ACTUALIZACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE DAÑO POR TERREMOTO PARA BOGOTÁ

TOMO 3. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS

INFORME FINAL FASE II

ORIGINAL

ÁREA TÉCNICA Y DE GESTIÓN

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

GRUPO DE ESCENARIO DE DAÑOS

DICIEMBRE DE 2010

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

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

GUILLERMO ESCOBAR CASTRO
Director

LUCY GONZÁLEZ MARANTES
Subdirectora Área Técnica y de Gestión

GLADYS PUERTO – LINDON LOSADA
Coordinación de Investigación y Desarrollo

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

Profesionales participantes
Julio 2009 a Diciembre 2010

FERNANDO DÍAZ
ADRIANA BELTRÁN
ANDREI TORRES
GERARDO RODRÍGUEZ

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. Bajo la anterior línea de trabajo, el grupo de escenario de daños del FOPAE ha desarrollado el estudio de actualización y sistematización de escenarios de daño por terremoto para Bogotá, el cual brinda a la ciudad de una herramienta versátil que permite estimar los posibles daños a las edificaciones y líneas vitales, además de las posibles afectaciones a la población para varios escenarios de amenaza con diferentes intensidades sísmicas.

El estudio de actualización y sistematización de escenarios de daño por terremoto para Bogotá se desarrolló por fases, el presente estudio corresponde a la segunda fase, la cual se consolida en tres partes: el primer tomo muestra el enfoque conceptual y metodologías de evaluación aplicadas; el segundo tomo corresponde al informe de ingeniería del software SEDAR (Sistema de Evaluación de Daños para Análisis de Riesgo); y en el tercer tomo se presentan los análisis de la información y de los resultados obtenidos.

El Tomo III ilustra los resultados de la segunda fase del estudio organizados según los siguientes aspectos: en el capítulo uno de introducción se resumen los antecedentes y justificación, la definición de los objetivos, los alcances y el marco conceptual de la obtención de resultados; en el capítulo dos se presentan los resultados de la recopilación de información y el correspondiente análisis a partir de estadística descriptiva de la información incorporada en la base de datos de recopilación; en el capítulo tres se realiza la descripción detallada de los escenarios de amenaza usados para el análisis de daños afectaciones y perdidas; en el capítulo cuatro se describen los resultados de los daños inducidos al terreno debido al escenario de daño correspondiente para los fenómenos de licuación y deslizamiento; en el capítulo cinco se presentan los resultados de los análisis de vulnerabilidad para cada una de las categorías de elementos expuestos; en los capítulos seis a nueve se presenta los resultados de daño, el análisis derivado de estos a nivel local, como también la discusión de los posibles efectos a nivel regional para cada uno de los escenarios de amenaza de trabajo; y en el capítulo diez se exponen las conclusiones y recomendaciones.

CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 1

1.1 ANTECEDENTES 1

1.2 OBJETIVOS 5

1.3 ALCANCE 5

1.4 MARCO LÓGICO 5

2 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN RECOPILADA 6

2.1 BASE DE DATOS DE INFORMACIÓN 6
2.1.1 Bases de datos de recopilación 6
2.1.2 Base de datos de líneas vitales regionales 6
2.1.3 Bases de datos de elementos expuestos 6

2.2 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LA INFORMACIÓN 6
2.2.1 Edificaciones 6
2.2.2 Líneas vitales 14

3 ESCENARIOS DE AMENAZA 26

3.1 ESCENARIOS DE TRABAJO 26

3.2 ESCENARIO 1. M6.5 A 50KM UMBRAL DE DAÑO 28

3.3 ESCENARIO 2. M7.0 A 40KM SEGURIDAD LIMITADA 31

3.4 ESCENARIO 3. M7.3 A 35KM DISEÑO 34

3.5 ESCENARIO 4. M6.5 A 15KM DISEÑO ESPECIAL 37

4 SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRENO A EFECTOS COLATERALES 39

4.1 LICUACIÓN 39

4.2 DESLIZAMIENTO 45

5 VULNERABILIDAD 51

5.1 EDIFICACIONES 51
5.1.1 Edificaciones normales 51
5.1.2 Edificaciones indispensables 54

5.2 LÍNEAS VITALES 55

5.2.1 Red de tuberías 55
5.2.2 Síntesis 56

5.3 RESULTADOS CONSOLIDADOS A UPZ Y LOCALIDAD 61
5.3.1 Edificaciones normales 61
5.3.2 Red de tuberías 61

6 ESCENARIO M6.5 A 50KM UMBRAL DE DAÑO 66

6.1 EFECTOS REGIONALES 66

6.2 DAÑOS INICIALES 68
6.2.1 Edificaciones 68
6.2.2 Líneas vitales Tuberías 70
6.2.3 Líneas vitales Cableado 72
6.2.4 Líneas vitales Tanques 73
6.2.5 Líneas vitales Puentes 73
6.2.6 Efectos colaterales 73

6.3 DAÑOS SECUNDARIOS 75
6.3.1 Edificaciones 75
6.3.2 Líneas vitales Tuberías 77
6.3.3 Líneas vitales Cableado 81
6.3.4 Líneas vitales Tanques 84
6.3.5 Líneas vitales Puentes 86
6.3.6 Líneas vitales Torres 88
6.3.7 Postes 90

6.4 CONSOLIDADO DE RESULTADOS POR UPZ Y LOCALIDAD 92
6.4.1 Edificaciones 92
6.4.2 Líneas vitales 92
6.4.3 Afectaciones y pérdidas 99

7 ESCENARIO M7.0 A 40 KM SEGURIDAD LIMITADA 103

7.1 EFECTOS REGIONALES 103

7.2 DAÑOS INICIALES 105
7.2.1 Edificaciones 105
7.2.2 Líneas vitales Tuberías 107
7.2.3 Líneas vitales Cableado 109
7.2.4 Líneas vitales Tanques 110
7.2.5 Líneas vitales Puentes 110
7.2.6 Efectos colaterales 110

7.3 DAÑOS SECUNDARIOS 112
7.3.1 Edificaciones 112
7.3.2 Líneas vitales Tuberías 115
7.3.3 Líneas vitales Cableado 118
7.3.4 Líneas vitales Tanques 121
7.3.5 Líneas vitales Puentes 123
7.3.6 Líneas vitales Torres 125

7.3.7 Postes 127

7.4 CONSOLIDADO DE RESULTADOS POR UPZ Y LOCALIDAD 129
7.4.1 Edificaciones 129
7.4.2 Líneas vitales 129
7.4.3 Afectaciones y pérdidas 136

8 ESCENARIO M7.3 A 35KM DISEÑO 140

8.1 EFECTOS REGIONALES 140

8.2 DAÑOS INICIALES 142
8.2.1 Edificaciones 142
8.2.2 Líneas vitales Tuberías 144
8.2.3 Líneas vitales Cableado 146
8.2.4 Líneas vitales Tanques 147
8.2.5 Líneas vitales Puentes 147
8.2.6 Efectos colaterales 147

8.3 DAÑOS SECUNDARIOS 149
8.3.1 Edificaciones 149
8.3.2 Líneas vitales Tuberías 152
8.3.3 Líneas vitales Cableado 155
8.3.4 Líneas vitales Tanques 158
8.3.5 Líneas vitales Puentes 160
8.3.6 Líneas vitales Torres 162
8.3.7 Postes 164

8.4 CONSOLIDADO DE RESULTADOS POR UPZ Y LOCALIDAD 166
8.4.1 Edificaciones 166
8.4.2 Líneas vitales 166
8.4.3 Afectaciones y pérdidas 173

9 ESCENARIO 6.5 A 15KM DISEÑO ESPECIAL 177

9.1 EFECTOS REGIONALES 177

9.2 DAÑOS INICIALES 177
9.2.1 Edificaciones 177
9.2.2 Líneas vitales Tuberías 179
9.2.3 Líneas vitales Cableado 181
9.2.4 Líneas vitales Tanques 182
9.2.5 Líneas vitales Puentes 182
9.2.6 Efectos colaterales 182

9.3 DAÑOS SECUNDARIOS 184
9.3.1 Edificaciones 184
9.3.2 Líneas vitales Tuberías 187
9.3.3 Líneas vitales Cableado 190
9.3.4 Líneas vitales Tanques 193
9.3.5 Líneas vitales Puentes 195
9.3.6 Líneas vitales Torres 197

9.3.7 Postes 199

9.4 CONSOLIDADO DE RESULTADOS POR UPZ Y LOCALIDAD 201
9.4.1 Edificaciones 201
9.4.2 Líneas vitales 201
9.4.3 Afectaciones y pérdidas 208

10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 212

11 REFERENCIAS 216

ANEXO 1. RESULTADOS DE VULNERABILIDAD

ANEXO 2. RESULTADOS ESCENARIO DE UMBRAL DE DAÑO

ANEXO 3. RESULTADOS ESCENARIO DE SEGURIDAD LIMITADA

ANEXO 4. RESULTADOS ESCENARIO DE DISEÑO

ANEXO 5. RESULTADOS ESCENARIO DE DISEÑO ESPECIAL

ANEXO 6. RESULTADOS GENERALES DE TODOS LOS ESCENARIOS

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Uso del suelo 7
Figura 2.2. Estratificación socioeconómica por lote 8
Figura 2.3. Año de construcción de edificaciones 9
Figura 2.4. Número de pisos de las edificaciones por lote 10
Figura 2.5. Pendiente del terreno de los lotes 11
Figura 2.6. Población proyectada 2010 12
Figura 2.7. Densidad poblacional 13
Figura 2.8. Acueducto 14
Figura 2.9. Red de acueducto por diámetro y por material 15
Figura 2.10. Composición del sistema de alcantarillado 16
Figura 2.11. Alcantarillado sanitario 16
Figura 2.12. Alcantarillado pluvial 17
Figura 2.13. Alcantarillado combinado 17
Figura 2.14. Tanques 18
Figura 2.15. Gas natural 19
Figura 2.16. Energía eléctrica (cableados) 20
Figura 2.17. Energía eléctrica (postes y torres) 21
Figura 2.18. Telecomunicaciones 22
Figura 2.19. Malla vial 23
Figura 2.20. Malla vial de Bogotá por material y sección transversal 24
Figura 2.21. Puente vehicular tipo 25
Figura 2.22. Puente peatonal tipo 25
Figura 2.23. Puentes por año y reforzamiento 25
Figura 3.1. Zonas de Respuesta Sísmica de Bogotá (FOPAE, 2010) 27
Figura 3.2. Espectros Uniformes de Amenaza en superficie para D=5% umbral de daño 28
Figura 3.3. Mapa de amenaza regional escenario umbral de daño 29
Figura 3.4. Mapa de respuesta sísmica local escenario umbral de daño 30
Figura 3.5. Espectros Uniformes de Amenaza en superficie para D=5% seguridad limitada 31
Figura 3.6. Mapa de amenaza regional escenario seguridad limitada 32
Figura 3.7. Mapa de respuesta sísmica local escenario seguridad limitada 33
Figura 3.8. Espectros Uniformes de Amenaza en superficie para D=5% diseño 34

Figura 3.9. Mapa de amenaza regional escenario diseño....35
Figura 3.10. Mapa de respuesta sísmica local escenario diseño....36
Figura 3.11. Espectros Uniformes de Amenaza en superficie para D=5% diseño especial....37
Figura 3.12. Mapa de respuesta sísmica local escenario diseño especial....38
Figura 4.1. Localización de las exploraciones seleccionadas....40
Figura 4.2. Resultados de $CRR_{7.5}$ para la Llanura Aluvial....41
Figura 4.3. Resultados de $CRR_{7.5}$ para la zona de Cauces....41
Figura 4.4. Resultados de $CRR_{7.5}$ para la Llanura A....42
Figura 4.5. Resultados de $CRR_{7.5}$ para la Llanura B....42
Figura 4.6. Histograma de espesores de las capas de arena de los sondeos seleccionados....42
Figura 4.7. Resultados obtenidos de I_{CRR} para algunas zonas de la ciudad de Bogotá....43
Figura 4.8. Zonas de potencial de licuación....44
Figura 4.9. Geología de cerros....46
Figura 4.10. Mapa de pendientes....46
Figura 4.11. Factor de seguridad promedio contra la pendiente del terreno....47
Figura 4.12. Factor de seguridad por unidad geológica....47
Figura 4.13. Mapa de factor de seguridad....48
Figura 4.14. Mapa de aceleración crítica....49
Figura 4.15. Mapa de inventario de deslizamientos contra factor de seguridad....50
Figura 5.1. Metodología general de evaluación (Evaluación de la vulnerabilidad de edificaciones y líneas vitales)....51
Figura 5.2. Índice de vulnerabilidad....52
Figura 5.3. Análisis estadístico de resultados de vulnerabilidad....53
Figura 5.4. Índice de vulnerabilidad promedio en edificaciones indispensables....54
Figura 5.5. Resumen resultados de vulnerabilidad de la red de tuberías (Configuración 1)....57
Figura 5.6. Resumen resultados de vulnerabilidad de la red de tuberías (Configuración 2 - no considera efecto de licuación del terreno)....58
Figura 5.7. Factor de vulnerabilidad de la red de tuberías (Configuración 1)....59
Figura 5.8. Factor de vulnerabilidad de la red de tuberías (Configuración 2)....60
Figura 5.9. Índice de vulnerabilidad promedio a Localidad y UPZ....62
Figura 5.10. Factor de vulnerabilidad red de acueducto - Resultados por localidad (Configuración 2)....63
Figura 5.11. Factor de vulnerabilidad red de alcantarillado - Resultados por localidad (Configuración 2)....64
Figura 5.12. Factor de vulnerabilidad red de gas domiciliario - Resultados por localidad (Configuración 2)....65
Figura 6.1. Intensidad sísmica para el escenario de Umbral de Daño....67
Figura 6.2. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños iniciales en edificaciones y líneas vitales)....68
Figura 6.3. Índice de daño promedio por localidades para los métodos italiano y Miranda....69

Figura 6.4. Índice de daño en edificaciones de acuerdo a su uso 69
Figura 6.5. Estado de daño por licuación y deslizamiento 74
Figura 6.6. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños secundarios en edificaciones y líneas vitales) 75
Figura 6.7. Índice de daño secundario en manzanas método italiano para escenario de umbral de daño....76
Figura 6.8 Comparación del índice de daño inicial y secundario por localidad....77
Figura 6.9. Resumen resultados de daño secundario de la red de tuberías....79
Figura 6.10. Mapa de resultados de daño secundario de la red de tuberías 80
Figura 6.11. Resumen resultados de daño secundario de la red de cableado 82
Figura 6.12. Mapa de resultados de daño secundario de la redes de cableado....83
Figura 6.13. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los tanques de almacenamiento 84
Figura 6.14. Mapa de resultados de daño secundario de los tanques de almacenamiento....85
Figura 6.15. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los puentes vehiculares y peatonales 86
Figura 6.16. Mapa de resultados de daño secundario en puentes vehiculares y peatonales....87
Figura 6.17. Resumen de resultados de estado de daño secundario de las torres de la red de energía eléctrica....88
Figura 6.18. Mapa de resultados de daño secundario en torres de la red de energía eléctrica....89
Figura 6.19. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los postes de la red de energía eléctrica y de telecomunicaciones....90
Figura 6.20. Mapa de resultados de daño secundario en los postes de la red de energía eléctrica y telecomunicaciones ...91
Figura 6.21. Índice de daño secundario promedio a Localidad y UPZ....93
Figura 6.22. Mapa de resultados de daño secundario red de acueducto - Número total de roturas por UPZ y localidad 94
Figura 6.23. Mapa de resultados de daño secundario red de alcantarillado - Número total de roturas por UPZ y localidad..95
Figura 6.24. Mapa de resultados de daño secundario red de gas domiciliario - Número total de roturas por UPZ y localidad 96
Figura 6.25. Mapa de resultados de daño secundario red de energía eléctrica - Longitud afectada por UPZ y localidad.....97
Figura 6.26. Mapa de resultados de daño secundario red de telecomunicaciones - Longitud afectada por UPZ y localidad.98
Figura 6.27. Pérdidas económicas en MDP para daños iníciales y secundarios....99
Figura 6.28. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Italiano 100
Figura 6.29. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Miranda....100
Figura 6.30. Víctimas fatales en el día....101
Figura 6.31. Víctimas fatales en la noche 102
Figura 7.1. Intensidad sísmica para el escenario de Seguridad limitada 104
Figura 7.2. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños iniciales en edificaciones y líneas vitales)....105
Figura 7.3. Índice de daño promedio por localidades para los métodos italiano y Miranda. 106
Figura 7.4. Índice de daño en edificaciones de acuerdo a su uso 106
Figura 7.5. Estado de daño por licuación y deslizamiento 111

Figura 7.6. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños secundarios en edificaciones y líneas vitales) 112
Figura 7.7. Índice de daño secundario en manzanas método italiano para escenario de seguridad limitada 113
Figura 7.8. Comparación del índice de daño inicial y secundario por localidad 114
Figura 7.9. Resumen resultados de daño secundario de la red de tuberías 116
Figura 7.10. Mapa de resultados de daño secundario de la red de tuberías 117
Figura 7.11. Resumen resultados de daño secundario de la red de cableado 119
Figura 7.12. Mapa de resultados de daño secundario de la redes de cableado 120
Figura 7.13. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los tanques de almacenamiento 121
Figura 7.14. Mapa de resultados de daño secundario de los tanques de almacenamiento 122
Figura 7.15. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los puentes vehiculares y peatonales 123
Figura 7.16. Mapa de resultados de daño secundario en puentes vehiculares y peatonales 124
Figura 7.17. Resumen de resultados de estado de daño secundario de las torres de la red de energía eléctrica 125
Figura 7.18. Mapa de resultados de daño secundario en torres de la red de energía eléctrica 126
Figura 7.19. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los postes de la red de energía eléctrica y de telecomunicaciones 127
Figura 7.20. Mapa de resultados de daño secundario en los postes de la red de energía eléctrica y telecomunicaciones .128
Figura 7.21. Índice de daño secundario promedio a Localidad y UPZ 130
Figura 7.22. Mapa de resultados de daño secundario red de acueducto - Número total de roturas por UPZ y localidad 131
Figura 7.23. Mapa de resultados de daño secundario red de alcantarillado - Número total de roturas por UPZ y localidad 132
Figura 7.24. Mapa de resultados de daño secundario red de gas - Número total de roturas por UPZ y localidad 133
Figura 7.25. Mapa de resultados de daño secundario red de energía eléctrica - Longitud afectada por UPZ y localidad....134
Figura 7.26. Mapa de resultados de daño secundario red de telecomunicaciones - Longitud afectada por UPZ y localidad 135
Figura 7.27. Pérdidas económicas en MDP 136
Figura 7.28. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Italiano 137
Figura 7.29. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Miranda 137
Figura 7.30. Víctimas fatales en el día 138
Figura 7.31. Víctimas fatales en la noche 139
Figura 8.1. Intensidad sísmica para el escenario de Diseño 141
Figura 8.2. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños iniciales en edificaciones y líneas vitales) 142
Figura 8.3. Índice de daño promedio por localidades para los métodos italiano y Miranda. 143
Figura 8.4. Índice de daño en edificaciones de acuerdo a su uso 143
Figura 8.5. Estado de daño por licuación y deslizamiento 148
Figura 8.6. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños secundarios en edificaciones y líneas vitales) 149
Figura 8.7. Índice de daño secundario en manzanas método italiano para escenario de diseño 150

Figura 8.8. Comparación del índice de daño inicial y secundario por localidad 151
Figura 8.9. Resumen resultados de daño secundario de la red de tuberías 153
Figura 8.10. Mapa de resultados de daño secundario de la red de tuberías 154
Figura 8.11. Resumen resultados de daño secundario de la red de cableado 156
Figura 8.12. Mapa de resultados de daño secundario de la redes de cableado 157
Figura 8.13. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los tanques de almacenamiento 158
Figura 8.14. Mapa de resultados de daño secundario de los tanques de almacenamiento 159
Figura 8.15. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los puentes vehiculares y peatonales 160
Figura 8.16. Mapa de resultados de daño secundario en puentes vehiculares y peatonales 161
Figura 8.17. Resumen de resultados de estado de daño secundario de las torres de la red de energía eléctrica 162
Figura 8.18. Mapa de resultados de daño secundario en torres de la red de energía eléctrica 163
Figura 8.19. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los postes de la red de energía eléctrica y de telecomunicaciones 164
Figura 8.20. Mapa de resultados de daño secundario en los postes de la red de energía eléctrica y telecomunicaciones . 165
Figura 8.21. Índice de daño secundario promedio a Localidad y UPZ 167
Figura 8.22. Mapa de resultados de daño secundario red de acueducto - Número total de roturas por UPZ y localidad 168
Figura 8.23. Mapa de resultados de daño secundario red de alcantarillado - Número total de roturas por UPZ y localidad 169
Figura 8.24. Mapa de resultados de daño secundario red de gas - Número total de roturas por UPZ y localidad 170
Figura 8.25. Mapa de resultados de daño secundario red de energía eléctrica - Longitud afectada por UPZ y localidad.... 171
Figura 8.26. Mapa de resultados de daño secundario red de telecomunicaciones - Longitud afectada por UPZ y localidad 172
Figura 8.27. Pérdidas económicas en MDP 173
Figura 8.28. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Italiano 174
Figura 8.29. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Miranda 174
Figura 8.30. Víctimas fatales en el día 175
Figura 8.31. Víctimas fatales en la noche 176
Figura 9.1. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños iniciales en edificaciones y líneas vitales) 177
Figura 9.2. Índice de daño promedio por localidades para los métodos italiano y Miranda. 178
Figura 9.3. Índice de daño en edificaciones de acuerdo a su uso 178
Figura 9.4. Estado de daño por licuación y deslizamiento 183
Figura 9.5. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños secundarios en edificaciones y líneas vitales) 184
Figura 9.6. Índice de daño secundario en manzanas método italiano para escenario de diseño especia 185
Figura 9.7. Comparación del índice de daño inicial y secundario por localidad 186
Figura 9.8. Resumen resultados de daño secundario de la red de tuberías 188
Figura 9.9. Mapa de resultados de daño secundario de la red de tuberías 189

Figura 9.10. Resumen resultados de daño secundario de la red de cableado 191
Figura 9.11. Mapa de resultados de daño secundario de la redes de cableado 192
Figura 9.12. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los tanques de almacenamiento 193
Figura 9.13. Mapa de resultados de daño secundario de los tanques de almacenamiento 194
Figura 9.14. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los puentes vehiculares y peatonales 195
Figura 9.15. Mapa de resultados de daño secundario en puentes vehiculares y peatonales 196
Figura 9.16. Resumen de resultados de estado de daño secundario de las torres de la red de energía eléctrica 197
Figura 9.17. Mapa de resultados de daño secundario en torres de la red de energía eléctrica 198
Figura 9.18. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los postes de la red de energía eléctrica y de telecomunicaciones 199
Figura 9.19. Mapa de resultados de daño secundario en los postes de la red de energía eléctrica y telecomunicaciones .200
Figura 9.20. Índice de daño secundario promedio a Localidad y UPZ 202
Figura 9.21. Resultados daño secundario red de acueducto - Número total de roturas por UPZ y localidad 203
Figura 9.22. Resultados daño secundario red de alcantarillado - Número total de roturas por UPZ y localidad 204
Figura 9.23. Resultados daño secundario red de gas domiciliario - Número total de roturas por UPZ y localidad 205
Figura 9.24. Resultados daño secundario red de energía eléctrica - Longitud afectada por UPZ y localidad 206
Figura 9.25. Resultados daño secundario red de telecomunicaciones - Longitud afectada por UPZ y localidad 207
Figura 9.26. Pérdidas económicas en MDP para daños iníciales y secundarios 208
Figura 9.27. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Italiano 209
Figura 9.28. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Miranda 209
Figura 9.29. Víctimas fatales en el día 210
Figura 9.30. Víctimas fatales en la noche 211

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Resultados escenarios de daño (Ingeominas y Uniandes, 1997) 1
Tabla 1.2. Escenarios de amenaza – Casos (JICA, 2002) 2
Tabla 1.3. Resumen de elementos expuestos analizados (JICA, 2002) 2
Tabla 1.4. Resumen de daños y afectaciones totales (JICA, 2002) 2
Tabla 1.5. Escenarios de análisis definidos (Uniandes, 2005) 3
Tabla 1.6. Porcentajes de daño globales esperados (Uniandes, 2005) 3
Tabla 1.7. Afectaciones red de acueducto (Uniandes, 2005) 3
Tabla 1.8. Afectaciones red de alcantarillado pluvial y sanitario (Uniandes, 2005) 3
Tabla 1.9. Afectaciones red de gas natural (Uniandes, 2005) 4
Tabla 1.10. Resultados de porcentaje de daño edificaciones institucionales (Uniandes, 2005) 4
Tabla 1.11. Afectaciones a la población para escenarios críticos (Uniandes, 2005) 4
Tabla 3.1. Escenarios de amenaza considerados 26
Tabla 4.1. Tabla de zonas potencialmente licuables 39
Tabla 4.2. Parámetros de resistencia asignados 46
Tabla 6.1. Consolidado de daño inicial 70
Tabla 6.2. Configuraciones empleadas para la evaluación de daños iniciales en las redes de tubería 70
Tabla 6.3. Consolidado de daño secundario en edificaciones indispensables 77
Tabla 7.1. Consolidado de daño inicial 107
Tabla 7.2. Configuraciones empleadas para la evaluación de daños iniciales en las redes de tubería 107
Tabla 7.3. Consolidado de daño secundario en edificaciones indispensables 114
Tabla 8.1. Consolidado de daño inicial 144
Tabla 8.2. Configuraciones empleadas para la evaluación de daños iniciales en las redes de tubería 144
Tabla 8.3. Consolidado de daño secundario en edificaciones indispensables 151
Tabla 9.1. Consolidado de daño inicial en edificaciones indispensables 179
Tabla 9.2. Configuraciones empleadas para la evaluación de daños iníciales en las redes de tubería 179
Tabla 9.3. Consolidado de daño secundario en edificaciones indispensables 186
Tabla 10.1. Cantidad de edificaciones, líneas vitales y población de Bogotá 212
Tabla 10.2. Escenarios de amenaza sísmica evaluados 212
Tabla 10.3. Daños, afectaciones y pérdidas generales para cada escenario de amenaza 213
Tabla 10.4. Localidades con mayores daños, afectaciones y pérdidas 213

GLOSARIO

Acelerógrafo: equipo electrónico de recogida de datos en tiempo real, equipado con sensores que miden la aceleración del terreno.

Acelerograma: registro de la variación temporal de las aceleraciones en un punto y en una dirección. Se obtiene de un acelerógrafo.

Algoritmo: secuencia explícita y finita de operaciones que conduce a la solución de un problema.

Amenaza sísmica: valor esperado de futuras acciones sísmicas y se expresa en términos de sus probabilidades de excedencia.

Amenaza: condición latente derivada de la posible ocurrencia de un fenómeno físico de origen natural, socio-natural o antrópico no intencional, que puede causar daño a la población y sus bienes, la infraestructura, el ambiente y la economía pública y privada.

Amortiguamiento: capacidad de un sistema o cuerpo para disipar energía.

Aplicación: programa informático, que se ejecuta sin necesidad de otro programa.

Basamento rocoso: espacio donde se encuentran las formaciones de roca, entendiendo como roca al material de velocidad de onda cortante superior a 750 m/s.

Base de datos: conjunto de datos estructurado para permitir su almacenamiento, consulta y actualización en un sistema informático.

Capacidad de respuesta: capacidad de la sociedad, de las instituciones y de la población para reaccionar adecuadamente en los instantes de emergencia y responder al impacto, controlarlo y recuperarse.

Cortical: relativo a la corteza terrestre.

Daño: materialización del riesgo en el tiempo y en el espacio.

Desastre: interacción entre un fenómeno geofísico extremo y una condición vulnerable, traducido en pérdidas económicas y humanas en una escala totalmente por fuera de las capacidades y recursos de la administración local.

Deslizamiento: conjunto de movimientos descendentes, a diferentes velocidades, de un volumen de roca y/o suelo sobre una o varias superficies de ruptura, bajo la acción de la gravedad, que pueden ser activados por la acción del agua, por sismos o modificaciones realizadas por el hombre a las condiciones de las laderas.

Espectro de respuesta: representación gráfica de los valores máximos de aceleración, velocidad o desplazamiento de osciladores de un grado de libertad para diferentes periodos de vibración.

Factores de amplificación: valor en el cual se modifica la demanda sísmica a causa de los suelos o efectos topográficos, para periodos de vibración cortos (Fa) y otro para periodos de vibración largos (Fv).

Falla sismogénica: falla en donde se generan sismos de manera recurrente.

Falla: fractura o zona de fractura en rocas a lo largo de la cual los dos lados se han desplazado, uno con relación a otro.

Función de transferencia: representación de la respuesta sísmica de un depósito de suelo como medida de la amplificación que ocasiona para diferentes frecuencias de vibración.

Licuación: proceso en el que el suelo se comporta como un fluido denso más que como un sólido húmedo debido al aumento de la presión del agua contenida en el mismo al suceder un evento sísmico, perdiendo así su capacidad portante.

Microtrepidaciones: ensayo geofísico que mide la vibración natural del terreno con sensores tipo acelerógrafos, con este ensayo es posible determinar los periodos de vibración natural de los depósitos.

Microzonificación sísmica: conjunto de actividades necesarias para determinar los niveles de amenaza símica y respuesta sísmica de los terrenos de un área de interés.

Periodo fundamental: tiempo que dura un elemento en hacer una oscilación libre, es función de la rigidez y masa.

Prevención: políticas y acciones que buscan evitar la generación de nuevos riesgos.

Relación espectral: representación de la respuesta sísmica de un depósito de suelo como medida de la amplificación que ocasiona para diferentes periodos de vibración.

Resonancia: aumento de la amplificación por la coincidencia de los periodos de vibración del medio incidente o suelo con el periodo de vibración del elemento o edificación.

Riesgo: conjugación de la amenaza, la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta de la sociedad. Cuanto mayor sean la amenaza y la vulnerabilidad, y menor sea la capacidad de respuesta, mayor es el riesgo.

Vulnerabilidad: característica propia de un elemento o grupo de elementos expuestos a una amenaza, relacionada con su incapacidad física, económica, política o social de anticipar, resistir y recuperarse del daño sufrido cuando opera dicha amenaza.

Zona de Benioff: zona estrecha definida por los focos de terremotos, de un espesor de unas decenas de kilómetros, que desciende desde la superficie bajo la corteza terrestre.

Zona de subducción: zona larga y angosta en un límite de placas convergentes, donde una placa oceánica desciende insertándose debajo de otra placa; por ejemplo, la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana.

Zonificación geotécnica: representación geográfica de áreas de homogéneo comportamiento geotécnico, es decir que guarden similitud de materiales y espesores.

Zonificación respuesta sísmica: representación geográfica de áreas de homogéneo comportamiento ante las ondas sísmicas, es decir que tengan similar amplificación y respuesta espectral.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

El presente informe ilustra los resultados obtenidos por el sistema SEDAR de la siguiente forma: en el capítulo dos se presentan los resultados de la recopilación de información y el correspondiente análisis estadístico descriptivo; en el capítulo tres se realiza la descripción detallada de los escenarios de amenaza usados para el análisis de daños afectaciones y pérdidas; en el capítulo cuatro se describen los resultados de los análisis del potencial de licuación y deslizamiento; en el capítulo cinco se presentan los resultados de los análisis de vulnerabilidad sísmica de edificaciones y tuberías; en los capítulos seis a nueve se presentan los resultados de daño inicial y daños secundarios, el análisis derivado de estos a nivel de UPZ y localidad y los posibles efectos a nivel regional para cada uno de los escenarios de amenaza trabajados; finalmente en el capítulo diez se presentan las conclusiones y recomendaciones.

1.1 ANTECEDENTES

Con anterioridad a este proyecto se han realizado estudios que han involucrado temas similares como el Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá (1997), a través de un convenio interadministrativo entre la Unidad para la Prevención y Atención de Emergencias -UPES- (actual FOPAE), el Instituto Colombiano de Geología y Minería –INGEOMINAS- y la Universidad de los Andes -UNIANDES-; posteriormente, la Agencia de Cooperación Internacional del Japón –JICA- realizó el Estudio para la Prevención de Desastres en el Área Metropolitana de Bogotá (2002), durante el año 2005 por medio de un convenio interadministrativo entre el FOPAE y UNIANDES, se elaboró el Estudio de Escenarios de Riesgo y Pérdida por Terremoto para Bogotá (2005). A continuación se detallan las actividades realizadas en cada uno de los proyectos mencionados.

El estudio de Microzonificación sísmica de Santa Fe de Bogotá tuvo como objetivos principales realizar la microzonificación sísmica de la ciudad y la de sus zonas de futura expansión, fijando de esta manera los parámetros específicos para el diseño y construcción sismorresistente, como también evaluar los efectos generales que el sismo máximo probable generaría en la ciudad.

Para la estimación del daño en elementos expuestos se usó un software denominado Sistema de Evaluación del Riesgo Sísmico –SERS-, que busca organizar la información en una gran base datos a fin con los datos recopilados en las fases anteriores en archivos tipo hoja electrónica, en dicha base se almacena información de las curvas de vulnerabilidad, tipologías constructivas y el valor de la amenaza sísmica de acuerdo con las aceleraciones espectrales. Este aplicativo permite realizar análisis estadísticos en las temáticas de población, afectados y en atributos estructurales, daños, costos entre muchos otros, los resultados de los diferentes escenarios se destaca que aunque la ciudad no se encuentra en zona de amenaza sísmica alta, el resultado del riesgo sísmico está definitivamente controlado por la alta vulnerabilidad de las construcciones desarrolladas en la ciudad, los resultados para cada uno de los escenarios se presenta en la **Tabla 1.1**.

Escenario Sísmico Hipotético	En el Día		En la Noche		Sin vivienda (10% de Habitantes afectados)	Área Destruida (millones de m^2)	Costo (US$ Millones)
	No. Muertos	No. Heridos	No. Muertos	No. Heridos			
Sismo cercano Fuerte (0.20g)	3500	20000	4500	26000	74000	33.8	14000
Sismo cercano moderado (0.12g)	1600	9000	1400	7700	44000	20.6	8800
Sismo Lejano (0.038g)	300	1600	350	1900	27000	12.3	5100

Tabla 1.1. Resultados escenarios de daño (Ingeominas y Uniandes, 1997)

La Agencia Japonesa para la Cooperación Internacional –JICA-, desarrolló entre noviembre del año 2000 y marzo del 2002 el estudio sobre la Prevención de Desastres en el Área Metropolitana de Bogotá, este estudio tuvo como objeto formular el Plan de Prevención de Desastres, que comprendió el área metropolitana de Bogotá y consistió en la preparación para la

prevención de desastres, respuesta a emergencias y otras medidas de soporte en las organizaciones gubernamentales de la ciudad de Bogotá, el departamento de Cundinamarca y el gobierno Nacional.

Referente a la amenaza sísmica, este proyecto trabajó con los resultados del estudio general de amenaza sísmica de 1996 realizado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, en donde se desarrollaron y estandarizaron los mapas de amenaza sísmica para el territorio Nacional. Este permitió realizar el mapa de aceleración pico efectiva –PGA- correspondiente a una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, cuyos parámetros indican que la ciudad y en general toda el área comprendida en el estudio se encuentran en un nivel de amenaza intermedia. Para definir los escenarios de amenaza sísmica este proyecto empleó los resultados del estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá, 1997. Los escenarios de amenaza trabajados se resumen en la **Tabla 1.2**.

Caso	Nombre	Clasificación	Magnitud	Longitud total de la falla	Longitud de Ruptura (km)	Distancia a la ciudad (km)	Variación Amax (g)	Variación MMI
1	La Cajita	Cercana	6.4	35	10	20	0.2 a 0.5	VII a X
2	Guayuriba	Regional	7.0	60	29	60	0.1 a 0.2	VII a IX
3	Subducción	Subducción	8.3	--		400	0.038	V a VII

Tabla 1.2. Escenarios de amenaza – Casos (JICA, 2002)

El estudio de vulnerabilidad en edificaciones consistió inicialmente en una revisión de la reglamentación actual y la evolución de la misma para establecer los lineamientos básicos de diseño y construcción sismo resistente de obras civiles en el territorio nacional, paralelo a la verificación de la vulnerabilidad de edificaciones de usos convencionales. Se verificó la vulnerabilidad en estructuras esenciales e importantes debido a que su funcionamiento es imprescindible para la ciudad en caso de un evento de gran magnitud, esta fase incluyó dentro de sus actividades la realización de microtremores y chequeo de los diseños estructurales.

El estudio de líneas vitales contempló cuatro tipos de redes: acueducto, gas, cableado de energía y cableado de telecomunicaciones. Adicionalmente se estudiaron las instalaciones como plantas de tratamiento, estaciones y subestaciones eléctricas y estructuras complementarias para propósitos de distribución.

El resumen de las cantidades de los elementos expuestos se ilustra en la **Tabla 1.3** y los resultados de daño en la **Tabla 1.4**.

Área	Población	Edificaciones	Tubería de acueducto	Tubería Gas (60psi)	Cableado Eléctrico (11kv)	Cableado Telefónico	Instalaciones Industriales
Km^2	Personas	Número	Longitud (m)	Longitud (m)	Longitud (m)	Longitud (m)	Número
860.03	6'378.928	752.063	6'253.693	8'023.800	4'921.217	10'503.245	1.429

Tabla 1.3. Resumen de elementos expuestos analizados (JICA, 2002)

Caso	Edificaciones Gravemente Dañadas		Personas Muertas		Personas lesionadas		Tubería de acueducto		Tubería Gas (60psi)		Cableado Eléctrico (11kv)		Cableado Telefónico	
	Número	%	Número	%	Número	%	Longitud (m)	%	Longitud (m)	%	Longitud (m)	%	Longitud (m)	%
1	362.072	48	37.627	0.6	261.005	4.1	3.504	0.06	388	0.005	2.319	0.05	5.088	0.05
2	377.585	50	38.667	0.6	268.792	4.2	1.488	0.02	132	0.002	950	0.02	2.083	0.02
3	51.908	6.9	3.026	0.0	21.959	0.3	15	0.00	1	0.000	0	0.00	0	0.00

Tabla 1.4. Resumen de daños y afectaciones totales (JICA, 2002)

El fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá en convenio con la Universidad de los Andes realizaron el estudio de Escenarios de Riesgo y Pérdidas por Terremoto para la ciudad de Bogotá, este estudio tuvo el objetivo de realizar los escenarios de riesgo con la información actualizada al año 2004 de amenaza y de infraestructura de la ciudad. Este proyecto se desarrolló en tres fases: una primera de evaluación de la amenaza a nivel de la superficie del terreno en el área de Bogotá; la segunda de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las obras de infraestructura de la ciudad; la

tercera y última de evaluación de daños y pérdidas. Los escenarios de daño planteados en este estudio corresponden a diferentes situaciones hipotéticas de efectos que pueden llegar a ocasionar algunos tipos de sismos asociados a las principales fuentes sismogénicas.

Para la definición de los escenarios de daño se tuvieron en cuenta las tres principales fuentes sismogénicas de la ciudad: Falla Frontal de la Cordillera Oriental, Falla la Cajita y Zona de Benioff, proponiendo los siguientes escenarios para cada una de las fallas y los periodos de recurrencia establecidos (ver **Tabla 1.5**).

Escenario No.	Fuente Sísmica	Magnitud (Ms)	Período de retorno asignado (años)	Aceleración máxima del terreno (cm/s^2)	Profundidad (km)	Distancia epicentral promedio (km)
1	Frontal Cordillera Oriental	6.8	250	109	23	39.5
2	Frontal Cordillera Oriental	7.4	500	170	23	39.5
3	Frontal Cordillera Oriental	7.7	1000	200	23	39.5
4	La Cajitá*	5.8	500	78.6	15	27.4
5	Benioff Intermedia	7.5	500	36	107	170.5

*Parámetros sísmicos asumidos.

Tabla 1.5. Escenarios de análisis definidos (Uniandes, 2005)

La evaluación de la vulnerabilidad sísmica tuvo en cuenta elementos expuestos tales como construcciones, red matriz de acueducto y alcantarillado, red de distribución principal de energía eléctrica y subestaciones, estaciones y subestaciones de comunicación y estructuras importantes como torres de retransmisión, red principal de gas y los centros de control o “city gates” y por último los puentes vehiculares urbanos.

Los resultados de los daños esperados en las edificaciones expresado como porcentaje de área afectada y en términos de pérdidas económicas, que solo tiene en cuenta el valor de la construcción y en ningún caso se incluyen pérdidas de los contenidos ni las pérdidas consecuenciales o de lucro cesante, para cada uno de los escenarios de daño se resume en la **Tabla 1.6**.

Escenario No.	Fuente Sísmica	Magnitud (Ms)	Período de retorno asignado (años)	Daño esperado (%)	Pérdida Esperada (MDP)
1	Frontal Cordillera Oriental	6.8	250	8.3	3.872.027
2	Frontal Cordillera Oriental	7.4	500	15.5	7.259.623
3	Frontal Cordillera Oriental	7.6	1000	18.3	8.568.552
4	Benioff Intermedia	7.5	500	7.7	3.622.245
5	La Cajitá*	5.8	>1000	11.8	5.530.933

MDP: Millones de pesos

Tabla 1.6. Porcentajes de daño globales esperados (Uniandes, 2005)

En la en la **Tabla 1.7**, **Tabla 1.8** y **Tabla 1.9** se pueden observar los resultados obtenidos para cada una de las redes y escenarios planteados.

Escenario	Red primaria		Red secundaria		Red total de acueducto	
	Longitud en (km)	Número de fallas	Longitud en (km)	Número de fallas	Longitud en (km)	Número de fallas
Frontal 250	480	51	6939	675	7420	726
Frontal 500		139		1859		1998
Frontal 1000		444		5908		6352

Tabla 1.7. Afectaciones red de acueducto (Uniandes, 2005)

Escenario	Red Pluvial		Red Sanitaria		Red total de alcantarillado	
	Longitud en (km)	Número de fallas	Longitud en (km)	Número de fallas	Longitud en (km)	Número de fallas
Frontal 250	1655	303	5009	898	6663	1201
Frontal 500		839		2437		3276
Frontal 1000		2640		7674		10314

Tabla 1.8. Afectaciones red de alcantarillado pluvial y sanitario (Uniandes, 2005)

Escenario	Red de gas	
	Longitud en (km)	Número de fallas
Frontal 250	2099	103
Frontal 500		287
Frontal 1000		917

Tabla 1.9. Afectaciones red de gas natural (Uniandes, 2005)

Se analizaron estructuras indispensables como hospitales, estaciones de bomberos, estaciones de policía, CAMI, colegios, jardines infantiles, casas vecinales, tanques de almacenamiento de agua, estaciones de bombeo, estructuras de control, subestaciones eléctricas y oficinas de gas natural. Para cada uno de los anteriores tipos de edificaciones se obtuvo información referente a nombre de la entidad responsable, dirección del predio, descripción del uso actual de la edificación, tipo de construcción (edificio o bodega), número de pisos, existencia de entrepisos con altura doble, estrato, valor asegurable, año de construcción, áreas de construcción, daños previos, existencia de arriostramiento, susceptibilidad a golpeteo, existencia de columnas cortas, edificio esquinero, sobrepeso, susceptibilidad a deslizamientos, evidencia de asentamientos, tipo estructural, irregularidad en planta y en altura, longitud de las luces predominantes de la edificación, tipo de cubierta, observaciones, coordenadas y estado de reforzamiento. La metodología usada para el cálculo de vulnerabilidad es la misma usada para las edificaciones convencionales, la diferencia varía en la obtención semidetallada de los valores asegurables de la infraestructura. Los resultados pueden verse en la **Tabla 1.10**.

No.	Sector	Escenario1 Frontal 250 años	Escenario 2 Frontal 500 años	Escenario 3 Frontal 1000 años
1	Seguridad	20.7	35.6	39.2
2	Salud	13.4	20.6	23.3
3	Educación	16.1	37.1	45.7
4	EAAB	17.0	27.8	31.5
5	Codensa	1.8	5.2	6.4
6	Gas	3.9	12.8	15.3
7	ETB	2.3	5.2	6.4
8	STT	26.3	47.4	53.4
9	Administración y otros	10.1	19.7	23.2

Tabla 1.10. Resultados de porcentaje de daño edificaciones institucionales (Uniandes, 2005)

Los resultados obtenidos en el estudio de afectaciones a la población se presentan en la **Tabla 1.11**.

