dip (buzamiento)	Rake	Lat	Long	Profundidad (KM)	Código de Ruptura
E1	Subducción Intraplaca	7.10	10	48	90	6.9529	-73.4838	115	124857
E2	Corteza	5.75	0	45	45	7.0689	-73.5229	5	436694

Ruptura	Región tectónica:	Mag(Mw)	Strike (rumbo)	Dip (buzamiento)	Rake	Lat	Long	Profundidad (KM)	Código de Ruptura
	superficial								
E3	Corteza superficial	5.25	90	45	90	6.9693	-73.7520	15	389094
E4	Corteza superficial	4.75	90	45	90	7.0600	-73.8000	5	388679
E5	Subducción Intraplaca	7.10	355	48	90	7.3192	-73.7460	107	119331
E6	Subducción Intraplaca	7.10	6	58	90	6.1419	-73.9044	104	87435
E7	Subducción Intraplaca	7.20	14	22	90	8.3763	-74.4152	59	25554
E8	Subducción Intraplaca	7.20	56	45	90	6.5862	-73.4060	128	130330
E9	Subducción Intraplaca	6.90	46	46	90	6.7104	-73.3890	125	128509
E10	Subducción Intraplaca	7.10	33	40	90	6.7865	-73.1604	130	130419
E11	Corteza superficial	6.75	90	90	180	7.0689	-73.4323	5	439199
E12	Subducción Intraplaca	7.10	353	48	90	7.3989	-73.8317	83	185355

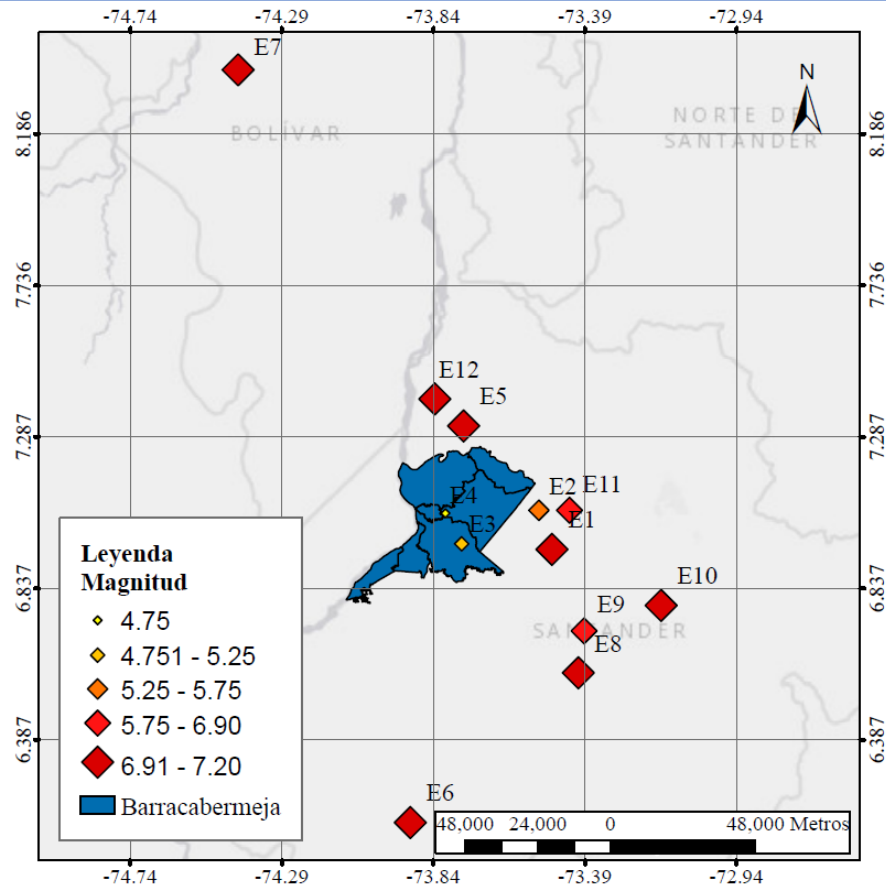


Figura 6.5 Ubicación de epicentros de escenarios

Fuente: Elaboración propia

6.2.1. RESULTADOS DE EVENTO #12. SUBDUCCIÓN INTRAPLACA

Por razones de simplicidad, únicamente se expone los resultados del evento #12. Los resultados de los demás escenarios se encuentran en los anexos. En la Tabla 6.2 se indican las características de la ruptura.

Tabla 6.2 Característica de la ruptura. E12

Ruptura E12	
Región tectónica;	Subducción Intraplaca
Magnitud (Mw):	7.1
Strike (rumbo):	353
Dip (buzamiento):	48
Rake:	90
Latitud:	7.3989
Longitud:	-73.8317
Profundidad (KM):	83

La Figura 6.6 muestra los campos de movimiento del terreno, donde se observa que en general la ciudad presenta una aceleración entre 0.2, y 0.7g; en algunas zonas se eleva a los 2.8g. Se aclara que estos valores corresponden solo a un resultado de los 200 campos de movimientos que se modelaron usando la ecuación “AbrahamsonEtAl2015SSlab”, es decir que estos valores varían según las desviaciones estándar que se consideran en las ecuaciones de atenuación y pueden diferir de otras ecuaciones usadas para la misma región tectónica.

En Tabla 6.3 se resumen las pérdidas económicas asociadas en evento.

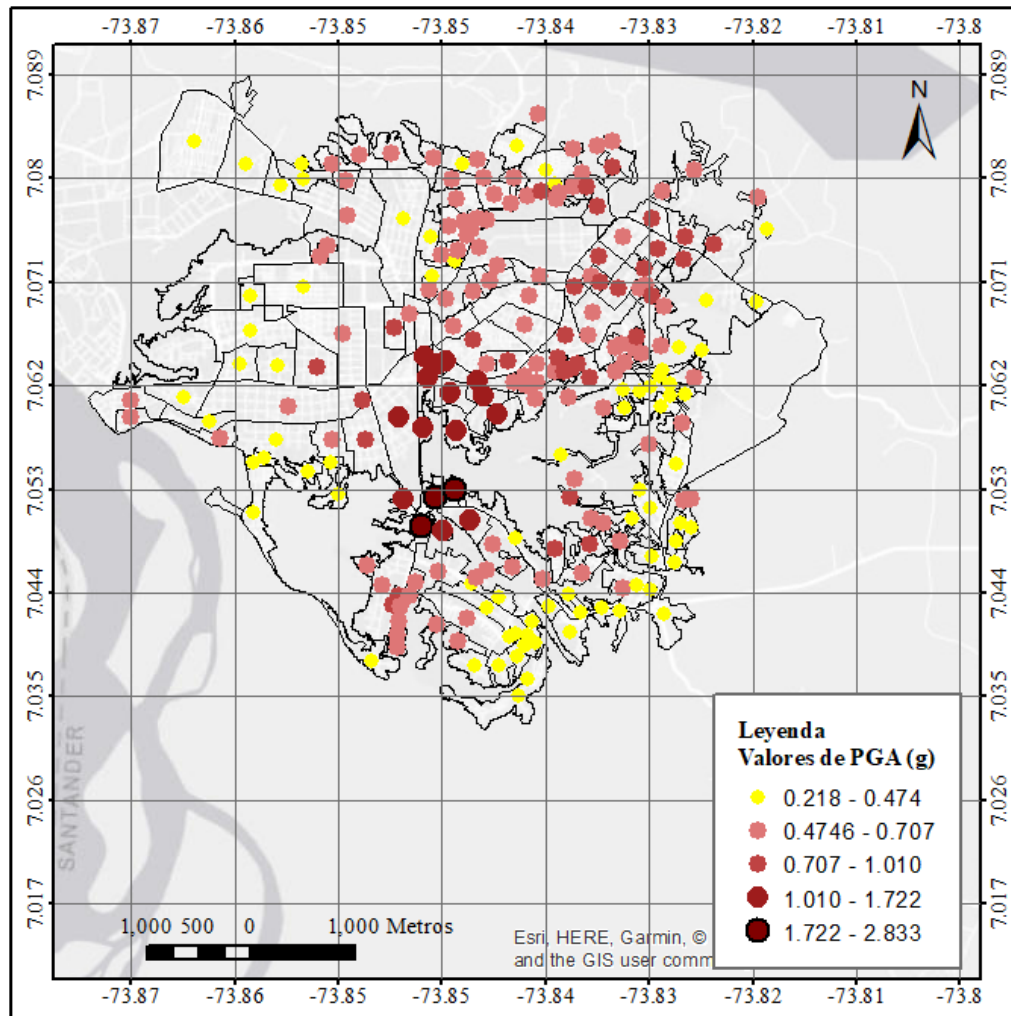


Figura 6.6 Aceleración pico efectiva del terreno (PGA) usando AbrahamsonEtAl2015SSlab.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.3 Perdidas según la Taxonomía. En Millones de pesos

Tipología	Media	+Error	-Error
CR/LDUAL	\$20,982	\$11,808	\$12,499
CR/LFINF+DNO	\$20,712	\$6,948	\$8,426
CR/LFINF+DUC	\$17,368	\$10,927	\$14,006
MCF/LWAL+DNO	\$61,307	\$36,797	\$51,880
MCF/LWAL+DUC	\$35,660	\$18,998	\$32,128
MUR	\$216,896	\$123,881	\$182,694
UNK	\$5,707	\$3,671	\$4,615
TOTAL	\$378,631		

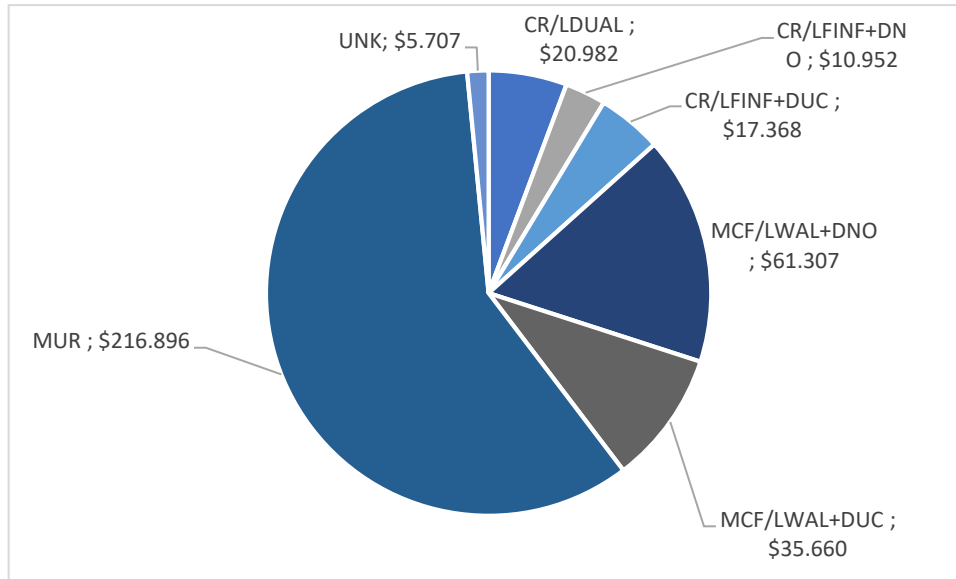


Figura 6.7 Perdidas según la Taxonomía. En Millones de pesos
 Fuente: Elaboración propia.

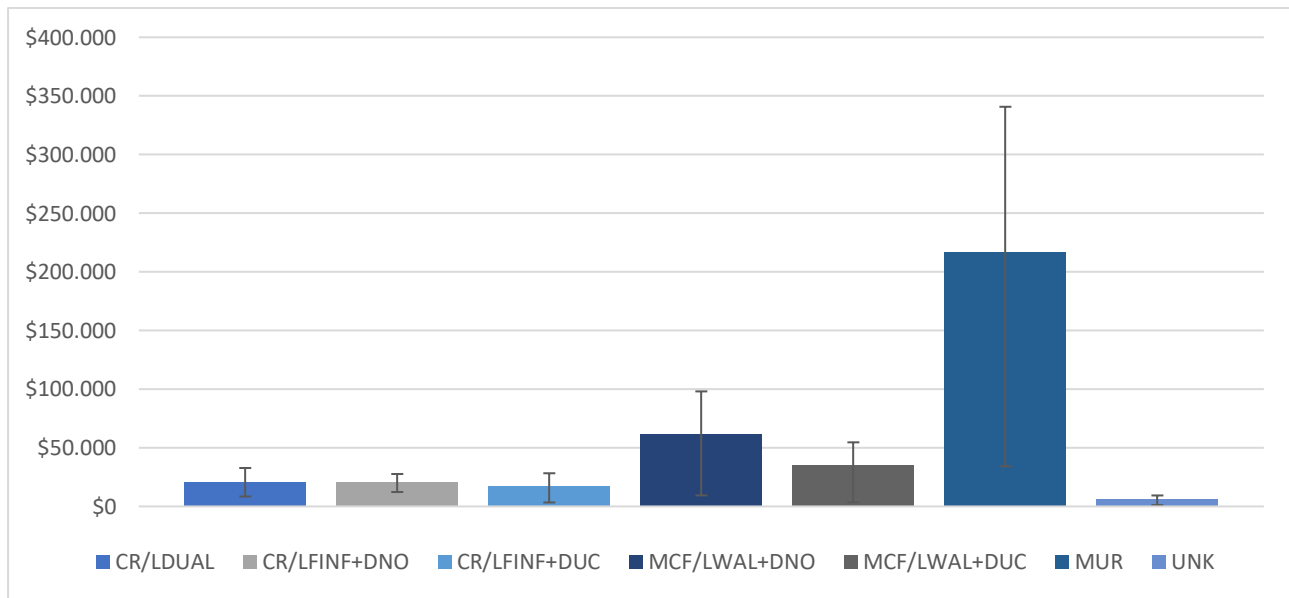


Figura 6.8 Distribución de perdidas según la taxonomía considerando la desviación estándar.
 Unidades en Millones de COP.
 Fuente: Elaboración propia.

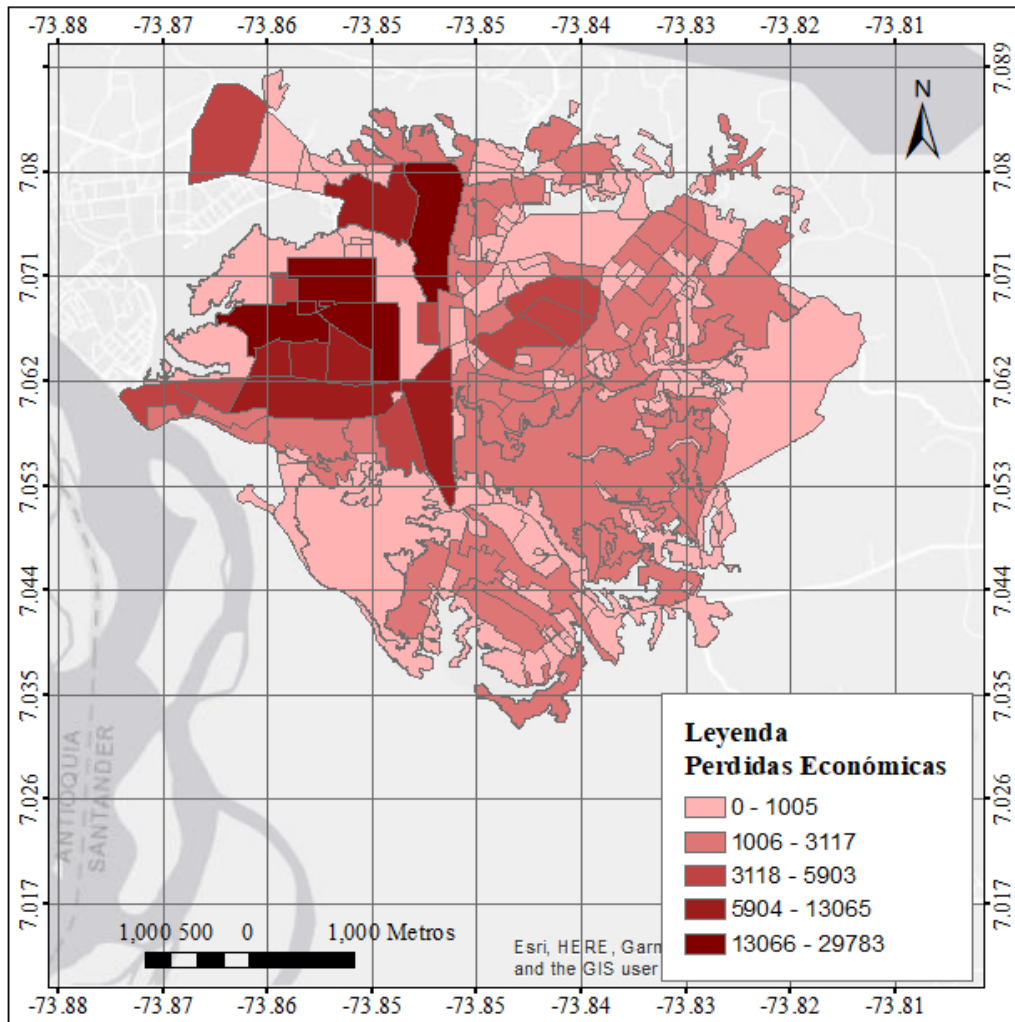


Figura 6.9 Zonificación de pérdidas económicas para escenario E12. En Millones de Pesos

En la Figura 6.9 se ilustra cómo se distribuyen geográficamente las pérdidas del escenario estudio. Las mayores pérdidas están en la zona comercial y mixta de las Comunas 1 y 2. Estas zonas se caracterizan por ser en promedio estrato 3 y predominan las construcciones de 2 o más pisos, lo que demuestra que las zonas con mayores pérdidas económicas son las de estratos medios y altos, mientras que si observamos la Figura 6.15, allí se refleja que las zonas que mayor cantidad de colapsos se relaciona a Barrios de estrato 1 y 2, siendo estas entonces las de mayor vulnerabilidad social.

