CLASIFICADO

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
GOBIERNO SEGURIDAD Y CONVIVENCIA
Fondo de Prevención y Atención de Emergencias

Certificado
GP 137-1

Certificado
SC 6593-1

Certificado
CO-SC 6593-1

EVALUACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO SÍSMICO DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ

INFORME FINAL

ORIGINAL

ÁREA TÉCNICA Y DE GESTIÓN

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

GRUPO DE ESCENARIO DE DAÑOS

DICIEMBRE DE 2011

Nota especial: De acuerdo con el artículo 20 de la ley 23 de 1982, los Derechos de Autor pertenecen al FOPAE. La solicitud de reproducir éste documento parcial o totalmente, se debe dirigir por escrito al Director del FOPAE

Diagonal 47 No. 77A -09 Interior 11 - Conmutador: 4292801 Fax. 4292833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

GUILLERMO ESCOBAR CASTRO
Director

DARWIN JAVIER ORTIZ
Subdirector Área Técnica y de Gestión

LINDON LOSADA
Coordinación de Investigación y Desarrollo

Coordinación del estudio
FERNANDO JAVIER DÍAZ PARRA
Responsable de Escenarios de Daños

Elaborado por:
ANDREI TORRES ACOSTA

Revisado por:
FERNANDO JAVIER DÍAZ PARRA

RESUMEN

La Coordinación de Investigación y Desarrollo del Fondo de Prevención y Atención de Emergencias (FOPAE), tiene a cargo adelantar diferentes actividades para la Gestión Integral del Riesgo, específicamente en la componente de Identificación del Riesgo se realizan estudios técnicos que mejoren nuestro conocimiento frente a las amenazas naturales y antrópicas no intencionales.

El plan de acción de 2011 contempla la ejecución de un estudio técnico con el objetivo de establecer un marco conceptual y un modelo de análisis del riesgo sísmico desde una perspectiva holística, considerando no solamente los daños físicos y las afectaciones probables sino también las condiciones relacionadas con la fragilidad social y capacidad de recuperación (resiliencia), que permitan evaluar integralmente el riesgo sísmico de la ciudad y así fortalecer la construcción de estrategias de gestión del riesgo sísmico.

CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 1

1.1 CONTEXTO 1

1.2 ANTECEDENTES Y ESTUDIOS PREVIOS 1

1.3 MOTIVACIÓN 1

1.4 OBJETIVOS 2

1.4.1 Objetivo General 2

1.4.2 Objetivos específicos 2

1.5 ALCANCE 2

1.6 LIMITACIONES 2

1.7 CONTENIDO DEL ESTUDIO 3

2 REVISIÓN CONCEPTUAL Y METODOLÓGICA 4

2.1 ENFOQUES CONCEPTUALES PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO 4

2.1.1 El enfoque tecnocrático 4

2.1.2 El enfoque de la complejidad 4

2.1.3 El enfoque estructural 4

2.2 ANTECEDENTES DE EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO 6

2.2.1 Evaluación de la amenaza sísmica 6

2.2.2 Evaluación de la exposición (escenarios de daño por sismo) 6

2.3 EVALUACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO SÍSMICO 7

2.3.1 Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistema dinámicos complejos (Cardona, 2001) 8

2.3.2 Técnicas innovadoras para la evaluación del riesgo sísmico y su gestión en centros urbanos (Carreño, 2006) 9

2.4 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO Y LA EFECTIVIDAD EN LA GESTIÓN DEL RIESGO (IDB-IDEA-ERN, 2008) 11

3 METODOLOGÍA 12

3.1 MARCO LÓGICO 12

3.1.1 Aproximación teórica 13

3.1.2 Aproximación práctica 14

3.2 PROPUESTA METODOLÓGICA 15

3.2.1 Enfoque conceptual 15

3.2.2 Metodología de evaluación 16

3.2.3 Descriptores e indicadores de riesgo 17

3.2.4 Funciones y parámetros de normalización de los descriptores 18

3.2.5 Evaluación de los coeficientes de ponderación para los indicadores de exposición y susceptibilidad física 20

4 EVALUACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO SÍSMICO 21

4.1 ÍNDICE DE RIESGO FÍSICO POR SISMO R_F 21

4.1.1 Resultados para los descriptores de exposición y susceptibilidad física del Escenario de Amenaza Sísmica 1 22

4.1.2 Resultados para los descriptores de exposición y susceptibilidad física del Escenario de Amenaza Sísmica 2 26

4.1.3 Resultados para los descriptores de exposición y susceptibilidad física del Escenario de Amenaza Sísmica 3 30

4.1.4 Resultados para los descriptores de exposición y susceptibilidad física del Escenario de Amenaza Sísmica 4 34

4.1.5 Evaluación de los indicadores de exposición y susceptibilidad física (funciones y parámetros de normalización de los descriptores) 38
4.1.6 Evaluación de los coeficientes de ponderación para los indicadores de exposición y susceptibilidad física 42
4.1.7 Resultado de la evaluación del índice de riesgo físico por sismo R_F 43
4.2 COEFICIENTE DE AGRAVAMIENTO F 54
4.2.1 Resultados para los descriptores de fragilidad socioeconómica 54
4.2.2 Resultados para los descriptores de resiliencia 55
4.2.3 Evaluación de los indicadores de fragilidad social y económica y resiliencia (funciones y parámetros de normalización de los descriptores) 58
4.2.4 Resultado de la evaluación del índice de fragilidad socioeconómica y resiliencia 62

5 RIESGO TOTAL POR SISMO R_t 68
5.1 RESULTADO DE LA EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE RIESGO TOTAL POR SISMO POR LOCALIDAD 68
5.2 RESULTADO DE LA EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE RIESGO TOTAL POR SISMO POR UPZ 68

6 CONCLUSIONES 79
6.1 ENFOQUE Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN 79
6.2 EXPOSICIÓN FÍSICA (ÍNDICE DE RIESGO FÍSICO POR SISMO) 79
6.3 FRAGILIDAD SOCIOECONÓMICA Y RESILIENCIA 81
6.4 ÍNDICE DE RIESGO TOTAL POR SISMO 82
6.5 RECOMENDACIONES 85

7 REFERENCIAS 87

ANEXOS

Anexo 1. Inventario de indicadores de riesgo y funciones de transformación empleados por diferentes metodologías de evaluación de vulnerabilidad y riesgo.

Anexo 2. Documentación de los descriptores propuestos para la evaluación de la exposición física, fragilidad socioeconómica y resiliencia.

Anexo 3. Descriptores, funciones de transformación, indicadores, matrices de evaluación de factores de ponderación y resultados de exposición física y de la población (índice de riesgo físico por sismo)

Anexo 4. Descriptores, funciones de transformación, indicadores matrices de evaluación de factores de ponderación y resultados de fragilidad socioeconómica de la población (índice fragilidad socioeconómica e índice de resiliencia)

Anexo 5. Resultados de los índices de riesgo total por sismo

FIGURAS

Figura 2.1. Metodología de evaluación del Índice de Riesgo Sísmico Urbano (Cardona, 2001) 9
Figura 2.2. Metodología de evaluación del Índice de Riesgo Total (Carreño, 2006) 10
Figura 2.3. Resultados Índice de Riesgo por Sismo para la ciudad de Bogotá (Carreño, 2006) 10
Figura 3.1. Marco lógico para la construcción de la metodología propuesta (adaptado de Botero, 2009) 12
Figura 3.2. Enfoque conceptual de evaluación holística del riesgo (Carreño, 2006) 16
Figura 4.1. Procedimiento de evaluación del Índice de Riesgo Físico R_F, Coeficiente de Agravamiento e Índice de Riesgo Sísmico Total R_T 21
Figura 4.2. Descriptores de exposición física para el Escenario de Amenaza Sísmica 1 (1 de 2)....24
Figura 4.3. Descriptores de exposición física para el Escenario de Amenaza Sísmica 1 (2 de 2)....25
Figura 4.4. Descriptores de exposición de la población para el escenario de amenaza sísmica 1....26
Figura 4.5. Descriptores de exposición física para el Escenario de Amenaza Sísmica 2 (1 de 2)....28
Figura 4.6. Descriptores de exposición física para el Escenario de Amenaza Sísmica 2 (2 de 2)....29
Figura 4.7. Descriptores de exposición de la población para el escenario de amenaza sísmica 2....30
Figura 4.8. Descriptores de exposición física para el Escenario de Amenaza Sísmica 3 (1 de 2)....32
Figura 4.9. Descriptores de exposición física para el Escenario de Amenaza Sísmica 3 (2 de 2)....33
Figura 4.10. Descriptores de exposición de la población para el escenario de amenaza sísmica 3....34
Figura 4.11. Descriptores de exposición física para el Escenario de Amenaza Sísmica 4 (1 de 2)....36
Figura 4.12. Descriptores de exposición física para el Escenario de Amenaza Sísmica 4 (2 de 2)....37
Figura 4.13. Descriptores de exposición de la población para el escenario de amenaza sísmica 4....38
Figura 4.14. Función y parámetros de normalización para el descriptor área destruida de uso residencial XRF01....39
Figura 4.15. Índice de riesgo físico por localidad para el escenario de amenaza 1....44
Figura 4.16. Índice de riesgo físico por localidad para el escenario de amenaza 2....44
Figura 4.17. Índice de riesgo físico por localidad para el escenario de amenaza 3....45
Figura 4.18. Índice de riesgo físico por localidad para el escenario de amenaza 4....45
Figura 4.19. Índice de riesgo físico por localidad para el escenario de amenaza 1....46
Figura 4.20. Índice de riesgo físico por localidad para el escenario de amenaza 2....47
Figura 4.21. Índice de riesgo físico por localidad para el escenario de amenaza 3....48
Figura 4.22. Índice de riesgo físico por localidad para el escenario de amenaza 4....49
Figura 4.23. Índice de riesgo físico por UPZ para el escenario de amenaza 1....50
Figura 4.24. Índice de riesgo físico por UPZ para el escenario de amenaza 2....51
Figura 4.25. Índice de riesgo físico por UPZ para el escenario de amenaza 3....52
Figura 4.26. Índice de riesgo físico por UPZ para el escenario de amenaza 4....53

Figura 4.27. Descriptores de fragilidad social y económica de la población (1 de 2) 56
Figura 4.28. Descriptores de fragilidad social y económica de la población (2 de 2) 57
Figura 4.29. Descriptores de resiliencia (1 de 2) 59
Figura 4.30. Descriptores de resiliencia (2 de 2) 60
Figura 4.31. Índice de fragilidad social y económica por localidad 63
Figura 4.32. Índice de resiliencia por localidad 63
Figura 4.33. Índice de fragilidad social y económica por localidad 64
Figura 4.34. Índice de resiliencia por localidad 65
Figura 4.35. Índice de fragilidad social y económica por UPZ 66
Figura 4.36. Índice de resiliencia por UPZ 67
Figura 5.1. Índice de riesgo total por sismo por localidad para el escenario de amenaza 1 69
Figura 5.2. Índice de riesgo total por sismo por localidad para el escenario de amenaza 2 69
Figura 5.3. Índice de riesgo total por sismo por localidad para el escenario de amenaza 3 70
Figura 5.4. Índice de riesgo total por sismo por localidad para el escenario de amenaza 4 70
Figura 5.5. Índice de riesgo total por sismo por localidad para el escenario de amenaza 1 71
Figura 5.6. Índice de riesgo total por sismo por localidad para el escenario de amenaza 2 72
Figura 5.7. Índice de riesgo total por sismo por localidad para el escenario de amenaza 3 73
Figura 5.8. Índice de riesgo total por sismo por localidad para el escenario de amenaza 4 74
Figura 5.9. Índice de riesgo total por sismo por UPZ para el escenario de amenaza 1 75
Figura 5.10. Índice de riesgo total por sismo por UPZ para el escenario de amenaza 2 76
Figura 5.11. Índice de riesgo total por sismo por UPZ para el escenario de amenaza 3 77
Figura 5.12. Índice de riesgo total por sismo por UPZ para el escenario de amenaza 4 78

TABLAS

Tabla 3.1. Factores de riesgo, aspectos considerados y fuentes de información consultadas 15
Tabla 3.2. Descriptores de exposición y susceptibilidad física 17
Tabla 3.3. Descriptores de fragilidad socioeconómica y resiliencia 18
Tabla 3.4. Escala de calificación empleado en el PJA 20
Tabla 4.1. Escenarios de amenaza sísmica para la evaluación del Índice de Riesgo Físico R_F 22
Tabla 4.2. Funciones y parámetros empleados para la normalización de los descriptores de de exposición y susceptibilidad física 39
Tabla 4.3. Indicadores de exposición y susceptibilidad física por localidad para el escenario de amenaza sísmica 1 40
Tabla 4.4. Indicadores de exposición y susceptibilidad física por localidad para el escenario de amenaza sísmica 2 40
Tabla 4.5. Indicadores de exposición y susceptibilidad física por localidad para el escenario de amenaza sísmica 3 41
Tabla 4.6. Indicadores de exposición y susceptibilidad física por localidad para el escenario de amenaza sísmica 4 41
Tabla 4.7. Coeficiente de ponderación Wi de los indicadores de exposición y susceptibilidad física 42
Tabla 4.8. Matriz de comparación por pares para la evaluación de los coeficientes de ponderación de los indicadores de exposición y susceptibilidad física de la categoría área construida destruida 43
Tabla 4.9. Funciones y parámetros empleados para la normalización de los descriptores de fragilidad socioeconómica y resiliencia 60
Tabla 4.10. Indicadores de fragilidad socioeconómica por localidad 61
Tabla 4.11. Indicadores de resiliencia por localidad 61
Tabla 4.12. Coeficiente de ponderación Wi de los indicadores de exposición y susceptibilidad física 62
Tabla 6.1. Ranking de localidades según resultados del Índice de riesgo físico por sismo considerando los cuatro escenarios de amenaza sísmica 80
Tabla 6.2. UPZ que presentan los mayores índices de riesgo sísmico (percentil 90-100%) en los cuatro escenarios de amenaza sísmica considerados 81
Tabla 6.3. UPZ que presentan los menores índices de riesgo sísmico (0-10%) en los cuatro escenarios de amenaza sísmica considerados 81
Tabla 6.4. Ranking de localidades con menor fragilidad socioeconómica y resiliencia 82
Tabla 6.5. Ranking de UPZ con menor fragilidad socioeconómica y resiliencia (percentil 90-100%) 82
Tabla 6.6. Ranking de localidades según resultados del Índice de riesgo total por sismo considerando los cuatro escenarios de amenaza sísmica 83
Tabla 6.7. UPZ que presentan los mayores índices de riesgo total por sismo (percentil 90-100%) en los cuatro escenarios de amenaza sísmica considerados 84
Tabla 6.8. UPZ que presentan los menores índices de riesgo total por sismo (percentil 0-10%) en los cuatro escenarios de amenaza sísmica considerados 84

GLOSARIO

ADAPTABILIDAD: Capacidad o habilidad de un grupo social de ajustarse a cambios ambientales con fines de supervivencia y sostenibilidad.

AMENAZA ANTROPOGÉNICA O ANTRÓPICA: Un peligro latente generado por la actividad humana en la producción, distribución, transporte y consumo de bienes y servicios y la construcción y uso de edificios e infraestructura. Comprenden una gama amplia de peligros como lo son las distintas formas de contaminación de aguas, aire y suelos, los incendios, las explosiones, los derrames de sustancias tóxicas, los accidentes en los sistemas de transporte, la ruptura de presas de retención de agua, etc.

AMENAZA NATURAL: Un peligro latente asociado con la posible manifestación de un fenómeno físico cuyo génesis se encuentra totalmente en los procesos naturales de transformación y modificación del ambiente. Suele clasificarse de acuerdo con el origen del fenómeno que la caracteriza en: amenazas geodinámicas (endógenas o tectónicas, como sismos, erupciones volcánicas; o exógenas, como la remoción en masa y las subsidencias); hidrológicas (como inundaciones lentas o rápidas, sedimentación, erosión, desertificación); atmosféricas (como tormentas y otros fenómenos meteorológicos, u oceánico-atmosféricas como huracanes o El Niño); y biológicas (como vectores de enfermedad y plagas).

AMENAZA SOCIO NATURAL: Un peligro latente asociado con la posible manifestación de fenómenos físicos cuya existencia, intensidad o recurrencia se relaciona con procesos de degradación ambiental o de intervención humana en los ecosistemas naturales. Entre los múltiples ejemplos de este tipo de fenómeno se incluyen casos de inundación y deslizamiento que resultan de procesos de deforestación y deterioro de cuencas; erosión costera por la destrucción de manglares; y la falta de adecuados sistemas de drenaje de aguas pluviales en zonas urbanas. Las amenazas socio-naturales se crean en la intersección de la naturaleza con la acción humana y representan un proceso de conversión de recursos en amenazas. Los cambios en el ambiente y las nuevas amenazas que se generarán con el Cambio Climático Global son el ejemplo más notable de la noción de amenaza socio-natural. Algunos de estos fenómenos en ocasiones son resultado de procesos exclusivamente naturales, caso en el cual constituyen sólo una amenaza natural.

AMENAZA: Peligro latente que representa la posible manifestación de un fenómeno de origen natural, socio-natural (ver definición abajo) o antropogénico, que se anticipa puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes y servicios y/o el ambiente expuestos. Es un factor de riesgo externo que se expresa como la probabilidad de que un evento se presente con una cierta intensidad, en un sitio especifico y dentro de un periodo de tiempo definido.

ANÁLISIS DE RIESGO: Desde la perspectiva de los desastres, en su forma más simple es el postulado de que el riesgo es el resultado de relacionar la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios fenómenos peligrosos en un territorio y con referencia a grupos o unidades sociales y económicas particulares. Cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo en sí mismo, es decir, el total de pérdidas esperadas y las consecuencias en un área determinada. Análisis de amenazas y de vulnerabilidades componen facetas del análisis de riesgo y deben estar articulados con este propósito y no comprender actividades separadas e independientes. Un análisis de vulnerabilidad es imposible sin un análisis de amenazas y viceversa.

CAPACIDAD: Una combinación de todos los atributos y recursos de la comunidad u organización que pueden dirigirse positivamente hacía la gestión del riesgo.

DESARROLLO SOSTENIBLE: Proceso de transformaciones naturales, económico-sociales, culturales e institucionales, que tienen por objeto un aumento acumulativo y durable en la cantidad y calidad de bienes, servicios y recursos, unidos a cambios sociales tendientes a mejorar de forma equitativa la seguridad y la calidad de la vida humana y asegurar el mejoramiento de sus condiciones de vida, sin deteriorar el ambiente natural ni comprometer las bases de un desarrollo similar para las futuras generaciones.

DESASTRE: Situación o proceso social que se desencadena como resultado de la manifestación de un fenómeno de origen natural, socio-natural o antrópico que, al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en una población, en su producción e infraestructura, causa alteraciones intensas, graves y extendidas en las condiciones normales de funcionamiento del país, región, zona, o comunidad afectada, las cuales no pueden ser enfrentadas o resueltas de manera autónoma utilizando los recursos disponibles a la unidad social directamente afectada. Estas alteraciones están representadas de forma diversa y diferenciada por, entre otras cosas, la pérdida de vida y salud de la población; la destrucción, pérdida o inutilización total o parcial de bienes de la colectividad y de los individuos, así como daños severos en el ambiente, requiriendo de una respuesta inmediata de las autoridades y de la población para atender a los afectados y restablecer umbrales aceptables de bienestar y oportunidades de vida.

EFECTOS DIRECTOS: Aquellos que mantienen relación de causalidad directa e inmediata con la ocurrencia de un fenómeno físico, representados usualmente por el daño en las personas, infraestructuras, sistemas productivos, bienes y capitales, servicios y ambiente, y por el impacto inmediato en las actividades sociales y económicas.

EFECTOS INDIRECTOS: Aquellos que mantienen relación de causalidad con los efectos directos, representados usualmente por impactos concatenados o posteriores sobre la población, sus actividades económicas y sociales o sobre el ambiente. Por ejemplo, pérdidas de oportunidades productivas e ingresos futuros, aumentos en los niveles de pobreza, aumentos en costos de transporte debido a la pérdida de puentes y caminos, etc.

ELEMENTOS EN RIESGO (EXPUESTOS): Es el contexto social y material representado por las personas y por los recursos, producción, infraestructura, bienes, servicios y ecosistemas que pueden ser afectados directamente por un fenómeno físico.

EMERGENCIA: Estado caracterizado por la alteración o interrupción intensa y grave de las condiciones normales de funcionamiento u operación de una comunidad, zona o región, causada por un fenómeno o por la inminencia del mismo, que requiere de una reacción inmediata y exige la atención de las instituciones del Estado, los medios de comunicación y de la comunidad en general. Representa la fase inmediata después del impacto de un fenómeno físico peligroso cuando las condiciones mínimas necesarias para la supervivencia y funcionamiento de la unidad social afectada no se satisfacen. Constituye una fase o componente de una condición de desastre pero no es, per se, una noción sustitutiva de desastre. Puede haber condiciones de emergencia sin un desastre.

ESCENARIOS DE RIESGO: Un análisis, presentado en forma escrita, cartográfica o diagramada, utilizando técnicas cuantitativas y cualitativas, y basado en métodos participativos, de las condiciones, causas y las dimensiones del riesgo que afecta a territorios y grupos sociales determinados. Significa una consideración pormenorizada de las amenazas y vulnerabilidades, de los procesos sociales causales del riesgo y de los actores sociales que contribuyen a las condiciones de riesgo existentes. Como metodología ofrece una base para la toma de decisiones sobre la intervención del riesgo; lo que supera la simple estimación de diferentes escenarios de consecuencias o efectos potenciales en un área geográfica.

EVALUACIÓN DE DAÑOS: Existen algunas diferencias en las metodologías utilizadas en la evaluación del daño (definición de la intensidad y extensión del daño, evaluación global de daño o evaluación de daños de componentes individuales, etc.). Una vez definido el daño los evaluadores deben identificar cuál es el nivel de daño apropiado para el edificio inspeccionado.

EVALUACIÓN DE LA AMENAZA: Es el proceso mediante el cual se determina la posibilidad de que un fenómeno físico se manifieste, con un determinado grado de severidad, durante un período de tiempo definido y en un área determinada. Representa la recurrencia estimada y la ubicación geográfica de eventos probables.

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD: Proceso mediante el cual se determina el grado de susceptibilidad y predisposición al daño o pérdida de un elemento o grupo de elementos expuestos ante una amenaza particular y los factores y contextos que pueden impedir o dificultar de manera importante la recuperación, rehabilitación y reconstrucción con los recursos disponibles en la unidad social afectada.

GESTIÓN DE RIESGOS: Proceso social complejo que conduce al planeamiento y aplicación de políticas, estrategias, instrumentos y medidas de intervención orientadas a impedir, reducir, prever y controlar los efectos adversos de fenómenos peligrosos sobre la población, la infraestructura, los sistemas productivos, los bienes y servicios y el ambiente. Acciones integradas de reducción, previsión y control de riesgos y los factores particulares de riesgo a través de actividades de

prevención, mitigación, preparación para, y atención de emergencias y desastres y la rehabilitación, reconstrucción y recuperación post-impacto.

HOLISMO: Doctrina que propugna la concepción de cada realidad como un todo distinto de la suma de las partes que lo componen.

INTERVENCIÓN CORRECTIVA: Proceso que pretende reducir los niveles de riesgo existentes en la sociedad o en un sub-componente de la sociedad, producto de procesos históricos de ocupación del territorio, de fomento a la producción y la construcción de infraestructuras y edificaciones, entre otras cosas. Reacciona a, y compensa el riesgo ya construido en la sociedad. Ejemplos de acciones o instrumentos de la gestión correctiva incluyen la construcción de diques para proteger poblaciones ubicadas en las zonas de inundación, el refuerzo de edificios para dotarlos de niveles adecuados de protección sismo resistente o contra huracanes, cambios en el patrón de cultivos para adecuarse a condiciones ambientales adversas, reforestación de cuencas para disminuir procesos de erosión, deslizamiento e inundación.

INTERVENCIÓN PROSPECTIVA: Significa la anticipación o previsión de riesgos futuros que pueden asociarse con nuevos procesos de desarrollo e inversión, tomando las medidas para garantizar que nuevos factores de riesgo no surjan con las iniciativas o proyectos de construcción, producción, circulación, comercialización, etc. La intervención prospectiva debe verse como un componente integral de la planificación del desarrollo y del ciclo de planificación de nuevos proyectos, sean estos desarrollados por gobierno, sector privado o sociedad civil. El objetivo último de este tipo de intervención es evitar nuevos riesgos, garantizar adecuados niveles de sostenibilidad de las inversiones, y así evitar tener que aplicar medidas costosas de intervención correctiva en el futuro.

LÍNEAS (REDES) VITALES: Infraestructura básica o esencial. Energía: presas, subestaciones, líneas de fluido eléctrico, plantas de almacenamiento de combustibles, oleoductos, gasoductos. Transporte: redes viales, puentes, terminales de transporte, aeropuertos, puertos fluviales y marítimos. Agua: plantas de tratamiento, acueductos, alcantarillados, canales de irrigación y conducción. Comunicaciones: redes y plantas telefónicas, estaciones de radio y televisión, oficinas de correo e información pública.

MITIGACIÓN DE RIESGOS: Planificación y ejecución de medidas de intervención dirigidas a reducir o disminuir el riesgo existente. La mitigación asume que en muchas circunstancias no es posible, ni factible controlar el riesgo totalmente; es decir, que en muchos casos no es posible impedir o evitar totalmente los daños y sus consecuencias sino más bien reducirlos a niveles aceptables y factibles. La mitigación de riesgos puede operar en el contexto de la reducción o eliminación de riesgos existentes, o aceptar estos riesgos y, a través de los preparativos, los sistemas de alerta (temprana), etc. buscar disminuir las pérdidas y daños que ocurrirían con la incidencia de un evento peligroso.

PÉRDIDA: Valor adverso de orden económico, social o ambiental alcanzado por una variable durante un tiempo de exposición específico.

PLAN DE CONTINGENCIA: Procedimientos operativos específicos y preestablecidos de coordinación, alerta, movilización y respuesta ante la manifestación o la inminencia de un fenómeno peligroso particular para el cual se tienen escenarios definidos.

PLAN DE EMERGENCIAS: Definición de funciones, responsabilidades y procedimientos generales de reacción y alerta institucional, inventario de recursos, coordinación de actividades operativas y capacitación a través de ejercicios de simulación y revisión de procedimientos, con el fin de salvaguardar la vida, proteger los bienes y recobrar la normalidad tan pronto como sea posible después de que se presente un fenómeno peligroso.

PLAN DE GESTIÓN DE RIESGOS: Conjunto coherente y ordenado de estrategias, programas y proyectos, que se formula para orientar las actividades de reducción, previsión y control de riesgos, la preparación para la atención de la emergencia y la recuperación en caso de desastre. Al garantizar condiciones apropiadas de seguridad frente a los diversos riesgos existentes y disminuir las pérdidas materiales y consecuencias sociales que se derivan de los desastres, se mejora la calidad de vida de la población y se aumenta la sostenibilidad.

PREPARACIÓN (PREPARATIVOS): Medidas cuyo objetivo es organizar y facilitar los operativos para el efectivo y oportuno aviso, salvamento y rehabilitación de la población en caso de desastre. La preparación se lleva a cabo mediante la

organización y planificación de las acciones de alerta, evacuación, búsqueda, rescate, socorro y asistencia que deben realizarse en caso de emergencia.

PREVENCIÓN DE RIESGOS: Medidas y acciones dispuestas con anticipación que buscan prevenir nuevos riesgos o impedir que aparezcan. Significa trabajar en torno a amenazas y vulnerabilidades factibles. Visto de esta manera, la prevención de riesgos se refiere a la intervención prospectiva del Riesgo, mientras que la mitigación de riesgos se refiere a la intervención correctiva. Dado que la prevención absoluta rara vez es posible, la prevención tiene una connotación semiutópica y debe ser vista a la luz de consideraciones sobre el riesgo aceptable, el cual es socialmente determinado.

RECUPERACIÓN: Proceso de restablecimiento de condiciones adecuadas y sostenibles de vida mediante la rehabilitación, reparación, reconstrucción o reemplazo de la infraestructura, bienes y servicios destruidos, interrumpidos o deteriorados en el área afectada, y la reactivación o impulso del desarrollo económico y social de la comunidad.

REDUCCIÓN DE RIESGOS: Medidas de intervención correctivas y/o prospectivas dirigidas a cambiar o disminuir las condiciones de riesgo existente o de nuevos riesgos que se puedan generar. Son medidas de prevención-mitigación y preparación, que se adoptan en forma anticipada a la manifestación de un fenómeno físico con el fin de: a) evitar que se presente un fenómeno peligroso, reducir su peligrosidad o evitar la exposición de los elementos ante el mismo; b) disminuir sus efectos sobre la población, la infraestructura, los bienes y servicios y el ambiente, reduciendo la vulnerabilidad que exhiben.

RESILIENCIA: Capacidad de un ecosistema, sociedad o comunidad de absorber un impacto negativo o de recuperarse una vez haya sido afectada por un fenómeno peligroso.

RIESGO: Es la probabilidad que se presente un nivel de consecuencias económicas, sociales o ambientales en un sitio particular y durante un período de tiempo definido. Se obtiene de relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

RESPUESTA: Etapa de la atención que corresponde a la ejecución de las acciones previstas en la etapa de preparación y que, en algunos casos, ya han sido antecedidas por actividades de alistamiento y movilización, motivadas por la declaración de diferentes estados de alerta. Corresponde a la reacción inmediata para la atención oportuna de la población.

SISMO: Es una transformación brusca de energía debido a que la energía de deformación acumulada en la litosfera se convierte súbitamente en energía cinética, ésta se manifiesta por medio de movimientos ondulatorios que se trasmiten en el interior y en la superficie de la tierra. Aunque la energía se atenúa con la distancia, es absorbida por los edificios y, en caso de sismos severos, disipada.

SISTEMA DE GESTIÓN DE RIESGOS: Organización abierta, dinámica y funcional de instituciones y su conjunto de orientaciones, normas, recursos, programas y actividades de carácter técnico-científico, de planificación, de preparación para emergencias y de participación de la comunidad, cuyo objetivo es la incorporación de las prácticas y procesos de la gestión de riesgos en la cultura y en el desarrollo económico y social de las comunidades.

VULNERABILIDAD: Según la Norma Colombiana de Construcciones Sismo Resistentes NSR-98, es la cuantificación del potencial de mal comportamiento con respecto a una solicitación. En general se acepta que la vulnerabilidad de un edificio puede ser estructural y no-estructural. La vulnerabilidad estructural está relacionada fundamentalmente con la capacidad que tiene la estructura para soportar los desplazamientos y los esfuerzos que uno o varios movimientos sísmicos pueden causarle durante su vida útil. La vulnerabilidad no-estructural, por otra parte, tiene relación con la operación o funcionamiento del edificio, lo que depende del comportamiento de elementos tales como acabados, divisiones, instalaciones, equipos, etc. De su desempeño en el caso de un sismo depende que el edificio mantenga su operación y pueda seguir ofreciendo sus servicios. Este aspecto es de máxima importancia en el caso de aquellos edificios cuya función es vital, como es el caso de los edificios esenciales. Infortunadamente, los últimos terremotos han demostrado graves “colapsos funcionales”, en particular en hospitales, aún cuando sus estructuras han tenido daños leves. Esta circunstancia ha motivado la revisión de normas, y en particular del coeficiente de importancia asignado a estos edificios, lo cual está demostrado que no es una garantía suficiente para lograr un buen comportamiento.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

1.1 CONTEXTO

Con el fin de liderar el desarrollo de los estudios estratégicos que soporten la generación de instrumentos técnicos para las actividades de gestión integral del riesgo sísmico, el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias – FOPAE conformó desde marzo de 2009 el Grupo Escenarios de Daño de la coordinación de Investigación y Desarrollo. La línea de investigación que trabaja el grupo es la evaluación del riesgo sísmico a mediana y gran escala de Bogotá, lo cual comprende la valoración de amenazas, vulnerabilidades y capacidades de respuesta de la sociedad.

El plan de acciones de continuidad 2009 - 2010 del Grupo Escenario de Daños incluyó la ejecución de las fases I y II del proyecto "Actualización y sistematización de escenarios de daños por terremoto para Bogotá", cuyo resultado principal es el aplicativo SEDAR (Sistema de evaluación de daños para análisis del riesgo sísmico), el cual permite evaluar los daños y las afectaciones probables (en términos del estado de daño de la infraestructura urbana, afectación a la población y pérdidas económicas) para los diferentes escenarios de amenaza sísmica en la ciudad.

El plan de acción de 2011 contempla la ejecución de un estudio técnico con el objetivo de establecer un marco conceptual y un modelo de análisis del riesgo sísmico desde una perspectiva holística, considerando no solamente los daños físicos y las afectaciones probables sino también las condiciones relacionadas con la fragilidad social y capacidad de recuperación (resiliencia), que permitan evaluar integralmente el riesgo sísmico de la ciudad y así fortalecer la construcción de estrategias de gestión del riesgo sísmico.

1.2 ANTECEDENTES Y ESTUDIOS PREVIOS

Aunque a lo largo de las tres últimas décadas se han propuesto varios enfoques conceptuales para la evaluación holística del riesgo sísmico, el uso del llamado "enfoque estructural" se ha generalizado ampliamente. Este enfoque considera el riesgo como la combinación de la "exposición" (a una amenaza dada) y las "capacidades" de una comunidad para responder a dicha amenaza haciendo uso de los conceptos de "amenaza, vulnerabilidad, riesgo físico, fragilidad social y resiliencia" como factores que permiten caracterizarlo y cuantificarlo (Botero, 2009).

En cuanto a la evaluación del riesgo sísmico de la ciudad de Bogotá existen varios estudios cuyo objetivo ha sido el de mejorar el nivel de conocimiento de los factores de exposición (i.e. amenaza sísmica, vulnerabilidad sísmica, riesgo físico sísmico) entre los cuales están el "Estudio General de Amenaza Sísmica" (AIS, 1996), la "Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá" (Ingeominas & Universidad de los Andes, 1997), escenarios de amenaza y escenarios de daño por sismo (Cardona, 1997), (JICA, 2002), (CEDERI, 2005), el "Estudio General de Amenaza Sísmica" (AIS, 2009), la "Zonificación de la Respuesta Sísmica de Bogotá" (FOPAE, 2010), y "Actualización y sistematización de escenarios de daños por terremoto para Bogotá" (DPAE, 2009; FOPAE, 2010; FOPAE, 2011).

Respecto a la evaluación holística del riesgo sísmico para la ciudad existen las investigaciones "Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistema dinámicos complejos" (Cardona, 2001) y "Técnicas innovadoras para la evaluación del riesgo sísmico y su gestión en centros urbanos" (Carreño, 2006) y el proyecto "Indicators of disaster risk and disaster risk management" (IDB-IDEA-ERN, 2008).

1.3 MOTIVACIÓN

El presente trabajo busca complementar los resultados de los trabajos anteriores en tres aspectos: 1) mediante el uso de la información sobre daños y afectaciones probables para diferentes escenarios de amenaza sísmica obtenidos con SEDAR, 2) a través del uso de información actualizada sobre las características sociales y económicas de la ciudad y 3) realizando el análisis a una escala de Unidad de Planeamiento Zonal. El resultado de este ejercicio permite contar con información adecuada para definir estrategias de gestión del riesgo sísmico y establecer futuras líneas de acción e investigación.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Desarrollar un marco metodológico y realizar la evaluación holística del riesgo sísmico de la ciudad considerando los resultados de daño y afectación obtenidos mediante SEDAR para diferentes escenarios de amenaza sísmica e información actualizada sobre las condiciones socioeconómicas de la ciudad a escala de Unidad de Planeamiento Zonal UPZ. Lo anterior como herramienta para definir estrategias de gestión del riesgo sísmico y futuras líneas de acción e investigación

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar una revisión metodológica sobre la evaluación holística del riesgo con base en la bibliografía existente con la finalidad de establecer un contexto conceptual actualizado del problema.
- Desarrollar una metodología para la evaluación holística del riesgo sísmico teniendo en cuenta los resultados de los estudios previos y el enfoque conceptual de los proyectos adelantados por el Grupo de Escenarios de Daño.
- Establecer y recopilar la información requerida actualizada para la elaboración del estudio.
- Realizar la evaluación holística del riesgo sísmico para la ciudad de Bogotá haciendo uso de los resultados de daño y afectación probable obtenidos mediante SEDAR para diferentes escenarios de amenaza sísmica y de información actualizada sobre las condiciones sociales y económicas de la ciudad a escala de UPZ.
- Establecer futuras líneas de acción e investigación que permitan mejorar el conocimiento y las estrategias de gestión integral del riesgo sísmico.

1.5 ALCANCE

No es propósito de este estudio proponer una nueva metodología de evaluación holística del riesgo puesto que la elaboración de enfoques y conceptos diferentes a los existentes exigiría el uso de recursos fuera de las posibilidades del Grupo de Escenario de Daños. Recomendaciones sobre este y otros aspectos relacionados con la evaluación del riesgo sísmico se establecen al final del estudio con la finalidad de proponer futuras líneas de trabajo.

No es propósito de este estudio adelantar la evaluación del riesgo urbano total (i.e. considerando todas las amenazas presentes en la ciudad) ni realizar la evaluación del desempeño en la gestión del riesgo.

La evaluación holística del riesgo sísmico se realizará con base en los resultados de daño y afectaciones obtenidos mediante SEDAR y la información actualizada disponible sobre los aspectos socioeconómicos de la ciudad. No se ha considerado la sistematización del proceso de evaluación.

En general, los factores de evaluación y los resultados se representan en términos de índices relativos. Si bien estos índices pueden no representar cuantitativa y objetivamente el riesgo “real”, sí constituyen un indicador que permite valorar y comparar el nivel de riesgo relativo de diferentes áreas o comunidades, lo anterior como herramienta para la definición de estrategias en la gestión integral del riesgo sísmico y para soportar las acciones de prevención, mitigación, atención y recuperación que se desarrollan en la ciudad.

1.6 LIMITACIONES

Las principales limitaciones identificadas durante la elaboración del estudio son las siguientes:

- Resultados de daño y afectaciones probables por sismo: Si bien los estudios existentes de escenario de daño por sismo para la ciudad (Cardona O. D., 1997), (JICA, 2002), (CEDERI, 2005) y las fases I y II del proyecto “Actualización y sistematización de escenarios de daños por terremoto para Bogotá” (DPAE, 2009; FOPAE, 2010; FOPAE, 2011) representan un avance significativo en el conocimiento del riesgo físico de la ciudad, es importante señalar que aún no se cuenta con un análisis exhaustivo que disminuya el grado de incertidumbre al respecto. Se requiere contar con información completa, actualizada y oportuna para realizar las evaluaciones; desarrollar y validar metodologías de evaluación de la vulnerabilidad, daño y afectaciones acordes con las condiciones locales; incluir elementos de la infraestructura urbana que no han sido analizados hasta el momento; realizar el análisis detallado de la vulnerabilidad y

el riesgo sísmico de los elementos esenciales y establecer escenarios de riesgo a escala regional teniendo en cuenta la interdependencia física, social y económica de la ciudad.

- Información sobre aspectos sociales y económicos de la ciudad: Al igual que en el caso anterior, la evaluación de las capacidades socioeconómicas de la ciudad requiere de información actualizada, completa y oportuna para disminuir el grado de incertidumbre en los resultados.
- Metodología de evaluación: Para la elaboración del presente estudio se aplicarán metodologías existentes para la evaluación holística del riesgo sísmico. La construcción de una metodología que represente un avance conceptual en el tema está fuera del alcance propuesto para el presente trabajo, requiere el uso de mayores recursos y exigiría ejecutar actividades fuera de las posibilidades del Grupo de Escenario de Daños.

1.7 CONTENIDO DEL ESTUDIO

- Capítulo 2 - Revisión conceptual y metodológica para la evaluación holística del riesgo sísmico: Se definen los diferentes enfoques conceptuales y metodologías existentes, se valoran en términos de viabilidad, requisitos de información y pertinencia, y se precisan conceptos, definiciones y alcances que permitan dar coherencia y consistencia a la metodología adoptada para la realización del presente ejercicio.
- Capítulo 3 - Metodología propuesta: Se describe la metodología que se va aplicar para la presente evaluación holística del riesgo sísmico de la ciudad de Bogotá, la cual se define con base al alcance propuesto, la información disponible y el enfoque conceptual de los proyectos adelantados por el Grupo de Escenarios de Daño.
- Capítulo 3: Recopilación y consolidación de información requerida: Se describe la información utilizada (amenaza sísmica, escenario de daño, afectaciones y pérdidas, e información sobre aspectos sociales y económicos y resiliencia).
- Capítulo 4 - Evaluación holística del riesgo sísmico: Se presenta el proceso de evaluación holística del riesgo de la ciudad de Bogotá, los procesos, resultados parciales y finales de las evaluaciones para el área urbana de Bogotá a escala de localidad y Unidad de Planeamiento Zonal UPZ.
- Capítulo 5 - Resultados y discusión: Se comparan y se discuten los resultados con relación a los resultados obtenidos y se establecen las limitaciones del proceso.
- Capítulo 6 - Conclusiones y recomendaciones: Se presentan las conclusiones del estudio y una serie de recomendaciones con relación a las limitaciones del presente ejercicio y a las futuras líneas de acción e investigación que permitan mejorar la gestión integral del riesgo.

CAPÍTULO 2

2 REVISIÓN CONCEPTUAL Y METODOLÓGICA

A lo largo de las tres últimas décadas se han propuesto diferentes enfoques conceptuales para la evaluación del riesgo a través de los cuales numerosos autores desde diferentes disciplinas se han dedicado al desarrollo de modelos y metodologías que permitan caracterizarlo y cuantificarlo.

En el presente capítulo se describen las características generales de cada uno de estos enfoques haciendo énfasis especialmente en el denominado "enfoque estructural", dentro del cual se ha desarrollado el modelo de "amenaza - riesgo" y las metodologías de cuantificación mediante índices de riesgo obtenidos mediante "evaluación holística", las cuales han sido usadas previamente para la evaluación del riesgo sísmico en la ciudad de Bogotá. Posteriormente se presentan y discuten las características metodológicas de los estudios previos de evaluación del riesgo sísmico de la ciudad de Bogotá.

2.1 ENFOQUES CONCEPTUALES PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO

Desde la década de 1980 se han desarrollado diferentes enfoques conceptuales para el estudio del riesgo. Estos enfoques han generado una serie de modelos y metodologías que han cambiado a medida que evoluciona el conocimiento acerca del riesgo y los recursos técnicos para su análisis. En general se pueden identificar tres tipos enfoques conceptuales: el tecnocrático, el de la teoría de la complejidad y el enfoque estructural (Botero, 2009).

2.1.1 El enfoque tecnocrático

Fue el primer enfoque conceptual en desarrollarse a partir del punto de vista de las ciencias naturales. Éste consideraba que el riesgo de un elemento está definido únicamente por su grado de "exposición" a una amenaza obviando las características propias del elemento. La caracterización del riesgo se centraba entonces en la caracterización de la amenaza y las actividades de gestión se enfocan a disminuir el grado de exposición.

2.1.2 El enfoque de la complejidad

Este enfoque reconoce la complejidad de las interacciones entre elementos y procesos de un sistema y la necesidad de orientar el estudio del riesgo hacia el análisis de dichas interacciones integralmente (Hilhorst and Bankoff, 2003).

2.1.3 El enfoque estructural

Este enfoque introdujo el concepto de "capacidad", concepto que reconoce el hecho de que los elementos expuestos a una amenaza presentan una serie de condiciones particulares que determinan una capacidad de respuesta ante dicha amenaza. Mediante este enfoque la caracterización del riesgo implica, además de la caracterización de la amenaza, la caracterización de la capacidad del elemento expuesto. Consecuentemente las actividades para la gestión del riesgo se concentran en mejorar la caracterización de la amenaza, reducir la exposición, y caracterizar y mejorar la capacidad de los elementos expuestos.

El enfoque estructural ha contado con amplia aceptación y ha permitido el desarrollo de numerosos modelos y metodologías de evaluación, cuantificación y gestión del riesgo, entre los que se encuentran los modelos de evaluación y cuantificación del riesgo mediante índices de riesgo. A continuación se describen las características generales de cada uno de estos modelos.

2.1.3.1 Modelos del tipo estructural para la evaluación del riesgo

- Escenario de daño: El riesgo se define en función de un inventario de elementos expuestos (infraestructura, comunidades humanas, ecosistemas naturales, activos económicos) expuesto a diferentes amenazas (naturales o antrópicas) que ocurren con cierta periodicidad. En este modelo la evaluación del riesgo se limita a evaluar los daños probables debidos a una amenaza dada (Chambers, 1992).