Escenarios	Identificación	Número de edificaciones afectadas con daño >45%	Porcentaje de edificaciones afectadas con daño>45%	Número de personas sin vivienda	Porcentaje de personas sin vivienda (%)	Número de personas sin lugar de trabajo	Porcentaje de personas sin lugar de trabajo (%)
1	Frontal Cordillera Oriental Tr=250	3.958	0,5	60.408	0,9	73.765	1,1
2	Frontal Cordillera Oriental Tr=500	49.125	6,2	682.060	10,6	739.250	11,5
3	Frontal Cordillera Oriental Tr=1000	106.638	13,4	1'071.708	16,7	932.787	14,5
4	Benioff Intermedia Tr=500	2.559	0,3	176.955	2,8	243.761	3,8
5	La Cajitá Ms= 5.8*	115.723	14,5	282.495	4,4	57.627	0,9

Tabla 1.11. Afectaciones a la población para escenarios críticos (Uniandes, 2005)

1.2 OBJETIVOS

Realizar las evaluaciones de daños, afectaciones y pérdidas probables para diferentes escenarios de amenaza sísmica en la ciudad de Bogotá con el sistema de evaluación de daños para análisis de riesgo SEDAR.

Los objetivos específicos se resumen a continuación:

- Realizar la recopilación, estructuración y análisis estadístico de la información recopilada de edificaciones y líneas vitales de la ciudad.
- Establecer cuatro escenarios de amenaza sísmica probables para realizar las evaluaciones de daño, definiendo a nivel regional mapa de intensidades y a nivel local la respuesta sísmica espectral.
- Determinar la susceptibilidad de los terrenos a licuación y deslizamiento.
- Realizar las evaluaciones de vulnerabilidad, daño inicial y daño secundario para cada tipología de elemento expuesto de edificaciones y líneas vitales.
- Realizar análisis estadísticos de los resultados obtenidos y consolidar las variables más relevantes a nivel de UPZ y Localidad.

1.3 ALCANCE

Los escenarios de amenaza, parámetros de intensidades sísmicas y espectrales para cada zona de respuesta, y las zonas de susceptibilidad a licuación y deslizamiento son evaluados independientemente al sistema de cálculo, únicamente los resultados de estos análisis son incorporados en las tablas de la base de datos del sistema. Nuevos escenarios o mapas de susceptibilidad deberán ser registrados manualmente en el modelo de datos del sistema.

El alcance de los resultados obtenidos está directamente relacionado con la información empleada y los métodos de evaluación desarrollados por el estudio, por lo cual se deben entender como indicativos ya que los niveles de incertidumbre de las variables, métodos, información son relativamente altos para este tipo de análisis a nivel de ciudad.

1.4 MARCO LÓGICO

Para desarrollar los objetivos planteados se siguió el marco lógico de actividades presentado a continuación:

- Recopilación, estructuración y análisis de la información empleada.
- Determinación de escenarios de amenaza, intensidad regional y respuesta sísmica local.
- Determinación de susceptibilidad a licuación y deslizamiento.
- Evolución con SEDAR de vulnerabilidad, daño inicial y daño secundario.
- Análisis de resultados y consolidación a UPZ y Localidad.
- Conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO 2

2 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN RECOPILADA

El presente capítulo expone los aspectos de la composición y contenidos de la base de datos de recopilación de información elaborada para la Fase II del proyecto, así como los análisis estadísticos de los datos contenidos en la base de datos de elementos expuestos.

2.1 BASE DE DATOS DE INFORMACIÓN

2.1.1 Bases de datos de recopilación

Dentro de los principales logros alcanzados en la recopilación de información geográfica y bases de datos se encuentra la obtención de información actualizada del catastro predial de la ciudad, la adquisición del inventario de infraestructura vial para elementos tales como puentes peatonales y vehiculares, calzadas y segmentos viales, la información geográfica de edificaciones indispensables y redes de servicios públicos entre los que están la redes de gas natural, acueducto y alcantarillado y apoyos de la red de interconexión eléctrica de la ciudad.

Con el propósito de almacenar y disponer de la información más actualizada y de mejor calidad en las temáticas de amenaza sísmica, bases cartográficas, bases catastrales, infraestructura dotacional, líneas vitales y población, se conformó el archivo *geodatabase* "recopilación.gdb", que contiene únicamente la información útil para la alimentación de la base de datos de elementos expuestos del sistema SEDAR.

2.1.2 Base de datos de líneas vitales regionales

Con el fin de hacer un análisis de los posibles daños a nivel regional se recopiló información de las líneas vitales, para lo cual se han considerado las redes de suministro de electricidad, agua y gas, malla vial municipal y malla Ferrea. Cada uno de estos sistemas cuenta con una serie de subelementos como puentes, túneles, líneas de distribución, estaciones de bombeo, plantas de tratamiento, depósitos de almacenamiento o "presas", tanques elevados, torres de transmisión y citygates, los cuales se contemplaron en el análisis realizado. La información se encuentra compilada en la base de datos "regional.gdb".

2.1.3 Bases de datos de elementos expuestos

La base de datos de elementos expuestos (archivo *geodatabase* data.gdb) hace parte de la estructura diseñada con el modelo de datos espaciales para que SEDAR opere correctamente, en esta base de datos se cargó la información estructurada tal cual lo requiere el sistema como se detalla en el manual del usuario, proceso que consistió básicamente en depurar las coberturas para los cálculos que se realizan y nombrar las variables tal cual lo pide el sistema.

2.2 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LA INFORMACIÓN

Con base en estas coberturas recopiladas se realizó estadística descriptiva para ilustrar la distribución, las tendencias y el nivel de representatividad de los datos para algunos de los atributos más relevantes de la información incluida y para unidades administrativas.

2.2.1 Edificaciones

Con el fin de ilustrar la distribución, las tendencias y el nivel de representatividad de los datos, se presenta a continuación la estadística descriptiva a nivel de lotes y manzanas, la cual muestra el comportamiento de variables tales como uso del suelo, área construida, estratificación socioeconómica, fecha de construcción, pendiente del terreno, número de pisos, población proyectada y densidad poblacional.

Para mostrar la distribución de las variables se acumuló la frecuencia relativa y el área construida para cada categoría, con el fin de visualizar el comportamiento de toda la ciudad. De la misma manera se desagregaron los datos a nivel de localidad.

2.2.1.1 Uso del suelo y área construida

El primer ítem evaluado de la base de datos catastral corresponde al uso del los lotes, para lo cual se operó con la cobertura de loteo del catastro distrital, que contiene información de la zona urbana de la ciudad de Bogotá y está compuesta por un total de 887.534 registros. El uso predominante de los lotes de la ciudad es residencial con un porcentaje del 78% frente al total de lotes, lo cual corresponde a 689.979 lotes y un área construida aproximada de 164 millones de metros cuadrados que constituye el 67% del total de la ciudad; seguido de este uso se encuentra el comercial y de servicios que cuenta con el 16.1%, que corresponden a 142.136 lotes y un área construida de 55.4 millones de metros cuadrados aproximadamente, esto constituye el 22.5% del área construida de la ciudad; el tercer uso es el industrial con un total de 12.362 lotes registrados, lo que compone el 1.4% de los lotes pero en contra parte en relación al área construida este uso corresponde al 4.2% del total de área construida de la ciudad; por último en su orden el uso dotacional, espacio público y recreacional y deportivo constituyen menos del 2% del total de la ciudad.

Al visualizar el mismo panorama anterior de uso para las localidades se observa una composición residencial de más del 70% en todas las localidades, excepto en Chapinero, Barrios unidos, Teusaquillo, Mártires Antonio Nariño y Candelaria, en las cuales el uso comercial tiene un porcentaje entre el 20 a 50% en la composición total de la localidad. Localidades como Fontibón, Los Mártires y Puente Aranda tienen más del 5% de los lotes con uso industrial, lo cual indica un buen nivel de representatividad de los datos frente a la realidad de la ciudad. En la **Figura 2.1** se presentan los resultados obtenidos.

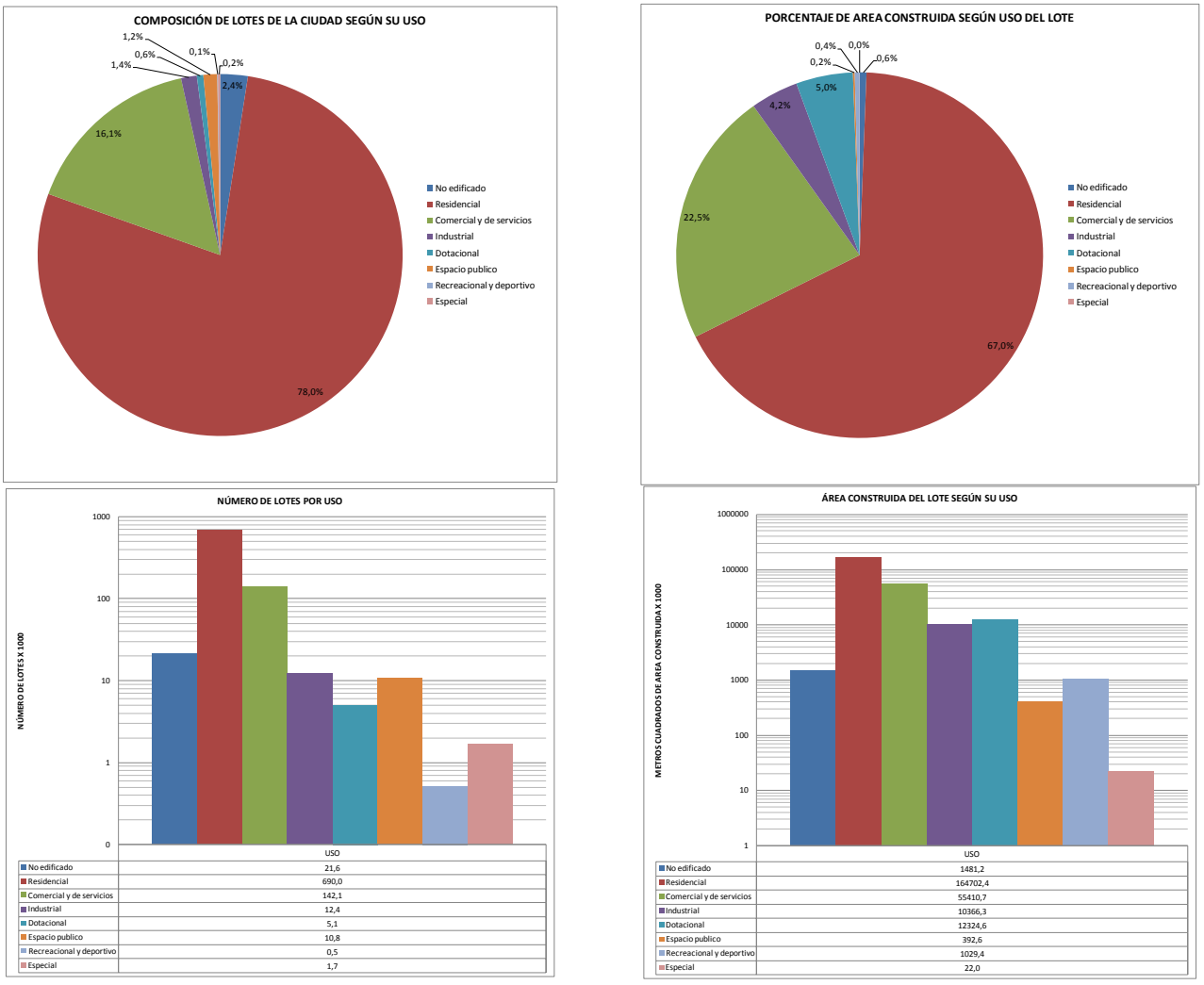


Figura 2.1. Uso del suelo

2.2.1.2 Estratificación socioeconómica

El segundo tópico analizado correspondió a la estratificación, el cual muestra el panorama de la situación socioeconómica del uso residencial en la ciudad. Frente al total de los lotes, el estrato 2 es el predominante con un 45.1%, seguido del estrato 3 con un 34.5% y el estrato 1 con 12.9%, pero si contrastamos estos resultados frente el acumulado de área construida, esta situación se cambia dándole una mayor participación al estrato 3 con un 39%, seguido del estrato 2 con un 30% y el estrato 1 con el 5.3%. Esta situación se justifica en el hecho que los estratos 3 en adelante tienden a ser urbanizaciones con mayor área construida que la de los estratos bajos, 1 y 2.

Al observar los resultados de la estratificación por localidades, se visualiza que Santa fe, San Cristóbal, Usme, Tunjuelito, Bosa, Candelaria y Ciudad Bolívar poseen una composición mayor al 50% en estratos bajos 1 y 2, localidades como Kennedy, Fontibón, Engativá, Barrios Unidos, Los Mártires, Antonio Nariño, Puente Aranda y Rafael Uribe Uribe se componen principalmente del estrato 3, con un porcentaje mayor al 50%, Teusaquillo es una localidad principalmente compuesta por estrato 4 con el 75% y las localidades más heterogéneas en este ítem son Chapinero, Usaquén y Suba, donde las dos primeras tienen un porcentaje mayor al 50% en estratos altos 5 y 6. En la **Figura 2.2** se presentan los resultados obtenidos.

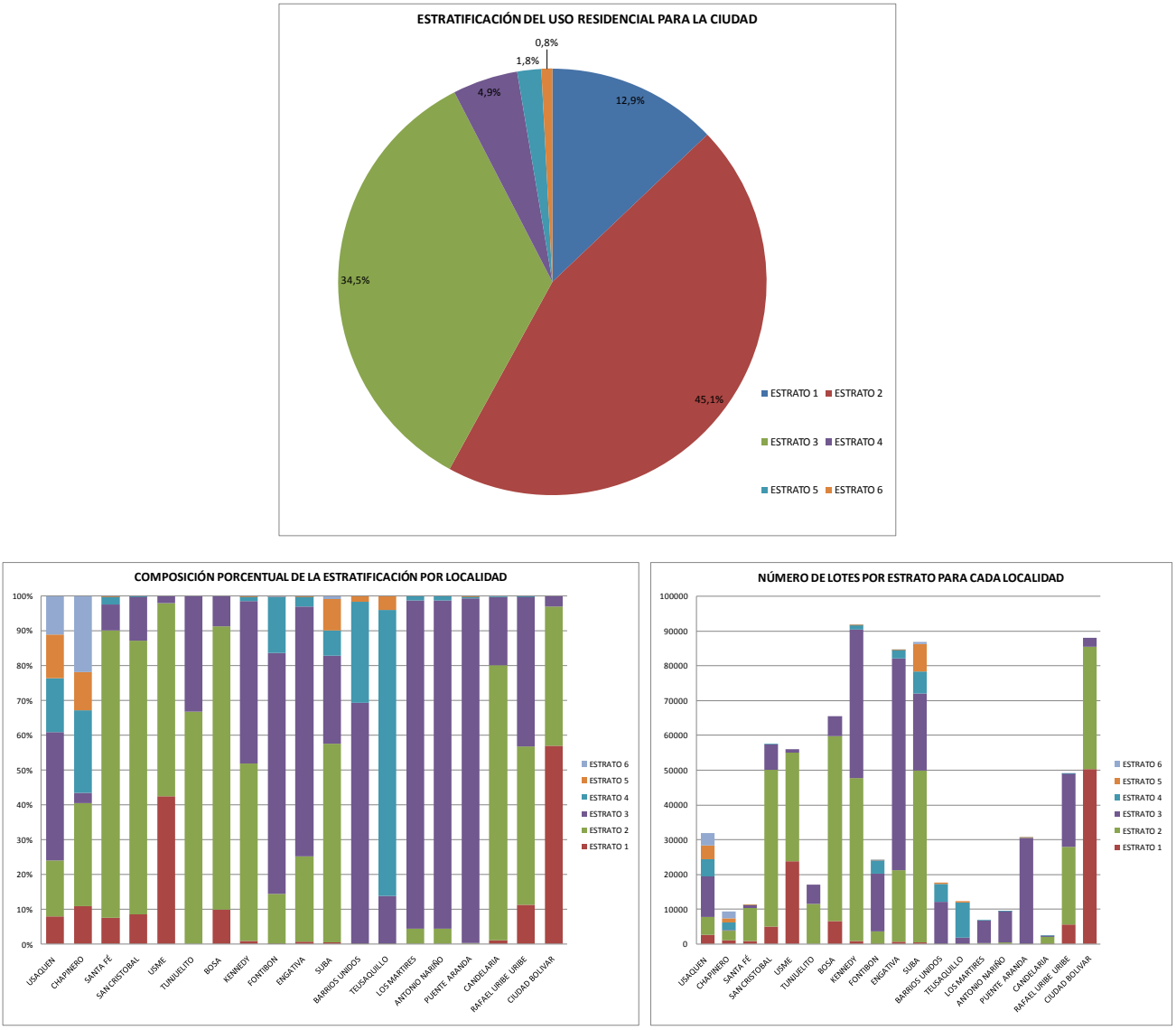


Figura 2.2. Estratificación socioeconómica por lote

2.2.1.3 Año de construcción

La base de datos cuenta con un total de 802.542 registros con reporte del año de construcción, de los cuales un 23% de edificaciones fueron construidas posteriores al año 1998, lo que muestra el auge de la construcción y procesos de renovación urbana en este periodo. Seguido se encuentran con un 28% las edificaciones construidas entre el año de 1985 y 1997 y anterior a esta fecha se encuentra la mayoría de edificaciones con una antigüedad mayor a 25 años con el 39%.

Respecto a la distribución por localidades predominan porcentajes entre el 30% y el 70% de edificaciones con una antigüedad mayor a 25 años excepto en localidades como Usme, Bosa, Suba y Ciudad Bolívar. En la **Figura 2.3** se presentan los resultados obtenidos.



Figura 2.3. Año de construcción de edificaciones

2.2.1.4 Número de pisos

La distribución y variabilidad del número de pisos de las edificaciones en la ciudad es categorizada por grupos: el primero entre uno y dos pisos, el segundo con edificaciones entre tres a seis pisos, el tercero compuesto por edificaciones entre siete y doce pisos, el cuarto con edificaciones entre trece y veinticinco pisos y por último todas aquellas de veintiséis pisos o más. Se tiene en la ciudad principalmente edificaciones de 1 y 2 pisos con el 66.5%, edificaciones entre 3 y 6 pisos con el 32.9% y edificaciones de altura con más de 7 pisos con cerca del 0.6% del total de lotes de la ciudad. En contraste se visualiza en el número de pisos frente al área construida el hecho que se modifica la situación quedando con la mayor participación las edificaciones de 3 a 6 pisos con el 48.5%, seguido por las edificaciones de 1 y 2 pisos con el 36.6% y por las edificaciones de 7 a 12 pisos con el 11.4% del área construida de la ciudad. A nivel de localidad se mantienen las tendencias observadas anteriormente, a excepción de Usaquén, Chapinero, Santa Fe, Fontibón, Suba, Teusaquillo y Candelaria, las cuales poseen una participación que va desde el 10% al 45% en edificaciones de más de 6 pisos frente al área construida. En la **Figura 2.4** se muestran las estadísticas obtenidas.

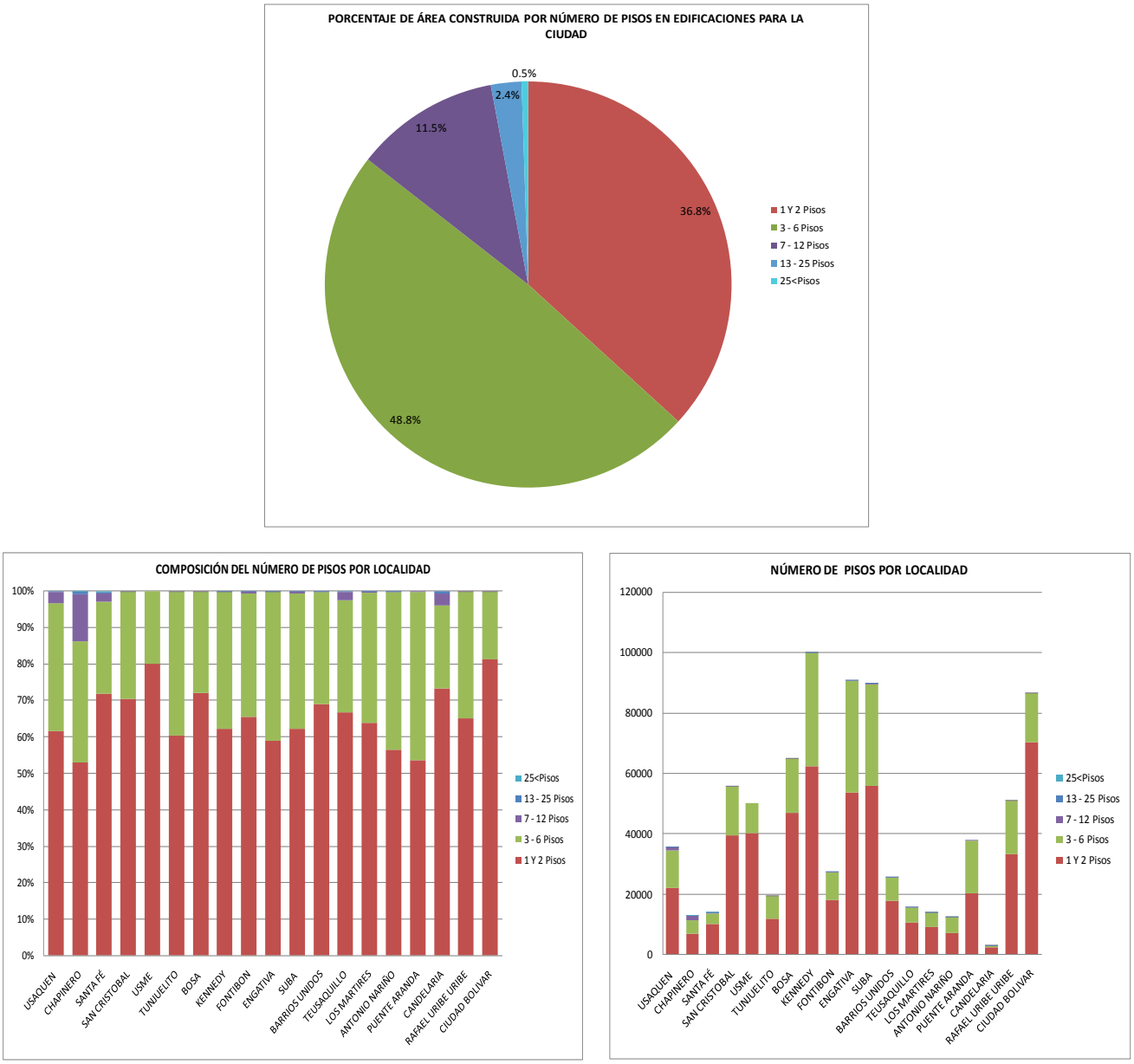


Figura 2.4. Número de pisos de las edificaciones por lote

2.2.1.5 Pendiente del terreno

Para la visualización de la pendiente del terreno de los lotes de la ciudad se realizó la acumulación de la pendiente para cada uno de los lotes así: un grupo si se encuentran en zona plana que, según las categorías del dominio, son los lotes con una pendiente menor a 10°; si se ubican en piedemonte y ladera se acumularon entre 10° y 45°; y en otro grupo todos aquellos con pendiente mayor que 45°. En los resultados se resalta que el 85% de los predios se encuentra en la zona plana frente un 15% en las zonas de piedemonte y ladera. Del panorama por localidades se destacan Usaquén, Chapinero, Santa Fe, San Cristóbal, Usme, Rafael Uribe Uribe y Ciudad Bolívar con porcentajes entre 15% a 45% de lotes en pendientes mayores al 10°. En la **Figura 2.5** se presentan los resultados.

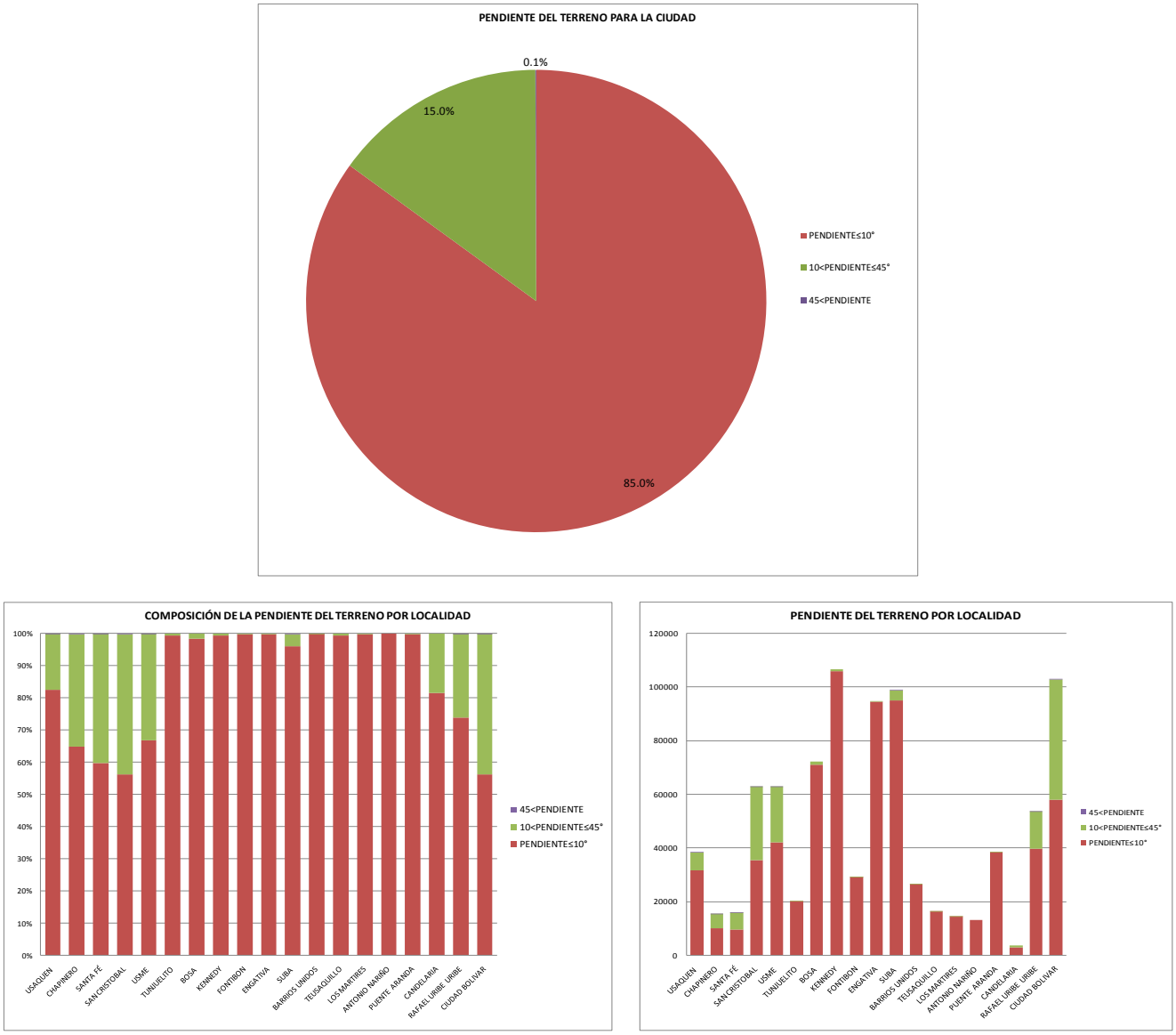


Figura 2.5. Pendiente del terreno de los lotes

2.2.1.6 Población

La proyección de la población para el año 2010 se realizó a partir del censo 2005 que reportó un gran total de 6'511.777 habitantes. Según la recomendación del Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE en su informe de "Proyecciones Departamentales de Población 2005 -2020" (DANE, 2007), la población proyectada para el año 2010 es de 7'363.782 habitantes y la tasa de crecimiento exponencial por quinquenios es de 1.48%. A partir de esta información se proyectó la población, obteniendo como resultado del proceso un total para el año 2010 de 7'350.582 habitantes. A partir de estos resultados se observa que las localidades más habitadas son Suba y Kennedy con más de un millón de habitantes cada una y con el 13.7% y 11.7% respectivamente del total de la población, seguidas de las localidades de Engativá, Ciudad Bolívar y Bosa. En la **Figura 2.6** se presentan los resultados desagregados por localidad.

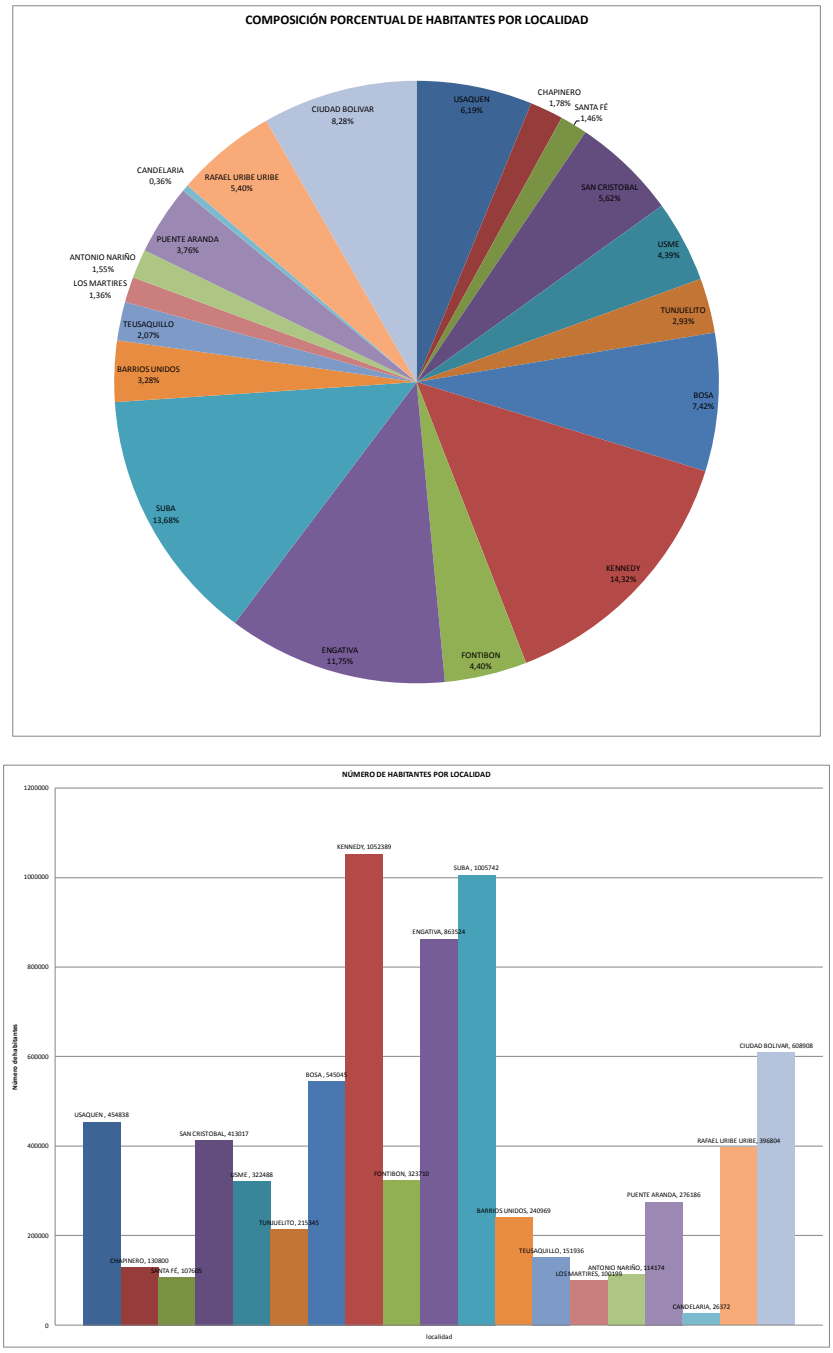
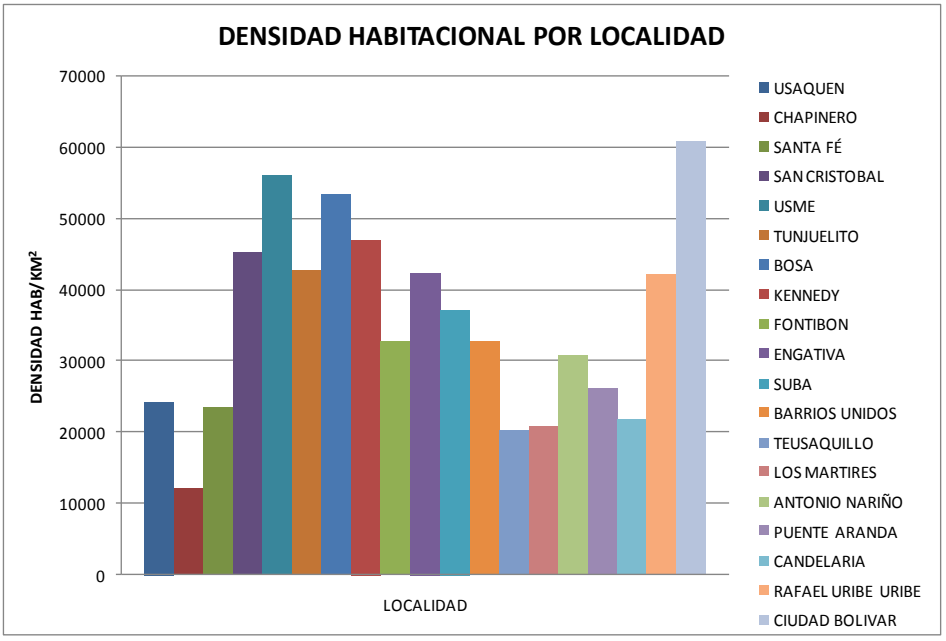
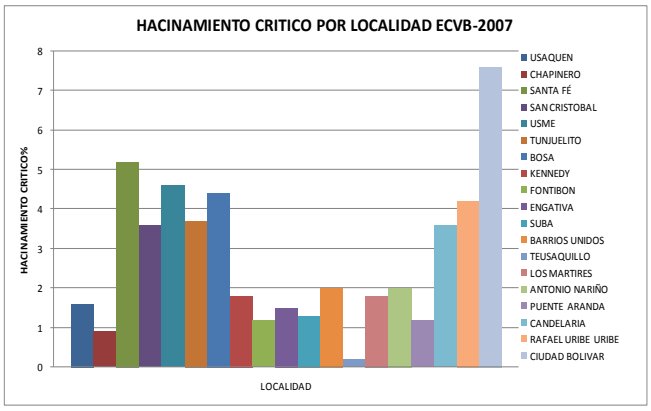


Figura 2.6. Población proyectada 2010

2.2.1.7 Densidad poblacional

La densidad de población en habitantes por kilometro cuadrado se calculó para cada una de las localidades y también para cada uno de los usos del suelo. Del análisis de resultados se observa que localidades deprimidas como Usme, Bosa y Ciudad Bolívar poseen la mayor densidad, se encuentra sobre los 50.000 habitantes por kilómetro cuadrado de área construida, que es consistente con los índices de hacinamiento crítico[1] calculados en la encuesta de calidad de vida para Bogotá en 2007 (Dane - Planeación ver **Figura 2.7**). Con el mismo lineamiento se tienen las localidades de San Cristóbal, Tunjuelito, Kennedy, Engativá y Rafael Uribe Uribe con un valor de densidad poblacional sobre los 40.000 habitantes por kilometro cuadrado de área construida. Se muestra también que la localidad de Chapinero es la que tiene la menor densidad, lo que es acorde con los usos y actividades económicas que se desarrollan. Cabe aclarar que esta información busca representar la localización de la población desde el punto de vista del lugar de vivienda y por consiguiente no contempla el desplazamiento y ubicación de la población durante las horas del día a sus sitios de trabajo o esparcimiento.





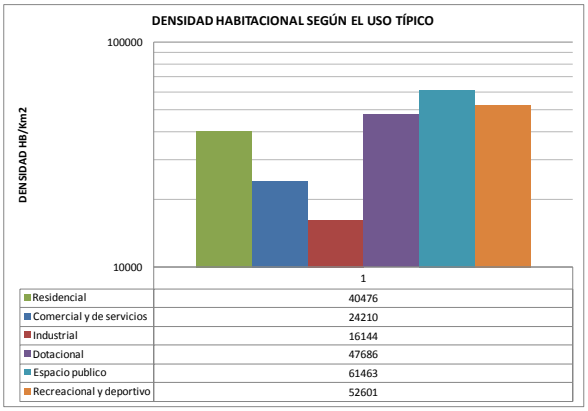


Figura 2.7. Densidad poblacional

[1] El hacinamiento crítico es una medida que relaciona el número de personas y el número de cuartos disponibles en la vivienda, considerándose crítico cuando habitan 3 o más personas por cuarto.

2.2.2 Líneas vitales

Con el fin de ilustrar la distribución, las tendencias y el nivel de representatividad de los datos, se presenta a continuación la estadística descriptiva para las coberturas de líneas vitales dentro de las cuales se encuentran las redes de gas natural, acueducto, alcantarillado sanitario, pluvial y combinado, energía eléctrica, telecomunicaciones, malla vial y elementos puntuales de las redes, como tanques, puentes y postes de energía eléctrica.

2.2.2.1 Acueducto

La cobertura de acueducto está conformada por un total de 7.982 km, de los cuales 504 km (6%) corresponden a la red primaria y el complemento de 7.478 km (94%) a la red secundaria, el material predominante de la conducción es PVC con un 64% seguido del asbesto cemento con el 27% y en menor proporción los materiales metálicos. Al ver este mismo panorama pero desagregado por categoría de la red se tiene que para la red primaria el material más común es el concreto con un 64%, seguido por un 10% de hierro dúctil, el concreto pretensado con una participación del 7%, 5% hierro acerado y un 5% en PVC. Para la red secundaria se mantiene la tendencia general con un 29% de tubería de asbesto cemento contra un 68% de PVC. En referencia al diámetro de la conducción se encuentra que el 46% se compone de tuberías de menos de 10 cm seguido de conducciones entre 10 cm y 20 cm con un 41%, el 8% de tuberías de 20 cm a 50 cm y 5% para todas las conducciones con diámetros mayores a 50 cm. Desagregando los resultados por diámetro, la red primaria tiene el 72% con más de 50 cm seguido de un 25% de conducciones entre 20 cm y 50 cm. De la misma manera para la red secundaria se tiene que el 49% es de diámetros de menos de 10 cm, seguido de 41% de tuberías entre 10 cm y 20 cm y un pequeño 7% de diámetros entre 20 cm y 50 cm. En la **Figura 2.8** y **Figura 2.9** se presentan los resultados.

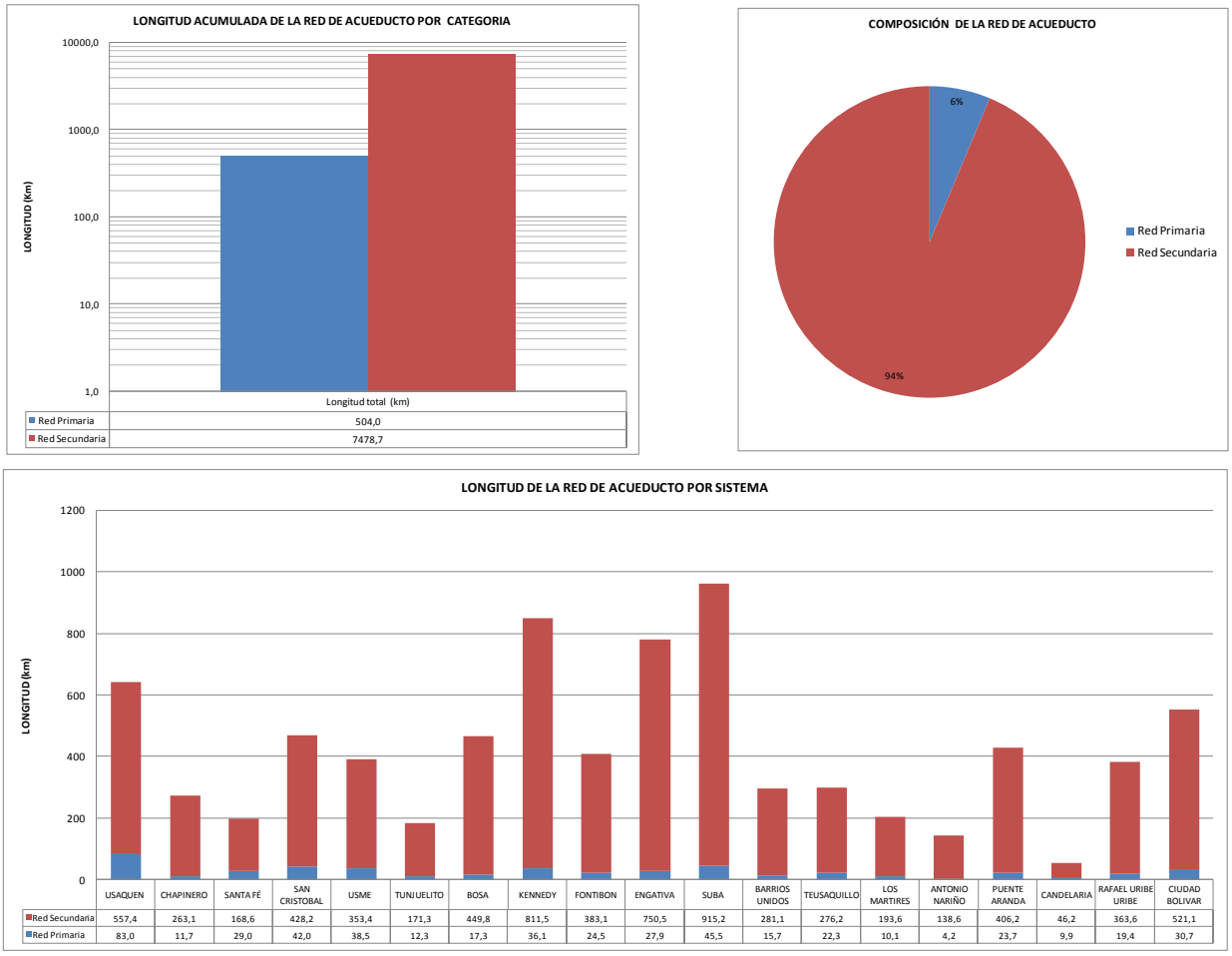


Figura 2.8. Acueducto



Figura 2.9. Red de acueducto por diámetro y por material

2.2.2.2 Alcantarillado

El sistema de alcantarillado consta de 7748 km de longitud, de los cuales el 53% componen la red de alcantarillado sanitario, seguido de la red pluvial con un 28% y la red combinada con el 19% (ver **Figura 2.10**). La red de alcantarillado sanitario posee una longitud de 4.097 km, de los cuales 285 km componen la red primaria, 1.344 km la red secundaria y 2.468 km la red menor, el material predominante en la conducción es el concreto con el 54%, seguido del gres con 43% y en menor proporción el PVC con el 2% y el polietileno de alta densidad con el 1%. Con relación al diámetro en la red sanitaria predominan conducciones entre 10 y 20 cm con el 59%, con el 31% están las tuberías con diámetros entre 20 cm y 50 cm y por último con el 10% están todas aquellas con diámetros de más de 50 cm. De la distribución de la red sanitaria por localidad se puede decir que localidades como Chapinero, Santa Fe, Teusaquillo, Candelaria, Los Mártires, Antonio Nariño y Barrios Unidos tienen una participación menor al 20% de esta red dentro de su sistema de alcantarillado, dado que son las localidades más antiguas y en la época de urbanización de estas zonas la tendencia del diseño apuntaba a alcantarillados combinados, pero en términos generales el resto de localidades poseen como mínimo el 40% de alcantarillado sanitario con valores que alcanzan más del 70% (ver **Figura 2.11**).