Para el escenario anteriormente descrito, se obtiene un total de 378.631 millones de pesos en pérdidas. Este valor de pérdidas llega a ser el 6.2% del costo reposición total de las viviendas de la ciudad. Los barrios que poseen las mayores pérdidas son en su mayoría aquellos de estrato superior a 3, los cuales poseen construcciones con altas especificaciones arquitectónicas y estructurales, por lo cual su costo es más elevado. Usando la curva de excedencia, es posible asociar los resultados de pérdidas este escenario a un periodo de retorno promedio de 620 años, sabiendo que este valor de

periodo de retorno podría variar por la incertidumbre que existen en el análisis estocástico de eventos y en las ecuaciones de atenuación.



Figura 6.10 Barrios con mayores pérdidas económicas para el escenario de estudio.
Fuente: Elaboración propia

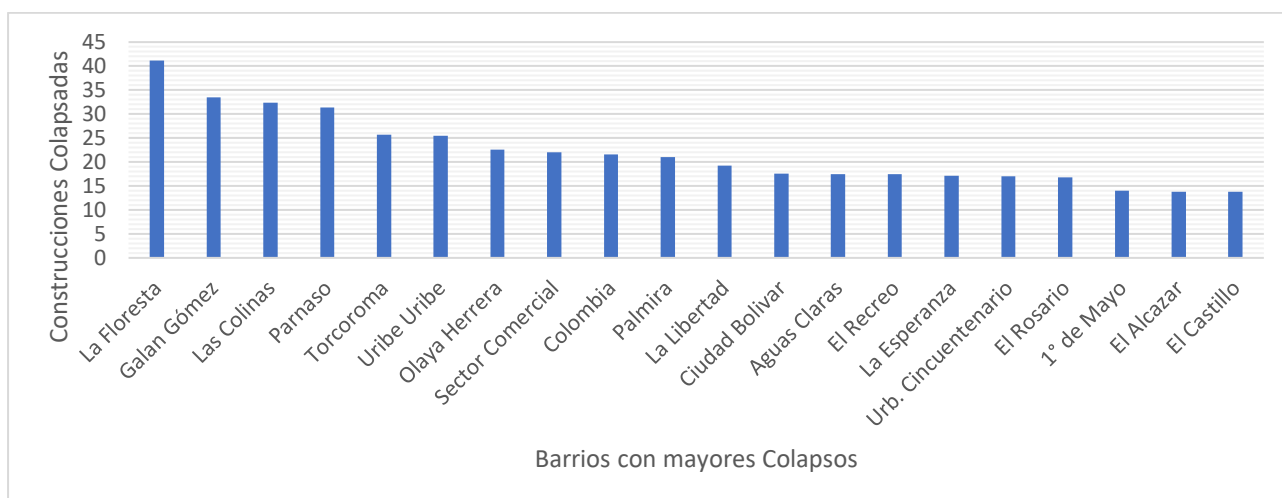


Figura 6.11 Barrios con más estructuras colapsadas
Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.4 Distribución de daños según la tipología

Evento #12 Subducción Intraplaca					
Tipología	Ninguno	Leve	Moderado	Grave	Colapso
CR/LDUAL	0%	0%	2%	1%	0%
CR/LFINF+DNO	1%	1%	3%	2%	2%
CR/LFINF+DUC	1%	3%	4%	2%	1%

Evento #12 Subducción Intraplaca					
Tipología	Ninguno	Leve	Moderado	Grave	Colapso
MCF/LWAL+DNO	6%	10%	13%	14%	9%
MCF/LWAL+DUC	8%	7%	6%	7%	6%
MUR	83%	76%	67%	70%	80%
UNK	1%	2%	5%	4%	3%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

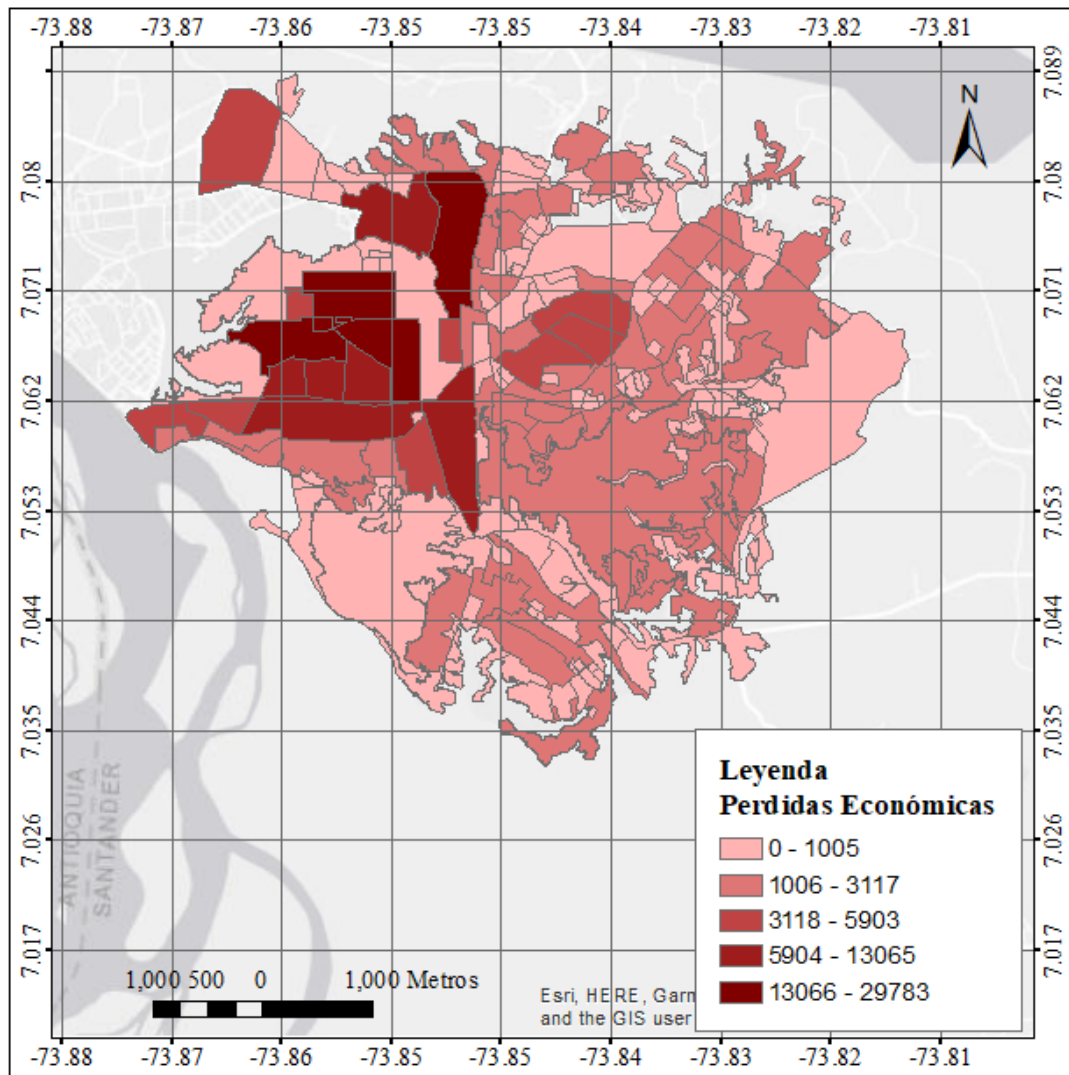


Figura 6.12 Zonificación de las pérdidas económicas en millones de COP: Barrios
 Fuente: Elaboración propia.

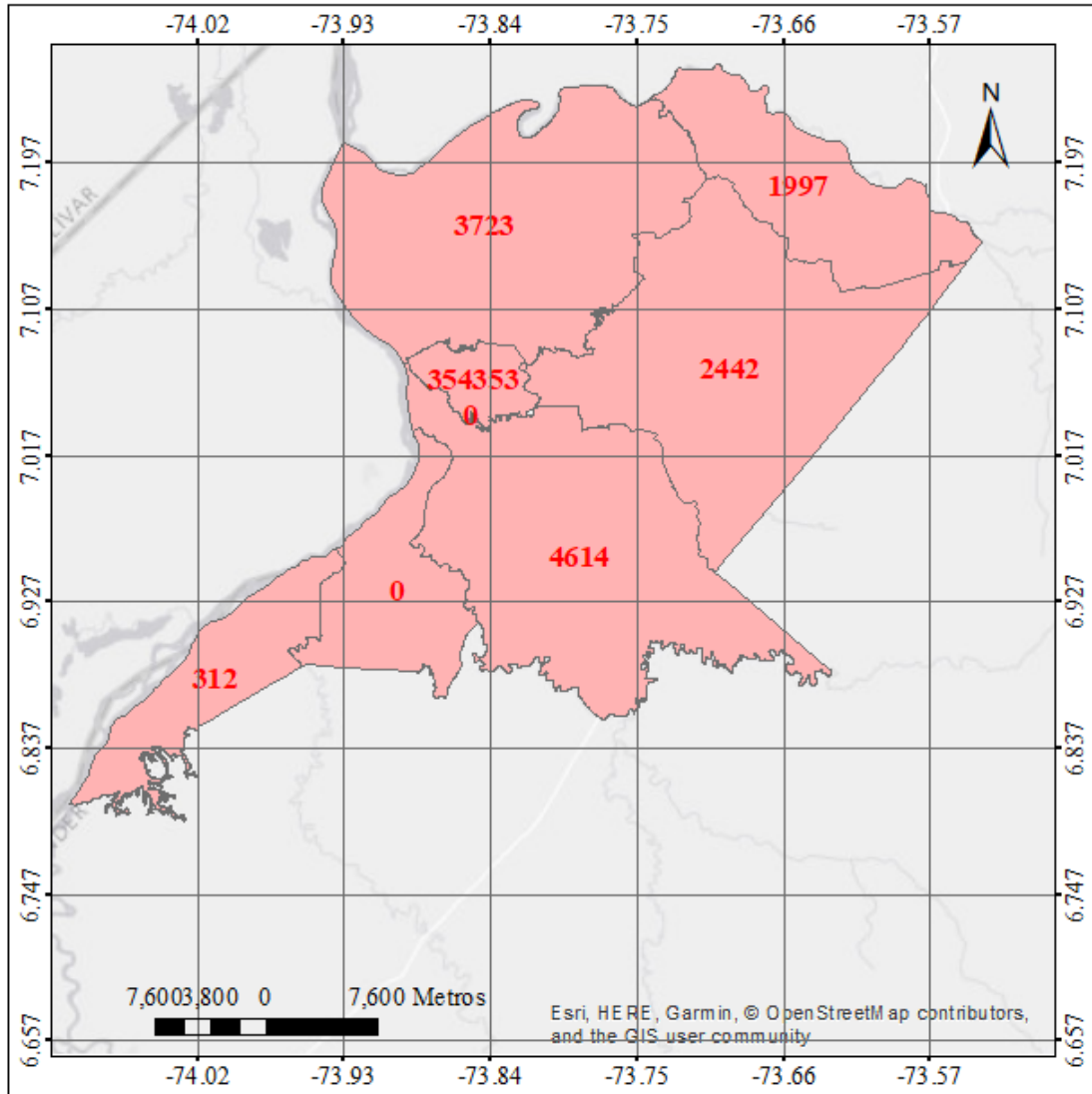


Figura 6.13 Zonificación de las pérdidas económicas en millones de COP. Corregimientos
 Fuente: Elaboración propia.

Para el escenario de análisis, se obtuvieron un total de 1311 edificios colapsados de los cuales al menos el 80% son construcciones de mampostería no reforzada.

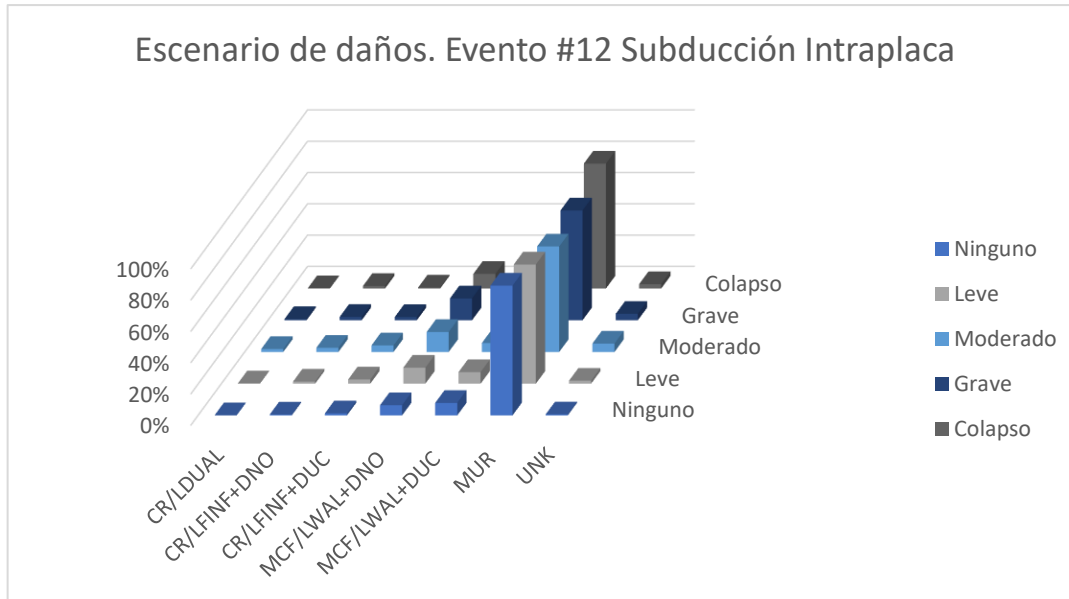


Figura 6.14 Escenario de daños de escenario #12
 Fuente: Elaboración propia.

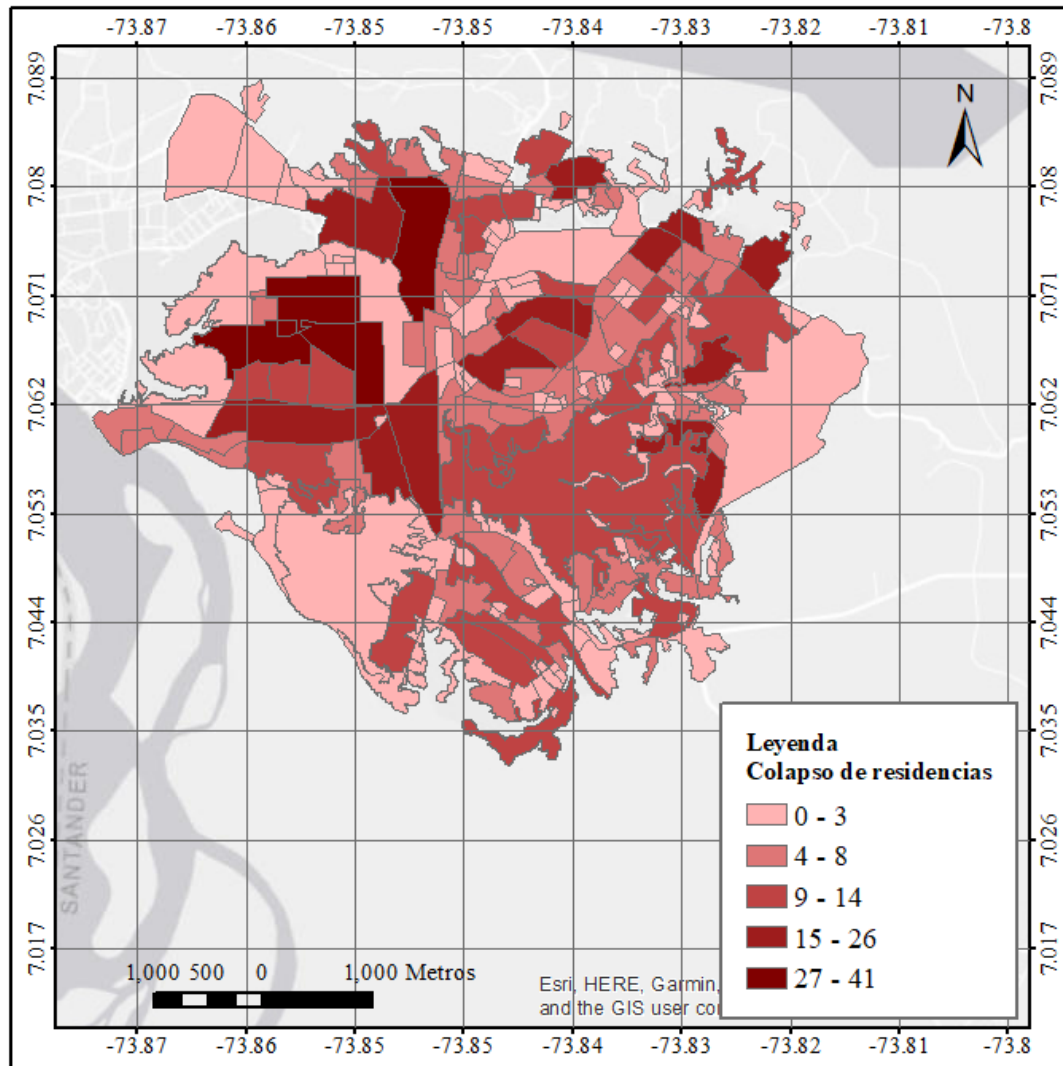


Figura 6.15 Zonificación de cantidad de estructuras Colapsadas.
Fuente: Elaboración propia.