- Riesgo externo vs. riesgo interno: Define el riesgo en función de los términos "riesgo externo" que hace referencia al grado de exposición de un elemento a una amenaza dada y "riesgo interno" el cual se refiere a la capacidad de respuesta del elemento frente a dicha amenaza (Bohle, 2001).
- Modelo amenaza - riesgo: En este caso se hace uso de los términos "exposición" el cual hace referencia al componente físico del sistema y a las características de la amenaza, "sensibilidad" el cual hace referencia al componente humano (sociedad, economía, política, institucionalidad y cultura) y "resiliencia" que referencia a la capacidad de respuesta, adaptación y recuperación (Turner, 2003).
- Cadena de causas: Este modelo considera que el riesgo es el resultado de una serie de procesos sociales, económicos y políticos que se manifiesta espacial y temporalmente cuando se hace presente determinada amenaza. La caracterización del riesgo incluye el análisis espaciotemporal de las "causas fundamentales" (estructuras políticas y económicas), de las "presiones dinámicas" (procesos sociales y económicos), de las "condiciones de inseguridad" (infraestructura y ambiente) y de las amenazas (Wisner, 2004).
- El marco metodológico Onion: Es la primera de dos propuestas metodológicas desarrolladas por el Instituto para la Seguridad Humana y del Ambiente de las Naciones Unidas (UNU-EHS). En esta el análisis del riesgo se realiza a través del "eje de la realidad" y del "eje de la oportunidad". A través del eje de la realidad se describen los efectos concretos de un evento dado en las actividades socioeconómicas y medio ambiente. El eje de la oportunidad es la cuantificación hipotética de de dichos efectos en términos de amenaza, riesgo y vulnerabilidad (Bogardi, 2004).
- El marco metodológico BBC: Es la segunda propuesta metodológica desarrollada por el (UNU-EHS). En este enfoque se reconoce el hecho de que el análisis del riesgo debe ir más allá de la evaluación de la exposición y de la capacidad. Se deben generar herramientas que permitan gestionar el riesgo, medir su efectividad y realizar análisis de retroalimentación que permitan validar modelos y resultados (Birkmann, 2006).

2.1.3.2 Componentes del riesgo

La evaluación del riesgo desde el enfoque estructural implica caracterizar una serie de aspectos que determinan los aspectos de exposición y capacidad de una sociedad ante una amenaza determinada. Dichos aspectos pueden ser tangibles (e.g. infraestructura, población) o intangibles (e.g. nivel de preparación, características socioculturales). La naturaleza y el número de aspectos considerados varía en cada uno de los modelos propuestos, pero en general se pueden clasificar en tres grupos o componentes del riesgo: Exposición, sensibilidad y resiliencia (Botero, 2009).

- Exposición: Hace referencia a la localización espacial de los elementos expuestos y a las características espacio temporales de las amenazas.
- Sensibilidad: Hace referencia a aquellos aspectos o características de los elementos expuestos que incrementan los efectos negativos de una amenaza dada.
- Resiliencia: Hace referencia a aquellas características de los elementos expuestos que les permiten recuperarse después de que una amenaza se ha manifestado de manera concreta.

2.1.3.3 Cuantificación del riesgo

A pesar de que a través del enfoque estructural ha tenido un amplio desarrollo desarrollado numerosas metodologías de evaluación del riesgo, no existe aún una metodología unificada para su cuantificación. Entre las metodologías de cuantificación más conocidas están: la de evaluación multicriterio (Davidson, 1997; Cardona, 2001), análisis de componentes principales (Chardon, 1999), lógica difusa (García, 2003), y árboles de decisión (Smith, 2005). La información utilizada dentro de estos procesos de evaluación del riesgo generalmente se obtiene a partir de inventarios de elementos expuestos, inventarios de daños de eventos históricos, índices de vulnerabilidad y daño, e información sobre los aspectos sociales, económicos y culturales.

Finalmente y como resultado de la evaluación, el riesgo se puede expresar en términos de pérdidas económicas y afectación a la población (cuando se cuenta con un inventario real de daños y afectaciones de un evento dado), o de índices e indicadores de riesgo cuando la evaluación se realiza a través de modelos teóricos como los ya descritos. Algunos de las variables más utilizadas para la cuantificación del riesgo son las siguientes:

- Basados en registros de daño: - Pérdidas económicas (expresadas como porcentaje del producto interno bruto, Briguglio, 1995), - Población afectada (expresada como porcentaje de la población afectada, Densidad (expresada como cantidad de desastres por unidad de área (Atkins, 2000).
- Escenarios de daño: Los escenarios de daño se obtienen a partir de modelos teóricos que permiten evaluar los daños probables sobre la infraestructura para uno o varios tipos de amenaza. Los daños probables se expresan generalmente en términos de índice de daño, estados de daño o probabilidad de excedencia (de un índice o estado de daño de referencia). Numerosas aplicaciones han sido desarrolladas para este fin, entre las más conocidas se encuentran RADIUS (Geohazards International, 1999) y HAZUS (FEMA, 2003)
- Índices o indicadores de riesgo: Estas variables generalmente representan valores cualitativos de riesgo que se obtienen a partir de modelos teóricos de evaluación de la exposición y la capacidad. Entre los más conocidos se encuentran el Índice de Riesgo de Desastre (UNDP, 2004), el sistema de Indicadores de Riesgo y Gestión del Riesgo del Banco Interamericano de Desarrollo (IDB-IDEA-ERN, 2008), el Índice de Riesgo Urbano (Davidson, 1997), y el Indicador de Vulnerabilidad Social (Dwyer, 2004).

2.2 ANTECEDENTES DE EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO

Los antecedentes de evaluación del riesgo sísmico de la ciudad de Bogotá se han desarrollado dentro del llamado enfoque estructural. Son varios los estudios técnicos que se han realizado para caracterizar la exposición (amenaza sísmica de la ciudad y escenarios de daño por sismo) y del riesgo sísmico (en términos de índices de riesgo). En este numeral se presenta una relación de dichos estudios y se describen sus principales características.

2.2.1 Evaluación de la amenaza sísmica

La evaluación de la amenaza sísmica en el área urbana de la ciudad de Bogotá ha sido adelantada mediante los proyectos "Estudio General de Amenaza Sísmica" (AIS, 1996) y "Estudio General de Amenaza Sísmica" (AIS, 2009) a escala nacional, "Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá" (Ingeominas & Universidad de los Andes, 1997) y "Zonificación de la Respuesta Sísmica de Bogotá" (FOPAE, 2010) a escala local.

2.2.2 Evaluación de la exposición (escenarios de daño por sismo)

2.2.2.1 Seismic microzonation and estimation of earthquake loss scenarios (Cardona, 1997), y Seismic microzonation and estimation of earthquake loss scenarios (Cardona, 2000)

Este estudio consistió en una evaluación de daños y pérdidas por sismo el cual se elaboró con base a los escenarios de amenaza sísmica establecidos por el "Estudio General de Amenaza Sísmica" (AIS, 1996) de escala nacional y "Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá" (Ingeominas & Universidad de los Andes, 1997). En el primer trabajo la evaluación de daños en edificaciones y líneas vitales se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por el ATC13 (ATC, 1985), el ATC21 (ATC,1988) y evaluación multicriterio por método Delphi. En el segundo trabajo se realizó la evaluación de daños en edificaciones mediante la aplicación HAZUS (FEMA, 1999) y simulación estocástica del comportamiento de edificaciones de concreto, y la evaluación de la afectación a la población mediante el ATC13 (ATC, 1985) y estimadores de víctimas y heridos (Whitman, 1973).

2.2.2.2 The Study on Disaster Prevention in the Bogota Metropolitan Area in the Republic of Colombia

El Estudio Para la Prevención de Desastres en el Área Metropolitana de Bogotá fue elaborado en el año 2002 por la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional JICA. El trabajo comprende un análisis integral de las diferentes amenazas (sismo, deslizamiento, inundación e industria) en el área urbana de Bogotá y de la región, establece una serie de escenarios de daño considerando las diferentes amenazas y finalmente propone un plan básico de prevención de desastres para la ciudad. El estudio incluye la caracterización de la amenaza para tres fuentes sísmicas a partir de los resultados del estudio de microzonificación sísmica de la ciudad (Ingeominas & Universidad de los Andes, 1997), la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones y líneas vitales, la evaluación de daños y pérdidas económicas, y la evaluación de la afectación a la población para diferentes escenarios de amenaza sísmica. En este estudio se reconoce los logros alcanzados en la gestión del riesgo por deslizamiento e inundación en la ciudad pero advierte sobre la necesidad de mejorar los aspectos relacionados con la gestión del riesgo sísmico: caracterización de la amenaza y reducción de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones y líneas vitales, desarrollo de capacidades sociales e institucionales, implementación de sistemas de

información, priorización y ejecución de programas piloto a nivel de localidad y evaluación del riesgo sísmico a escala regional.

2.2.2.3 Escenarios de Riesgo y Pérdidas por Terremoto para Bogotá

Este trabajo fue elaborado por el Centro de Estudios Sobre Desastres y Riesgos CEDERI de la Universidad de los Andes en el año 2005 en convenio con el FOPAE. En él se establecen una serie de escenarios de daño y pérdidas de la zona urbana para diferentes escenarios de amenaza sísmica. El estudio incluye la caracterización de la amenaza para diferentes fuentes sísmicas a partir de los resultados del estudio de microzonificación sísmica (Ingeominas & Universidad de los Andes, 1997), la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones y líneas vitales, la evaluación de daños, pérdidas económicas y afectación a la población para diferentes escenarios de amenaza sísmica. A diferencia del estudio anterior el objetivo de éste fue el de evaluar el riesgo sísmico para lo cual se empleó una metodología específicamente orientada. Los resultados se presentan consolidados a nivel de localidad. El estudio representa un progreso importante en términos de metodología de análisis y de mejoramiento del conocimiento sobre daños y pérdidas probables en términos del número de escenarios de daño evaluados.

2.2.2.4 Actualización y Sistematización de los Escenarios de Daño por Terremoto para Bogotá

El plan de acciones de continuidad 2009 – 2010 del Grupo Escenario de Daños incluyó la ejecución de las fases I y II del proyecto “Actualización y sistematización de escenarios de daños por terremoto para Bogotá”, cuyos resultado principal es el aplicativo SEDAR (Sistema de Evaluación de Daños Para Evaluación del Riesgo Sísmico).

SEDAR es una aplicación que permite evaluar espacialmente la vulnerabilidad sísmica de edificaciones y líneas vitales, los daños y pérdidas económicas, y la afectación de la población para diferentes escenarios de amenaza sísmica mediante metodologías adaptadas a las condiciones locales e implementadas para tal fin. La aplicación permite actualizar estos resultados a medida que se cuente con información de entrada más completa y reciente e incluir nuevos módulos de análisis en la medida que se así se requiera.

Mediante SEDAR se han generado cuatro escenarios de daño para la zona urbana de la ciudad a partir de escenarios de amenaza definidos con base en el estudio de Zonificación de la Respuesta Sísmica de la ciudad (FOPAE, 2010; FOPAE, 2011). Los escenarios de daño incluyen: resultados de vulnerabilidad sísmica de edificaciones y líneas vitales, resultados de daño por sismo en edificaciones y líneas vitales, resultados de daño por efectos colaterales inducidos por sismo (licuación y deslizamiento), pérdidas económicas en edificaciones y afectación a la población para cada uno de los escenarios de amenaza considerados. Los resultados se obtienen por elemento individual analizado y se presentan resultados consolidados a nivel de Unidad de Planeamiento Zonal UPZ y localidad.

2.3 EVALUACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO SÍSMICO

La evaluación del riesgo sísmico de la ciudad de Bogotá cuenta con varios estudios antecedentes. Estos estudios se han realizado mediante el modelo de amenaza - riesgo en el cual, como ya se ha indicado, el riesgo se define como función de la exposición y de la capacidad

Un primer grupo de estos estudios incluye las investigaciones “Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistema dinámicos complejos” (Cardona, 2001) y “Técnicas innovadoras para la evaluación del riesgo sísmico y su gestión en centros urbanos” (Carreño, 2006). El segundo corresponde a los estudios realizados durante el desarrollo del proyecto “Indicators of disaster risk and disaster risk management” (IDB-IDEA-ERN, 2008) realizado para el Banco Interamericano de Desarrollo, mediante el cual se definieron los conceptos “Índice de riesgo Urbano” e “Índice de Gestión del Riesgo” los cuales permiten cuantificar y comparar el riesgo y el nivel de desempeño en la gestión del riesgo. Los resultados y conceptos desarrollados por estos estudios han sido adoptados e incorporados en proyectos de evaluación y gestión del riesgo a escala global (e.g. Earthquake and Megacities Initiative , International Strategy for Disasters Reduction - ISDR) con el objetivo de establecer índices que permitan cuantificar y comparar el nivel de riesgo y definir estrategias de gestión para diferentes ciudades.

En el presente numeral se describen las características metodológicas de estos estudios, las cuales sirven de base para la propuesta metodológica implementada durante el desarrollo del presente trabajo.

2.3.1 Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistema dinámicos complejos (Cardona, 2001)

El trabajo propone un enfoque conceptual para el análisis multidisciplinario de contextos urbanos mediante modelos para representar y valorar los diferentes factores que definen el nivel de riesgo de una comunidad. Durante este ejercicio se cuantificó un "Índice de riesgo físico" a partir de los resultados de los estudios de escenario de daños citados en el numeral 2.2.2.1 y un "Índice de riesgo del contexto" evaluado a partir de indicadores de exposición física, amenaza sísmica, fragilidad social y resiliencia (capacidad de recuperación post-desastre).

Los resultados de este trabajo permitieron evaluar y comparar el nivel de riesgo sísmico a nivel de localidad e interpretar la influencia de cada uno de los factores considerados. Lo anterior constituyó una base para el plan de gestión del riesgo por parte de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias DPAE desde el año 1999). A continuación se presentan las características principales de la metodología propuesta por este estudio.

2.3.1.1 Enfoque conceptual

El enfoque conceptual planteado corresponde al de tipo estructural. Desde este enfoque el riesgo se considera como una serie de potenciales consecuencias (sociales, económicas y ambientales) causadas por factores de exposición y capacidad (los cuales reciben en este caso los nombres de "riesgo duro" y "riesgo blando").

El término "riesgo duro" hace referencia a los factores de exposición y susceptibilidad física y es dependiente de la amenaza. El término "riesgo blando" hace referencia a los factores de "fragilidad socioeconómica" y "resiliencia social o capacidad de respuesta y recuperación" y es independiente de la amenaza. Esta noción implica que existen vínculos causales entre acciones y efectos, y que efectos indeseables pueden ser evitados o reducidos si las acciones causales son evitadas o modificadas.

2.3.1.2 Metodología

La evaluación holística del riesgo implica un proceso de desagregación e integración mediante la abstracción de relaciones entre los factores involucrados. El trabajo propone varios esquemas de análisis mediante modelos matemáticos dinámicos no lineales (i.e. evaluación multicriterio mediante índices relativos, lógica difusa y redes neuronales). Sin embargo el modelo de evaluación multicriterio (EMC) resulta ser el más útil en términos prácticos para la cuantificación del riesgo.

La EMC es ampliamente utilizada para el análisis de problemas espaciales con base a criterios de competencia y conflicto. En este caso la metodología propone descomponer el modelo conceptual de riesgo sísmico (expresado términos de exposición y capacidad) en una serie de descriptores, indicadores y componentes organizados de acuerdo a su naturaleza e importancia conformando así una matriz de criterios de evaluación (que pueden ser cuantitativos o cualitativos) jerárquicamente organizados. El índice de riesgo total IRT se calcula mediante la suma ponderada de cada uno de los criterios de evaluación normalizados (i.e. transformados a una misma escala de cuantificación) y de acuerdo con la jerarquía establecida expresada mediante factores de ponderación.

El conjunto de criterios (componentes, indicadores y descriptores) corresponden a datos cualitativos o cuantitativos que se derivan de estudios de amenaza sísmica, escenarios de daño e información socioeconómica del contexto urbano a analizar. En la Figura 2.1 se presenta un resumen de los criterios y factores de evaluación propuestos para la EMC.

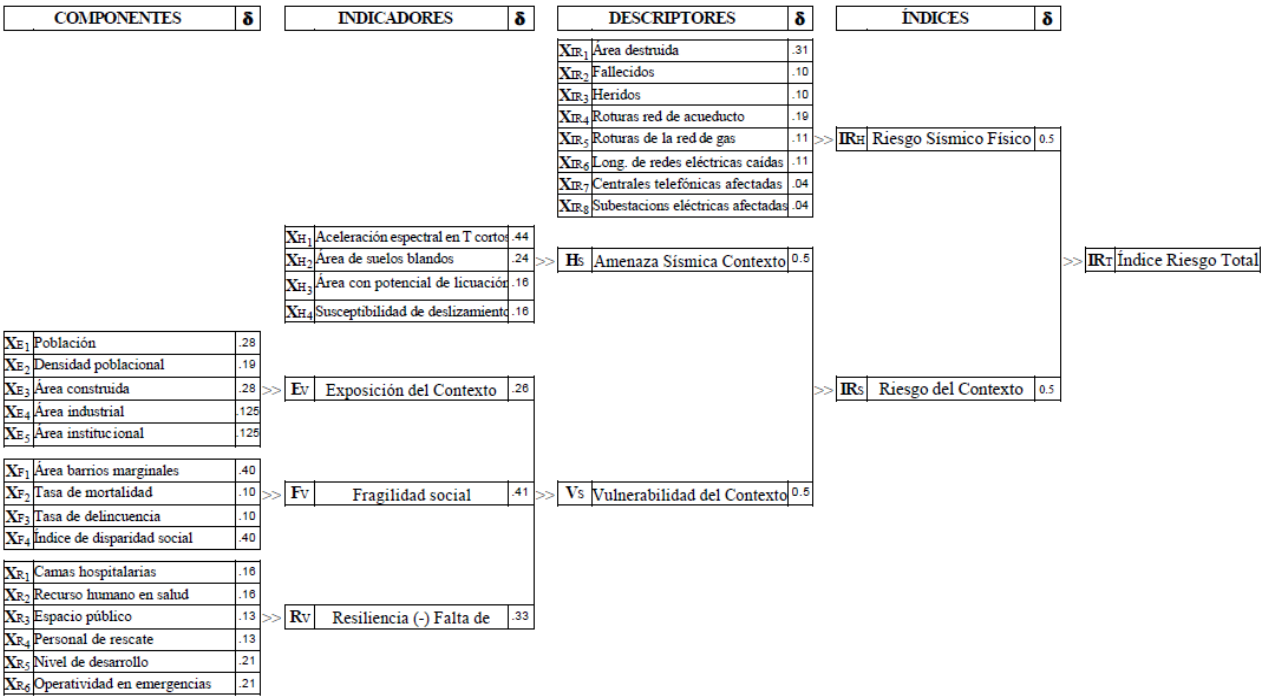


Figura 2.1. Metodología de evaluación del Índice de Riesgo Sísmico Urbano (Cardona, 2001)

2.3.2 Técnicas innovadoras para la evaluación del riesgo sísmico y su gestión en centros urbanos (Carreño, 2006)

Este trabajo presenta una metodología alterna a la propuesta por el trabajo anterior (Cardona, 2001) que se diferencia en tres aspectos: se consideran las múltiples amenazas presentes en un contexto urbano, se refinan las técnicas matemáticas de modelamiento (evaluación multicriterio) eliminando aspectos innecesarios o ambiguos, y tanto el proceso como los resultados de la evaluación se realiza en términos de índices absolutos normalizados (no relativos) que permiten evaluar y comparar el riesgo entre diferentes centros urbanos.

2.3.2.1 Enfoque conceptual

En esta propuesta se redefinen los términos “riesgo duro” y “riesgo blando” como “daño físico”, (exposición y susceptibilidad física) y “coeficiente de agravamiento” (fragilidades socio-económicas y resiliencia) respectivamente.

La evaluación del riesgo se lleva a cabo afectando el “riesgo físico” por el “coeficiente de agravamiento” obtenido de las condiciones del contexto (i.e. fragilidades socioeconómicas y resiliencia). Y los factores de amenaza y exposición física se eliminan debido a que se considera que éstos están ya contemplados en el cálculo del riesgo físico (ver Figura 2.2).

Con base en la propuesta metodológica precedente (Cardona, 2001), las actividades de gestión del riesgo implican la implementación de un sistema de control (estructura institucional) y actuación (políticas y acciones públicas), que al intervenir en forma correctiva y prospectiva los factores involucrados, permita identificar, reducir y gestionar el riesgo.

2.3.2.2 Metodología

El riesgo total R_T se evalúa como función del riesgo físico R_F y del coeficiente de agravamiento F. El coeficiente de agravamiento F es a su vez función de la fragilidad socioeconómica F_{FS} y de la resiliencia F_{FR} del contexto. El riesgo físico R_F se obtiene se obtiene mediante la suma ponderada de los indicadores de riesgo físico y el coeficiente de agravamiento F se obtiene mediante la suma ponderada de indicadores de fragilidad social y resiliencia. La Figura 2.2 presenta una síntesis de los indicadores y factores de ponderación empleados en la EMC por esta metodología.

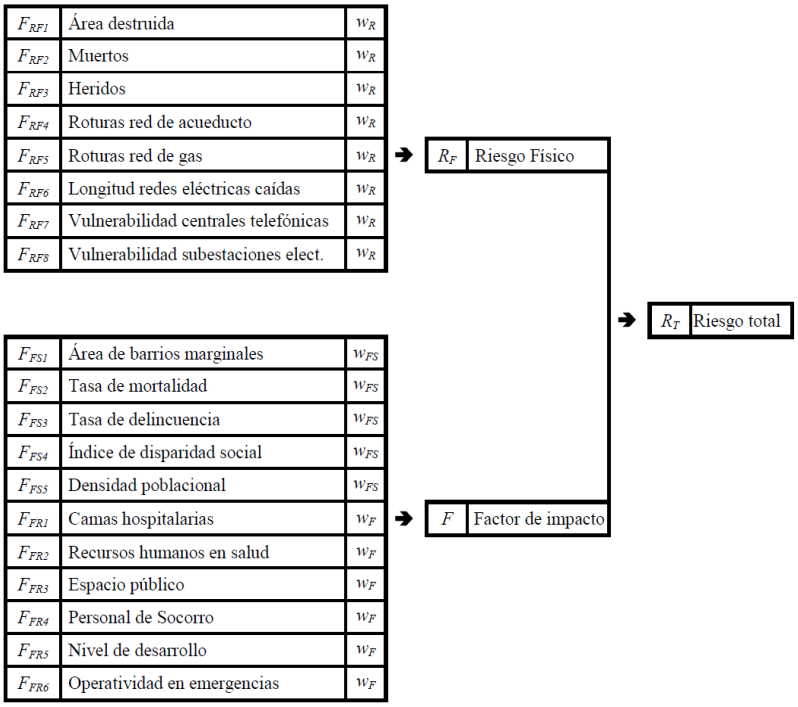


Figura 2.2. Metodología de evaluación del Índice de Riesgo Total (Carreño, 2006)

2.3.2.3 Resultados

En este ejercicio se evaluó el "Índice de riesgo total" por sismo a partir del "Índice de riesgo físico" obtenido para un escenario de daños correspondiente al de la falla frontal de la cordillera oriental (Magnitud 7.4, periodo de retorno de 500 años) (CEDERI, 2005) y un "coeficiente de agravamiento" evaluado a partir de indicadores de fragilidad social y resiliencia. Los resultados de riesgo se representan a escala de localidad. La Figura 2.3 presenta los resultados correspondientes.

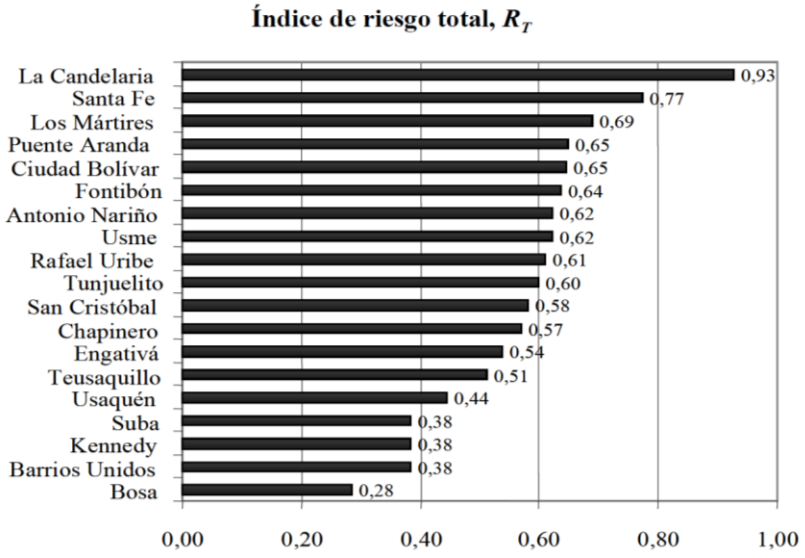


Figura 2.3. Resultados Índice de Riesgo por Sismo para la ciudad de Bogotá (Carreño, 2006)

2.4 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO Y LA EFECTIVIDAD EN LA GESTIÓN DEL RIESGO (IDB-IDEA-ERN, 2008)

El objetivo de este trabajo fue el de proporcionar una metodología que permita medir la efectividad de las estrategias implementadas para la gestión del riesgo a través de una serie de indicadores que permitan valorar y comparar el nivel de organización, preparación y recuperación de una comunidad. Los resultados se representan a través del denominado "Índice de Gestión del Riesgo" el cual es complementario del "Índice de Riesgo de Desastre" y que se determina mediante una evaluación multicriterio a partir de indicadores del nivel de competencia en la identificación de riesgos, reducción de riesgos, manejo del riesgo, gobernabilidad y protección financiera de una comunidad a escala nacional, sub-nacional o local.

La metodología fue aplicada en el marco del proyecto "Indicators of disaster risk and disaster risk management" (IDB-IDEA-ERN, 2008) elaborado para el Banco Interamericano de Desarrollo para evaluar el Índice de Gestión del Riesgo en Colombia (a escala nacional, sub-nacional y local) y en otros diez países de Latinoamérica (a escala nacional). El Índice de Gestión del Riesgo fue evaluado localmente para la ciudad de Bogotá con la participación de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias DPAE. Los resultados se presentan a nivel de localidad para diferentes periodos (1985, 1990, 1995, 2000 y 2003).

CAPÍTULO 3

3 METODOLOGÍA

En el Capítulo 2 se presentaron los enfoques conceptuales y los marcos metodológicos existentes para la evaluación y cuantificación del riesgo, así como las características generales de los estudios precedentes de evaluación del riesgo sísmico de la ciudad de Bogotá. En este capítulo se presenta la propuesta metodológica desarrollada por el presente estudio.

3.1 MARCO LÓGICO

Dado que el objetivo del presente trabajo es hacer uso de información actualizada y de incluir nuevos criterios de evaluación, se adaptó un esquema de trabajo que permitiera conciliar las metodologías existentes y el uso de la nueva información disponible en función del alcance propuesto para el estudio. En dicho esquema se utilizan dos aproximaciones, una teórica que establece la serie de pasos hipotéticos que deben adelantarse para la evaluación del riesgo considerando las metodologías existentes, y una aproximación práctica (la cual sigue una trayectoria opuesta) en la que a partir de la información disponible se determina cuáles son los pasos a seguir efectuar dicha evaluación (ver Figura 3.1).

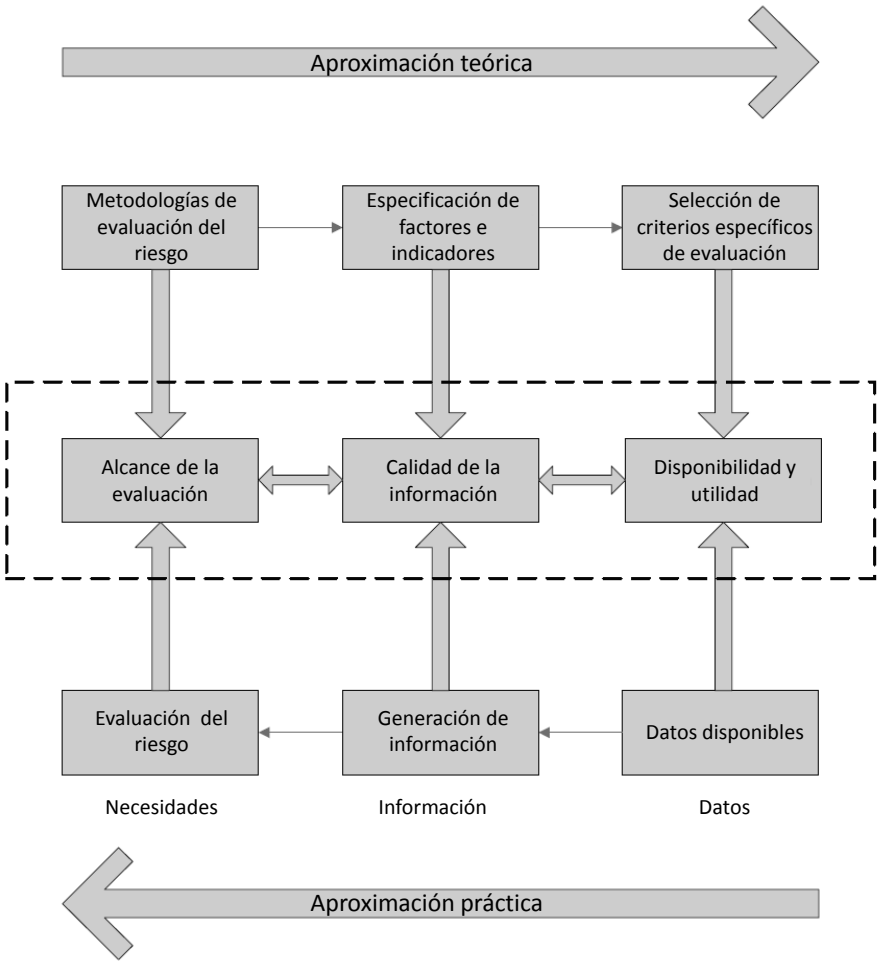


Figura 3.1. Marco lógico para la construcción de la metodología propuesta (adaptado de Botero, 2009)

3.1.1 Aproximación teórica

Mediante la aproximación teórica se estableció el alcance y el modelo conceptual para la evaluación del riesgo sísmico, las metodologías existentes y antecedentes; se definieron los factores y variables empleados y se precisó la información y los criterios específicos requeridos. A continuación se discuten los aspectos considerados para establecer la aproximación teórica para el desarrollo del presente estudio y se presentan los resultados.

3.1.1.1 Alcance de la evaluación

El alcance propuesto para el presente trabajo es el de complementar los resultados de los trabajos anteriores (Cardona, 2001; Carreño 2006; IDB-IDEA-ERN, 2008) en tres aspectos: 1) mediante el uso de los resultados actualizados de los estudios de "Zonificación de la Respuesta Sísmica de la ciudad" (FOPAE, 2010), y "Actualización y Sistematización de los Escenarios de Daño por Terremoto para Bogotá" (FOPAE, 2011); 2) a través del uso de información actualizada sobre las características sociales y económicas de la ciudad y 3) realizando el análisis a una escala de Unidad de Planeamiento Zonal.

3.1.1.2 Enfoque conceptual

Al igual que los estudios antecedentes, el enfoque conceptual propuesto por el presente estudio corresponde al de tipo estructural. Es decir el riesgo sísmico se considera como la serie de potenciales consecuencias (físicas, sociales, y económicas) expresado mediante factores de exposición (a una amenaza sísmica) y capacidad.

3.1.1.3 Modelo de evaluación del riesgo sísmico

De acuerdo con los modelos de evaluación revisados, se propone descomponer el modelo conceptual de riesgo sísmico (expresado términos de exposición y capacidad) en una serie de descriptores, indicadores y componentes organizados de acuerdo a su naturaleza e importancia conformando así una matriz de criterios de evaluación jerárquicamente organizados. El riesgo se evalúa mediante la metodología de evaluación multicriterio EMC como la suma ponderada de cada uno de los criterios de evaluación normalizados y de acuerdo con la jerarquía establecida.

3.1.1.4 Descriptores e indicadores de riesgo

Los modelos de evaluación del riesgo emplean una serie de descriptores e indicadores que representan las condiciones de exposición física y capacidad respectivamente. Dichas variables deben cumplir con cada una de las siguientes condiciones (Botero, 2009):

- Validez: Deben representar las condiciones de exposición física y capacidad consideradas de manera precisa y provenir de fuentes de información confiable y verificables.
- Disponibilidad y calidad: La información requerida para evaluar los indicadores debe estar disponible y ser reproducible.
- Sensibilidad: Los indicadores deben tener la capacidad de medir cambios espacio-temporales del contexto en el que se realiza la evaluación.
- Claridad: Deben ser fácilmente comprensibles para todos y cada uno de los actores que participan en el proceso de evaluación y gestión del riesgo, y deben reflejar sin ambigüedades la complejidad de los conceptos involucrados.
- Cuantificación: Los indicadores deben ser medibles cuantitativa o cualitativamente y mediante métodos claramente establecidos.
- Objetividad: Aunque el método de evaluación de un indicador pueda refinarse con el tiempo (metodologías de recolección de datos, estadísticas y análisis de información) el concepto y definición del indicador mismo debe persistir en el tiempo.

La propuesta de indicadores a usar en la presente evaluación se realizó sobre la base de una recopilación bibliográfica de indicadores de riesgo propuestos por los estudios precedentes así como por otras metodologías de evaluación de capacidad y vulnerabilidad socioeconómica (Davidson, 1997; Cardona, 2001; Dwyer, 2004; Granger, 2004; Carreño, 2006; EMI, 2006; Suárez, 2009; Botero, 2009). En el Anexo 1 se presenta un resumen de dicha recopilación en la que los indicadores propuestos han sido clasificados de acuerdo al factor de riesgo que representan.

3.1.1.5 Escala de evaluación

Los indicadores que representan las condiciones de riesgo pueden ser evaluados a diferentes escalas (municipal, localidad y unidad de planeamiento zonal). El proceso de selección de la escala de evaluación implica, además de contar con información disponible a una escalada dada, observar que no se presenten deficiencias que propaguen errores durante la evaluación e interpretación de resultados. Se debe considerar igualmente que los factores y condiciones de riesgo que se quieren evaluar son complejos, no lineales, y discontinuas; y que la disponibilidad y costos de recolección y producción de dicha información pueden dificultar e inclusive impedir este proceso (Botero, 2009).

Para efectos de este estudio los indicadores propuestos para la evaluación de los factores de riesgo sísmico se calcularán a escala de localidad y unidad de planeamiento zonal UPZ. Algunos de los indicadores, especialmente aquellos relacionados con el coeficiente de agravamiento (fragilidades socioeconómicas y resiliencia) no son escalables a los niveles propuestos y se evaluarán a escala municipal.

3.1.1.6 Calidad de la información

A pesar que el uso de información geográfica se ha extendido ampliamente desde hace varias décadas, el tema de control de calidad de la información empleada en el modelamiento de procesos espaciotemporales (como es el caso del riesgo sísmico) ha sido abordado apenas recientemente. El uso de información de baja calidad y de la generación y propagación de errores de adquisición y procesamiento es un riesgo siempre presente y que afecta los procesos de toma de decisiones (Botero, 2009).

La mayoría de los estándares de calidad se centran en la evaluación de los aspectos técnicos de los datos tales como precisión (espacial, temporal y temática), resolución (espacial, temporal y temática), consistencia e integridad (NCGIA, 1995). Sin embargo, es igualmente importante establecer la calidad de la información en términos de su usabilidad para propósitos específicos (Jakobson, 2007). En el caso de la evaluación del riesgo sísmico, mucha de la información disponible no necesariamente es recolectada específicamente con esta finalidad sino con fines administrativos, de manera que pueden presentarse diferencias substanciales entre la información requerida por los modelos de evaluación y la información realmente disponible.

Determinar la calidad de la información disponible para la evaluación del riesgo sísmico es un aspecto importante durante el proceso de formulación y selección de indicadores. Dicho proceso implica establecer un claro entendimiento del modelo de administración urbana y de su estructura institucional para de esta manera definir la relación entre la información producida con fines administrativos y la información requerida para evaluar el riesgo. Para efectos del presente estudio, la evaluación de la calidad de la información disponible para la evaluación de los factores de riesgo se basó en cuatro criterios (Botero, 2009):

- Disponibilidad: Estado de disponibilidad de la información.
- Confiabilidad: Procedencia y verificabilidad de la información.
- Integridad: Hace referencia a si la información es completa y suficiente.
- Escala: Hace referencia a si la información se encuentra a una escala adecuada.
- Temporalidad: Hace referencia a si la información está lo suficientemente actualizada.

El propósito del presente estudio fue el de emplear la información que presentara las mejores condiciones en términos de los cuatro criterios enunciados. La valoración de la calidad se realizó de manera implícita y en términos cualitativos durante el proceso de recopilación de información y formulación de indicadores. Sin embargo y como ya se mencionó, un proceso de evaluación cabal de la calidad de la información debería incluir la evaluación de los aspectos técnicos de los datos y de su usabilidad para propósitos específicos en la que participen todos los actores involucrados en las tareas de recolección, producción y administración de información.

3.1.2 Aproximación práctica

La aproximación práctica sigue una trayectoria opuesta a la aproximación teórica, es decir que a partir de los datos disponibles se establece qué información es posible generar para la evaluación de los factores y parámetros de riesgo.

Obviamente en esta instancia ya se cuenta con el conocimiento preliminar que proporciona la aproximación teórica y ya se han definido, la escala de evaluación y los parámetros de calidad de la información requerida. Los aspectos relacionados con la generación de información y evaluación del riesgo serán discutidos en la propuesta metodológica de la que trata el Numeral 3.2 más adelante.

3.1.2.1 Información disponible

La búsqueda de información se realizó en torno a las temáticas relacionadas con los factores de riesgo establecidos por el los modelos de evaluación considerados. Para el factor de exposición y fragilidad física se contó con los resultados del estudio de escenario de daños "Actualización y Sistematización de los Escenarios de Daño por Terremoto para Bogotá" (FOPAE, 2011). La búsqueda de información relacionada con el factor de capacidad se centró en los aspectos de infraestructura, planeación urbana, medioambiente, servicios sociales y comunitarios, demografía y desarrollo económico los cuales. La Tabla 3.1 presenta los aspectos considerados para cada factor y las fuentes de información consultadas.

Factor	Aspecto	Fuente de Información
Exposición y susceptibilidad física	Exposición física	Actualización y Sistematización de los Escenarios de Daño por Terremoto para Bogotá" (FOPAE, 2011)
	Afectación de la población	Actualización y Sistematización de los Escenarios de Daño por Terremoto para Bogotá" (FOPAE, 2011)
Fragilidad socioeconómica	Vulnerabilidad Social	Secretaría Distrital de Planeación Departamento Nacional de Estadística DANE Unidad Administrativa del Catastro Distrital
	Vulnerabilidad Económica	Secretaría de Hacienda Distrital Secretaría Distrital de Planeación Departamento Nacional de Estadística DANE
Resiliencia / Capacidad de respuesta	Planeación	FOPAE
	Operaciones	Secretaría de Salud Cruz Roja Colombiana Defensa Civil Colombiana Policía Metropolitana
	Logística	FOPAE Instituto de Desarrollo Urbano IDU Unidad Administrativa de Catastro Distrital
	Recuperación	Secretaría de Planeación Distrital Secretaría de Hacienda Distrital Departamento Nacional de Estadística DANE Unidad Administrativa de Catastro Distrital

Tabla 3.1. Factores de riesgo, aspectos considerados y fuentes de información consultadas

3.2 PROPUESTA METODOLÓGICA

3.2.1 Enfoque conceptual

La propuesta metodológica para la presente evaluación holística del riesgo sísmico está basada en las empleadas por trabajos anteriores (Cardona, 2001; Carreño 2006; IDB-IDEA-ERN, 2008) y sobre la base de la recopilación bibliográfica de indicadores de riesgo propuestos por estas y otras metodologías de evaluación de capacidad y vulnerabilidad socioeconómica (Davidson, 1997; Cardona, 2001; Dwyer, 2004; Carreño, 2006; EMI, 2006; Suárez, 2009; Botero, 2009).

La Figura 3.2 ilustra el enfoque conceptual y metodológico adoptado: El riesgo R es función del daño físico potencial debido a una amenaza $D\varphi$, y de un factor de impacto, I_f. El primero es función de la exposición y susceptibilidad de los elementos expuestos γDi dada una serie de amenazas Hi de intensidad potencial I que ocurren en un periodo de tiempo t. El factor de impacto depende de las fragilidades sociales γFi y de los factores de resiliencia γRi.

Las actividades de gestión del riesgo implican la implementación de un sistema de control (estructura institucional) y actuación (políticas y acciones públicas), que al intervenir en forma correctiva y prospectiva los factores involucrados, permita identificar, reducir y gestionar el riesgo.

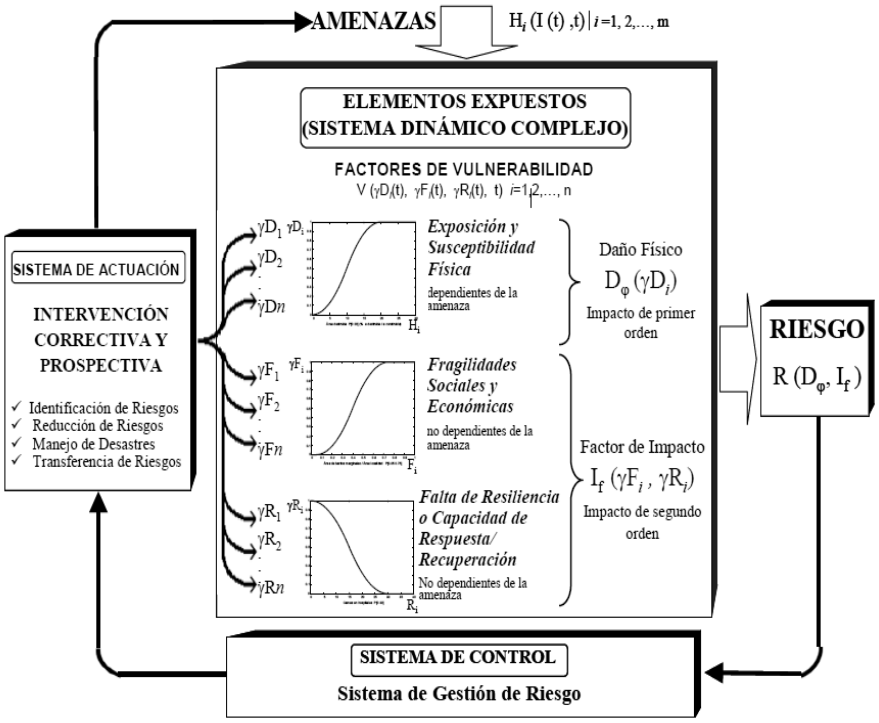


Figura 3.2. Enfoque conceptual de evaluación holística del riesgo (Carreño, 2006)

3.2.2 Metodología de evaluación

El riesgo sísmico total se evalúa mediante la metodología de evaluación multicriterio EMC en el que el modelo conceptual ilustrado en la Figura 3.2 se descompone en una serie de descriptores, indicadores y componentes clasificados de acuerdo a su naturaleza e importancia conformando así una matriz de criterios de evaluación jerárquicamente organizados.

El riesgo total R_T expresado como función del riesgo físico R_F y del factor de impacto (1- F) se evalúa mediante la Ecuación 3.1. El coeficiente de agravamiento F es a su vez función de la fragilidad socioeconómica F_{FS} y de la resiliencia F_{FR} del contexto.

El riesgo físico R_F se obtiene se obtiene mediante la suma de los descriptores normalizados (indicadores) de riesgo físico F_{RFi} multiplicados por los correspondientes factores de ponderación W_{RFi} mediante la Ecuación 3.2. El coeficiente de agravamiento F se obtiene mediante la suma de los descriptores normalizados (indicadores) de fragilidad social F_{FSi} y resiliencia F_{FRj} multiplicados por los factores de ponderación W_{FSi} y W_{FRj} respectivamente mediante la Ecuación 3.3.

$$R_T = R_F(1+F)$$

Ecuación 3.1

$$R_F = \sum_{i=1}^{p} w_{RFi} \times F_{RFi}$$

Ecuación 3.2

$$F = \sum_{i=1}^{m} w_{FSi} \times F_{FSi} + \sum_{j=1}^{n} w_{FRj} \times F_{FRj}$$

Ecuación 3.3

3.2.3 Descriptores e indicadores de riesgo

3.2.3.1 Descriptores de riesgo físico

La propuesta de descriptores de exposición y susceptibilidad física de la presente evaluación se realizó sobre la base de la revisión metodológica de la que trata el Capítulo 2, de los resultados de daños y afectaciones del proyecto "Actualización y Sistematización de los Escenarios de Daño por Terremoto para Bogotá" (FOPAE, 2011).

En la Tabla 3.2 se presenta la relación y principales características de los descriptores usados para la evaluación del Índice de riesgo físico por sismo R_F. Dichos descriptores han sido estructurados jerárquicamente en dos factores: exposición física y exposición de la población.