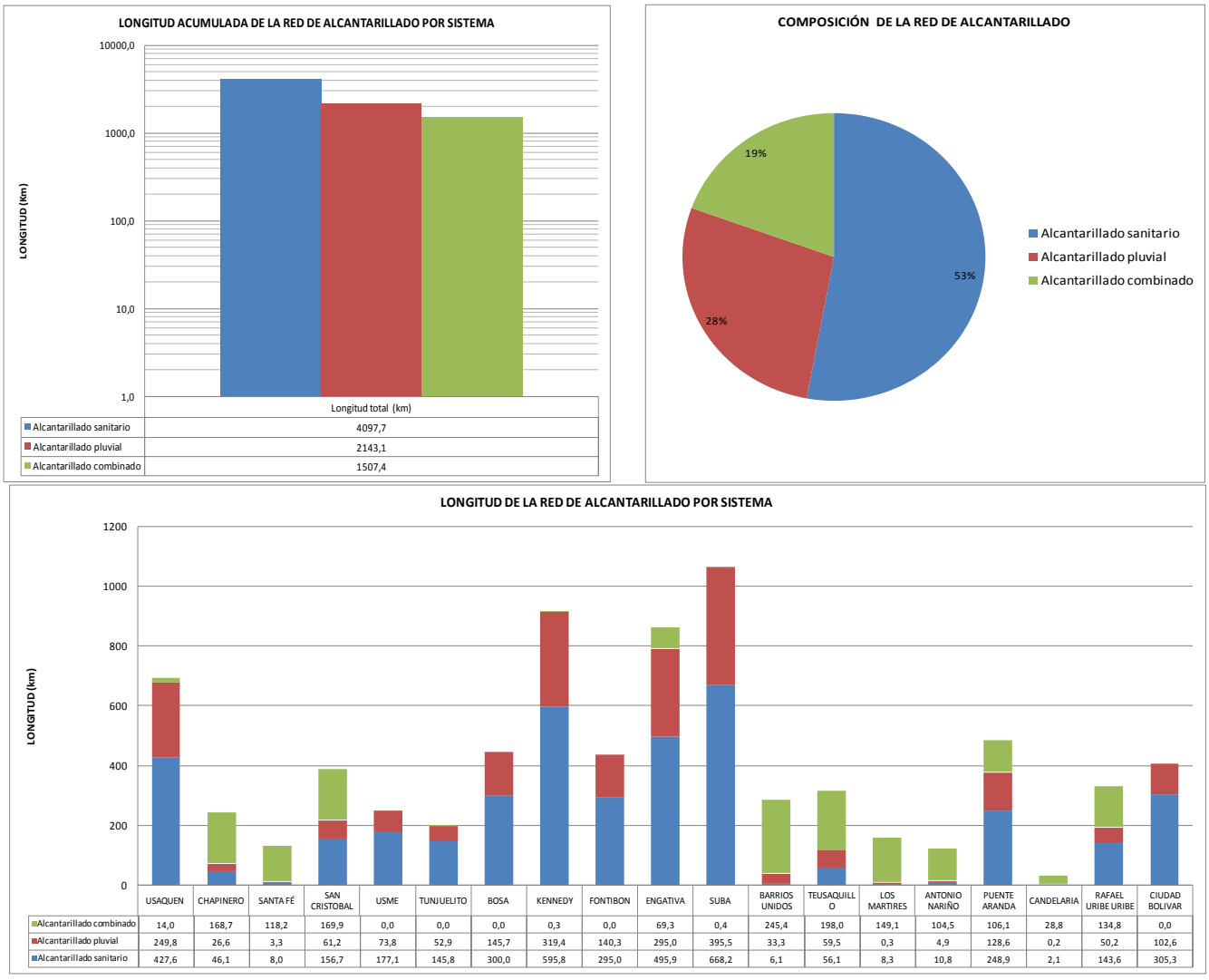


Figura 2.10. Composición del sistema de alcantarillado

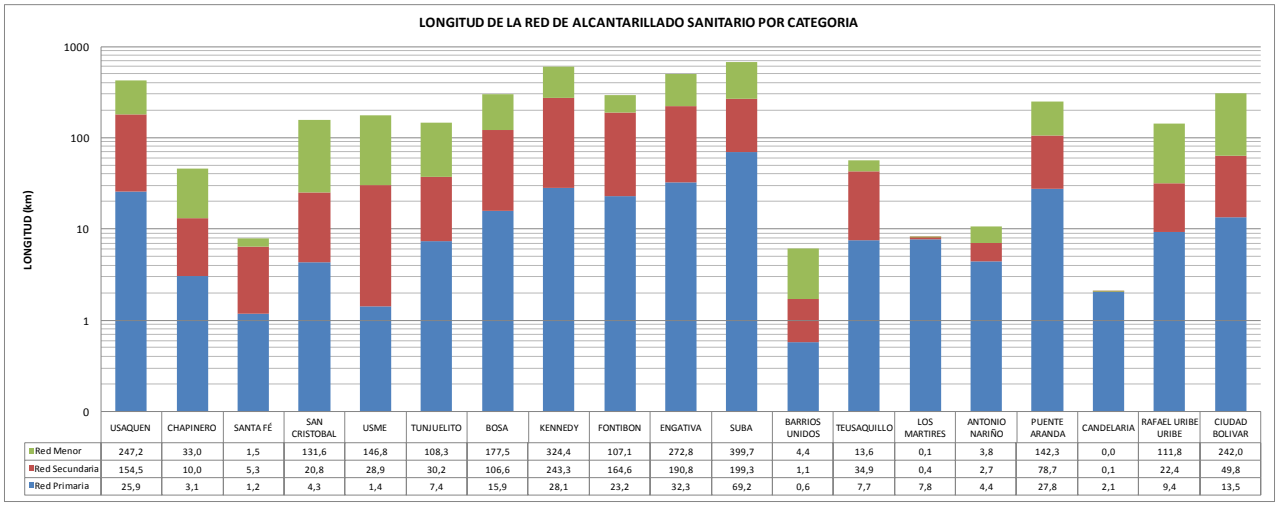
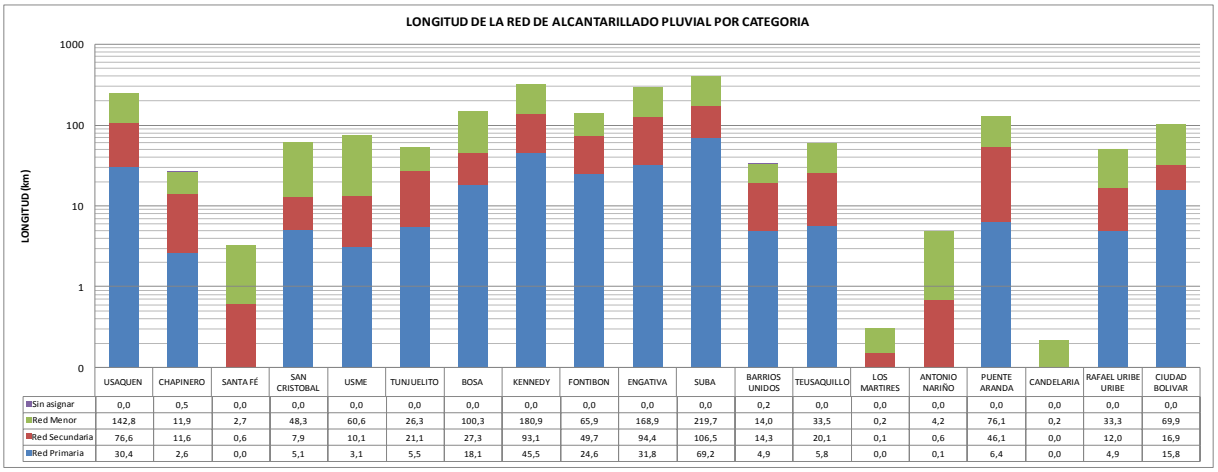


Figura 2.11. Alcantarillado sanitario

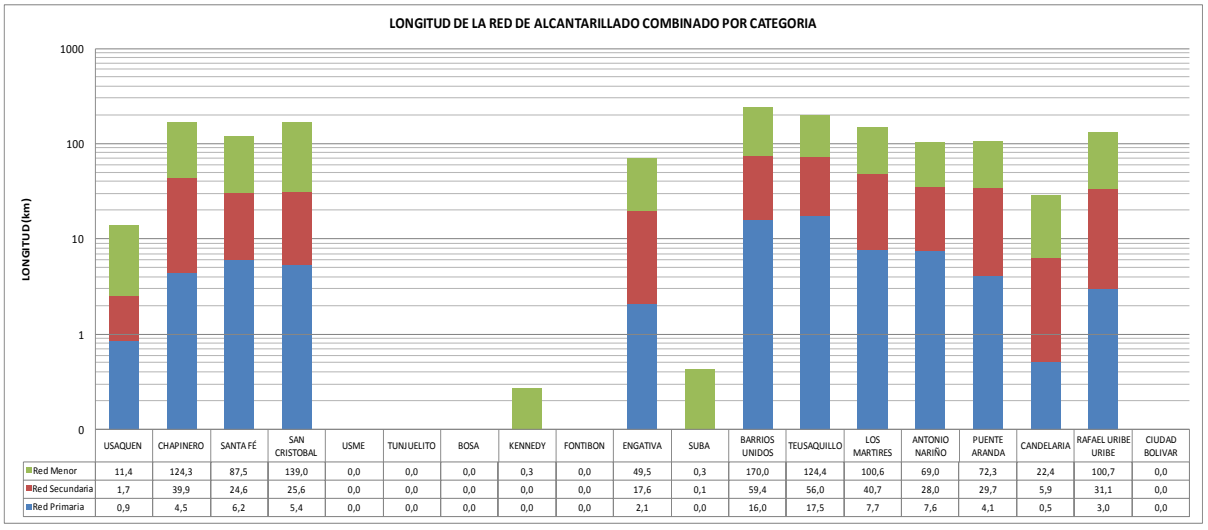
La red de alcantarillado pluvial posee una longitud de 2.143 km de los cuales 273 km componen la red primaria, 609 km la red secundaria y 1259 km la red menor. El material predominante en la conducción es el concreto con el 78%, seguido del gres con 8%, en menor proporción el PVC con el 2% y existe un 12% de la longitud que no tiene material asignado. Con relación al diámetro en la red sanitaria predominan conducciones entre 20 y 50 cm con el 58%, con el 40% están las tuberías con diámetros mayores de 50 cm y por último con el 2% están aquellas con diámetros entre 10 y 20 cm. En relación a la distribución de la red pluvial por localidad se puede decir que localidades como Santa Fe, Candelaria, Los Mártires y Antonio Nariño tienen una participación menor al 3% de esta red, debido a que en estas localidades predomina el alcantarillado combinado, en términos generales el resto de localidades están compuestas con porcentajes que varían entre el 25% y el 40 % de red pluvial (ver **Figura 2.12**).



	USAQUEN	CHAPINERO	SANTA FÉ	SAN CRISTOBAL	USME	TUNJUELITO	BOSA	KENNEDY	FONTIBON	ENGATIVA	SUBA	BARRIOS UNIDOS	TEUSAQUILLO	LOS MARTIRES	ANTONIO NARIÑO	PUENTE ARANDA	CANDELARIA	RAFAEL URIBE URIBE	CIUDAD BOLIVAR
Sin asignar	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Red Menor	142,8	11,9	2,7	48,3	60,6	26,3	100,3	180,9	65,9	168,9	219,7	14,0	33,5	0,2	4,2	76,1	0,2	33,3	69,9
Red Secundaria	76,6	11,6	0,6	7,9	10,1	21,1	27,3	93,1	49,7	94,4	106,5	14,3	20,1	0,1	0,6	46,1	0,0	12,0	16,9
Red Primaria	30,4	2,6	0,0	5,1	3,1	5,5	18,1	45,5	24,6	31,8	69,2	4,9	5,8	0,0	0,1	6,4	0,0	4,9	15,8

Figura 2.12. Alcantarillado pluvial

La red de alcantarillado combinado, tiene una longitud de 1.507 km de los cuales 75 km componen la red primaria, 360 km la red secundaria y 1.071 km la red menor. El material predominante en la conducción es gres con el 49%, seguido del concreto con el 38% y en menor proporción el PVC con el 7% y el polietileno de alta densidad con el 6%. Con relación al diámetro en la red combinada predominan conducciones entre 20 y 50 cm con el 60%, con el 21 % están las tuberías con diámetros mayores de 50 cm y por último con el 19% están todas aquellas con diámetros entre 10 y 20 cm. De la distribución de la red combinada por localidad se aprecia que localidades como Chapinero, Santa Fe, Barrios unidos, Teusaquillo, Candelaria, Los Mártires y Antonio Nariño tienen una participación mayor al 60%, las localidades de San Cristóbal, Puente Aranda y Rafael Uribe Uribe están compuestas con porcentajes que varían entre el 20% y el 45 % de red combinada y en el resto de localidades el porcentaje no supera el 5%. En la **Figura 2.13** se presentan los resultados.

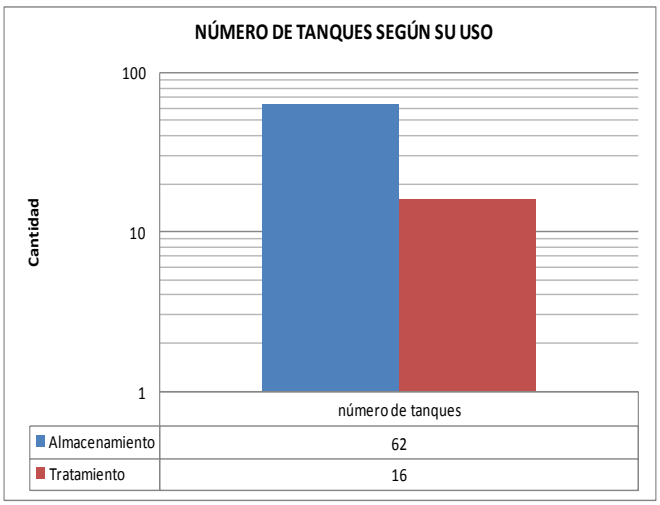


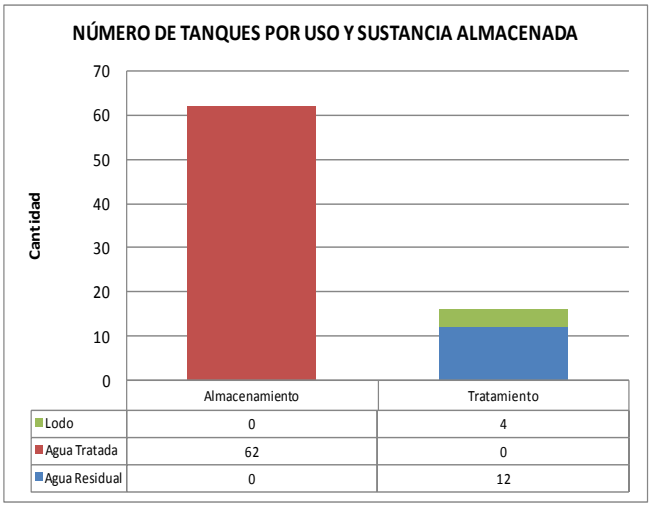
	USAQUEN	CHAPINERO	SANTA FÉ	SAN CRISTOBAL	USME	TUNJUELITO	BOSA	KENNEDY	FONTIBON	ENGATIVA	SUBA	BARRIOS UNIDOS	TEUSAQUILLO	LOS MARTIRES	ANTONIO NARIÑO	PUENTE ARANDA	CANDELARIA	RAFAEL URIBE URIBE	CIUDAD BOLIVAR
Red Menor	11,4	124,3	87,5	139,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	49,5	0,3	170,0	124,4	100,6	69,0	72,3	22,4	100,7	0,0
Red Secundaria	1,7	39,9	24,6	25,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,6	0,1	59,4	56,0	40,7	28,0	29,7	5,9	31,1	0,0
Red Primaria	0,9	4,5	6,2	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	16,0	17,5	7,7	7,6	4,1	0,5	3,0	0,0

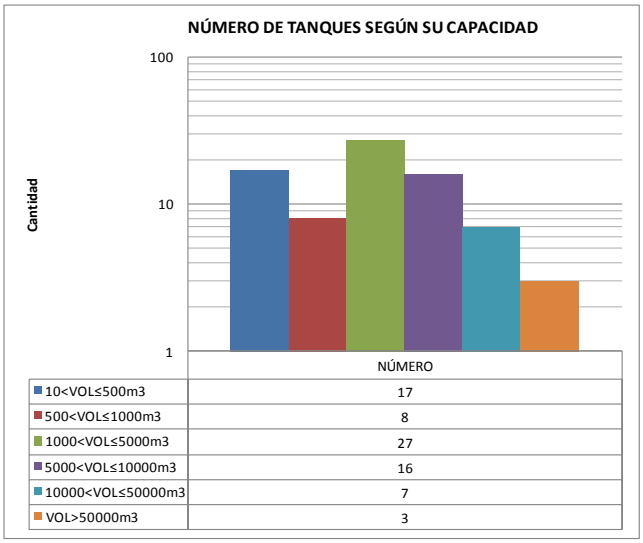
Figura 2.13. Alcantarillado combinado

2.2.2.3 Tanques

La información de los tanques recopilada fue reportada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, en total son 78 tanques, de los cuales el 80% (62 unidades) tienen el uso exclusivo de almacenamiento de agua tratada, seguido del 15% (12 unidades) de tratamiento de agua residual y un 5% de tanques de tratamiento y almacenamiento de lodos. Referente a la geometría, el 72% son rectangulares y cuadrados, el 23% son circulares y de geometría irregular un 5%. Respecto a la capacidad se encuentra 35% tienen volúmenes entre 1.000 y 5.000 m^3, un 22% tienen volúmenes entre 10 y 500 m^3, seguidos de cerca con el 20% aquellos de volúmenes de entre 5.000 y 10.000 m^3, luego con el 13% los de más de 10.000m^3. En lo concerniente al material de los tanques reportados se encuentra que la mayoría es en concreto reforzado para un 97.4% contra un 2.6% en acero. En la **Figura 2.14** se detallan los resultados.







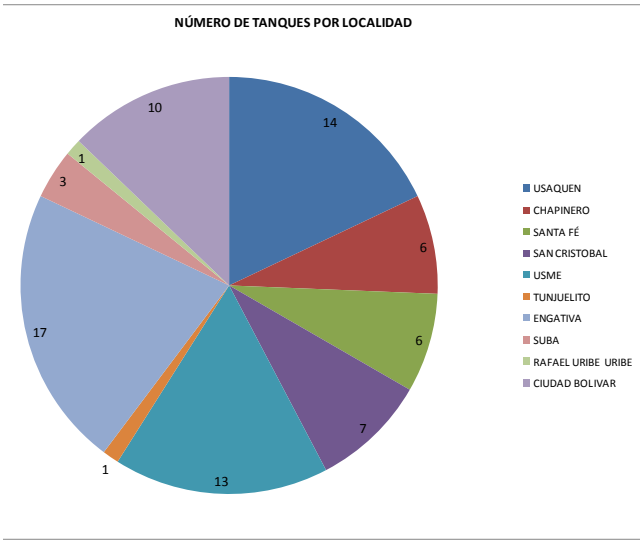


Figura 2.14. Tanques

2.2.2.4 Gas natural

Esta cobertura consta de un total de 1898 km de longitud de red, distribuido en 276 km de la red primaria y 1622 km en la red secundaria, la diferenciación entre cada uno de estos niveles de conducción se da principalmente por el material y diámetro. Respecto al material se concluye que el 15% de la red es de acero, lo que corresponde a 276 km, valor que coincide con la longitud de la red primaria o red de distribución principal, el 85% restante corresponde a conducción en polietileno de alta densidad para la red de distribución secundaria. En lo relacionado al diámetro de conducción se tiene que el más común de la red es el de 10 cm con 612 km de longitud que corresponde al 32% del total de la red, seguido de la conducción en diámetro de 5 cm con 485 km de longitud que constituye el 26% de la red y la conducción de 7.5 cm con 473 km de longitud que corresponde al 25% del total. En la **Figura 2.15** se presentan los resultados.

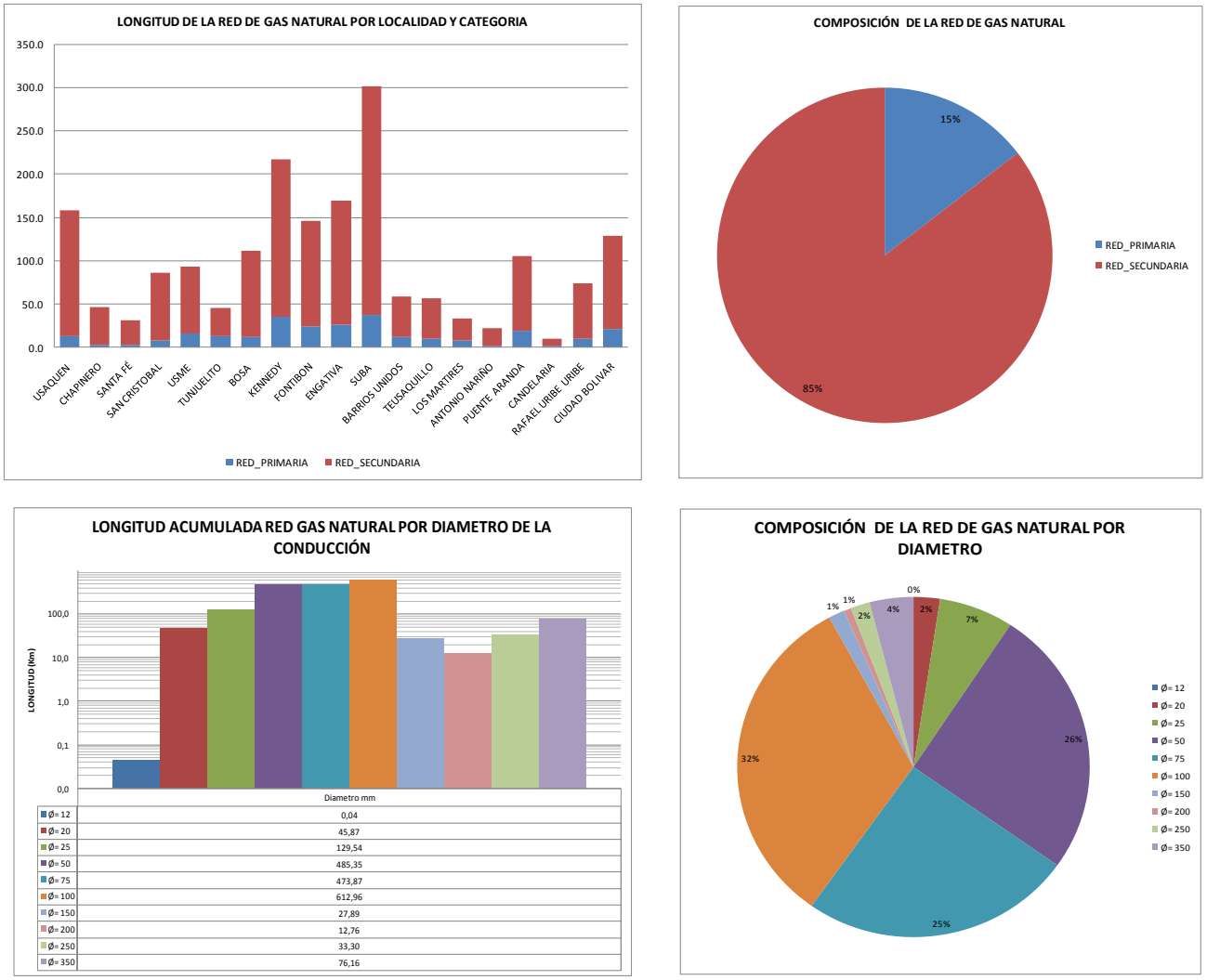
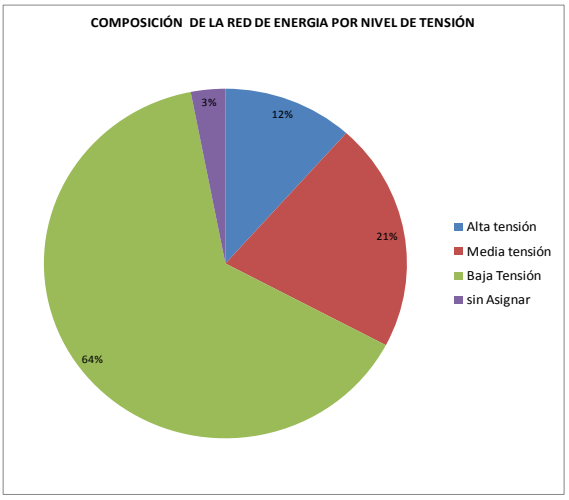
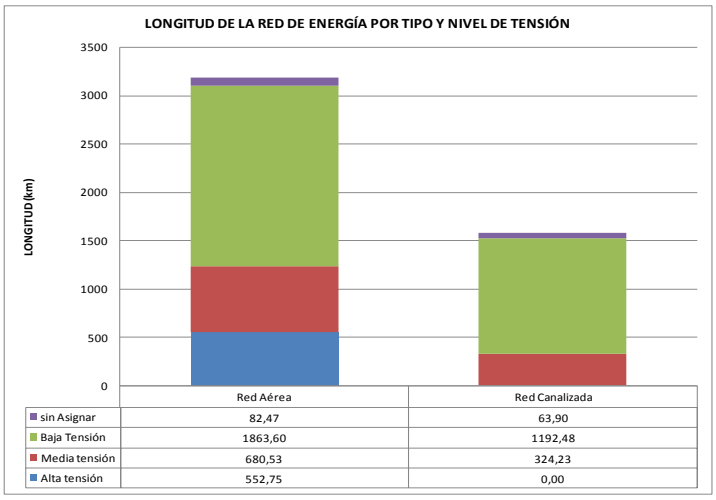


Figura 2.15. Gas natural

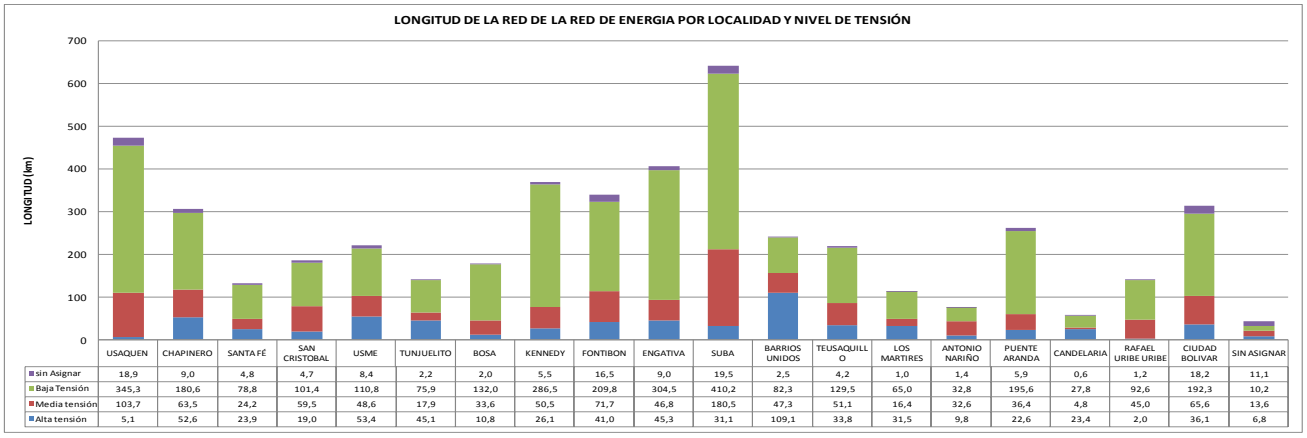
2.2.2.5 Energía eléctrica

La cobertura de información de energía contiene un total de 4.759 km de longitud, de la cual el 66.7% corresponde a la red aérea y el 33.3% hace referencia a la red canalizada. Se observa que Chapinero, Santa Fe, Teusaquillo y Candelaria poseen más del 50% de su sistema de distribución eléctrica canalizado, destacándose también Usaquén y Los Mártires con porcentajes superiores al 45%, para el resto de las localidades la red de distribución es mayoritariamente aérea. Otro ítem importante de revisión es el nivel de tensión de la red, se reporta un 64% de baja tensión, 21% es de media tensión y 12% de alta tensión, adicionalmente aparece un pequeño porcentaje del 3% para red sin nivel de tensión asignado. En la **Figura 2.16** se presentan los resultados.

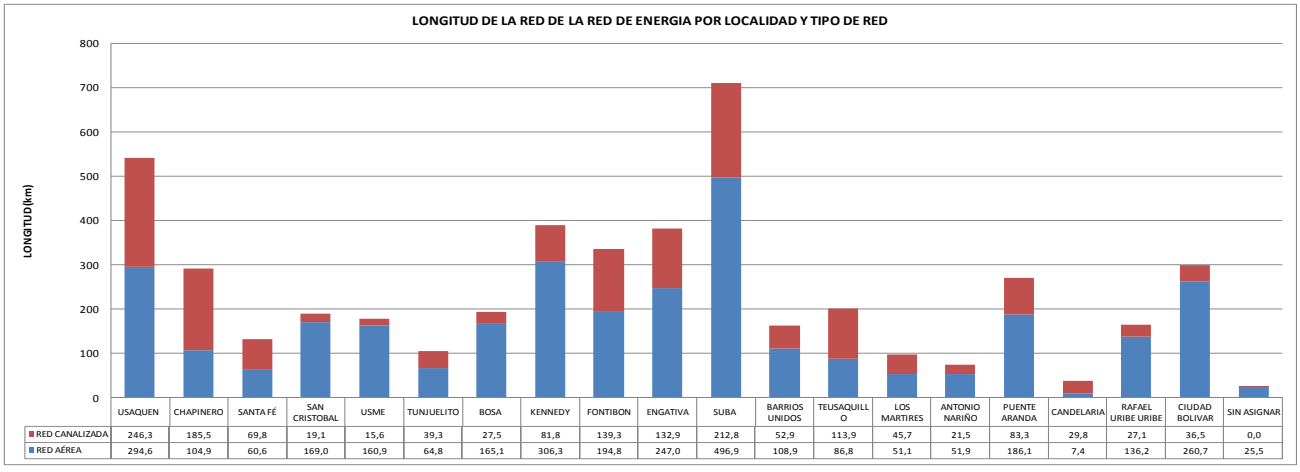




	Red Aérea	Red Canalizada
sin Asignar	82,47	63,90
Baja Tensión	1863,60	1192,48
Media tensión	680,53	324,23
Alta tensión	552,75	0,00



	USAQUEN	CHAPINERO	SANTA FÉ	SAN CRISTOBAL	USME	TUNJUELITO	BOSA	KENNEDY	FONTIBON	ENGATIVA	SUBA	BARRIOS UNIDOS	TEUSAQUILLO	LOS MARTIRES	ANTONIO NARIÑO	PUENTE ARANDA	CANDELARIA	RAFAEL URIBE URIBE	CIUDAD BOLIVAR	SIN ASIGNAR
sin Asignar	18,9	9,0	4,8	4,7	8,4	2,2	2,0	5,5	16,5	9,0	19,5	2,5	4,2	1,0	1,4	5,9	0,6	1,2	18,2	11,1
Baja Tensión	345,3	180,6	78,8	101,4	110,8	75,9	132,0	286,5	209,8	304,5	410,2	82,3	129,5	65,0	32,8	195,6	27,8	92,6	192,3	10,2
Media tensión	103,7	63,5	24,2	59,5	48,6	17,9	33,6	50,5	71,7	46,8	180,5	47,3	51,1	16,4	32,6	36,4	4,8	45,0	65,6	13,6
Alta tensión	5,1	52,6	23,9	19,0	53,4	45,1	10,8	26,1	41,0	45,3	31,1	109,1	33,8	31,5	9,8	22,6	23,4	2,0	36,1	6,8

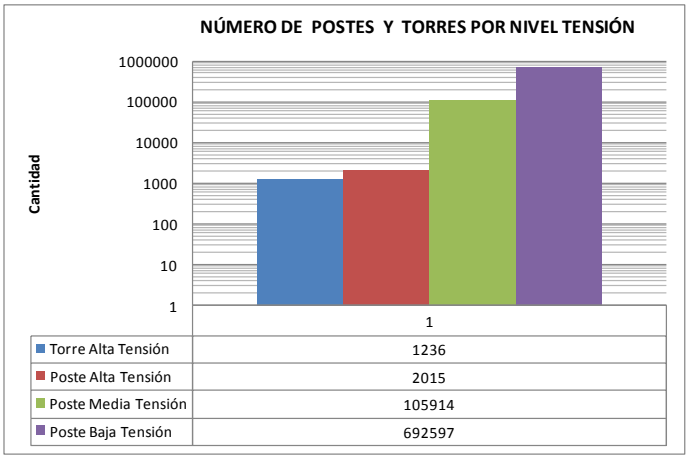


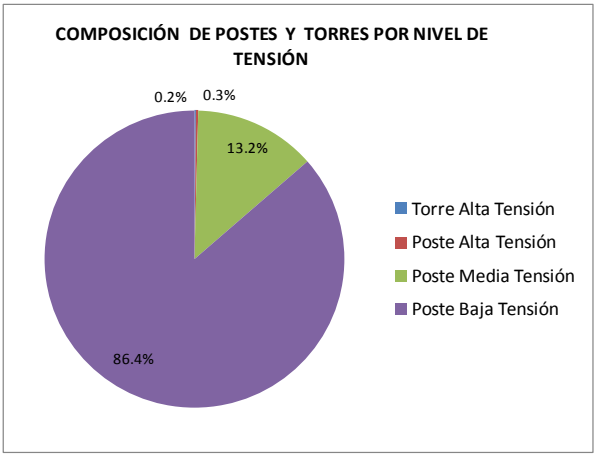
	USAQUEN	CHAPINERO	SANTA FÉ	SAN CRISTOBAL	USME	TUNJUELITO	BOSA	KENNEDY	FONTIBON	ENGATIVA	SUBA	BARRIOS UNIDOS	TEUSAQUILLO	LOS MARTIRES	ANTONIO NARIÑO	PUENTE ARANDA	CANDELARIA	RAFAEL URIBE URIBE	CIUDAD BOLIVAR	SIN ASIGNAR
RED CANALIZADA	246,3	185,5	69,8	19,1	15,6	39,3	27,5	81,8	139,3	132,9	212,8	52,9	113,9	45,7	21,5	83,3	29,8	27,1	36,5	0,0
RED AÉREA	294,6	104,9	60,6	169,0	160,9	64,8	165,1	306,3	194,8	247,0	496,9	108,9	86,8	51,1	51,9	186,1	7,4	136,2	260,7	25,5

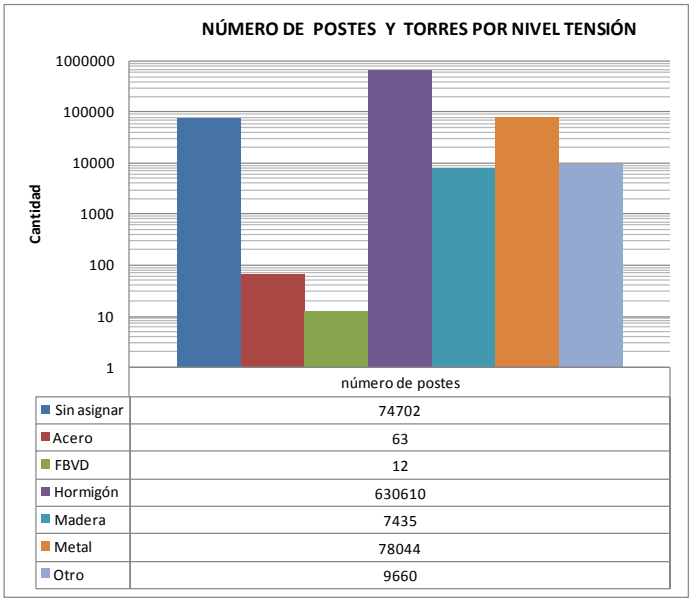
Figura 2.16. Energía eléctrica (cableados)

La red de energía eléctrica para la ciudad está soportada por un total de 801.762 apoyos (torres y postes) de los cuales el 0.4% (3.251) corresponde al soporte de la red de alta tensión, que a su vez se subdivide en 1.236 torres y 2.015 postes. De la misma manera la red de media tensión se soporta en el 13.2% (105.914) de los apoyos que en su totalidad son postes y por último con el más alto porcentaje se encuentran los apoyos de la red de baja tensión con un 86.4% (692.597).

El material más frecuente en los apoyos de la red es el concreto con un 78.8%, seguido de los apoyos metálicos con un 9.8% de participación, los apoyos en madera con un 1%. El 10% aproximadamente corresponde a apoyos sin material asignado. En la **Figura 2.17** se presentan los gráficos.







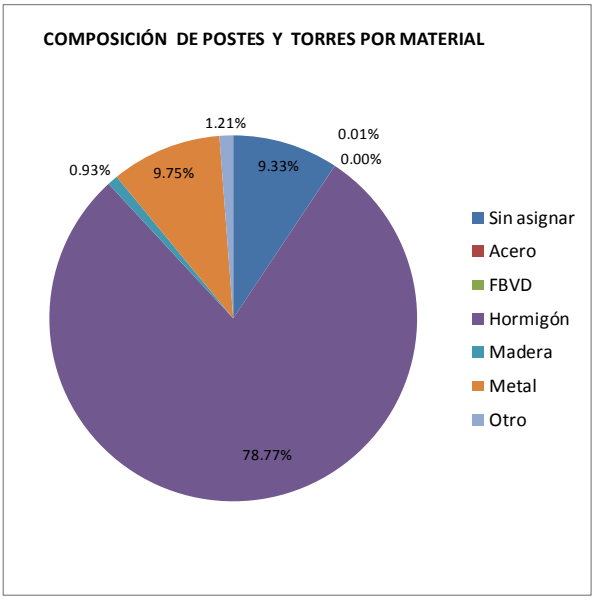
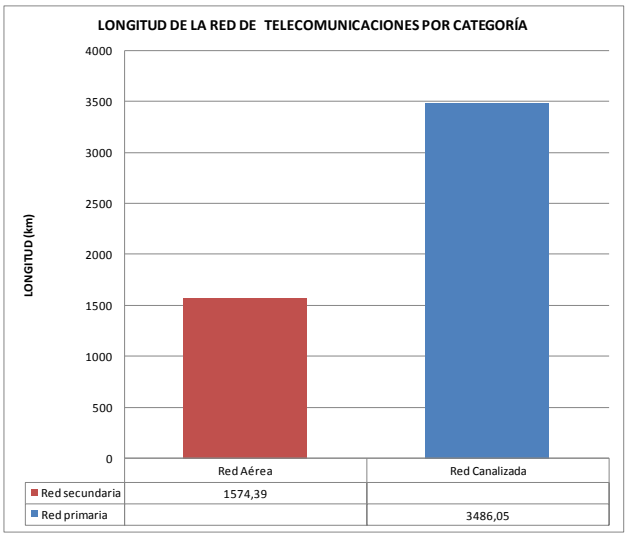
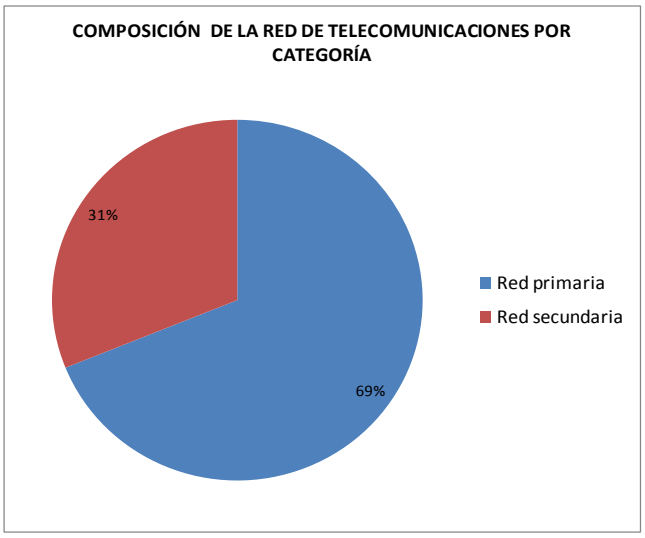


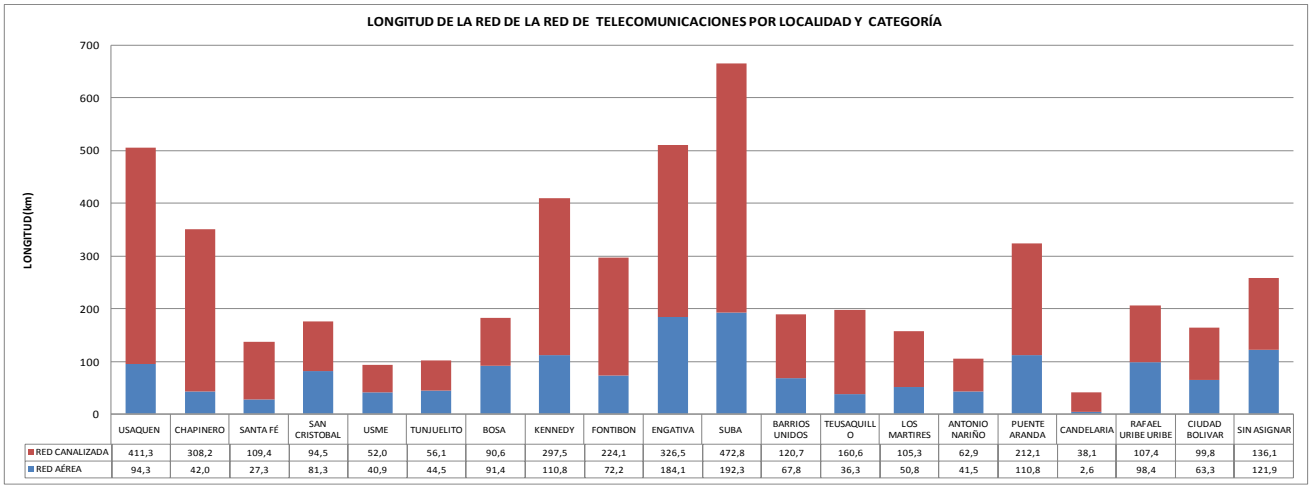
Figura 2.17. Energía eléctrica (postes y torres)

2.2.2.6 Telecomunicaciones

La cobertura de telecomunicaciones disponible está compuesta por 5.060 km de red de los cuales el 55% pertenece a la empresa de telecomunicaciones Telefónica Telecom, en el 38% se encuentra la Empresa de Teléfonos de Bogotá ETB y en el 7% las Empresas Públicas de Medellín -EPM-. En proporción respecto al tipo de red se tiene que el 68.8% corresponde a red canalizada o enterrada y el 31.2% restante pertenece a la red aérea. De acuerdo a la distribución de la red por localidades se encuentra que Usaquén, Chapinero, Santa Fe, Kennedy, Fontibón, Suba, Teusaquillo y Candelaria tienen un 70% o más de red canalizada, localidades como Engativá, Barrios Unidos, Los Mártires, Antonio Nariño, Puente Aranda, y Ciudad Bolívar tienen entre el 60% y 70% de su red de telecomunicaciones por vía canalizada, las demás localidades se distribuyen la red de una forma equilibrada entre red canalizada y aérea. En la **Figura 2.18** se presentan los resultados.