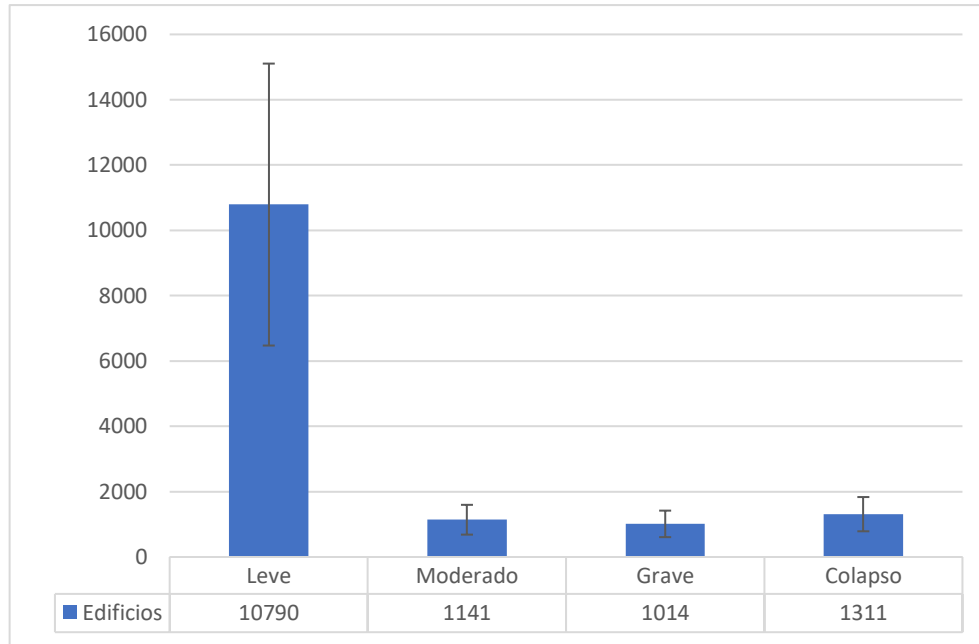


Figura 6.16 Distribución de daños en edificaciones.
Fuente: Elaboración propia.

6.2.2. RESULTADOS DE ESCENARIOS

La Figura 6.17y Figura 6.18 describen las pérdidas económicas y cantidad de edificios colapsados para cada escenario. Los periodos de retorno corresponden a los obtenidos al asociar las perdidas obtenidas en el escenario, con la curva de excedía de perdidas. Los periodos de retorno mostrados corresponden el valor promedio obtenido en las curvas mostrada en la Figura 6.1.

La Tabla 6.5 muestra las diferentes rupturas organizadas por periodos de retorno de perdidas.

Tabla 6.5 Resumen de resultados de cada ruptura organizados por periodo de retorno de pérdidas.

Ruptura	Periodo de Retorno de Curva de Excedencia de perdidas	Colapsos	Pérdidas económicas
E2	3	4	\$ 11,405
E3	6	15	\$ 32,714
E7	8	22	\$ 40,352
E11	10	41	\$ 49,235
E9	28	186	\$ 98,906
E5	38	153	\$ 111,797
E10	38	218	\$ 112,009
E4	40	114	\$ 114,439
E8	120	388	\$ 165,845

E6	310	781	\$	262,033
E1	320	523	\$	268,606
E12	620	1311	\$	378,631

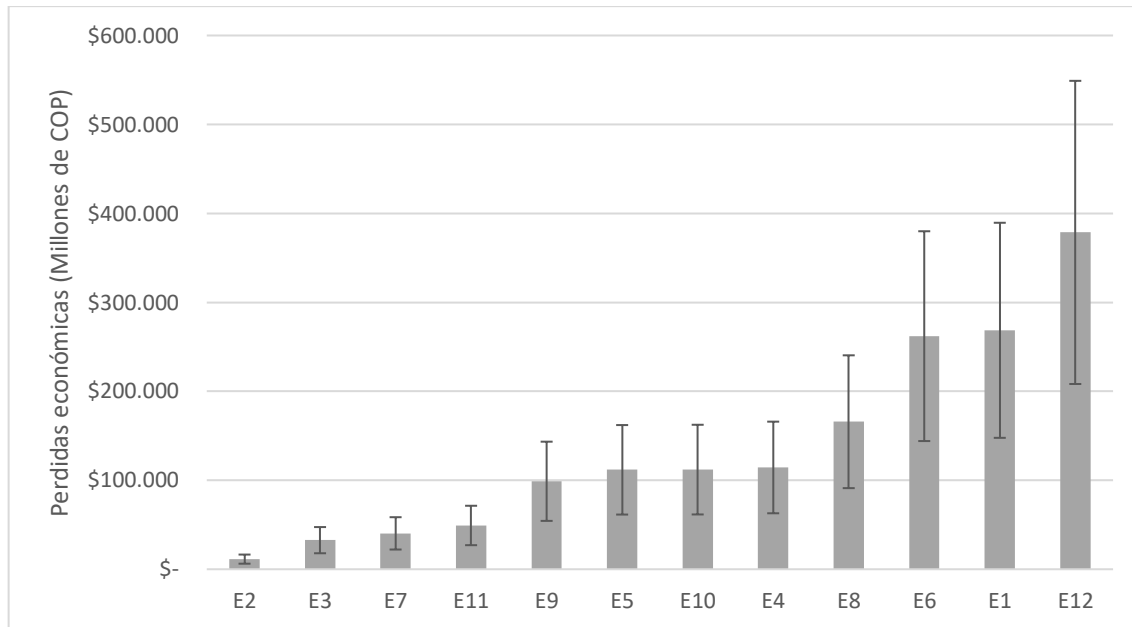


Figura 6.17 Perdidas económicas en cada escenario. Millones de pesos
Fuente: Elaboración propia.

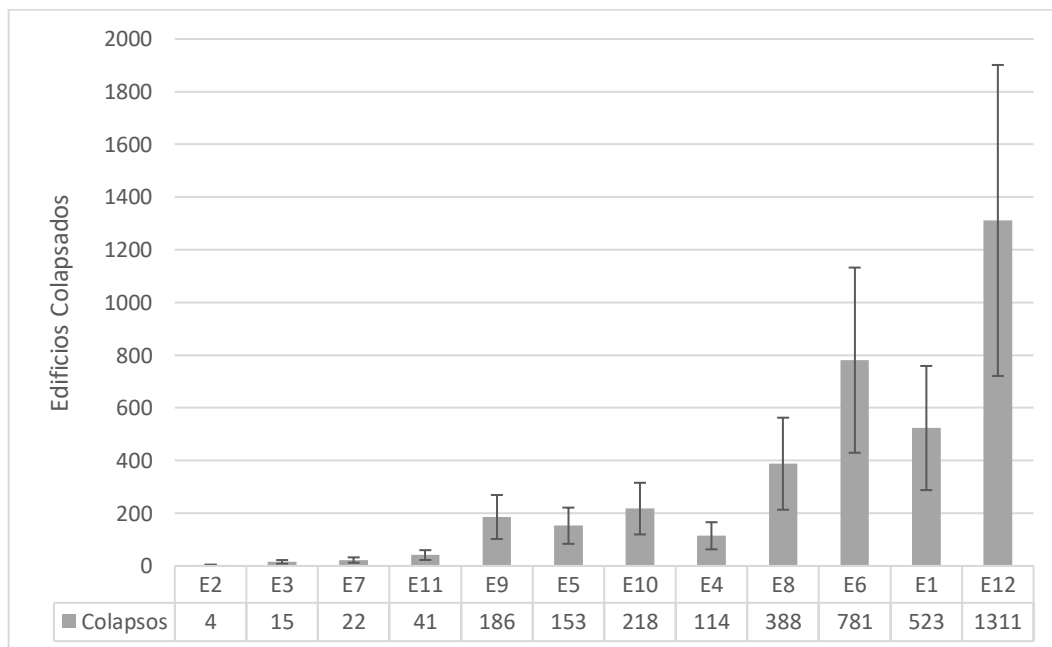


Figura 6.18 Edificios Colapsados en cada escenario.

7. CONCLUSIONES

La evaluación del riesgo sísmico, el cual estima pérdidas económicas, viene como resultado de asociar tres factores fundamentales: la amenaza sísmica, que se entiende como la probabilidad de ocurrencia de terremotos en un lugar en específico; la exposición, que se refiere a las estructuras y población susceptibles de sufrir afectaciones por sismos; y la vulnerabilidad, que es la capacidad de las estructuras de sobrellevar los efectos sísmicos.

7.1. CONCLUSIONES DE LA AMENAZA SÍSMICA.

- Barrancabermeja está ubicada en zona de sismicidad intermedia donde se alcanza una aceleración pico efectiva en roca de 0.15g (Aa), aun así, limita con una zona de sismicidad alta denominada nido de Bucaramanga (NSR-10).
- En el presente estudio se usó el proyecto de amenaza sísmica de Suramérica desarrollado por GEM con conjunto con el SGC. Este análisis probabilístico de la amenaza sísmica de Suramérica, también llamado Proyecto SARA por sus siglas en inglés, incluye todas las fuentes sismogénicas y las describe en términos de geometría 3D, distribución de magnitud-frecuencia, relación de ocurrencia y rangos de posibles magnitudes. Usando este modelo se logró modelar más de 250.000 posibles rupturas en las diferentes regiones tectónicas.
- El promedio de la velocidad de onda de corte a los 30 metros de profundidad es un parámetro que ha demostrado aproximarse a los efectos de sitio generado por un sismo de superficie (Jaime Eraso & SGC, 2015). El Vs30 permitió simular los efectos de sitio que tiene la ciudad.
- A cada región tectónica se le asignó las ecuaciones de atenuación que mejor se adaptan al ambiente técnico que afecta a la ciudad de estudio. A cada ecuación se le asignó un valor de ponderación que permitió considerar los criterios de diferentes autores en la predicción del movimiento de cada ambiente tectónico.

7.2. CONCLUSIONES DE LA FRAGILIDAD DE ESTRUCTURAS

- Una vez llevado a cabo un estado de arte en estudios sobre fragilidad o susceptibilidad de estructuras frente a intensidades de movimiento de suelo, se usó un total de 41 curvas de fragilidad de los autores Villar-Vega (2014), Acevedo et al. (2017) y HAZUS. Cada taxonomía obtenida en la ciudad de Barrancabermeja se asoció la curva de fragilidad que mejor describe el estado de daños frente a intensidades sísmicas.
- Las curvas de fragilidad permitieron representar la probabilidad de excedencia de un estado de daño en función de un parámetro de demanda o intensidad que representa el movimiento de terreno, en algunos casos se expresa en PGA (Aa)

- Para este estudio se generalizó las curvas de fragilidad de “HAZUS C2H - High code” para pórticos de concreto reforzado de más de 8 niveles y sistemas de muros de concreto y duales de más de 8 niveles. Esta generalización se hizo en vista de la carencia de investigaciones sobre curvas de fragilidad de pórticos, muros y sistemas duales discretizados por número de niveles.

7.3. CONCLUSIONES DEL MODELO DE EXPOSICIÓN

- Se desarrolló un modelo de exposición con el fin de generar un inventario de edificios en la ciudad según sus características de tipologías estructurales, materiales, ductilidad, número de pisos, nivel socioeconómico, área construida y población.
- No todas las tipologías de estructuras se encontraron en los edificios residenciales, una de ellas fueron las estructuras a porticadas en acero (S/LFINF/DUC y S+SR/LFBR/DUC). Esta clase de estructura metálicas es común en bodegas, naves industriales, centros comerciales instituciones y demás usos diferentes al residencial.
- El nivel de resolución al que se llevó el modelo de exposición de viviendas de la ciudad es barrial, es decir que las estadísticas de población, taxonomías de estructuras, costos de reposición está dado por cada barrio. Por lo cual se obtuvieron un total de 240 Barrios, un área construida de 7.95 km², y un costo de reposición total de 6.1 Billones de pesos.
- Para el desarrollo del estudio se caracterizó cada barrio según la homogeneidad en la distribución de taxonomías, según su estrato, y uso; a esto se le denominó zonas homogéneas. Se encontró que la tipología más usada en la ciudad es la mampostería simple, no reforzada de un nivel la cual predomina en más de un 65% de las construcciones, seguido de la mampostería confinada no dúctil y dúctil.
- La zona homogénea de estratos 1 y 2, con distribución en altura A1 y uso residencial principalmente, (E1,2/A1/RES) representa el 80% de las zonas homogéneas de la ciudad, lo que da cuenta que la ciudad es poco heterogénea. La homogeneidad de la ciudad permite que las muestras estadísticas puedan ser pequeñas comparadas con ciudades muy heterogéneas.
- Se realizó en total 4.500 encuestas digitales por medio de la herramienta Google Street View, adicionalmente se llevó a cabo 2.400 inspecciones en campo. Por lo cual contamos con una representación del 8.73% de las edificaciones residenciales de la ciudad. Así las cosas, la cantidad de muestras tomadas permiten concluir sobre la distribución de tipologías estructurales de la ciudad, distribuciones socioeconómicas y caracterizar cada barrio según la zona homogénea a la que pertenece.
- El modelo de exposición arrojó un total de 234.338 habitantes los cuales se distribuyen en un área construida de viviendas total de 7.95 km², siendo La Floresta y las Colinas los sectores más poblados de la ciudad Al calcular la densidad de población por m² se obtiene un total de 0.029 habitantes/ m² construido.
Comparando la población obtenida con los valores de población dada por el DANE (2005) y proyectados a la fecha de hoy, se obtiene 191.495 habitantes. Según lo indica el libro de estadísticas de la ciudad, (Estadísticas, 2012-2014), para el año 2014 la ciudad poseía 6

km²construidos. Al calcular la densidad población para estos datos estadísticos se obtiene un total de 0.032 habitantes/m² construido, por lo cual, al comparar los valores de densidad, tomando el valor de las estadísticas como el teórico, se obtiene una diferencia del 7.8%, entonces, la diferencia entre estos valores podría asociarse a las razones:

1. Algunas zonas de invasión no están registradas en las estadísticas del DANE:
 2. La dinámica demográfica ha variado durante los años en función al crecimiento de la compañía Ecopetrol, lo que cuestiona si realmente los parámetros usados para la proyección de la población se han mantenido constantes desde el Censo del 2005.
- La metodología usada en el modelo de exposición es útil para ciudades donde, por tu extensión territorial, no es factible realizar encuestas edificio por edificio. Al dividir los barrios por zonas homogéneas y tomar nuestras representativas de cada zona, se puede llegar a una buena aproximación de la distribución de estructuras de la ciudad en cada Barrio.
 - Se recomienda que, para futuros estudios o para la actualización del presente estudio, se provea de información precisa, completa y actualizada de la población y predios de la ciudad con el fin de evitar usar cifras proyectadas del DANE, las cuales en algunas ocasiones distan de la realidad. Entre más precisa sea la información provista por catastro y planeación, mejor quedará el modelo de exposición y, por ende, el cálculo del riesgo sísmico.