3.2.3.2 Descriptores de riesgo socioeconómico

La propuesta de descriptores de fragilidad socioeconómica y resiliencia se realizó sobre la base de la revisión metodológica de la que trata el Capítulo 2 y de la información socioeconómica disponible en las entidades distritales relacionadas en la Tabla 3.1.

En la Tabla 3.3 se presenta la relación y principales características de los descriptores usados para la evaluación del coeficiente de agravamiento F. Dichos descriptores han sido estructurados jerárquicamente en dos factores: fragilidad social y económica y resiliencia (planeación, operaciones, logística y recuperación).

En el Anexo 2 se presenta la documentación de cada uno de los descriptores de exposición y susceptibilidad física, fragilidad socioeconómica y resiliencia incluyendo la fuente de información consultada y la metodología de evaluación.

	Código	*Descriptor*	*Unidad*	*Escala de análisis*
Exposición física				
Área construida destruida				
	XRF01	Área destruida de las edificaciones de uso 01 residencial	%	UPZ
	XRF02	Área destruida de las edificaciones de uso 02 comercial y de servicios	%	UPZ
	XRF03	Área destruida de las edificaciones de uso 03 industrial	%	UPZ
	XRF04	Área destruida de las edificaciones de uso 04 dotacional	%	UPZ
Acueducto				
	XRF05	Daño de la red de acueducto	No. de roturas/km2	UPZ
Alcantarillado				
	XRF06	Daño de la red de alcantarillado	No. de roturas/km2	UPZ
Gas				
	XRF07	Daño de la red de gas domiciliario	No. de roturas/km2	UPZ
Red energía eléctrica				
	XRF08	Daño de la red de energía eléctrica	km/km2	UPZ
	XRF09	Daño representativo de las torres de energía eléctrica	Estado de daño (0-0.4)	UPZ
	XRF10	Daño representativo de los postes de energía eléctrica	Estado de daño (0-0.4)	UPZ
Red de telecomunicación				
	XRF11	Daño de la red de telecomunicaciones	km/km2	UPZ
	XRF12	Porcentaje de área destruida de centrales telefónicas	%	Localidad
	XRF13	Daño representativo de los postes de telecomunicaciones	Estado de daño (0 a 3)	UPZ
Puentes				
	XRF14	Daño representativo de los puentes vehiculares	Estado de daño (0-0.33)	Localidad
	XRF15	Daño representativo de los puentes peatonales	Estado de daño (0-0.33)	Localidad
Exposición de la población				
	XRF16	Víctimas	1/1.000 hab	UPZ
	XRF17	Heridos	1/1.000 hab	UPZ
	XRF18	Personas sin vivienda	1/1.000 hab	UPZ
	XRF19	Puestos de trabajo afectados	1/1.000 hab	UPZ

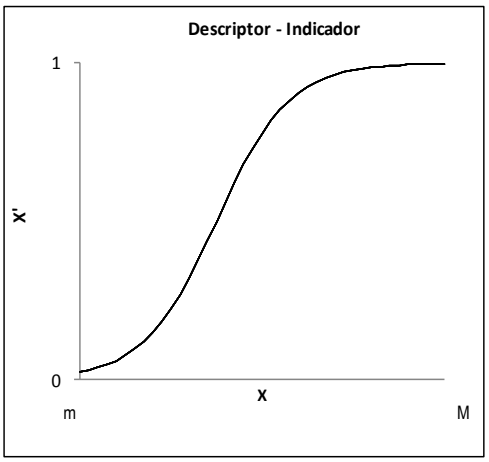
Tabla 3.2. Descriptores de exposición y susceptibilidad física

	Código	*Descriptor*	*Unidad*	*Escala de análisis*
Fragilidad socioeconómica				
Vulnerabilidad Social				
	XFS01	Densidad de población	hab/km2	UPZ
	XFS02	Tasa de mortalidad	1/10.000 hab	Localidad
	XFS03	Tasa de delincuencia	1/100.000 hab	Localidad
	XFS04	Área barrios marginales	%	UPZ
	XFS05	Índice de necesidades básicas insatisfechas NBI	NBI	Localidad
	XFS06	Índice parcial de disparidad social	Índice (0 a 1)	Localidad
	XFS07	Minorías	1/10.000 hab	Localidad
	XFS08	Población discapacitada	1/10.000 hab	UPZ
	XFS09	Índice de vulnerabilidad por edad de la población	Índice	UPZ
Vulnerabilidad económica				
	XFS10	Índice de dependencia económica	Índice	Localidad
	XFS11	Índice de Gini de disparidad económica	Índice (0 a 1)	Localidad
Resiliencia				
Planeación				
	XFR01	Plan de emergencia	Calificación (1,2,3,4,5)	Localidad
	XFR02	Participación simulacro distrital	%	Localidad
	XFR03	Nivel de sensibilización sobre prevención de riesgos	%	Localidad
Operaciones				
	XFR04	Capacidad hospitalaria	No. de camas/1.000 hab	Localidad
	XFR05	Recurso humano en salud	1/1.000 hab	Ciudad
	XFR06	Número de ambulancias	1/10.000 hab	Ciudad
	XFR07	Número de bomberos	1/1.000 hab	Ciudad
	XFR08	Personal de búsqueda y rescate	1/1.000 hab	Localidad
	XFR09	Personal orden público	1/1.000 hab	Ciudad
Logística				
	XFR10	Centro de manejo de emergencias	Calificación (1,2,3,4,5)	Ciudad
	XFR11	Refugio	m2/hab	UPZ
	XFR12	Espacio público	%	UPZ
	XFR13	Densidad vial	%	UPZ
Recuperación				
	XFR14	Nivel de desarrollo	Índice (0 a 0.29)	UPZ
	XFR15	Ingreso per cápita	$CO (millones)	Localidad
	XFR16	Nivel educativo	Índice (0 a 0.33)	Localidad

Tabla 3.3. Descriptores de fragilidad socioeconómica y resiliencia

3.2.4 Funciones y parámetros de normalización de los descriptores

El proceso EMC implica llevar todos y cada uno de los descriptores a una escala común de cuantificación. Este procedimiento se realiza mediante el uso de funciones de transformación de tipo sigmoidal de acuerdo con la Ecuación 3.4 o lineal de acuerdo con la Ecuación 3.5.

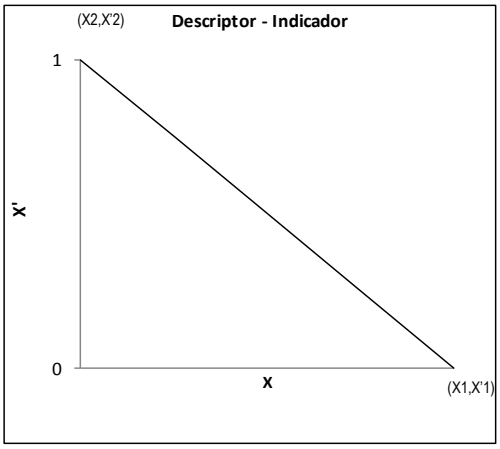


$$X' = \frac{1}{1 + e^{-\beta\left(\frac{X-m}{M-m}-\mu\right)}}$$

Ecuación 3.4

Donde,

X: Valor inicial del descriptor
X′: Valor normalizado (indicador)
e: Base del logaritmo natural
β: Parámetro - pendiente de la curva
M: Parámetro - valor máximo del descriptor
m: Parámetro - valor mínimo del descriptor
μ: Parámetro - punto de inflexión de la curva



$$X' = \frac{X'1 - X'2}{X1 - X2}X + X'\mathbf{1} - \frac{X'\mathbf{1} - X'2}{X1 - X\mathbf{2}}X\mathbf{1}$$

Ecuación 3.5

Donde,

X: Valor inicial del descriptor
X′: Valor normalizado (indicador)

X1: Valor mínimo del descriptor (o valor mínimo de referencia)
X2: Valor máximo del descriptor (o valor máximo de referencia)
X'1: Valor mínimo del descriptor normalizado (0)
X'2: Valor máximo del descriptor normalizado (1)

Los valores de los parámetros que determinan las funciones que se emplean para normalizar cada uno de los descriptores se obtienen a partir de los valores de referencia establecida mediante el consenso de expertos, revisión bibliográfica, observaciones efectuadas en eventos sísmicos en contextos urbanos o a partir del examen de las estadísticas del descriptor.

3.2.5 Evaluación de los coeficientes de ponderación para los indicadores de exposición y susceptibilidad física

Los coeficientes de ponderación de los indicadores de exposición y susceptibilidad física representan la importancia relativa de cada uno de ellos en el proceso de agregación mediante evaluación multicriterio. La evaluación dichos coeficientes se efectúa mediante el proceso jerárquico analítico PJA (Saaty, 1987).

El PJA se basa en la comparación de criterios entre pares ordinales de descriptores de riesgo para establecer cuantitativamente la importancia relativa de un descriptor respecto al otro mediante la escala de calificación que se presenta en la Tabla 3.4. Estas comparaciones generan una matriz que permite calcular los pesos relativos de cada uno de los descriptores considerados y verificar la consistencia del ejercicio a través del cálculo de los vectores y valores propios de dicha matriz.

Como resultado se obtiene un conjunto de factores de ponderación que son menos sensitivos a errores de juicio y cuya consistencia puede ser determinada cuantitativamente.

Valor cualitativo	***Valor cuantitativo***
Extremadamente más importante	9
Mucho más importante	7
Más importante	5
Moderadamente más importante	3
Igualmente importante	1
Moderadamente menos importante	1/3
Más importante	1/5
Mucho menos importante	1/7
Extremadamente menos importante	1/9

Tabla 3.4. Escala de calificación empleado en el PJA

CAPÍTULO 4

4 EVALUACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO SÍSMICO

En el presente capítulo ilustra el procedimiento y los resultados de la evaluación holística del riesgo de la ciudad de Bogotá. La implementación práctica de la propuesta metodológica de la que trata el Capítulo 3 se ilustra en la Figura 4.1.

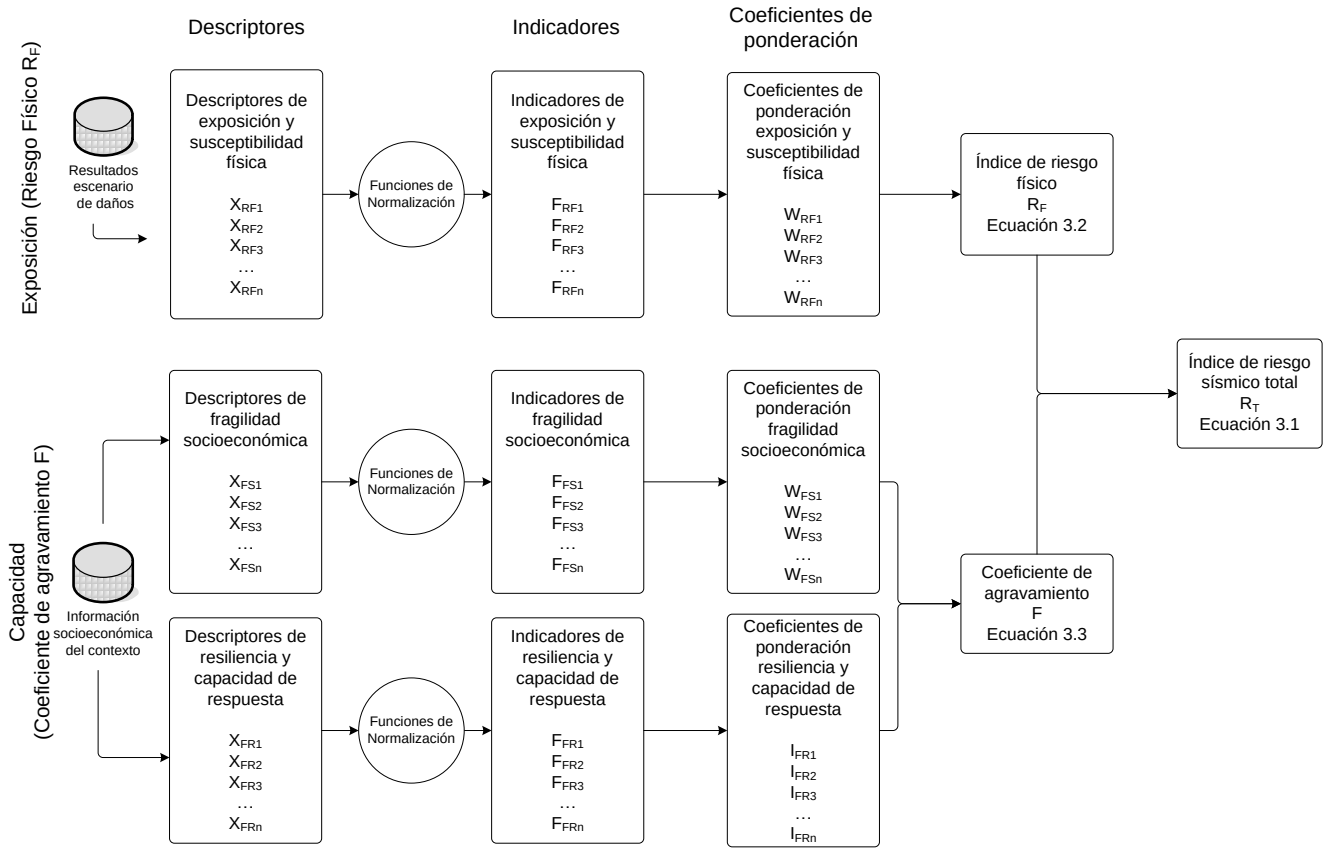


Figura 4.1. Procedimiento de evaluación del Índice de Riesgo Físico R_F, Coeficiente de Agravamiento e Índice de Riesgo Sísmico Total R_T

4.1 ÍNDICE DE RIESGO FÍSICO POR SISMO R_F

De acuerdo con el marco metodológico, el riesgo físico R_F es función de la exposición y susceptibilidad de los elementos expuestos γDi dada una serie de amenazas Hi de intensidad potencial I que ocurren en un periodo de tiempo t (ver Figura 3.2). Es decir que para establecer el índice de riesgo físico sísmico R_F y el índice de riesgo sísmico total R_T es necesario evaluar integralmente los diferentes escenarios de amenaza sísmica probables.

La estrategia adoptada por el presente estudio fue la de evaluar un índice de riesgo físico R_F para cada uno de los escenarios de amenaza sísmica que fueron establecidos por el estudio "Actualización y Sistematización de los Escenarios de Daño por Terremoto para Bogotá" (FOPAE, 2011).

La definición de estos escenarios se basó en los resultados de la actualización del Mapa Nacional de Amenaza Sísmica de Colombia (AIS, 2009), los sismos históricos que han afectado a la ciudad y la Norma de Diseño de Construcciones Sismoresistentes NSR-10 (FOPAE, 2011). En la Tabla 4.1 se presentan las características de los cuatro escenarios considerados.

Escenario	Fuente	Magnitud Ml	Distancia (km)	Profundidad (km)	Periodo de retorno (años)
Umbral de daño	Regional	6.5	50	25	30
Seguridad limitada	Regional	7.0	40	25	225
Diseño	Regional	7.3	35	25	475
Diseño especial	Cercana	6.5	15	15	1.000

Tabla 4.1. Escenarios de amenaza sísmica para la evaluación del Índice de Riesgo Físico R_F

A partir de los escenarios de amenaza sísmica anteriormente citados, el estudio "Actualización y Sistematización de los Escenarios de Daño por Terremoto para Bogotá" (FOPAE, 2011) estableció cuatro escenarios de daño para la zona urbana de la ciudad. Los escenarios de daño incluyen resultados de daño en edificaciones y líneas vitales, pérdidas económicas en edificaciones y afectación a la población para cada uno de los escenarios de amenaza considerados.

La propuesta de descriptores de exposición y susceptibilidad física de la presente evaluación se realizó sobre la base de la revisión metodológica de la que trata el Capítulo 2 y de los resultados de daños y afectaciones citados. En la Tabla 3.2 se presenta la relación y principales características de los descriptores usados para la evaluación del Índice de riesgo físico por sismo R_F. Dichos descriptores han sido estructurados jerárquicamente en dos factores: exposición física y exposición de la población, lo anterior con la finalidad de facilitar el proceso de EMC como se expondrá más adelante.

4.1.1 Resultados para los descriptores de exposición y susceptibilidad física del Escenario de Amenaza Sísmica 1

El escenario de amenaza sísmica 1 – Umbral de Daño, considera un sismo generado por una fuente regional con una magnitud de 6.5 en la escala de Richter a una distancia promedio de 50 km y una profundidad de 25 km, evento que está asociado a un periodo de retorno equivalente de 30 años.

En la Figura 4.2 a la Figura 4.4 se presentan los resultados de los descriptores de exposición y susceptibilidad física y de la población por localidad los cuales fueron evaluados a partir de los resultados del escenario de daños correspondiente a este escenario de amenaza sísmica (FOPAE, 2011). En el Anexo 3 se presentan los resultados tabulados por UPZ.

4.1.1.1 Área construida destruida

Para este escenario de amenaza sísmica el área destruida de uso residencial (i.e. aquella que presenta un índice de daño mayor al 45%) varía entre 0 y 11.9%. Las localidades más afectadas son Candelaria (11.9%), Chapinero (8.9%) y San Cristóbal (5.9%).

La localidad de Rafael Uribe presenta un área destruida de uso comercial y de servicios de 4.1%. Las demás localidades presentan valores inferiores al 1% para este uso.

La localidad de Usme presenta un área destruida de uso industrial del 77.7%. Las demás localidades presentan valores inferiores al 1% para este uso.

El área destruida de uso dotacional varía entre 0 y 68.7%. Las localidades que presentan mayor área destruida de uso dotacional son Rafael Uribe (68.7%), Chapinero (43.1%) y Usme (32.4%). %. Las demás localidades presentan valores inferiores al 10% para este uso.

4.1.1.2 Red de acueducto, alcantarillado y gas

La red de acueducto presenta tasas de rotura que varían entre 0 y 1.23 roturas/km^2. Las localidades que presentan mayores tasas de rotura para este tipo de red son Barrios Unidos, Engativá y Teusaquillo.

La red de alcantarillado presenta tasas de rotura entre 0 y 1.60 roturas/km^2. Las localidades que presentan mayores tasas de rotura para este tipo de red son Engativá, Barrios Unidos y Usaquén.

La red de gas domiciliario presenta tasas de rotura entre 0 y 0.06 roturas/km^2.

4.1.1.3 Redes de cableado de energía eléctrica y telecomunicaciones

Las redes de energía eléctrica y telecomunicaciones presentan tasas de rotura que varían entre 0 y 40 m/km^2. Las localidades que presentan mayores tasas de rotura para este tipo de redes son Candelaria, Chapinero y Santafé.

4.1.1.4 Torres y postes de las redes de energía eléctrica y telecomunicaciones

El estado de daño ponderado representativo de las torres y postes de estas redes presenta valores entre 0 y 0.06 valor equivalente a un estado de daño 0 (sin daño).

4.1.1.5 Centrales telefónicas

Ninguna de las centrales telefónicas en ninguna de las localidades presenta áreas afectadas mayores al 45%.

4.1.1.6 Puentes vehiculares y peatonales

El estado de daño ponderado representativo de los puentes vehiculares presenta valores entre 0 y 0.13. Es decir que se presentan estados de daño 1 a 2 (ningún daño a daño menor). Las localidades más afectadas son Usme, Chapinero y Antonio Nariño.

El estado de daño ponderado representativo de los puentes peatonales presenta valores entre 0 y 0.17. Es decir que se presentan estados de daño 1, 2 y 3 (ningún daño, daño menor y daño moderado). Las localidades más afectadas son Santafé, San Cristóbal y Usme.

4.1.1.7 Víctimas, heridos, personas sin vivienda y puestos de trabajo afectados

El número de víctimas varía entre 0 y 9 víctimas/1.000hab. Las localidades más afectadas son Chapinero, Rafael Uribe y Candelaria.

El número de heridos varía entre 0 y 36 heridos/1.000hab. Las localidades más afectadas son Chapinero, Rafael Uribe y Candelaria.

El número de personas sin vivienda varía entre 0 y 199 hab/1.000hab. Las localidades más afectadas son Rafael Uribe, San Cristóbal y Candelaria.

El número de puestos de trabajo afectados varía entre 0 y 102 puestos/1.000hab. Las localidades más afectadas son Chapinero, Candelaria y Santafé.

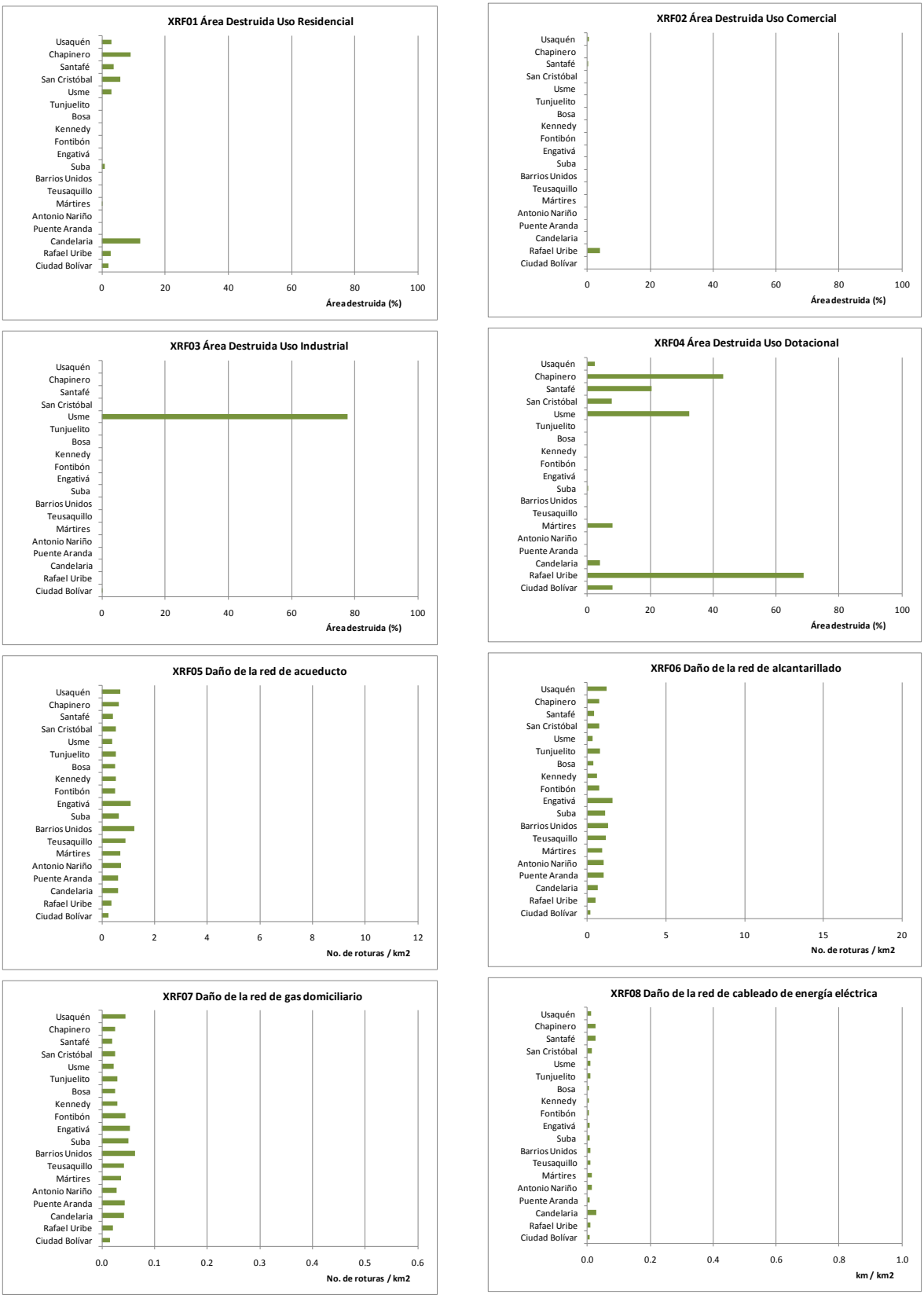
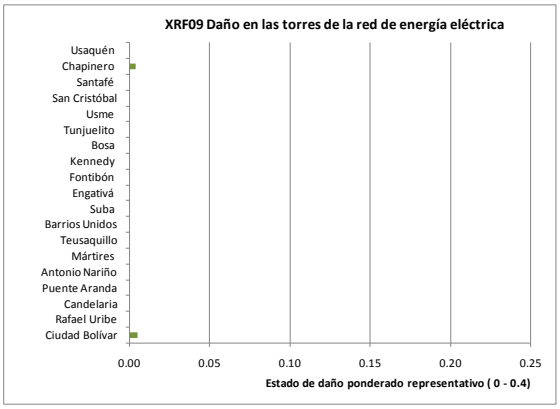
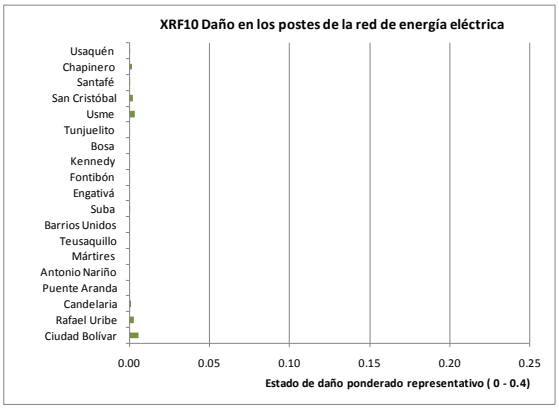
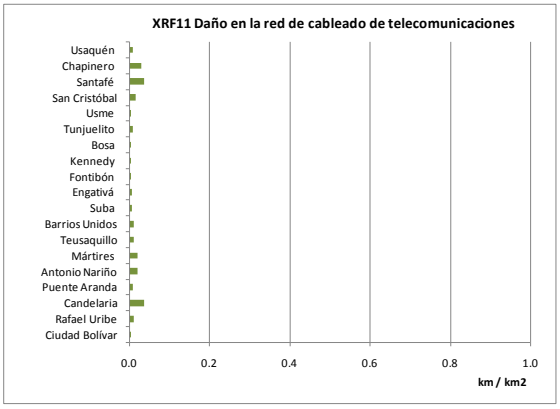
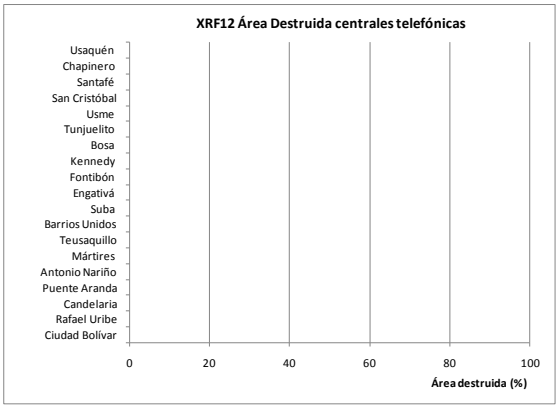


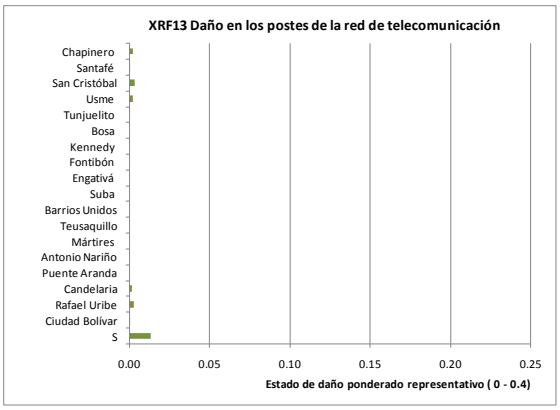
Figura 4.2. Descriptores de exposición física para el Escenario de Amenaza Sísmica 1 (1 de 2)

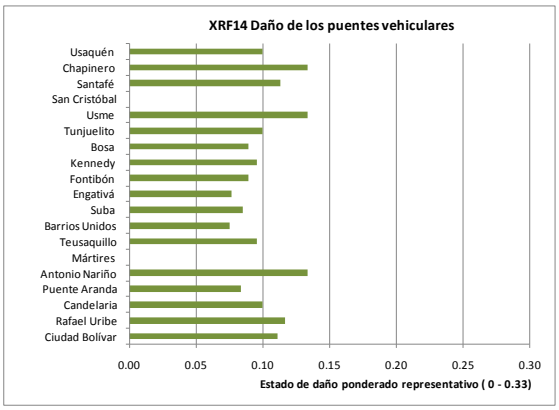












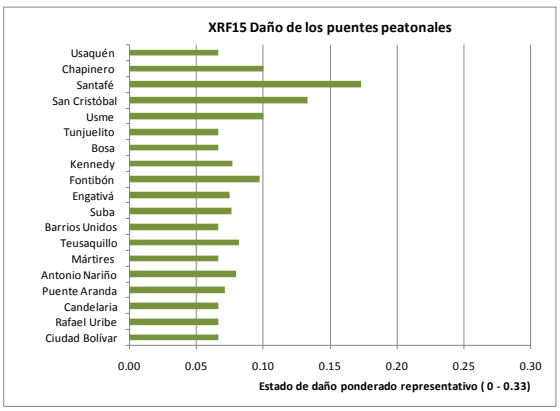


Figura 4.3. Descriptores de exposición física para el Escenario de Amenaza Sísmica 1 (2 de 2)

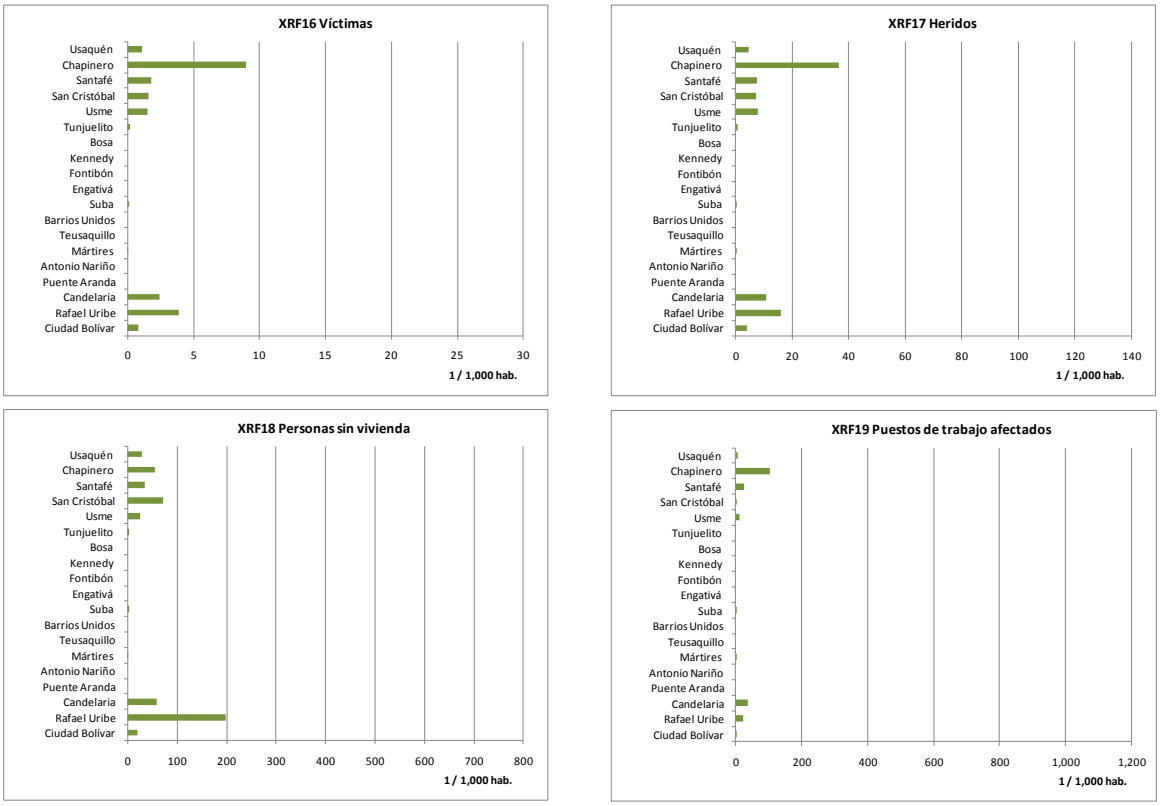


Figura 4.4. Descriptores de exposición de la población para el escenario de amenaza sísmica 1

4.1.2 Resultados para los descriptores de exposición y susceptibilidad física del Escenario de Amenaza Sísmica 2

El escenario de seguridad limitada considera un sismo generado por una fuente regional con una magnitud de 7.0 en la escala de Richter a una distancia promedio de 40 km y una profundidad de 25 km, evento que está asociado a un periodo de retorno equivalente de 225 años.

En la Figura 4.5 a la Figura 4.7 se presentan los resultados de los descriptores de exposición y susceptibilidad física y de la población por localidad. En el Anexo 3 se presentan los resultados tabulados por UPZ.

4.1.2.1 Área construida destruida

En general los resultados de daño de las áreas construidas en este escenario son similares a los del escenario 1. El área destruida de uso residencial varía entre el 0 y el 11.9%. Las localidades que presentan mayor área destruida de uso residencial son Candelaria (11.9%), Chapinero (8.9%) y San Cristóbal (5.89%).

La localidad de Rafael Uribe presenta un área destruida de uso comercial y de servicios de 4.1%. Las demás localidades presentan valores inferiores al 1% para este uso.

La localidad de Usme presenta un área destruida de uso industrial del 77.7%. Las demás localidades presentan valores inferiores al 1% para este uso.

El área destruida de uso dotacional varía entre 0 y 68.7%. Las localidades que presentan mayor área destruida de uso dotacional son Rafael Uribe (68.7%), Chapinero (43.1%) y Usme (32.4%). %. Las demás localidades presentan valores inferiores al 10% para este uso.

4.1.2.2 Red de acueducto, alcantarillado y gas

La red de acueducto presenta tasas de rotura entre 0 y 6.42 roturas/km^2. Las localidades que presentan mayores tasas de rotura para este tipo de red son Barrios Unidos, Engativá y Teusaquillo.

La red de alcantarillado presenta tasas de rotura entre 0 y 8.79 roturas/km^2. Las localidades que presentan mayores tasas de rotura para este tipo de red son Engativá, Barrios Unidos y Usaquén.

La red de gas domiciliario presenta tasas de rotura entre 0 y 0.06 roturas/km2.

4.1.2.3 Redes de cableado de energía eléctrica y telecomunicaciones

Las redes de energía eléctrica y telecomunicaciones presentan tasas de rotura que varían entre 0 y 260 m/km^2. Las localidades que presentan mayores tasas de rotura para este tipo de redes son Candelaria, Chapinero y Santafé.

4.1.2.4 Torres y postes de las redes de energía eléctrica y telecomunicaciones

El estado de daño ponderado representativo de las torres y postes de estas redes presenta valores entre 0 y 0.06 valor equivalente a un estado de daño 0 (sin daño).

4.1.2.5 Centrales telefónicas

Ninguna de las centrales telefónicas en ninguna de las localidades presenta áreas afectadas mayores al 45%.

4.1.2.6 Puentes vehiculares y peatonales

El estado de daño ponderado representativo de los puentes vehiculares presenta valores entre 0 y 0.24. Es decir que se presentan estados de daño 1, 2 y 3 (ningún daño, daño menor y daño moderado). Las localidades más afectadas son Usme, Bosa y Ciudad Bolívar.

El estado de daño ponderado representativo de los puentes peatonales presenta valores entre 0 y 0.23. Es decir que se presentan estados de daño 1, 2 y 3 (ningún daño, daño menor y daño moderado). Las localidades más afectadas son Santafé, Usme y Rafael Uribe.

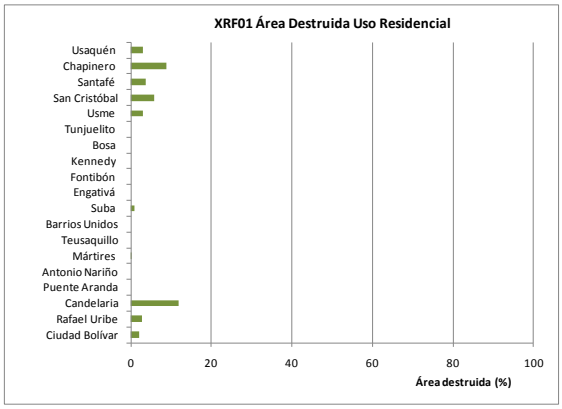
4.1.2.7 Víctimas, heridos, personas sin vivienda y puestos de trabajo afectados

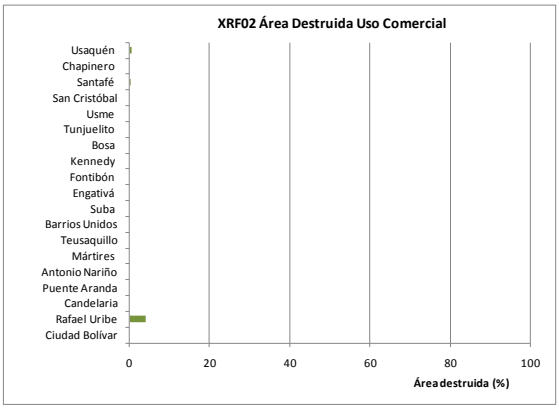
El número de víctimas varía entre 0 y 12 víctimas/1.000hab. Las localidades más afectadas son Chapinero, Santafé y Candelaria.

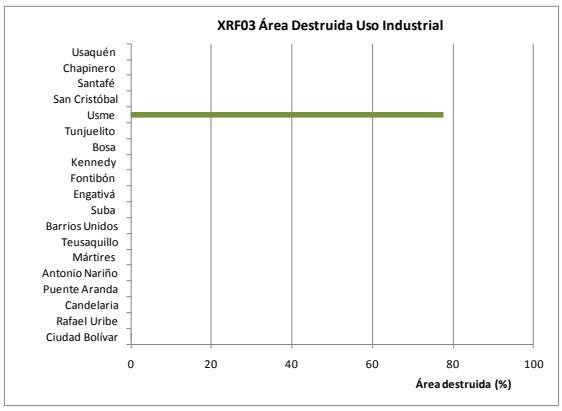
El número de heridos varía entre 0 y 51 heridos/1.000hab. Las localidades más afectadas son Chapinero, Santafé y Candelaria.

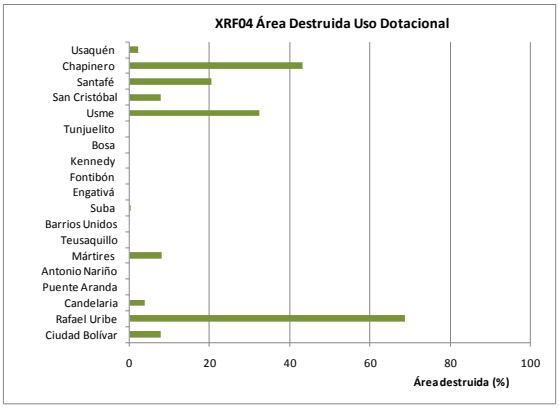
El número de personas sin vivienda varía entre 0 y 199 hab/1.000hab. Las localidades más afectadas son Rafael Uribe, San Cristóbal y Candelaria.

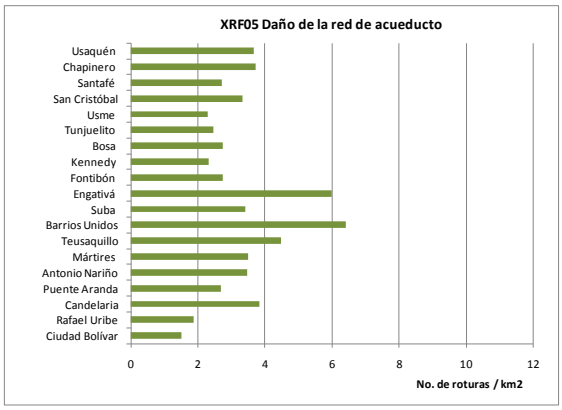
El número de puestos de trabajo afectados varía entre 0 y 102 puestos/1.000hab. Las localidades más afectadas son Chapinero, Candelaria y Santafé.