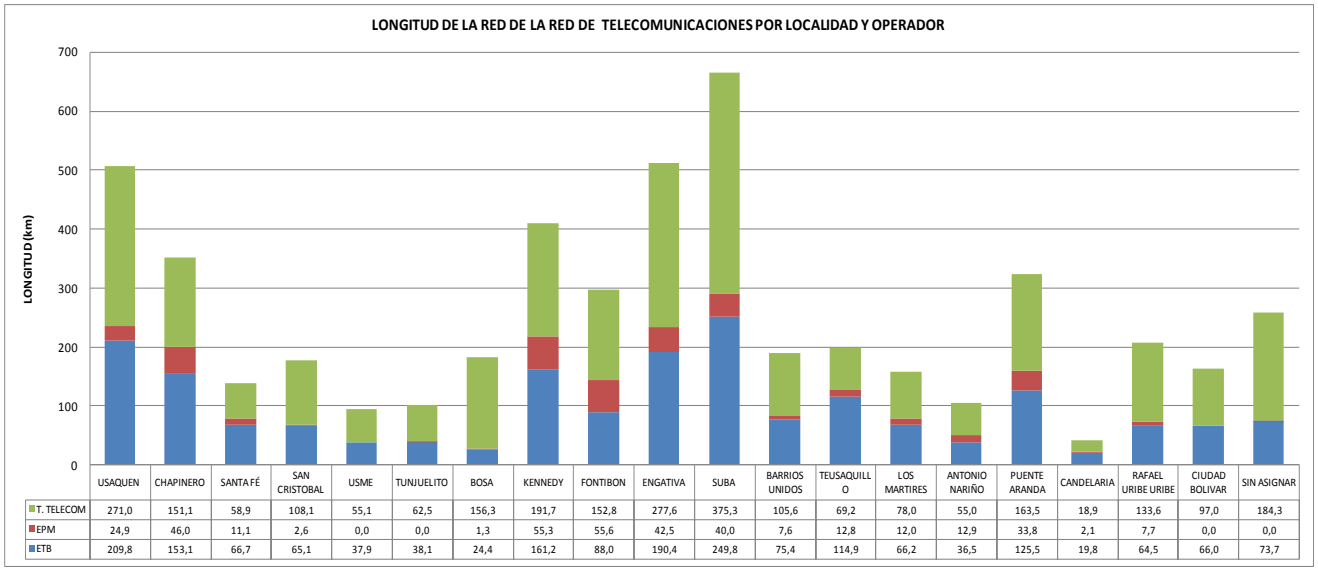
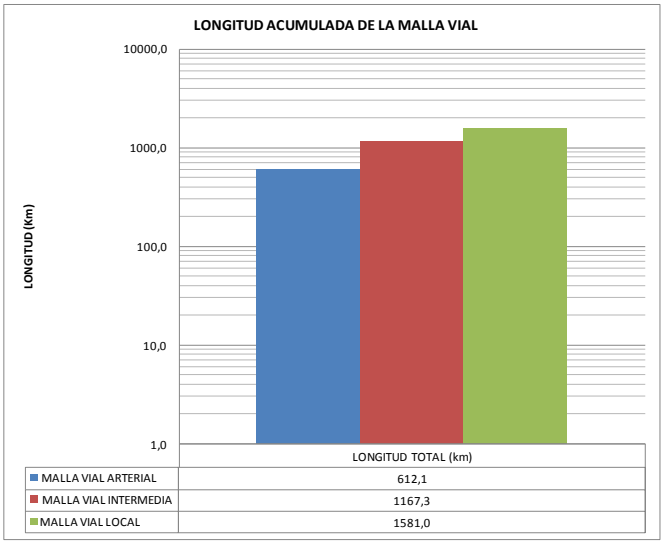


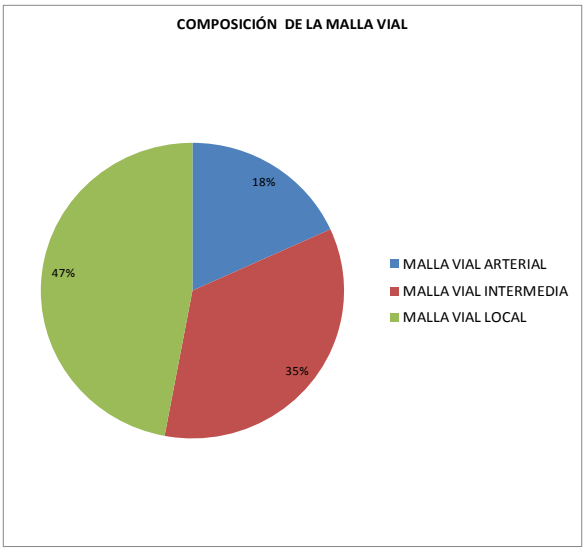
Figura 2.18. Telecomunicaciones

2.2.2.7 Malla vial

El Instituto de Desarrollo Urbano –IDU- suministró la cobertura de malla vial de la ciudad de Bogotá, que está constituida por 15.063 km, de los cuales el 15% (2332.9 km) constituyen la malla vial arterial, la malla vial intermedia con el 21% (3.162 km) y el 64% (9.568 km) la malla vial local. El material predominante de la superficie de rodadura es el pavimento flexible con un 60% (4.947 km), le sigue con un 21% (1.740 km) el pavimento rígido, continua el afirmado con el 16% (1342 km) y el 3% restante se distribuye en adoquín de arcilla o concreto. Se observa que el afirmado constituye una gran proporción de la malla vial de la ciudad, por lo tanto se detalla el análisis a nivel de localidades en donde se encuentra que las localidades de Usme, Bosa y Ciudad Bolívar poseen porcentajes de este material en aproximadamente el 40% respecto al total de la malla vial de cada localidad, de la misma manera las localidades de Santa fe, San Cristóbal, Kennedy, Fontibón, Suba y Rafael Uribe Uribe tiene porcentajes mayores del 10% de este material. Respecto al pavimento rígido se destacan las localidades de San Cristóbal, Ciudad Bolívar, Suba y Kennedy que tienen más de 200 km en esta superficie de rodadura, pero el pavimento flexible es mayoritario en todas las localidades, exceptuando Usme y Ciudad Bolívar donde el afirmado predomina.

Con relación a la sección transversal predominante de la malla vial de la ciudad se encuentra que el 70% está compuesto por vías de 13 m o menos de sección transversal, se tiene un 23% en vías de sección mayor de 13 m, y un 7% aparecen dentro de la cobertura como segmentos sin asignación. En la **Figura 2.19** y **Figura 2.20** se presentan los resultados.





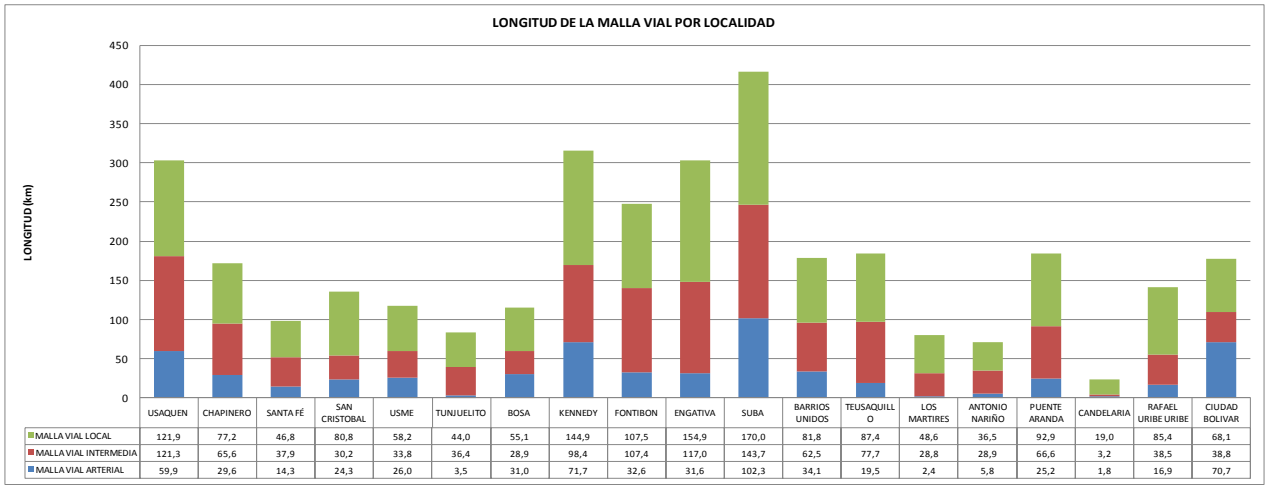
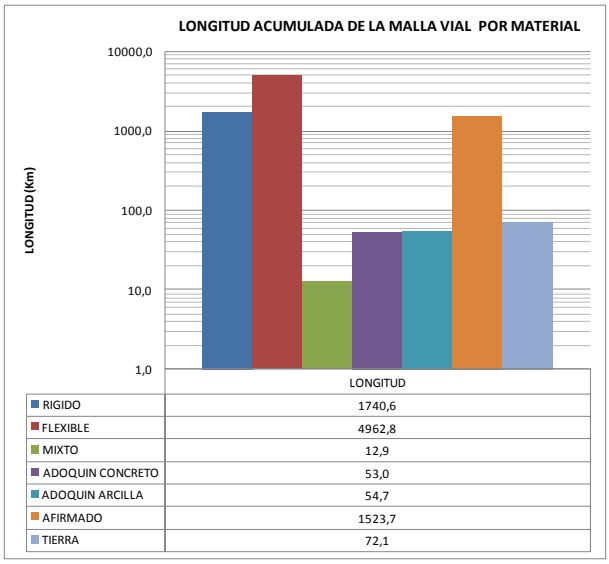
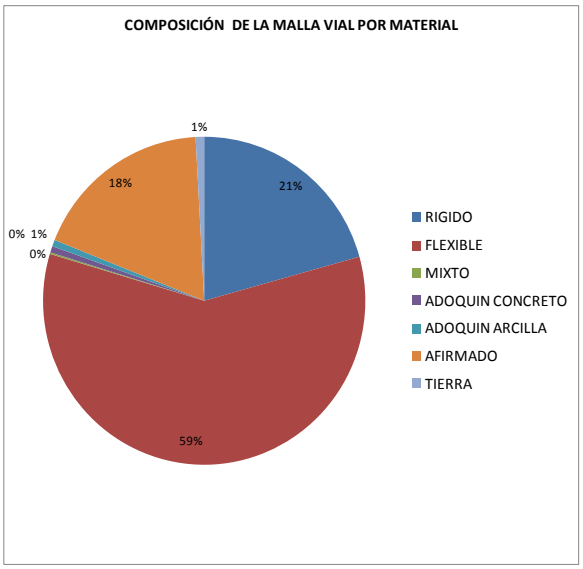
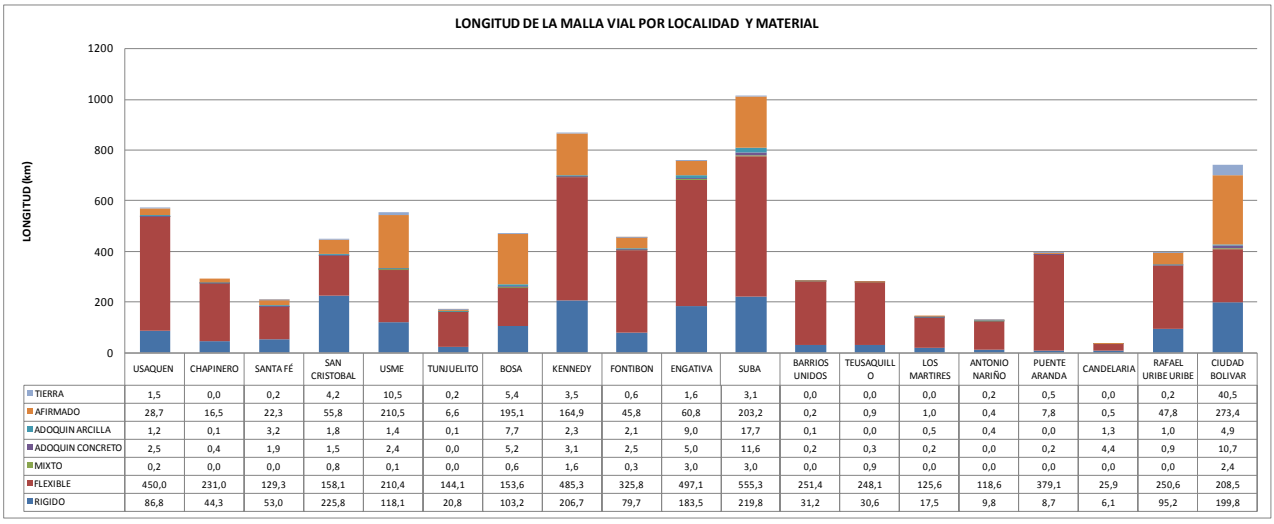


Figura 2.19. Malla vial

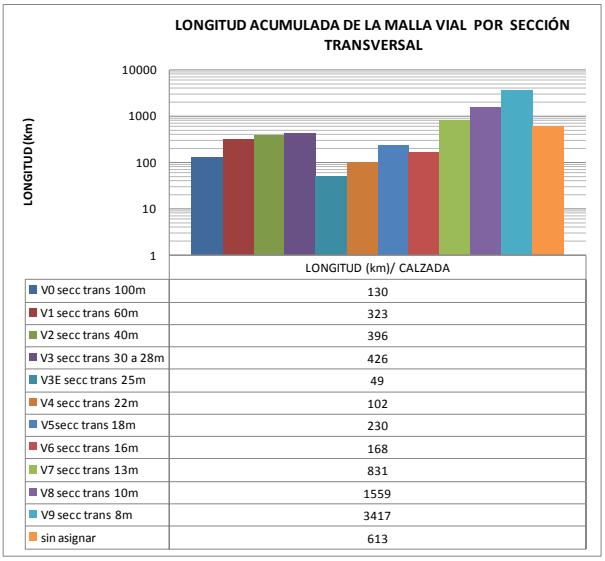


	LONGITUD
RIGIDO	1740,6
FLEXIBLE	4962,8
MIXTO	12,9
ADOQUIN CONCRETO	53,0
ADOQUIN ARCILLA	54,7
AFIRMADO	1523,7
TIERRA	72,1





	USAQUEN	CHAPINERO	SANTA FÉ	SAN CRISTOBAL	USME	TUNJUELITO	BOSA	KENNEDY	FONTIBON	ENGATIVA	SUBA	BARRIOS UNIDOS	TEUSAQUILLO	LOS MARTIRES	ANTONIO NARIÑO	PUENTE ARANDA	CANDELARIA	RAFAEL URIBE URIBE	CIUDAD BOLIVAR
TIERRA	1,5	0,0	0,2	4,2	10,5	0,2	5,4	3,5	0,6	1,6	3,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,5	0,0	0,2	40,5
AFIRMADO	28,7	16,5	22,3	55,8	210,5	6,6	195,1	164,9	45,8	60,8	203,2	0,2	0,9	1,0	0,4	7,8	0,5	47,8	273,4
ADOQUIN ARCILLA	1,2	0,1	3,2	1,8	1,4	0,1	7,7	2,3	2,1	9,0	17,7	0,1	0,0	0,5	0,4	0,0	1,3	1,0	4,9
ADOQUIN CONCRETO	2,5	0,4	1,9	1,5	2,4	0,0	5,2	3,1	2,5	5,0	11,6	0,2	0,3	0,2	0,0	0,2	4,4	0,9	10,7
MIXTO	0,2	0,0	0,0	0,8	0,1	0,0	0,6	1,6	0,3	3,0	3,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4
FLEXIBLE	450,0	231,0	129,3	158,1	210,4	144,1	153,6	485,3	325,8	497,1	555,3	251,4	248,1	125,6	118,6	379,1	25,9	250,6	208,5
RIGIDO	86,8	44,3	53,0	225,8	118,1	20,8	103,2	206,7	79,7	183,5	219,8	31,2	30,6	17,5	9,8	8,7	6,1	95,2	199,8



	LONGITUD (km)/ CALZADA
V0 secc trans 100m	130
V1 secc trans 60m	323
V2 secc trans 40m	396
V3 secc trans 30 a 28m	426
V3E secc trans 25m	49
V4 secc trans 22m	102
V5secc trans 18m	230
V6 secc trans 16m	168
V7 secc trans 13m	831
V8 secc trans 10m	1559
V9 secc trans 8m	3417
sin asignar	613

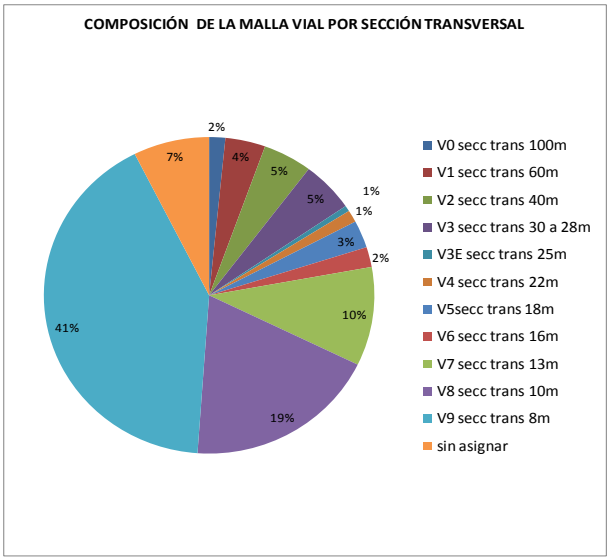


Figura 2.20. Malla vial de Bogotá por material y sección transversal

2.2.2.8 Puentes

El Instituto de Desarrollo Urbano -IDU- proporcionó la cobertura de puentes actualizada a septiembre de 2010, que tiene 313 registros, de los cuales 165 puentes son vehiculares y 148 son puentes peatonales. Respecto a los puentes vehiculares se tiene que el más común es el puente no monolítico de infraestructura tipo pórtico con superestructura isostática de placa más vigas (ver **Figura 2.21**), de este tipo se reportan 58 puentes. El puente peatonal más frecuente es el prototipo metálico compuesto por una estructura en perfiles tubulares cerrados provistos de tensores en diagonal y vinculadas transversalmente por la estructura soporte del piso, el cual posee características de bajo peso, la superestructura se apoya en mesas fabricadas en perfiles I y descansan sobre articulaciones en los extremos superiores de los apoyos tubulares, de este tipo se reportan 59 puentes peatonales (ver **Figura 2.22**). En cuanto al estado de reforzamiento se encuentra que existen 97 puentes reforzados, de los cuales 53 son vehiculares y 44 son peatonales, 135 puentes fueron construidos posteriores al año 1995 en donde aparece el código colombiano de puentes. Existen también 69 puentes que no registran ningún tipo de reforzamiento de los cuales 37 son vehiculares y 32 peatonales. A continuación se presentan los resultados obtenidos (Ver **Figura 2.23**):

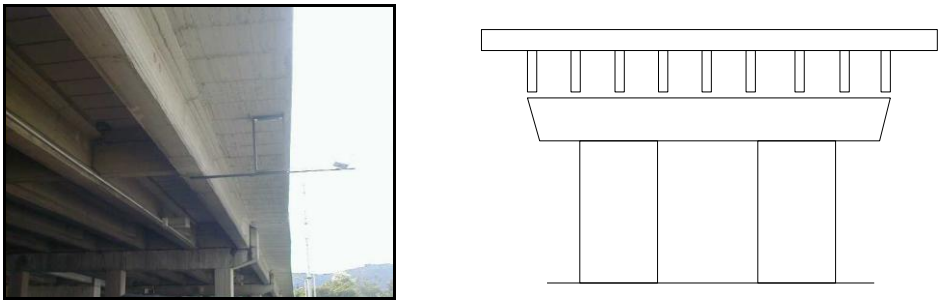


Figura 2.21. Puente vehicular tipo

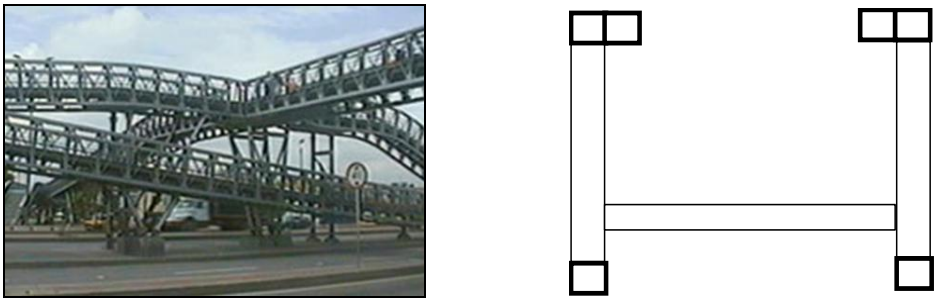


Figura 2.22. Puente peatonal tipo

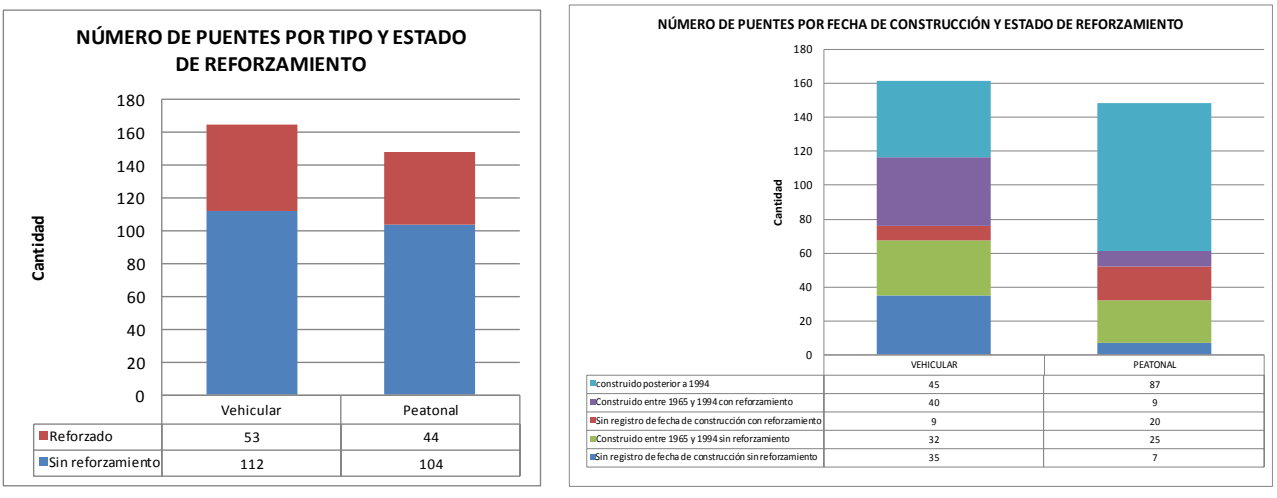


Figura 2.23. Puentes por año y reforzamiento

CAPÍTULO 3

3 ESCENARIOS DE AMENAZA

En el presente capítulo se resumen los resultados de los análisis de amenaza que condujeron a la definición de los escenarios de trabajo con sus respectivos mapas de intensidades a nivel regional y mapas de respuesta sísmica a nivel local para la ciudad de Bogotá.

3.1 ESCENARIOS DE TRABAJO

Un punto muy importante en el proceso de evaluar los daños, afectaciones y pérdidas es la correcta definición de escenarios de amenaza sísmica, los cuales deben representar lo mejor posible los sismos que se generen y lleguen a afectar a la ciudad. Para definir los escenarios es necesario contar con la desagregación de la amenaza sísmica, de este modo se pueden caracterizar los sismos probables y la distancia de la ciudad al lugar en que ocurren, los estudios de amenaza "AIS, 2009" e "INGEOMINAS, 2010" han trabajado con tres fuentes sismogénicas; una cercana a menos de 20 km de la ciudad, una regional dominada por la falla Frontal entre 40 y 60 km y una lejana correspondiente a la zona de subducción a más de 200 km aproximadamente.

La definición precisa de los escenarios de amenaza sísmica se realizó teniendo en cuenta los resultados de la actualización del Mapa Nacional de Amenaza Sísmica de Colombia "AIS, 2009" e "INGEOMINAS, 2010", los sismos históricos que han afectado a la ciudad y el reglamento NSR-10 para edificaciones. Los resultados se presentan en la **Tabla 3.1**.

Escenario	Fuente	Magnitud Ml	Distancia (km)	Periodo de retorno (años)
Umbral de daño M6.5 a 50 km	Regional	6.5	50	30
Seguridad limitada M7.0 a 40 km	Regional	7.0	40	225
Diseño M7.3 a 35 km	Regional	7.3	35	475
Diseños especiales M6.5 a 15 km	Cercana*	6.5	15	1000

Tabla 3.1. Escenarios de amenaza considerados

Es importante mencionar que estos son los escenarios propuestos después de analizar varias opciones, sin que esto quiera decir que no se puedan modelar más escenarios, ya que el sistema permite registrar más escenarios y hacer todas las evaluaciones para las condiciones que se definan de amenaza sísmica.

Se trabajó a nivel regional la zona del departamento de Cundinamarca, para el cual se establecieron las posibles intensidades en suelo firme con base en los estudios de amenaza sísmica del país (AIS, 2009 e INGEOMINAS, 2010). A nivel local se trabajó con la zonificación de respuesta sísmica de Bogotá (FOPAE, 2010) que define las zonas de la ciudad respecto a su comportamiento sísmico, como se ilustra en la **Figura 3.1**.

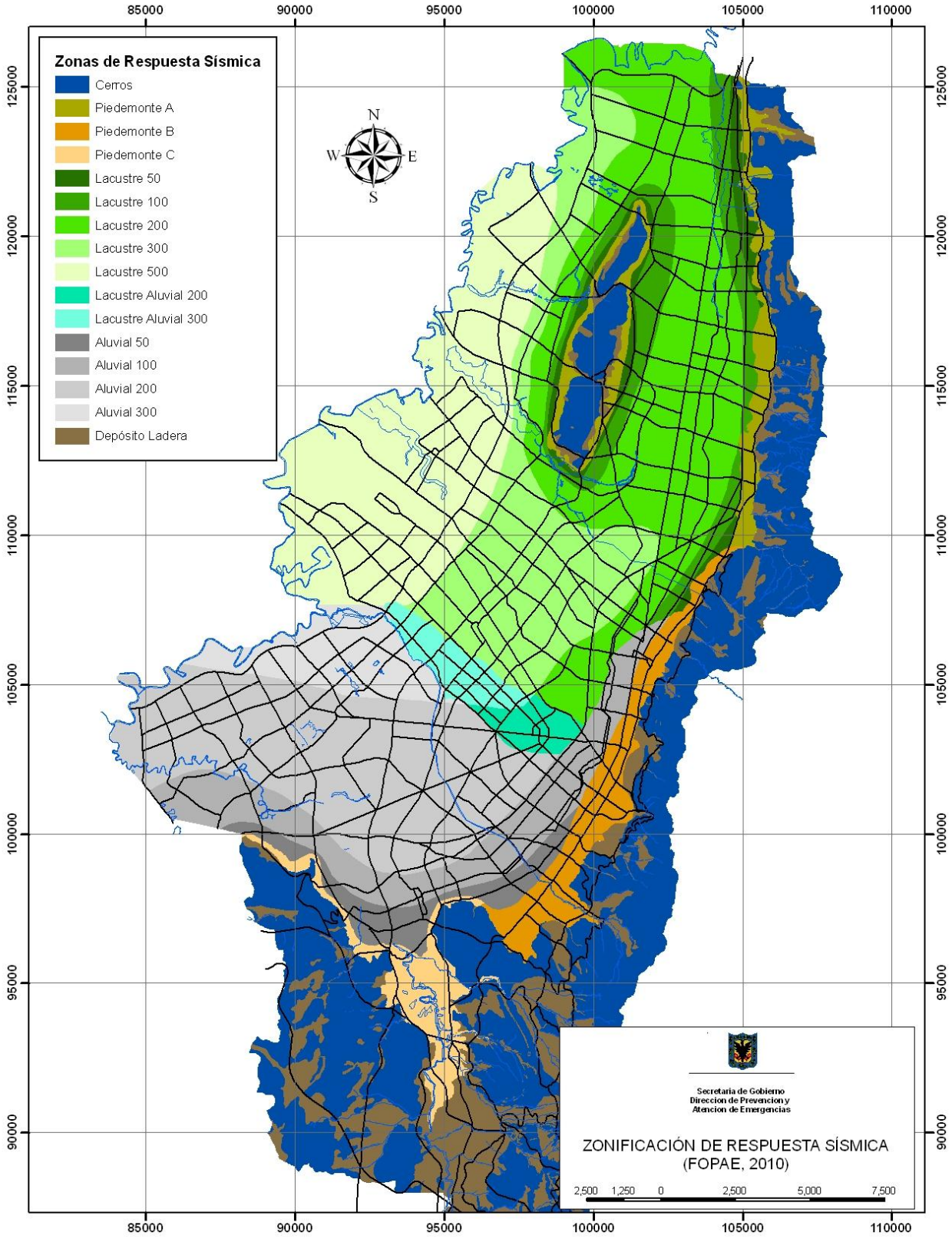


Figura 3.1. Zonas de Respuesta Sísmica de Bogotá (FOPAE, 2010)

3.2 ESCENARIO 1. M6.5 A 50KM UMBRAL DE DAÑO

El escenario de 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 kilómetros y una profundidad de 25 kilómetros, evento que está asociado a un periodo de retorno equivalente de 30 años.

El escenario de umbral de daño presenta intensidades regionales entre IV y V lo cual corresponde a PGA entre 0.014 g y 0.092 g, gran parte de Cundinamarca se encuentra entre intensidad V y tan solo la zona del distrito capital y la parte norte del departamento se encuentra en intensidad IV por tal razón, en términos generales los daños probables esperados para este escenario son mínimos en todos los elementos expuestos.

A nivel local los terrenos presentarían PGA entre 0.05 g a 0.15 g, aceleraciones espectrales para periodos cortos (0.1 s – 0.5 s) entre 0.25 g a 0.40 g y para periodos intermedios (0.5 s – 1.0 s) entre 0.15 g a 0.25 g.

A continuación se resumen la intensidad regional, la respuesta en aceleración local y los espectros uniformes de amenaza obtenidos para este escenario.

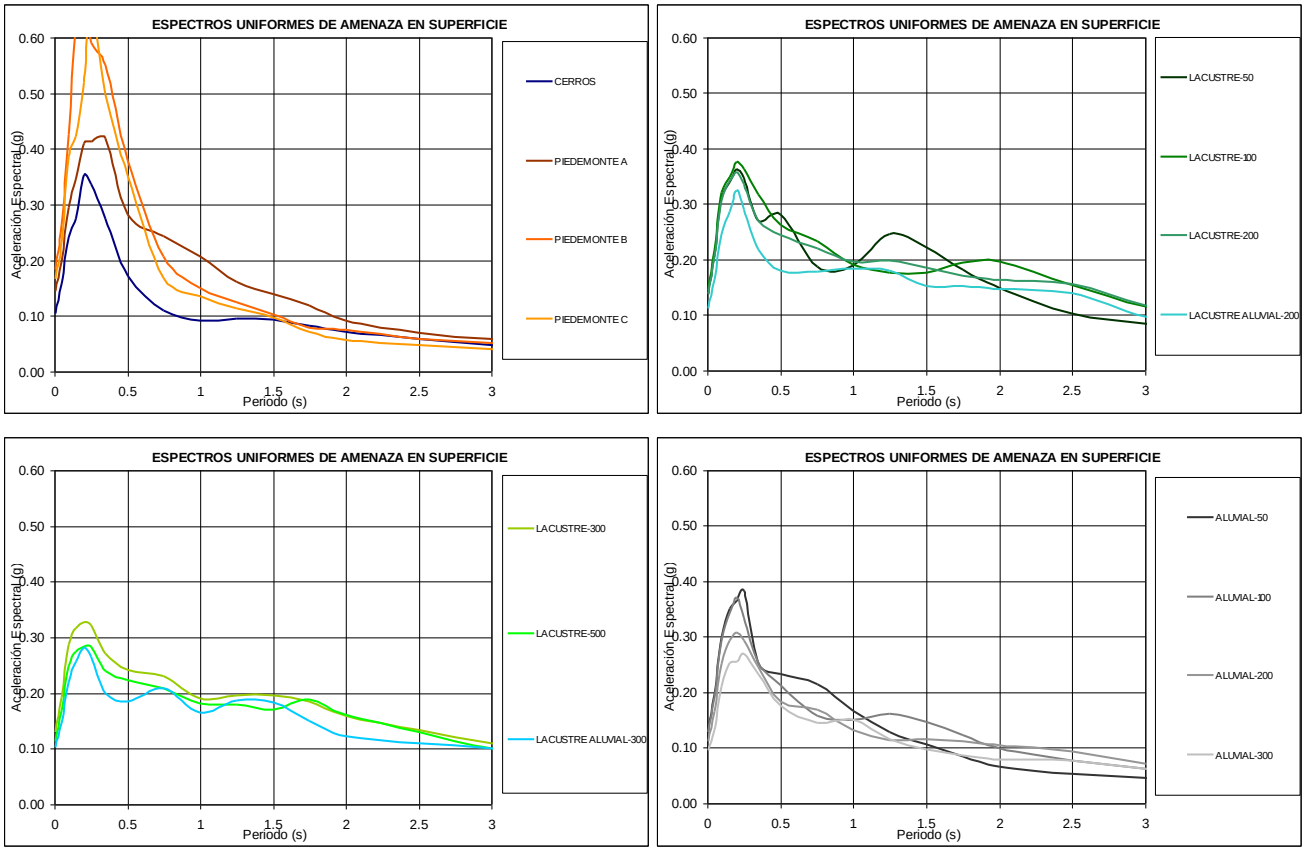


Figura 3.2. Espectros Uniformes de Amenaza en superficie para D=5% umbral de daño

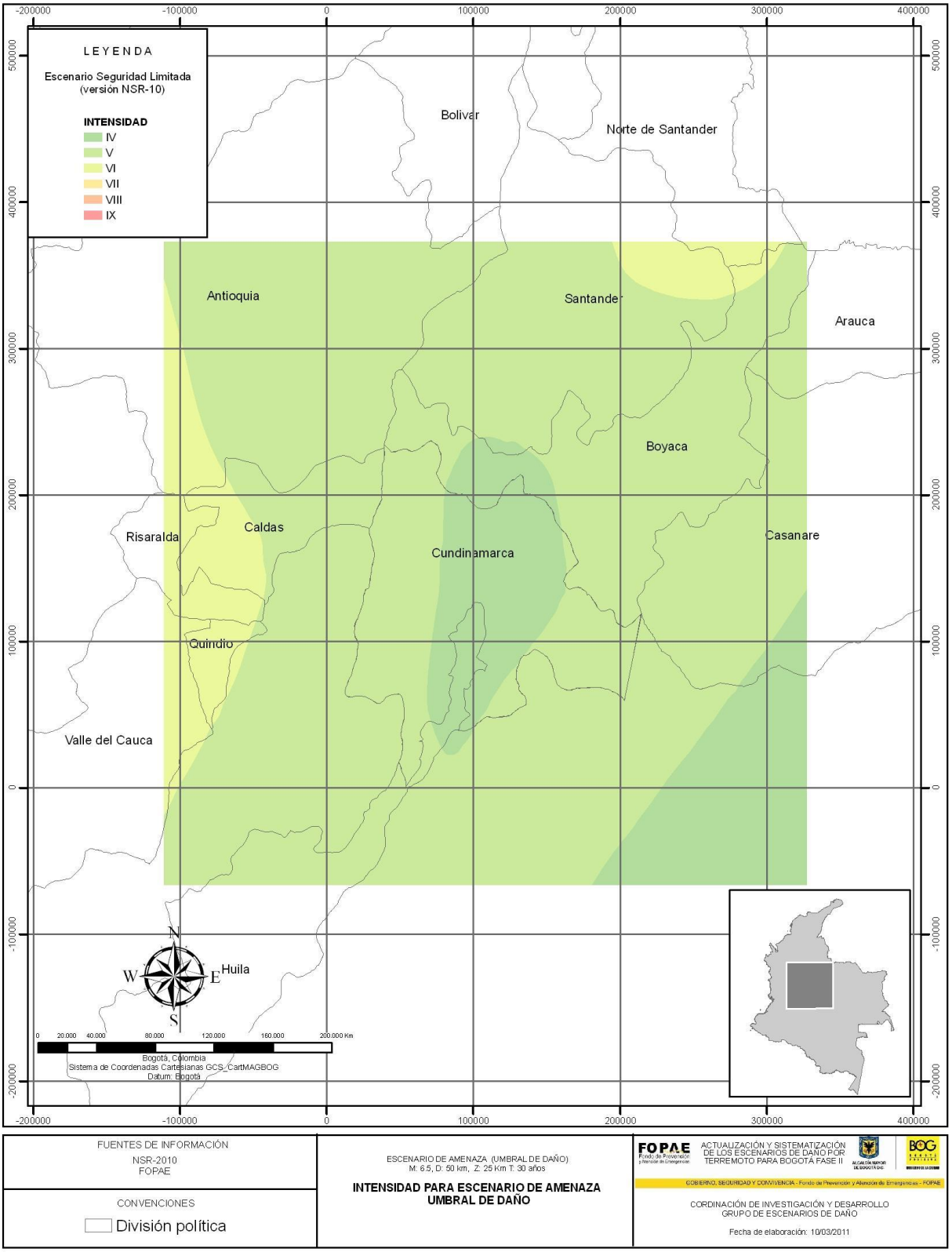


Figura 3.3. Mapa de amenaza regional escenario umbral de daño

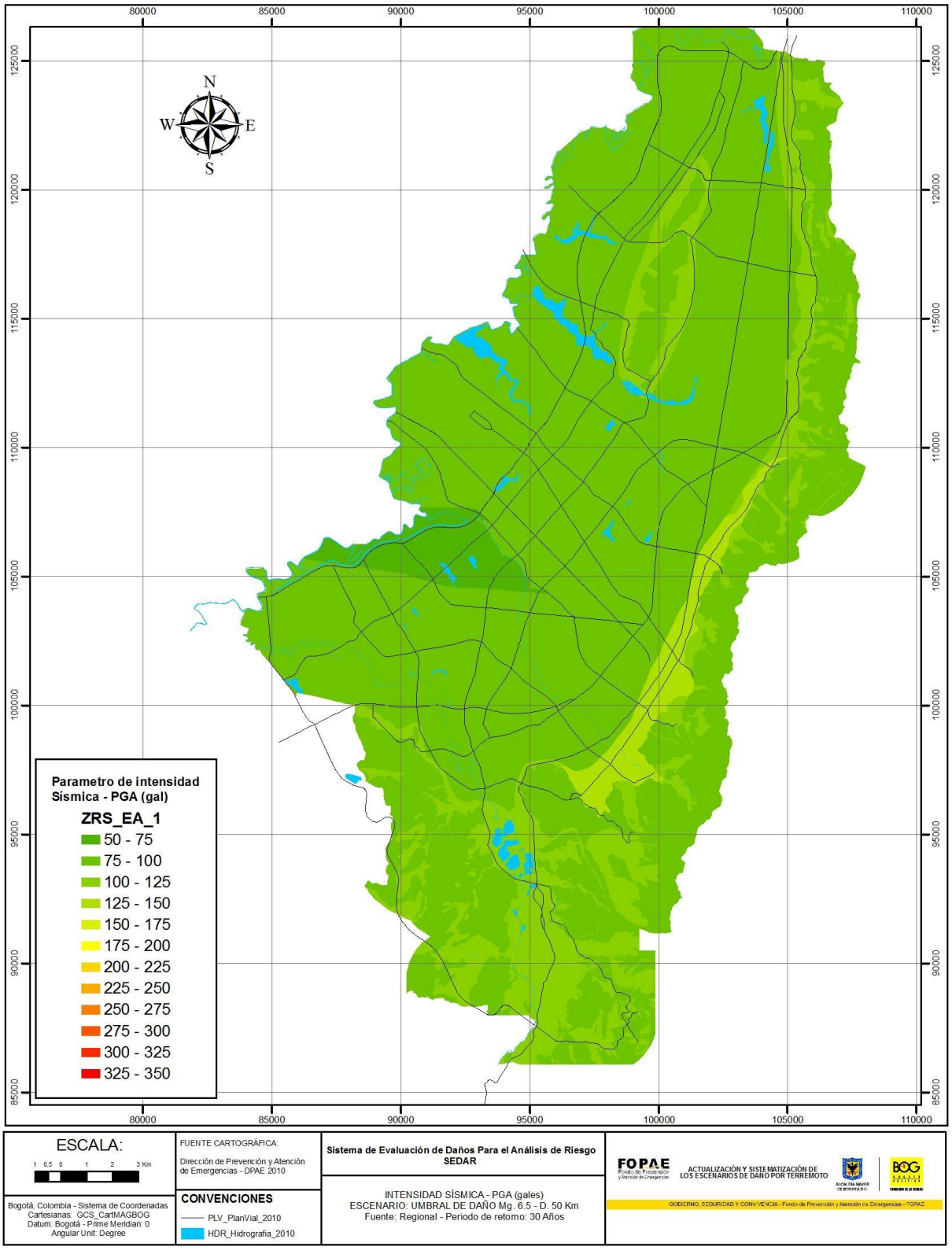


Figura 3.4. Mapa de respuesta sísmica local escenario umbral de daño

3.3 ESCENARIO 2. M7.0 A 40KM SEGURIDAD LIMITADA

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.

El escenario de seguridad limitada presenta intensidades regionales entre VI y VII lo cual corresponde a PGA entre 0.092 g y 0.34 g, en este escenario la mayor parte del departamento de Cundinamarca presenta intensidad de VI, sin embargo existe una franja hacia el suroccidente que presenta intensidad de VII en donde probablemente se encontrarán los mayores daños.

A nivel local los terrenos presentarían PGA entre 0.07 g a 0.22 g, aceleraciones espectrales para periodos cortos (0.1 s – 0.5 s) entre 0.35 g a 0.60 g y para periodos intermedios (0.5 s – 1.0 s) entre 0.30 g a 0.45 g.

A continuación se resumen la intensidad regional, la respuesta en aceleración local y espectros uniformes de amenaza obtenidos para este escenario.