7.4. CONCLUSIONES DEL LA EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO.

- La probabilidad de pérdidas se puede expresar en términos de curvas de probabilidad de excedencia. El promedio de esta distribución se denomina AAL (Annual Average Loss), que traduce pérdida promedio anual, o pérdida esperada por año, resultado del promedio de pérdidas considerando la frecuencia de ocurrencia de cada evento. El valor de AAL obtenido para la ciudad de Barrancabermeja es de 21.549 millones de pesos.
- Los periodos de retorno de pérdidas económicas de cada evento corresponden a los obtenidos al asociar las pérdidas obtenidas en el escenario, con la curva de excedencia (Figura 6.1)
- Un evento sísmico en específico puede estar asociado a diferentes periodos de retorno de pérdidas. Se escogieron 12 eventos sísmicos cuyas pérdidas varían entre periodos de retorno de 1 a 600 años. Estos escenarios permitieron concluir que los sismos asociados a subducción Intraplaca generan mayores afectaciones a la ciudad. Se determinó además que, para periodos de retorno de 600 años, se esperan pérdidas cercanas a los 400.000 millones de pesos.
- Todos los resultados expuestos en el cálculo del riesgo sísmico son susceptibles de variar por todas las incertidumbres que existen en la amenaza, la fragilidad, vulnerabilidad y la exposición. Los resultados están calculados con un modelo de exposición que varía a medida que la población y urbanización de la ciudad cambia; cada vez se desarrollan modelos de vulnerabilidad y amenaza que se ajustan más a la realidad del territorio colombiano, por ello el cálculo de riesgo sísmico debe ser un ejercicio que se deberá actualizar en el tiempo, a medida que se posea información más verídica.
- Se demostró que la subducción Intraplaca genera la mayor influencia en las pérdidas generadas en Barrancabermeja.

- Los resultados de los escenarios, los mapas de zonificación de pérdidas y colapsos es la información base para que las entidades competentes en la atención de desastres analicen la necesidad de ampliar los centros de atención de salud, seguridad alimentaria, alojamiento temporal, asistencia social entre otros. Las instituciones deben ser conscientes de la capacidad de atención que poseen y evaluar la necesidad de ampliar su capacidad de cubrir la demanda de salud, alojamiento, equipos de rescate etc.
- Los mapas de zonificación son útiles para el tipo y concentración de las operaciones de rescate que podrían requerirse. Este estudio demuestra, por ejemplo, que las zonas homogéneas catalogadas como E1,2/A1/RES, son las que más daños y colapsos poseen, por ende, son las que más atención requieren.

8. RECOMENDACIONES PARA LA PREPARACIÓN, PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO.

- Es imperante que planeación promueva los buenos hábitos de construcción en la ciudad. Se debe velar para que las construcciones posean diseños sismo-resistentes realizados por profesionales competentes y que las obras tengan supervisión técnica calificada.
- Las entidades competentes deben evaluar su capacidad de atención de desastres: La atención de salud, seguridad, alojamiento, equipos de rescate, maquinaria de remoción de escombros son algunos ejemplos.
- Fomentar los simulacros de evacuación en la ciudad.
- Cuando se generan sismos es cuando se debe asegurar la máxima movilidad posible en la ciudad, por ello se recomienda realizar estudios de vulnerabilidad funcional de la vía con el fin de determinar cuáles vías puede ser afectadas por daños en puentes, colapsos de edificios que afecten las vías, elementos verticales que obstruyan el paso, entre otras. Para evitar colapsos en la movilidad de la ciudad, se deben crear planes de movilidad que permitan agilizar el transporte luego de la ocurrencia de un sismo.
- La industria financiera ha sido una de las principales promovedoras de los análisis de riesgo sísmico, ya que esta permite estimar las pérdidas principales de los portafolios de activos asegurados. El aseguramiento de los bienes públicos y privados contra terremotos permite mitigar el riesgo económico.
- La Figura 8.1 muestra un esquema de la estructura en capas de riesgo, los cuales se explican a continuación.

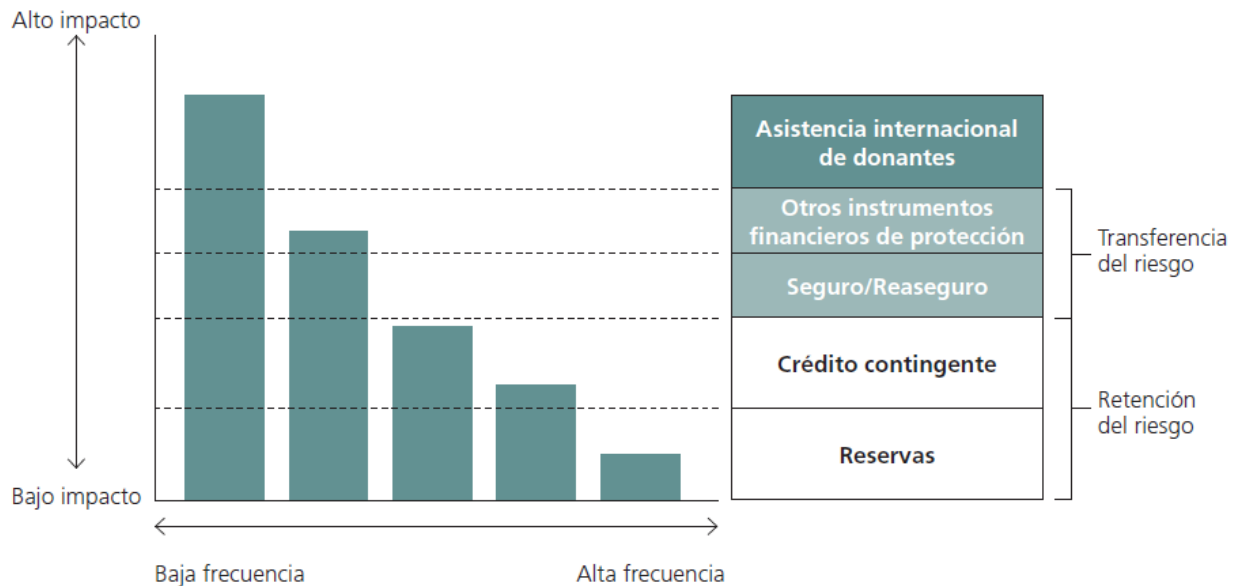


Figura 8.1 Estructura de capas de riesgo
Fuente: Ghesquiere y Mahul, 2010.

1. Reserva o ahorro para atención de desastres. El monto destinado por el gobierno debe ser suficiente para cubrir las posibles pérdidas generadas para eventos sísmicos muy frecuentes.
2. Crédito contingente y préstamos para la atención de emergencias
3. Seguro y reaseguro con empresas de seguros nacionales e internacionales. Este tipo de soluciones se usan cuando el riesgo económico ya debe ser transferido a otras entidades.
4. Otros instrumentos de protección financiera como bonos internacionales de catástrofes.
5. Asistencia internacional de donantes: Aportes de donantes; esta opción es común cuando los niveles de pérdidas generan gran impacto social y económico, superando todas las capas de financiación de desastres.

9. ANEXOS

9.1. DISTRIBUCIÓN DE TAXONOMÍAS DE CADA ZONA HOMOGÉNEA.

Tabla 9.1 Distribución de taxonomías de la zona homogénea **E1,2/A1/INV**

Curva de Fragilidad	% Edificios	Tipología	# Niveles
MUR/HEX:1	20.00%	MUR	1
UNK	80.00%	UNK	1

Tabla 9.2 Distribución de taxonomías de la zona homogénea **E1,2/A1/RES**

E1,2/A1/RES			
Curva de Fragilidad	% Edificios	Tipología	# Niveles
CR/LFINF+DNO/HEX:1/RES	0.70%	CR/LFINF+DUC	1
CR/LFINF+DUC/HEX:2/RES	0.40%	CR/LFINF+DUC	2
CR/LFINF+DUC/HEX:3/RES	0.40%	CR/LFINF+DUC	3
CR/LFINF+DUC/HEX:4/RES	0.20%	CR/LFINF+DUC	4
MCF/LWAL+DUC/HEX:1/RES	1.90%	MCF/LWAL+DUC	1
MCF/LWAL+DUC/HEX:2/RES	1.10%	MCF/LWAL+DUC	2
MCF/LWAL+DNO/HEX:1/RES	1.00%	MCF/LWAL+DUC	1
MCF/LWAL+DNO/HEX:2/RES	1.00%	MCF/LWAL+DUC	2
MUR/HEX:1	86.00%	MUR	1
MUR/HEX:2	4.00%	MUR	2
MUR/HEX:3	2.00%	MUR	3
UNK	1.30%	UNK	1

Tabla 9.3 Distribución de taxonomías de la zona homogénea **E3,4/A2/RES**

E3,4/A2/RES			
Curva de Fragilidad	% Edificios	Tipología	# Niveles
CR/LFINF+DUC/HEX:1/RES	0.80%	CR/LFINF+DUC	1
CR/LFINF+DUC/HEX:2/RES	0.60%	CR/LFINF+DUC	2
CR/LFINF+DUC/HEX:3/RES	3.00%	CR/LFINF+DUC	3
CR/LFINF+DUC/HEX:4/RES	1.50%	CR/LFINF+DUC	4
CR/LFINF+DUC/HEX:5/RES	1.50%	CR/LFINF+DUC	5
CR/LFINF+DUC/HEX:6/RES	1.10%	CR/LFINF+DUC	6
CR/LFINF+DUC/HEX:7/RES	0.40%	CR/LFINF+DUC	7
CR/LWAL/HBET:8,19	0.40%	CR/LDUAL+DUC	8
CR/LWAL/HBET:8,19	0.40%	CR/LDUAL+DUC	9
CR/LWAL/HBET:8,19	0.40%	CR/LDUAL+DUC	10

CR/LWAL/HBET:8,19	0.30%	CR/LDUAL+DUC	11
CR/LWAL/HBET:8,19	0.10%	CR/LDUAL+DUC	12
CR/LWAL/HBET:8,19	0.10%	CR/LDUAL+DUC	13
CR/LWAL/HBET:8,19	0.10%	CR/LDUAL+DUC	14
CR/LWAL/HBET:8,19	0.10%	CR/LDUAL+DUC	15
MCF/LWAL+DUC/HEX:1/RES	8.00%	MCF/LWAL+DUC	1
MCF/LWAL+DUC/HEX:2/RES	22.00%	MCF/LWAL+DUC	2
MCF/LWAL+DNO/HEX:1/RES	23.20%	MCF/LWAL+DNO	1
MCF/LWAL+DNO/HEX:2/RES	18.00%	MCF/LWAL+DNO	2
MUR/HEX:1	10.00%	MUR	1
MUR/HEX:2	7.20%	MUR	2
MUR/HEX:3	0.80%	MUR	3

Tabla 9.4 Distribución de taxonomías de la zona homogénea **E5,6/A1/RES**

E5,6/A1/RES			
Curva de Fragilidad	% Edificios	Tipología	# Niveles
CR/LFINF+DUC/HEX:1/RES	10.00%	CR/LFINF+DUC	1
CR/LFINF+DUC/HEX:2/RES	5.00%	CR/LFINF+DUC	2
MCF/LWAL+DUC/HEX:1/RES	80.00%	MCF/LWAL+DUC	1
MCF/LWAL+DUC/HEX:2/RES	5.00%	MCF/LWAL+DUC	2

Tabla 9.5 Distribución de taxonomías de la zona homogénea **E3,4/A2/MIX**

E3,4/A2/MIX			
Curva de Fragilidad	% Edificios	Tipología	# Niveles
CR/LFINF+DNO/HEX:1/RES	1.80%	CR/LFINF+DNO	1
CR/LFINF+DNO/HEX:2/RES	1.80%	CR/LFINF+DNO	2
CR/LFINF+DNO/HEX:3/RES	3.70%	CR/LFINF+DNO	3
CR/LFINF+DNO/HEX:4/RES	1.80%	CR/LFINF+DNO	4
CR/LFINF+DUC/HEX:1/RES	1.00%	CR/LFINF+DUC	1
CR/LFINF+DUC/HEX:2/RES	1.00%	CR/LFINF+DUC	2
CR/LFINF+DUC/HEX:3/RES	4.40%	CR/LFINF+DUC	3
CR/LFINF+DUC/HEX:4/RES	1.20%	CR/LFINF+DUC	4
CR/LFINF+DUC/HEX:5/RES	1.60%	CR/LFINF+DUC	5
CR/LFINF+DUC/HEX:6/RES	1.10%	CR/LFINF+DUC	6
CR/LFINF+DUC/HEX:7/RES	0.30%	CR/LFINF+DUC	7

MCF/LWAL+DNO/HEX:1/RES	35.00%	MCF/LWAL+DNO	1
MCF/LWAL+DNO/HEX:2/RES	14.00%	MCF/LWAL+DNO	2
MCF/LWAL+DNO/HEX:3/RES	3.00%	MCF/LWAL+DNO	3
MUR/HEX:1	24.20%	MUR	1
MUR/HEX:2	1.20%	MUR	2
MUR/HEX:4	0.80%	MUR	4
MUR/HEX:3	0.60%	MUR	3
CR/LWAL/HBET:8,19	0.60%	CR/LDUAL+DUC	8
CR/LWAL/HBET:8,20	0.40%	CR/LDUAL+DUC	9
CR/LWAL/HBET:8,21	0.30%	CR/LDUAL+DUC	10
CR/LWAL/HBET:8,22	0.20%	CR/LDUAL+DUC	11

Tabla 9.6 Distribución de taxonomías de la zona homogénea **E1,2/A1/OTRO**

E1,2/A1/OTRO			
Curva de Fragilidad	% Edificios	Tipología	# Niveles
CR/LFINF+DNO/HEX:1/RES	1.90%	CR/LFINF+DNO	1
CR/LFINF+DNO/HEX:2/RES	1.90%	CR/LFINF+DNO	2
CR/LFINF+DNO/HEX:3/RES	3.80%	CR/LFINF+DNO	3
CR/LFINF+DNO/HEX:4/RES	1.90%	CR/LFINF+DNO	4
CR/LFINF+DUC/HEX:1/RES	1.27%	CR/LFINF+DUC	1
CR/LFINF+DUC/HEX:2/RES	1.90%	CR/LFINF+DUC	2
CR/LFINF+DUC/HEX:3/RES	4.43%	CR/LFINF+DUC	3
CR/LFINF+DUC/HEX:4/RES	1.27%	CR/LFINF+DUC	4
CR/LFINF+DUC/HEX:5/RES	1.90%	CR/LFINF+DUC	5
CR/LFINF+DUC/HEX:6/RES	1.27%	CR/LFINF+DUC	6
MCF/LWAL+DNO/HEX:1/RES	33.54%	MCF/LWAL+DNO	1
MCF/LWAL+DNO/HEX:2/RES	14.56%	MCF/LWAL+DNO	2
MCF/LWAL+DNO/HEX:3/RES	3.16%	MCF/LWAL+DNO	3
MUR/HEX:1	25.32%	MUR	1
MUR/HEX:2	1.27%	MUR	2
MUR/HEX:4	0.63%	MUR	4

Tabla 9.7 Distribución de taxonomías de la zona homogénea **E1,2/A1/MIX**

E1,2/A1/MIX			
Curva de Fragilidad	%	Tipología	#

E1,2/A1/MIX			
	Edificios		Niveles
CR/LFINF+DUC/HEX:1/RES	0.70%	CR/LFINF+DUC	1
CR/LFINF+DUC/HEX:2/RES	0.40%	CR/LFINF+DUC	2
CR/LFINF+DUC/HEX:3/RES	2.00%	CR/LFINF+DUC	3
CR/LFINF+DUC/HEX:4/RES	0.20%	CR/LFINF+DUC	4
MCF/LWAL+DUC/HEX:1/RES	18.00%	MCF/LWAL+DUC	1
MCF/LWAL+DUC/HEX:2/RES	5.00%	MCF/LWAL+DUC	2
MUR/HEX:1	68.00%	MUR	1
MUR/HEX:2	4.40%	MUR	2
UNK	1.30%	UNK	1

Tabla 9.8 Distribución de taxonomías de la zona homogénea **E3,4/A1/RES**

E3,4/A1/RES			
Curva de Fragilidad	% Edificios	Tipología	# Niveles
CR/LFINF+DUC/HEX:1/RES	0.80%	CR/LFINF+DUC	1
CR/LFINF+DUC/HEX:2/RES	0.60%	CR/LFINF+DUC	2
CR/LFINF+DUC/HEX:3/RES	0.50%	CR/LFINF+DUC	3
CR/LFINF+DUC/HEX:4/RES	0.30%	CR/LFINF+DUC	4
CR/LFINF+DUC/HEX:5/RES	0.20%	CR/LFINF+DUC	5
CR/LFINF+DUC/HEX:6/RES	0.10%	CR/LFINF+DUC	6
MCF/LWAL+DUC/HEX:1/RES	30.00%	MCF/LWAL+DUC	1
MCF/LWAL+DUC/HEX:2/RES	5.00%	MCF/LWAL+DUC	2
MCF/LWAL+DNO/HEX:1/RES	27.50%	MCF/LWAL+DNO	1
MCF/LWAL+DNO/HEX:2/RES	5.00%	MCF/LWAL+DNO	2
MUR/HEX:1	30.00%	MUR	1