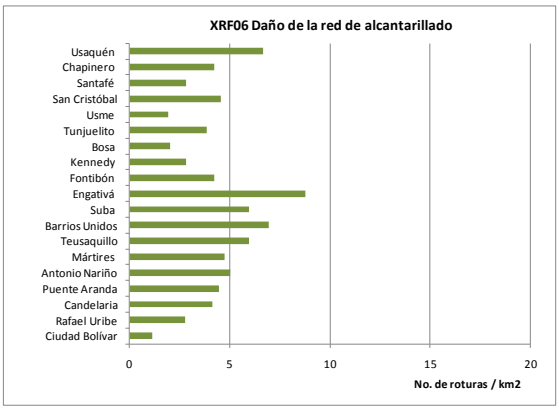


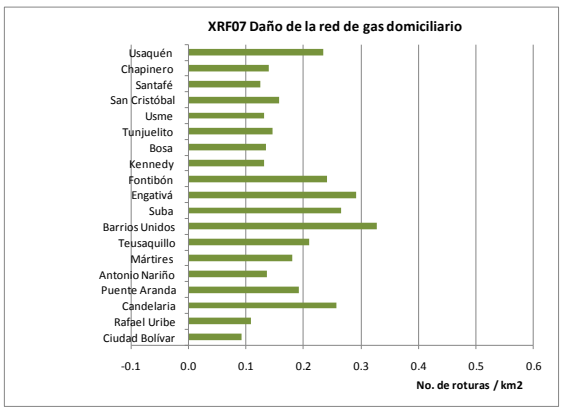












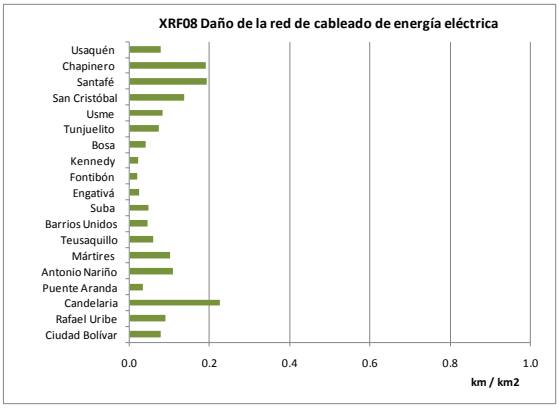
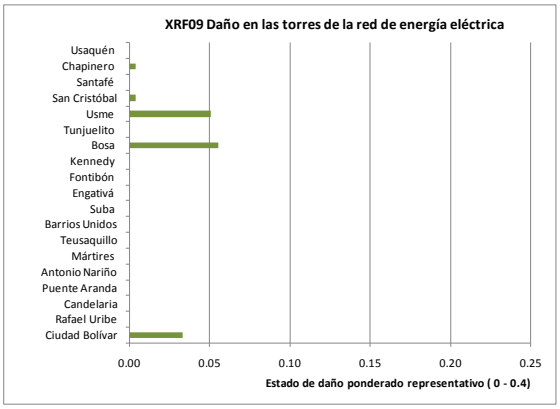
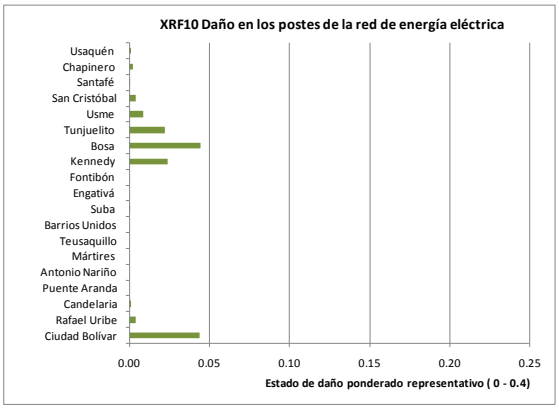
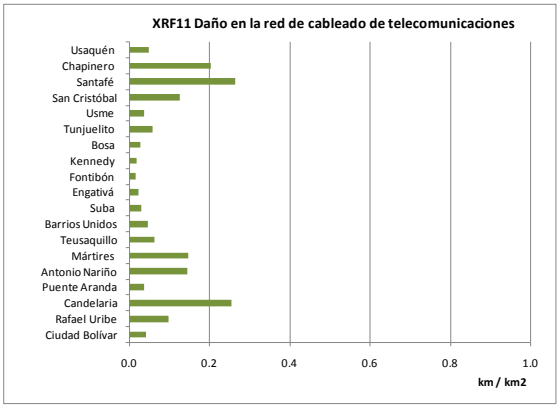
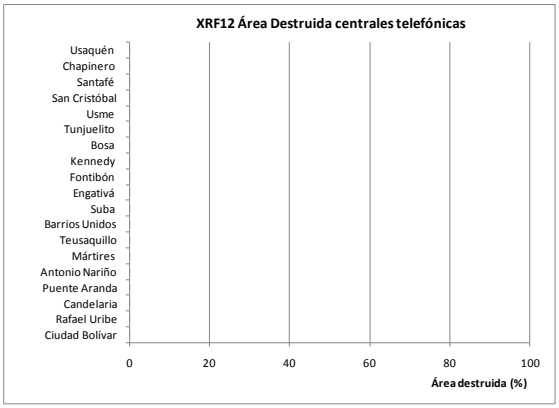


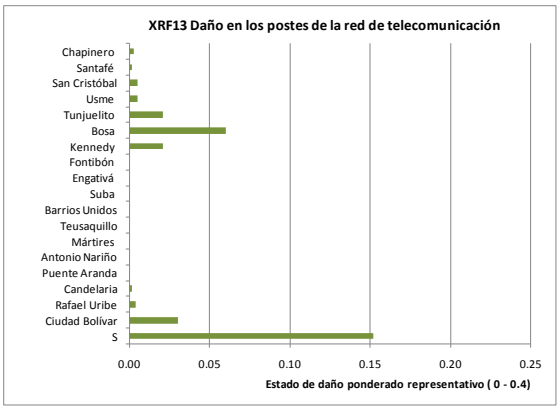
Figura 4.5. Descriptores de exposición física para el Escenario de Amenaza Sísmica 2 (1 de 2)

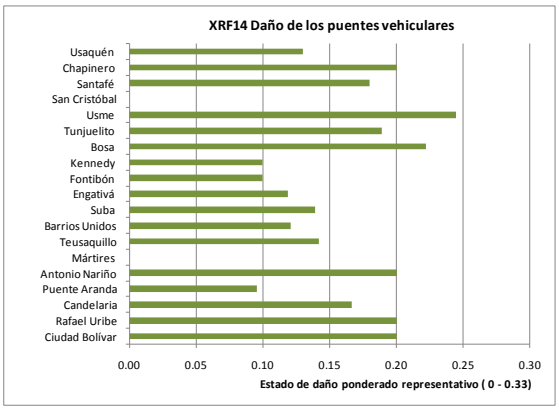












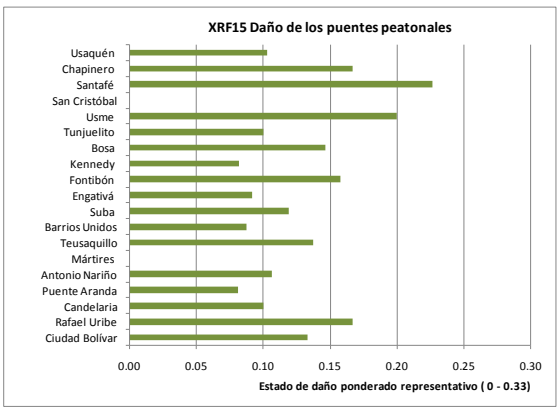


Figura 4.6. Descriptores de exposición física para el Escenario de Amenaza Sísmica 2 (2 de 2)

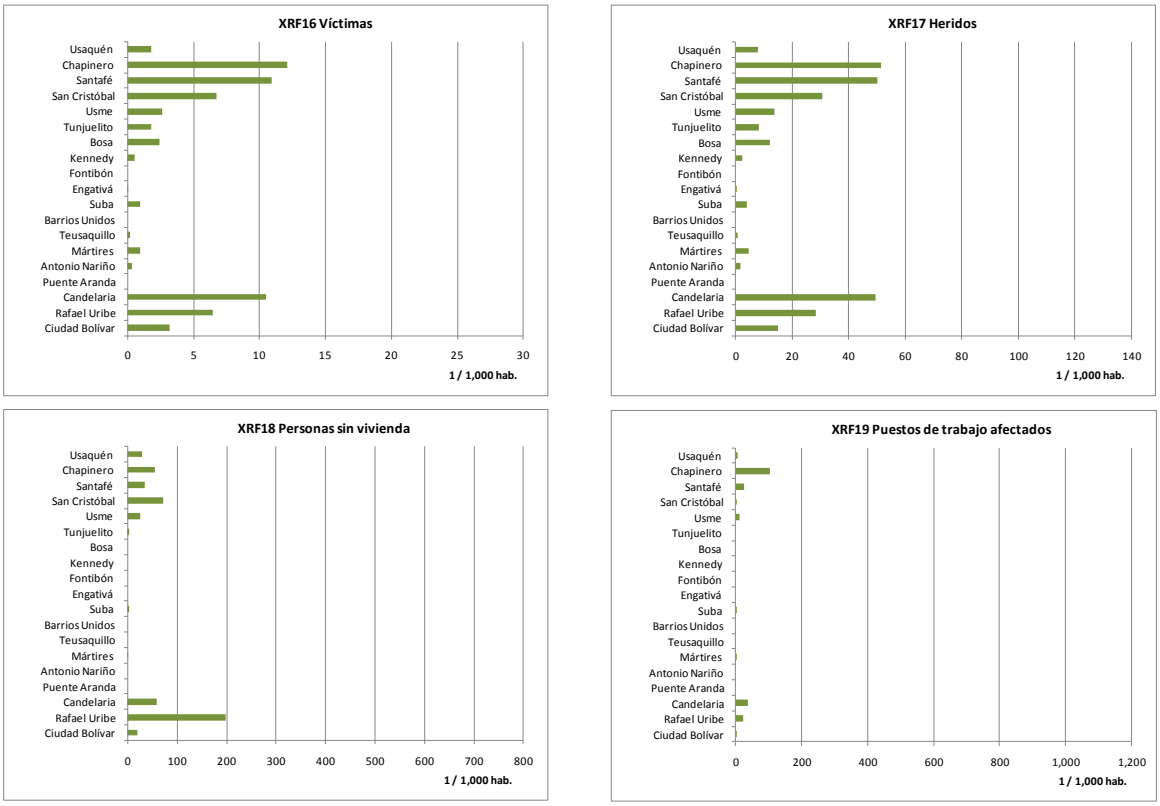


Figura 4.7. Descriptores de exposición de la población para el escenario de amenaza sísmica 2

4.1.3 Resultados para los descriptores de exposición y susceptibilidad física del Escenario de Amenaza Sísmica 3

El escenario de diseño sismo resistente considera un sismo generado por una fuente regional con una magnitud de 7.3 en la escala de Richter a una distancia promedio de 35 km y una profundidad de 25 km, evento que está asociado a un periodo de retorno equivalente de 475 años.

De la Figura 4.8 a la Figura 4.10 se presentan los resultados de los descriptores de exposición y susceptibilidad física y de la población por localidad. En el Anexo 3 se presentan los resultados tabulados por UPZ.

4.1.3.1 Área construida destruida

El área destruida de uso residencial varía entre el 0 y el 35.3%. Las localidades que presentan mayor área destruida de uso residencial son Candelaria (35.3%), San Cristóbal (32.1%) y Santafé (29.7%).

El área destruida de uso comercial y servicios varía entre el 0 y el 19.3%. Las localidades más afectadas respecto a este uso son San Cristóbal (19.3%), Rafael Uribe (6.22%) y Bosa (4%).

La localidad de Usme presenta un área destruida de uso industrial del 77.7% y la localidad de Tunjuelito del 6.7%. Las demás localidades presentan valores inferiores al 1% para este uso.

El área destruida de uso dotacional varía entre 0 y 68.9%. Las localidades que presentan mayor área destruida de uso dotacional son Rafael Uribe (68.9%), Chapinero (44.8%) y Usme (34.1%). %.

4.1.3.2 Red de acueducto, alcantarillado y gas

La red de acueducto presenta tasas de rotura entre 0 y 7.18 roturas/km^2. Las localidades que presentan mayores tasas de rotura para este tipo de red son Engativá, Teusaquillo y Candelaria.

La red de alcantarillado presenta tasas de rotura entre 0 y 10.57 roturas/km^2. Las localidades que presentan mayores tasas de rotura para este tipo de red son Engativá, Barrios Unidos y Usaquén.

La red de gas domiciliario presenta tasas de rotura entre 0 y 0.40 roturas/km^2.

4.1.3.3 Redes de cableado de energía eléctrica y telecomunicaciones

Las redes de energía eléctrica y telecomunicaciones presentan tasas de rotura que varían entre 0 y 370 m/km^2. Las localidades que presentan mayores tasas de rotura para este tipo de redes son Candelaria, Chapinero y Santafé.

4.1.3.4 Torres y postes de las redes de energía eléctrica y telecomunicaciones

El estado de daño ponderado representativo de las torres y postes de estas redes presenta valores entre 0 y 0.10 valor equivalente a un estado de daño 0 (sin daño).

4.1.3.5 Centrales telefónicas

La localidad de Ciudad Bolívar presenta un porcentaje de destrucción del 100% (índice de daño > 45%) de sus centrales telefónicas. En las demás localidades se presenta un porcentaje de destrucción de cero.

4.1.3.6 Puentes vehiculares y peatonales

El estado de daño ponderado representativo de los puentes vehiculares presenta valores entre 0 y 0.24. Es decir que se presentan estados de daño 1, 2 y 3 (ningún daño, daño menor y daño moderado). Las localidades más afectadas son Ciudad Bolívar, Usme y Rafael Uribe.

El estado de daño ponderado representativo de los puentes peatonales presenta valores entre 0 y 0.27. Es decir que se presentan estados de daño 1, 2, 3 y 4 (ningún daño, daño menor, daño moderado y daño generalizado). Las localidades más afectadas son Santafé, San Cristóbal y Usme.

4.1.3.7 Víctimas, heridos, personas sin vivienda y puestos de trabajo afectados

El número de víctimas varía entre 0 y 14 víctimas/1.000hab. Las localidades más afectadas son Chapinero, Santafé y Candelaria.

El número de heridos varía entre 0 y 63 heridos/1.000hab. Las localidades más afectadas son Chapinero, Santafé y Candelaria.

El número de personas sin vivienda varía entre 0 y 348 hab/1.000hab. Las localidades más afectadas son Rafael Uribe, San Cristóbal y Santafé.

El número de puestos de trabajo afectados varía entre 0 y 123 puestos/1.000hab. Las localidades más afectadas son Chapinero, Candelaria y Santafé.

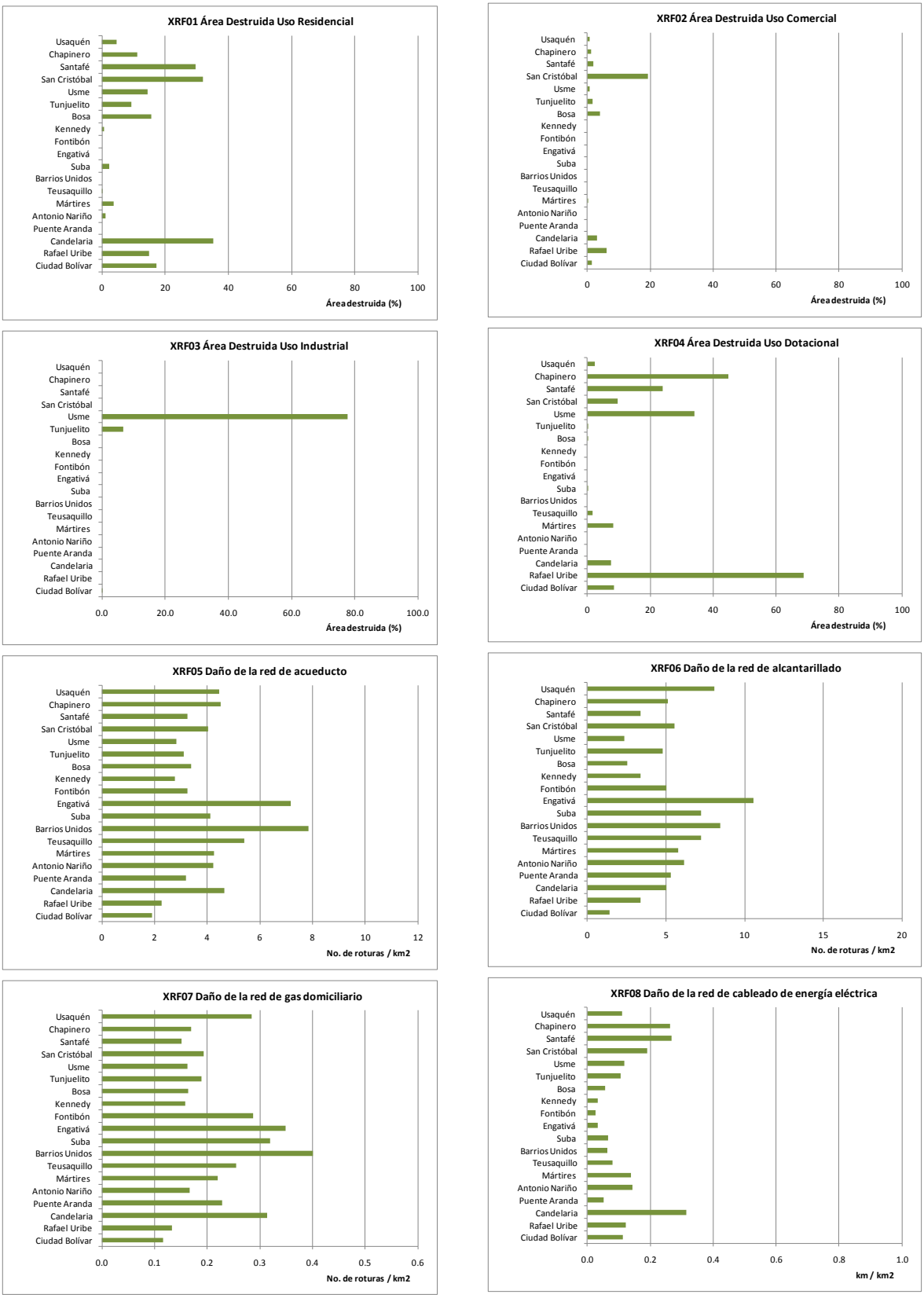
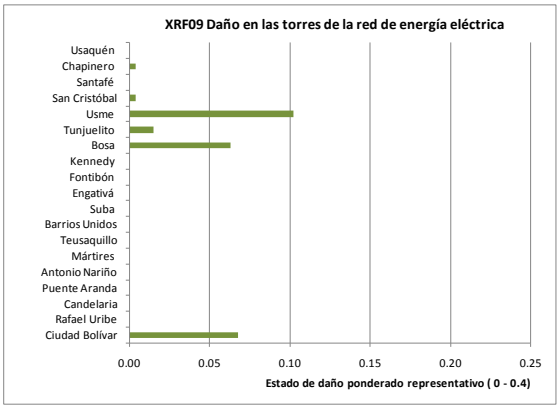
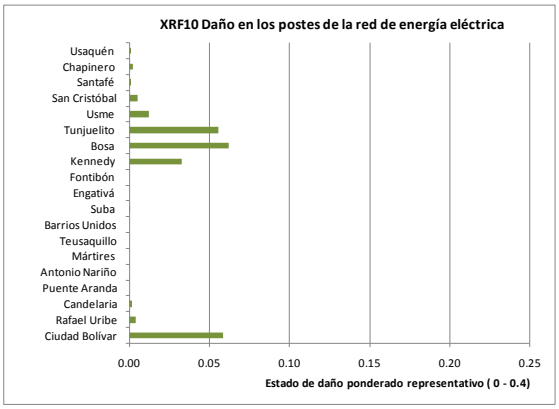
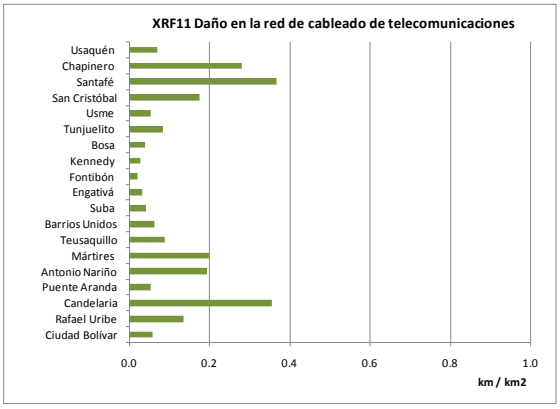
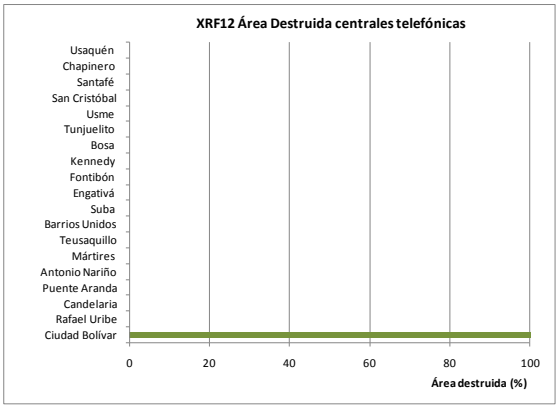


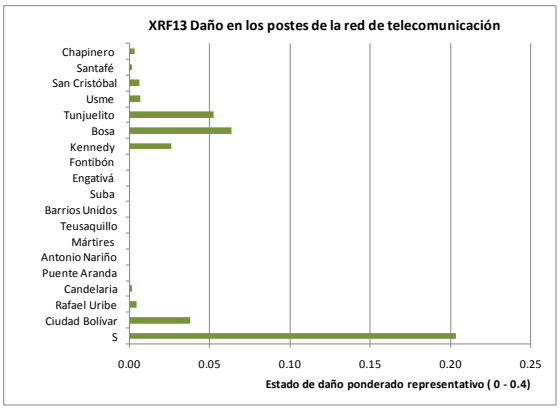
Figura 4.8. Descriptores de exposición física para el Escenario de Amenaza Sísmica 3 (1 de 2)

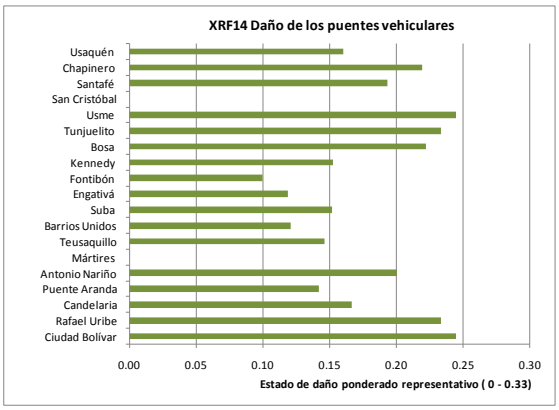












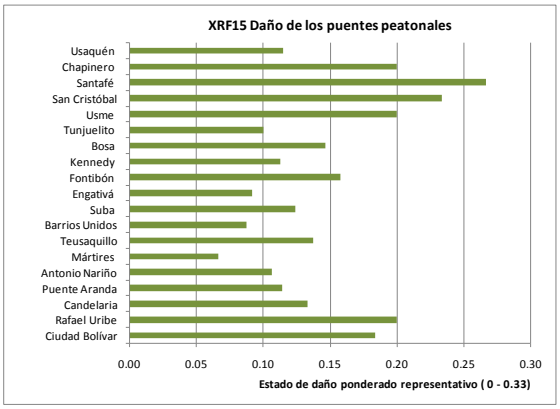


Figura 4.9. Descriptores de exposición física para el Escenario de Amenaza Sísmica 3 (2 de 2)

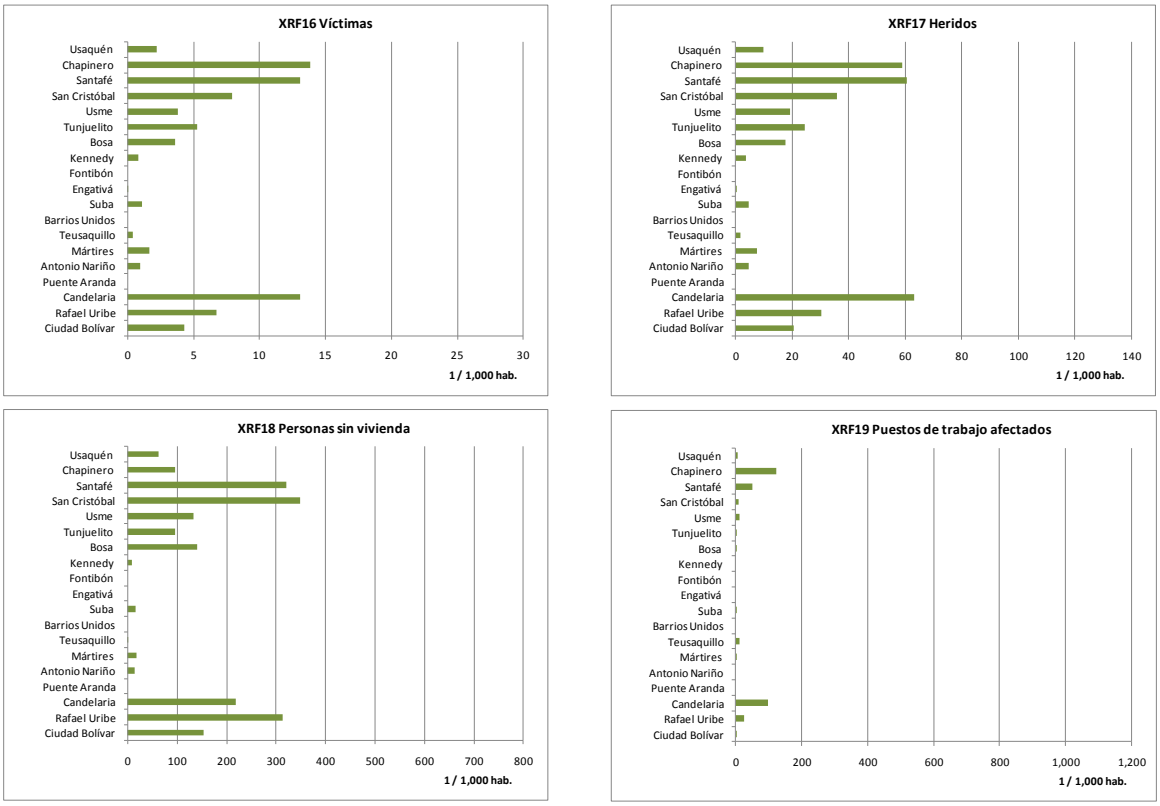


Figura 4.10. Descriptores de exposición de la población para el escenario de amenaza sísmica 3

4.1.4 Resultados para los descriptores de exposición y susceptibilidad física del Escenario de Amenaza Sísmica 4

El escenario de diseño especial considera un sismo generado por una fuente cercana con una magnitud de 6.5 en la escala de Richter a una distancia promedio de 15 km y una profundidad de 15 km, evento que está asociado a un periodo de retorno equivalente de 1.000 años.

De la Figura 4.11 a la Figura 4.13 se presentan los resultados de los descriptores de exposición y susceptibilidad física y de la población por localidad. En el Anexo 3 se presentan los resultados tabulados por UPZ.

4.1.4.1 Área construida destruida

El área destruida de uso residencial varía entre el 0 y el 77.4%. Las localidades que presentan mayor área destruida de uso residencial son Candelaria (77.4%), San Cristóbal (59.4%) y Santafé (53.9%).

El área destruida de uso comercial y de servicios varía entre el 0 y el 78.7%. Las localidades que presentan mayor área destruida en este uso son Candelaria (78.7%), San Cristóbal (62.1%) y Santafé (51.7%).

La localidad de Usme presenta un área destruida de uso industrial del 77.7% y la localidad de Tunjuelito del 14.5%. Las demás localidades presentan valores inferiores al 1% para este uso.

El área destruida de uso dotacional varía entre 0 y 69%. Las localidades que presentan mayor área destruida de uso dotacional son Rafael Uribe (69%), Antonio Nariño (54.9%) y Santafé (53.8%).

4.1.4.2 Red de acueducto, alcantarillado y gas

La red de acueducto presenta tasas de rotura entre 0 y 11.30 roturas/km^2. Las localidades que presentan mayores tasas de rotura para este tipo de red son Engativá, Barrios Unidos y Teusaquillo.

La red de alcantarillado presenta tasas de rotura entre 0 y 15.33 roturas/km^2. Las localidades que presentan mayores tasas de rotura para este tipo de red son Engativá, Antonio Nariño y Usaquén.

La red de gas domiciliario presenta tasas de rotura entre 0 y 0.57 roturas/km^2.

4.1.4.3 Redes de cableado de energía eléctrica y telecomunicaciones

Las redes de energía eléctrica y telecomunicaciones presentan tasas de rotura que varían entre 0 y 970 m/km^2. Las localidades que presentan mayores tasas de rotura para este tipo de redes son Candelaria, Chapinero y Santafé.

4.1.4.4 Torres y postes de las redes de energía eléctrica y telecomunicaciones

El estado de daño ponderado representativo de las torres y postes de estas redes presenta valores entre 0 y 0.10 valor equivalente a un estado de daño 0 (sin daño).

4.1.4.5 Centrales telefónicas

La localidad de Ciudad Bolívar presenta un porcentaje de destrucción del 100% (índice de daño > 45%) de sus centrales telefónicas. En las demás localidades se presenta un porcentaje de destrucción de cero.

4.1.4.6 Puentes vehiculares y peatonales

El estado de daño ponderado representativo de los puentes vehiculares presenta valores entre 0 y 0.27. Es decir que se presentan estados de daño 1, 2, 3 y 4 (ningún daño, daño menor, daño moderado y daño generalizado). Las localidades más afectadas son Usme, Chapinero y Santafé.

El estado de daño ponderado representativo de los puentes peatonales presenta valores entre 0 y 0.30. Es decir que se presentan estados de daño 1, 2, 3, 4 y 5 (ningún daño, daño menor, daño moderado, daño generalizado y daño total). Las localidades más afectadas son Santafé, San Cristóbal y Usme.

4.1.4.7 Víctimas, heridos, personas sin vivienda y puestos de trabajo afectados

El número de víctimas varía entre 0 y 28 víctimas/1.000hab. Las localidades más afectadas son Chapinero, Santafé y Candelaria.

El número de heridos varía entre 0 y 125 heridos/1.000hab. Las localidades más afectadas son Chapinero, Santafé y Candelaria.

El número de personas sin vivienda varía entre 0 y 744 hab/1.000hab. Las localidades más afectadas son Candelaria, San Cristóbal y Santafé.

El número de puestos de trabajo afectados varía entre 0 y 1.155 puestos/1.000hab. Las localidades más afectadas son Chapinero, Candelaria y Santafé.

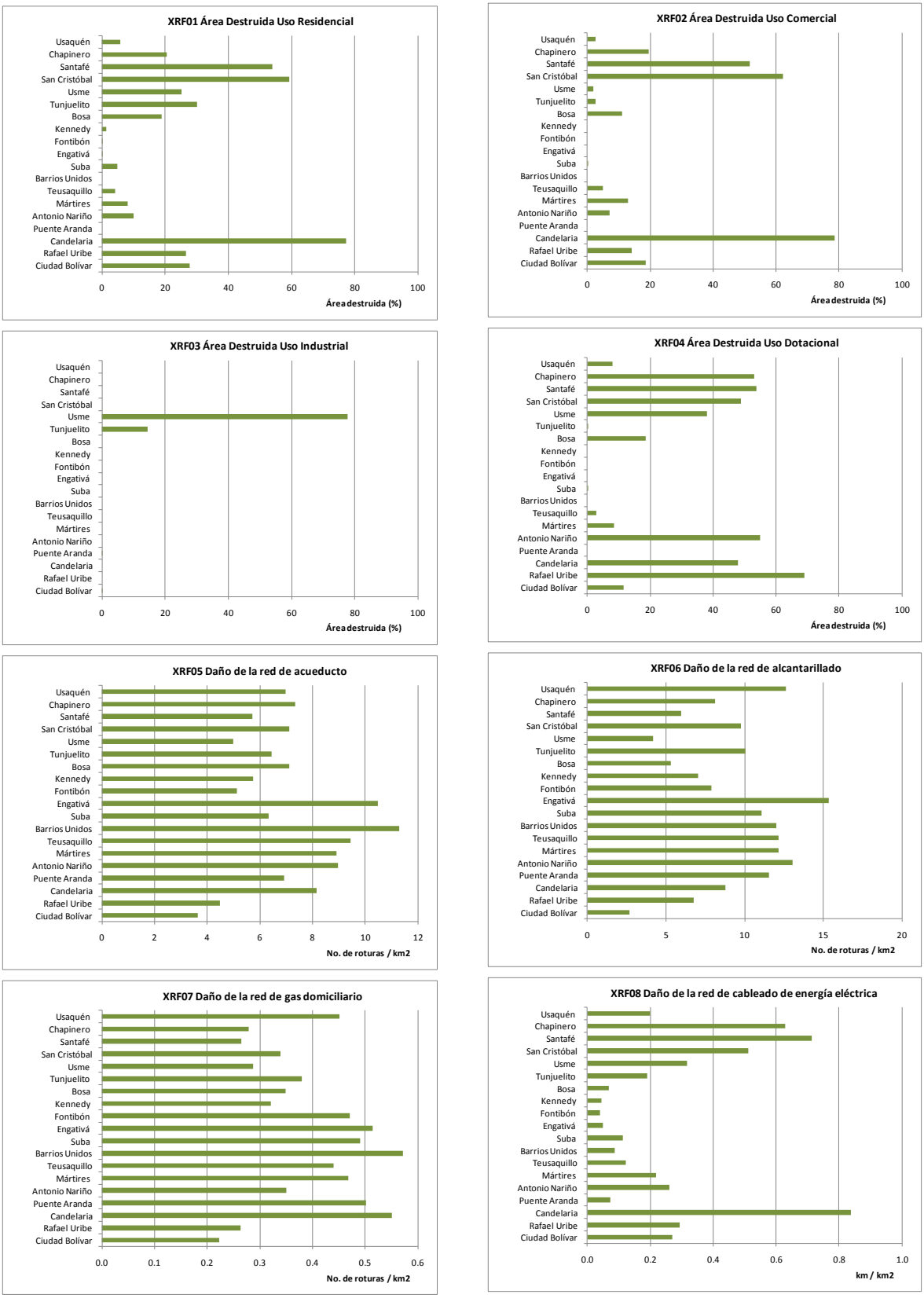


Figura 4.11. Descriptores de exposición física para el Escenario de Amenaza Sísmica 4 (1 de 2)

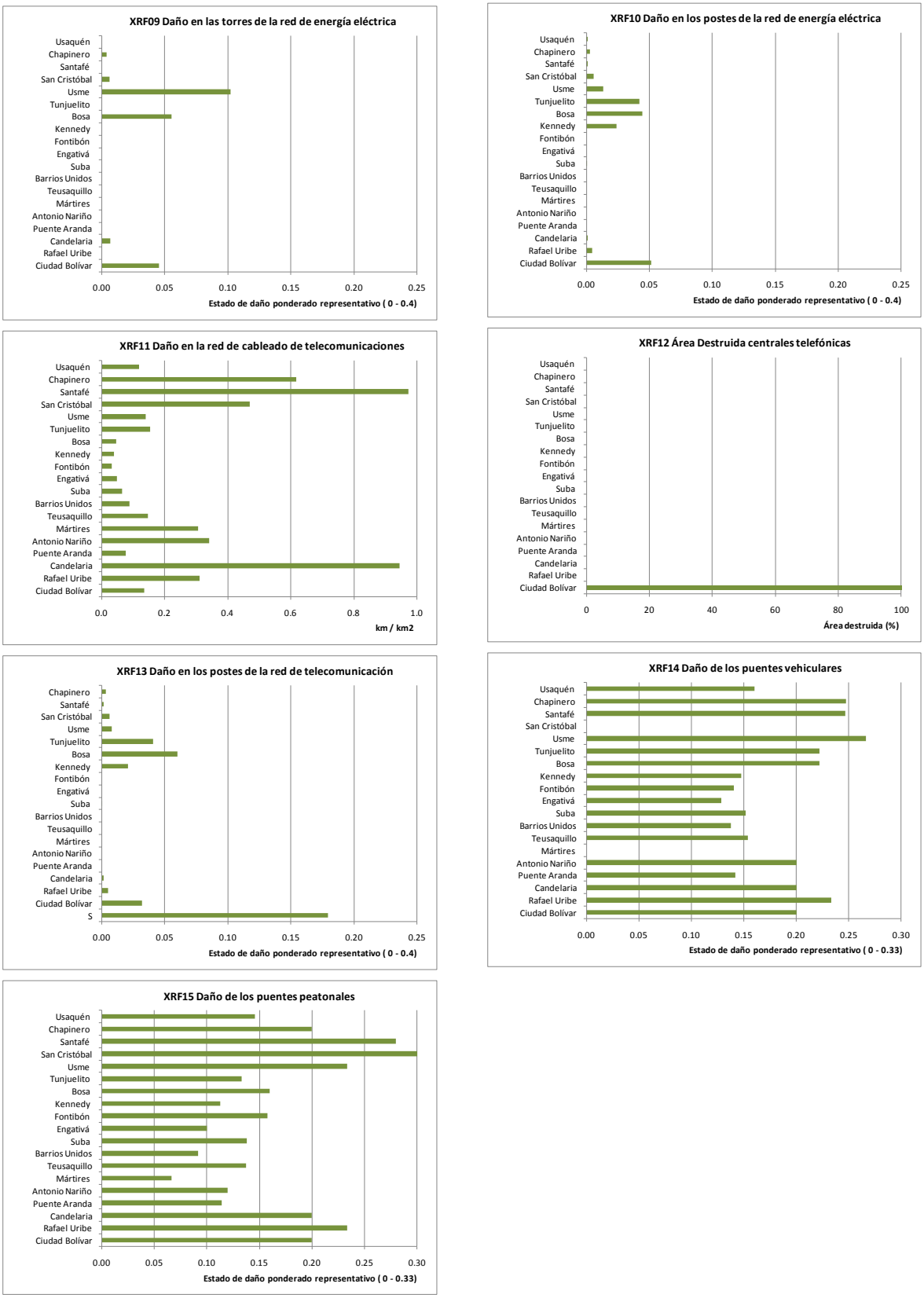


Figura 4.12. Descriptores de exposición física para el Escenario de Amenaza Sísmica 4 (2 de 2)

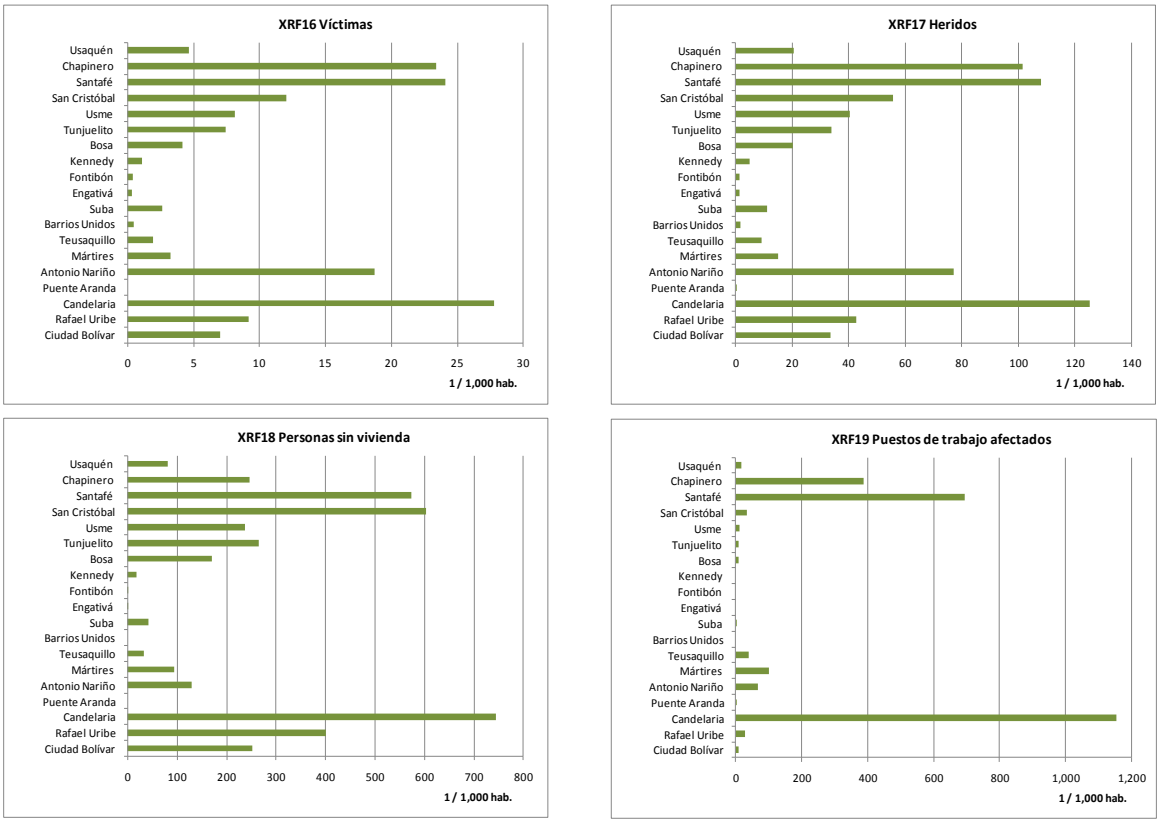


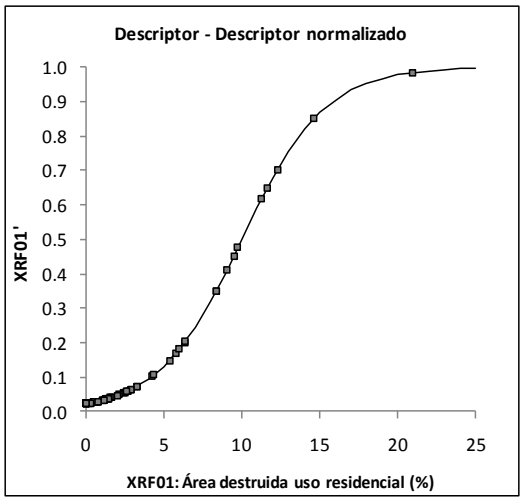
Figura 4.13. Descriptores de exposición de la población para el escenario de amenaza sísmica 4

4.1.5 Evaluación de los indicadores de exposición y susceptibilidad física (funciones y parámetros de normalización de los descriptores)

El proceso EMC implica llevar todos y cada uno de los descriptores a una escala común de cuantificación. Este procedimiento se realiza mediante el uso de funciones de transformación de acuerdo con la Ecuación 3.4 y la Ecuación 3.5.

Los valores de los parámetros que determinan las funciones que se emplearon para normalizar cada uno de los descriptores se obtuvieron a partir de la revisión bibliográfica. Algunos de estos valores se basan en observaciones efectuadas en eventos sísmicos en contextos urbanos y otros fueron determinados a partir del examen de las estadísticas del descriptor. A manera de ejemplo, en la Figura 4.14 se presenta la función de transformación del descriptor XRF01 (Área destruida de uso residencial). En el Anexo 3 se presentan las funciones de transformación para cada uno de los descriptores.

En la Tabla 4.2 se presentan los valores de los parámetros usados para la transformación de cada uno de los descriptores y de la Tabla 4.3 a la Tabla 4.6 los valores de los indicadores obtenidos por localidad para los cuatro escenarios de amenaza sísmica considerados en el presente análisis. En el Anexo 3 se presentan los valores de los indicadores por UPZ.