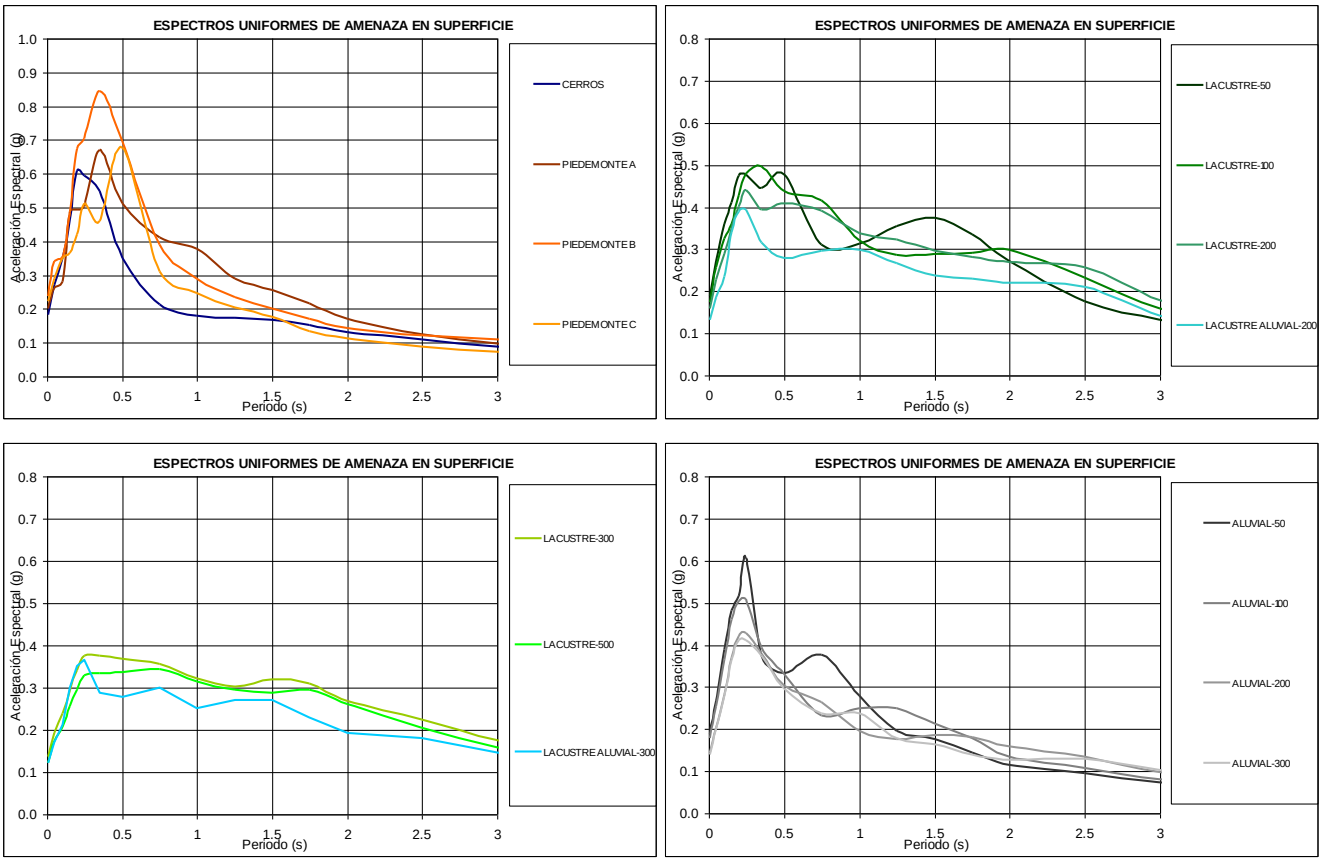


Figura 3.5. Espectros Uniformes de Amenaza en superficie para D=5% seguridad limitada

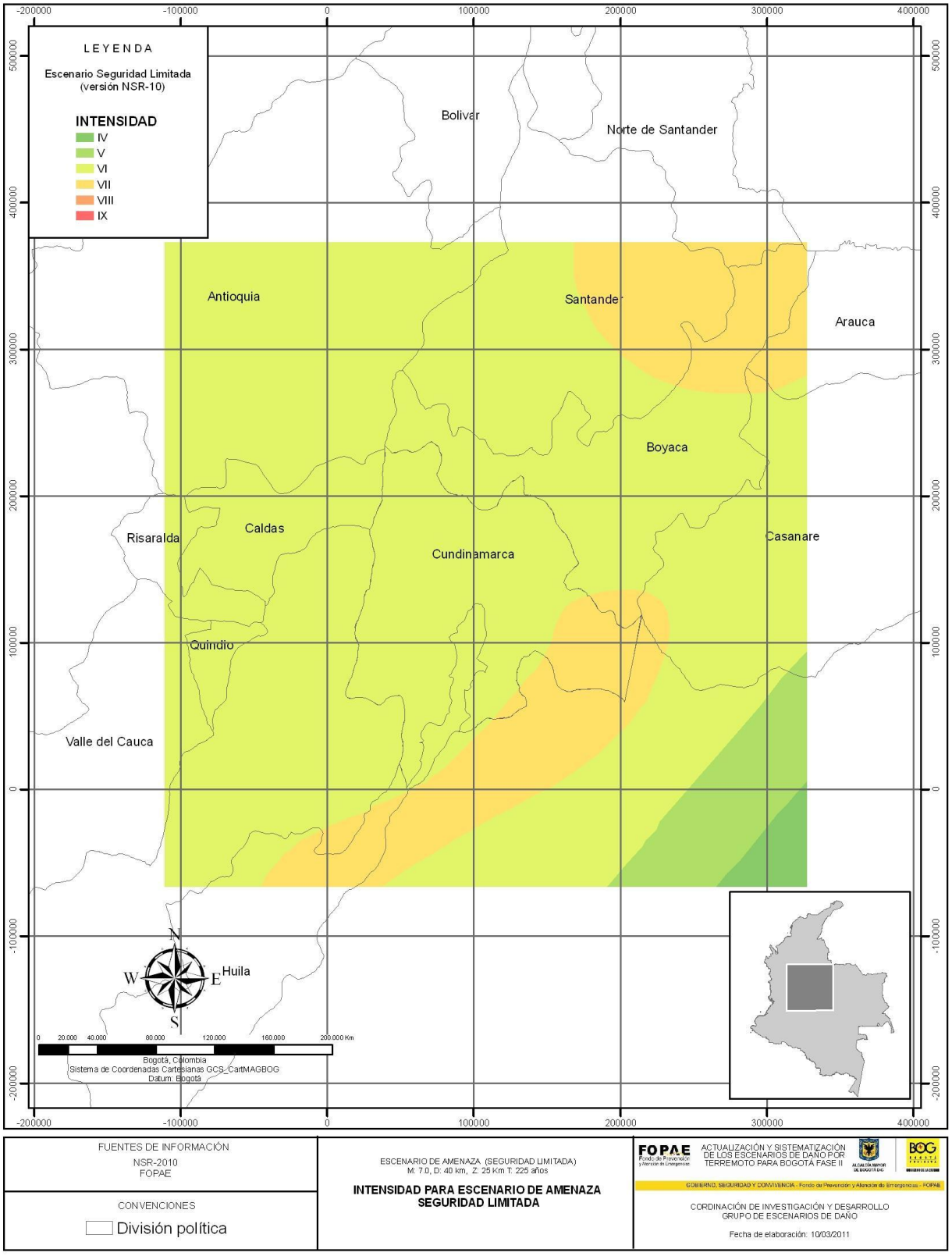


Figura 3.6. Mapa de amenaza regional escenario seguridad limitada

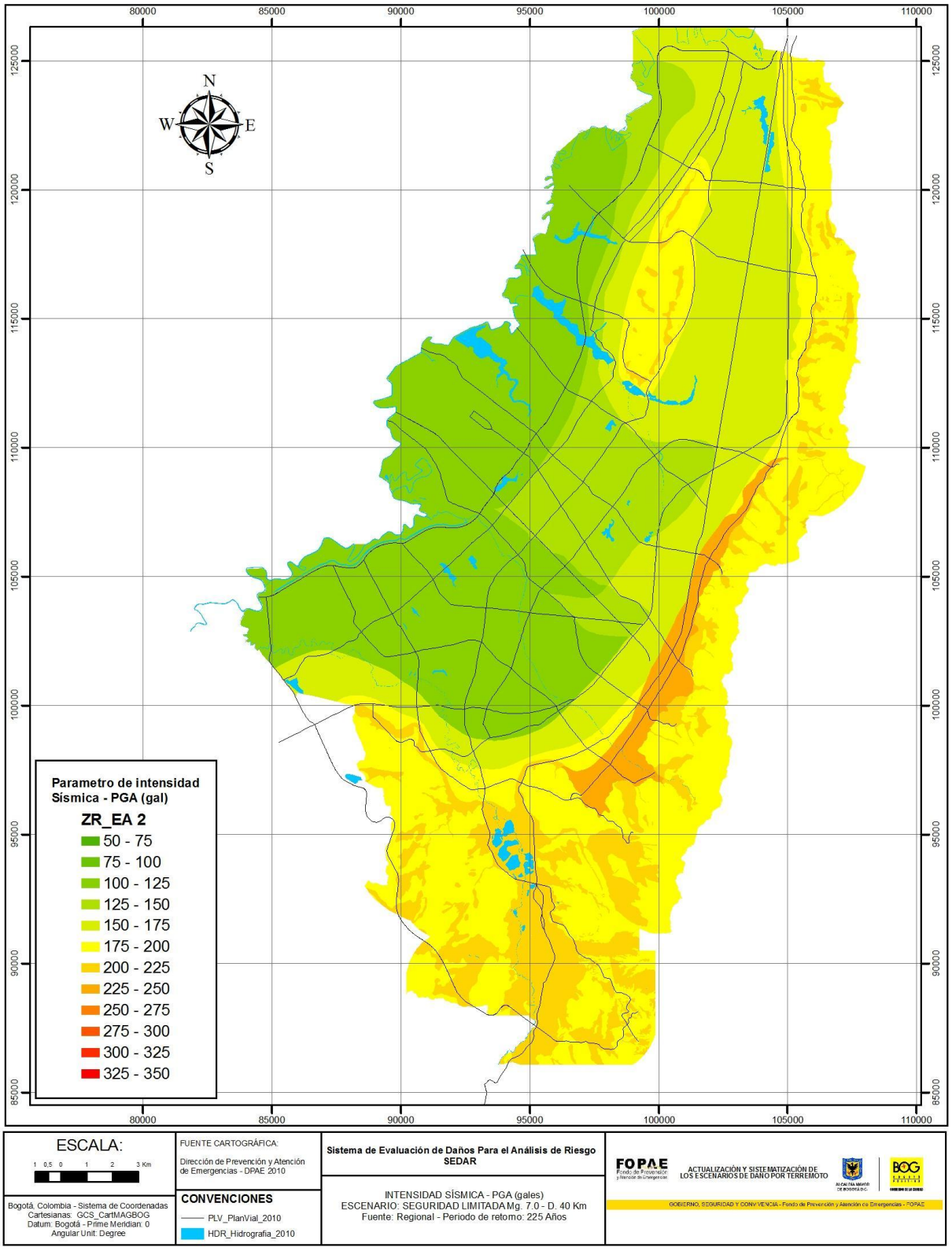


Figura 3.7. Mapa de respuesta sísmica local escenario seguridad limitada

3.4 ESCENARIO 3. M7.3 A 35KM DISEÑO

El escenario de diseño 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.

El escenario de diseño presenta intensidades regionales de VI, VII y VIII. Estas intensidades corresponden a PGA entre 0.092 g y 0.65 g, los sectores con mayores intensidades VII y VIII se encuentran en el suroccidente de la zona de análisis. Al igual que en el escenario anterior, es probable que los mayores daños se presenten en estos sectores.

A nivel local los terrenos presentarían PGA entre 0.12 g a 0.27 g, aceleraciones espectrales para periodos cortos (0.1 s – 0.5 s) entre 0.4 g a 0.7 g y para periodos intermedios (0.5 s – 1.0 s) entre 0.4 g a 0.5 g. Se destacan aceleraciones espectrales de 0.4 g en periodos largos en la zona lacustre.

A continuación se resumen la intensidad regional, la respuesta en aceleración local y espectros uniformes de amenaza obtenidos para este escenario.

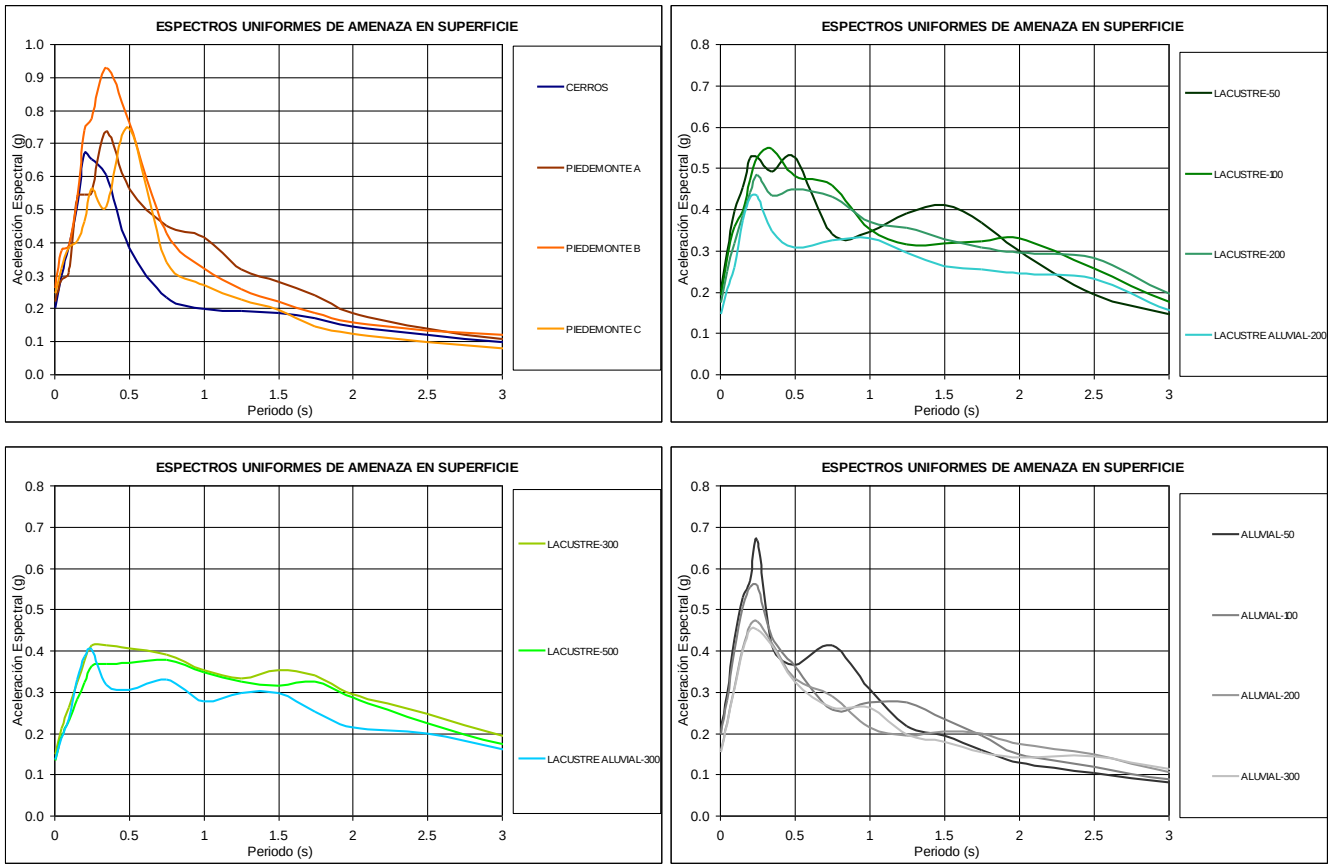


Figura 3.8. Espectros Uniformes de Amenaza en superficie para D=5% diseño

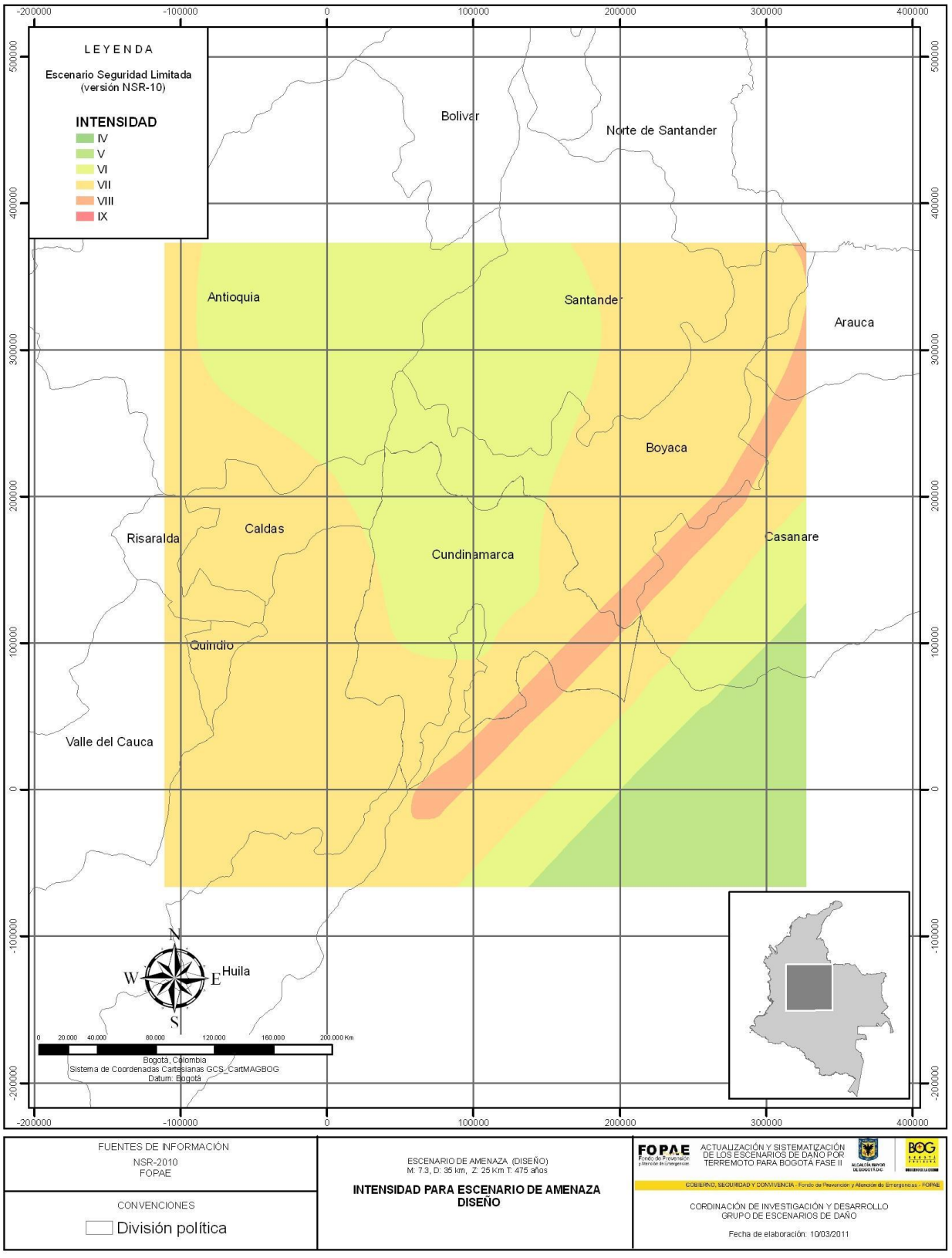


Figura 3.9. Mapa de amenaza regional escenario diseño

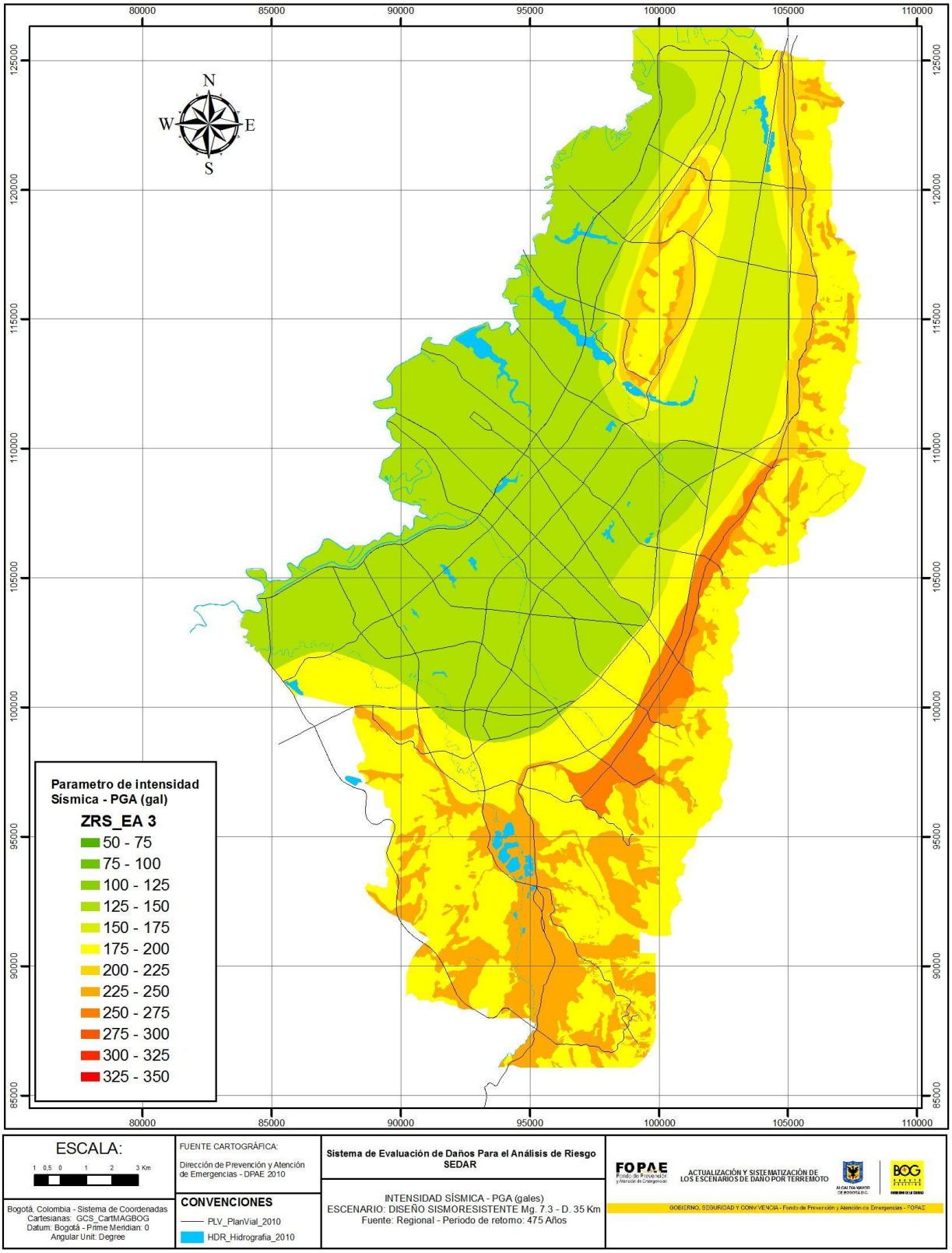


Figura 3.10. Mapa de respuesta sísmica local escenario diseño

3.5 ESCENARIO 4. M6.5 A 15KM DISEÑO ESPECIAL

El escenario de diseño especial planteado considera un sismo generado por una fuente cercana[2] 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 1000 años.

El escenario de diseño especial presenta intensidades regionales entre VII y VIII, donde las mayores intensidades serían en la zona epicentral, probablemente en el suroriente de la ciudad.

A nivel local los terrenos presentarían PGA entre 0.15 g a 0.35 g, aceleraciones espectrales para periodos cortos (0.1 s – 0.5 s) entre 0.5 g a 0.85 g y para periodos intermedios (0.5 s – 1.0 s) entre 0.5 g a 0.6 g. Se destacan picos de aceleraciones espectrales de 0.6 g en la zona lacustre en periodos largos (1.0 s – 2.0 s).

A continuación se resumen la respuesta en aceleración local y espectros uniformes de amenaza obtenidos para este escenario.

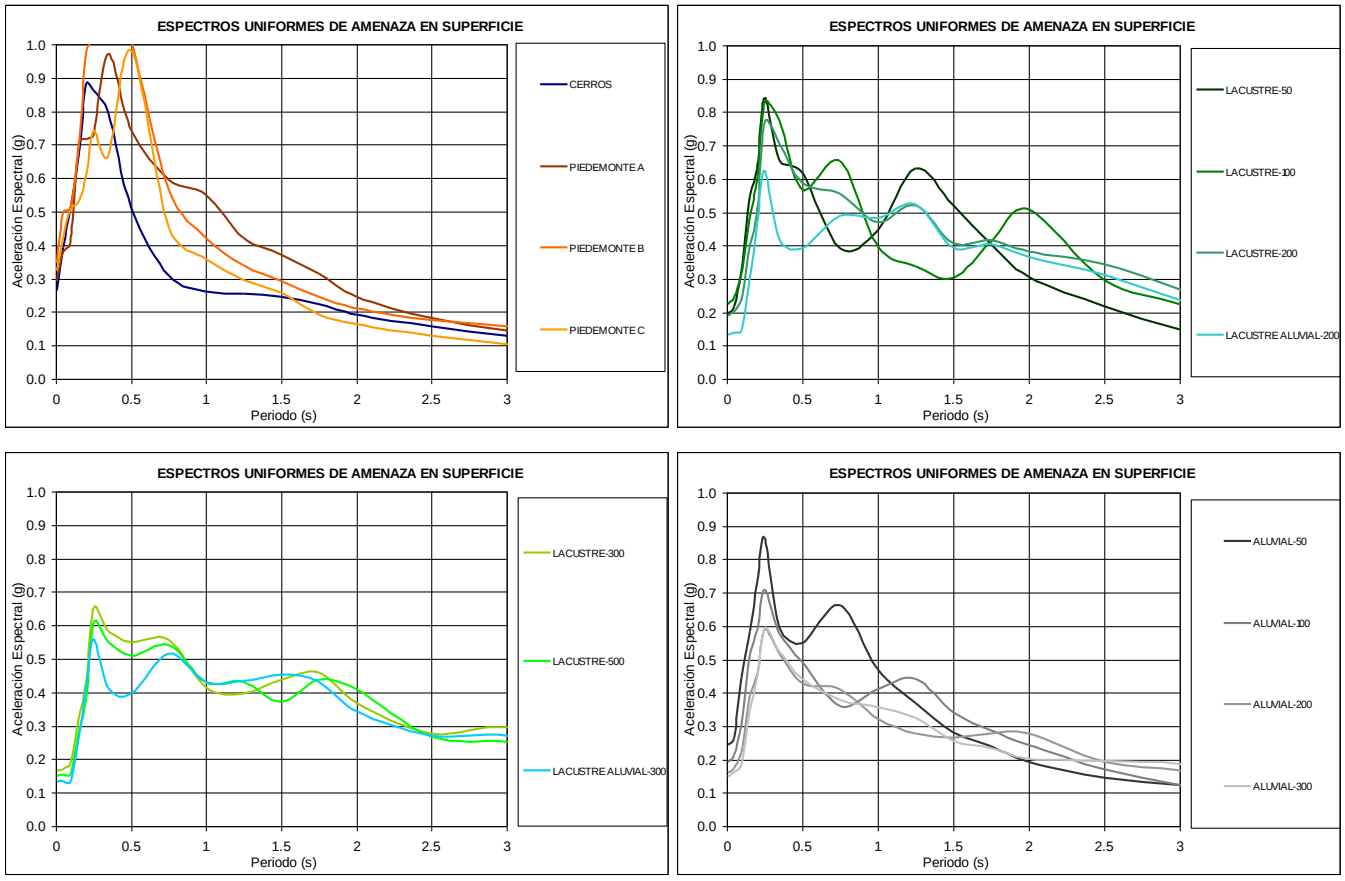


Figura 3.11. Espectros Uniformes de Amenaza en superficie para D=5% diseño especial

[2] Las fuentes cercanas a la ciudad no se les ha comprobado su actividad sísmica, se considera esta fuente ya que ha sido tenida en cuenta en los anteriores estudios de escenarios de daño.

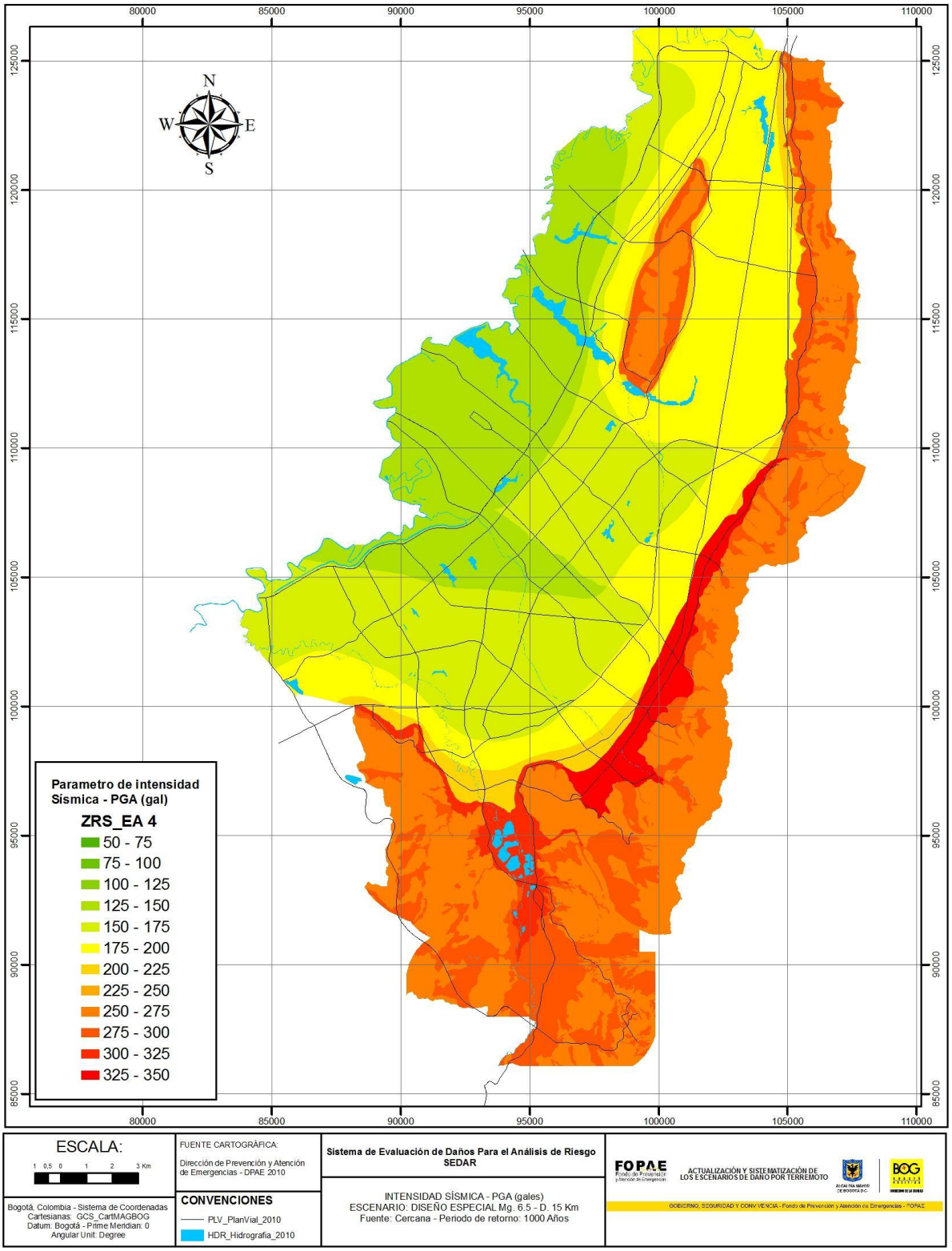


Figura 3.12. Mapa de respuesta sísmica local escenario diseño especial

CAPÍTULO 4

4 SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRENO A EFECTOS COLATERALES

La determinación de daños causados por licuación y deslizamiento durante un evento sísmico es parte fundamental en el análisis de riesgo sísmico de cualquier ciudad en el mundo. Las evidencias muestran que los daños causados por ambos fenómenos causan gran número de pérdidas humanas y económicas, en algunos casos mayores que las pérdidas registradas por daños estructurales. Por tal razón, es muy importante cualquier esfuerzo que se haga con el fin de estimar los posibles daños causados tanto por licuación como deslizamiento inducidos por sismos.

El presente numeral describe el análisis de la información disponible y los procesos realizados para la obtención de los mapas de susceptibilidad de licuación y deslizamiento.

4.1 LICUACIÓN

Con el fin de establecer la vulnerabilidad ante licuación para la ciudad de Bogotá, se definieron inicialmente cuatro zonas potencialmente licuables a partir del mapa de zonificación geotécnica (FOPAE, 2010). Las zonas seleccionadas fueron Aluvial, Cauces, Llanura A y Llanura B. Con la información geotécnica del proyecto de microzonificación sísmica de la ciudad junto con la base de datos suministrada por la EAAB se realizó una revisión minuciosa de más de 1000 de estos a partir de los cuales se obtuvo una selección de 117 para todas las zonas.

Para el cálculo de la relación de resistencia cíclica, CRR, se seleccionaron los sondeos que presentaron capas de arena los primeros 20 metros de profundidad y contaran con ensayos de penetración estándar –SPT-. En la **Tabla 4.1** se presentan el número de sondeos disponibles y la porción de estos que cumplen con los requerimientos anteriormente expuestos para cada una de las zonas.

ZPL_id	COD_ZPL_id	No. exploraciones por zona	No. exploraciones seleccionadas
1	ALUVIAL	428	33
2	CAUCE	221	18
3	LLANURA A	308	31
4	LLANURA B	486	38

Tabla 4.1. Tabla de zonas potencialmente licuables

La información de los sondeos seleccionados es ingresada a las Tablas ZPL (Zonas Potencialmente Licuables), EXP (Exploraciones) y EST (Estratos) en las cuales se incluye información general del sondeo tales como coordenadas Norte y Este, profundidad máxima de exploración y profundidad de nivel freático. Adicionalmente, en la Tabla EST se incluye información correspondiente a cada una de las capas o estratos identificados en cada sondeo, junto con su profundidad inicial y final, descripción visual del material encontrado y el número de golpes reportado en el ensayo de penetración estándar, SPT. A partir de la información incluida en la Tabla EST, se calculan los esfuerzos totales y efectivos, presión de poros y CRR para cada una de las capas de arenas con número de golpes menores a 30. A continuación se presentan los sondeos seleccionados para cada una de las zonas en la **Figura 4.1**.

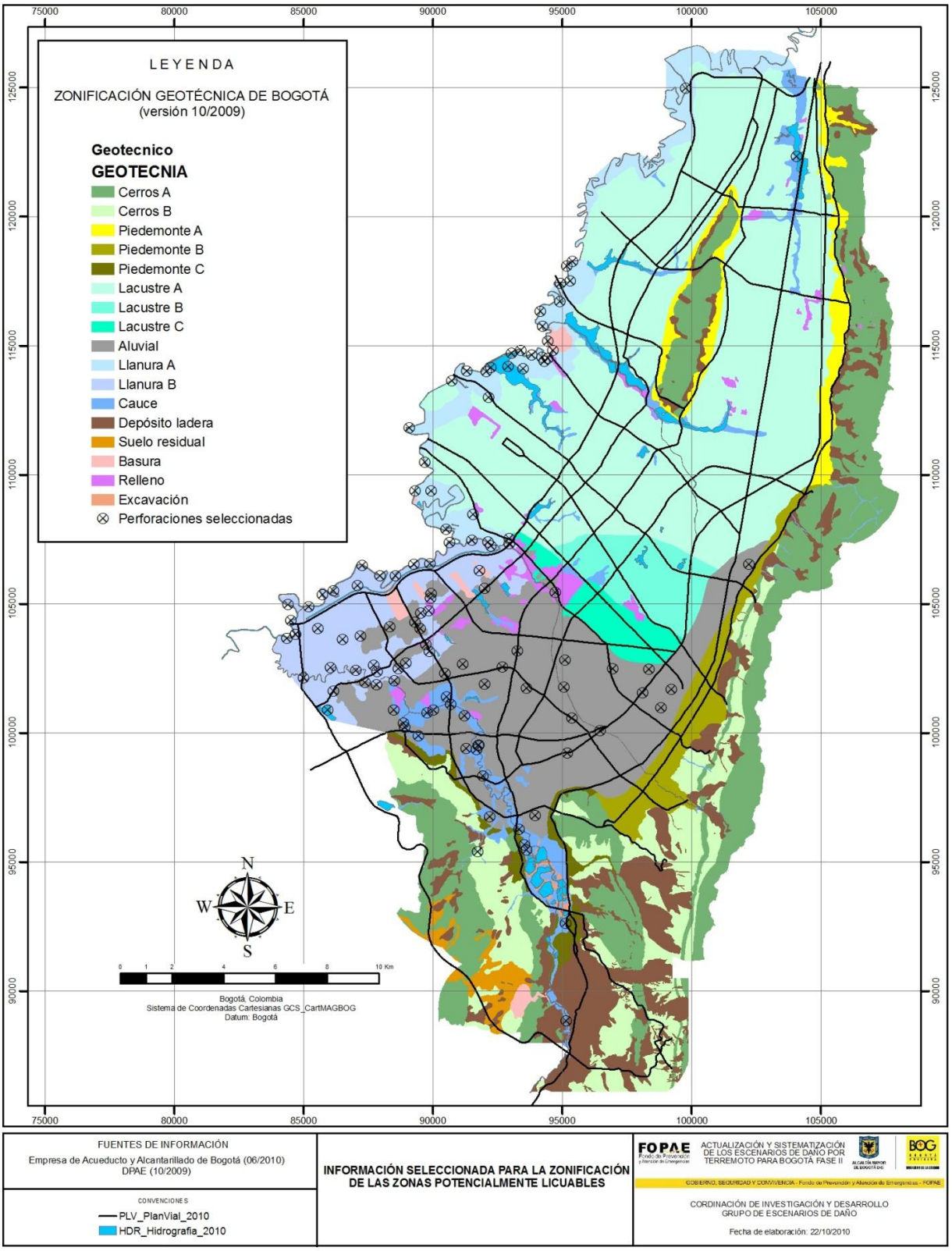


Figura 4.1. Localización de las exploraciones seleccionadas

La tabla EST cuenta con 713 registros de las zonas potencialmente licuables (Llanura Aluvial, Llanura de inundación A, Llanura de inundación B y Cauces). Las primeras 9 columnas son aquellas en las cuales se debe ingresar la información recopilada de los sondeos, la primera columna indica los códigos de las zonas potencialmente licuables (ZPL_Id), las cuales fueron presentadas en la Tabla 4.1, la segunda columna presenta los códigos de las exploraciones (IdExp), la tercera columna muestra el nombre dado por el FOPAE o EAAB a los sondeos seleccionado, la cuarta columna enseña el número de los estratos reportados en cada sondeo, las columnas quinta y sexta presentan la profundidad inicial y final de los estratos reportados, la séptima columna contiene la descripción del estrato y la octava registra la clasificación USCS que debe ser dada por la persona a cargo de la base. Esta clasificación fue realizada teniendo como consideración la descripción realizada durante el sondeo; por ejemplo, en el caso de una descripción tal como *arena limosa* la clasificación USCS asignada fue SM. En algunos casos se encontró que las descripciones consideraban más de dos términos, por ejemplo *arena arcillosa con algo de limo*, la clasificación asignada fue SC, ya que se dio prioridad a los dos primeros términos por considerar que estos eran los más predominantes en la muestra. La novena columna contiene el valor del ensayo SPT reportado para el estrato. En algunos casos no se presentaba ningún reporte y por tanto la casilla se mantuvo en blanco. A partir de la novena columna, los demás recuadros fueron calculados. En el caso de las columnas de peso unitario total, saturado y porcentaje de finos (columnas 10, 11 y 12) fueron asignados a partir de información bibliográfica recopilada para cada uno de los tipos de suelos, debido a que no se contaba con información de estos en los sondeos revisados. Finalmente, se encuentran las columnas de esfuerzo total vertical, presión de poros y esfuerzo efectivo vertical, que son calculadas a partir de la información de pesos unitarios y nivel freático, esta última consignada en la Tabla EXP.

Posteriormente se realizan las correcciones a los resultados obtenidos por el ensayo SPT (N_m). Con estas correcciones se calcula el CRR de cada uno de los estratos de arenas que reporten $(N_1)_{60CS}$ menores a 30, debido a que estas capas son las que potencialmente pueden licuar. En la **Figura 4.2** a la **Figura 4.5** se presentan los resultados obtenidos de CRR para cada una de las zonas potencialmente licuables.

La **Figura 4.6** muestra el histograma de los espesores de las capas de arena de los sondeos seleccionados para este análisis. Por los resultados encontrados es posible inferir que la mayoría de los valores resultados de CRR y la función W son amplificados, lo cual indica que entre mayor sea el espesor del estrato mayor será el aporte en superficie a la resistencia ante licuación.

Como resultado general de este análisis, a continuación se presentan los valores de I_{CRR} para cada uno de los sondeos seleccionados de manera espacial en la ciudad de Bogotá en la **Figura 4.7**. A partir de los valores del I_{CRR} se realizó la interpolación de dicho valor con el fin de definir subzonas potencialmente licuables. Debido a la escasa cantidad de sondeos por zona el método de interpolación propuesto es IDW (Inverse distance Weighted).

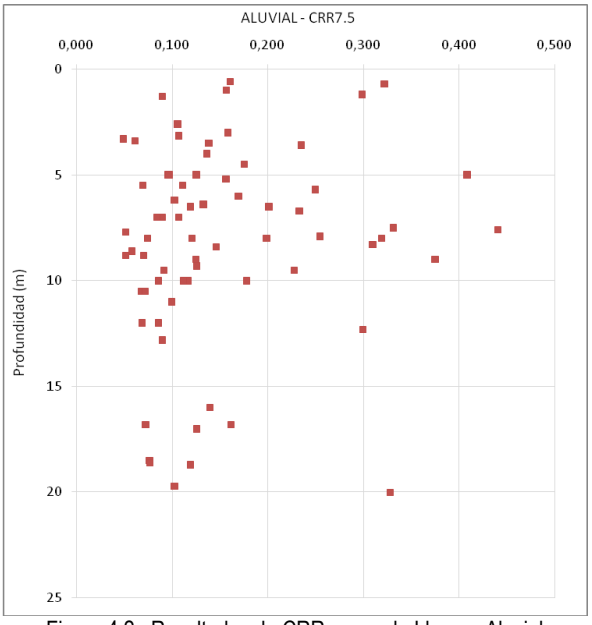


Figura 4.2. Resultados de $CRR_{7.5}$ para la Llanura Aluvial

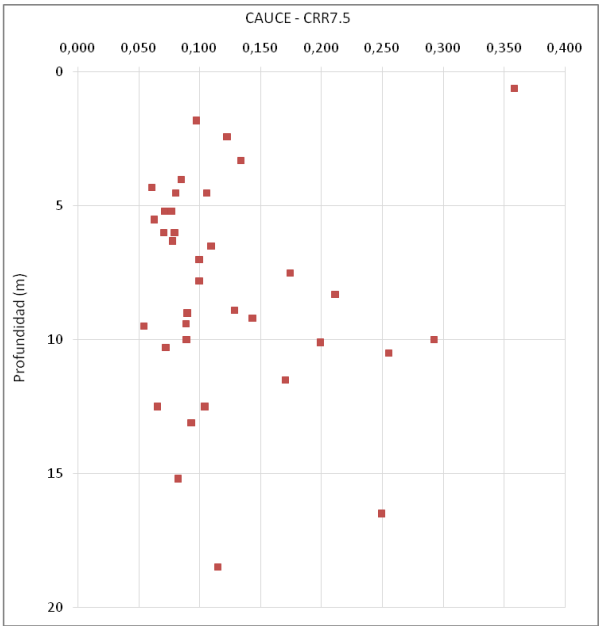


Figura 4.3. Resultados de $CRR_{7.5}$ para la zona de Cauces

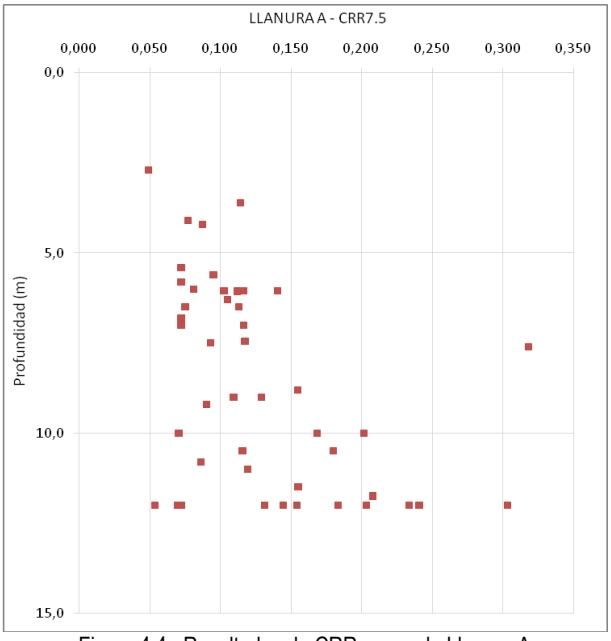


Figura 4.4. Resultados de $CRR_{7.5}$ para la Llanura A

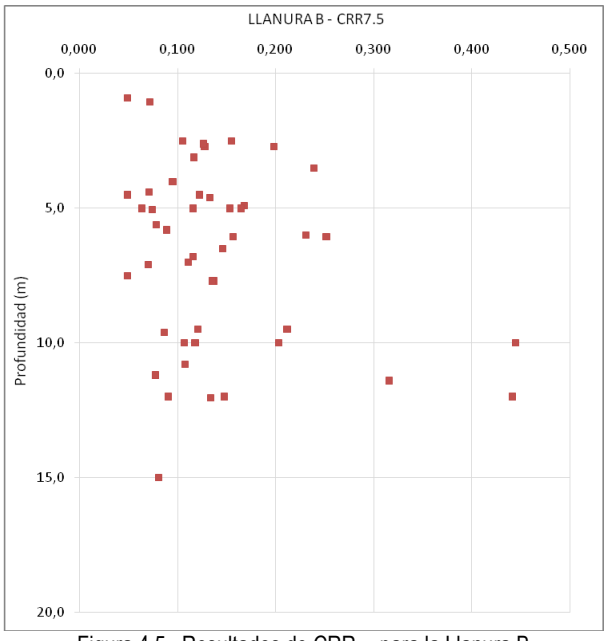


Figura 4.5. Resultados de $CRR_{7.5}$ para la Llanura B

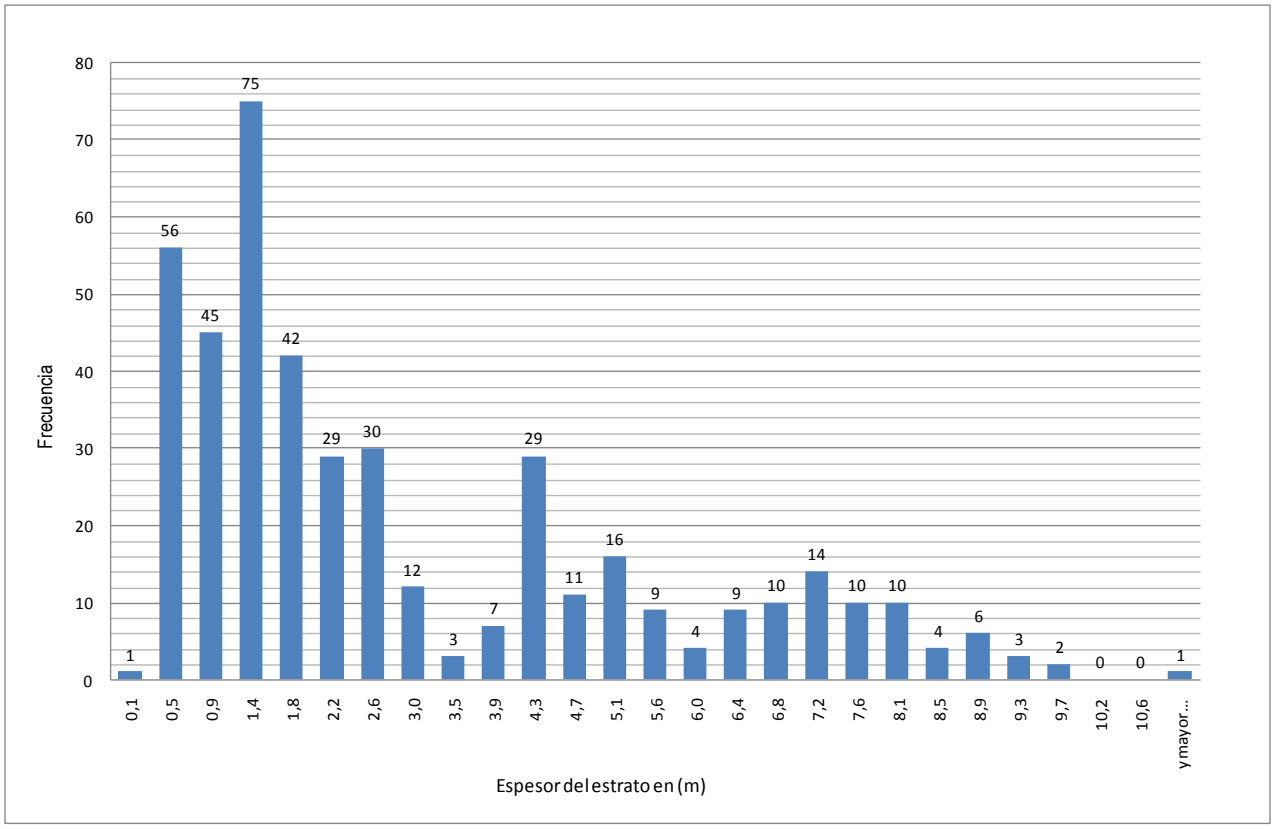


Figura 4.6. Histograma de espesores de las capas de arena de los sondeos seleccionados

Finalmente, las zonas seleccionadas como potencialmente licuable (Aluvial, Cauces, Llanura A y Llanura B) fueron subdivididas en 15 subzonas de acuerdo a los resultados de la interpolación. Los resultados finales son mostrados en la **Figura 4.8**. Adicionalmente, para cada una de estas zonas se asignó un perfil representativo (seleccionado dentro de los sondeos existentes por zona) con el fin de realizar el cálculo del LPI para un escenario de amenaza especifico.