Tabla 9.9 Distribución de taxonomías de la zona homogénea **E1,2/A1/VIS**

E1,2/A1/VIS			
Curva de Fragilidad	% Edificios	Tipología	# Niveles
CR/LWAL/HBET:1,3	70.00%	CR/LDUAL+DUC	1
MUR/HEX:1	10.00%	MUR	1
MUR/HEX:2	19.50%	MUR	2

E1,2/A1/VIS			
UNK	0.50%	UNK	1

Tabla 9.10 Distribución de taxonomías de la zona homogénea **AT1**(Atípico 1)

AT1			
Curva de Fragilidad	% Edificios	Tipología	# Niveles
MCF/LWAL+DUC/HEX:2/RES	95.00%	MCF/LWAL+DUC	2
MCF/LWAL+DUC/HEX:1/RES	5.00%	MCF/LWAL+DUC	1

9.2. EVENTO #1 SUBDUCCIÓN INTRAPLACA

Tabla 9.11 Porcentaje de edificios afectados según la tipología estructural E1

Evento #1 Subducción Intraplaca					
Tipología	Ninguno	Leve	Moderado	Grave	Colapso
CR/LDUAL	0%	0%	3%	1%	0%
CR/LFINF+DNO	1%	1%	2%	1%	2%
CR/LFINF+DUC	2%	1%	1%	0%	0%
MCF/LWAL+DNO	7%	10%	7%	6%	6%
MCF/LWAL+DUC	9%	5%	3%	3%	3%
MUR	81%	80%	80%	86%	88%
UNK	1%	2%	5%	2%	1%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

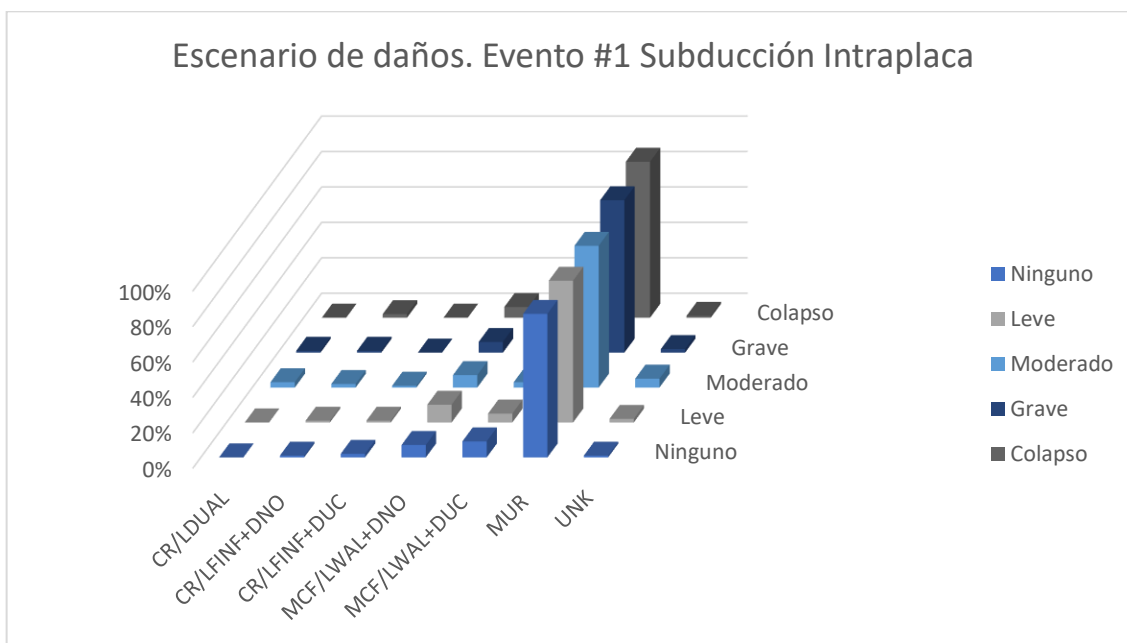


Figura 9.1 Porcentaje de edificios afectados según la tipología estructural E1

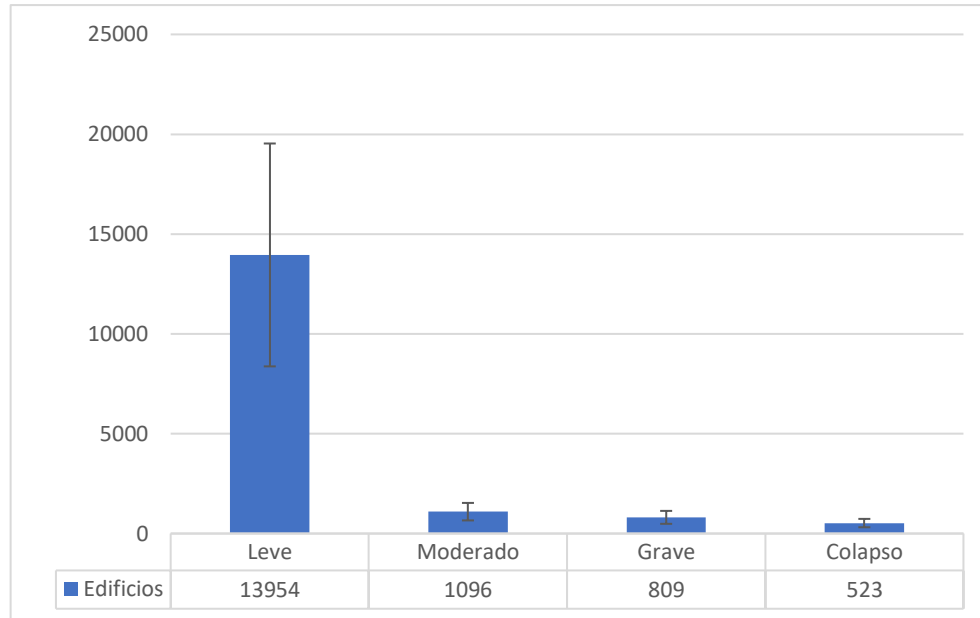


Figura 9.2 Cantidad de edificios afectados por el sismo E1

Tabla 9.12 Perdidas económicas por cada tipología. Millones de COP E1

Tipología	Perdidas
CR/LDUAL	\$26,938
CR/LFINF+DNO	\$3,161
CR/LFINF+DUC	\$1,997
MCF/LWAL+DNO	\$19,980
MCF/LWAL+DUC	\$7,372
MUR	\$206,643
UNK	\$2,513
TOTAL	\$268,605

9.3. EVENTO #2 CORTEZA SUPERFICIAL.

Tabla 9.13 Porcentaje de edificios afectados según la tipología estructural E2

Evento #2 Corteza Superficial					
Tipología	Ninguno	Leve	Moderado	Grave	Colapso
CR/LDUAL	0%	3%	7%	1%	0%
CR/LFINF+DNO	1%	8%	15%	9%	2%
CR/LFINF+DUC	1%	24%	34%	34%	13%
MCF/LWAL+DNO	7%	18%	12%	24%	10%

Evento #2 Corteza Superficial					
Tipología	Ninguno	Leve	Moderado	Grave	Colapso
MCF/LWAL+DUC	8%	3%	0%	1%	2%
MUR	82%	29%	7%	14%	66%
UNK	1%	15%	24%	17%	7%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

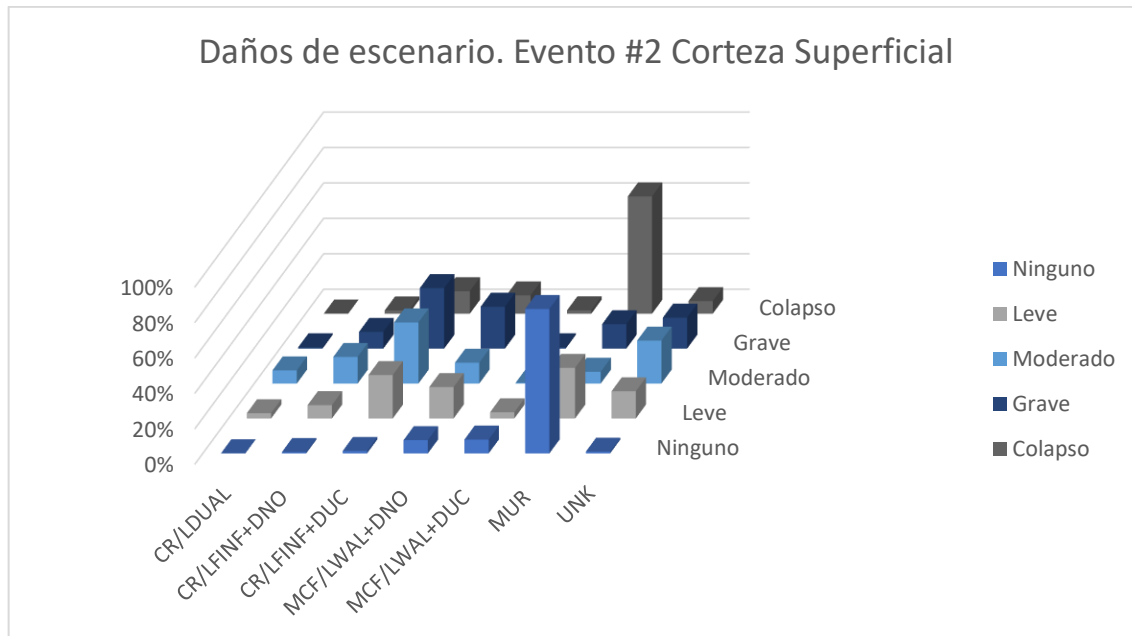


Figura 9.3 Porcentaje de edificios afectados según la tipología estructural E2

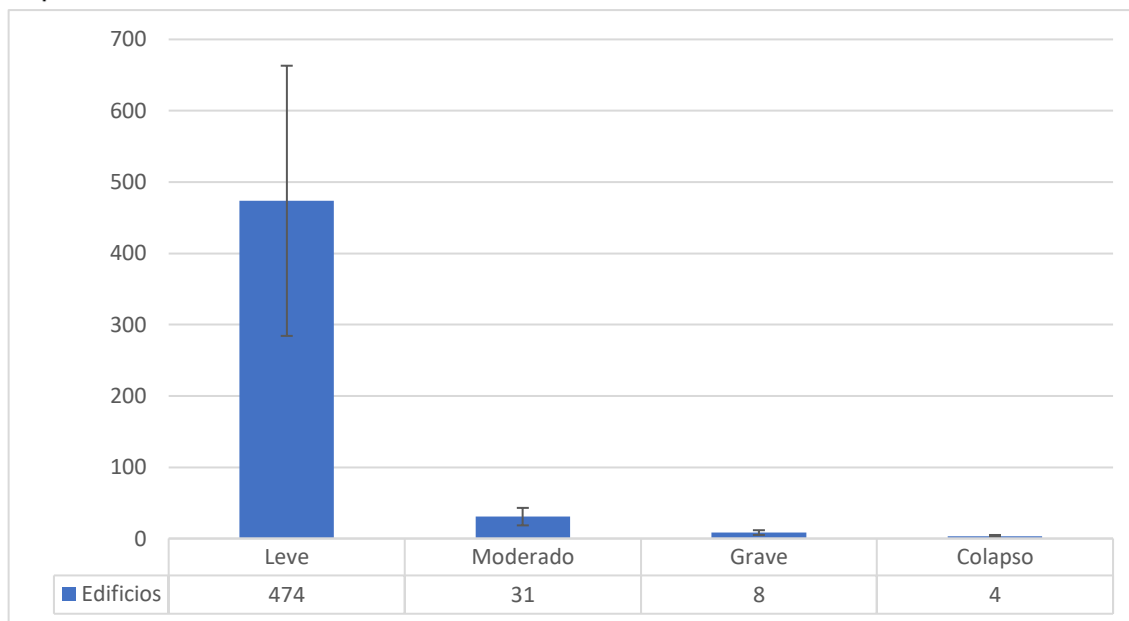


Figura 9.4 Cantidad de edificios afectados por el sismo E2

Tabla 9.14 Perdidas económicas por cada tipología. Millones de COP E2

Tipología	Perdidas
CR/LDUAL	\$2,211
CR/LFINF+DNO	\$1,589
CR/LFINF+DUC	\$2,732
MCF/LWAL+DNO	\$1,828
MCF/LWAL+DUC	\$139
MUR	\$2,478
UNK	\$428
TOTAL	\$11,405

9.4. EVENTO #3 CORTEZA SUPERFICIAL.

Tabla 9.15 Distribución de daños de edificios por tipología E3

Evento # 3 Corteza Superficial					
Tipología	Colapso	Grave	Moderado	Leve	Ninguno
CR/LDUAL	0%	1%	7%	1%	0%
CR/LFINF+DNO	1%	3%	4%	2%	1%
CR/LFINF+DUC	1%	6%	7%	4%	4%
MCF/LWAL+DNO	7%	12%	7%	11%	13%

Evento # 3 Corteza Superficial					
Tipología	Colapso	Grave	Moderado	Leve	Ninguno
MCF/LWAL+DUC	8%	5%	2%	2%	6%
MUR	82%	67%	54%	63%	56%
UNK	1%	6%	19%	16%	20%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

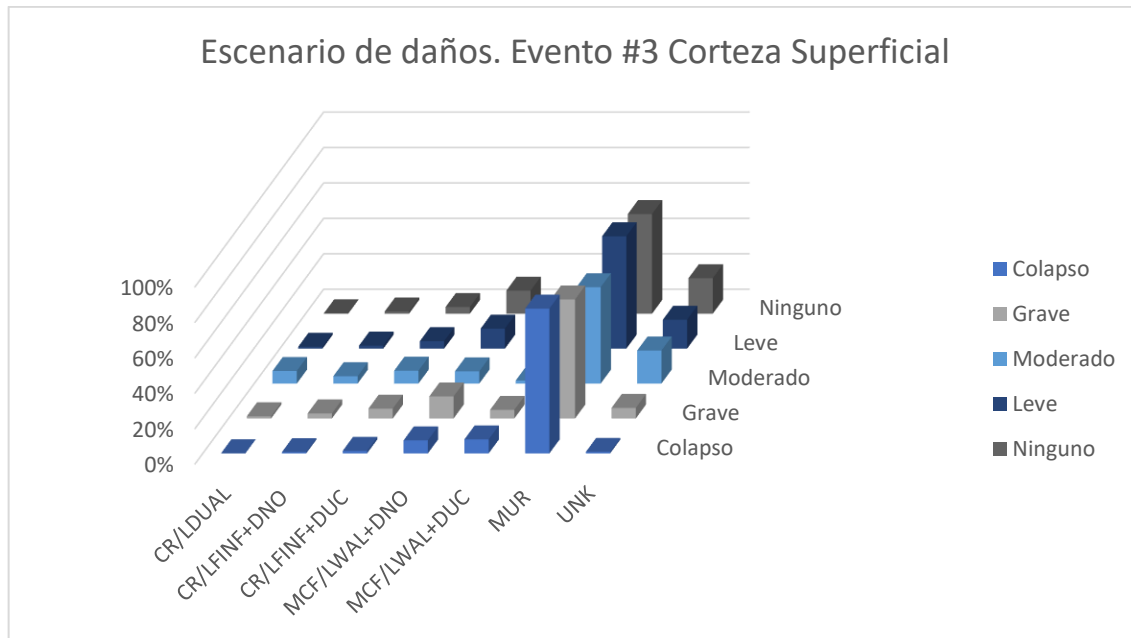


Figura 9.5 Distribución de daños de edificios por tipología E3

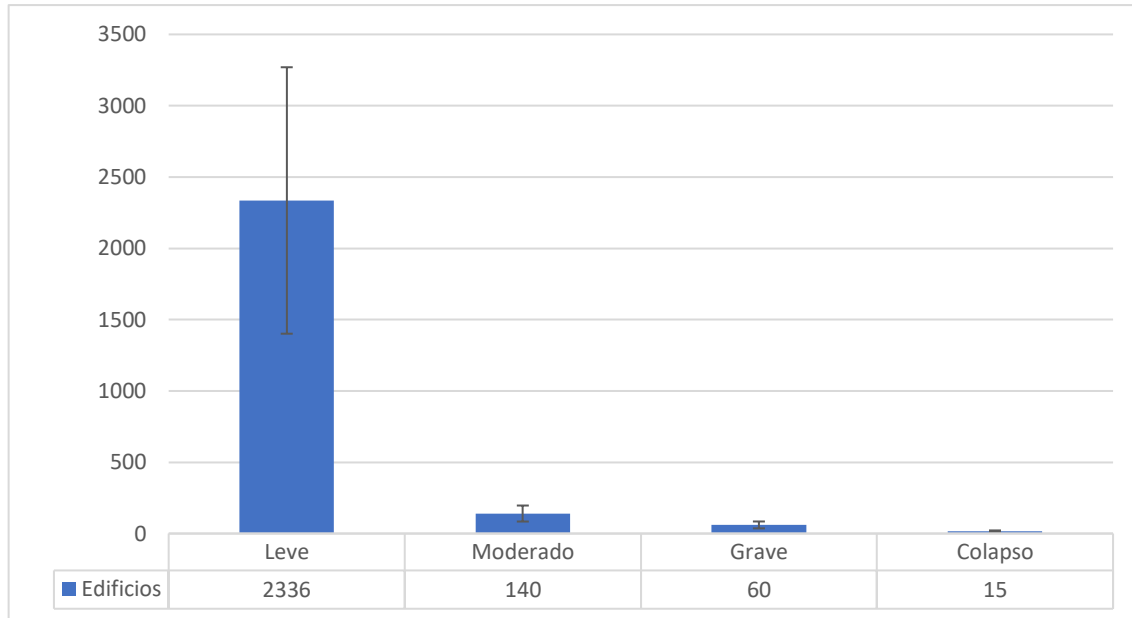


Figura 9.6 Cantidad de edificios afectados por el sismo E3

Tabla 9.16 Perdidas económicas por cada tipología Millones de COP E3

Tipología	Perdidas
CR/LDUAL	\$6,235
CR/LFINF+DNO	\$1,787
CR/LFINF+DUC	\$2,844
MCF/LWAL+DNO	\$4,694
MCF/LWAL+DUC	\$1,096
MUR	\$14,574
UNK	\$1,484
TOTAL	\$32,714