M: 20%, m: 0%, β: 7.57, μ: 0.5

Figura 4.14. Función y parámetros de normalización para el descriptor área destruida de uso residencial XRF01

Descriptor	*Tipo*	*Máximo*	*Mínimo*	*b*	*m*
Área destruida de las edificaciones de uso residencial	Sigmodal	20	0	7.57	0.50
Área destruida de las edificaciones de uso comercial y servicios	Sigmodal	20	0	7.57	0.50
Área destruida de las edificaciones de uso industrial	Sigmodal	20	0	7.57	0.50
Área destruida de las edificaciones de uso dotacional	Sigmodal	20	0	7.57	0.50
Daño de la red de acueducto	Sigmodal	10	0	7.57	0.50
Daño de la red de alcantarillado	Sigmodal	10	0	7.57	0.50
Daño de la red de gas domiciliario	Sigmodal	5	0	7.57	0.50
Daño de la red de energía eléctrica	Sigmodal	0.2	0	7.57	0.50
Daño representativo de las torres de energía eléctrica	Sigmodal	0.3	0	7.80	0.50
Daño representativo de los postes de energía eléctrica	Sigmodal	0.3	0	7.80	0.50
Daño de la red de telecomunicaciones	Sigmodal	0.2	0	7.57	0.50
Porcentaje de área destruida de centrales telefónicas	Sigmodal	20	0	7.57	0.50
Daño representativo de los postes de telecomunicaciones	Sigmodal	0.3	0	7.80	0.50
Daño representativo de los puentes vehiculares	Sigmodal	0.25	0.07	7.80	0.50
Daño representativo de los puentes peatonales	Sigmodal	0.25	0.07	7.80	0.50
Víctimas	Sigmodal	50	0	7.80	0.50
Heridos	Sigmodal	75	0	7.72	0.50
Personas sin vivienda	Sigmodal	500	0	8.08	0.50
Puestos de trabajo afectados	Sigmodal	300	0	7.90	0.50

Tabla 4.2. Funciones y parámetros empleados para la normalización de los descriptores de de exposición y susceptibilidad física

Localidad	Área destruida de las edificaciones de uso residencial XRF01	Área destruida de las edificaciones de uso comercial y servicios XRF02	Área destruida de las edificaciones de uso industrial XRF03	Área destruida de las edificaciones de uso dotacional XRF04	Daño de la red de acueducto XRF05	Daño de la red de alcantarillado XRF06	Daño de la red de gas domiciliario XRF07	Daño de la red de energía eléctrica XRF08	Daño representativo de las torres de energía eléctrica XRF09	Daño representativo de los postes de energía eléctrica XRF10	Daño de la red de telecomunicaciones XRF11	Porcentaje de área destruida de centrales telefónicas XRF12	Daño representativo de los postes de telecomunicaciones XRF13	Daño representativo de los puentes vehiculares XRF14	Daño representativo de los puentes peatonales XRF15	Víctimas XRF16	Heridos XRF17	Personas sin vivienda XRF18	Puestos de trabajo afectados XRF19
Usaquén	0.07	0.03	0.02	0.05	0.04	0.06	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.07	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02
Chapinero	0.40	0.02	0.02	1.00	0.04	0.04	0.02	0.06	0.02	0.02	0.07	0.02	0.02	0.24	0.07	0.08	0.47	0.04	0.22
Santafé	0.08	0.02	0.02	0.98	0.03	0.03	0.02	0.06	0.02	0.02	0.09	0.02	0.02	0.12	0.64	0.03	0.04	0.03	0.04
San Cristóbal	0.17	0.02	0.02	0.31	0.03	0.04	0.02	0.04	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.00	0.24	0.03	0.04	0.05	0.02
Usme	0.06	0.02	1.00	1.00	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.24	0.07	0.02	0.04	0.03	0.02
Tunjuelito	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.07	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Bosa	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Kennedy	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.06	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
Fontibón	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.04	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02
Engativa	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.07	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Suba	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.05	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
Barrios Unidos	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.06	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Teusaquillo	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.05	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.06	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
Mártires	0.02	0.02	0.02	0.33	0.04	0.04	0.02	0.04	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Antonio Nariño	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.05	0.02	0.04	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02	0.24	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
Puente Aranda	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Candelaria	0.68	0.02	0.02	0.09	0.04	0.04	0.02	0.06	0.02	0.02	0.08	0.02	0.02	0.07	0.02	0.03	0.06	0.04	0.05
Rafael Uribe	0.06	0.10	0.02	1.00	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.13	0.02	0.04	0.10	0.30	0.03
Ciudad Bolivar	0.05	0.02	0.02	0.31	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.11	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02

Tabla 4.3. Indicadores de exposición y susceptibilidad física por localidad para el escenario de amenaza sísmica 1

Localidad	Área destruida de las edificaciones de uso residencial XRF01	Área destruida de las edificaciones de uso comercial y servicios XRF02	Área destruida de las edificaciones de uso industrial XRF03	Área destruida de las edificaciones de uso dotacional XRF04	Daño de la red de acueducto XRF05	Daño de la red de alcantarillado XRF06	Daño de la red de gas domiciliario XRF07	Daño de la red de energía eléctrica XRF08	Daño representativo de las torres de energía eléctrica XRF09	Daño representativo de los postes de energía eléctrica XRF10	Daño de la red de telecomunicaciones XRF11	Porcentaje de área destruida de centrales telefónicas XRF12	Daño representativo de los postes de telecomunicaciones XRF13	Daño representativo de los puentes vehiculares XRF14	Daño representativo de los puentes peatonales XRF15	Víctimas XRF16	Heridos XRF17	Personas sin vivienda XRF18	Puestos de trabajo afectados XRF19
Usaquén	0.07	0.03	0.02	0.05	0.27	0.78	0.03	0.31	0.02	0.02	0.13	0.02	0.02	0.21	0.08	0.03	0.05	0.03	0.02
Chapinero	0.40	0.02	0.02	1.00	0.28	0.36	0.03	0.97	0.02	0.02	0.98	0.02	0.02	0.85	0.57	0.12	0.81	0.04	0.22
Santafé	0.08	0.02	0.02	0.98	0.15	0.16	0.03	0.97	0.02	0.02	1.00	0.02	0.02	0.70	0.95	0.10	0.79	0.03	0.04
San Cristóbal	0.17	0.02	0.02	0.31	0.22	0.42	0.03	0.80	0.02	0.02	0.73	0.02	0.02	0.00	0.00	0.05	0.33	0.05	0.02
Usme	0.06	0.02	1.00	1.00	0.11	0.09	0.03	0.34	0.07	0.02	0.09	0.02	0.02	0.97	0.85	0.03	0.08	0.03	0.02
Tunjuelito	0.02	0.02	0.02	0.02	0.13	0.29	0.03	0.26	0.02	0.03	0.17	0.02	0.03	0.78	0.07	0.03	0.05	0.02	0.02
Bosa	0.02	0.02	0.02	0.02	0.15	0.10	0.03	0.09	0.08	0.06	0.06	0.02	0.09	0.94	0.36	0.03	0.07	0.02	0.02
Kennedy	0.02	0.02	0.02	0.02	0.12	0.16	0.03	0.05	0.02	0.04	0.04	0.02	0.03	0.07	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02
Fontibón	0.02	0.02	0.02	0.02	0.15	0.36	0.03	0.04	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.07	0.47	0.02	0.02	0.02	0.02
Engativa	0.02	0.02	0.02	0.02	0.68	0.95	0.03	0.05	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02	0.14	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02
Suba	0.03	0.02	0.02	0.02	0.23	0.68	0.03	0.12	0.02	0.02	0.06	0.02	0.02	0.29	0.14	0.02	0.03	0.02	0.02
Barrios Unidos	0.02	0.02	0.02	0.02	0.74	0.81	0.04	0.11	0.02	0.02	0.11	0.02	0.02	0.15	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02
Teusaquillo	0.02	0.02	0.02	0.02	0.40	0.68	0.03	0.17	0.02	0.02	0.20	0.02	0.02	0.31	0.27	0.02	0.02	0.02	0.02
Mártires	0.02	0.02	0.02	0.33	0.24	0.45	0.03	0.52	0.02	0.02	0.85	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	0.02
Antonio Nariño	0.02	0.02	0.02	0.02	0.24	0.51	0.03	0.58	0.02	0.02	0.84	0.02	0.02	0.85	0.09	0.02	0.02	0.02	0.02
Puente Aranda	0.02	0.02	0.02	0.02	0.15	0.40	0.03	0.08	0.02	0.02	0.08	0.02	0.02	0.06	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
Candelaria	0.68	0.02	0.02	0.09	0.29	0.34	0.03	0.99	0.02	0.02	1.00	0.02	0.02	0.57	0.07	0.09	0.77	0.04	0.05
Rafael Uribe	0.06	0.10	0.02	1.00	0.09	0.16	0.03	0.40	0.02	0.02	0.48	0.02	0.02	0.85	0.57	0.05	0.28	0.30	0.03
Ciudad Bolivar	0.05	0.02	0.02	0.31	0.07	0.05	0.03	0.31	0.05	0.06	0.10	0.02	0.04	0.85	0.24	0.03	0.09	0.02	0.02

Tabla 4.4. Indicadores de exposición y susceptibilidad física por localidad para el escenario de amenaza sísmica 2

Localidad	Área destruida de las edificaciones de uso residencial XRF01	Área destruida de las edificaciones de uso comercial y servicios XRF02	Área destruida de las edificaciones de uso industrial XRF03	Área destruida de las edificaciones de uso dotacional XRF04	Daño de la red de acueducto XRF05	Daño de la red de alcantarillado XRF06	Daño de la red de gas domiciliario XRF07	Daño de la red de energía eléctrica XRF08	Daño representativo de las torres de energía eléctrica XRF09	Daño representativo de los postes de energía eléctrica XRF10	Daño de la red de telecomunicaciones XRF11	Porcentaje de área destruida de centrales telefónicas XRF12	Daño representativo de los postes de telecomunicaciones XRF13	Daño representativo de los puentes vehiculares XRF14	Daño representativo de los puentes peatonales XRF15	Víctimas XRF16	Heridos XRF17	Personas sin vivienda XRF18	Puestos de trabajo afectados XRF19
Usaquén	0.11	0.03	0.02	0.05	0.40	0.91	0.03	0.59	0.02	0.02	0.23	0.02	0.02	0.50	0.13	0.03	0.06	0.05	0.02
Chapinero	0.62	0.04	0.02	1.00	0.41	0.52	0.03	1.00	0.02	0.02	1.00	0.02	0.02	0.93	0.85	0.15	0.90	0.08	0.33
Santafé	1.00	0.04	0.02	1.00	0.21	0.23	0.03	1.00	0.02	0.02	1.00	0.02	0.02	0.81	0.99	0.13	0.91	0.76	0.07
San Cristóbal	1.00	0.97	0.02	0.47	0.33	0.60	0.03	0.97	0.02	0.02	0.95	0.02	0.02	0.00	0.96	0.06	0.46	0.83	0.02
Usme	0.85	0.03	1.00	1.00	0.16	0.12	0.03	0.67	0.22	0.03	0.14	0.02	0.02	0.97	0.85	0.04	0.13	0.13	0.02
Tunjuelito	0.44	0.04	0.22	0.02	0.19	0.46	0.03	0.55	0.03	0.08	0.34	0.02	0.07	0.96	0.07	0.04	0.20	0.08	0.02
Bosa	0.90	0.09	0.02	0.02	0.23	0.13	0.03	0.16	0.09	0.09	0.09	0.02	0.10	0.94	0.36	0.03	0.12	0.15	0.02
Kennedy	0.03	0.02	0.02	0.02	0.16	0.22	0.03	0.07	0.02	0.04	0.06	0.02	0.04	0.42	0.11	0.02	0.03	0.02	0.02
Fontibón	0.02	0.02	0.02	0.02	0.21	0.51	0.03	0.06	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02	0.07	0.47	0.02	0.02	0.02	0.02
Engativa	0.02	0.02	0.02	0.02	0.84	0.99	0.04	0.08	0.02	0.02	0.07	0.02	0.02	0.14	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02
Suba	0.05	0.02	0.02	0.02	0.34	0.84	0.04	0.22	0.02	0.02	0.10	0.02	0.02	0.41	0.17	0.02	0.03	0.02	0.02
Barrios Unidos	0.02	0.02	0.02	0.02	0.90	0.93	0.04	0.20	0.02	0.02	0.20	0.02	0.02	0.15	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02
Teusaquillo	0.02	0.02	0.02	0.04	0.58	0.85	0.03	0.33	0.02	0.02	0.38	0.02	0.02	0.35	0.27	0.02	0.02	0.02	0.02
Mártires	0.08	0.02	0.02	0.33	0.36	0.64	0.03	0.81	0.02	0.02	0.98	0.02	0.02	0.00	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02
Antonio Nariño	0.03	0.02	0.02	0.02	0.36	0.71	0.03	0.84	0.02	0.02	0.97	0.02	0.02	0.85	0.09	0.02	0.03	0.02	0.02
Puente Aranda	0.02	0.02	0.02	0.02	0.20	0.56	0.03	0.14	0.02	0.02	0.14	0.02	0.02	0.31	0.12	0.02	0.02	0.02	0.02
Candelaria	1.00	0.07	0.02	0.28	0.43	0.50	0.04	1.00	0.02	0.02	1.00	0.02	0.02	0.57	0.24	0.13	0.93	0.38	0.20
Rafael Uribe	0.87	0.19	0.02	1.00	0.11	0.23	0.03	0.70	0.02	0.02	0.78	0.02	0.02	0.96	0.85	0.05	0.32	0.74	0.04
Ciudad Bolivar	0.94	0.04	0.02	0.36	0.09	0.06	0.03	0.61	0.10	0.08	0.17	1.00	0.05	0.97	0.73	0.04	0.15	0.17	0.02

Tabla 4.5. Indicadores de exposición y susceptibilidad física por localidad para el escenario de amenaza sísmica 3

Localidad	Área destruida de las edificaciones de uso residencial XRF01	Área destruida de las edificaciones de uso comercial y servicios XRF02	Área destruida de las edificaciones de uso industrial XRF03	Área destruida de las edificaciones de uso dotacional XRF04	Daño de la red de acueducto XRF05	Daño de la red de alcantarillado XRF06	Daño de la red de gas domiciliario XRF07	Daño de la red de energía eléctrica XRF08	Daño representativo de las torres de energía eléctrica XRF09	Daño representativo de los postes de energía eléctrica XRF10	Daño de la red de telecomunicaciones XRF11	Porcentaje de área destruida de centrales telefónicas XRF12	Daño representativo de los postes de telecomunicaciones XRF13	Daño representativo de los puentes vehiculares XRF14	Daño representativo de los puentes peatonales XRF15	Víctimas XRF16	Heridos XRF17	Personas sin vivienda XRF18	Puestos de trabajo afectados XRF19
Usaquén	0.17	0.06	0.02	0.32	0.82	1.00	0.04	0.98	0.02	0.02	0.66	0.02	0.02	0.50	0.35	0.04	0.15	0.06	0.03
Chapinero	0.98	0.97	0.02	1.00	0.85	0.91	0.03	1.00	0.02	0.02	1.00	0.02	0.02	0.98	0.85	0.44	1.00	0.49	1.00
Santafé	1.00	1.00	0.02	1.00	0.63	0.68	0.03	1.00	0.02	0.02	1.00	0.02	0.02	0.98	0.99	0.46	1.00	0.99	1.00
San Cristóbal	1.00	1.00	0.02	1.00	0.83	0.97	0.04	1.00	0.02	0.02	1.00	0.02	0.02	0.00	1.00	0.12	0.87	1.00	0.05
Usme	1.00	0.04	1.00	1.00	0.50	0.35	0.03	1.00	0.22	0.03	0.82	0.02	0.02	0.99	0.96	0.07	0.58	0.45	0.03
Tunjuelito	1.00	0.06	0.85	0.02	0.75	0.98	0.04	0.97	0.02	0.06	0.88	0.02	0.05	0.94	0.24	0.06	0.41	0.56	0.02
Bosa	0.97	0.60	0.02	0.96	0.83	0.55	0.04	0.23	0.08	0.06	0.12	0.02	0.09	0.94	0.50	0.04	0.15	0.22	0.02
Kennedy	0.04	0.02	0.02	0.02	0.64	0.82	0.04	0.11	0.02	0.04	0.09	0.02	0.03	0.37	0.11	0.02	0.03	0.02	0.02
Fontibón	0.02	0.02	0.02	0.02	0.52	0.90	0.04	0.10	0.02	0.02	0.07	0.02	0.02	0.30	0.47	0.02	0.02	0.02	0.02
Engativa	0.02	0.02	0.02	0.02	0.98	1.00	0.05	0.13	0.02	0.02	0.12	0.02	0.02	0.20	0.07	0.02	0.02	0.02	0.02
Suba	0.13	0.02	0.02	0.02	0.73	0.99	0.05	0.63	0.02	0.02	0.21	0.02	0.02	0.41	0.28	0.03	0.06	0.03	0.02
Barrios Unidos	0.02	0.02	0.02	0.02	0.99	1.00	0.05	0.38	0.02	0.02	0.38	0.02	0.02	0.27	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02
Teusaquillo	0.10	0.13	0.02	0.06	0.97	1.00	0.04	0.71	0.02	0.02	0.86	0.02	0.02	0.44	0.27	0.03	0.05	0.03	0.05
Mártires	0.33	0.75	0.02	0.37	0.95	1.00	0.04	0.99	0.02	0.02	1.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.03	0.09	0.07	0.21
Antonio Nariño	0.50	0.25	0.02	1.00	0.95	1.00	0.04	1.00	0.02	0.02	1.00	0.02	0.02	0.85	0.15	0.27	0.98	0.12	0.10
Puente Aranda	0.02	0.02	0.02	0.02	0.81	0.99	0.05	0.26	0.02	0.02	0.28	0.02	0.02	0.31	0.12	0.02	0.02	0.02	0.02
Candelaria	1.00	1.00	0.02	1.00	0.92	0.95	0.05	1.00	0.02	0.02	1.00	0.02	0.02	0.85	0.85	0.61	1.00	1.00	1.00
Rafael Uribe	1.00	0.83	0.02	1.00	0.40	0.79	0.03	1.00	0.02	0.02	1.00	0.02	0.02	0.96	0.96	0.08	0.63	0.92	0.04
Ciudad Bolivar	1.00	0.96	0.02	0.63	0.26	0.15	0.03	1.00	0.06	0.07	0.78	1.00	0.04	0.85	0.85	0.06	0.40	0.50	0.02

Tabla 4.6. Indicadores de exposición y susceptibilidad física por localidad para el escenario de amenaza sísmica 4

4.1.6 Evaluación de los coeficientes de ponderación para los indicadores de exposición y susceptibilidad física

Los coeficientes de ponderación de los indicadores de exposición y susceptibilidad física representan la importancia relativa de cada uno de ellos en el proceso de agregación mediante el que se obtiene el índice de riesgo físico por sismo R_F. La evaluación dichos coeficientes se efectuó mediante el proceso jerárquico analítico PJA y de acuerdo con el orden jerárquico que se ilustra en la Tabla 4.7.

Durante el proceso de evaluación de los coeficientes mediante PJA, se recurrió al uso de las calificaciones obtenidas en otros ejercicios de evaluación efectuadas en otros contextos urbanos según se indicó en la revisión bibliográfica cuando estas estaban disponibles (ver Capítulo 2), e igualmente se verificó la consistencia de la comparación y la evaluación de los coeficientes mediante la evaluación de los respectivos índices de consistencia de las evaluaciones. La Tabla 4.8 presenta, a manera de ejemplo, la matriz de comparación y los coeficientes de ponderación de la categoría área construida destruida y la Tabla 4.7 presenta los resultados obtenidos para cada uno de los indicadores de exposición y susceptibilidad física. En el Anexo 3 se presentan las matrices de comparación y los resultados de la evaluación de los coeficientes de ponderación de las diferentes categorías y descriptores.

	Coeficiente de ponderación de la categoría	*Descriptor*	*Código*	*Coeficiente de ponderación del indicador*	*Coeficiente de ponderación global del indicador Wi*
Exposición física					
Área construida destruida					
	0.29	Área destruida de las edificaciones de uso 01 residencial	XRF01	0.57	0.17
		Área destruida de las edificaciones de uso 02 comercial y de servicios	XRF02	0.11	0.03
		Área destruida de las edificaciones de uso 03 industrial	XRF03	0.11	0.03
		Área destruida de las edificaciones de uso 04 dotacional	XRF04	0.21	0.06
			Σ	1.00	
Acueducto					
	0.11	Daño de la red de acueducto	XRF05	1.00	0.11
			Σ	1.00	
Alcantarillado					
	0.11	Daño de la red de alcantarillado	XRF06	1.00	0.11
			Σ	1.00	
Gas					
	0.08	Daño de la red de gas domiciliario	XRF07	1.00	0.08
			Σ	1.00	
Red energía eléctrica					
	0.06	Daño de la red de energía eléctrica	XRF08	0.41	0.02
		Daño representativo de las torres de energía eléctrica	XRF09	0.48	0.03
		Daño representativo de los postes de energía eléctrica	XRF10	0.11	0.01
			Σ	1.00	
Red de telecomunicación					
	0.04	Daño de la red de telecomunicaciones	XRF11	0.41	0.02
		Porcentaje de área destruida de centrales telefónicas	XRF12	0.48	0.02
		Daño representativo de los postes de telecomunicaciones	XRF13	0.11	0.00
			Σ	1.00	
Puentes					
	0.04	Daño representativo de los puentes vehiculares	XRF14	0.83	0.03
		Daño representativo de los puentes peatonales	XRF15	0.17	0.01
			Σ	1.00	
Exposición de la población					
	0.26	Víctimas	XRF16	0.48	0.12
		Heridos	XRF17	0.27	0.07
		Personas sin vivienda	XRF18	0.17	0.05
		Puestos de trabajo afectados	XRF19	0.08	0.02
			Σ	1.00	
Σ	1.00				1.00

Tabla 4.7. Coeficiente de ponderación Wi de los indicadores de exposición y susceptibilidad física

	Indicador / Indicador	XRF01 areaDestruida Residencial	XRF02 areaDestruida Comercial	XRF03 areaDestruida Industrial	XRF04 areaDestruida Dotacional	Factor de ponderación Wi
XRF01	areaDestruidaResidencial	1	5	5	3	0.57
XRF02	areaDestruidaComercial	0.2	1	1	0.5	0.11
XRF03	areaDestruidaIndustrial	0.2	1	1	0.5	0.11
XRF04	areaDestruidaDotacional	0.3	2.0	2.0	1	0.21

Índice de consistencia comparación	0.001	
Índice de consistencia comparación aleatoria	0.23	
Índice de inconsistencia de la comparación	0.01	OK (< 0.1)

Tabla 4.8. Matriz de comparación por pares para la evaluación de los coeficientes de ponderación de los indicadores de exposición y susceptibilidad física de la categoría área construida destruida

4.1.7 Resultado de la evaluación del índice de riesgo físico por sismo R_F

Una vez calculados los indicadores de exposición y susceptibilidad física y sus coeficientes de ponderación se procede a evaluar el índice de riesgo físico por sismo R_F para cada una de las unidades de análisis (UPZ y localidad) mediante la Ecuación 3.2.**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

4.1.7.1 Resultado de la evaluación del índice de riesgo físico por sismo R_F por localidad

De la Figura 4.15 a la Figura 4.18 se presentan los resultados tabulados de índice de riesgo físico por sismo R_F por localidad para cada uno de los escenarios de amenaza sísmica y de la Figura 4.19 a la Figura 4.22 se presentan los mapas de resultados.

4.1.7.2 Resultado de la evaluación del índice de riesgo físico por sismo R_F por UPZ

De la Figura 4.23 a la Figura 4.26 se presentan los mapas de resultados para el índice de riesgo físico por sismo R_F por unidad de planeamiento zonal y en el Anexo 3 se presentan los resultados tabulados.

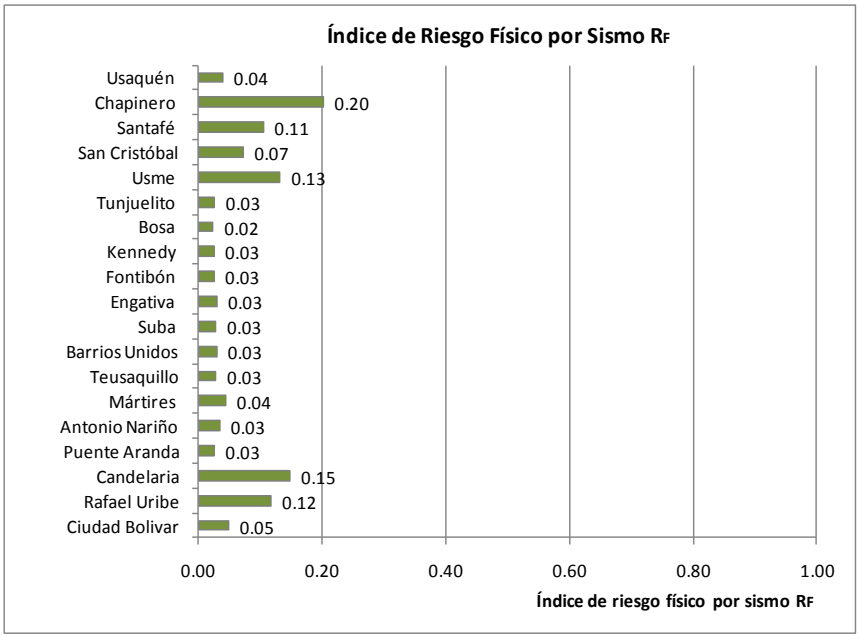


Figura 4.15. Índice de riesgo físico por localidad para el escenario de amenaza 1

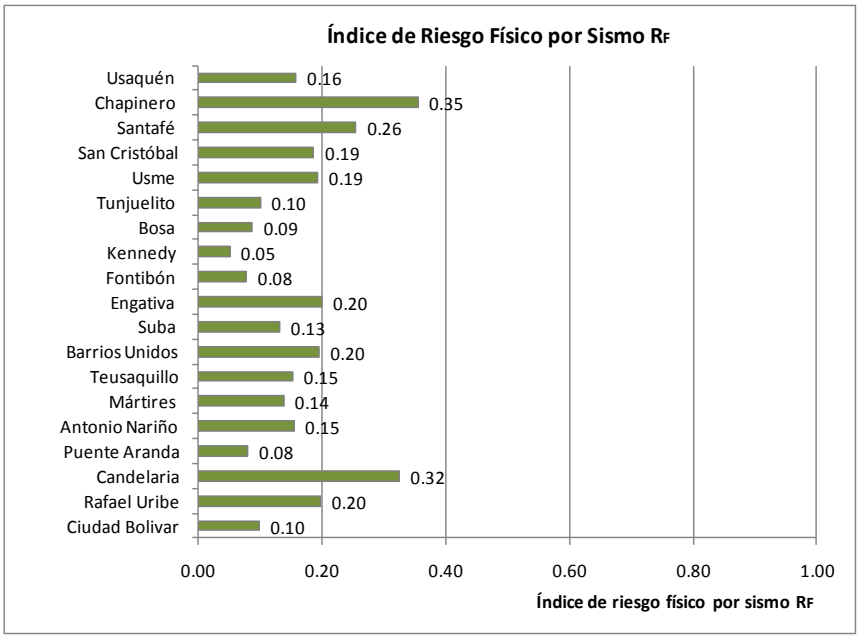


Figura 4.16. Índice de riesgo físico por localidad para el escenario de amenaza 2

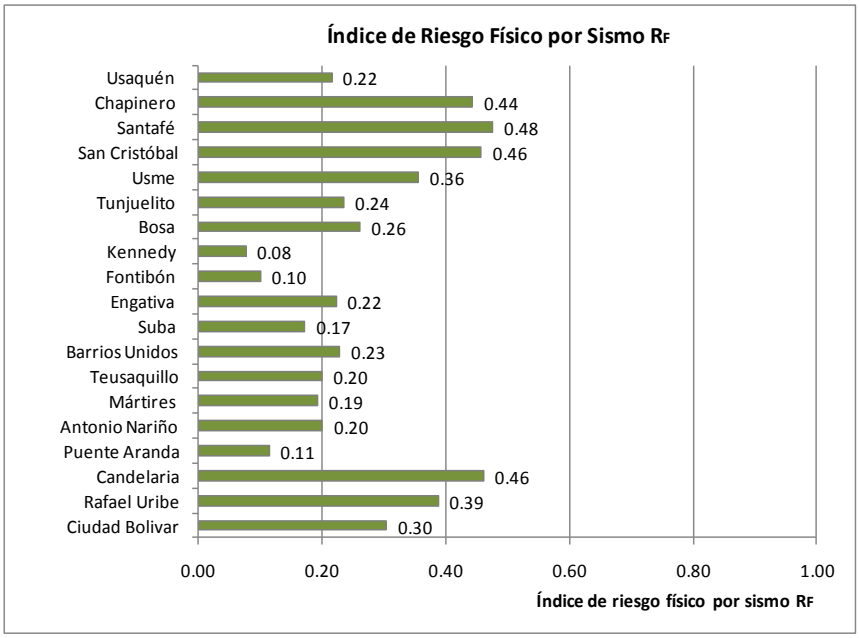


Figura 4.17. Índice de riesgo físico por localidad para el escenario de amenaza 3

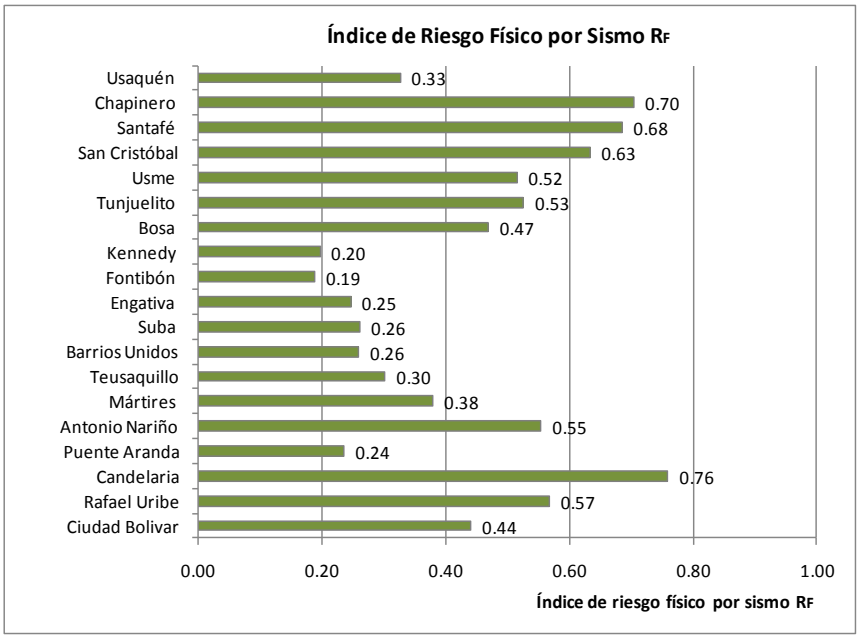


Figura 4.18. Índice de riesgo físico por localidad para el escenario de amenaza 4

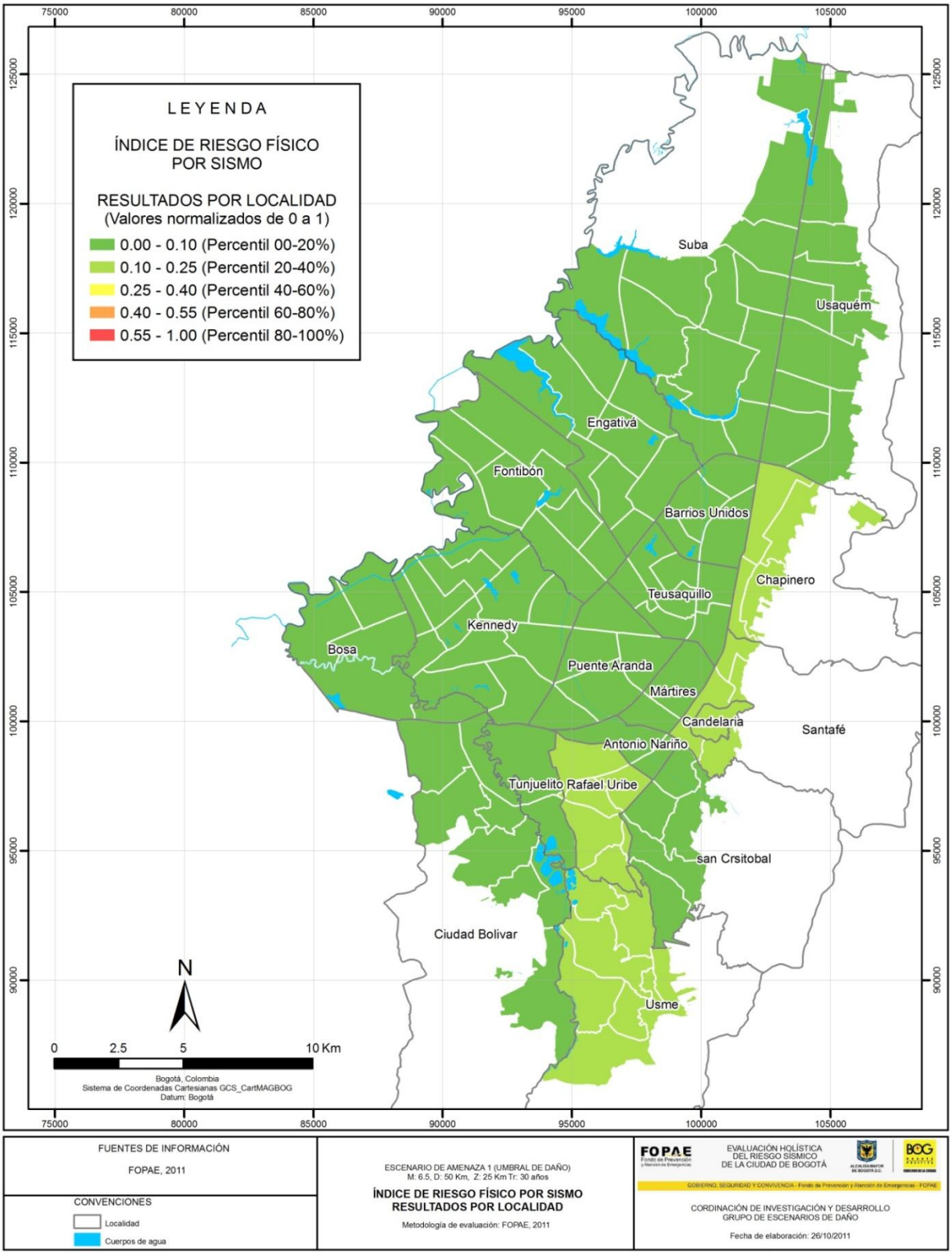


Figura 4.19. Índice de riesgo físico por localidad para el escenario de amenaza 1

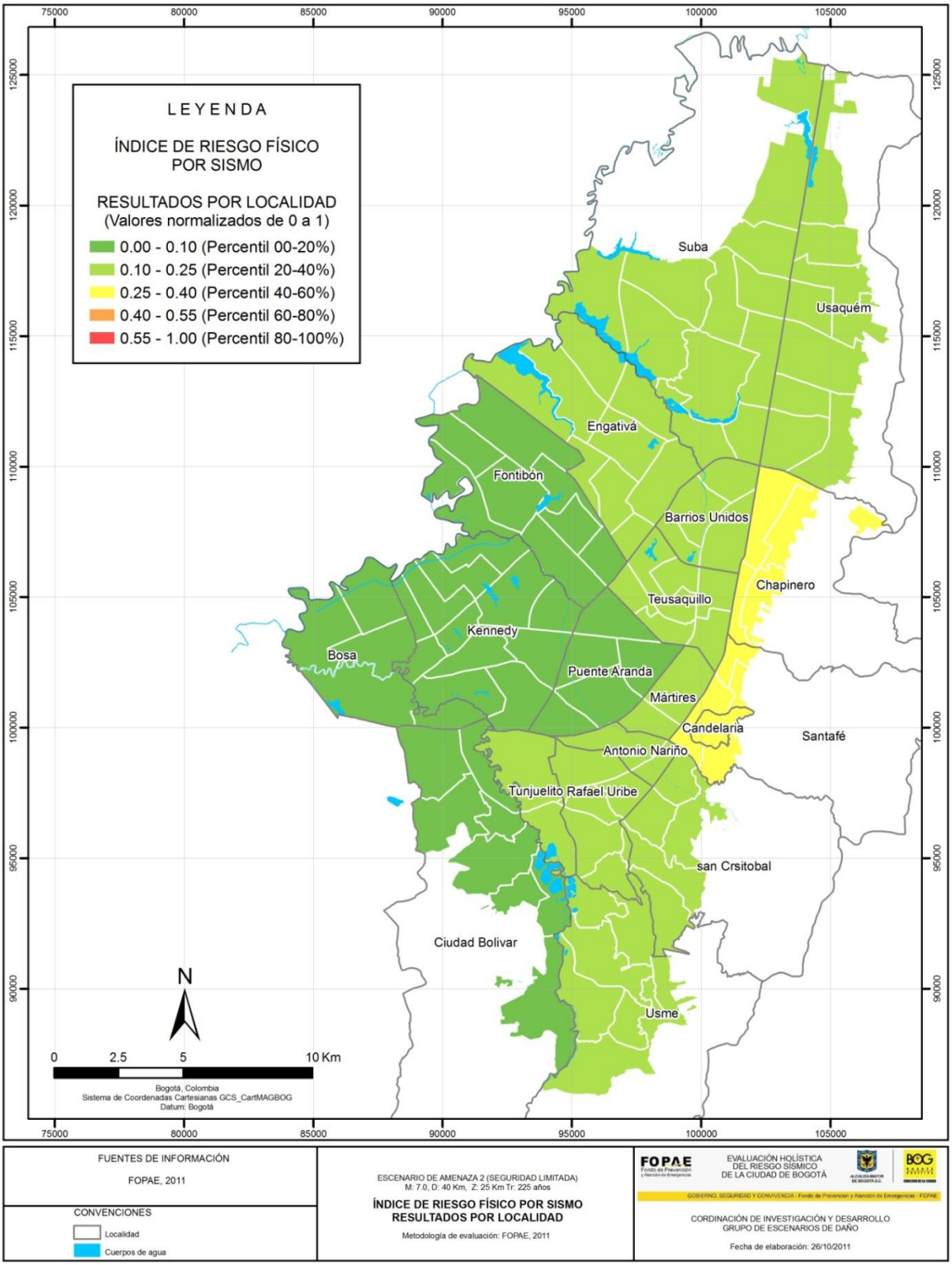


Figura 4.20. Índice de riesgo físico por localidad para el escenario de amenaza 2

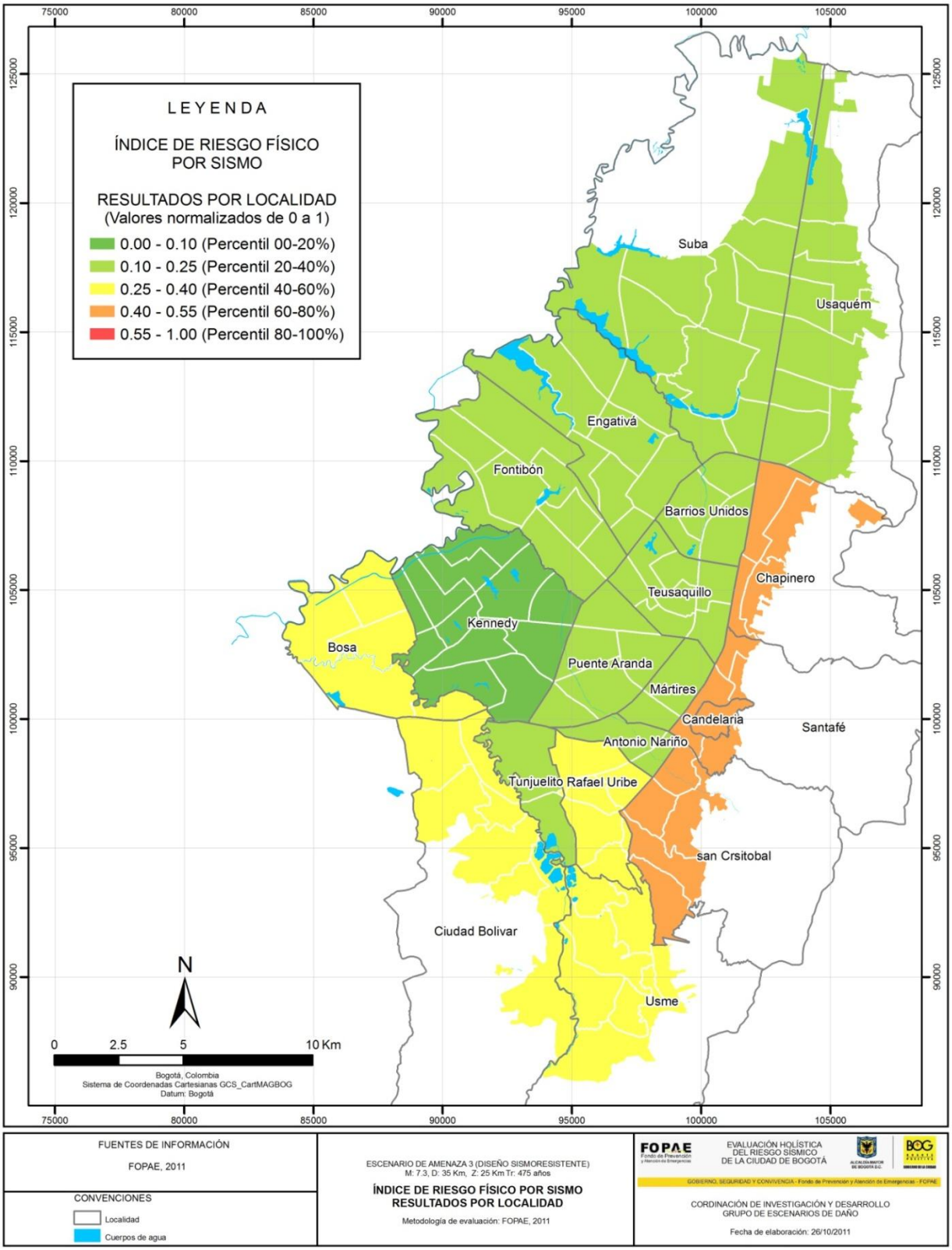


Figura 4.21. Índice de riesgo físico por localidad para el escenario de amenaza 3

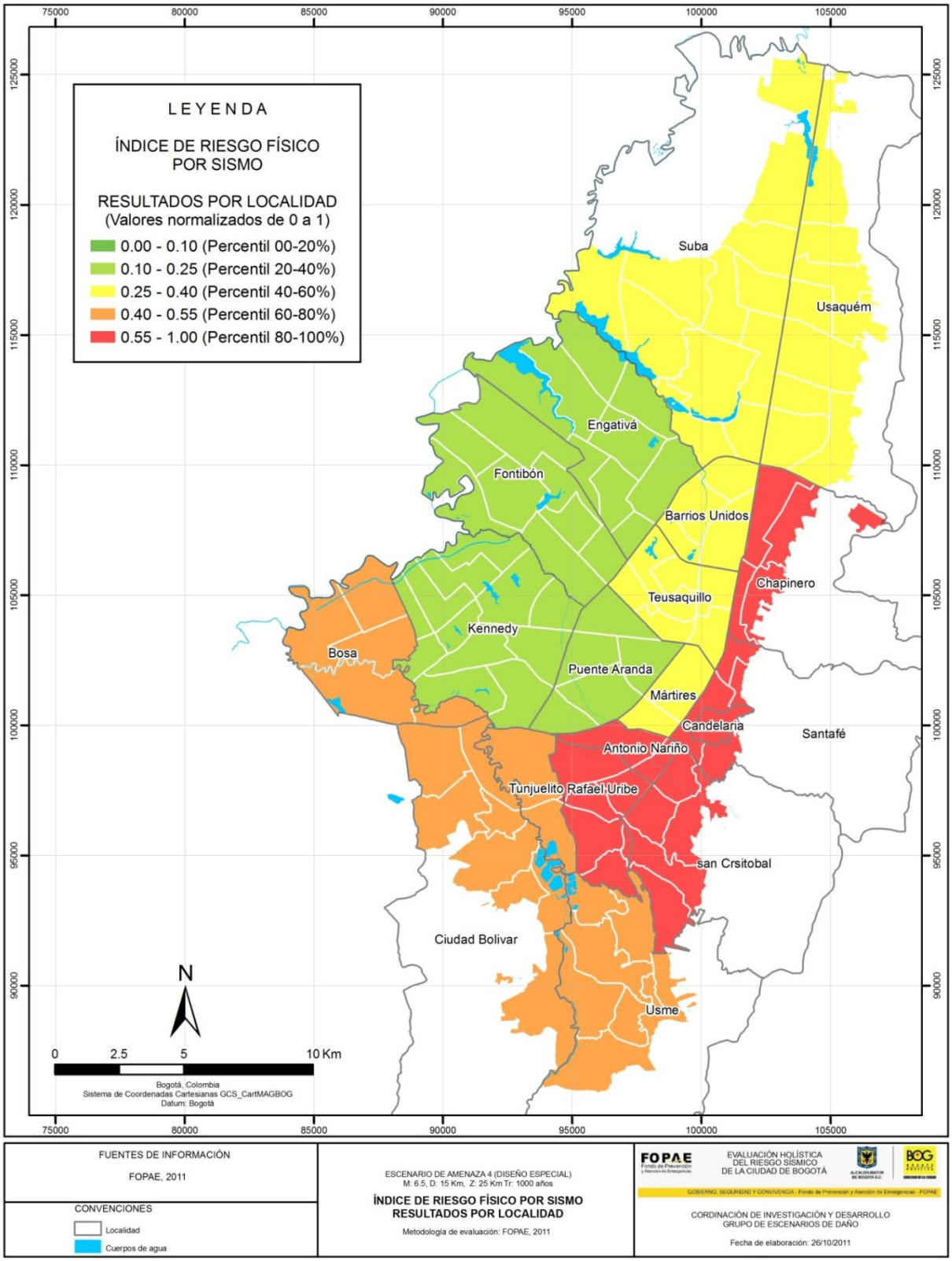


Figura 4.22. Índice de riesgo físico por localidad para el escenario de amenaza 4