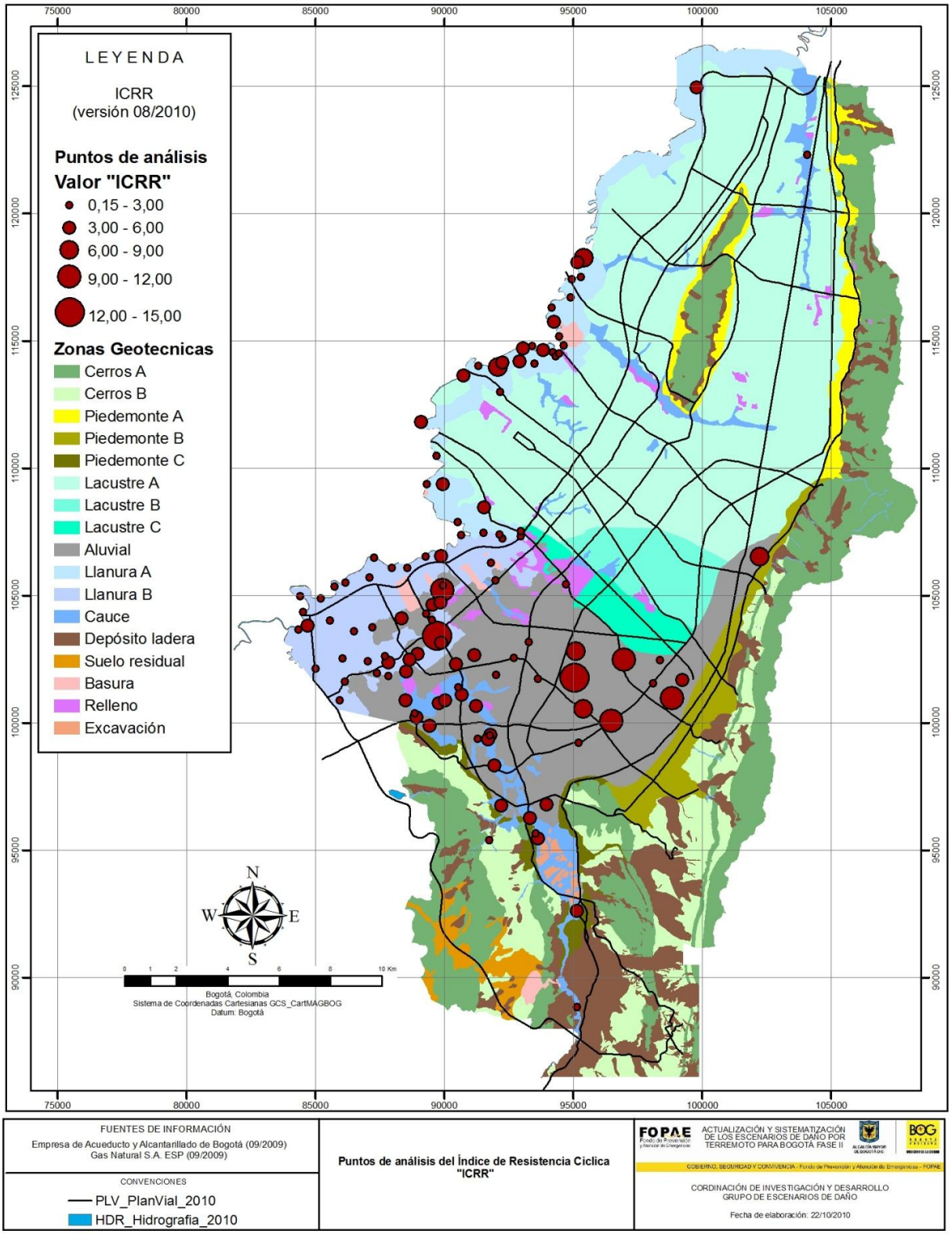


Figura 4.7. Resultados obtenidos de I_{CRR} para algunas zonas de la ciudad de Bogotá

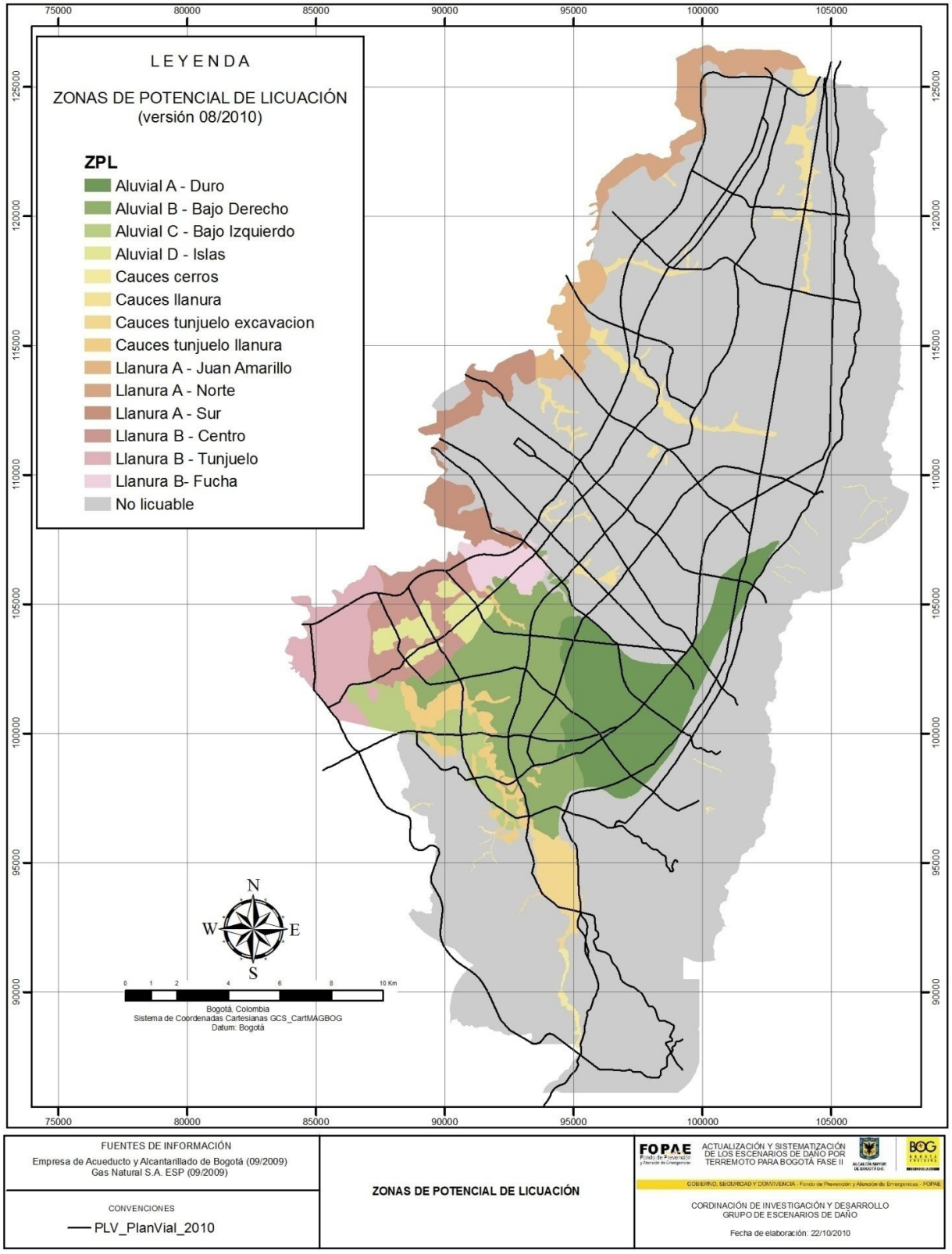


Figura 4.8. Zonas de potencial de licuación

4.2 DESLIZAMIENTO

Para obtener el grado de daño por deslizamiento, se requiere conocer el desplazamiento inducido por sismo, mediante la formulación propuesta por el método de Newmark. El cálculo de dicho desplazamiento requiere conocer la aceleración crítica y máxima, la primera es calculada a partir de del factor de seguridad obtenido mediante el análisis estático del bloque deslizante y la segunda a partir de las características del escenario de amenaza. Para realizar el análisis estático se requirió de los parámetros de resistencia asignados para cada una de las unidades y depósitos de las zonas potencialmente deslizables. Adicionalmente, con el fin de evitar problemas en el uso de la formulación del factor de seguridad estático, el método se implementó para condiciones topográficas en las cuales el ángulo de inclinación β era mayor a 10 grados. Se verificó la información de espesores del depósito de piedemonte mediante la cobertura de basamento rocoso disponible y se realizó la verificación de los parámetros de resistencia de cada una de las unidades geológicas que componen la zona de cerros, pues son parámetros de entrada fundamentales en el método.

El proceso de revisión de información incluyó el análisis de la cobertura geológica de Bogotá y los estudios realizados para abordar esta temática, adicionalmente se revisó la cobertura de pendientes del área de la ciudad y por último se realizó una validación de la información recopilada con el propósito de asignar los parámetros de resistencia más consistentes con el análisis realizado.

Para el estudio de la susceptibilidad ante deslizamiento se trabajó con la base cartográfica de geología semidetallada de cerros desarrollada por la DPAE en los años 2008 – 2009, la cual representa la unión de los tres estudios efectuados por la entidad en los cerros orientales y cerros de suba de la ciudad de Bogotá en el final de la década de los noventa (ver **Figura 4.9**).

El estudio más relevante en la revisión de la información geológica es el desarrollado por la firma Investigaciones Geotécnicas Ltda. (IGL), que se nombra “Zonificación de Riesgo por Movimientos de Remoción en Masa de 101 Barrios de la Localidad de Usme”; este estudio maneja un nivel de detalle de 1:10.000 y fue desarrollado para la DPAE en el año de 1997, en este estudio se encuentran caracterizadas las unidades geológicas a partir de características de resistencia y compresibilidad, complementariamente se revisó el estudio de INGEOCIM Ltda nombrado “Zonificación por Inestabilidad del Terreno para Diferentes Localidades de la Ciudad de Santa fe de Bogotá”. Dicho estudio se desarrolló en el año 1998 para la DPAE y tiene un cubrimiento geográfico un poco más amplio pero carece de caracterización geomecánica de las unidades, es por ello que se revisó todo el conjunto de información y se llegó a un consenso en lo que respecta a las propiedades de las unidades y los espesores promedio de la roca alterada, que por sus características es el material más susceptible de ser transportado por acción de las fuerzas gravitatorias y sísmicas. Producto de lo anterior se presentan en la **Tabla 4.2** los parámetros de resistencia asignados a cada una de las unidades geológicas de superficie.

La pendiente del terreno es un factor fundamental en la susceptibilidad al deslizamiento, ya que de la configuración morfológica de las laderas respecto a su ángulo de inclinación conlleva a que los materiales requieran más o menos resistencia para mantenerse en una condición de estabilidad ante los efectos combinados de las fuerzas gravitatorias y sísmicas, por consiguiente se hace indispensable la caracterización de la pendiente del terreno.

Esta cobertura se obtuvo como transferencia de información del proyecto de actualización del mapa normativo de amenaza por remoción en masa, a esta base cartográfica fue necesario suprimirle todas las unidades geográficas con valores inferiores a 10°, ya que el análisis de sensibilidad arroja que para estos valores de pendiente se obtienen factores de seguridad bastante altos (ver **Figura 4.10**).

Los resultados obtenidos del factor de seguridad por rango de pendiente del terreno muestran una condición inversamente proporcional como era de esperarse (ver **Figura 4.11**), en cuanto a las unidades geológicas se identifica que los depósitos cuaternarios y los rellenos antrópicos poseen una condición de estabilidad más precaria que la de las formaciones rocosas presentes (ver **Figura 4.12**).

Finalmente, con base en la información descrita se evaluó el factor de seguridad (ver **Figura 4.13**) y la aceleración crítica (ver **Figura 4.14**). Los valores fueron contrastados con el inventario de deslizamientos (ver **Figura 4.15**) para notar el nivel de correlación y así se ajustaron algunos parámetros que permitieron mejores resultados.

Material	Ø(°)	c´ (KPa)	γ (kN/m3)	Espesores (m)
Depósito Aluvial Cauces	35	20	18	10
Depósito Aluvial Conos	35	20	18	15
Depósito Aluvial Terrazas	43	25	17	15
Depósito Fluvioglaciar	30	20	18	15
Depósito de Ceniza	26	20	16	10
Depósito de Ladera	35	25	18	15
Formación Bogotá	25	60	19	6
Formación Cacho	38	90	20	3
Formación Chipaque	33	90	20	3
Formación Guadalupe Arenisca Dura	32	90	20	3
Formación Guadalupe Arenisca Labor	33	100	20	3
Formación Guadalupe Arenisca Tierna	33	90	20	3
Formación Guadalupe Plaeners	30	60	20	3
Formación Guaduas	25	50	19	4
Formación Regadera	33	100	21	3
Formación Sabana	25	55	19	6
Formación Tilatá	25	40	19	6
Formación Usme	33	90	21	4
Relleno Antrópico de Basura	18	2	15	15
Relleno Antrópico de Escombro	20	2	17	15
Suelo Residual	18	10	18	10

Tabla 4.2. Parámetros de resistencia asignados

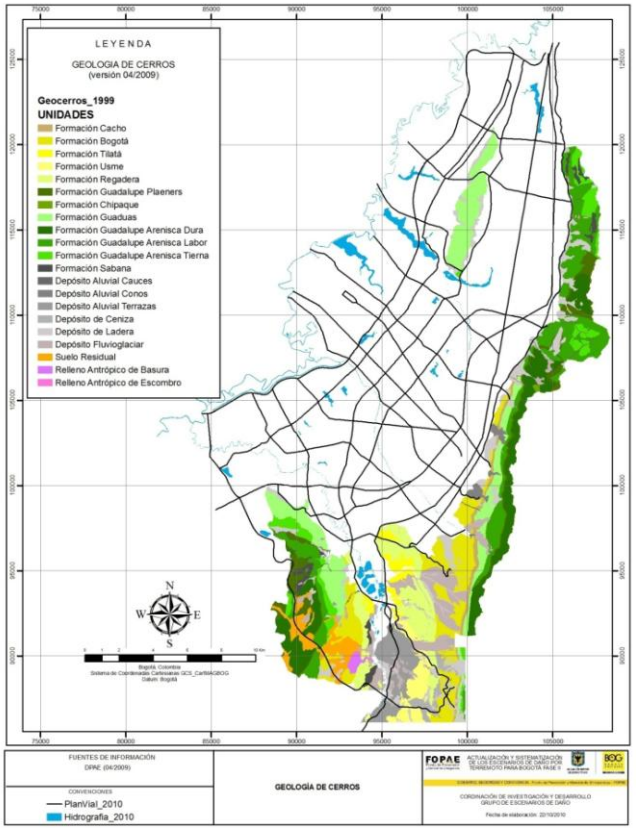


Figura 4.9. Geología de cerros

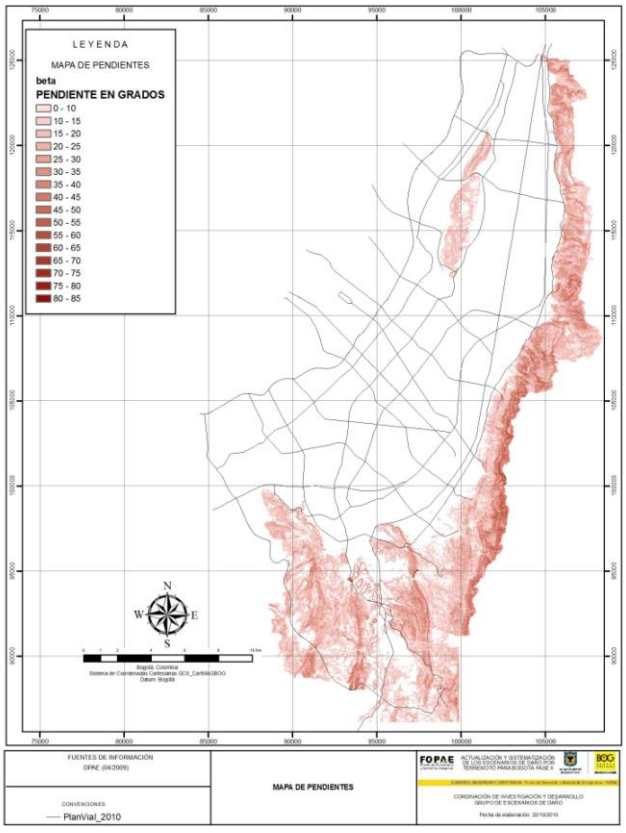


Figura 4.10. Mapa de pendientes

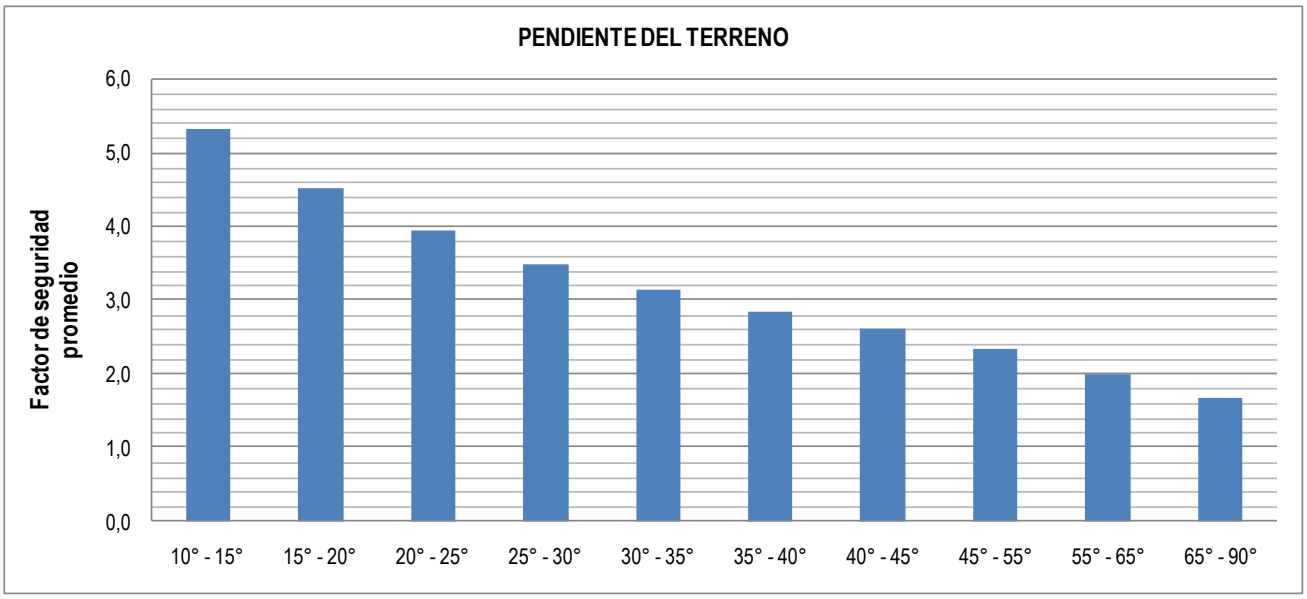
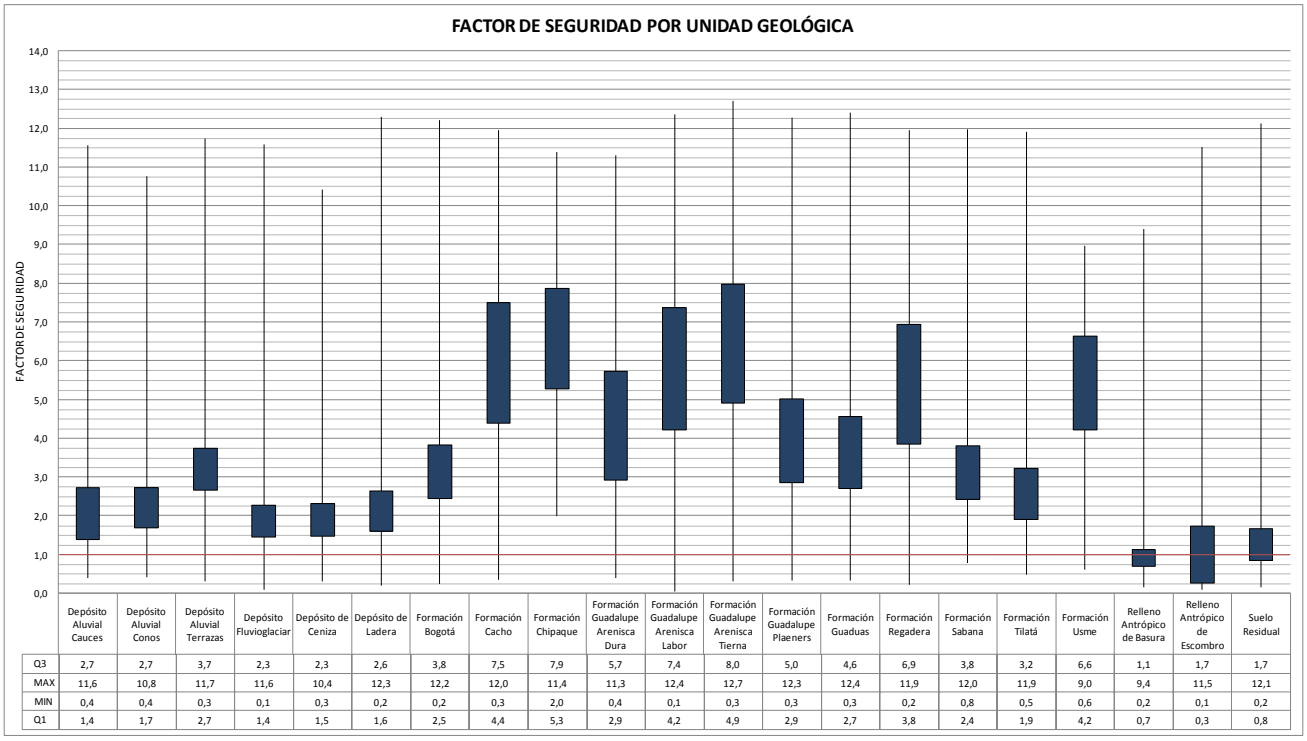


Figura 4.11. Factor de seguridad promedio contra la pendiente del terreno



	Depósito Aluvial Cauces	Depósito Aluvial Conos	Depósito Aluvial Terrazas	Depósito Fluvioglaciar	Depósito de Ceniza	Depósito de Ladera	Formación Bogotá	Formación Cacho	Formación Chipaque	Formación Guadalupe Arenisca Dura	Formación Guadalupe Arenisca Labor	Formación Guadalupe Arenisca Tierna	Formación Guadalupe Plaeners	Formación Guaduas	Formación Regadera	Formación Sabana	Formación Tilatá	Formación Usme	Relleno Antrópico de Basura	Relleno Antrópico de Escombro	Suelo Residual
Q3	2,7	2,7	3,7	2,3	2,3	2,6	3,8	7,5	7,9	5,7	7,4	8,0	5,0	4,6	6,9	3,8	3,2	6,6	1,1	1,7	1,7
MAX	11,6	10,8	11,7	11,6	10,4	12,3	12,2	12,0	11,4	11,3	12,4	12,7	12,3	12,4	11,9	12,0	11,9	9,0	9,4	11,5	12,1
MIN	0,4	0,4	0,3	0,1	0,3	0,2	0,2	0,3	2,0	0,4	0,1	0,3	0,3	0,3	0,2	0,8	0,5	0,6	0,2	0,1	0,2
Q1	1,4	1,7	2,7	1,4	1,5	1,6	2,5	4,4	5,3	2,9	4,2	4,9	2,9	2,7	3,8	2,4	1,9	4,2	0,7	0,3	0,8

Figura 4.12. Factor de seguridad por unidad geológica[3]

[3] Los valores graficados corresponden a el cuartil 25 "Q1", cuartil 75 "Q2" y los valores máximo y mínimo de la tabla de resultados.

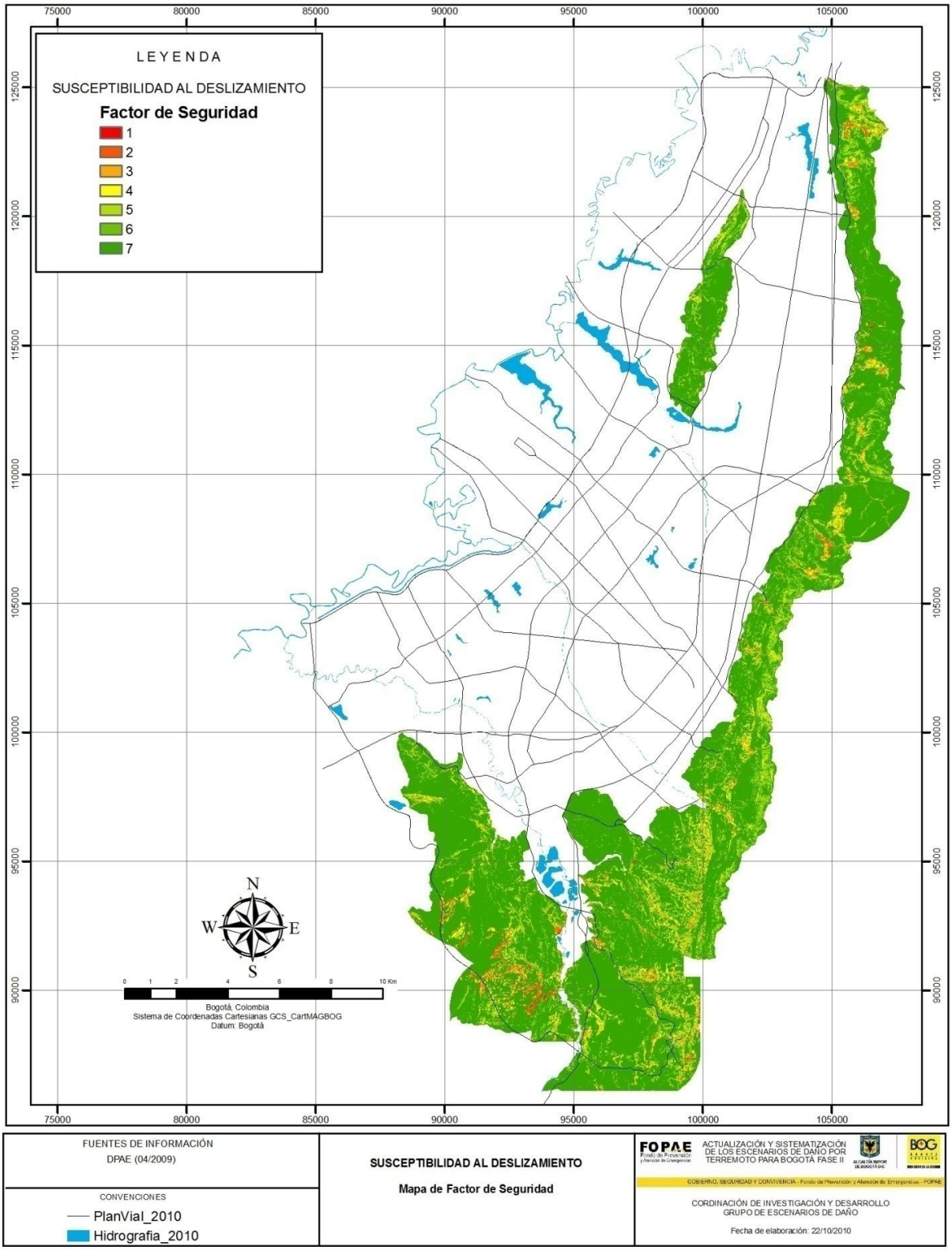


Figura 4.13. Mapa de factor de seguridad

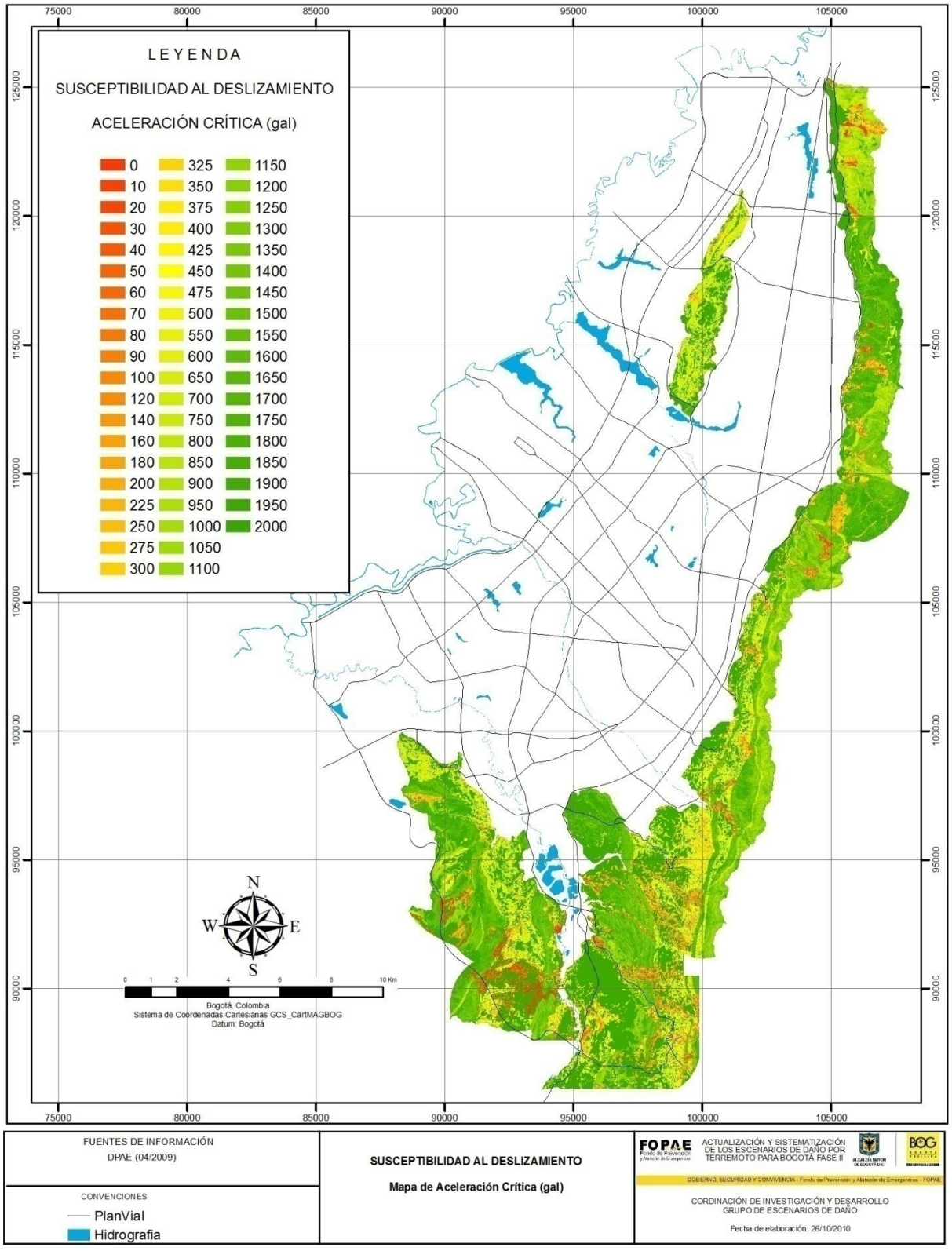


Figura 4.14. Mapa de aceleración crítica

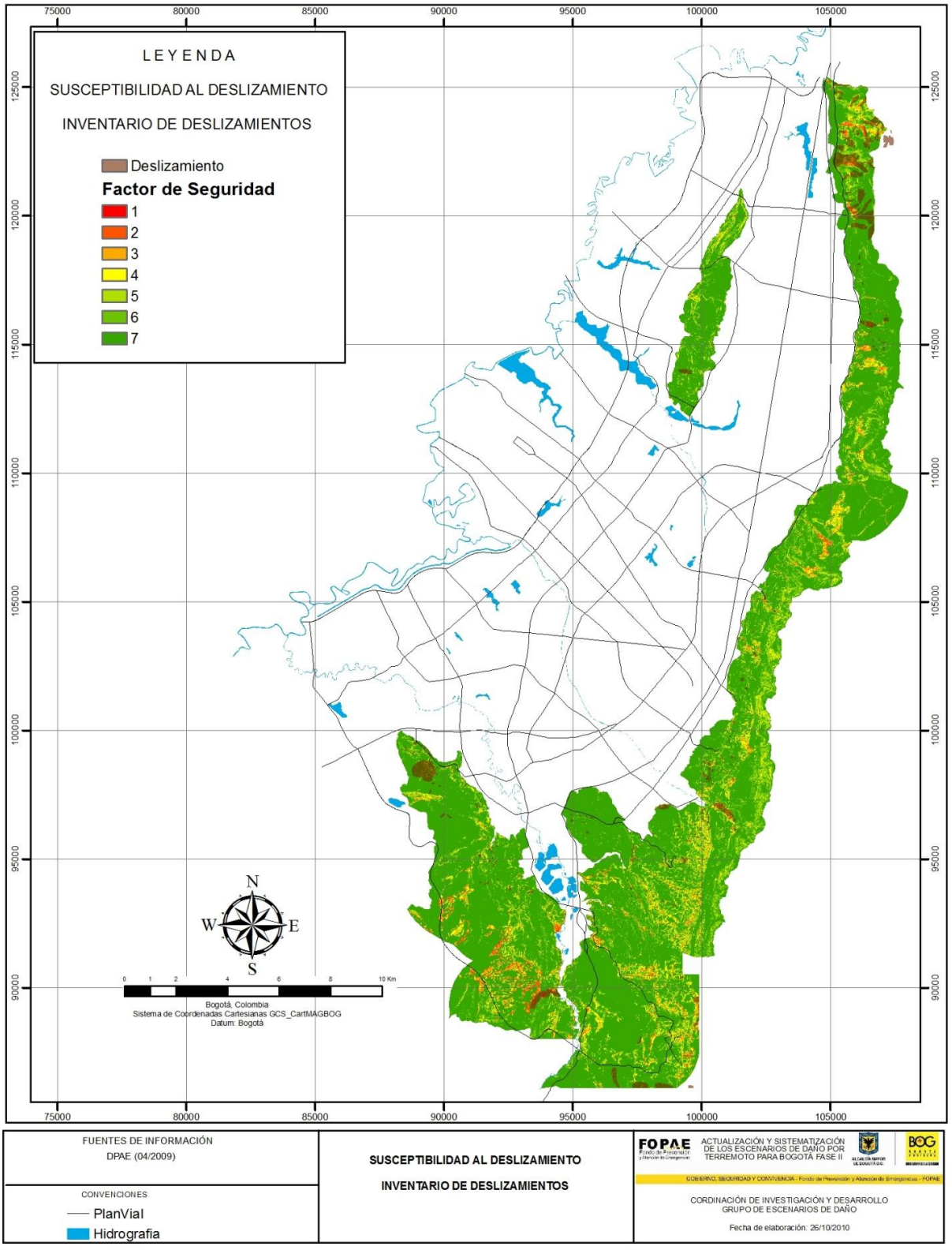


Figura 4.15. Mapa de inventario de deslizamientos contra factor de seguridad

CAPÍTULO 5

5 VULNERABILIDAD

De acuerdo con el marco metodológico presentado en la **Figura 5.1**, algunas de las metodologías para la evaluación de daños en edificaciones y líneas vitales consideran establecer la vulnerabilidad sísmica de estos elementos como etapa previa para la evaluación de los daños en cada escenario de amenaza. Este numeral presenta los resultados de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de aquellos elementos para los que la metodología de evaluación de daños así lo considera.

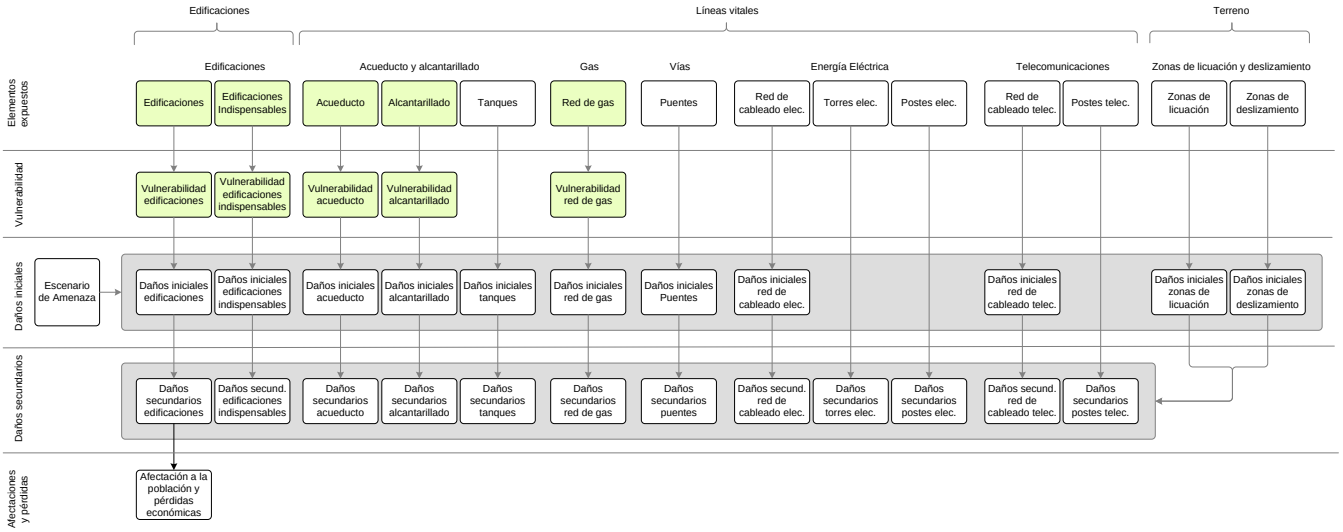


Figura 5.1. Metodología general de evaluación (Evaluación de la vulnerabilidad de edificaciones y líneas vitales)

5.1 EDIFICACIONES

El presente numeral contiene los resultados obtenidos en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica para las edificaciones de la ciudad. El estudio efectuado a estos elementos expuestos responde a un nivel de escala semidetallado a general, lo cual indica que la información disponible para la realización de los análisis presenta limitaciones, por tanto los resultados mostrados a continuación deben ser interpretados como valores factores que permiten tener un panorama general de la situación actual y no como un valor absoluto del parámetro factor presentado, ya que estos valores son resultado de la aplicación de modelos expuestos de manera detallada en el Tomo I del presente estudio.

5.1.1 Edificaciones normales

El análisis de la vulnerabilidad en edificaciones normales se efectuó a partir de la metodología propuesta por Benedetti y Petrini en 1984. A continuación se exponen los resultados obtenidos por esta metodología para la ciudad, los parámetros usados en la corrida son los determinados por defecto para este método.

El factor de vulnerabilidad sísmica promedio en edificaciones para la ciudad presenta un valor del 35%, la distribución de los datos vista a partir del histograma de la **Figura 5.3**, el cual presenta una distribución bimodal con un pico inicial entre 20% y 30% y uno posterior entre 50% y 60%. El primero de estos picos agrupa un total de 225.041 registros correspondientes al 27.6% de los lotes de la ciudad, por su parte el segundo pico agrupa un total de 189.669 registros que corresponden al 23.2%. La variación geográfica de este factor se puede observar en la **Figura 5.2**.