9.5. EVENTO #4 CORTEZA SUPERFICIAL

Tabla 9.17 Distribución de daños de edificios por tipología E4

Evento #4. Corteza Superficial					
	Ninguno	Leve	Moderado	Grave	Colapso
CR/LDUAL	0%	0%	5%	1%	0%
CR/LFINF+DNO	1%	2%	3%	2%	2%
CR/LFINF+DUC	2%	2%	2%	1%	1%
MCF/LWAL+DNO	7%	12%	8%	10%	8%

Evento #4. Corteza Superficial					
	Ninguno	Leve	Moderado	Grave	Colapso
MCF/LWAL+DUC	8%	7%	3%	3%	4%
MUR	82%	74%	70%	75%	77%
UNK	1%	2%	9%	8%	9%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

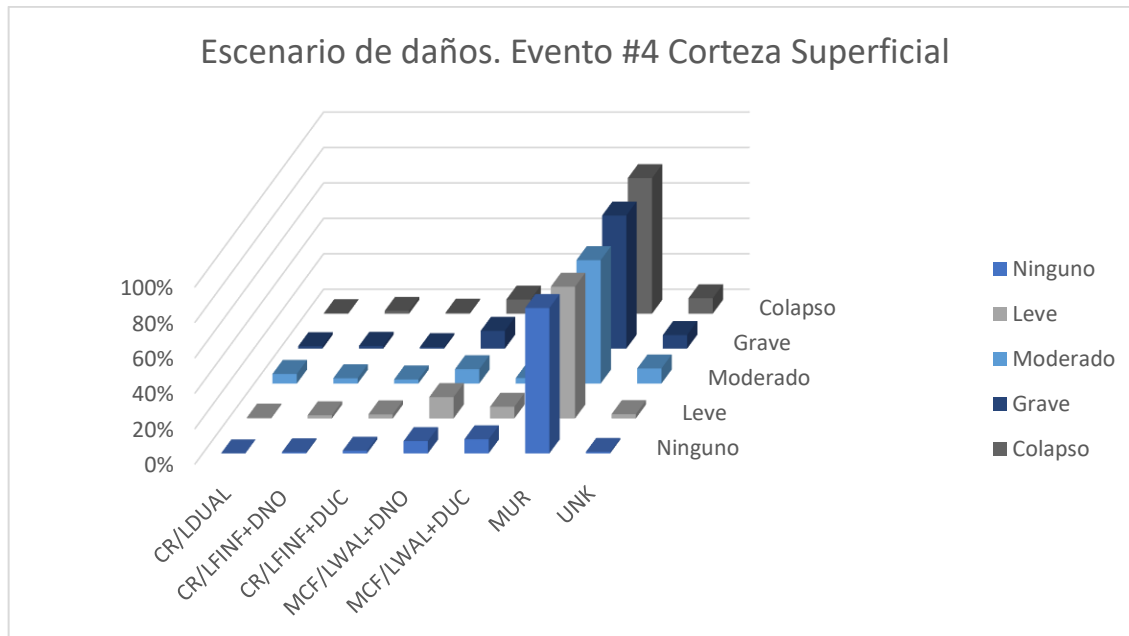


Figura 9.7 Distribución de daños de edificios por tipología E4

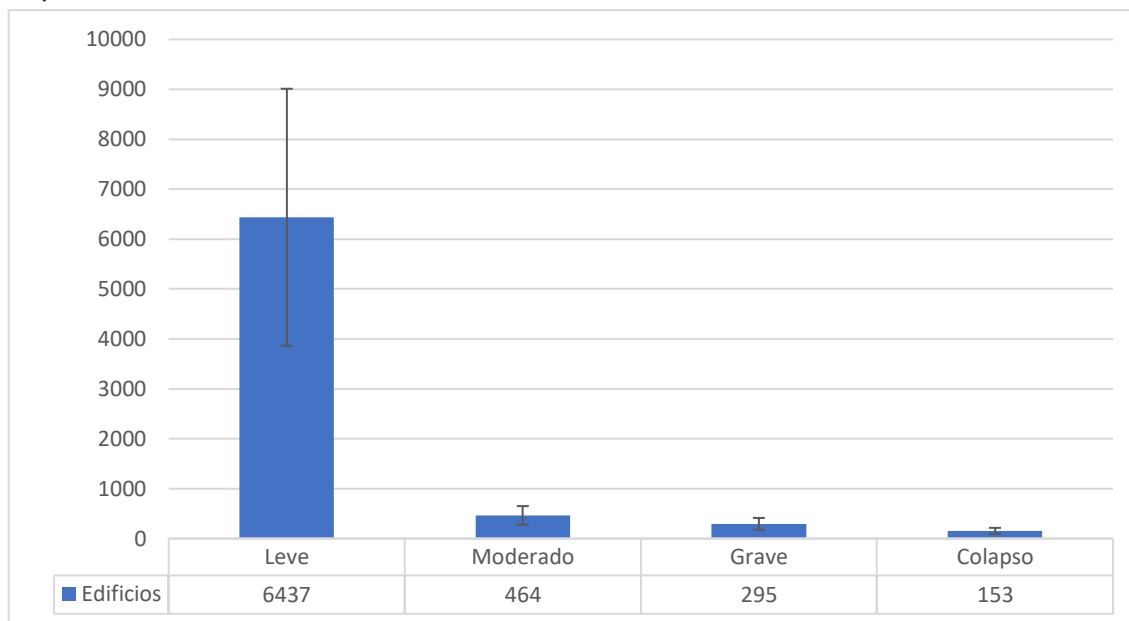


Figura 9.8 Cantidad de edificios afectados por el sismo E4

Tabla 9.18 Perdidas económicas por cada tipología Millones de COP E4

Tipología	Perdidas
CR/LDUAL	\$21,097
CR/LFINF+DNO	\$17,967
CR/LFINF+DUC	\$31,210
MCF/LWAL+DNO	\$69,158
MCF/LWAL+DUC	\$34,306
MUR	\$126,764
UNK	\$10,020
TOTAL	\$310,522

9.6. EVENTO #5 SUBDUCCIÓN INTRAPLACA.

Tabla 9.19 Distribución de daños de edificios por tipología E5

Evento #5. Subducción Intraplaca					
Tipología	Ninguno	Leve	Moderado	Grave	Colapso
CR/LDUAL	0%	1%	5%	1%	0%
CR/LFINF+DNO	1%	2%	5%	6%	5%
CR/LFINF+DUC	1%	6%	13%	9%	6%
MCF/LWAL+DNO	7%	15%	14%	21%	20%

Evento #5. Subducción Intraplaca					
Tipología	Ninguno	Leve	Moderado	Grave	Colapso
MCF/LWAL+DUC	8%	10%	5%	6%	10%
MUR	84%	63%	44%	43%	37%
UNK	1%	4%	14%	14%	22%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

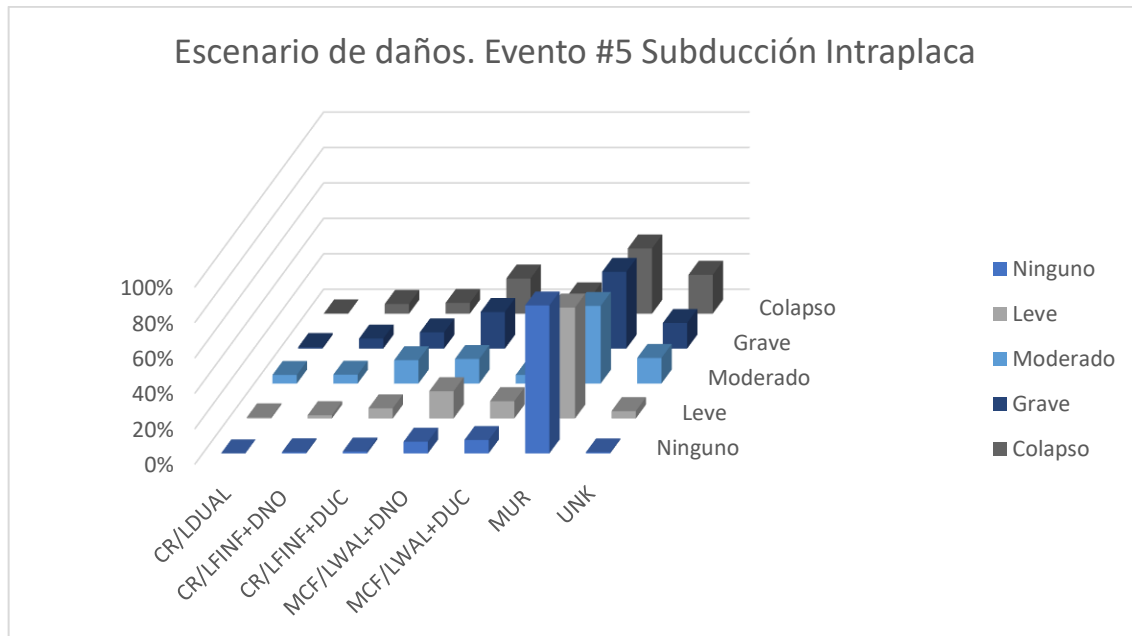


Figura 9.9 Distribución de daños de edificios por tipología E5

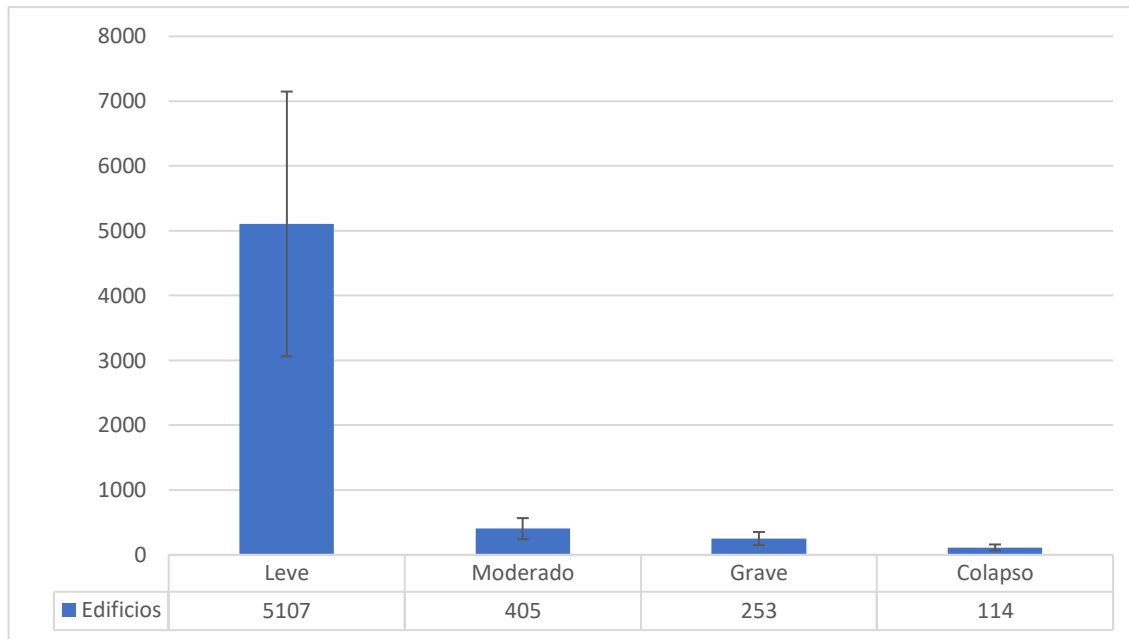


Figura 9.10 Cantidad de edificios afectados por el sismo E5

Tabla 9.20 Perdidas económicas por cada tipología Millones de COP E5

Tipología	Perdidas
CR/LDUAL	\$12,057
CR/LFINF+DNO	\$9,724
CR/LFINF+DUC	\$15,095
MCF/LWAL+DNO	\$25,642
MCF/LWAL+DUC	\$9,634
MUR	\$37,379
UNK	\$4,908
TOTAL	\$114,439

9.7. EVENTO #6 SUBDUCCIÓN INTRAPLACA.

Tabla 9.21 Distribución de daños de edificios por tipología E6

Evento #6 Subducción Intraplaca					
	Ninguno	Leve	Moderado	Grave	Colapso
CR/LDUAL	0%	0%	2%	1%	0%
CR/LFINF+DNO	1%	1%	3%	2%	2%
CR/LFINF+DUC	1%	3%	5%	3%	1%

Evento #6 Subducción Intraplaca					
	Ninguno	Leve	Moderado	Grave	Colapso
MCF/LWAL+DNO	7%	10%	12%	14%	11%
MCF/LWAL+DUC	8%	7%	6%	7%	7%
MUR	83%	76%	66%	68%	75%
UNK	1%	2%	6%	5%	4%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