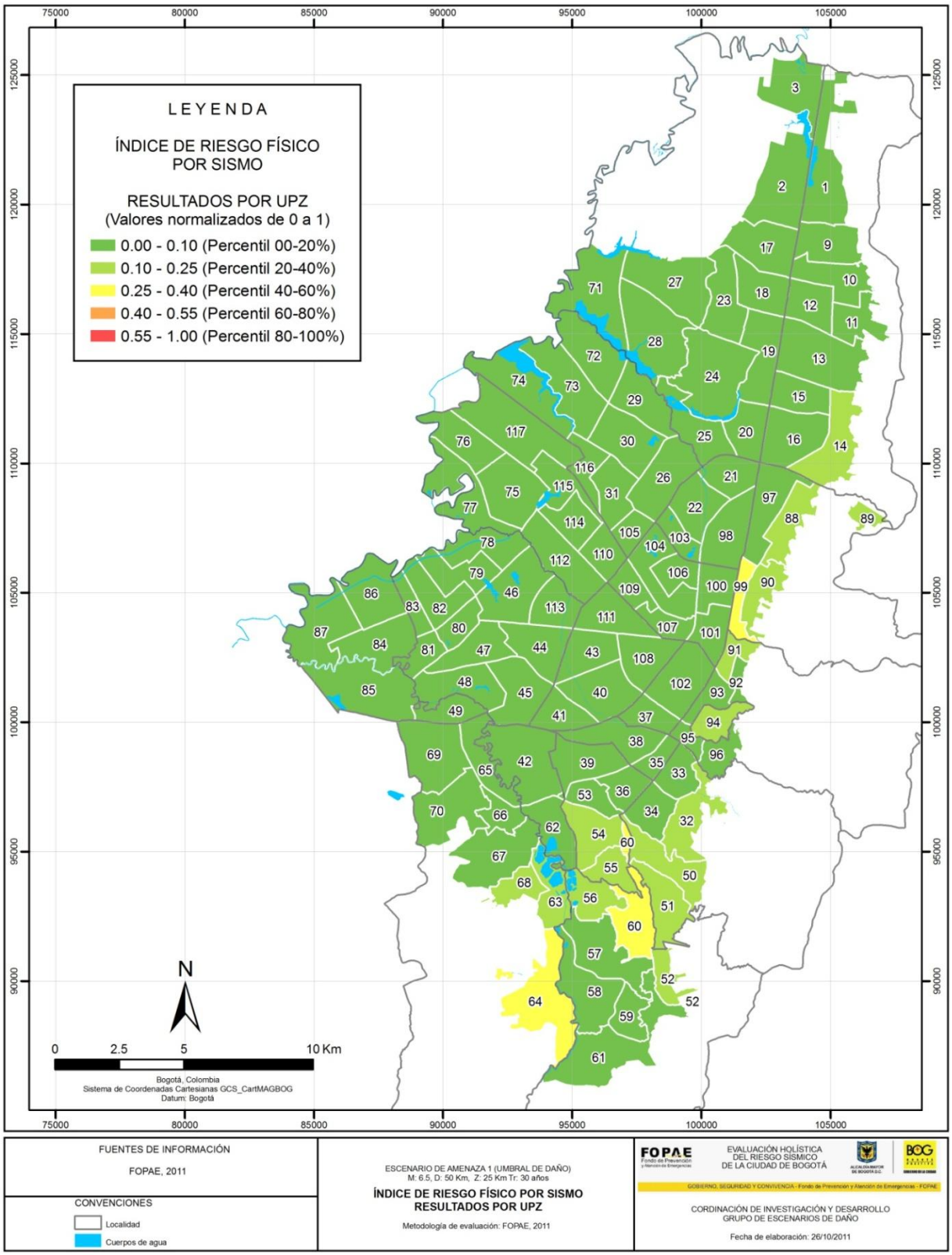


Figura 4.23. Índice de riesgo físico por UPZ para el escenario de amenaza 1

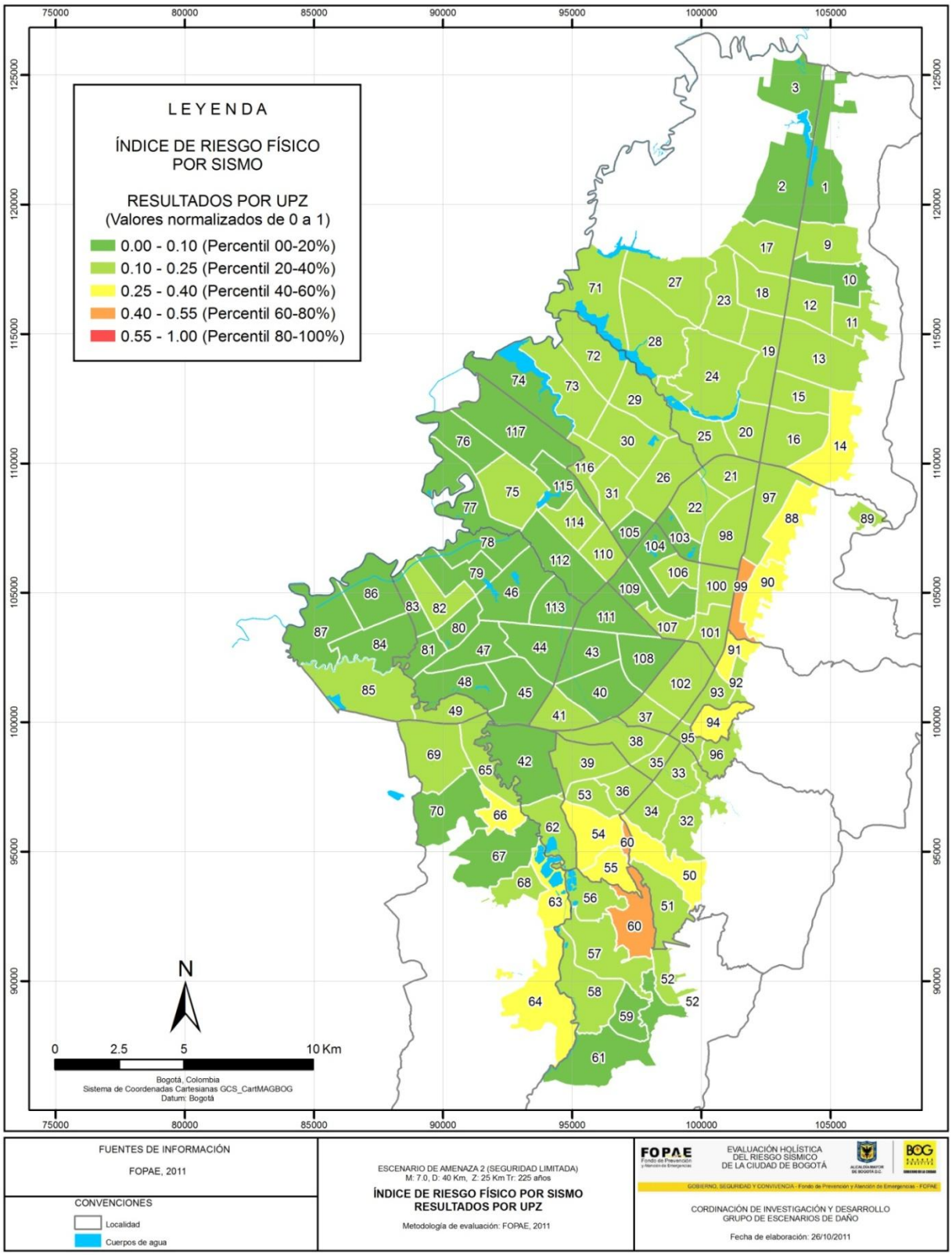


Figura 4.24. Índice de riesgo físico por UPZ para el escenario de amenaza 2

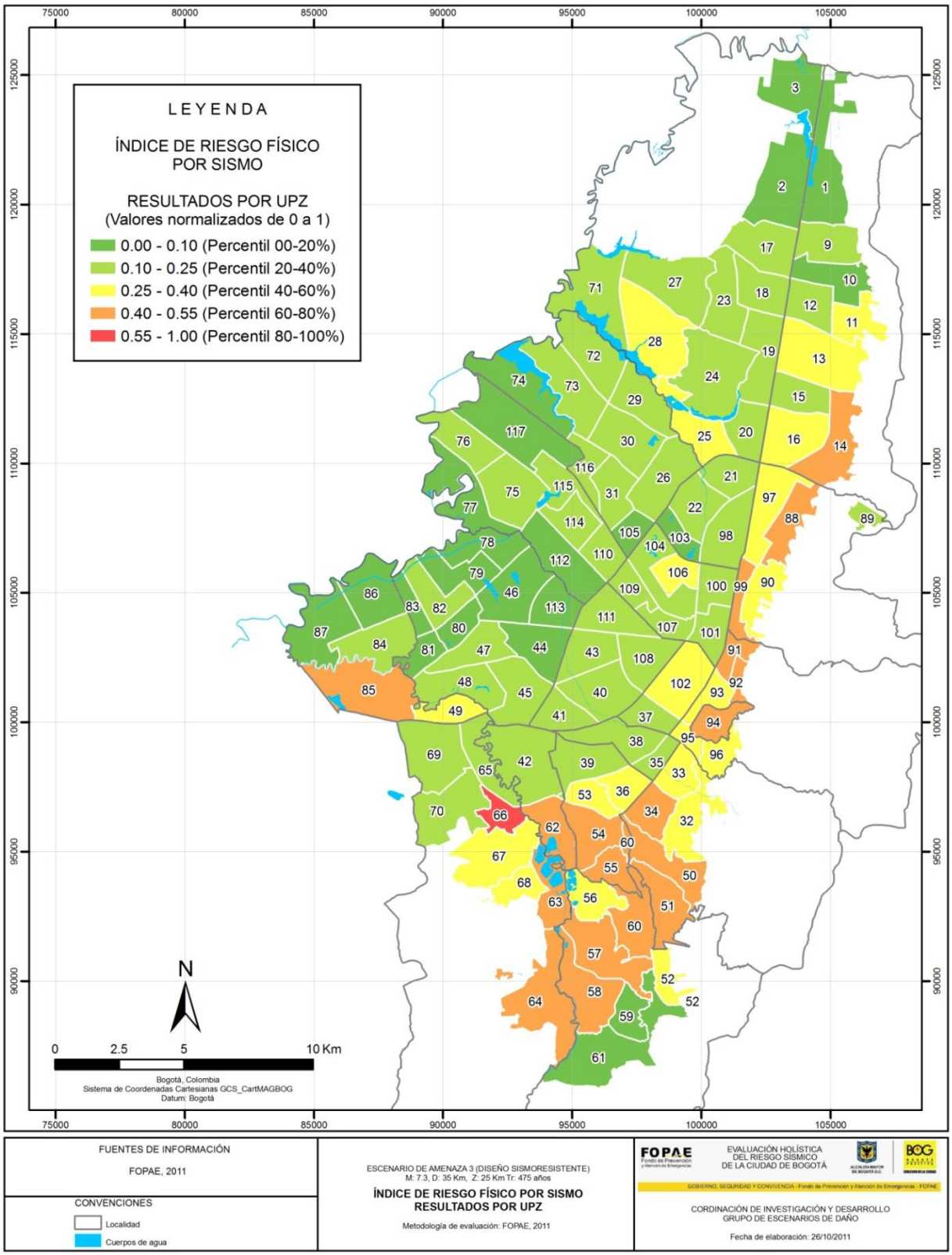


Figura 4.25. Índice de riesgo físico por UPZ para el escenario de amenaza 3

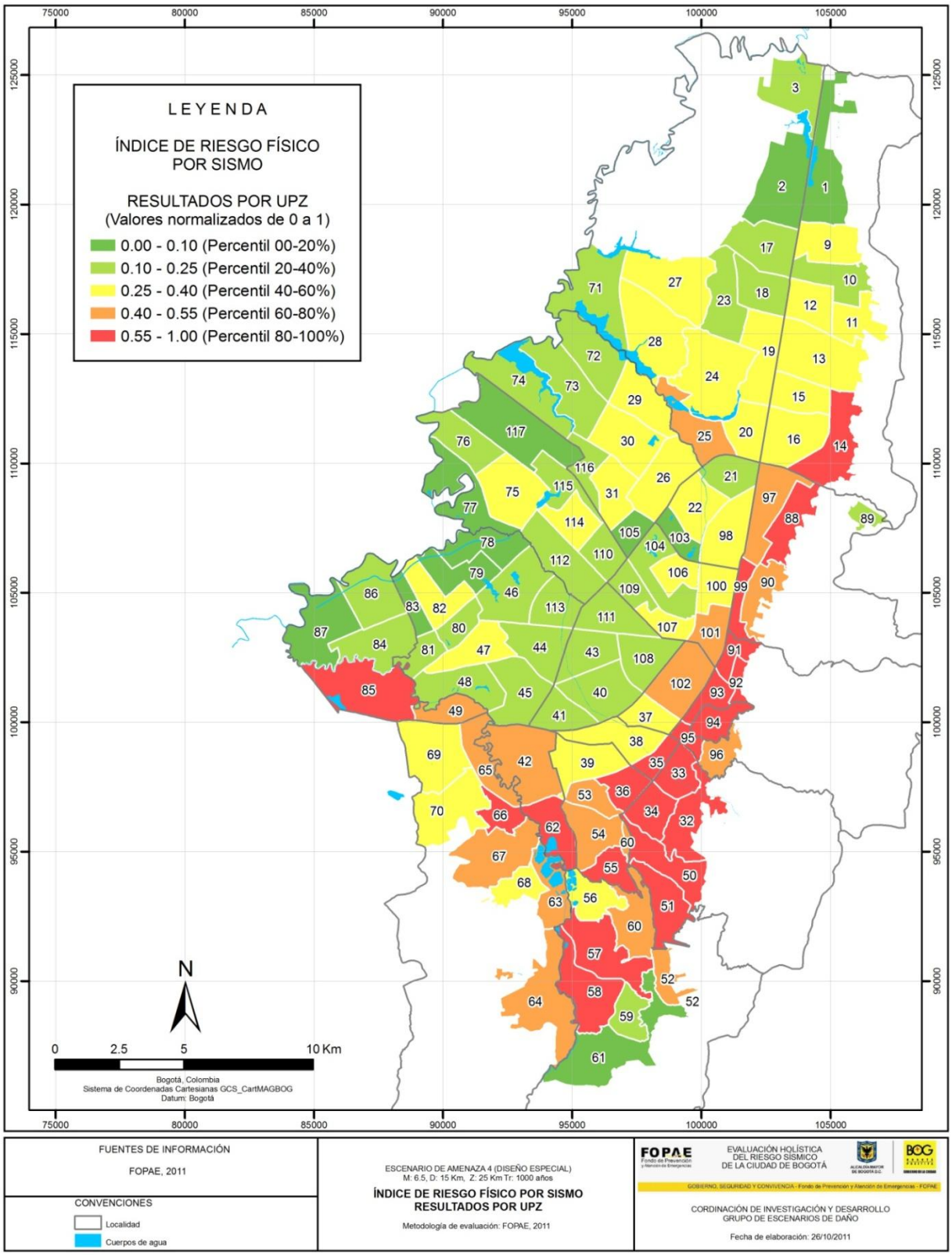


Figura 4.26. Índice de riesgo físico por UPZ para el escenario de amenaza 4

4.2 COEFICIENTE DE AGRAVAMIENTO F

El coeficiente de agravamiento F que representa las condiciones socioeconómicas del contexto (fragilidad socioeconómica y resiliencia) se obtiene mediante la suma de una serie de n indicadores de fragilidad social F_{FSi} y resiliencia F_{FRj} multiplicados por sus correspondientes coeficientes de ponderación W_{FSi} y W_{FRj} respectivamente (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

La propuesta de descriptores de fragilidad socioeconómica y resiliencia se realizó sobre la base de la revisión metodológica de la que trata el Capítulo 2. En la Tabla 3.3 se presenta la relación y principales características de los descriptores usados para la evaluación. En el Anexo 2 se presenta la documentación correspondiente (información consultada y metodología de evaluación).

4.2.1 Resultados para los descriptores de fragilidad socioeconómica

En la Figura 4.27 y Figura 4.28 se presentan los resultados de los descriptores de fragilidad socioeconómica por localidad. Los resultados por UPZ se presentan en el Anexo 4.

4.2.1.1 Densidad de población

Este indicador varía entre 8.389 y 24.217 hab/km. Las localidades más densamente pobladas son San Cristóbal (24.217 hab/km^2), Kennedy (23.684 hab/km^2) y Engativá (21.989 hab/km^2).

4.2.1.2 Tasa de mortalidad

La tasa de mortalidad de la población de la ciudad varía entre 31 y 73 por cada 10.000 habitantes. Las localidades con más altas tasas de mortalidad son Santafé (73), Candelaria (65) y Usme (61).

4.2.1.3 Tasa de delincuencia

La tasa de delincuencia presenta valores entre 83 y 1.805 delitos por cada 100.000 habitantes. Las localidades con las tasas más altas son Chapinero (1,805), Santafé (1.281) y Fontibón (1.240).

4.2.1.4 Área barrios marginales

El área de barrios marginales varía entre 0 y el 85%. Las localidades que presentan mayores áreas de barrio marginales son Usme (87.5%), Ciudad Bolívar (82.5%) y Bosa (82.3%).

4.2.1.5 Índice de necesidades básicas insatisfechas NBI

Este índice presenta valores entre el 0.6% y el 17.4 %. Las localidades que presentan los valores más altos son Ciudad Bolívar (17.4%), Santafé (15.3%) y Usme (11.7%).

4.2.1.6 Índice parcial de disparidad social

Este índice varía entre el 0.02 y 1.00. Los valores más altos se presentan en las localidades de Ciudad Bolívar (1.00), Bosa (0.69) y San Cristóbal (0.32).

4.2.1.7 Minorías

Este descriptor presenta valores entre 90 y 422 personas por cada 10.000 habitantes. Los valores más altos se presentan en las localidades de Candelaria (422), Santafé (345) y Mártires (335).

4.2.1.8 Población discapacitada

Se presentan valores entre 362 y 707 personas por cada 10.000 habitantes. Los valores más altos se presentan en las localidades de Santafé (707), Antonio Nariño (625) y Tunjuelito (622).

4.2.1.9 Índice de vulnerabilidad por edad de la población

Este índice varía entre 0.21 y 0.28. Las localidades que presentan los valores más altos son Ciudad Bolívar (0.30), Usme (0.30) y San Cristóbal (0.29).

4.2.1.10 Índice de dependencia económica

Este descriptor presenta valores entre 0.3 y 5.50 personas por hogar. Los valores más altos se presentan en las localidades de Ciudad Bolívar (5.5), Santafé (5.5) y Usme (4.4).

4.2.1.11 Índice de Gini de disparidad económica

Este índice presenta valores entre 0.40 y 0.58. Las localidades que presentan los valores más altos son Usaquén (0.58), Chapinero (0.57) y Candelaria (0.56).

4.2.2 Resultados para los descriptores de resiliencia

En la Figura 4.29 y Figura 4.30 se presentan los resultados de los descriptores de resiliencia por localidad los cuales fueron evaluados a partir de la información social y económica de la población. Estos resultados a escala de UPZ se presentan en el Anexo 4.

4.2.2.1 Plan de emergencia

De acuerdo con la escala de valoración establecida para el plan de emergencia local, las localidades de la ciudad presentan calificaciones de 1 a 4. La localidad mejor calificada es la de Usaquén (1), seguida por las localidades de Usme, Tunjuelito, Bosa, Kennedy, Barrios Unidos, Teusaquillo, Mártires y Antonio Nariño con una calificación de 3.

Las localidades peor calificadas son Chapinero, Santafé, San Cristóbal, Fontibón, Engativá, Suba, Puente Aranda, Candelaria, Rafael Uribe y Ciudad Bolívar.

4.2.2.2 Participación en el simulacro distrital de evacuación por sismo

El porcentaje de participación de la población por localidad presenta valores entre el 44.36 y el 86.03%. Las localidades con más baja participación son Bosa (44.36%), Ciudad Bolívar (51.63%) y Usme (55.96%).

4.2.2.3 Nivel de sensibilización sobre el riesgo

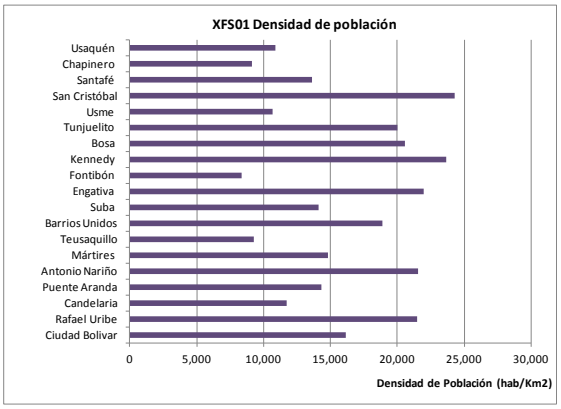
El porcentaje de participación de la población que ha recibido capacitación sobre el riesgo por localidad varía entre el 2.37 y el 37.90%. Las localidades con más bajos niveles de sensibilización son San Cristóbal (2.93%), Tunjuelito (2.56%) y Usme (2.37%).

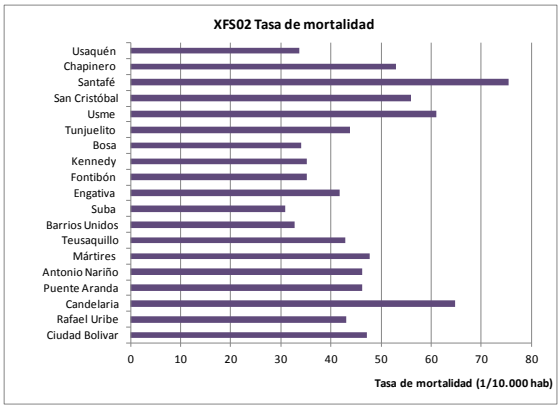
4.2.2.4 Capacidad hospitalaria

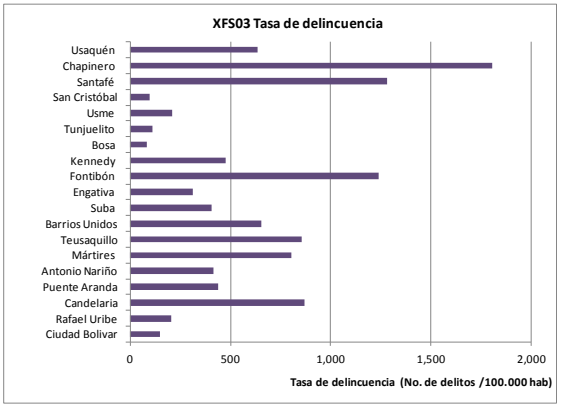
Este indicador varía entre 0 y 13,9 camas por cada 1.000 habitantes. Las localidades que presentan la capacidad hospitalaria son Usme, Bosa y Candelaria.

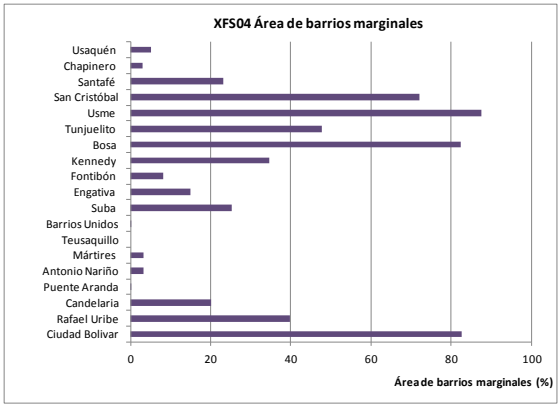
4.2.2.5 Recurso humano en salud

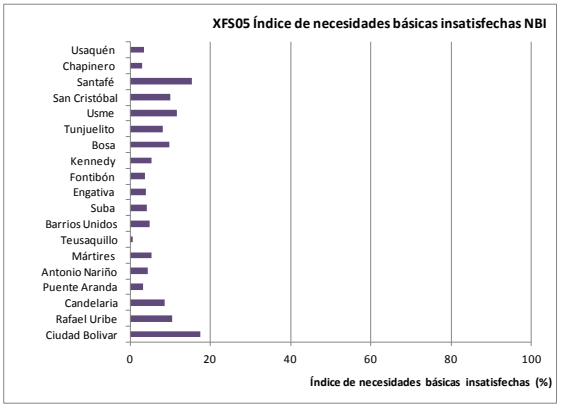
Dado que a la fecha no se cuenta con información discriminada sobre el número de profesionales de la salud por localidad, para efectos de la presente evaluación se empleará un valor calculado a escala de ciudad de 0.01 profesionales por cada 1.000 habitantes.

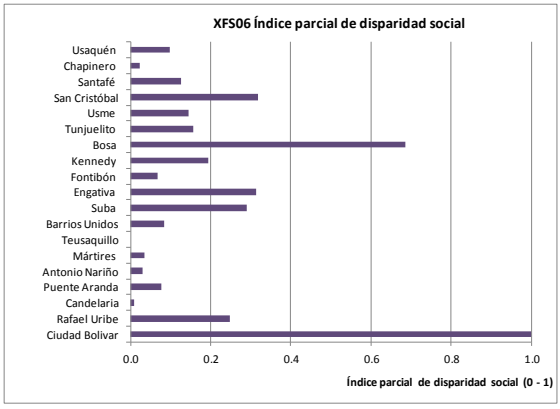


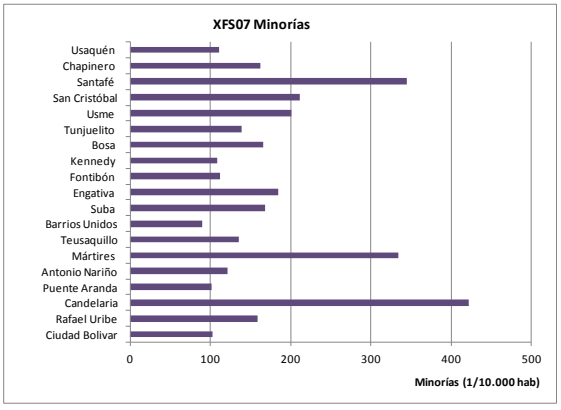












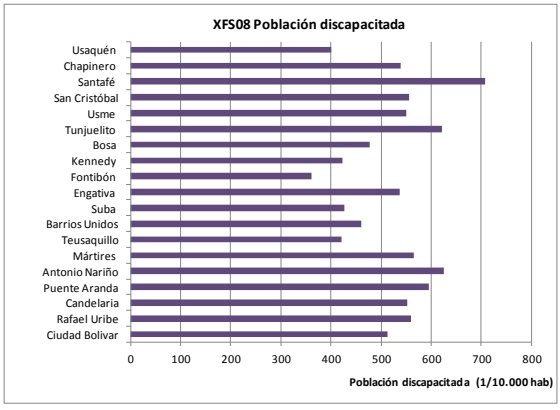


Figura 4.27. Descriptores de fragilidad social y económica de la población (1 de 2)

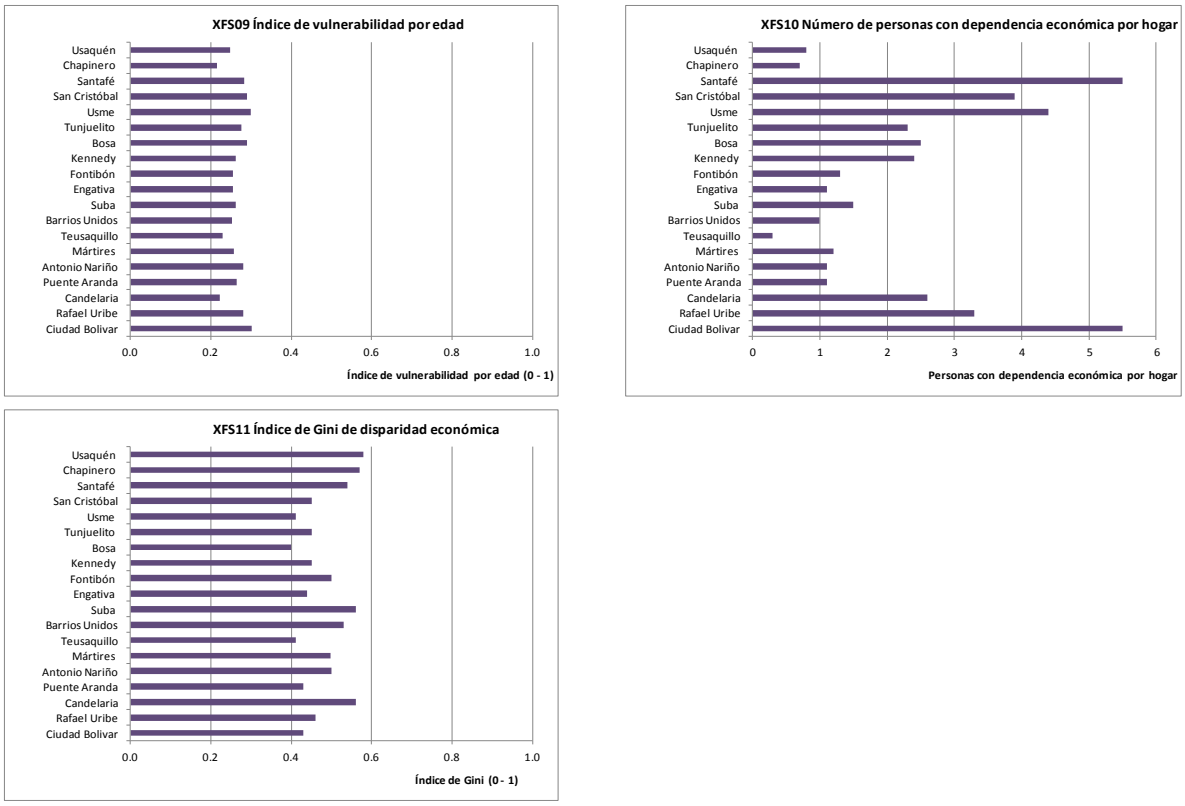


Figura 4.28. Descriptores de fragilidad social y económica de la población (2 de 2)

4.2.2.6 Ambulancias

Igual que en el caso anterior, para efectos de la presente evaluación se empleará un valor calculado a escala de ciudad de 0.09 ambulancias por cada 1.000 habitantes.

4.2.2.7 Bomberos

Igual que en el caso anterior, para efectos de la presente evaluación se empleará un valor calculado a escala de ciudad de 0.05 bomberos por cada 1.000 habitantes.

4.2.2.8 Personal de búsqueda y rescate

Este indicador presenta valores entre 0 y 1.72 profesionales en búsqueda y rescate por cada 1.000 habitantes. Las localidades que presentan los valores más bajos para este indicador son Bosa (0.1), Kennedy (0.07) y Candelaria (0).

4.2.2.9 Personal de orden público

Dado que a la fecha no se cuenta con información discriminada sobre el personal de orden público discriminado por localidad, para efectos de la presente evaluación se empleará un valor calculado a escala de ciudad de 1.57 unidades por cada 1.000 habitantes.

4.2.2.10 Centro de manejo de emergencias

La ciudad cuenta con un único centro de manejo de emergencias el cual cuenta con personal capacitado, un centro de comando y una sala de crisis con sistemas de comunicaciones. De acuerdo con la escala de valoración establecida para este indicador, para efectos de la presente evaluación se emplea un valor uniforme a escala de ciudad de 4.

4.2.2.11 Refugio

Este indicador presenta valores entre 0.27 y 12.67 m2 por habitante. Las localidades que presentan las menores capacidades de refugio son Kennedy (0.33), Rafael Uribe (0.30) y San Cristóbal (0.27).

4.2.2.12 Espacio Público

El área de espacio público en cada localidad varía entre 0.63 y 11.80 %. Las localidades con menor proporción de espacio público son Ciudad Bolívar (2.46%), Usme (1.56%) y Mártires (0.63%).

4.2.2.13 Densidad vial

Este indicador presenta valores entre 8.17 y 18.29 %. Las localidades densidades viales más bajas las presentan las localidades de Fontibón (8.53%), Suba (8.34%) y Usme (8.17%).

4.2.2.14 Nivel de desarrollo

El nivel de desarrollo socioeconómico representativo ponderado presenta valores entre 0.07 y 0.24. Los niveles de desarrollo más bajos se presentan en las localidades de Bosa (0.09), Usme (0.08) y Ciudad Bolívar (0.07).

4.2.2.15 Ingreso per cápita promedio

El ingreso per cápita promedio de la población presenta valores entre 182.713 y 1'570.671 pesos. Las localidades con los valores más bajos para este indicador son San Cristóbal (205.500), Usme (183.266) y Ciudad Bolívar (182.713).

4.2.2.16 Nivel educativo

El nivel educativo representativo ponderado por localidad presenta valores entre 0.13 y 0.25. Las localidades con los niveles educativos más bajos son Bosa (0.14), Ciudad Bolívar (0.13) y Usme (0.13).

4.2.3 Evaluación de los indicadores de fragilidad social y económica y resiliencia (funciones y parámetros de normalización de los descriptores)

Al igual que en el caso de los descriptores de riesgo físico, la evaluación de los indicadores de fragilidad social y económica y resiliencia del contexto se lleva a cabo mediante un proceso de normalización de los descriptores. El procedimiento se realiza mediante el uso de funciones de transformación de tipo sigmoidal de acuerdo con la Ecuación 3.4 o lineal de acuerdo con la Ecuación 3.5 (ver Numeral 3.2).

Los valores de los parámetros que se emplearon en estas funciones de transformación se obtuvieron a partir de la revisión bibliográfica (Capítulo 2). Algunos de estos valores se basan en observaciones efectuadas en otros contextos urbanos y otros fueron determinados a partir del examen de las estadísticas del descriptor. En la Tabla 4.9 se presentan los valores de los parámetros usados para la transformación de cada uno de los descriptores y en el Anexo 4 se presentan las funciones de transformación empleadas en cada caso.

En la Tabla 4.10 y Tabla 4.11 se presentan los resultados de los indicadores de fragilidad social y económica y resiliencia por localidad. En el Anexo 4 se presentan los valores de los indicadores por UPZ.

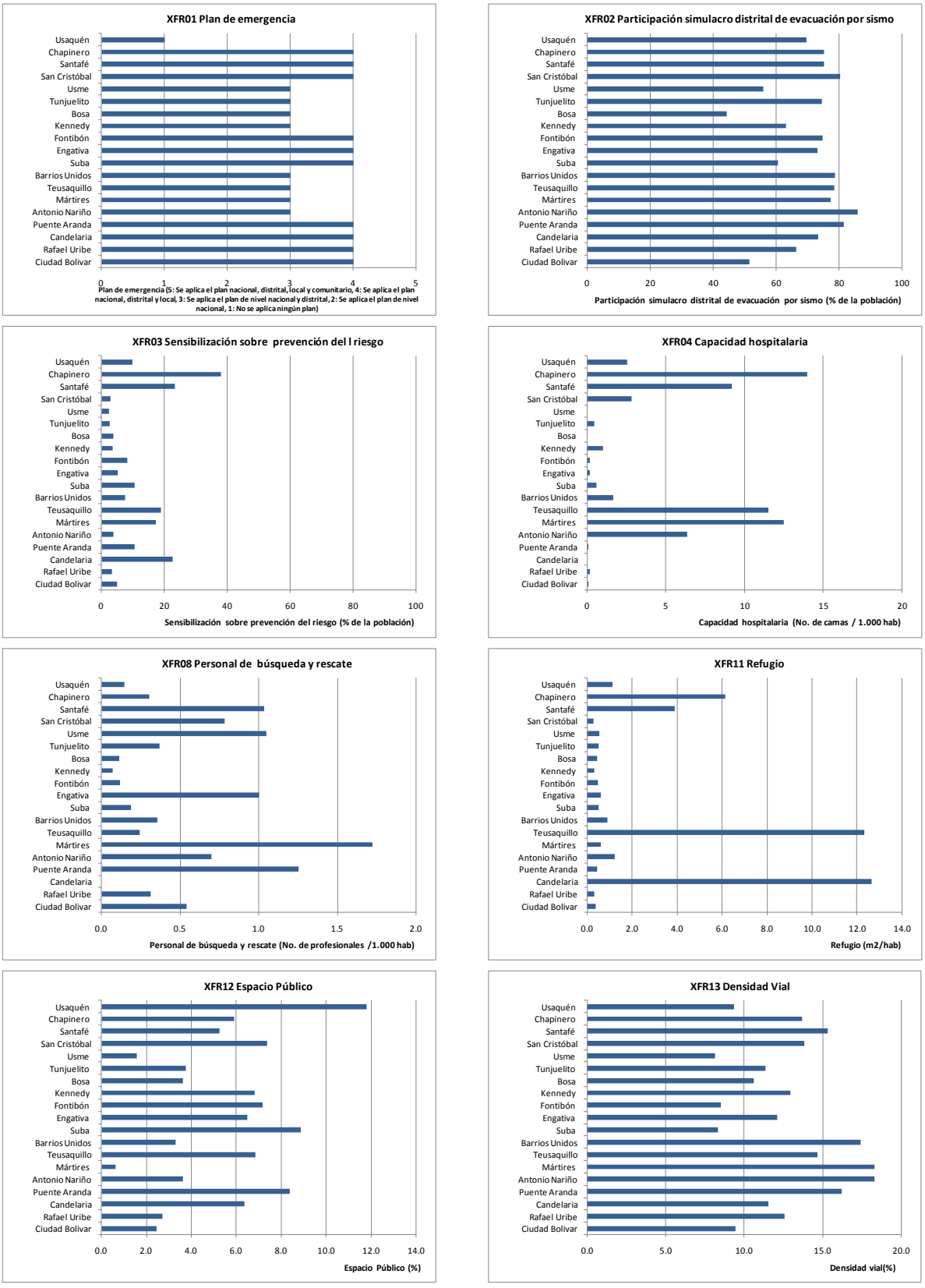
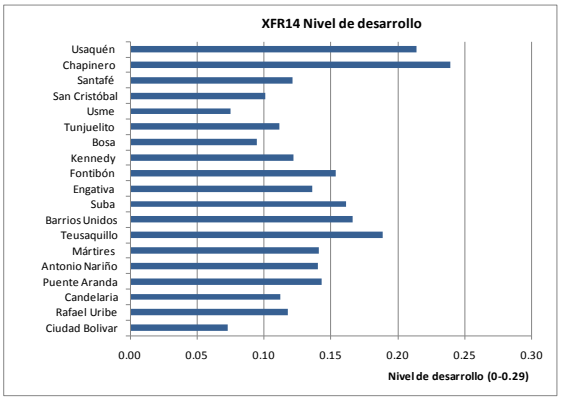
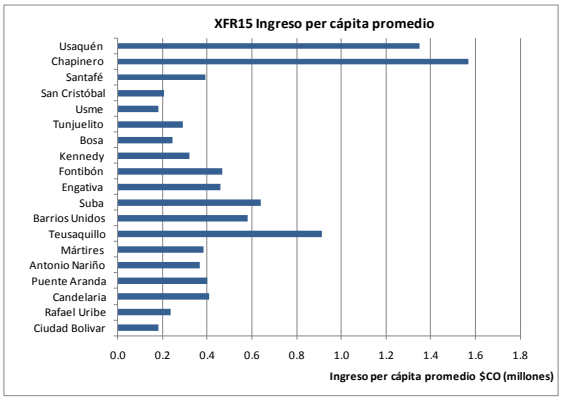


Figura 4.29. Descriptores de resiliencia (1 de 2)





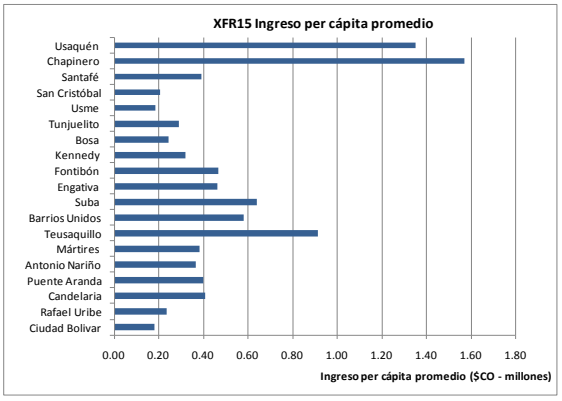


Figura 4.30. Descriptores de resiliencia (2 de 2)

Código	*Descriptor*	*Tipo*	*Máximo / X1*	*Mínimo / X2*	*b / Y1*	*m / Y2*
XFS01	Densidad de población	Sigmodal	25,000	400	6.87	0.50
XFS02	Tasa de mortalidad	Sigmodal	75	30	7.57	0.50
XFS03	Tasa de delincuencia	Sigmodal	1,400	10	7.49	0.50
XFS04	Área barrios marginales	Sigmodal	75	0.2	7.57	0.50
XFS05	Índice de necesidades básicas insatisfechas NBI	Sigmodal	15	0	7.49	0.50
XFS06	Índice parcial de disparidad social	Lineal	0	1	0	1
XFS07	Minorías	Sigmodal	400	80	6.87	0.50
XFS08	Población discapacitada	Sigmodal	1,000	0	6.87	0.50
XFS09	Índice de vulnerabilidad por edad de la población	Sigmodal	0.4	0.2	6.87	0.50
XFS10	Índice de dependencia económica	Sigmodal	3	0	7.49	0.50
XFS11	Índice de Gini de disparidad económica	Sigmodal	0.58	0.4	7.49	0.50
XFR01	Plan de emergencia	Lineal	5	0	0	1
XFR02	Nivel de preparación para un evento sísmico	Sigmodal	80	40	-7.58	0.50
XFR03	Nivel de sensibilización sobre prevención de riesgos	Sigmodal	40	0	-7.58	0.50
XFR04	Capacidad hospitalaria	Sigmodal	30	0	-7.58	0.50
XFR05	Recurso humano en salud	Sigmodal	15	0	-7.64	0.50
XFR06	Número de ambulancias	Sigmodal	15	0	-7.64	0.50
XFR07	Número de bomberos	Sigmodal	7	0	-7.65	0.50
XFR08	Personal de búsqueda y rescate (voluntarios Cruz Roja Colombian	Sigmodal	2	0	-7.65	0.50
XFR09	Personal orden público	Sigmodal	7	0	-7.65	0.50
XFR10	Centro de manejo de emergencias	Lineal	5	0	0	1
XFR11	Refugio	Sigmodal	5	0	-7.63	0.50
XFR12	Espacio público	Sigmodal	15	0	-7.63	0.5
XFR13	Densidad vial	Sigmodal	20	1	-7.63	0.5
XFR14	Nivel de desarrollo	Sigmodal	0.1	0.23	-7.63	0.5
XFR15	Ingreso per cápita	Sigmodal	200,000	1,000,000	-7.49	0.5
XFR16	Nivel educativo	Lineal	0.2	0.13	-7.49	0.5

Tabla 4.9. Funciones y parámetros empleados para la normalización de los descriptores de fragilidad socioeconómica y resiliencia

Localidad	Densidad de población XFS01	Tasa de mortalidad XFS02	Tasa de delincuencia XFS03	Área barrios marginales XFS04	Índice de necesidades básicas insatisfechas NBI XFS05	Índice parcial de disparidad social XFS06	Minorías XFS07	Población discapacitada XFS08	Índice de vulnerabilidad por edad de la población XFS09	Índice de dependencia económica XFS10	Índice de Gini de disparidad económica XFS11
Usaquén	0.37	0.04	0.41	0.04	0.12	0.10	0.06	0.30	0.14	0.15	0.98
Chapinero	0.27	0.52	1.00	0.03	0.10	0.02	0.16	0.03	0.05	0.12	0.97
Santafé	0.56	0.98	0.96	0.19	0.98	0.13	0.91	0.00	0.35	1.00	0.89
San Cristóbal	0.96	0.64	0.04	0.97	0.78	0.32	0.35	0.36	0.41	1.00	0.16
Usme	0.36	0.81	0.07	0.99	0.89	0.14	0.30	0.31	0.48	1.00	0.03
Tunjuelito	0.89	0.19	0.04	0.74	0.57	0.16	0.10	0.23	0.30	0.88	0.16
Bosa	0.90	0.04	0.03	0.99	0.77	0.69	0.17	0.31	0.41	0.92	0.02
Kennedy	0.96	0.05	0.23	0.43	0.26	0.19	0.06	0.27	0.21	0.90	0.16
Fontibón	0.23	0.05	0.95	0.05	0.13	0.07	0.06	0.26	0.18	0.38	0.60
Engativa	0.93	0.14	0.11	0.09	0.14	0.31	0.23	0.62	0.18	0.27	0.11
Suba	0.60	0.03	0.17	0.22	0.15	0.29	0.18	0.19	0.21	0.50	0.95
Barrios Unidos	0.85	0.03	0.43	0.02	0.22	0.09	0.04	0.18	0.17	0.22	0.84
Teusaquillo	0.28	0.16	0.69	0.02	0.03	0.00	0.09	0.22	0.08	0.05	0.03
Mártires	0.64	0.31	0.63	0.03	0.26	0.04	0.88	0.24	0.19	0.32	0.58
Antonio Nariño	0.92	0.26	0.17	0.03	0.18	0.03	0.07	0.35	0.33	0.27	0.60
Puente Aranda	0.61	0.26	0.19	0.02	0.10	0.08	0.05	0.30	0.22	0.27	0.08
Candelaria	0.43	0.89	0.71	0.15	0.65	0.01	0.98	0.45	0.07	0.94	0.95
Rafael Uribe	0.92	0.17	0.06	0.55	0.82	0.25	0.15	0.12	0.34	0.99	0.22
Ciudad Bolivar	0.72	0.29	0.05	0.99	0.99	1.00	0.05	0.30	0.52	1.00	0.08

Tabla 4.10. Indicadores de fragilidad socioeconómica por localidad

Localidad	Plan de emergencia XFR01	Nivel de preparación para un evento sísmico XFR02	Nivel de sensibilización sobre prevención de riesgos XFR03	Capacidad hospitalaria XFR04	Recurso humano en salud XFR05	Número de ambulancias XFR06	Número de bomberos XFR07	Personal de búsqueda y rescate XFR08	Personal orden público XFR09	Centro de manejo de emergencias XFR10	Refugio XFR11	Espacio público XFR12	Densidad vial XFR13	Nivel de desarrollo XFR14	Ingreso per cápita XFR15	Nivel educativo XFR16
Usaquén	1.00	0.14	0.87	0.96	0.98	0.98	0.98	0.96	0.89	0.25	0.89	0.1	0.6	0.1	0.0	0.0
Chapinero	0.25	0.05	0.03	0.56	0.98	0.98	0.98	0.93	0.89	0.25	0.00	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0
Santafé	0.25	0.05	0.35	0.81	0.98	0.98	0.98	0.47	0.89	0.25	0.11	0.8	0.1	0.9	0.9	0.6
San Cristóbal	0.25	0.02	0.96	0.96	0.98	0.98	0.98	0.70	0.89	0.25	0.97	0.5	0.2	1.0	1.0	0.9
Usme	0.50	0.68	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.45	0.89	0.25	0.95	1.0	0.7	1.0	1.0	1.0
Tunjuelito	0.50	0.06	0.96	0.98	0.98	0.98	0.98	0.92	0.89	0.25	0.96	0.9	0.4	1.0	0.9	0.6
Bosa	0.50	0.95	0.96	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.89	0.25	0.96	0.9	0.5	1.0	1.0	0.9
Kennedy	0.50	0.35	0.96	0.97	0.98	0.98	0.98	0.97	0.89	0.25	0.97	0.6	0.3	0.9	0.9	0.4
Fontibón	0.25	0.06	0.90	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.89	0.25	0.96	0.6	0.7	0.7	0.8	0.0
Engativa	0.25	0.07	0.94	0.98	0.98	0.98	0.98	0.50	0.89	0.25	0.95	0.6	0.3	0.8	0.8	0.1
Suba	0.25	0.47	0.86	0.97	0.98	0.98	0.98	0.96	0.89	0.25	0.95	0.3	0.7	0.6	0.4	0.1
Barrios Unidos	0.50	0.03	0.91	0.97	0.98	0.98	0.98	0.92	0.89	0.25	0.92	0.9	0.1	0.5	0.5	0.0
Teusaquillo	0.50	0.03	0.56	0.71	0.98	0.98	0.98	0.95	0.89	0.25	0.00	0.6	0.2	0.2	0.1	0.0
Mártires	0.50	0.04	0.62	0.65	0.98	0.98	0.98	0.06	0.89	0.25	0.95	1.0	0.0	0.8	0.9	0.2
Antonio Nariño	0.50	0.01	0.96	0.90	0.98	0.98	0.98	0.76	0.89	0.25	0.87	0.9	0.0	0.8	0.9	0.2
Puente Aranda	0.25	0.02	0.86	0.98	0.98	0.98	0.98	0.28	0.89	0.25	0.96	0.4	0.1	0.8	0.9	0.1
Candelaria	0.25	0.07	0.38	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.89	0.25	0.00	0.7	0.4	1.0	0.9	0.0
Rafael Uribe	0.25	0.23	0.96	0.98	0.98	0.98	0.98	0.93	0.89	0.25	0.97	0.9	0.3	0.9	1.0	0.8
Ciudad Bolivar	0.25	0.83	0.94	0.98	0.98	0.98	0.98	0.85	0.89	0.25	0.96	0.9	0.6	1.0	1.0	1.0

Tabla 4.11. Indicadores de resiliencia por localidad

	Coeficiente de ponderación de la categoría	*Descriptor*	*Código*	*Coeficiente de ponderación del indicador*	*Coeficiente de ponderación resultante del indicador Si*
Fragilidad socioeconómica					
Vulnerabilidad Social					
	0.45	Densidad de población	XFS01	0.10	0.05
		Tasa de mortalidad	XFS02	0.11	0.05
		Tasa de delincuencia	XFS03	0.11	0.05
		Área barrios marginales	XFS04	0.14	0.06
		Índice de necesidades básicas insatisfechas NBI	XFS05	0.16	0.07
		Índice parcial de disparidad social	XFS06	0.22	0.10
		Minorías	XFS07	0.06	0.03
		Población discapacitada	XFS08	0.05	0.02
		Índice de vulnerabilidad por edad de la población	XFS09	0.05	0.02
			Σ	1.00	
Vulnerabilidad económica					
	0.22	Índice de dependencia económica	XFS10	0.17	0.04
		Índice de Gini de disparidad económica	XFS11	0.83	0.19
			Σ	1.00	
Resiliencia					
Planeación					
	0.08	Plan de emergencia	XFR01	0.64	0.05
		Participación simulacro distrital	XFR02	0.26	0.02
		Nivel de sensibilización sobre prevención de riesgos	XFR03	0.10	0.01
			Σ	1.00	
Operaciones					
	0.08	Capacidad hospitalaria	XFR04	0.22	0.02
		Recurso humano en salud	XFR05	0.22	0.02
		Número de ambulancias	XFR06	0.04	0.00
		Número de bomberos	XFR07	0.22	0.02
		Personal de búsqueda y rescate	XFR08	0.22	0.02
		Personal orden público	XFR09	0.07	0.01
			Σ	1.00	
Logística					
	0.08	Centro de manejo de emergencias	XFR10	0.61	0.05
		Refugio	XFR11	0.21	0.02
		Espacio público	XFR12	0.09	0.01
		Densidad vial	XFR13	0.09	0.01
			Σ	1.00	
Recuperación					
	0.08	Nivel de desarrollo	XFR14	0.33	0.03
		Ingreso per cápita	XFR15	0.33	0.03
		Nivel educativo	XFR16	0.33	0.03
			Σ	1.00	
Σ	1.00				1.00

Tabla 4.12. Coeficiente de ponderación Wi de los indicadores de exposición y susceptibilidad física

4.2.4 Resultado de la evaluación del índice de fragilidad socioeconómica y resiliencia

Una vez calculados los indicadores de fragilidad socioeconómica y resiliencia y sus coeficientes de ponderación se procede a evaluar los respectivos índices mediante la Ecuación 3.3.