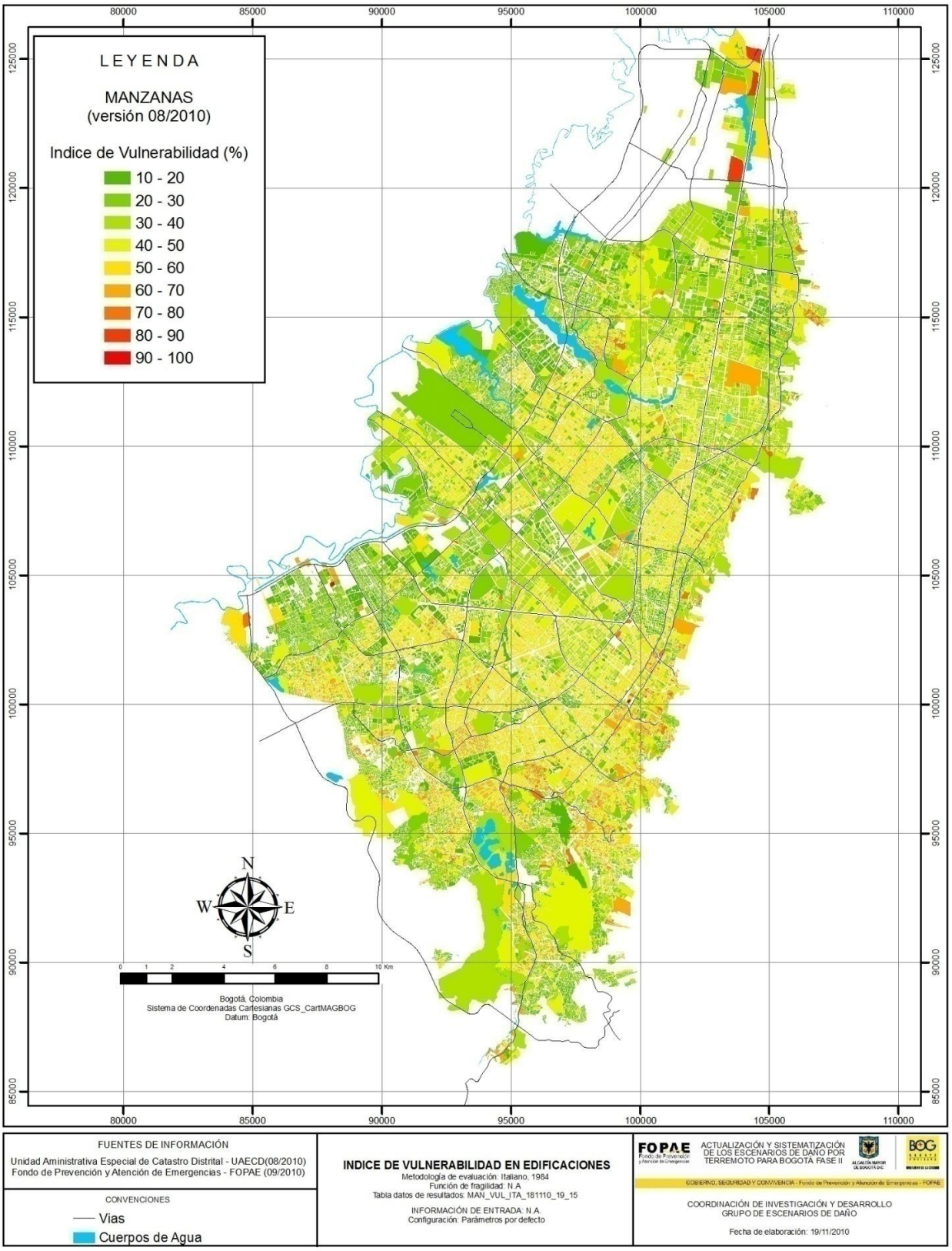


Figura 5.2. Índice de vulnerabilidad

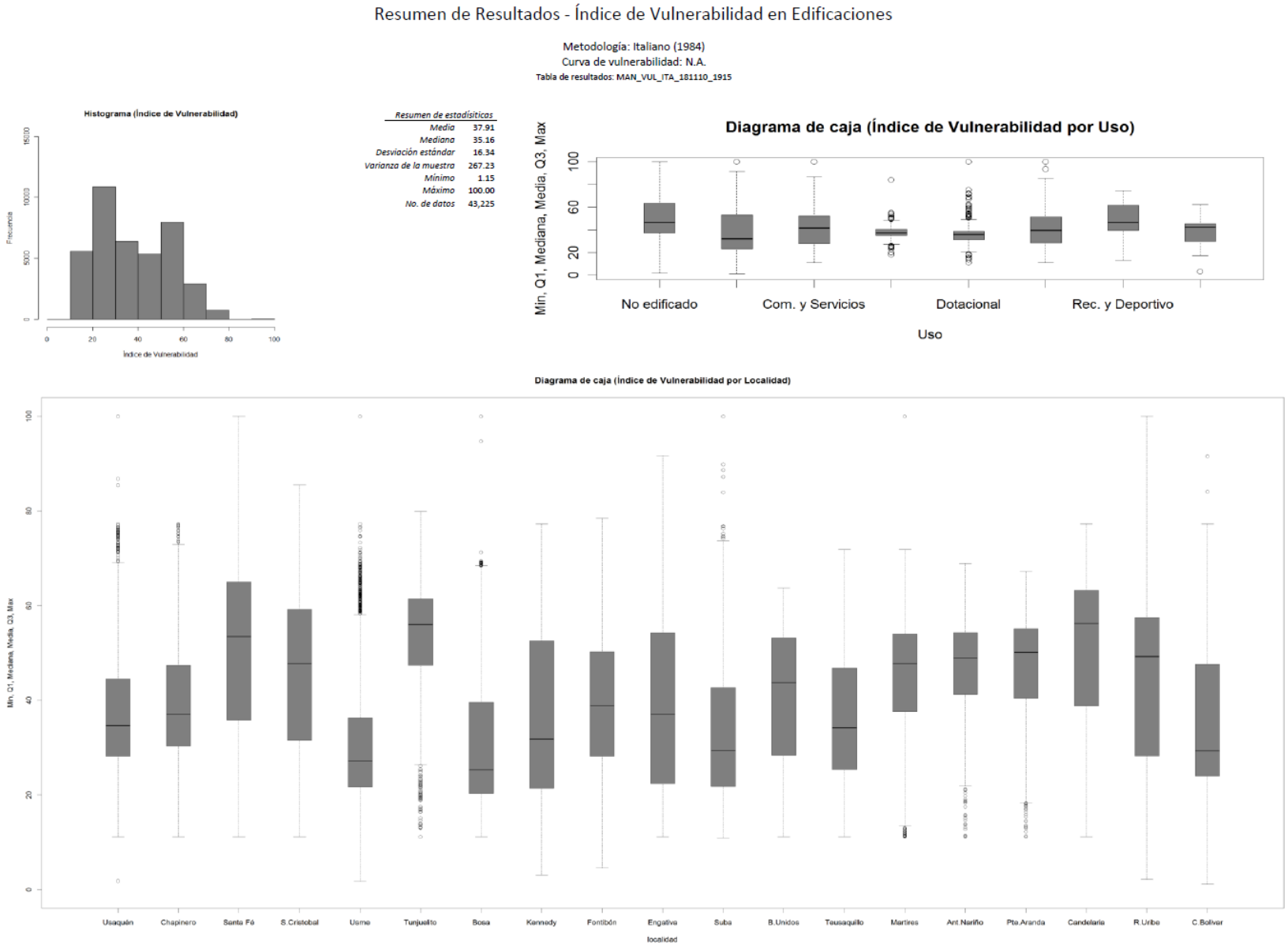


Figura 5.3. Análisis estadístico de resultados de vulnerabilidad

De la desagregación de este resultado a nivel localidad se observa espacialmente que los valores más altos de este indicador se obtienen en la zona céntrica, sur y suroriental de la ciudad, principalmente en las localidades de Santa Fe, San Cristóbal, Tunjuelito, Los Mártires, Antonio Nariño, Puente Aranda, Candelaria y Rafael Uribe Uribe, en donde se tienen valores cercanos o superiores al 45% (ver **Figura 5.3**), el resto de las localidades presentan valores promedio más bajos entre el 31% y el 39%. Adicionalmente la variabilidad de este factor puede observarse en el diagrama de caja del factor de vulnerabilidad por localidad ubicado en la **Figura 5.3**, en donde se pueden visualizar los valores máximos, mínimos, los percentiles 25 y 75 y el valor de la mediana de los datos graficados para cada una de las 19 localidades urbanas, para lo cual se encuentra que localidades como Usme, Tunjuelito, Antonio Nariño, Puente Aranda y Candelaria son las menos heterogéneas, lo cual es atribuible a la forma en la cual fueron efectuados sus desarrollos urbanísticos. Adicionalmente se observa que en general el factor de vulnerabilidad en edificaciones varía entre el 10% y el 80% aproximadamente, esto denota una gran heterogeneidad en las tipologías estructurales, en la vetustez de las edificaciones, uso y número de pisos.

Respecto a los principales usos autorizados para las edificaciones hay un comportamiento muy parejo, rondando para todos los usos el valor promedio de la ciudad (ver **Figura 5.3**), las edificaciones construidas en lotes de usos no edificables son aquellas que presentan los valores más altos de todo el conjunto de usos, esto es consistente con la dinámica de construcción de estas edificaciones que de manera general son construcciones ilegales de muy bajas especificaciones constructivas.

En cuanto a la variabilidad de los resultados se encuentra que los usos más variables son el residencial, comercial y de servicios. La variabilidad del primero se debe a que allí están representados 652.695 registros de este uso en todos los estratos socioeconómicos y de la amplia gama de número de pisos y fechas de construcción; el uso comercial y de servicios está compuesto por un total de 139.399 registros que a su vez se subdivide en cuatro categorías adicionales de comercio, lo cual genera una amplia variabilidad en los atributos considerados para la estimación del factor de vulnerabilidad.

5.1.2 Edificaciones indispensables

El análisis del factor de vulnerabilidad en edificaciones indispensables se calcula bajo la misma metodología que las edificaciones normales, pero para estos elementos se contó con información más detallada, en total se registraron 200 edificaciones con los valores del factor según se ilustran en la **Figura 5.4**. Nótese que el sector salud, administrativo público y centros culturales presentan los valores más altos, aunque cabe anotar que estos valores no deben ser tomados como un panorama del estado de las edificaciones indispensables porque la muestra tomada para este análisis es reducida.

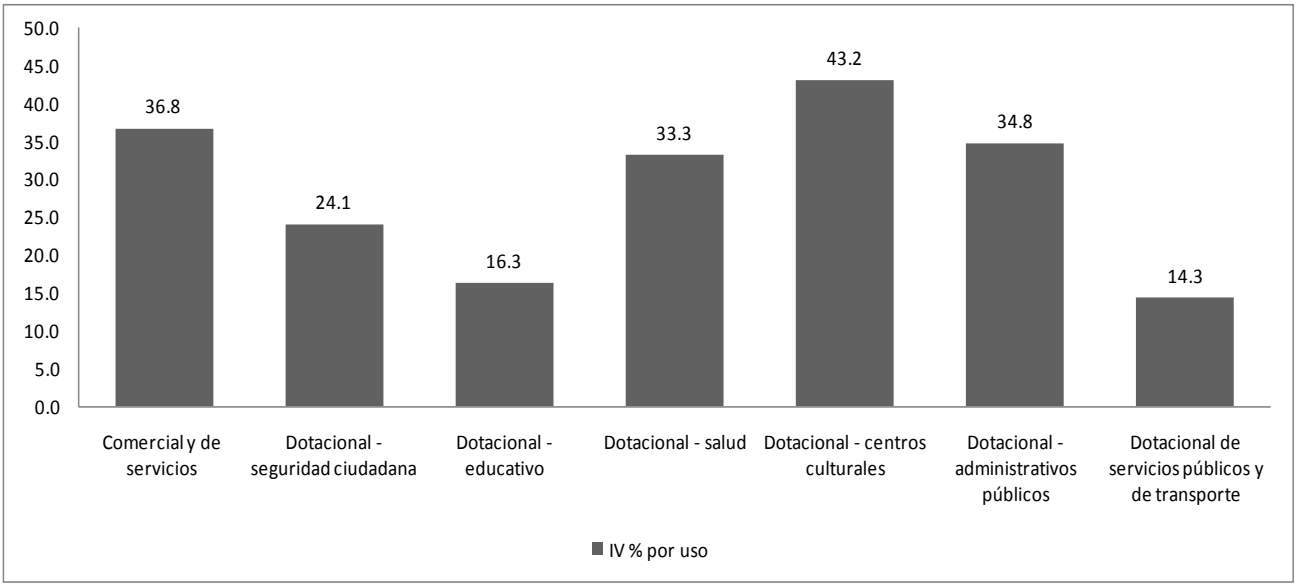


Figura 5.4. Índice de vulnerabilidad promedio en edificaciones indispensables

5.2 LÍNEAS VITALES

Dentro de las metodologías empleadas para la evaluación de daños en líneas vitales, la empleada para la evaluación de daños en tuberías (Kubo & Katayama, 1975) incluye la evaluación de la vulnerabilidad sísmica como etapa previa a la evaluación de daños en cada uno de los escenarios de amenaza. A continuación se presentan los resultados de dicha evaluación para las tres tipologías de tubería consideradas.

5.2.1 Red de tuberías

La metodología de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las redes de tubería (Kubo & Katayama, 1975) se empleó considerando dos configuraciones de los parámetros de evaluación. En la primera configuración se usaron los parámetros predeterminados del método y en la segunda no se consideró el efecto de licuación del terreno (i.e. se asignó un valor de 1.00 para todas las unidades geotécnicas).

La **Figura 5.5** y **Figura 5.6** presentan un consolidado estadístico de los resultados de factor de vulnerabilidad para las tres tipologías de tubería mediante las dos configuraciones descritas y la **Figura 5.7** y **Figura 5.8** presentan los mapas de resultados. En el Anexo 1 se presentan los resultados detallados para cada una de las tipologías de red de tubería (acueducto, alcantarillado y gas domiciliario).

En los siguientes numerales se presenta el análisis de los resultados obtenidos para las dos configuraciones usadas.

5.2.1.1 Red de acueducto

a) Configuración 1 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, el factor de vulnerabilidad de la red de acueducto presenta valores entre 0.03 y 4.80 con una media de 1.20. La red primaria presenta unos factores de vulnerabilidad menores a los de la red secundaria (mínimo de 0.03, máximo de 3 y media de 0.5), mientras que la red secundaria alcanza los valores más altos (mínimo en 0.03, máximo en 4.80 y media de 1.2).

b) Configuración 2 (no considera efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno (i.e. se asignó un valor de 1.00 para todas las unidades geotécnicas), el factor de vulnerabilidad de la red de acueducto presenta valores entre 0.03 y 4.00 y una media de 1.01, resultados que son inferiores a los obtenidos con la configuración 1. La red primaria presenta unos factores de vulnerabilidad menores a los de la red secundaria (mínimo en 0.03, máximo en 2.6 y media de 0.5), mientras que la red secundaria alcanza los valores más altos (mínimo en 0.03, máximo en 4.00 y media de 1.00).

5.2.1.2 Red de alcantarillado

a) Configuración 1 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, el factor de vulnerabilidad de la red de alcantarillado presenta valores entre 0.08 y 6.00 con una media de 1.60.

Respecto a las categorías de la red de alcantarillado, la red primaria presenta los factores de vulnerabilidad más bajos (mínimo en 0.08, máximo en 3.00 y media de 0.80), mientras que la red secundaria y menor presentan valores más altos (mínimo en 0.08, máximo en 3.80 y media de 1.30 para la red secundaria, mínimo en 0.10, máximo en 5.00 y media de 1.50 para la red menor).

Según el tipo de red, la red pluvial muestra los factores de vulnerabilidad más bajos (mínimo en 0.08, máximo en 5.00 y media de 1.20), mientras que la red sanitaria y combinada presentan valores más altos (mínimo en 0.08, máximo en 6.00 y media de 1.90 para la red sanitaria, y mínimo en 0.08, máximo en 5.00 y media de 1.20 para la red combinada).

b) Configuración 2 (no considera efecto de licuación del terreno)

Al omitir el efecto de licuación del terreno, el factor de vulnerabilidad de la red de alcantarillado presenta valores entre 0.06 y 5.00 y una media de 1.39, resultados inferiores a los obtenidos con la configuración 1.

Respecto a las categorías de la red, la red primaria presenta los factores de vulnerabilidad más bajos (mínimo en 0.08, máximo en 3.00 y media de 0.70), mientras que la red secundaria y menor presentan valores más altos (mínimo en 0.08, máximo en 2.50 y media de 1.20 para la red secundaria, y mínimo en 0.2, máximo en 5.00 y media de 1.25 para la red menor).

Según el tipo de red, la red pluvial muestra los factores de vulnerabilidad más bajos (mínimo en 0.08, máximo en 5.00 y media de 1.00), mientras que la red sanitaria y combinada presentan valores más altos (mínimo en 0.08, máximo en 5.00 y media de 1.20 para la red sanitaria, y mínimo en 0.08, máximo en 4.00 y media de 1.15 para la red combinada).

5.2.1.3 Red de gas domiciliario

c) Configuración 1 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, el factor de vulnerabilidad de la red de distribución de gas domiciliario presenta valores entre 0.06 y 1.20 con una media de 0.27.

Según las categorías de la red, las acometidas presentan los factores de vulnerabilidad más bajos (mínimo en 0.06, máximo en 0.47 y media de 0.25), la red secundaria presenta valores entre 0.06 y 0.45 y una media de 0.25 y la red primaria presenta los valores más altos (mínimo en 0.12, máximo en 1.2 y media de 0.75).

d) Configuración 2 (no considera efecto de licuación del terreno)

Al omitir el efecto de licuación del terreno, el factor de vulnerabilidad de la red de distribución de gas domiciliario presenta valores entre 0.06 y 1.20 y una media de 0.22.

Según las categorías de la red, usando esta configuración la red secundara y acometidas presentan los factores de vulnerabilidad más bajos (mínimo en 0.06, máximo en 0.4 y media de 0.20 para la red secundaria, y mínimo en 0.06, máximo en 0.04 y media de 0.20 para las acometidas). La red primaria presenta valores más altos (mínimo en 0.09, máximo en 1.20 y media de 0.60 para la red primaria).

5.2.2 Síntesis

De acuerdo con la metodología empleada (Kubo & Katayama, 1975), de las tres tipologías consideradas en la evaluación, la red de gas domiciliario presenta los factores de vulnerabilidad más bajos y un comportamiento más homogéneo (menor variabilidad en los resultados). Las redes de acueducto y alcantarillado presentan factores de vulnerabilidad más altos y su comportamiento es más heterogéneo (mayor variabilidad en los resultados). Lo anterior se cumple tanto usando la configuración por defecto de los parámetros y como en la configuración en la que se omite el efecto de licuación del terreno.

Para el caso de la red de acueducto, la red primaria presenta un rango de factores de vulnerabilidad menor a los de la red secundaria, pero tanto la red primaria como la secundaria presentan un comportamiento heterogéneo (variabilidad de los resultados). Lo anterior se cumple tanto usando la configuración por defecto de los parámetros, como en la configuración en la que se omite el efecto de licuación del terreno.

En el caso de la red de alcantarillado, la red primaria presenta un rango de factores de vulnerabilidad más bajo y más homogéneo, mientras que la red secundaria y menor presentan valores más altos y de mayor variabilidad. De otro lado la red de alcantarillado pluvial presenta los factores de vulnerabilidad más bajos, seguida por la red de alcantarillado combinado y sanitario. Lo anterior se cumple tanto usando la configuración por defecto de los parámetros y como en la configuración en la que se omite el efecto de licuación del terreno.

Para la red de distribución de gas natural, las acometidas presentan un rango de factores de vulnerabilidad más bajo y más homogéneo, la red secundaria presenta un rango más alto y la red primaria exhibe los valores más altos y heterogéneos. Lo anterior se cumple tanto usando la configuración por defecto de los parámetros, como en la configuración en la que se omite el efecto de licuación del terreno.

Resumen de resultados – Factor de vulnerabilidad de la redes de tubería
Metodología: Kubo & Katayama (1975)

Considera efecto de licuación del terreno

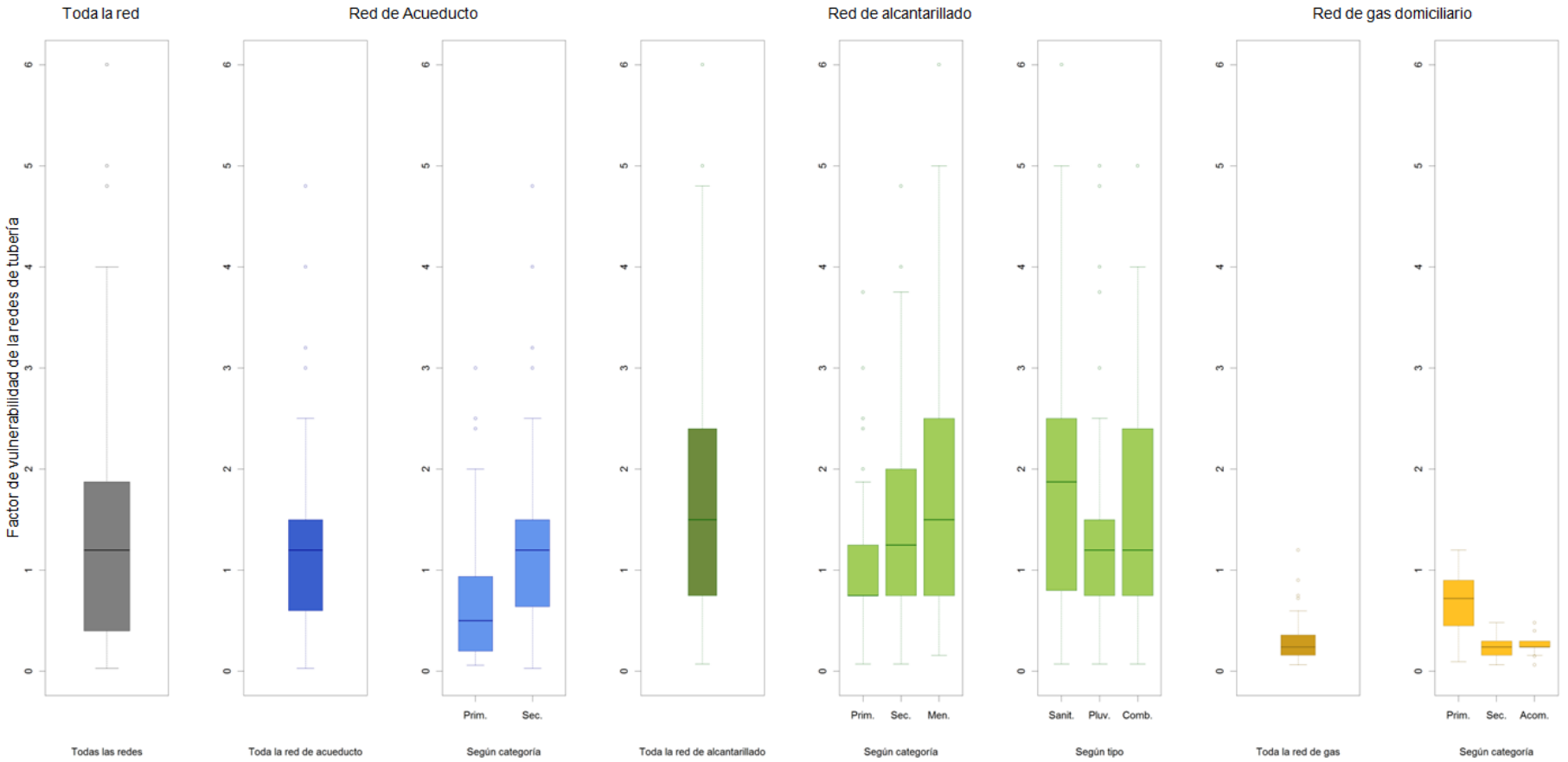


Figura 5.5. Resumen resultados de vulnerabilidad de la red de tuberías (Configuración 1)

Resumen de resultados – Factor de vulnerabilidad de la redes de tubería
Metodología: Kubo & Katayama (1975)

No se considera efecto de licuación del terreno

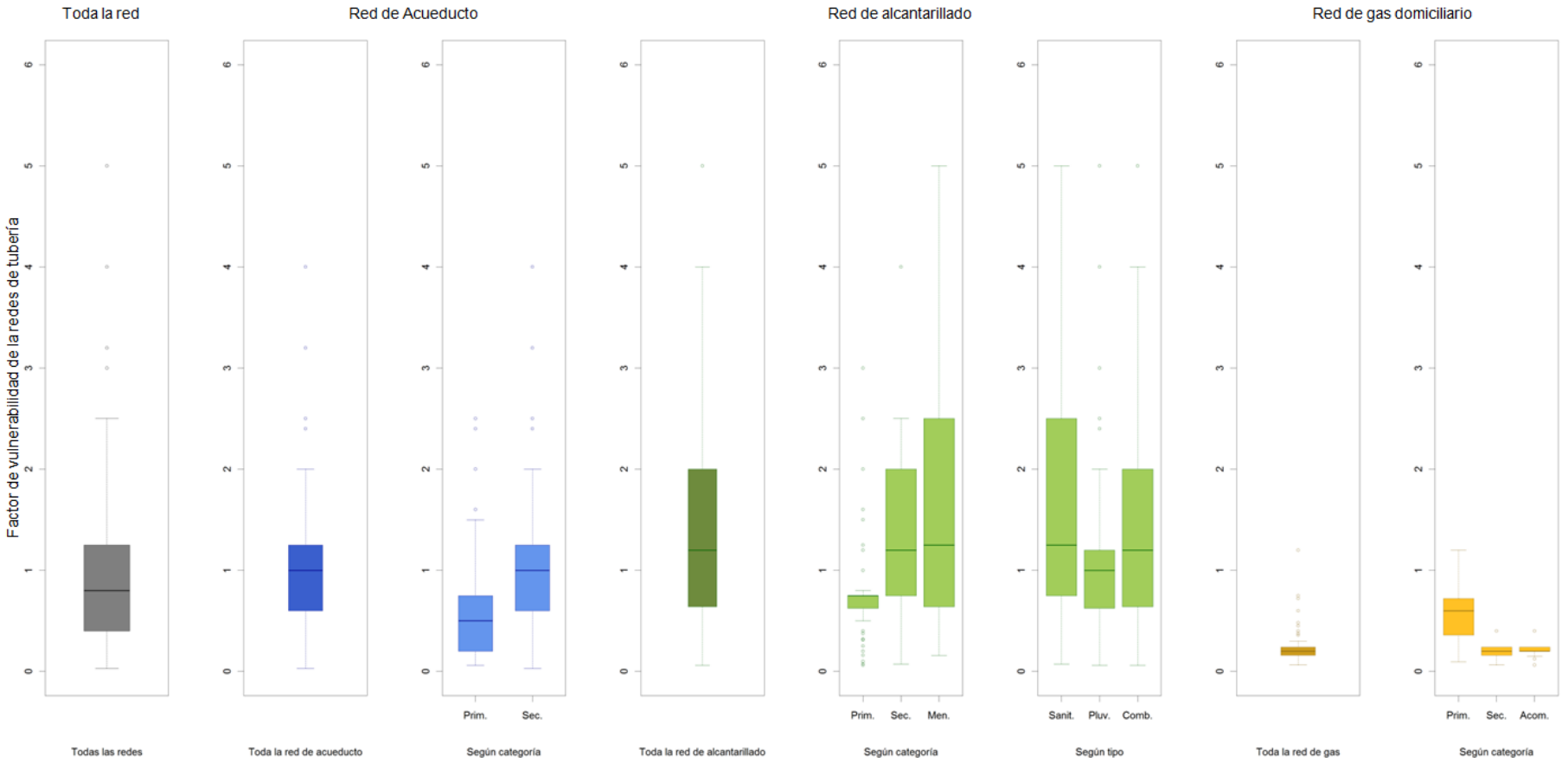


Figura 5.6. Resumen resultados de vulnerabilidad de la red de tuberías (Configuración 2 - no considera efecto de licuación del terreno)

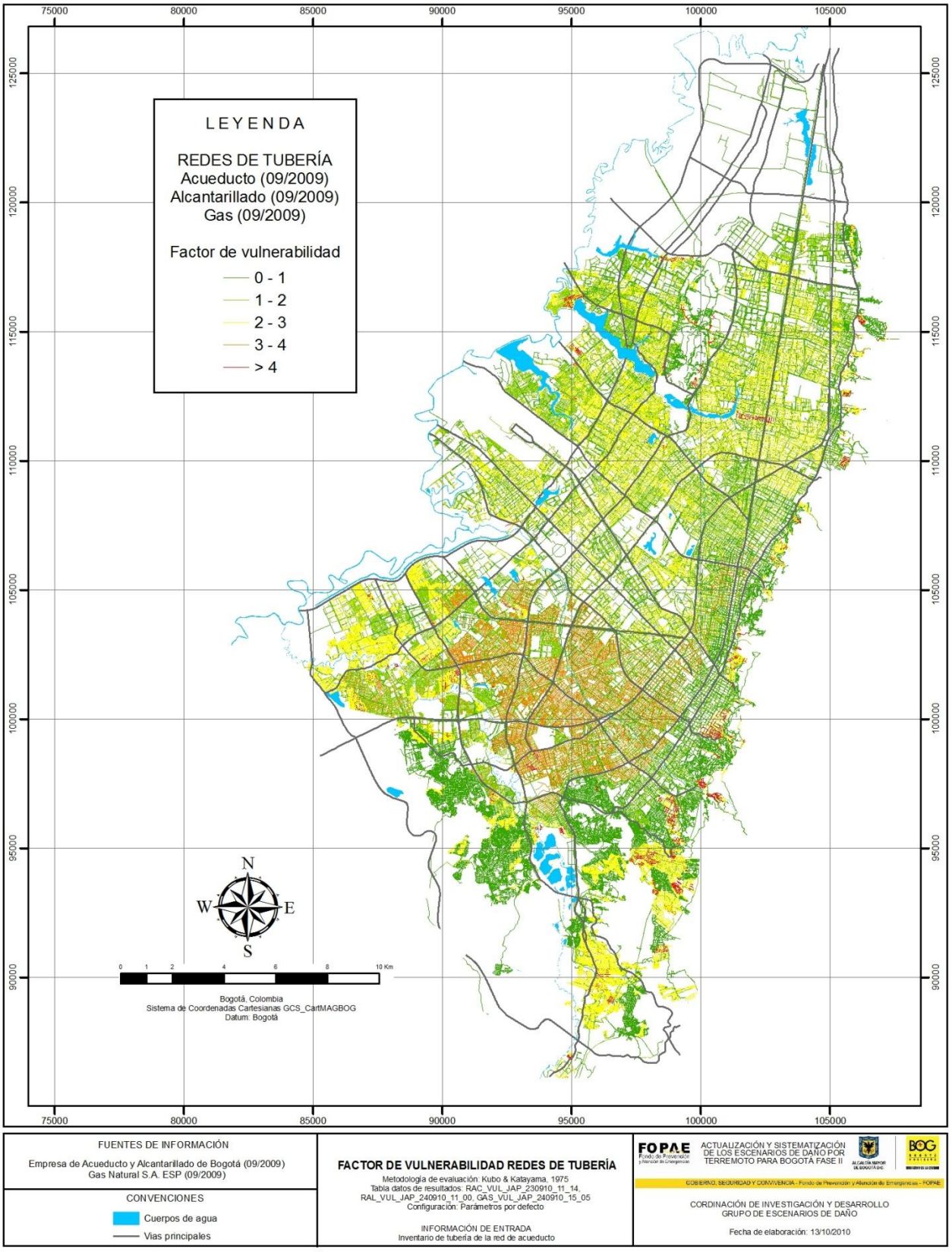


Figura 5.7. Factor de vulnerabilidad de la red de tuberías (Configuración 1)

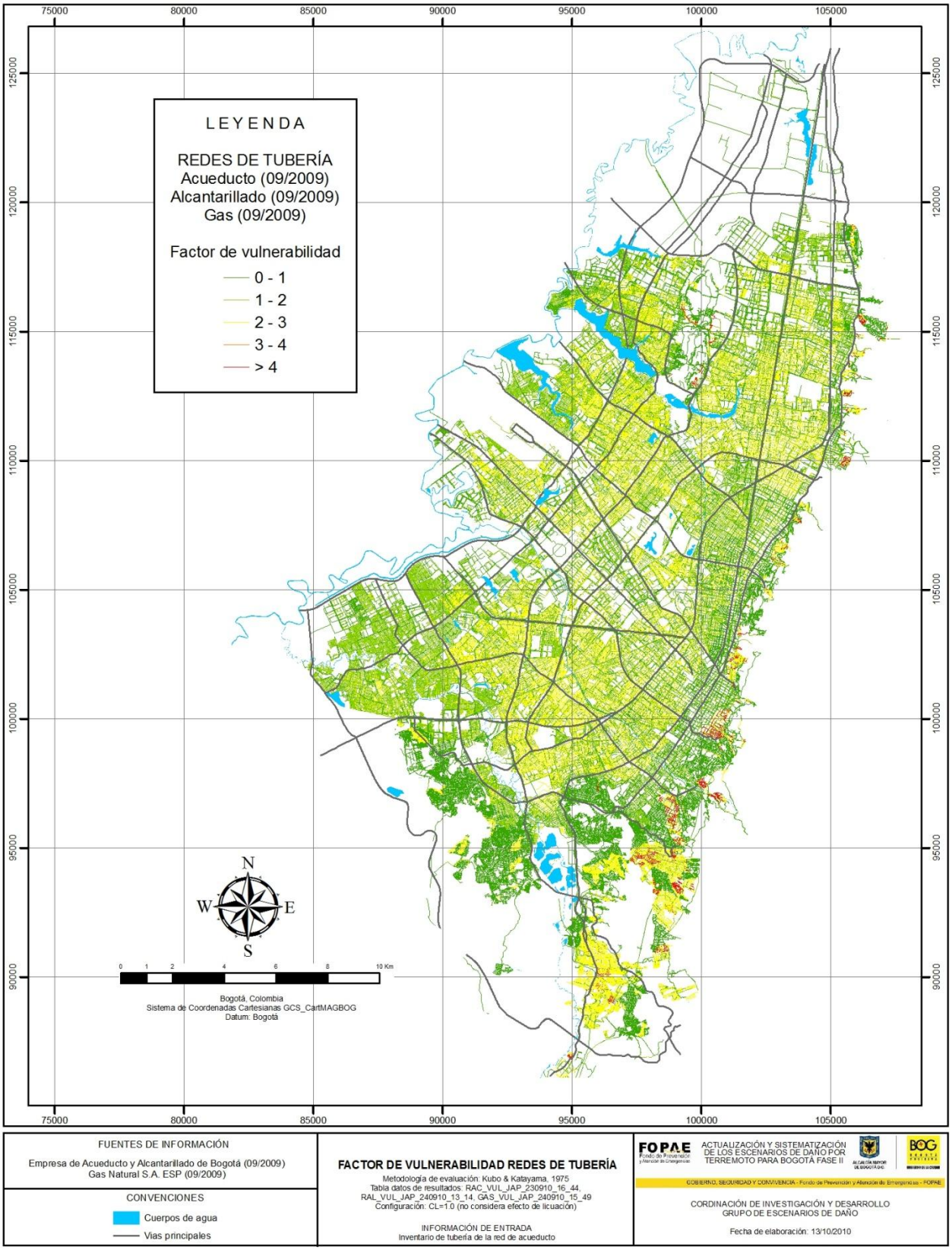


Figura 5.8. Factor de vulnerabilidad de la red de tuberías (Configuración 2)

5.3 RESULTADOS CONSOLIDADOS A UPZ Y LOCALIDAD

5.3.1 Edificaciones normales

El sector con índice de vulnerabilidad promedio más alto como se mencionó anteriormente corresponde al sur y suroriente de la ciudad destacando la UPZ 95 -Las Cruces-, la UPZ 92 -La Macarena- y la UPZ 93 -Las Nieves- de la localidad Santa Fe, la UPZ 62 –Tunjuelito- y la UPZ 42 –Venecia- de la localidad Tunjuelito, la UPZ 94 –Candelaria- de la localidad del mismo nombre, la UPZ 53 -Marco Fidel Suarez-, la UPZ 39 –Quiroga- y la UPZ 36 -San José- de la localidad Rafael Uribe, la UPZ 50 -La Gloria- y la UPZ 33 –Sociego- de la localidad San Cristóbal, la UPZ 41 –Muzu- y la UPZ 43 -San Rafael- de la localidad de Puente Aranda y por último la UPZ 38 –Restrepo- de la localidad Antonio Nariño (ver **Figura 5.9**).

5.3.2 Red de tuberías

En la **Figura 5.10**, **Figura 5.11** y **Figura 5.12** se presenta el índice de vulnerabilidad promedio de las redes de tubería (acueducto, alcantarillado y gas) en cada una de las UPZ y localidades de la ciudad. Los valores presentados corresponden a aquellos evaluados mediante la metodología de Kubo & Katayama (1975) sin considerar el efecto de licuación del terreno (configuración 2, CL=1.0). En el anexo 1 se presentan los resultados detallados por UPZ y localidad.

En general, los resultados consolidados por UPZ y localidad presentan la misma tendencia descrita en los numerales anteriores: la red de alcantarillado presenta los valores más altos de índice de vulnerabilidad, seguida por la red de acueducto y la red de gas domiciliario que presenta los valores más bajos. Los valores de vulnerabilidad promedio más altos se encuentran en las localidades de Usme, Engativá, Puente Aranda y Candelaria.

5.3.2.1 Red de acueducto

El factor de vulnerabilidad promedio de la red de acueducto de toda la ciudad es de 1.02. Las localidades que presentan valores superiores a dicho valor son: Usme (1.38), Engativá (1.30) y Barrios Unidos (1.22). Las localidades que presentan menores valores son: SantaFe (0.69), Rafael Uribe (0.69) y Ciudad Bolívar (0.62). Ver **Figura 5.10**.

En general, los resultados consolidados por UPZ y localidad presentan la misma tendencia descrita en el numeral 5.2.1.1, la red secundaria presenta valores de vulnerabilidad más altos que la red primaria.

5.3.2.2 Red de alcantarillado

El factor de vulnerabilidad promedio de la red de acueducto de toda la ciudad es de 1.46. Las localidades que presentan valores superiores a dicho valor son: Usme (1.72), Fontibón (1.62), Engativá (1.77), Puente Aranda (1.75) y Candelaria (2.25). Las localidades que presentan menores valores son: SantaFe (0.69), Bosa (1.05), Rafael Uribe (1.11) y Ciudad Bolívar (0.63). Ver **Figura 5.11**.

En general, los resultados consolidados por UPZ y localidad presentan la misma tendencia descrita en el numeral 5.2.1.2, la red secundaria y menor presentan valores de vulnerabilidad más altos que la red primaria y la red sanitaria y red combinada presentan valores más altos que la red pluvial.

5.3.2.3 Red de gas domiciliario

El factor de vulnerabilidad promedio de la red de gas domiciliario de toda la ciudad es de 0.23. Las localidades que presentan los valores superiores son: Usme (0.32) y Candelaria (0.34). Las localidades que presentan los menores valores son: SantaFe (0.17), Rafael Uribe (0.17) y Ciudad Bolívar (0.15). Ver **Figura 5.12**.

En general, los resultados consolidados por UPZ y localidad presentan la misma tendencia descrita en el numeral 5.2.1.2, la red primaria presentan valores de vulnerabilidad más altos que la red secundaria y acometidas.