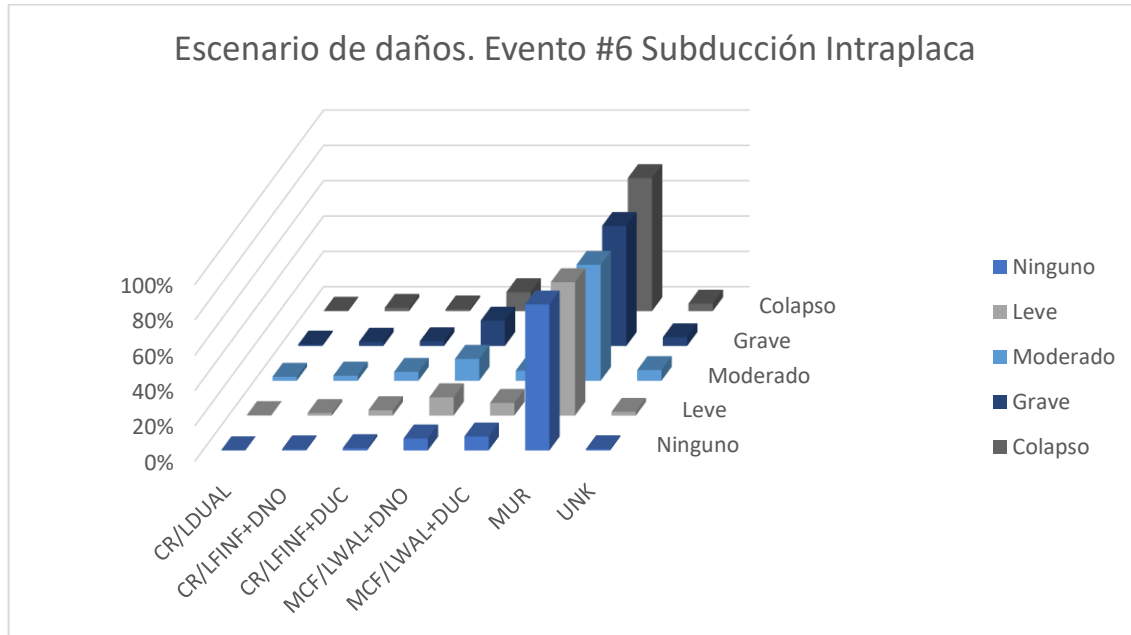


Figura 9.11 Distribución de daños de edificios por tipología E6

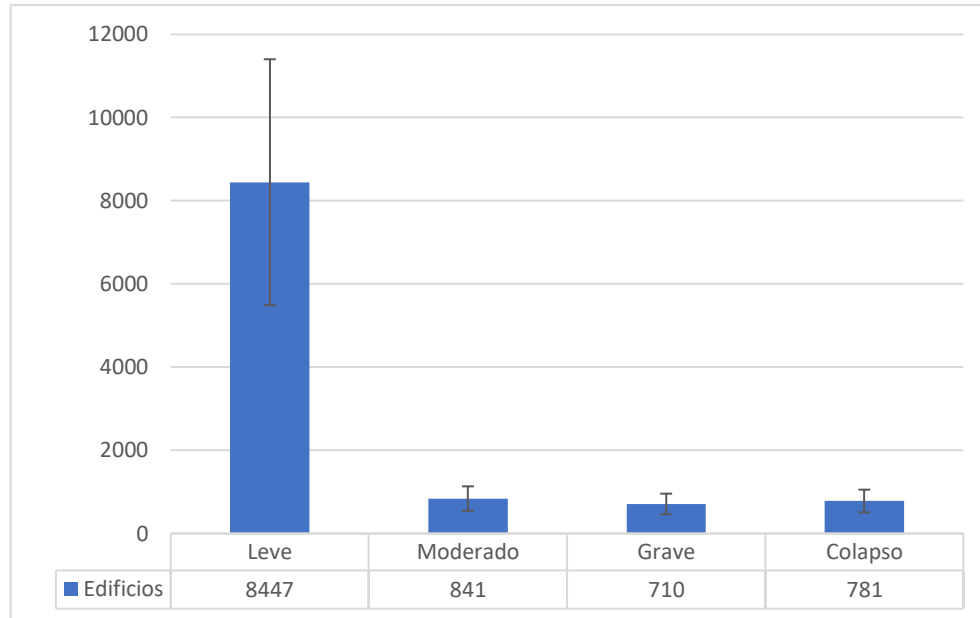


Figura 9.12 Cantidad de edificios afectados por el sismo E6

Tabla 9.22 Perdidas económicas por cada tipología Millones de COP E6

Tipología	Perdidas
CR/LDUAL	\$16,110
CR/LFINF+DNO	\$9,259
CR/LFINF+DUC	\$15,526
MCF/LWAL+DNO	\$46,617
MCF/LWAL+DUC	\$26,935
MUR	\$142,656
UNK	\$4,931
TOTAL	\$262,033

9.8. EVENTO #7 SUBDUCCIÓN INTRAPLACA.

Tabla 9.23 Distribución de daños de edificios por tipología E7

Evento#7 Subducción Intraplaca					
	Ninguno	Leve	Moderado	Grave	Colapso
CR/LDUAL	0%	1%	6%	1%	0%
CR/LFINF+DNO	1%	3%	11%	10%	5%
CR/LFINF+DUC	1%	13%	21%	13%	7%
MCF/LWAL+DNO	7%	21%	12%	25%	23%

Evento#7 Subducción Intraplaca					
	Ninguno	Leve	Moderado	Grave	Colapso
MCF/LWAL+DUC	8%	8%	3%	5%	10%
MUR	82%	45%	26%	25%	27%
UNK	1%	8%	21%	22%	29%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

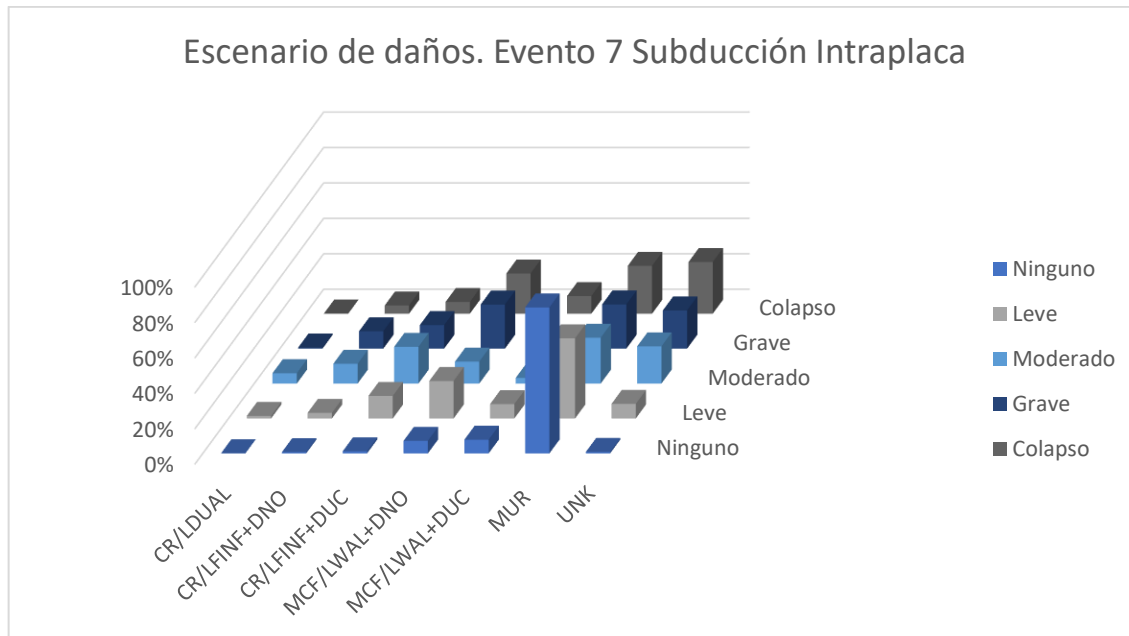


Figura 9.13 Distribución de daños de edificios por tipología E7

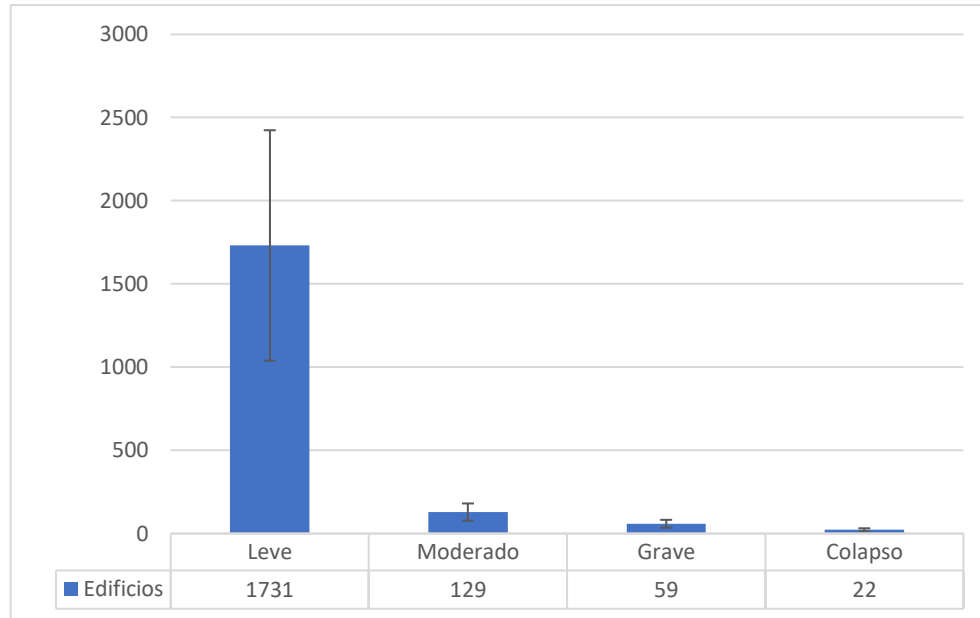


Figura 9.14 Cantidad de edificios afectados por el sismo E7

Tabla 9.24 Perdidas económicas por cada tipología Millones de COP E7

Tipología	Perdidas
CR/LDUAL	\$5,725
CR/LFINF+DNO	\$4,752
CR/LFINF+DUC	\$7,150
MCF/LWAL+DNO	\$9,280
MCF/LWAL+DUC	\$2,214
MUR	\$9,316
UNK	\$1,914
TOTAL	\$40,352

9.9. EVENTO #8 SUBDUCCIÓN INTRAPLACA.

Tabla 9.25 Distribución de daños de edificios por tipología E8

Evento #8 Subducción Intraplaca					
Tipología	Ninguno	Leve	Moderado	Grave	Colapso
CR/LDUAL	0%	0%	3%	1%	0%
CR/LFINF+DNO	1%	2%	3%	2%	2%
CR/LFINF+DUC	1%	3%	4%	2%	1%
MCF/LWAL+DNO	7%	11%	12%	13%	9%

Evento #8 Subducción Intraplaca					
Tipología	Ninguno	Leve	Moderado	Grave	Colapso
MCF/LWAL+DUC	8%	7%	5%	5%	5%
MUR	82%	74%	67%	71%	79%
UNK	1%	3%	7%	5%	4%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

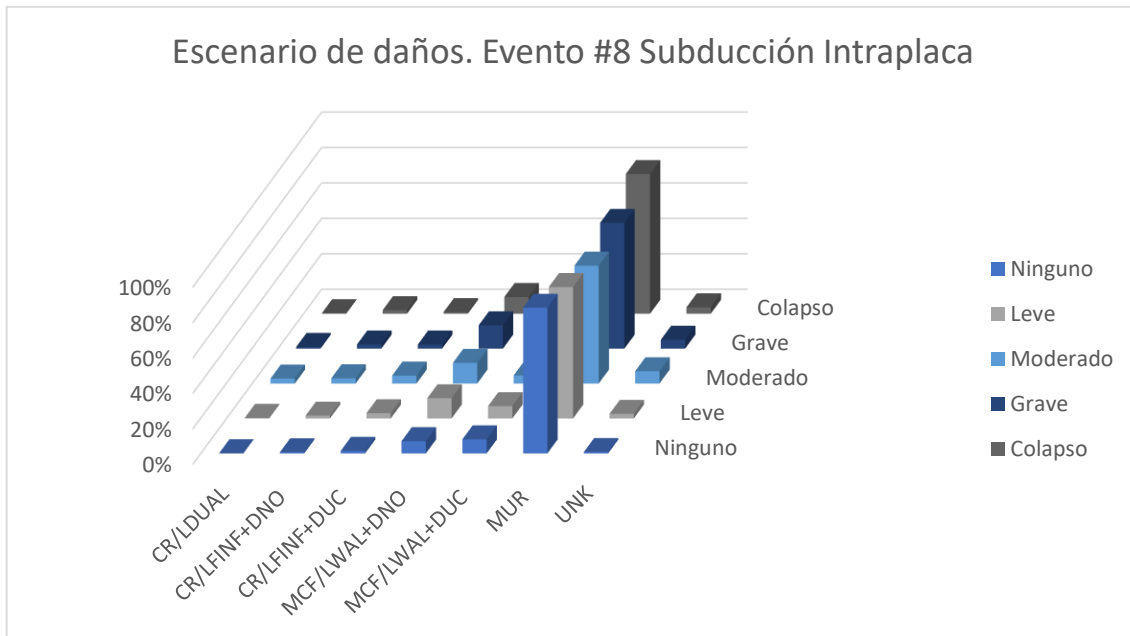


Figura 9.15 Distribución de daños de edificios por tipología E8

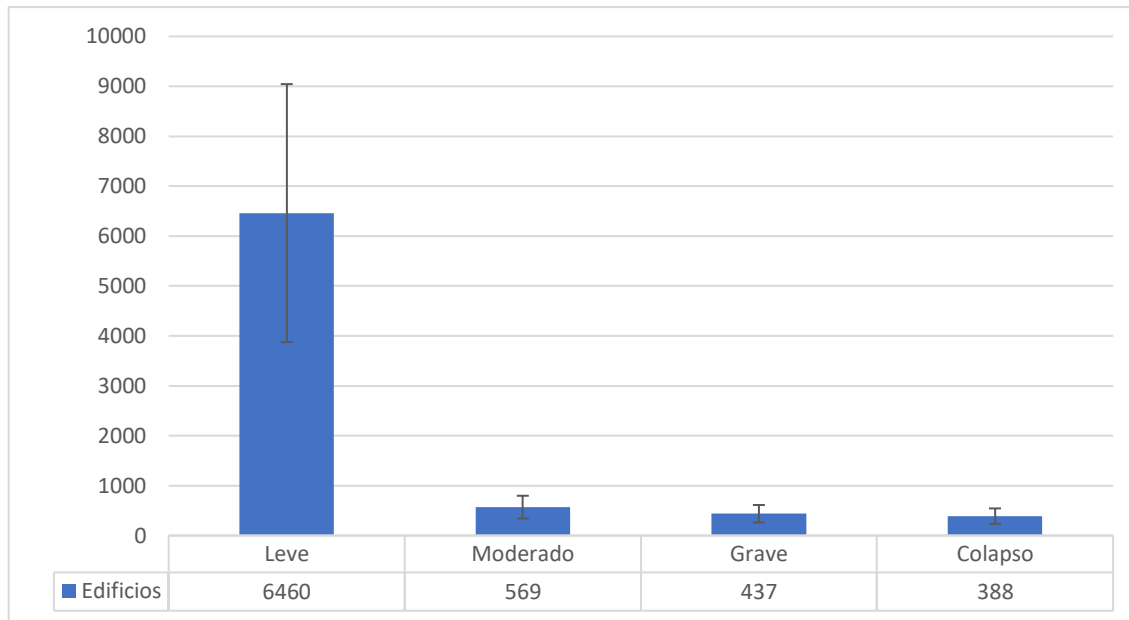


Figura 9.16 Cantidad de edificios afectados por el sismo E8

Tabla 9.26 Perdas económicas por cada tipología Millones de COP E8

Tipología	Perdas
CR/LDUAL	\$13,512
CR/LFINF+DNO	\$5,852
CR/LFINF+DUC	\$9,198
MCF/LWAL+DNO	\$26,987
MCF/LWAL+DUC	\$13,279
MUR	\$94,055
UNK	\$2,962
TOTAL	\$165,845

9.10. EVENTO #9 SUBDUCCIÓN INTRAPLACA.

Tabla 9.27 Distribución de daños de edificios por tipología E9

Evento #9 Subducción Intraplaca					
Tipología	Ninguno	Leve	Moderado	Grave	Colapso
CR/LDUAL	0%	0%	4%	1%	0%
CR/LFINF+DNO	1%	2%	3%	2%	2%

Evento #9 Subducción Intraplaca					
Tipología	Ninguno	Leve	Moderado	Grave	Colapso
CR/LFINF+DUC	1%	3%	4%	2%	1%
MCF/LWAL+DNO	7%	12%	10%	12%	9%
MCF/LWAL+DUC	8%	6%	4%	4%	4%
MUR	82%	73%	68%	74%	81%
UNK	1%	3%	8%	5%	3%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