4.2.4.1 Resultado de la evaluación del índice de fragilidad socioeconómica y resiliencia por localidad

En la Figura 4.31 y Figura 4.32 se presentan los resultados tabulados para los índices de fragilidad socioeconómica y resiliencia por localidad y en la Figura 4.33 y Figura 4.34 se presentan los mapas de resultados.

4.2.4.2 Resultado de la evaluación del índice de fragilidad socioeconómica y resiliencia por UPZ

En la Figura 4.35 y Figura 4.36 se presentan los mapas de resultados para los índices de fragilidad socioeconómica y resiliencia por unidad de planeamiento zonal. En el Anexo 4 se presentan los resultados tabulados.

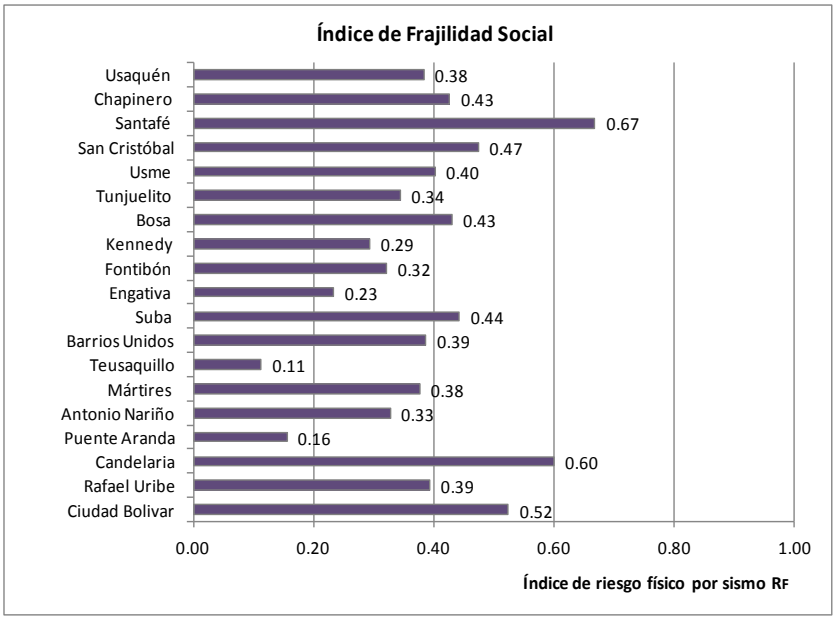


Figura 4.31. Índice de fragilidad social y económica por localidad

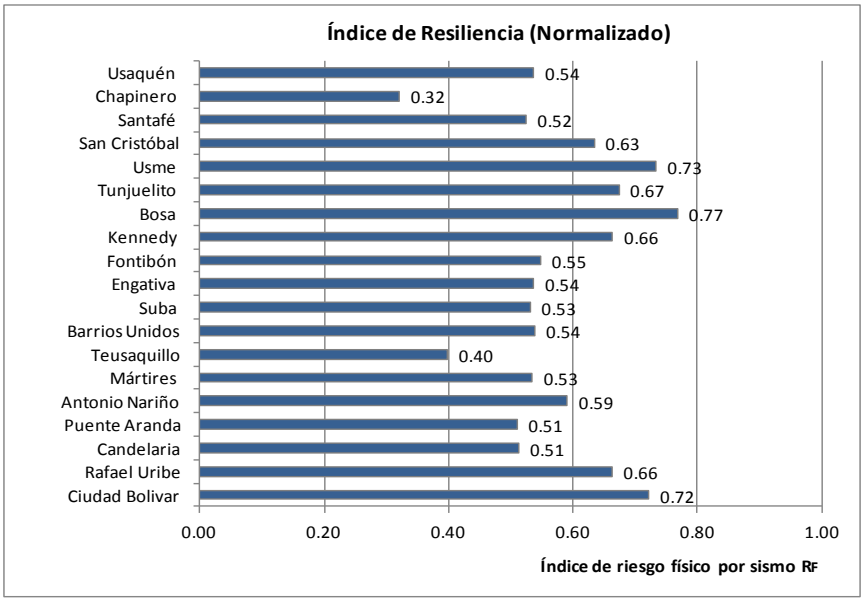


Figura 4.32. Índice de resiliencia por localidad

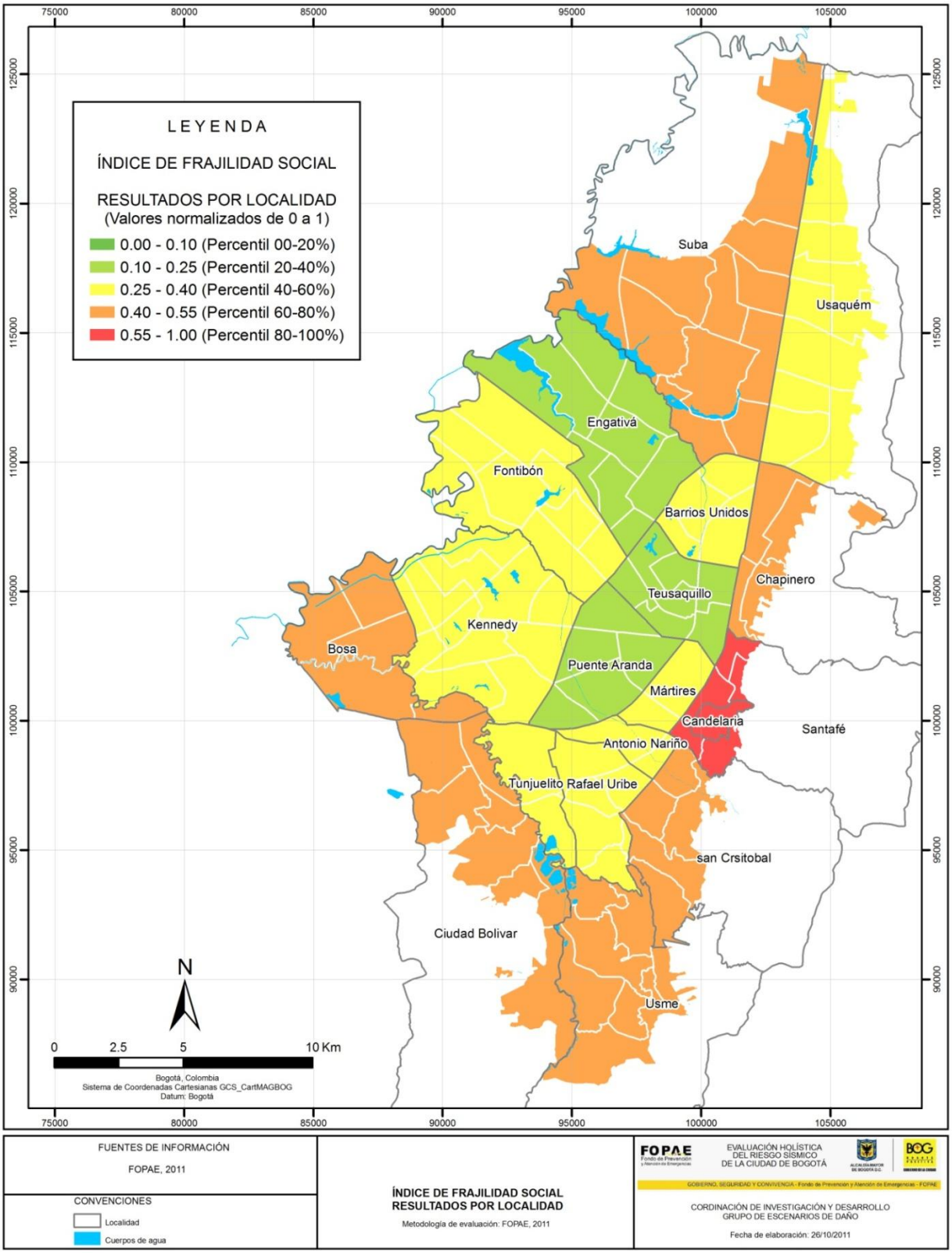


Figura 4.33. Índice de fragilidad social y económica por localidad

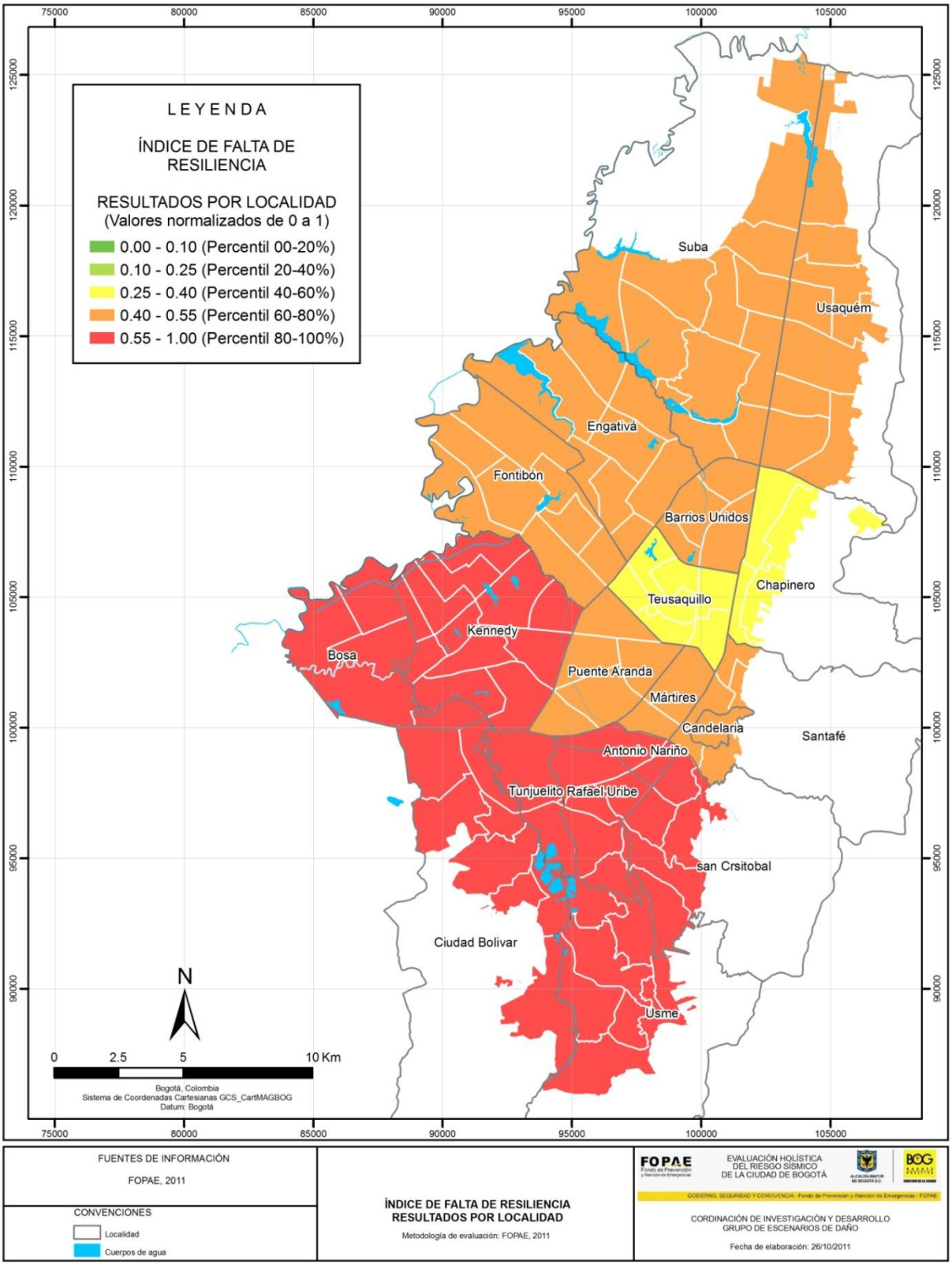


Figura 4.34. Índice de resiliencia por localidad

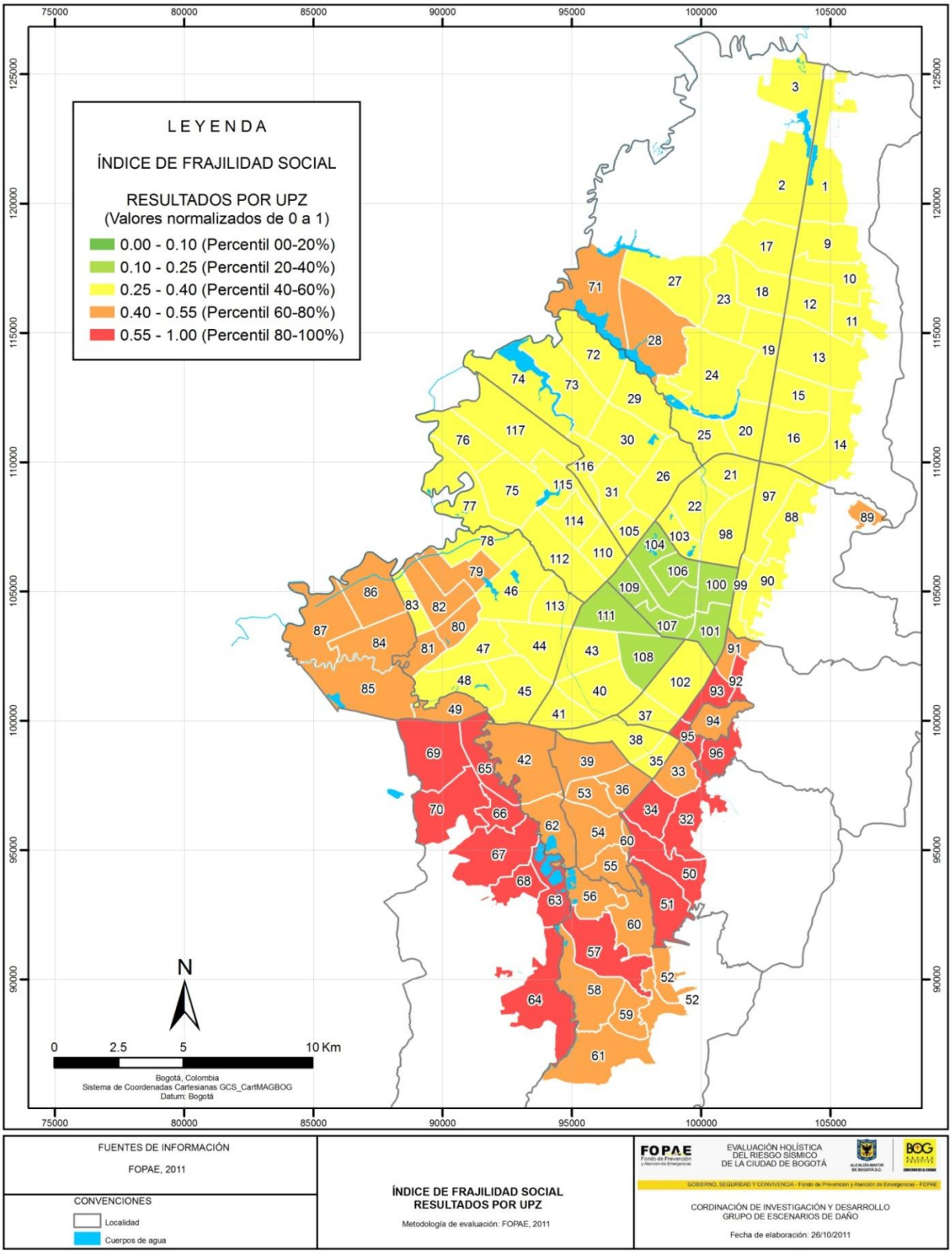


Figura 4.35. Índice de fragilidad social y económica por UPZ

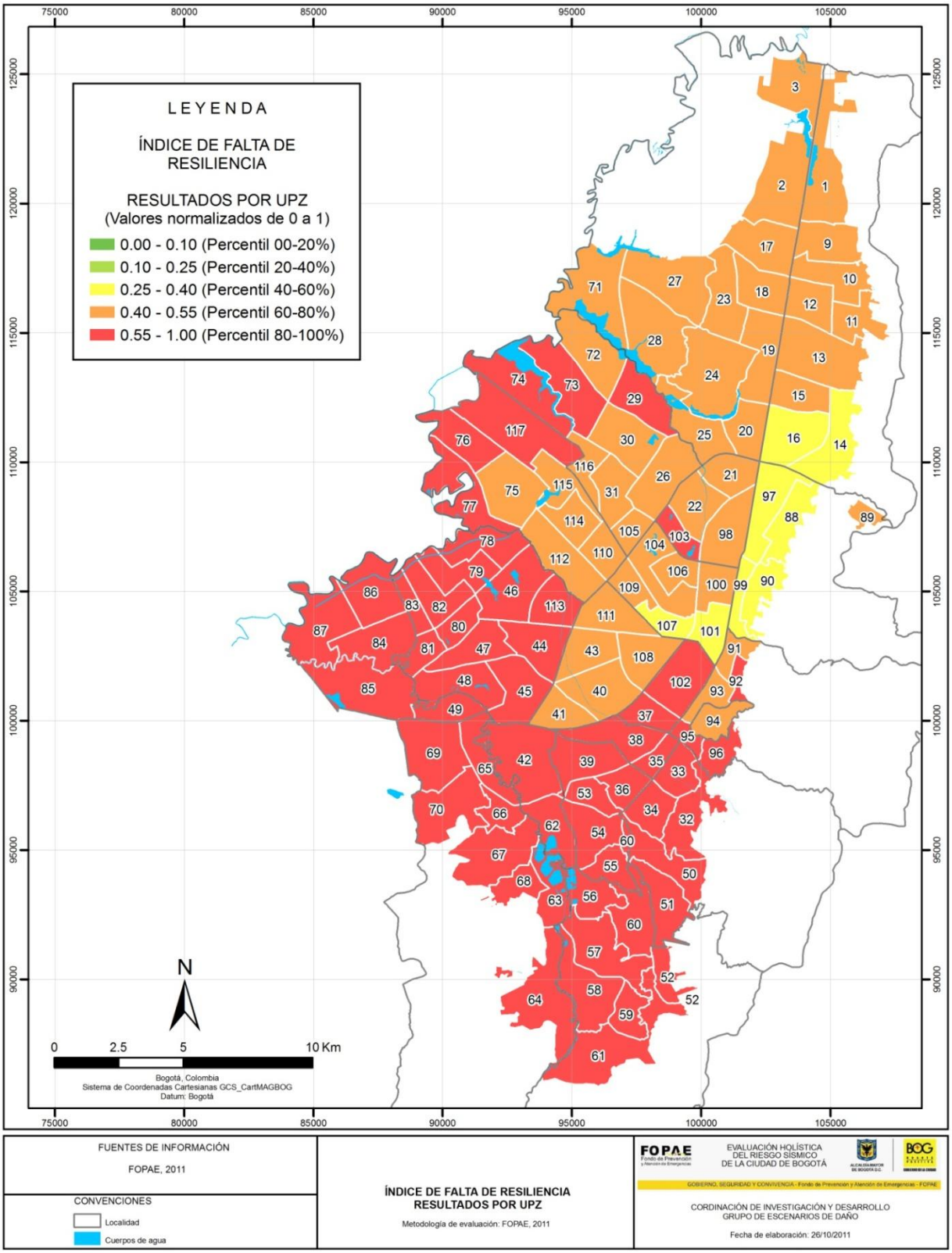


Figura 4.36. Índice de resiliencia por UPZ

CAPÍTULO 5

5 RIESGO TOTAL POR SISMO R_T

En el presente capítulo se evalúa el Riesgo Total por Sismo R_T como función del factor de exposición (Índice de riesgo físico R_F) y del coeficiente de agravamiento F mediante la Ecuación 3.1.

5.1 RESULTADO DE LA EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE RIESGO TOTAL POR SISMO POR LOCALIDAD

De la Figura 5.1 a la Figura 5.4 se presentan los resultados tabulados del índice de riesgo total por sismo R_T por localidad para cada uno de los escenarios de amenaza sísmica y en la Figura 5.5 a la Figura 5.8 se presentan los mapas de resultados.

Para el escenario de amenaza sísmica 1, el índice de riesgo total por sismo presenta valores entre 0.02 y 0.14. Las localidades que presentan los valores más altos son Chapinero (0.14), Candelaria (0.12) y Usme (0.10).

En el escenario de amenaza sísmica 2, el índice presenta valores entre 0.04 y 0.25. Las localidades que presentan los valores más altos son Candelaria (0.25), Chapinero (0.24) y Santafé (0.20).

En el escenario de amenaza sísmica 3, se presentan valores entre 0.05 y 0.39. Las localidades que presentan los valores más altos son Santafé (0.39), Candelaria (0.36) y San Cristóbal (0.35).

Para el escenario de amenaza sísmica 4 se presentan valores que varían de 0.13 a 0.59. Las localidades que presentan los valores más altos son Candelaria (0.59), Santafé (0.55) y Chapinero (0.49).

En general se concluye que las localidades que presentan mayor riesgo total por sismo son Chapinero, Candelaria, San Cristóbal y Santafé, mientras que las presentan menores valores son Kennedy, Fontibón y Puente Aranda.

5.2 RESULTADO DE LA EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE RIESGO TOTAL POR SISMO POR UPZ

En la Figura 5.9 a la Figura 5.12 se presentan los mapas de resultados para el índice de riesgo total por sismo R_T por unidad de planeamiento zonal y en el Anexo 5 se presentan los resultados tabulados.

Para el escenario de amenaza sísmica 1, el índice de riesgo total por sismo presenta valores entre 0.01 y 0.29. Las UPZ que presentan los valores más altos son Entrenubes (0.30), Monteblanco (0.28) y Chapinero (0.21).

En el escenario de amenaza sísmica 2, el índice presenta valores entre 0.02 y 0.32. Las UPZ que presentan los valores más altos son Entrenubes (0.32), Monteblanco (0.31) y Sagrado Corazón (0.30).

En el escenario de amenaza sísmica 3, se presentan valores entre 0.02 y 0.46. Las localidades que presentan los valores más altos son San Francisco (0.46), La Macarena (0.41) y La Gloria (0.39).

Para el escenario de amenaza sísmica 4 se presentan valores que varían de 0.02 a 0.61. Las localidades que presentan los valores más altos son Las Nieves (0.60), San Francisco (0.57) y Candelaria (0.57).

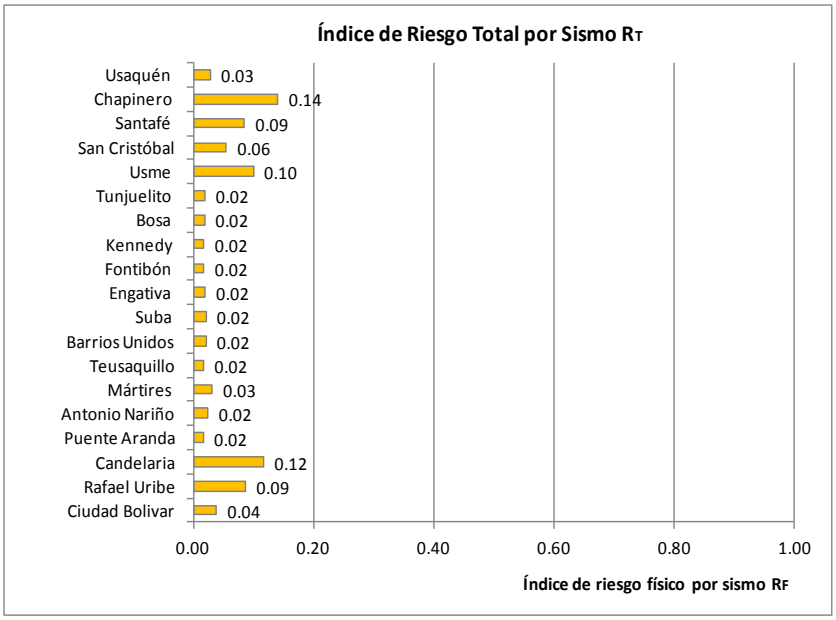


Figura 5.1. Índice de riesgo total por sismo por localidad para el escenario de amenaza 1

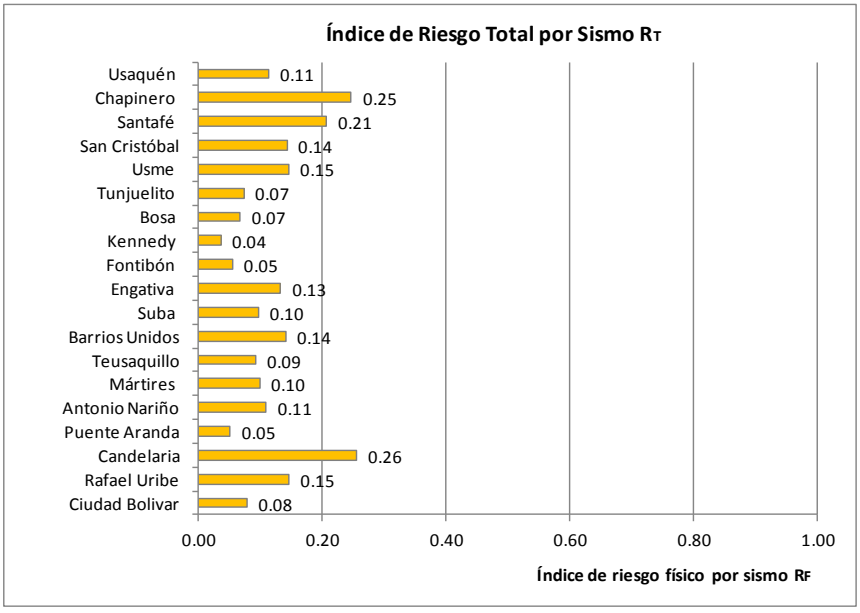


Figura 5.2. Índice de riesgo total por sismo por localidad para el escenario de amenaza 2

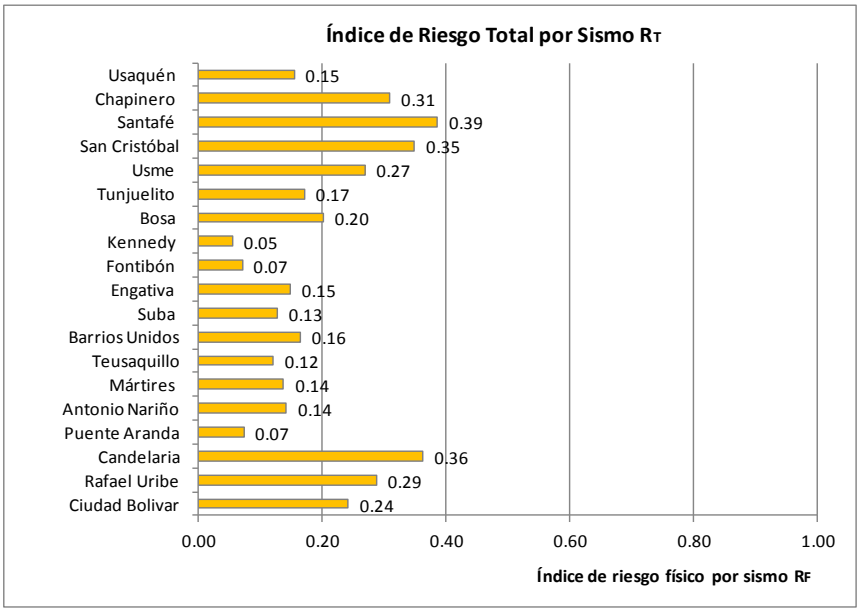


Figura 5.3. Índice de riesgo total por sismo por localidad para el escenario de amenaza 3

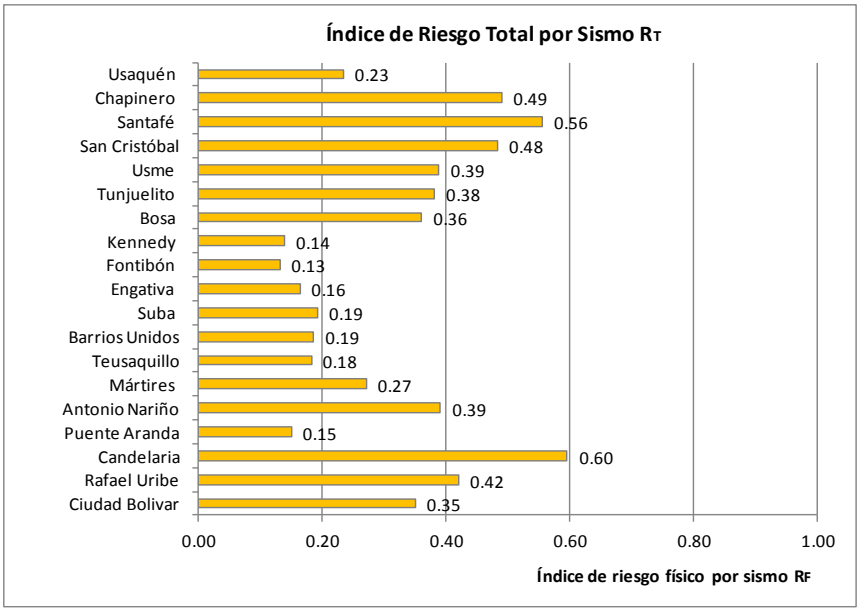


Figura 5.4. Índice de riesgo total por sismo por localidad para el escenario de amenaza 4

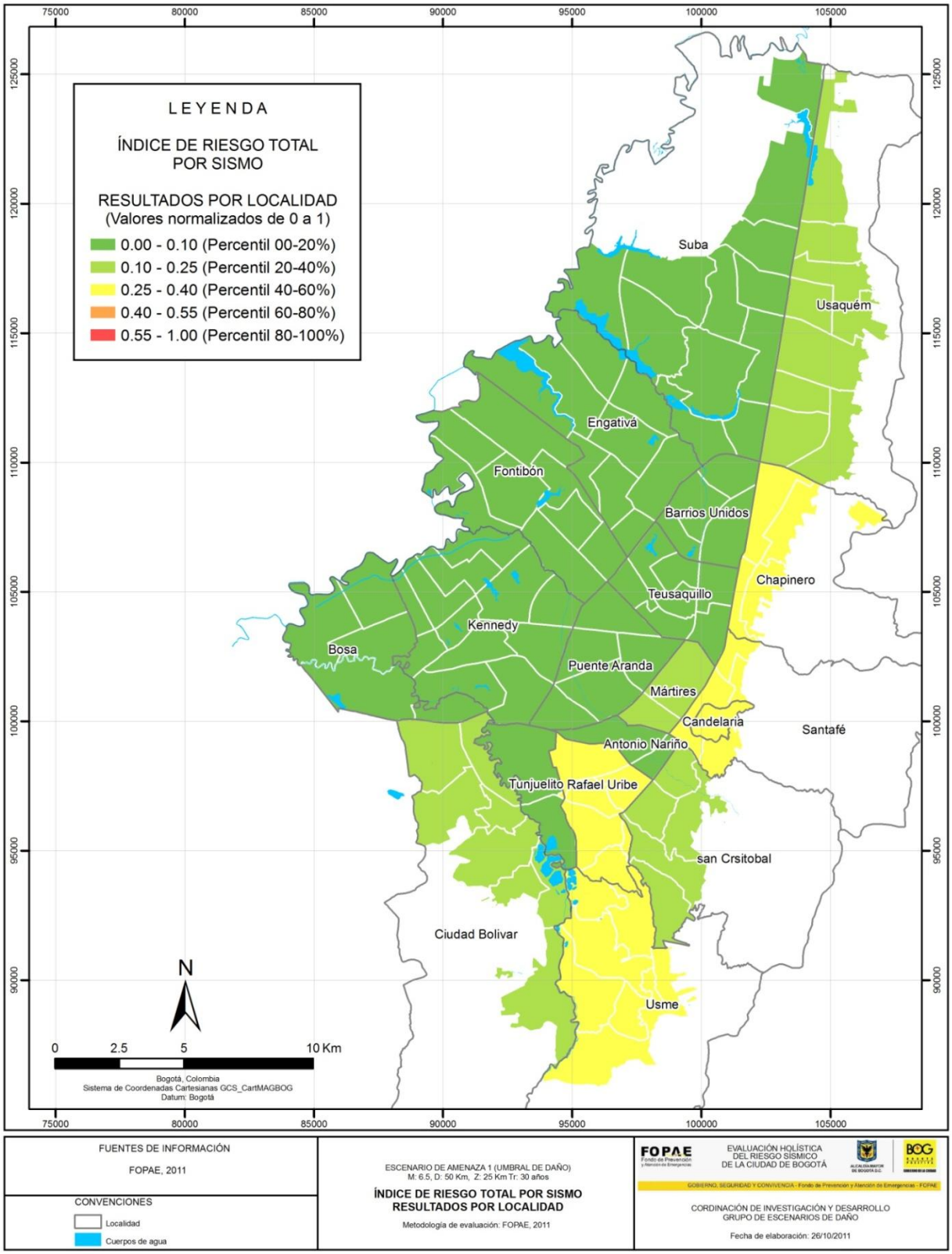


Figura 5.5. Índice de riesgo total por sismo por localidad para el escenario de amenaza 1

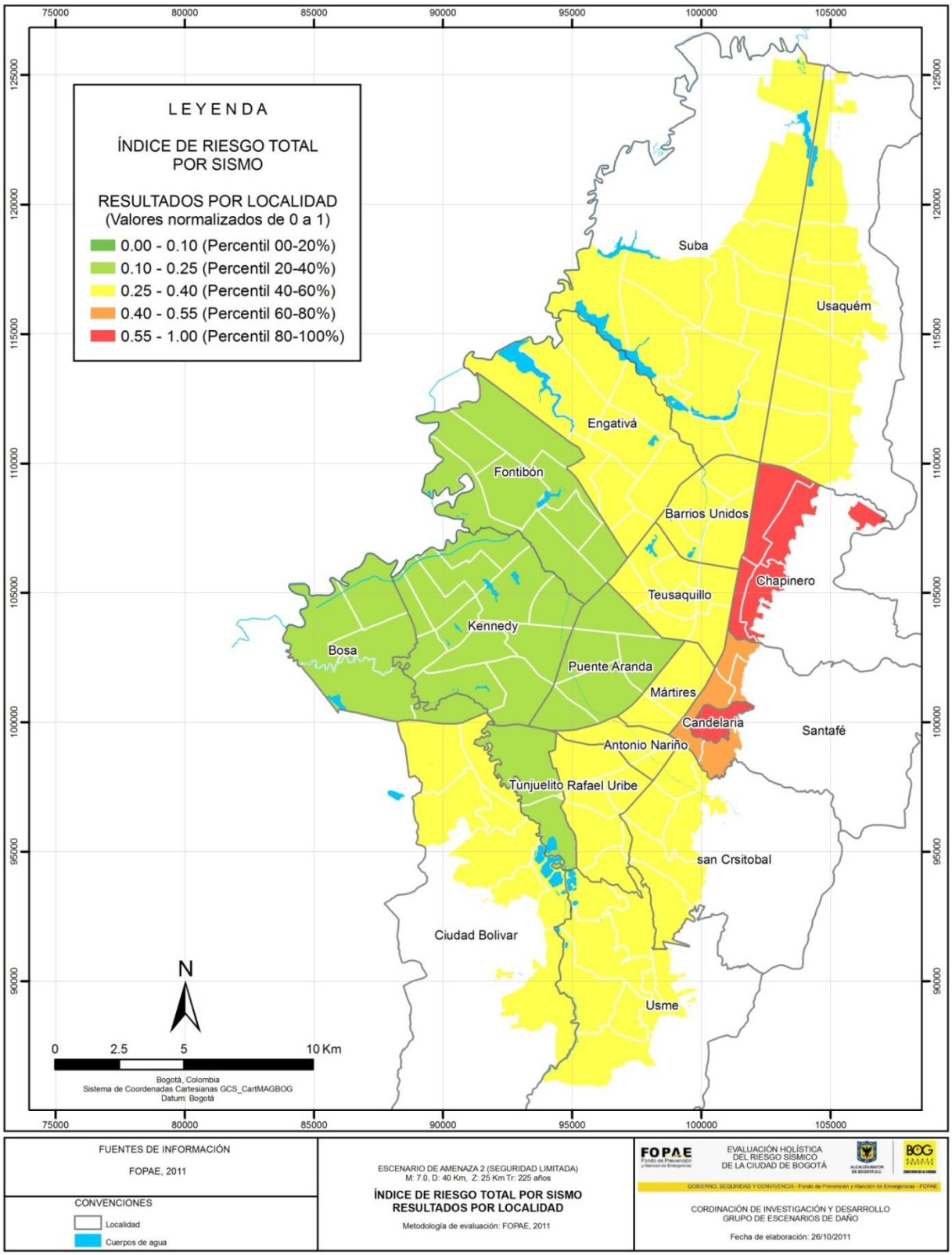


Figura 5.6. Índice de riesgo total por sismo por localidad para el escenario de amenaza 2

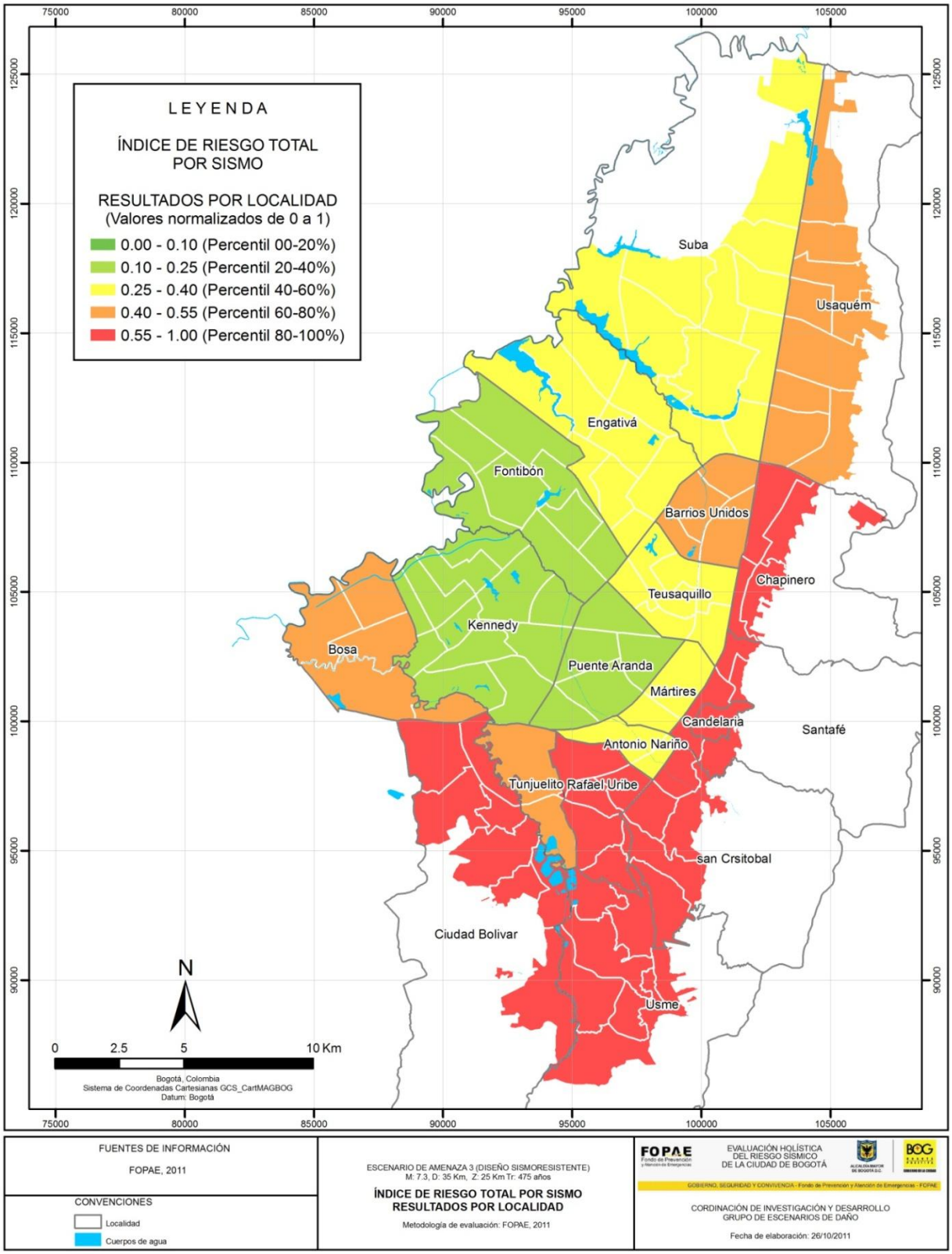


Figura 5.7. Índice de riesgo total por sismo por localidad para el escenario de amenaza 3

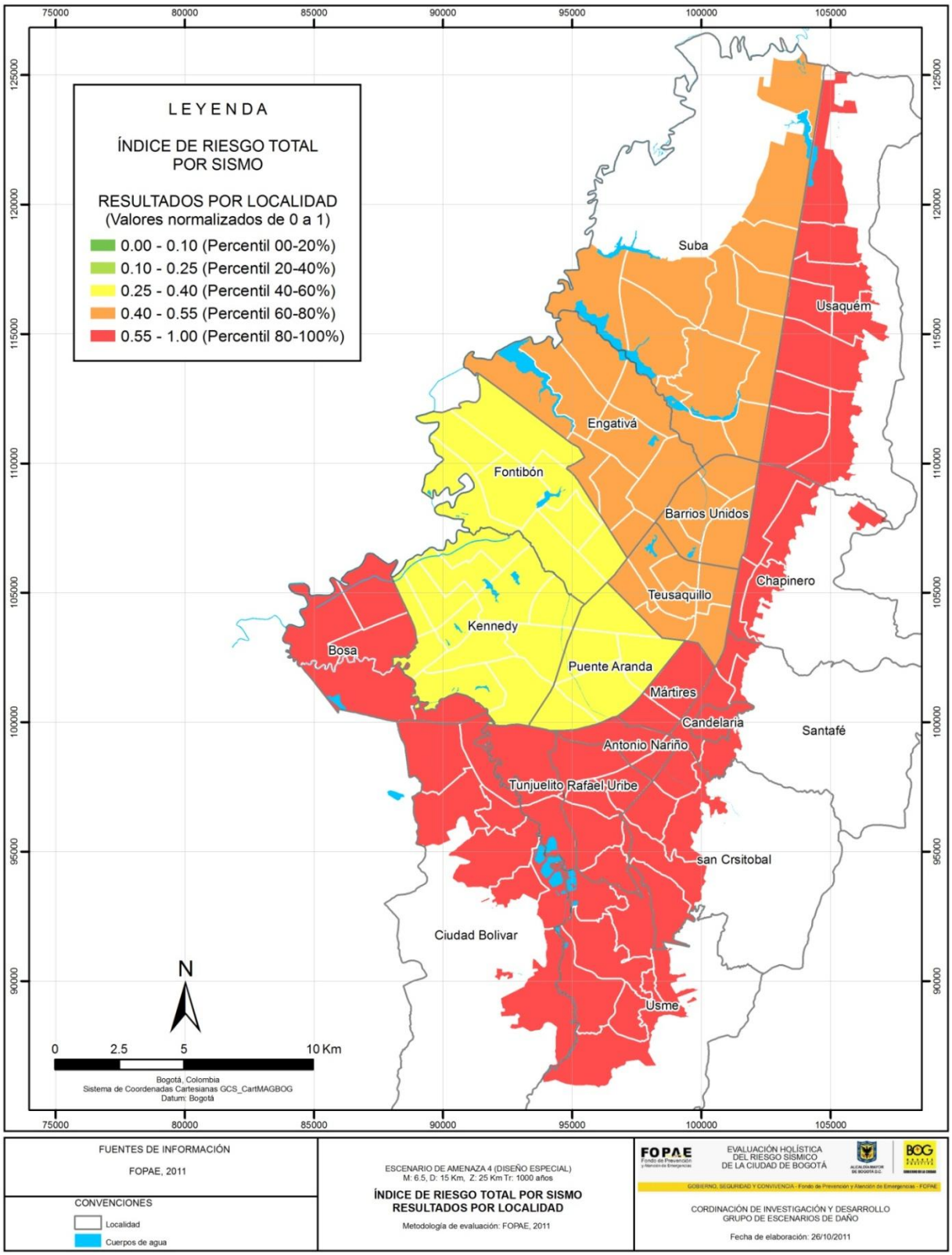


Figura 5.8. Índice de riesgo total por sismo por localidad para el escenario de amenaza 4