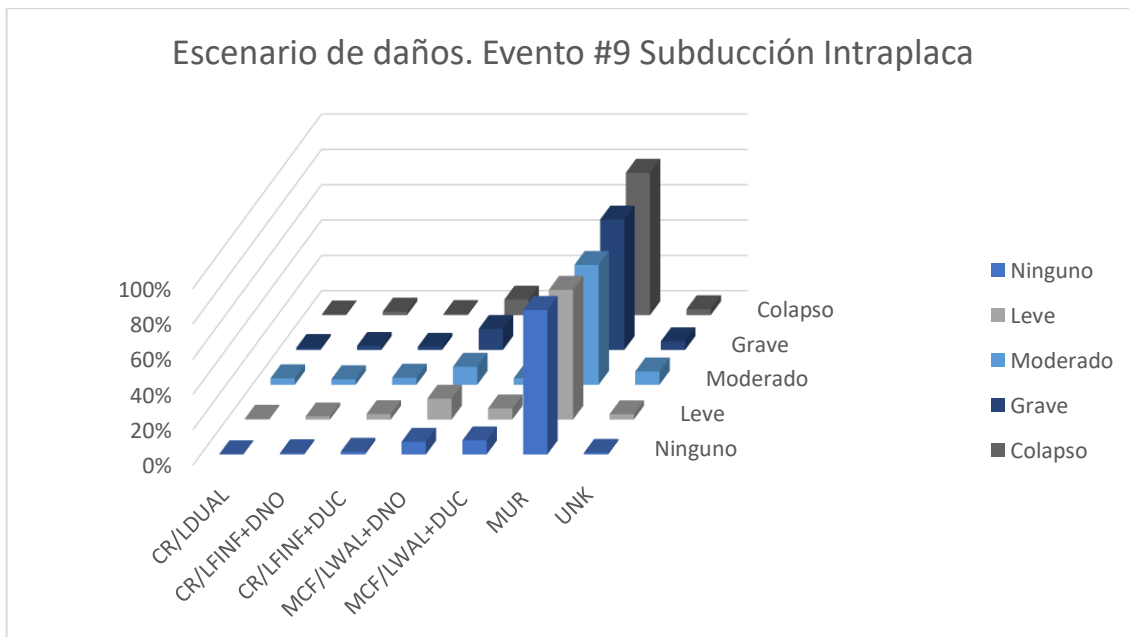


Figura 9.17 Distribución de daños de edificios por tipología E9

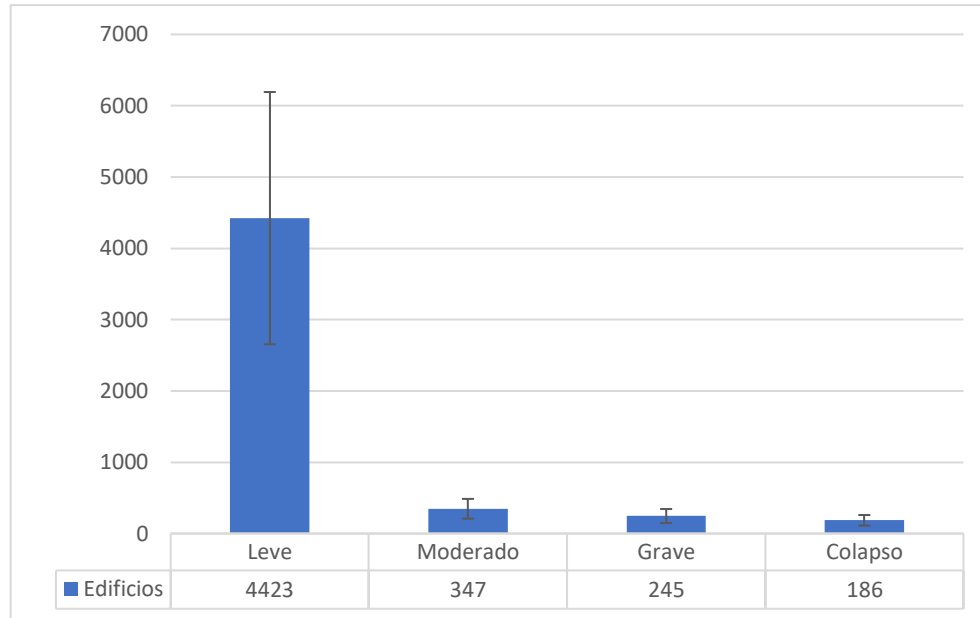


Figura 9.18 Cantidad de edificios afectados por el sismo E9

Tabla 9.28 Perdidas económicas por cada tipología Millones de COP E9

Tipología	Perdidas
CR/LDUAL	\$10,359
CR/LFINF+DNO	\$3,452
CR/LFINF+DUC	\$5,038
MCF/LWAL+DNO	\$15,110
MCF/LWAL+DUC	\$6,682
MUR	\$56,526
UNK	\$1,739
TOTAL	\$98,906

9.11. EVENTO #10 SUBDUCCIÓN INTRAPLACA.

Tabla 9.29 Distribución de daños de edificios por tipología E10

Evento #10 Subducción Intraplaca					
Tipología	Ninguno	Leve	Moderado	Grave	Colapso
CR/LDUAL	0%	0%	3%	1%	0%
CR/LFINF+DNO	1%	2%	3%	2%	2%
CR/LFINF+DUC	1%	3%	4%	2%	1%
MCF/LWAL+DNO	7%	12%	11%	12%	9%

Evento #10 Subducción Intraplaca					
Tipología	Ninguno	Leve	Moderado	Grave	Colapso
MCF/LWAL+DUC	8%	7%	4%	5%	5%
MUR	82%	73%	67%	72%	79%
UNK	1%	3%	8%	5%	4%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

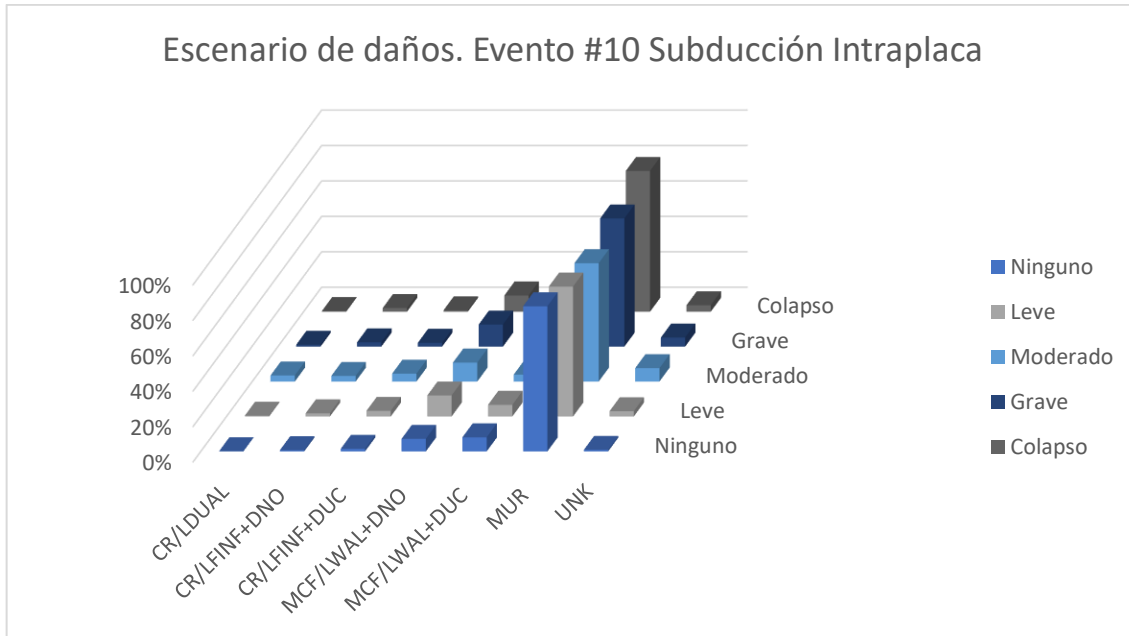


Figura 9.19 Distribución de daños de edificios por tipología E10

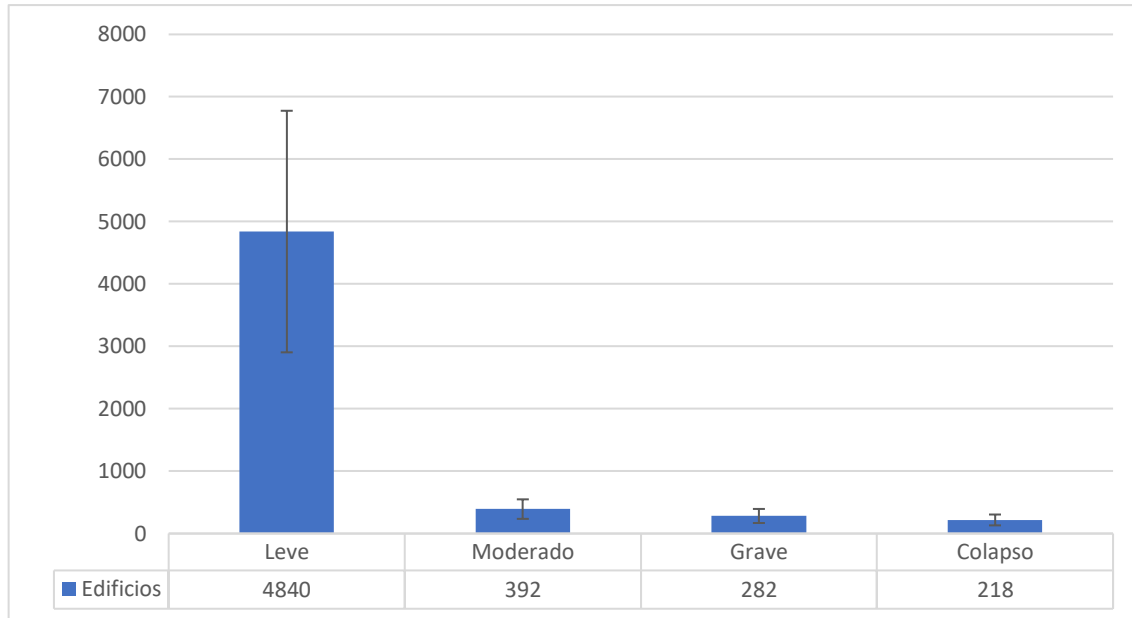


Figura 9.20 Cantidad de edificios afectados por el sismo E10

Tabla 9.30 Perdidas económicas por cada tipología Millones de COP E10

Tipología	Perdidas
CR/LDUAL	\$10,940
CR/LFINF+DNO	\$4,119
CR/LFINF+DUC	\$6,278
MCF/LWAL+DNO	\$17,642
MCF/LWAL+DUC	\$7,978
MUR	\$63,026
UNK	\$2,028
TOTAL	\$112,009

9.12. EVENTO #11 CORTEZA SUPERFICIAL

Tabla 9.31 Distribución de daños de edificios por tipología E11

Evento #11 Corteza Superficial					
	Ninguno	Leve	Moderado	Grave	Colapso
CR/LDUAL	0%	1%	4%	1%	0%
CR/LFINF+DNO	1%	3%	8%	8%	10%

Evento #11 Corteza Superficial					
	Ninguno	Leve	Moderado	Grave	Colapso
CR/LFINF+DUC	1%	11%	22%	17%	11%
MCF/LWAL+DNO	7%	14%	10%	16%	16%
MCF/LWAL+DUC	8%	6%	3%	3%	5%
MUR	82%	60%	42%	47%	50%
UNK	1%	5%	11%	8%	8%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

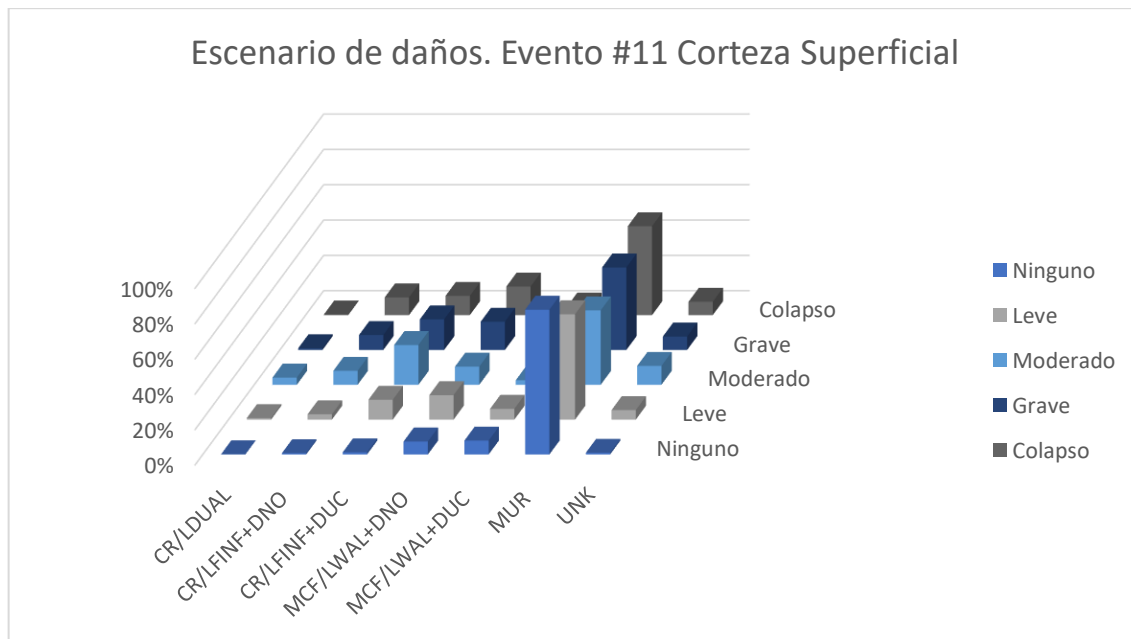


Figura 9.21 Distribución de daños de edificios por tipología E11

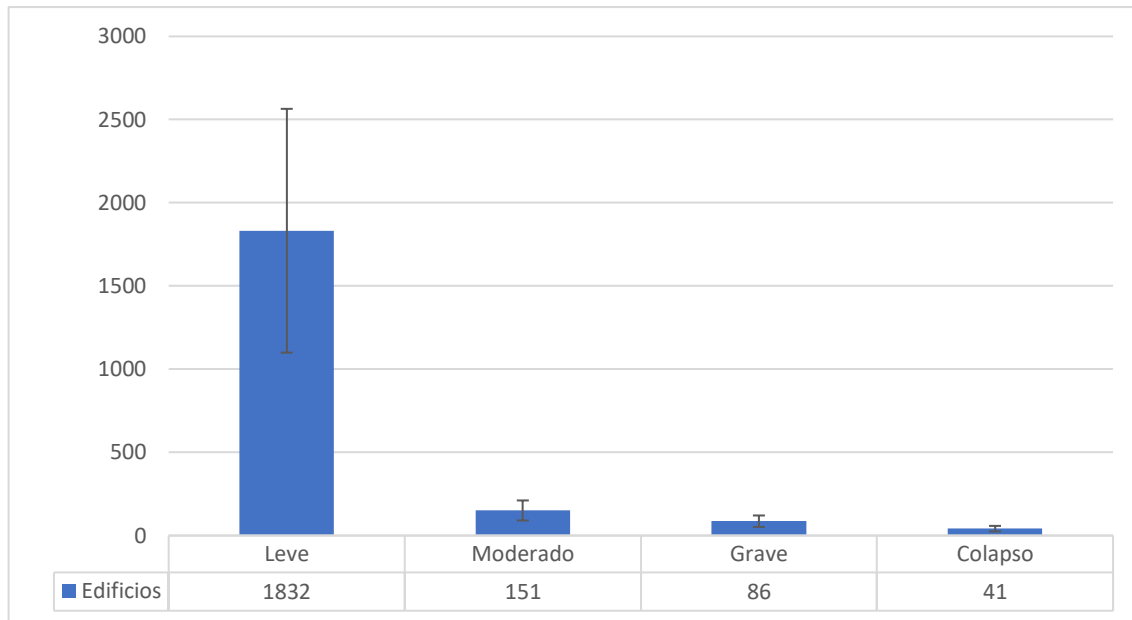


Figura 9.22 Cantidad de edificios afectados por el sismo E11

Tabla 9.32 Perdidas económicas por cada tipología Millones de COP E11

Tipología	Perdidas
CR/LDUAL	\$4,739
CR/LFINF+DNO	\$6,164
CR/LFINF+DUC	\$12,065
MCF/LWAL+DNO	\$8,789
MCF/LWAL+DUC	\$2,286
MUR	\$14,179
UNK	\$1,012
TOTAL	\$49,235

10. REFERENCIAS

Gonzales, D. (2017). MODELO DE EXPOSICIÓN SÍSMICA DE VIVIENDAS DE MEDELLÍN Trabajo. Universidad EAFIT.

Acevedo, A. B., & Silva, V. (2016). Seismic Risk Assessment for Colombian main cities: Bogota , Medellin and Cali.

Allen, T.I., and Wald, D.J., 2007, Topographic slope as a proxy for global seismic site conditions (V_s^{30}) and amplification around the globe: U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1357, 69 P

Yamin. L. E.; Ghesquiere, F.; Cardona, O. D.; Ordaz, M. G. 2013. Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre: el caso de Bogotá, Colombia. Banco Mundial, Universidad de los Andes.

Grupo Sura. (2016). La Tierra Fuente de Riesgos y Oportunidades, (1), 1–48.

Paper, C. (2015). Aseguramiento colectivo voluntario en Manizales : Evaluación del riesgo sísmico con fines de transferencia, (May 2016). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3526.1604>

Eraso J. (2015). Cálculo del promedio de velocidad de onda de corte a 30 metros de profundidad (v_{s30}) en Colombia como una aproximación a la estimación de los efectos sísmicos de sitio a escala nacional.

JAVERIANA, I. G. U. (n.d.). Microzonificación sísmica preliminar de Barrancabermeja.

COMPETITICS. (2015). Impacto de la crisis del petróleo en la economía de Barrancabermeja, 3–4. Retrieved from https://docs.wixstatic.com/ugd/8d71c6_042a7ce289344c51a5d1ef2a7663d71b.pdf

Mauro Edwin Carvajal Gómez. (2016). Concepto del comportamiento Económico y Social.

Ghesquiere, F.; Mahul O. 2010. Financial Protection of the State Against Natural Disasters: A Primer. World Bank Research Working Paper 5429. Washington D. C.: Banco Mundial.