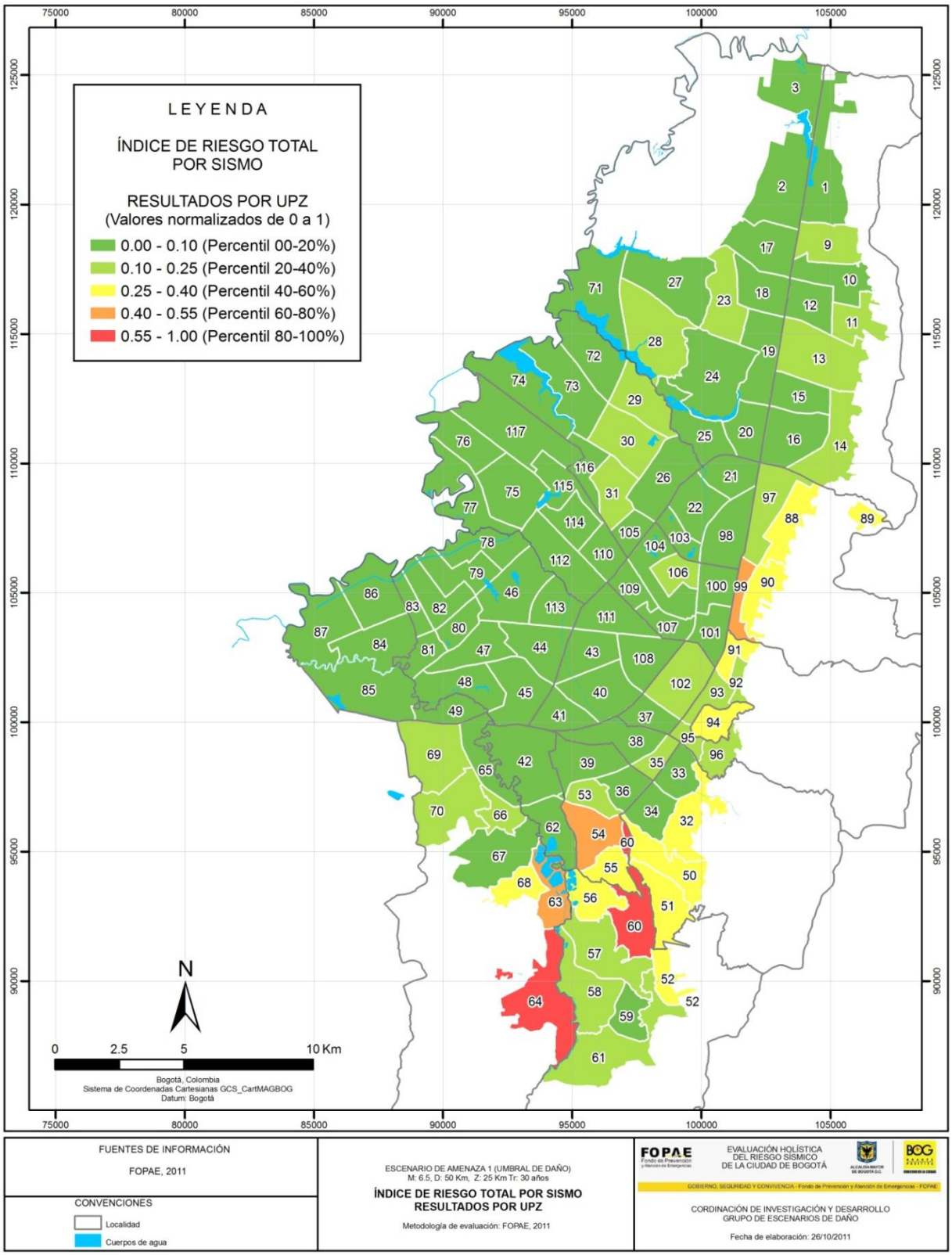


Figura 5.9. Índice de riesgo total por sismo por UPZ para el escenario de amenaza 1

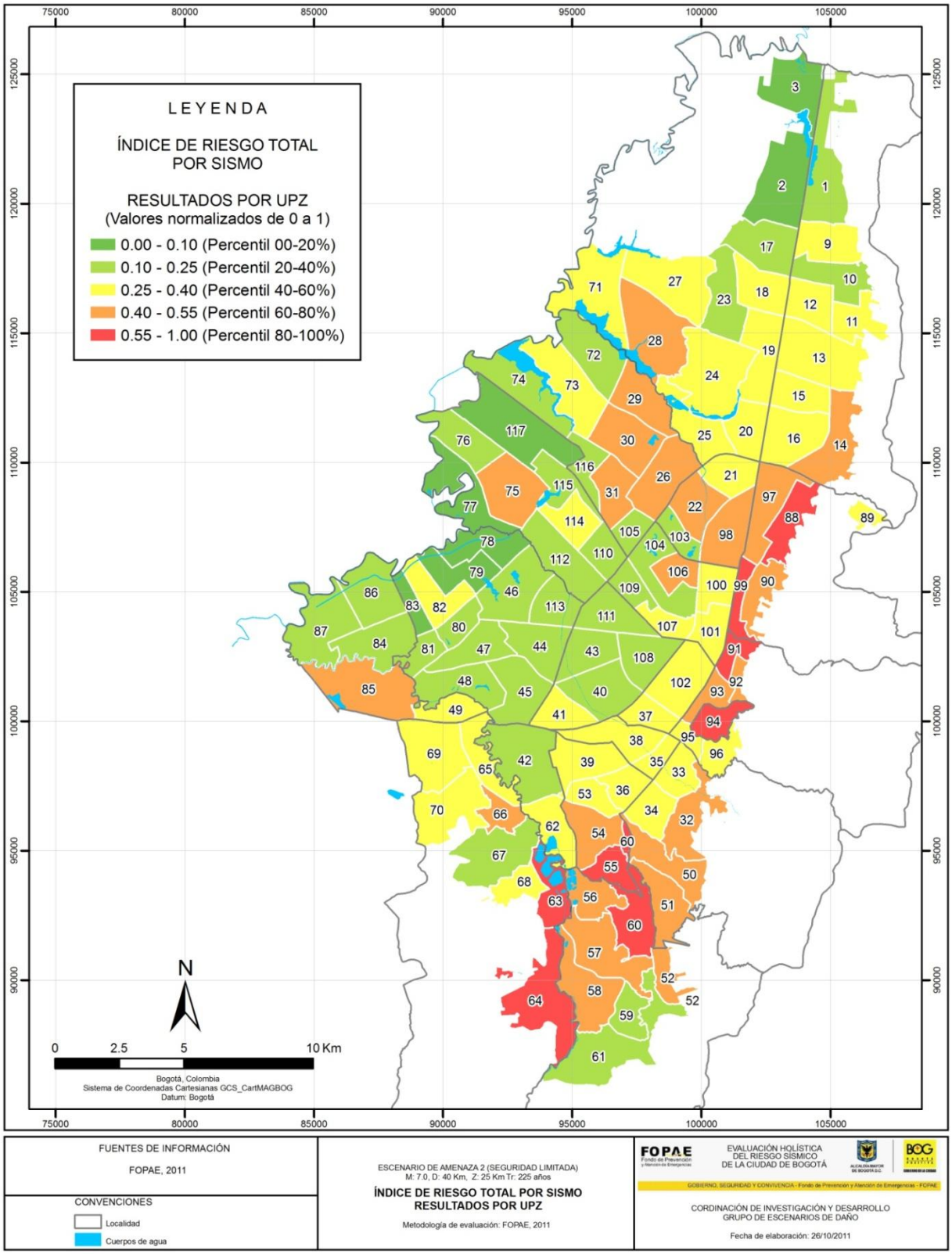


Figura 5.10. Índice de riesgo total por sismo por UPZ para el escenario de amenaza 2

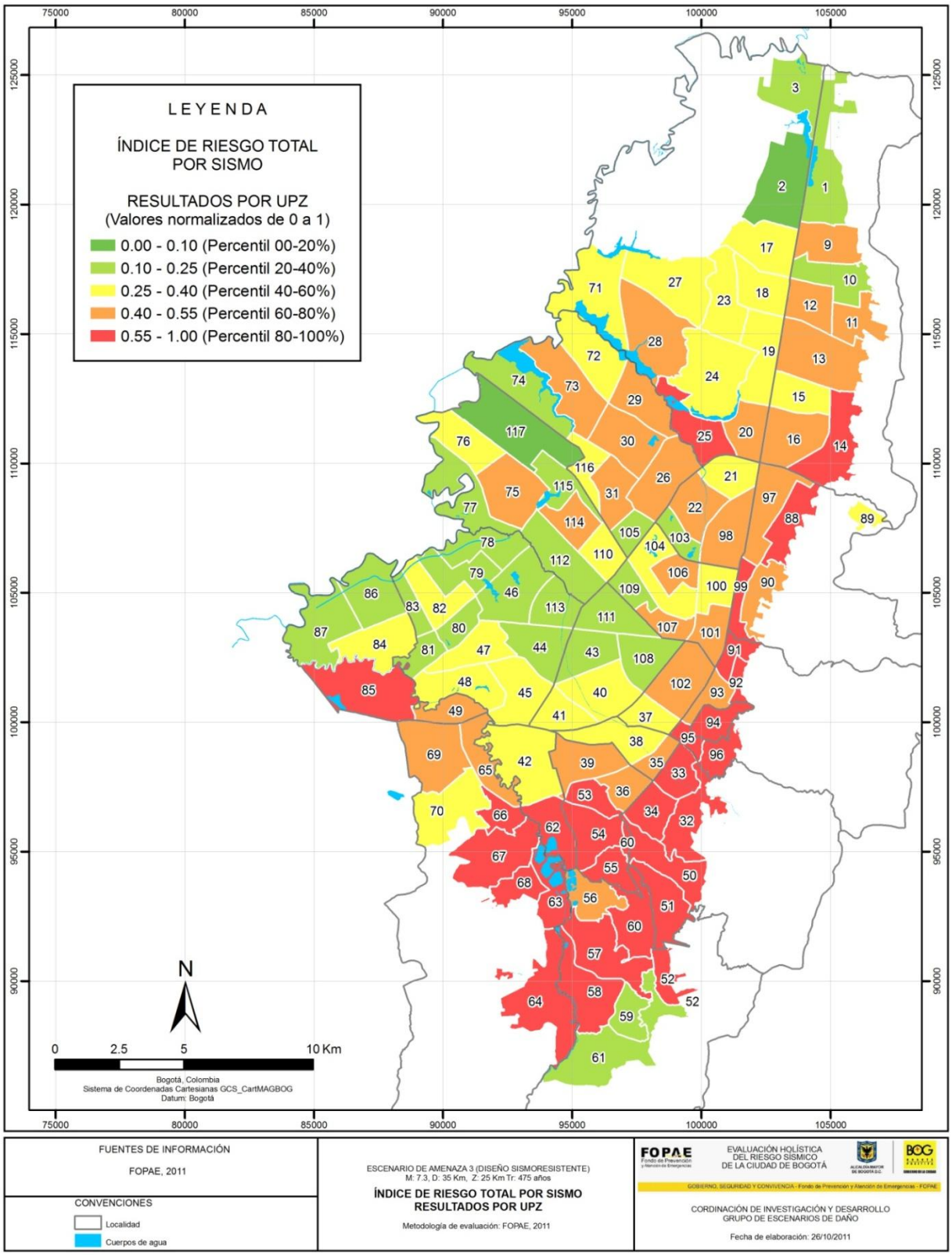


Figura 5.11. Índice de riesgo total por sismo por UPZ para el escenario de amenaza 3

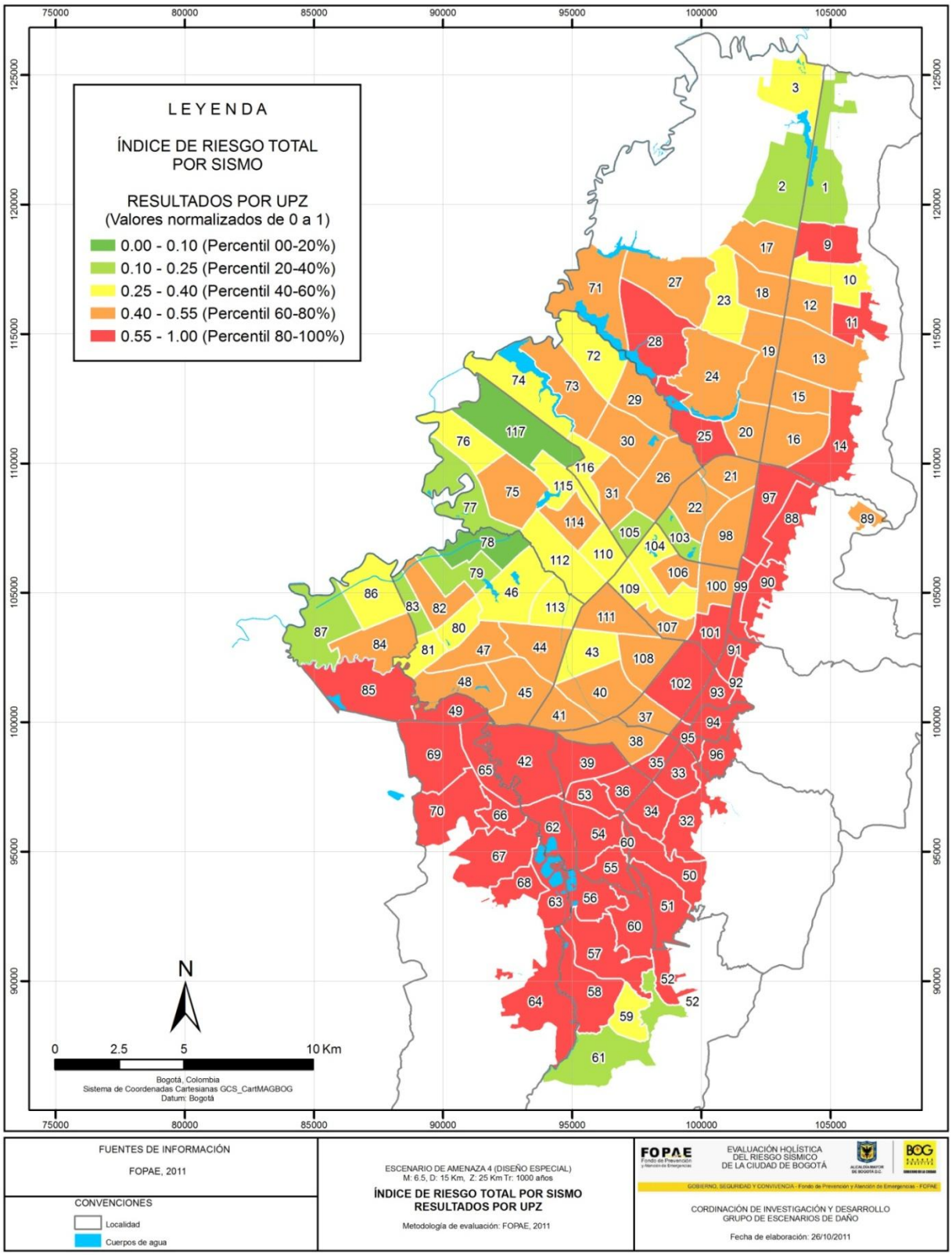


Figura 5.12. Índice de riesgo total por sismo por UPZ para el escenario de amenaza 4

CAPÍTULO 6

6 CONCLUSIONES

6.1 ENFOQUE Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Existen diferentes enfoques conceptuales y metodologías para la evaluación del riesgo. En el presente estudio se ha hecho uso del enfoque estructural en el que se considera que el riesgo es función de factores de exposición y capacidad presentes en el contexto del área de análisis.

La caracterización de los factores de exposición consiste en cuantificar la amenaza y los posibles escenarios de daño y de afectación a la población, de otro lado la caracterización de los factores de capacidad consisten en cuantificar las fragilidades socioeconómicas y la de capacidad de respuesta del contexto socioeconómico.

A pesar de que el enfoque estructural ha tenido una amplia aceptación y desarrollo, no existe aún una metodología unificada para la cuantificación de dichos factores de exposición, capacidad y riesgo resultante. En el presente estudio se optó por implementar una metodología basada en indicadores de riesgo que se derivan a partir de modelos teóricos de exposición y de información sobre las condiciones socioeconómicas del contexto. Si bien estos índices pueden no representar cuantitativa y objetivamente el riesgo "real", sí constituyen un indicador que permite valorar y comparar el nivel de riesgo relativo de diferentes áreas o unidades de análisis.

Esta perspectiva de evaluación integral u holística del riesgo sísmico ha sido usada previamente en los trabajos de evaluación del riesgo sísmico en Bogotá y constituyen la base conceptual y metodológica del presente trabajo: "Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistema dinámicos complejos" (Cardona, 2001), "Técnicas innovadoras para la evaluación del riesgo sísmico y su gestión en centros urbanos" (Carreño, 2006) y "Indicators of disaster risk and disaster risk management" (IDB-IDEA-ERN, 2008). El presente trabajo complementa los trabajos anteriores en tres aspectos:

- Uso de información actualizada sobre exposición física (a partir de los resultados del proyecto "Actualización y Sistematización de los Escenarios de Daño por Terremoto para Bogotá" FOPAE, 2010 y FOPAE, 2011) y del contexto socioeconómica de la ciudad (recopilación de información correspondiente a los años 2007 a 2011).
- Propuesta y evaluación de nuevos indicadores de exposición física, fragilidad y resiliencia sobre la base de la información actualizada disponible y recopilada. En total se evaluaron 19 indicadores de exposición física y de la población, 11 de fragilidad socioeconómica y 18 de resiliencia y capacidad de respuesta.
- Evaluación de los factores de exposición física, fragilidad, resiliencia y del riesgo sísmico resultante a escala de Unidad de Planeamiento Zonal UPZ y localidad.
- Evaluación de los factores de exposición física y del riesgo sísmico resultante para los cuatro escenarios de amenaza sísmica definidos para la ciudad por el proyecto de "Actualización y Sistematización de los Escenarios de Daño por Terremoto para Bogotá" (FOPAE, 2010; FOPAE, 2011).

6.2 EXPOSICIÓN FÍSICA (ÍNDICE DE RIESGO FÍSICO POR SISMO)

El índice de riesgo físico por sismo se obtuvo mediante el proceso de evaluación multicriterio de acuerdo con la metodología descrita en el Capítulo 3. El índice representa el riesgo físico y de la población por sismo y fue evaluado a partir de los 19 indicadores de daño y afectación de la población para los cuatro escenarios de amenaza considerados.

Aunque no se puede afirmar que los resultados de exposición física sigan un patrón a través de los diferentes escenarios de amenaza considerados, sí existe cierta correspondencia espacial entre ellos según se indica a continuación.

Al comparar los resultados de exposición física y de la población obtenidos para los cuatro escenarios de amenaza se observa que las localidades que presentan los valores más altos del índice de riesgo físico son Candelaria, Chapinero, y Santafé. Las localidades de Rafael Uribe y San Cristóbal presentan valores altos pero sólo en algunos de los escenarios de amenaza considerados.

De otro lado las localidades que presentan menores valores para el índice de riesgo físico son Kennedy, Fontibón y Puente Aranda. Las localidades de Teusaquillo, Bosa y Suba presentan también valores bajos de riesgo físico pero solo en algunos escenarios de amenaza sísmica (ver Figura 4.15 a Figura 4.22).

En la Tabla 6.1 se presenta el listado de localidades ordenado de acuerdo a los resultados de índice de riesgo físico por sismo. Esta jerarquía fue establecida de acuerdo con el método de ranking considerando los cuatro escenarios de amenaza sísmica.

Ranking	*Localidad*
1	Candelaria
2	Chapinero
3	Santafé
4	Rafael Uribe
5	San Cristóbal
6	Usme
7	Antonio Nariño
8	Ciudad Bolívar
9	Engativá
10	Usaquén
11	Barrios Unidos
12	Tunjuelito
13	Mártires
14	Teusaquillo
15	Bosa
16	Suba
17	Puente Aranda
18	Fontibón
19	Kennedy

Tabla 6.1. Ranking de localidades según resultados del Índice de riesgo físico por sismo considerando los cuatro escenarios de amenaza sísmica

En la Tabla 6.2 se presenta la relación de las UPZ que presentan los valores más altos de riesgo físico por sismo para los cuatro escenarios de amenaza. Este listado corresponde aquellas UPZ cuyo índice de riesgo físico está en el rango de percentil 90 a 100%. Para facilitar la comparación la relación se presenta en orden alfabético.

De la tabla puede observarse que las UPZ que presentan mayor nivel de riesgo físico, considerando conjuntamente los cuatro escenarios de amenaza, son Chapinero, Comuneros, Diana Turbay, El Refugio, Candelaria, Gloria y Macarena.

Las UPZ de Bosa Central, Ciudad Jardín, Danubio, Mochuelo, Rincón, Gran Yomasa, Las Nieves, Libertadores, Marruecos, Monteblanco, Pardo Rubio, Entrenubes, Sagrado Corazón, San Francisco, Sosiego y Tunjuelito igualmente presentan los valores más altos de índice de riesgo físico pero sólo en algunos de los escenarios de amenaza sísmica considerados.

De otro lado, en la Tabla 6.3 se presenta la relación de las UPZ que presentan los menores índices de riesgo físico por sismo (percentil 0 a 10%). En este caso se presenta menor variación de los resultados. Las UPZ que presentan menores índices de riesgo físico, considerando los cuatro escenarios de amenaza considerados, son: Aeropuerto, Calandaima, Granjas de Techo, Guaymaral, Jardín Botánico, Academia, Margaritas, Tintal Norte y Zona Franca. Las localidades de Álamos, Bavaria, Techo, Libertadores y Tintal Sur presentan también un nivel bajo de riesgo sísmico pero no en todos los escenarios de amenaza sísmica.

Escenario 1	*Escenario 2*	*Escenario 3*	*Escenario 4*
		Bosa Central	
Chapinero	Chapinero	Chapinero	Chapinero
			Ciudad Jardin
	Comuneros	Comuneros	Comuneros
Danubio	Danubio		
Diana Turbay	Diana Turbay	Diana Turbay	
El Mochuelo	El Mochuelo		
El Refugio	El Refugio	El Refugio	El Refugio
	El Rincon		
		Gran Yomasa	
La Candelaria	La Candelaria	La Candelaria	La Candelaria
La Gloria	La Gloria	La Gloria	La Gloria
	La Macarena	La Macarena	La Macarena
	Las Nieves		Las Nieves
	Los Libertadores	Los Libertadores	
Marruecos		Marruecos	
Monte Blanco			
Pardo Rubio			
Parque Entrenubes		Parque Entrenubes	
Sagrado Corazon			Sagrado Corazon
			San Francisco
			Sosiego
			Tunjuelito

Tabla 6.2. UPZ que presentan los mayores índices de riesgo sísmico (percentil 90-100%) en los cuatro escenarios de amenaza sísmica considerados

Escenario 1	*Escenario 2*	*Escenario 3*	*Escenario 4*
Aeropuerto	Aeropuerto	Aeropuerto	Aeropuerto
Álamos			
	Bavaria	Bavaria	Bavaria
Calandaima	Calandaima	Calandaima	Calandaima
El Porvenir			
	Granjas de Techo	Granjas de Techo	Granjas de Techo
Guaymaral	Guaymaral	Guaymaral	Jardín Botánico
Jardín Botánico	Jardín Botánico	Jardín Botánico	La Academia
La Academia	La Academia	La Academia	Las Margaritas
Las Margaritas	Las Margaritas	Las Margaritas	Parque Salitre
Parque Salitre	Parque Salitre	Parque Salitre	
	Libertadores	Libertadores	Libertadores
Tintal Norte	Tintal Norte	Tintal Norte	Tintal Norte
Tintal Sur			Tintal Sur
Zona Franca	Zona Franca	Zona Franca	Zona Franca

Tabla 6.3. UPZ que presentan los menores índices de riesgo sísmico (0-10%) en los cuatro escenarios de amenaza sísmica considerados

6.3 FRAGILIDAD SOCIOECONÓMICA Y RESILIENCIA

En la Tabla 6.4 se presenta el listado de localidades ordenado de acuerdo a los resultados de índice de fragilidad socioeconómica y resiliencia. Las localidades que presentan el mayor índice de fragilidad socioeconómica son Santafé, Candelaria, Ciudad Bolívar y San Cristóbal y las localidades que presentan los menores valores de son Kennedy, Engativá, Puente Aranda y Teusaquillo. Respecto a la capacidad de respuesta, las localidades que presentan la calificación más deficiente son Bosa, Usme, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, mientras que las mejor calificadas son Candelaria, Puente Aranda, Teusaquillo y Chapinero.

Fraglidad socioeconómica		*Resiliencia*	
Ranking	***Localidad***	***Ranking***	***Localidad***
1	Santafé	1	Bosa
2	Candelaria	2	Usme
3	Ciudad Bolívar	3	Ciudad Bolívar
4	San Cristóbal	4	Tunjuelito
5	Suba	5	Kennedy
6	Bosa	6	Rafael Uribe
7	Chapinero	7	San Cristóbal
8	Usme	8	Antonio Nariño
9	Rafael Uribe	9	Fontibón
10	Barrios Unidos	10	Barrios Unidos
11	Usaquén	11	Usaquén
12	Mártires	12	Engativá
13	Tunjuelito	13	Mártires
14	Antonio Nariño	14	Suba
15	Fontibón	15	Santafé
16	Kennedy	16	Candelaria
17	Engativá	17	Puente Aranda
18	Puente Aranda	18	Teusaquillo
19	Teusaquillo	19	Chapinero

Tabla 6.4. Ranking de localidades con menor fragilidad socioeconómica y resiliencia

En la Tabla 6.4 se presenta el listado de UPZ ordenado de acuerdo a los resultados de índice de fragilidad socioeconómica y resiliencia Este listado corresponde aquellas UPZ cuyos índices están en el rango de percentil 90 a 100%.

Fragilidad socioeconómica			*Resiliencia*		
Ranking	***UPZ***	***Nombre***	***Ranking***	***UPZ***	***Nombre***
1	96	Lourdes	1	87	Tintal Sur
2	95	Las Cruces	2	86	El Porvenir
3	67	Lucero	3	60	Parque Entrenubes
4	68	El Tesoro	4	61	Ciudad Usme
5	66	San Francisco	5	49	Apogeo
6	69	Ismael Perdomo	6	56	Danubio
7	70	Jerusalén	7	85	Bosa Central
8	92	La Macarena	8	84	Bosa Occidental
9	65	Arborizadora	9	58	Comuneros
10	64	Monte Blanco	10	57	Gran Yomasa
11	63	El Mochuelo	11	59	Alfonso López
12	50	La Gloria	12	52	La Flora

Tabla 6.5. Ranking de UPZ con menor fragilidad socioeconómica y resiliencia (percentil 90-100%)

6.4 ÍNDICE DE RIESGO TOTAL POR SISMO

El índice de riesgo total por sismo se obtuvo mediante el proceso de evaluación multicriterio de acuerdo con la metodología descrita en el Capítulo 3. Este índice representa el resultado final de la agregación de los factores de exposición física, fragilidad socioeconómica y resiliencia.

Al comparar los resultados de riesgo total por sismo para los cuatro escenarios de amenaza se observa que las localidades que presentan los valores más altos del índice de riesgo físico son Candelaria, Chapinero, Santafé y Rafael Uribe. Las localidades que presentan el menor riesgo sísmico total son Fontibón, Puente Aranda y Kennedy (ver Figura 4.15 a Figura 4.22).

En la Tabla 6.6 se presenta el listado de localidades ordenado de acuerdo a los resultados de índice de riesgo total por sismo. Esta jerarquía fue establecida de acuerdo con el método de ranking considerando los cuatro escenarios de amenaza sísmica.

Ranking	*Localidad*
1	Candelaria
2	Chapinero
3	Santafé
4	Rafael Uribe
5	San Cristóbal
6	Usme
7	Ciudad Bolivar
8	Antonio Nariño
9	Usaquén
10	Barrios Unidos
11	Mártires
12	Tunjuelito
13	Bosa
14	Engativa
15	Suba
16	Teusaquillo
17	Fontibón
18	Puente Aranda
19	Kennedy

Tabla 6.6. Ranking de localidades según resultados del Índice de riesgo total por sismo considerando los cuatro escenarios de amenaza sísmica

En general para las localidades de Candelaria, Chapinero, Santafé, Rafael Uribe, San Cristóbal, Usme y Kennedy, el índice de riesgo total está determinado por el índice de riesgo físico (mantienen el mismo ranking en ambos casos). En los demás casos esta condición no necesariamente se cumple, es decir que la influencia de los índices de fragilidad socioeconómica y resiliencia es más importante en dichos casos.

En la Tabla 6.7 se presenta la relación de las UPZ que presentan los valores más altos de riesgo total por sismo para los cuatro escenarios de amenaza. Este listado corresponde aquellas UPZ cuyo índice de riesgo total está en el rango de percentil 90 a 100%. El listado se presenta en orden alfabético.

De la tabla puede observarse que las UPZ que presentan mayor nivel de riesgo físico, considerando conjuntamente los cuatro escenarios de amenaza, son Chapinero, Diana Turbay, Candelaria, Gloria, Macarena, Marruecos, Monteblanco, Entrenubes, Sagrado Corazón y San Francisco.

Las UPZ de Bosa Central, Comuneros, Danubio, Mochuelo, Refugio, Gran Yomasa, Las Cruces, Las Nieves, Libertadores, Pardo Rubio, San Blas y Tunjuelito igualmente presentan los valores más altos de índice de riesgo físico pero sólo en algunos de los escenarios de amenaza sísmica considerados.

En la Tabla 6.8 se presenta la relación de las UPZ que presentan los menores índices de riesgo total por sismo (percentil 0 a 10%). Los casos en que se presentan menores índices de riesgo total, considerando los cuatro escenarios de amenaza considerados, son: Aeropuerto, Calandaima, Granjas de Techo, Guaymaral, Jardín Botánico, Academia, Margaritas, Parque Salitre, Paseo Libertadores, Tintal Norte y Zona Franca. Las localidades de Álamos, Bavaria, Ciudad Salitre Oriental, Parque Simón bolívar - CAN, y Tintal Sur presentan también un nivel bajo de riesgo sísmico pero no en todos los escenarios de amenaza sísmica.

Escenario 1	*Escenario 2*	*Escenario 3*	*Escenario 4*
		Bosa Central	
Chapinero	Chapinero		Chapinero
			Ciudad Jardin
		Comuneros	Comuneros
Danubio			
Diana Turbay	Diana Turbay	Diana Turbay	Diana Turbay
El Mochuelo	El Mochuelo		
El Refugio	El Refugio		
		Gran Yomasa	
La Candelaria	La Candelaria	La Candelaria	La Candelaria
	La Gloria	La Gloria	La Gloria
	La Macarena	La Macarena	La Macarena
			Las Cruces
			Las Nieves
		Los Libertadores	
Marruecos	Marruecos	Marruecos	
Monte Blanco	Monte Blanco	Monte Blanco	
Pardo Rubio			
Parque Entrenubes	Parque Entrenubes	Parque Entrenubes	
Sagrado Corazon	Sagrado Corazon		Sagrado Corazon
San Blas			
	San Francisco	San Francisco	San Francisco
			Tunjuelito

Tabla 6.7. UPZ que presentan los mayores índices de riesgo total por sismo (percentil 90-100%) en los cuatro escenarios de amenaza sísmica considerados

Escenario 1	*Escenario 2*	*Escenario 3*	*Escenario 4*
Aeropuerto El Dorado	Aeropuerto El Dorado	Aeropuerto El Dorado	Aeropuerto El Dorado
Álamos			
	Bavaria	Bavaria	
	Calandaima	Calandaima	Calandaima
Ciudad Salitre Oriental			
			Ciudad Usme
Granjas de Techo	Granjas de Techo	Granjas de Techo	
Guaymaral	Guaymaral	Guaymaral	Guaymaral
Jardín Botánico	Jardín Botánico	Jardín Botánico	Jardín Botánico
La Academia	La Academia	La Academia	La Academia
Las Margaritas	Las Margaritas	Las Margaritas	Las Margaritas
Parque Salitre	Parque Salitre	Parque Salitre	Parque Salitre
Parque Simón Bolívar - CAN			
	Paseo de Los Libertadores	Paseo de Los Libertadores	Paseo de Los Libertadores
Tintal Norte	Tintal Norte	Tintal Norte	Tintal Norte
			Tintal Sur
Zona Franca	Zona Franca	Zona Franca	Zona Franca

Tabla 6.8. UPZ que presentan los menores índices de riesgo total por sismo (percentil 0-10%) en los cuatro escenarios de amenaza sísmica considerados

Al comparar la Tabla 6.2, Tabla 6.3, Tabla 6.7 y Tabla 6.8 se puede observar que a escala de UPZ los resultados de riesgo total son más sensibles a la variación de los índices de fragilidad social y resiliencia, es decir que el ranking de UPZ por resultados de índice de riesgo difiere en gran medida al ranking de UPZ por resultados de índice de riesgo total.

6.5 RECOMENDACIONES

El propósito del presente trabajo fue el de establecer una propuesta metodológica que complementara los estudios anteriores de evaluación holística del riesgo sísmico de la ciudad de Bogotá haciendo uso de información actualizada proveniente de estudios más recientes de amenaza sísmica, escenarios de daño y condiciones socioeconómicas del contexto urbano.

Dentro de un marco de gestión integral del riesgo se deben generar e implementar herramientas que permitan identificar, monitorear y reducir el riesgo. Aunque el presente estudio representa un avance en términos de identificación y conocimiento del riesgo sísmico, existen varios aspectos de este estudio que pueden ser mejorados, así como varias líneas de trabajo e investigación en las que se debe profundizar. A continuación se discuten tales aspectos.

A pesar de que el enfoque conceptual y la propuesta metodológica adoptada en el presente estudio han tenido una amplia aceptación, no existe aún consenso sobre su uso y aplicación. Esto se hace evidente al comparar los estudios realizados anteriormente en Bogotá y en otras ciudades en los que se utilizan diferentes descriptores e indicadores de riesgo, diferentes parámetros de normalización y escalas de evaluación.

Los trabajos más recientes han tratado de estandarizar la metodología mediante el uso de una serie reducida de indicadores expresados en valores absolutos, aplicándola a diferentes contextos urbanos y realizando las correspondientes comparaciones y validaciones (Carreño 2006; EMI, 2006; IDB-IDEA-ERN, 2008). Sin embargo el número de ejercicios es aún es limitado. Durante el presente ejercicios se usaron valores normalizados para aquellos indicadores para los que no existen valores absolutos de referencia, por lo tanto la comparación con otros centros urbano está limitada. En este sentido la recomendación más importante es la de socializar resultados e integrar las actividades adelantadas por la entidad con las redes de investigación que trabajan en este tema.

Aunque generalmente los modelos de gestión aceptan que durante la ocurrencia de un desastre se presentan tres fases: impacto, atención y recuperación; las metodologías de identificación y evaluación del riesgo no proveen aún información que permitan caracterizar escenarios diferenciados para cada una de estas fases. Aunque algunas investigaciones han explorado aproximaciones metodológicas para afrontar este hecho, aún no se ha desarrollado un ejercicio completo. Un modelo de evaluación del riesgo orientado en este sentido permitiría establecer deficiencias, acciones y recursos necesarios para atender cada fase.

El alcance del modelo conceptual empleado es el de realizar la evaluación del riesgo total en un contexto urbano considerando diferentes amenazas. Tanto los estudios precedentes de evaluación holística del riesgo (Cardona, 2001; Carreño 2006; IDB-IDEA-ERN, 2008) como el presente estudio representan un avance importante en la evaluación del riesgo sísmico, sin embargo otras amenazas importantes presentes en la ciudad no han sido integradas en la evaluación (e.g. riesgo por inundación, riesgo por deslizamiento, riesgo por industria). Incluir otras amenazas en la evaluación implica una serie de retos importantes tales como la evaluación de riesgos diferenciados (en términos de amenaza, vulnerabilidad física y socioeconómica y resiliencia), pero sólo de esta manera es posible completar un escenario general e integral del riesgo urbano.

La valoración de las fuentes y de la calidad de la información empleada se realizó de manera implícita y en términos cualitativos durante el proceso de recopilación de información y formulación de indicadores. El problema fundamental de la información recopilada durante este estudio es que ésta es producida por las entidades gubernamentales con fines administrativos. En este sentido es necesario implementar metodologías y desarrollar proyectos de recolección de información cuyo objetivo específico sea el de adquirir información para la identificación y gestión del riesgo incluyendo la evaluación de los aspectos técnicos de los datos y de su usabilidad para este propósito específico y en la que participen todos los actores involucrados en las tareas de recolección, producción, administración, procesamiento y uso final de información.

La resultados del estudio se presentan a escala de localidad y UPZ para los cuatro escenarios de amenaza sísmica establecidos por el último estudio de escenario de daños (FOPAE, 2010; FOPAE, 2011). Se considera que estos resultados representan información importante dentro del proceso de gestión del riesgo y permiten establecer órdenes de prioridad entre unidades administrativas, determinar factores claves para mitigar y reducir el riesgo y hacer seguimiento mediante un sistema de actuación basado en indicadores

Sin embargo y como ya se ha indicado existen varias limitaciones en el uso de estos resultados. El primero tiene que ver con que es necesario contar con información que permita caracterizar diferenciadamente las fases de ocurrencia de un desastre (impacto, atención y recuperación). Lo anterior con el objetivo de evaluar la capacidad de atención y las necesidades, acciones y recursos requeridos para atender cada fase. Un segundo aspecto tiene que ver con el uso de indicadores normalizados en aquellos casos en que no existen valores absolutos de referencia lo cual limitaría la comparación del riesgo entre diferentes centros urbanos diferentes a Bogotá. Por último, habría que estudiar en profundidad una estrategia de integración de estos resultados con aquellos provenientes de otros estudios de riesgo por diferentes amenazas con la finalidad de contar con un modelo de gestión del riesgo realmente completo.

7 REFERENCIAS

AIS. "Estudio General De Amenaza Sísmica." Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2009.

———. "Estudio General De Amenaza Sísmica De Colombia." edited by Comité AIS 300. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 1996.

ATC. "Atc-13: Earthquake Damage Evaluation Data for California." Redwood City, USA: Applied Technology Council, 1985.

———. "Atc-21: Buildings Classification ". Redwood City, USA: Applied Technology Council, 1988.

Atkins. "A Commonwealth Vulnerability Index for Developing Countries: The Position of Small States." *Commonwealth Economic* 40 (2000).

Birkmann. "Measuring Vulnerability to Natural Hazards." 524. Honk Kong, 2006.

Bogardi. "Vulnerability Assessment: The First Step Towards Sustainable Risk Reduction." In *Disasters and Society - From hazard assessment to risk reduction*, edited by D. Malzahn and T. Plapp, 75-82. Berlin, 2004.

Bohle. "Vulnerability and Criticality: Perspectives from Social Geography." In *IHDP Newsletter*: IHDP, 2001.

Botero. "Geo-Information for Measuring Vulnerability to Earthquakes." PhD Thesis, University of Ultrech, 2009.

Cardona. "Estimación Holística Del Riesgo Sísmico Utilizando Sistemas Complejos." Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña, 2001.

———. "Seismic Microzonation and Estimation of Earthquake Loss Scenarios: Integrated Risk Mitigation Project of Bogotá." edited by Earthquake Spectra. Bogotá, 1997.

Carreño. "Técnicas Innovadoras Para La Evaluación Del Riesgo Sísmico Y Su Gestión En Centros Urbanos." Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña, 2006.

CEDERI. "Escenarios De Riesgo Y Pérdidas Por Terremoto Para Bogotá D.C." Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes, 2005.

Chambers. "Sustainable Rural Livelihoods: Practical Concepts for the

21st Century." In *Discussion Paper 296*. Brighton, UK: Institute of Development Studies, 1992.

Chardon. "Amenaza, Vulnerabilidad, Riesgo, Desastre, Mitigación, Prevención. Primer Acercamiento a Conceptos, Características Y Metodologías De Análisis Y Evaluación.". Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2002.

Davidson. "A Multidsciplinary Urban Earthquake Disaster Risk Index." 211-23, 1997.

DPAE. "Zonificación De La Respuesta Sísmica De Bogotá Para El Diseño De Sismoresistente De Edificaciones." Bogotá, Colombia: Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, 2010.

Dwyer. "Quantifying Social Vulnerability: A Methodology for Identifying Those at Risk to Natural Hazards." 101. Camberra, Australia, 2004.

EMI. "Enhancing Local Partnership and Stakeholders' Ownership: Implementing the Drmmp in Metro Manila." edited by Earthquakes and Megacities Initiative: Kobe University, Pacific Disaster Center, ProVention Consortium, United Nations Development Programme (UNDP), 2006.

FEMA. "Hazus Mh - Multi-Hazard Loss Estimation Methodology." edited by FEMA. Washington, 2003.

FOPAE. "Actualización Y Sistematización De Escenario De Daños Por Terremoto Para Bogotá Fase 2. Informe Final (Fases I Y Ii)." Bogotá, Colombia: Fondo de Prevención y Atención de Emergencias, 2010.

———. "Escenarios De Daños Por Terremoto Para Bogotá. Informe Final." Bogotá, Colombia: Fondo de Prevención y Atención de Emergencias, 2011.

García. "Modelo Basado En Lógica Difusa Para La Construcción De Indicadores De Vulnerabilidad Urbana Frente a Fenómenos Naturales." *Gestión y medio ambiente* 6, no. 2 (2003): 1-22.

Hilhorst. "Complexity and Diversity: Unlocking Social Domains of Disaster Response." In *Vulnerability and Resilience in Natural Disasters*, edited by Earthscan, 52-66. London, 2004.

IDB-IDEA-ERN. "Indicators of Disaster Risk and Disaster Risk Management - Main Technical Report." In *Indicators of disaster risk and disaster risk management*, edited by Banco Interamericano de Desarrollo. Manizales, Colombia - Washington, USA: Convenio IDEA Universidad Nacional de Colombia Sede - Manizales, Banco Interamericano de Desarrollo, 2008.

Ingeominas-Uniandes. "Microzonificación Sísmica De Santafe De Bogotá." In *Convenio 01-93*. Bogotá: Ingeominas, Universidad de los Andes, 1997.

International, Geo-hazards. "Radius - Guidelines for the Implementation of Earthquake Risk Management Projects." 1999.

Jakobsson. "The Role of Quality in Spatial Data Infrastructures." edited by Eurogeographics. Moscow, 2007.

JICA. "The Study on Disaster Prevention in the Bogota Metropolitan Area in the Republic of Colombia." edited by Japan International Cooperation Agency. Bogotá, Colombia: Japan International Cooperation Agency, Pacif Consultants international, OYO Corporation, Alcaldía Mayor De Bogotá, 2002.

NCGIA. "Core Curriculum in Geographic Information Science." edited by U.S.N.C.f.G.I.a. Analysis, 1995.

Saaty. "The Analytic Hierarchy Process." New York, 1980.

Smith. "Risk Assessment in Urban Areas." Paper presented at the III International Symposium of Flood Defence, Nijmegen, The Netherlands, 2005.

Suárez. "Diagnósico Del Riesgo Urbano Y La Gestión Del Riesgo Para La Planificación Y El Mejoramiento De La Efectividad a Nivel Local: Aplicación a La Ciudad De Manizales." Tésis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, 2009.

Turner. "A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainability Science." Paper presented at the The National Academy of Sciences of the United States of America, 2003.

UNDP. "The Disaster Risk Index." United Nations, 2004.

Whitman. "Damage Probability Matrices for Prototype Buildings." In *Structures Publication*. Boston: M.I.T., 1973.

Wisner. "At Risk: Natural Hazards, People Vulnerability and Disasters." edited by Routledge, 469. New York, 2004.