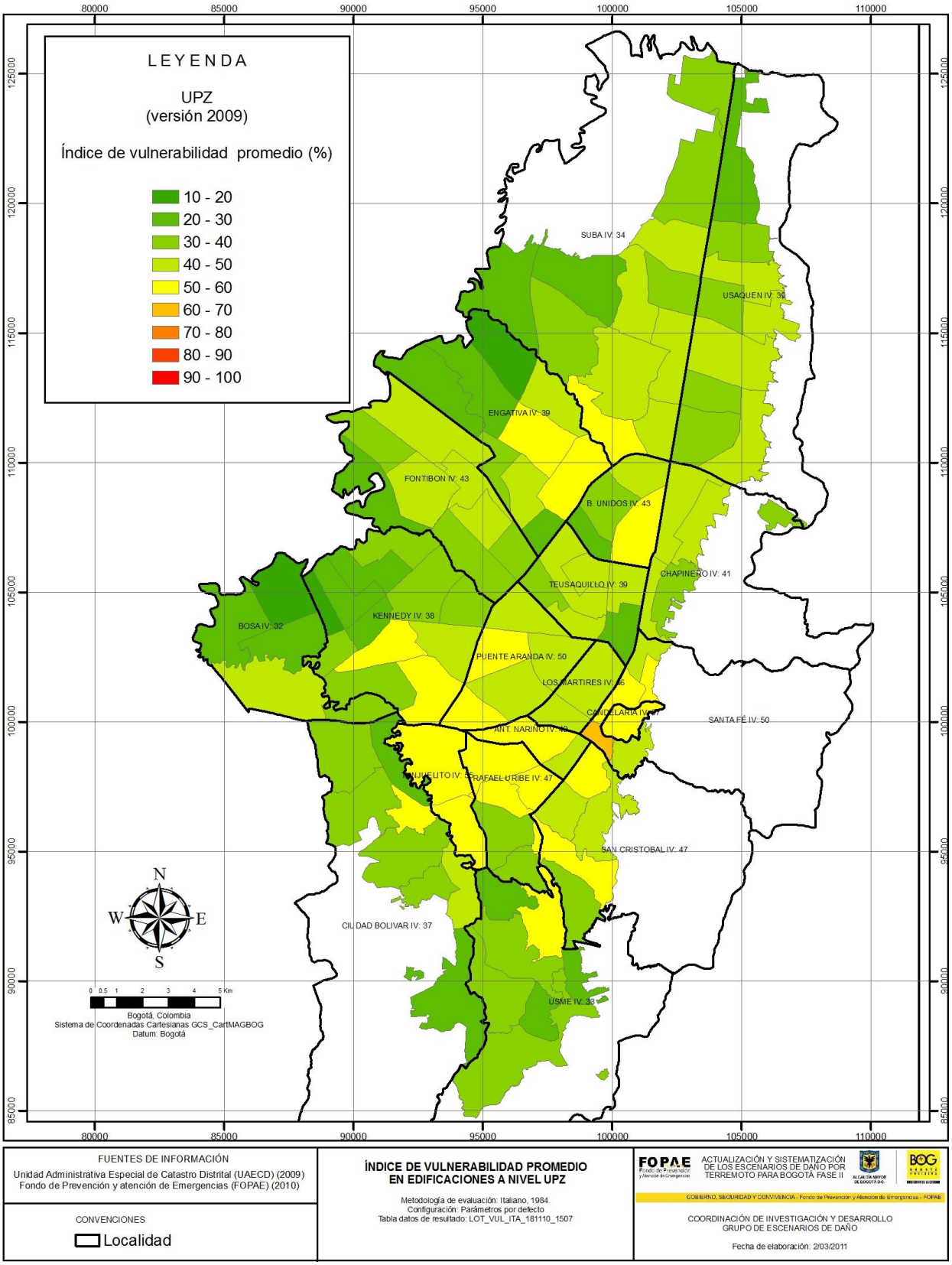


Figura 5.9. Índice de vulnerabilidad promedio a Localidad y UPZ

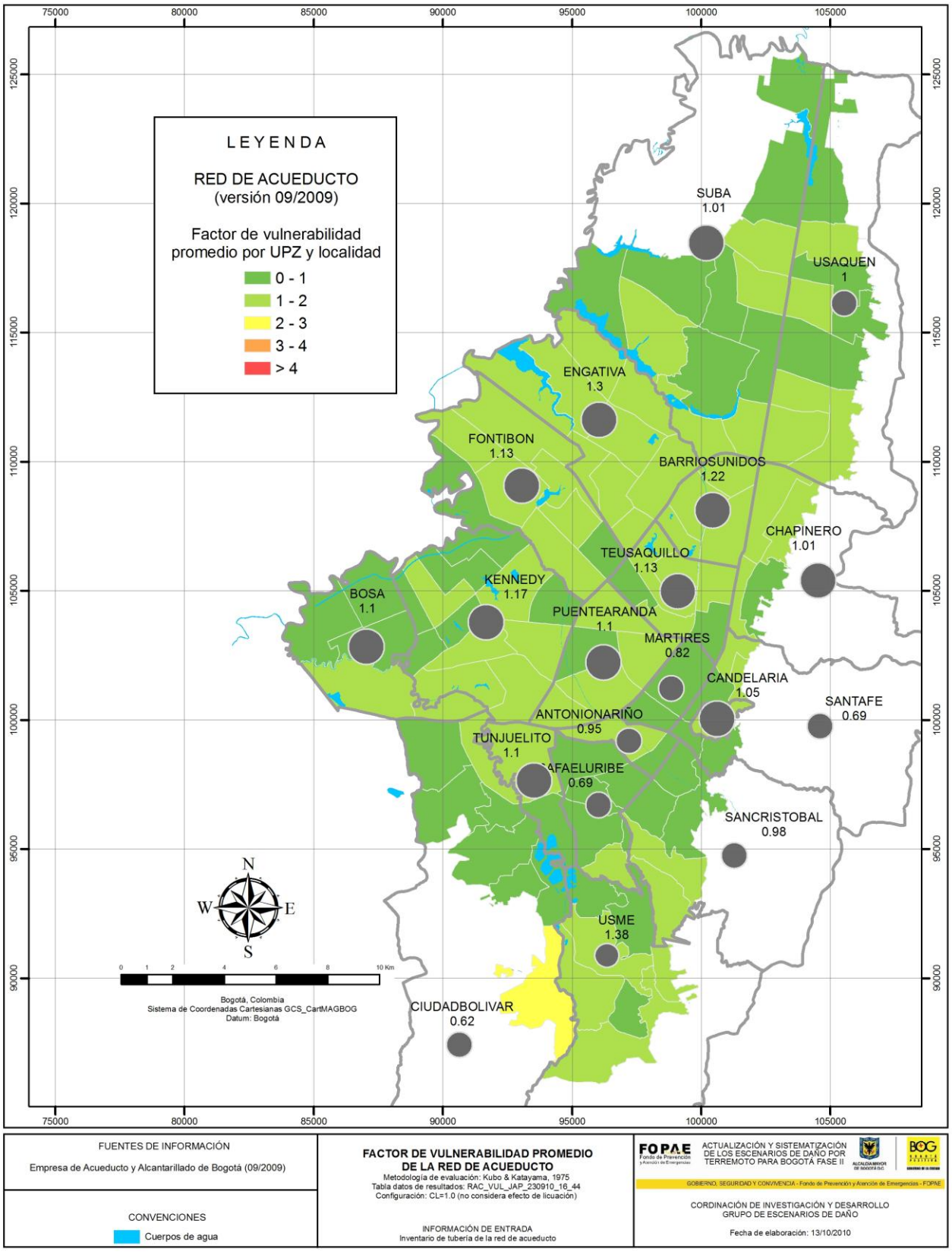


Figura 5.10. Factor de vulnerabilidad red de acueducto - Resultados por localidad (Configuración 2)

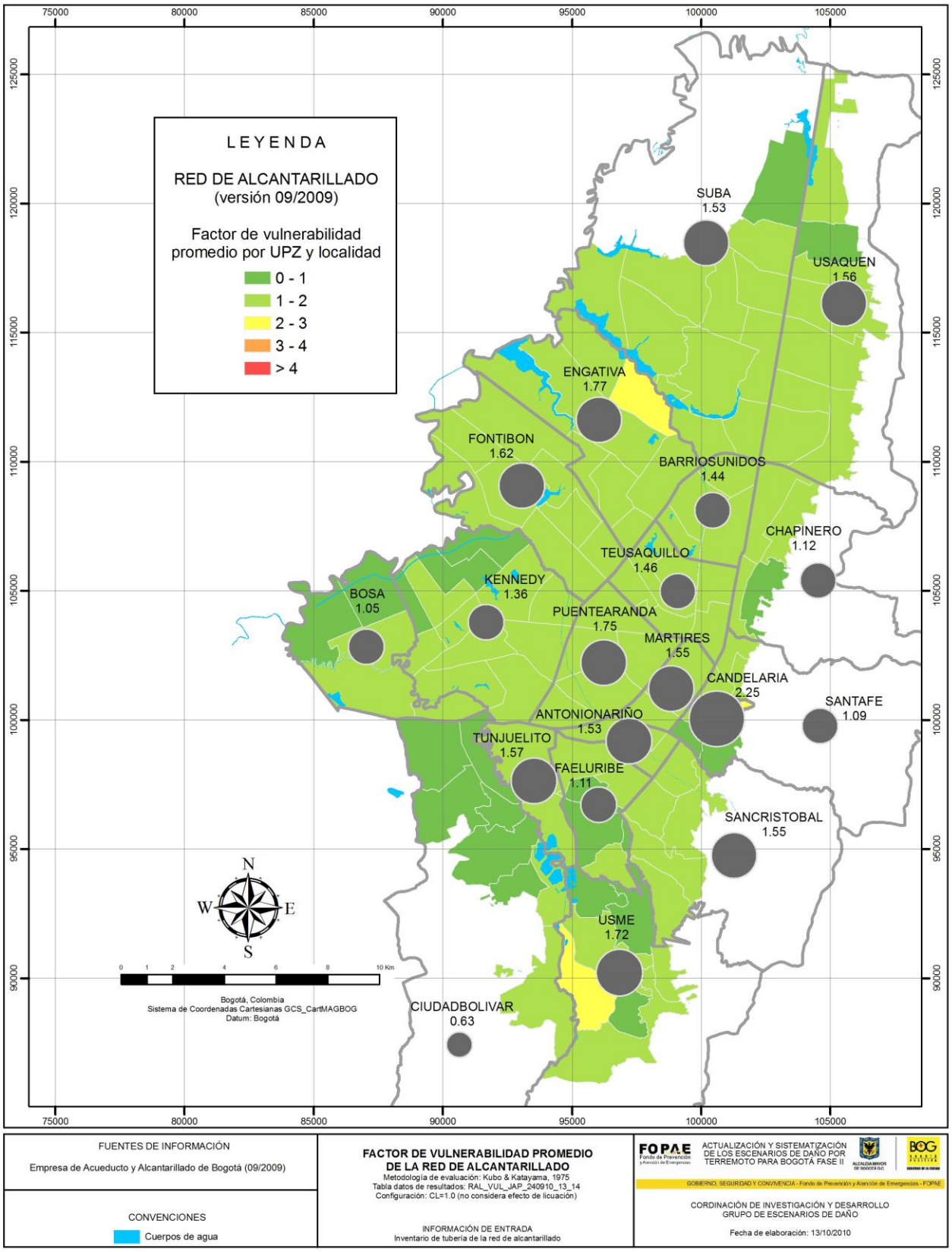


Figura 5.11. Factor de vulnerabilidad red de alcantarillado - Resultados por localidad (Configuración 2)

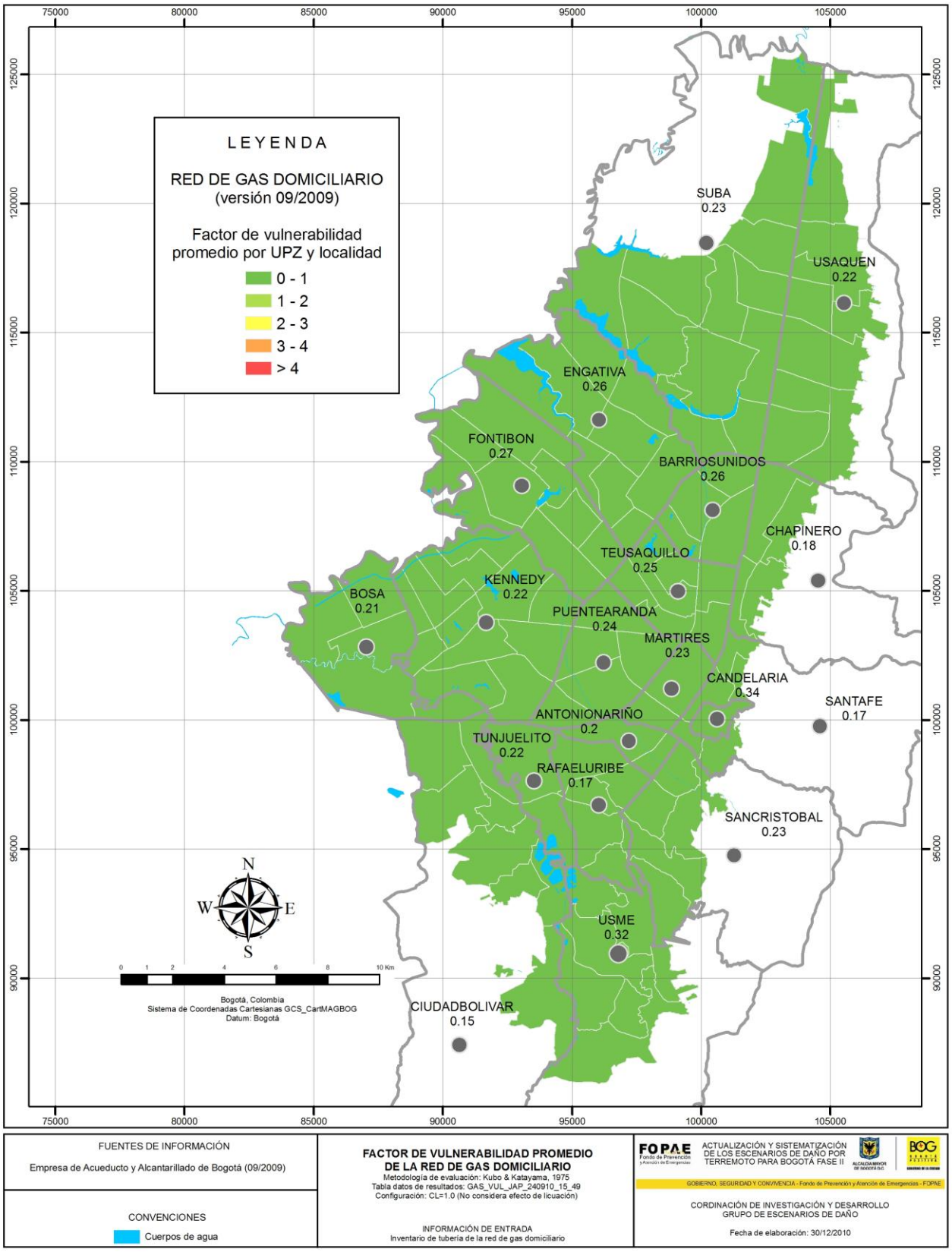


Figura 5.12. Factor de vulnerabilidad red de gas domiciliario - Resultados por localidad (Configuración 2)

CAPÍTULO 6

6 ESCENARIO M6.5 A 50KM UMBRAL DE DAÑO

El escenario de umbral de daño planteado considera un sismo generado por una fuente regional con una magnitud de 6.5 en la escala abierta de Richter a una distancia promedio de 50 kilómetros y una profundidad de hasta 25 km, evento que está asociado a un periodo de retorno equivalente de 30 años.

6.1 EFECTOS REGIONALES

El escenario de umbral de daño presenta intensidades entre IV y V lo cual corresponde a PGA entre 0.014 g y 0.092 g sin incluir efectos de sitio. Tal y como se presenta en la **Figura 6.1**, gran parte de Cundinamarca se encuentra en intensidad V y tan solo la zona del distrito capital y la parte norte del departamento se encuentra en intensidad IV. Por tal razón, en términos generales los daños probables esperados para este escenario son mínimos en todos los elementos expuestos excepto en la zona epicentral.

El porcentaje máximo de daño es de 5% para el caso de los citigates en la red de gas natural y las estaciones y subestaciones en la red de electricidad; estos daños se refieren básicamente a las estructuras que componen estos sistemas.

A pesar de que el porcentaje de daño en la malla vial y Ferrea es nulo, es posible esperar caída de rocas sueltas y pequeños deslizamientos de material térreo suelto, especialmente después de períodos de lluvia, en los corredores viales del oriente y el occidente ya que parte de estas vías atraviesan la zona de intensidad V. En cuanto a la red de acueducto, el sistema más vulnerable es el sistema Wiesner que está ubicado hacia el oriente del distrito capital y por tanto más cercano a las fuentes sismogénicas que presentan mayor amenaza a la ciudad. Por su parte la red gas natural y la red de energía también podrían presentar daños menores debido a que parte de su trazado atraviesa la zona de intensidad V.

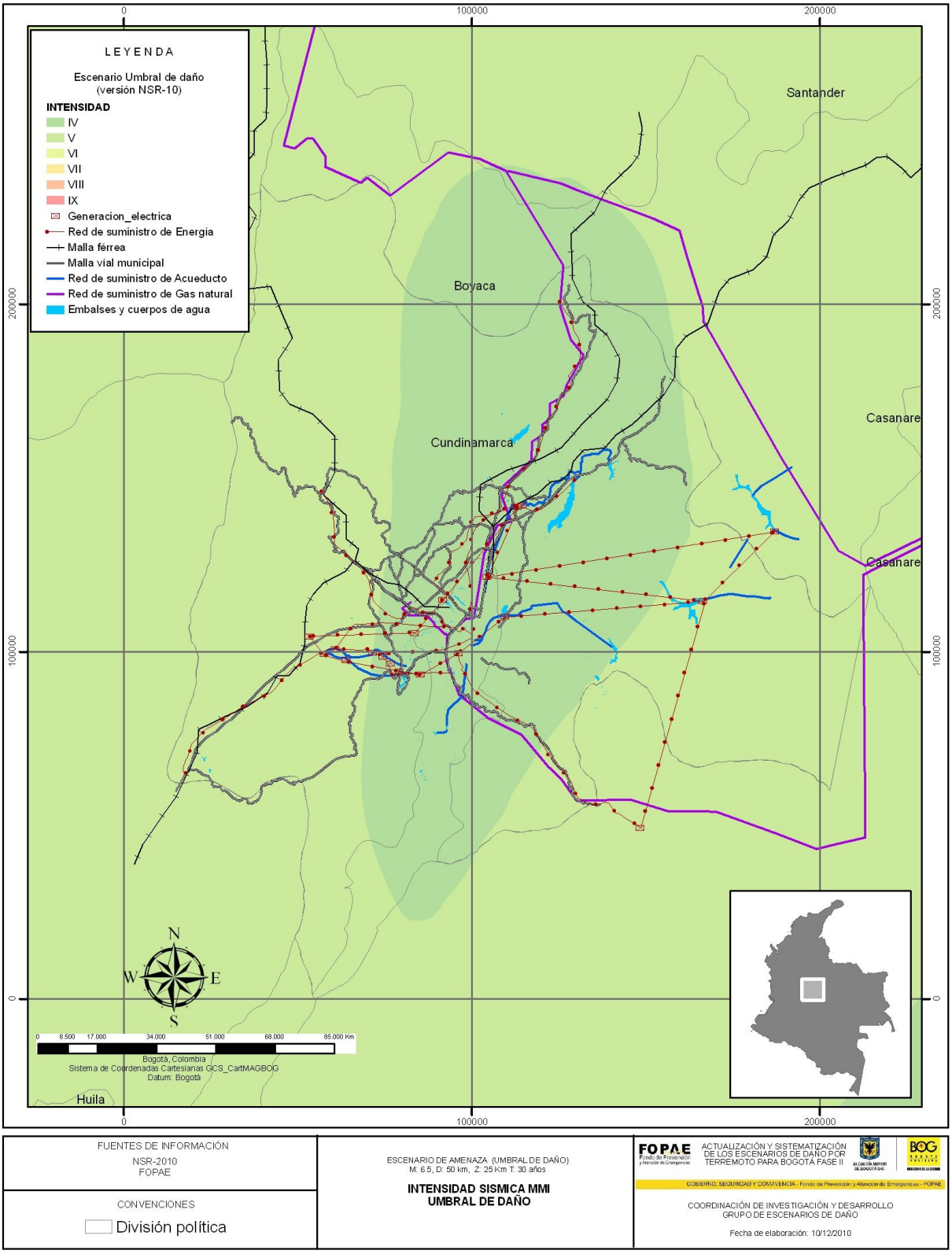


Figura 6.1. Intensidad sísmica para el escenario de Umbral de Daño

6.2 DAÑOS INICIALES

De acuerdo con la metodología general de evaluación, dentro del proceso de evaluación de daños para análisis del riesgo sísmico se considera una primera etapa de evaluación de los daños iniciales (causados directamente por el movimiento sísmico). Se presentan ahora los resultados de evaluación de los daños iniciales en edificaciones y líneas vitales (en aquellos elementos para los que la metodología así lo considera. Ver **Figura 6.2**) correspondientes al escenario de amenaza umbral de daño".

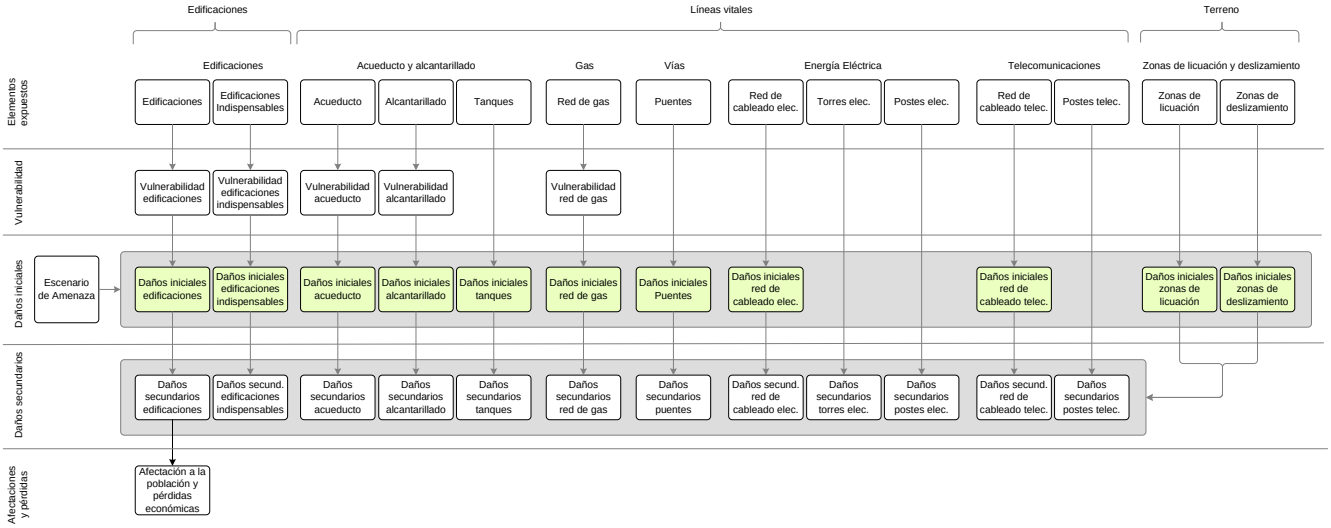


Figura 6.2. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños iniciales en edificaciones y líneas vitales)

6.2.1 Edificaciones

6.2.1.1 Edificaciones Normales

La evaluación de los daños en edificaciones normales en la ciudad de Bogotá se efectuó a partir de las metodologías Italiano y Miranda las cuales usaron las curvas de vulnerabilidad propuestas por DPAE, 2009 y ANDES, 2005, respectivamente. Se observa inicialmente que para el método italiano el índice de daño promedio a nivel de manzanas es de 6.18%, mientras que para el método Miranda alcanza un valor de 1.06%, observando la distribución de los daños a nivel espacial se encuentra que para el método italiano los daños se concentran especialmente el suroriente de la capital (ver Anexo 2). El método Miranda concentra los daños hacia las zonas de piedemonte específicamente en las localidades de chapinero y Usaquén en los cerros orientales de la capital.

Los valores promedio del índice de daño obtenidos a nivel localidad para ambos métodos muestran que localidades como Santa Fe, San Cristóbal, Tunjuelito y Candelaria presentan daños entre moderados y considerables, con valores del índice de daño entre el 12.3% y el 15.7%, el resto de localidades presentan daños bajos (ver **Figura 6.3**). Presenta una distribución sesgada a la izquierda con un pico inicial entre 0% y 5% de daño, con lo cual se esperarían para este escenario daños entre moderados, bajos o nulos para el 78.9% de las edificaciones y daño considerables, fuertes y severos para el 10.8% de las edificaciones, para el método Italiano; mientras que para el método Miranda se esperan daños entre moderados, bajos o nulos para el 89.4% de las edificaciones y daño considerables, fuertes y severos para el 0.3% de las edificaciones.

Adicionalmente se observa que las localidades con más dispersión en los resultados de daño son Santa fe, San Cristóbal, Tunjuelito, Candelaria, Rafael Uribe y Ciudad Bolívar (ver Anexo 2) situación que se evidencia en una gran heterogeneidad frente a las edificaciones que componen cada una de estas localidades lo que se traduce en un amplio espectro de resultados de daño y de otro lado esta dispersión es consistente con el resultado de vulnerabilidad que intervienen directamente en los resultados de la estimación del daño en el método Italiano.

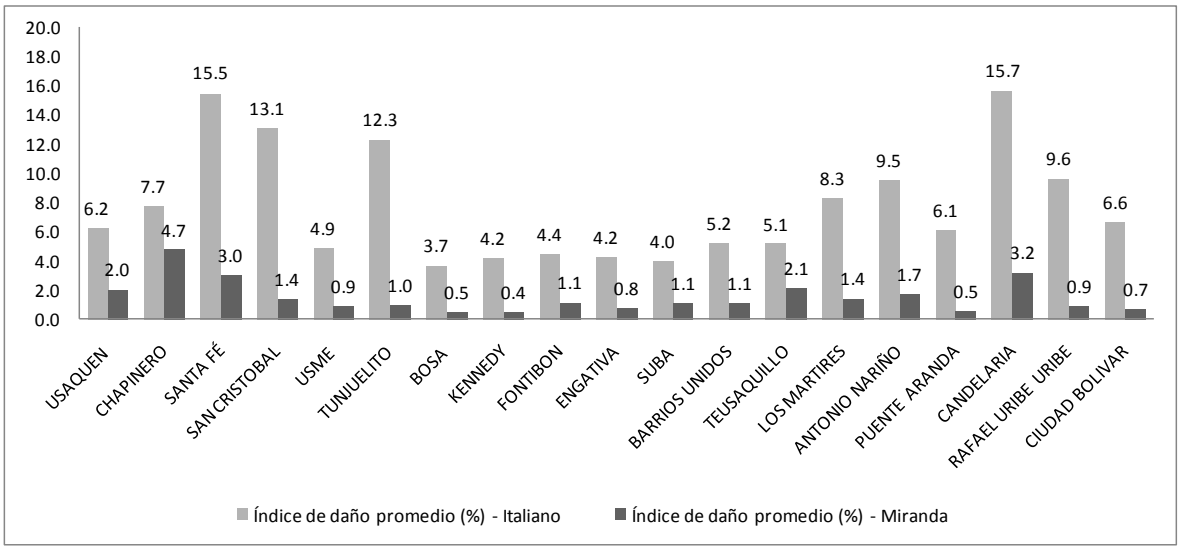


Figura 6.3. Índice de daño promedio por localidades para los métodos italiano y Miranda.

De otro lado se pueden visualizar los daños para este escenario desde la perspectiva del uso de las edificaciones, para lo cual se tiene que las viviendas informales construidas en lotes con uso no autorizado para la construcción presentan daños moderados; para los usos residencial, comercial y de servicios, industrial, dotacional y espacio público se esperan daños bajos y por último para el sector recreacional y deportivo se esperan daños moderados a bajos (ver **Figura 6.4**).

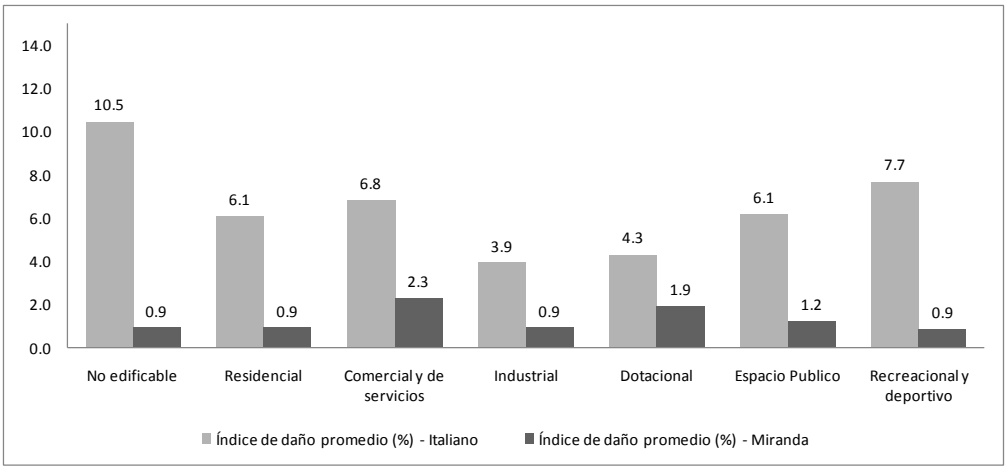


Figura 6.4. Índice de daño en edificaciones de acuerdo a su uso

En el Anexo 2 se encuentran todos los resultados mapas y estadísticas obtenidas.

6.2.1.2 Edificaciones indispensables

El panorama de los potenciales daños en edificaciones indispensables y de atención a la comunidad a las cuales se les ha prestado especial cuidado de teniendo en cuenta su importancia frente a un evento de gran magnitud y a las definiciones expuestas en los códigos de construcciones sismoresistentes NSR-98 y NSR-10, el tratamiento espacial dado a estas construcciones fue la estimación del índice de daño a partir de información primaria de las edificaciones obtenida gracias a la colaboración de las diferentes entidades participantes.

Inicialmente de acuerdo a los valores promedio para los daños iníciales y secundarios deben esperarse daños nulos o bajos en este pequeño grupo de edificaciones evaluado, lo cual es consistente para los dos modelos empleados para la evaluación del daño.

ENTIDAD	NÚMERO EDIFICACIONES	ITALIANO - INICIAL				MIRANDA - INICIAL			
		ID PROM	ID MÍN	ID MÁX	ID DESVEST	ID PROM	ID MÍN	ID MÁX	ID DESVEST
Dirección de Gestión del Riesgo para la Prevención y Atención de Desastres	1	0,0	0,0	0,0	-	0,3	0,3	0,3	-
Cuerpo Oficial de Bomceros de Bogotá	18	0,8	0,0	7,3	1,9	0,5	0,1	1,6	0,5
Secretaria de Salud	42	6,6	0,0	26,0	6,2	1,8	0,2	5,4	1,2
Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá	5	1,2	0,0	4,4	1,9	0,3	0,1	0,5	0,2
Policia Nacional	45	2,6	0,0	29,4	6,4	1,8	0,0	6,6	1,4
Empresa de Energía de Bogotá S.A. ESP.	1	29,4	29,4	29,4	-	3,1	3,1	3,1	-
Secretaria de Gobierno	45	4,3	0,0	29,4	6,9	2,8	0,1	14,2	3,3
Terminal de Transporte	2	9,6	7,2	12,0	3,4	0,7	0,6	0,8	0,1
Ejercito Nacional	7	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,8	2,8	0,7
ETB	29	0,4	0,0	4,3	1,2	1,4	0,3	5,6	1,3
Cruz Roja Colombiana	1	0,0	0,0	0,0	-	1,7	1,7	1,7	-
Defensa civil	2	0,0	0,0	0,1	0,0	1,3	0,5	2,2	1,2
Oficina de Prevención y Atención de Desastres - Gobernación de Cundinamarca	1	0,0	0,0	0,0	-	0,3	0,3	0,3	-
CODENSA	1	0,6	0,6	0,6	-	0,9	0,9	0,9	-
Total general	200	3,3	0,0	29,4	6,1	1,8	0,0	14,2	2,0

Tabla 6.1. Consolidado de daño inicial

6.2.2 Líneas vitales Tuberías

La metodología de evaluación de los daños iniciales de las redes de tubería (Kubo & Katayama, 1975) se empleó considerando 4 configuraciones según se indica en la **Tabla 6.2**.

Configuración	Curva de vulnerabilidad	Configuración método evaluación vulnerabilidad
1	JICA, 2002	Por defecto
2	JICA, 2002	No considera efecto de licuación
3	Eidinger,2001	Por defecto
4	Eidinger,2001	No considera efecto de licuación

Tabla 6.2. Configuraciones empleadas para la evaluación de daños iniciales en las redes de tubería

Un consolidado estadístico de los resultados de índice de daño para las tres tipologías de tubería obtenidos para este escenario de amenaza mediante las cuatro configuraciones descritas y los mapas de resultados para cada una de las tipologías de red de tubería (acueducto, alcantarillado y gas domiciliario), se presentan en el Anexo 2 de manera detallada.

6.2.2.1 Red de acueducto

e) Configuración 1 - Curva de vulnerabilidad JICA,2002 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0 y 0.03 con una media de 0.0049 roturas por kilómetro. La red secundaria presenta un rango de tasas de rotura mayor a los de la red primaria.

f) Configuración 2 - Curva de vulnerabilidad JICA,2002 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno, la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0 y 0.025 con una media de 0.0043 roturas por kilómetro (resultados que son inferiores a los obtenidos con la configuración 1). La red secundaria presenta un rango de tasas de rotura mayor a los de la red primaria.

g) Configuración 3 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0 y 0.18 con una media de 0.033 roturas por kilómetro. La red secundaria presenta un rango de tasas de rotura mayor a los de la red primaria.

h) Configuración 4 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno, la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0 y 0.11 y una media de 0.028 roturas por kilómetro. La red secundaria presenta un rango de tasas de rotura mayor a los de la red primaria.

6.2.2.2 Red de alcantarillado

i) Configuración 1 - Curva de vulnerabilidad JICA,2002 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de alcantarillado presenta valores entre 0 y 0.047 con una media de 0.0065 roturas por kilómetro.

La red menor presenta las tasas de roturas más altas, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red, la red de alcantarillado combinado y la red de alcantarillado sanitario presentan las tasas de rotura más altas y la red pluvial presenta las tasas de rotura más bajas.

j) Configuración 2 - Curva de vulnerabilidad JICA,2002 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno, la tasa de roturas de la red de alcantarillado presenta valores entre 0 y 0.03 con una media de 0.006 roturas por kilómetro.

La red menor presenta las tasas de roturas más altas, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red, la red de alcantarillado combinado y la red de alcantarillado sanitario presentan las tasas de rotura más altas y la red pluvial presenta las tasas de rotura más bajas.

k) Configuración 3 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de alcantarillado presenta valores entre 0 y 0.23 con una media de 0.045 roturas por kilómetro.

La red menor presenta las tasas de roturas más altas, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red, la red de alcantarillado sanitario y la red de alcantarillado combinado presentan las tasas de rotura más altas y la red pluvial presenta las tasas de rotura más bajas.

l) Configuración 4 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno, la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0.001 y 0.137 y una media de 0.04 roturas por kilómetro.

La red menor presenta las tasas de roturas más altas, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red, la red de alcantarillado sanitario y la red de alcantarillado combinado presentan las tasas de rotura más altas y la red pluvial presenta las tasas de rotura más bajas.

6.2.2.3 Red de gas domiciliario

m) Configuración 1 - Curva de vulnerabilidad JICA,2002 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de gas presenta valores entre 0 y 0.01 con una media de 0.001 roturas por kilómetro. La red primaria presenta las mayores tasas de rotura, seguida por la red secundaria y las acometidas, las cuales presentan tasas similares.

n) Configuración 2 - Curva de vulnerabilidad JICA,2002 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno, la tasa de roturas de la red de gas domiciliario presenta valores entre 0 y 0.008 con una media de 0.0009 roturas por kilómetro (resultados que son inferiores a los obtenidos con la configuración 1). La red primaria presenta las mayores tasas de rotura, seguida por la red secundaria y las acometidas, las cuales presentan tasas similares.

o) Configuración 3 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de gas presenta valores entre 0.0007 y 0.055 con una media de 0.0076 roturas por kilómetro. La red primaria presenta las mayores tasas de rotura, seguida por la red secundaria y las acometidas, las cuales presentan tasas similares.

p) Configuración 4 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno, la tasa de roturas de la red de gas domiciliario presenta valores entre 0.0007 y 0.033 con una media de 0.006 roturas por kilómetro. La red primaria presenta las mayores tasas de rotura, seguida por la red secundaria y las acometidas, las cuales presentan tasas similares.

6.2.2.4 Síntesis

De acuerdo con la metodología de evaluación, las tasas de rotura obtenidas mediante las curvas de vulnerabilidad de Eidinger 2001 son en todos los casos mayores a las obtenidas mediante las curvas de vulnerabilidad de JICA 2002 (independientemente de la red evaluada y de la configuración usada durante la evaluación de la vulnerabilidad sísmica).

Igualmente, las tasas de rotura obtenidas a partir de los resultados de vulnerabilidad evaluados con la configuración por defecto son mayores a los obtenidos omitiendo el efecto de licuación del terreno.

De las tres tipologías consideradas en la evaluación, las redes de acueducto y alcantarillado presentan las tasas de roturas más altas y un comportamiento más heterogéneo. La red de gas domiciliario presenta las tasas de roturas más bajas y un comportamiento más homogéneo. Lo anterior se cumple para las 4 configuraciones empleadas.

Para el caso de la red de acueducto, la red secundaria presenta un rango de tasas de daño mayor a los de la red primaria. Lo anterior se cumple para las 4 configuraciones empleadas.

En el caso de la red de alcantarillado, la tasa de rotura es mayor en la red menor, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red, la red de alcantarillado combinado y la red de alcantarillado sanitario presentan las tasas de rotura más altas y la red pluvial presenta las tasas de rotura más bajas. Lo anterior se cumple para las 4 configuraciones empleadas.

En el caso de la red de gas domiciliario, la tasa de rotura es mayor en la red primaria, seguida por la red secundaria y las acometidas, las cuales presentan valores similares. Lo anterior se cumple para las 4 configuraciones empleadas.

6.2.3 Líneas vitales Cableado

La metodología de evaluación de los daños iniciales de las redes de cableado (Kubo & Katayama, 1975) se empleó usando la configuración por defecto y la curva de vulnerabilidad de JICA (2002).

Un consolidado estadístico de los resultados de porcentaje de daño para las dos tipologías de redes de cableado obtenidos para este escenario de amenaza y el mapa de resultados para cada una de las tipologías de red de cableado (red de energía eléctrica y red de telecomunicaciones), se presentan detalladamente en el Anexo 2.

6.2.3.1 Red de energía eléctrica

Usando la configuración predeterminada del método de evaluación, el porcentaje de daño de la red de energía eléctrica presenta valores entre 0.0002% y 0.0033% con una media de 0.0009%.

Respecto a la categoría de la red, no existen diferencias significativas entre los porcentajes de daño de las redes de alta, media y baja tensión. En cuanto al tipo de red, la red aérea presenta porcentajes de daño mayores a los de la red canalizada.

6.2.3.2 Red de telecomunicaciones

Usando la configuración predeterminada del método de evaluación, el porcentaje de daño de la red de telecomunicaciones presenta valores entre 0.0002% y 0.0033% con una media de 0.0008%.

Respecto a la categoría de la red, la red secundaria presenta mayores porcentajes de daño que la red primaria. En cuanto al tipo de red, la red aérea presenta porcentajes de daño mayores a los de la red canalizada.

6.2.3.3 Síntesis

De acuerdo con la metodología de evaluación, para este escenario de amenaza las redes de distribución de energía eléctrica y telecomunicaciones alcanzan similares porcentajes de daño.

Para el caso de la red de energía eléctrica, no existe mayor diferencia entre los resultados de daño de las redes de alta, mediana y baja tensión. En el caso de la red de telecomunicaciones, la red secundaria presenta mayor porcentaje de daño que la red primaria.

En ambos casos (energía eléctrica y telecomunicaciones), los porcentajes de daño son mayores en la red aérea que en la canalizada.

6.2.4 Líneas vitales Tanques

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños iniciales de los tanques de almacenamiento (American Lifelines Alliance, 2001), para este escenario de daño los tanques de almacenamiento analizados presentan estado de daño 1 y 2 siendo más frecuente el estado de daño 1 (donde el estado 1 equivale a un porcentaje de pérdida del 0%, el estado de daño 2 a un porcentaje de pérdida entre el 1 y el 20%, el estado de daño 3 a un porcentaje de pérdida entre el 20 y el 40%, el estado de daño 4 a un porcentaje de pérdida entre el 40 y el 100%, y el estado de daño 5 a un porcentaje de pérdida del 100%).

Teniendo en cuenta el nivel de llenado, el estado de daño es mayor en aquellos casos en los cuales el tanque tiene un nivel habitual de llenado mayor al 50%.

Respecto a la presencia de sistemas de anclaje, para el presente caso no existe diferencia significativa entre los resultados de daño. El resumen estadístico de los resultados y el mapa de resultados se presentan en el anexo 2.

6.2.5 Líneas vitales Puentes

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños iniciales de los puentes vehiculares y peatonales (Risk Management Solutions, 1997), para este escenario de amenaza los puentes de la ciudad presentan estados de daño desde el nivel uno hasta el nivel tres siendo más frecuentes los estados de daño 1 y 2 (donde el estado 1 equivale a ningún daño, el estado 2 a daño menor, el estado 3 a daño moderado, el estado 4 a daño generalizado y el estado 5 a daño total).

Los puentes vehiculares presentan estados de daño de 1 a 2. Los puentes peatonales presentan estados de daño de 1 a 3, siendo más frecuente el estado de daño 1. El resumen estadístico de los resultados y el mapa de resultados se presentan en el anexo 2.

6.2.6 Efectos colaterales

En la **Figura 6.5** se ilustran los estados de daño por efectos colaterales de licuación y deslizamiento evaluados para el correspondiente escenario de amenaza.

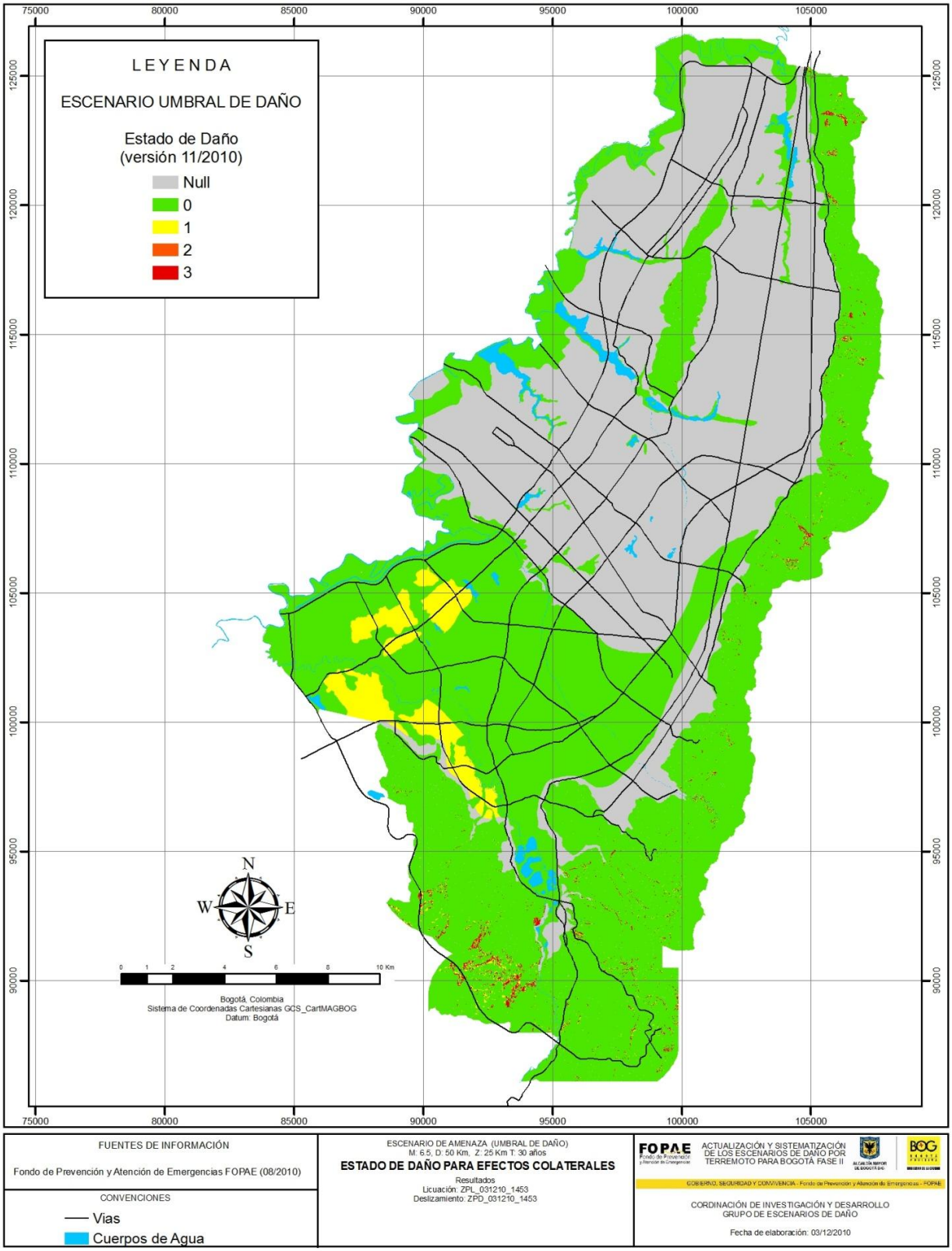


Figura 6.5. Estado de daño por licuación y deslizamiento

6.3 DAÑOS SECUNDARIOS

De acuerdo con la metodología general de evaluación, dentro del proceso de evaluación de daños para análisis del riesgo sísmico se considera una etapa de evaluación de los daños secundarios (causados por los efectos colaterales de licuación y deslizamiento. Ver **Figura 6.6**). Los resultados de la evaluación de los daños secundarios en edificaciones y líneas vitales correspondientes al escenario de amenaza de "Umbral de Daño", se presentan a continuación.

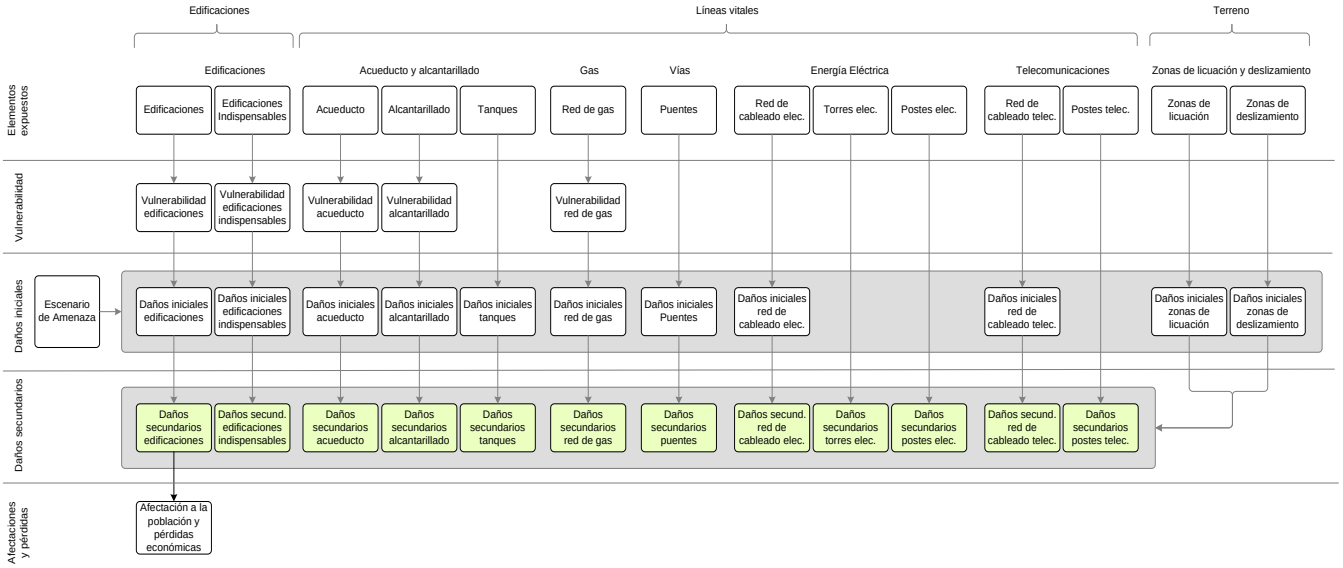


Figura 6.6. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños secundarios en edificaciones y líneas vitales)

6.3.1 Edificaciones

6.3.1.1 Edificaciones Normales

La evaluación de los daños secundarios en edificaciones normales en la ciudad de Bogotá se efectuó a partir de los resultados de daños iníciales obtenidos por las metodologías Italiano y Miranda usando la configuración por defecto (NC=10). Se observa inicialmente que para el método italiano el índice de daño secundario promedio a nivel de manzanas para toda la ciudad es de 6.77% con un incremento de 0.59% frente al obtenido para el daño inicial, mientras que para el método Miranda alcanza un valor de 1.69%, es decir 0.63% más que el daño inicial.

En el anexo 2 se presentan los análisis estadísticos, donde para el índice de daño se muestra una distribución sesgada a la izquierda con un pico inicial entre 0% y 5% de daño, se esperan para este escenario daños nulos a bajos para el 78.0% de las edificaciones y daño moderado a severos para el 12.3% de las edificaciones.

Las localidades que más incrementan los daños por los efectos colaterales en el terreno son Bosa, Kennedy, Usme, Usaquén, Chapinero y Ciudad Bolívar, para las dos primeras localidades mencionadas el fenómeno que controla este incremento obedece a la posible licuación del terreno y para las localidades restantes los posibles deslizamientos intervienen en el incremento del daño inicial (ver **Figura 6.8**). Para los resultados obtenidos por el método italiano se presentan los daños concentrados al suroriente y a lo largo de los cerros orientales, para esta extensión de terreno se esperan daños entre considerables a fuertes (ver **Figura 6.7**).

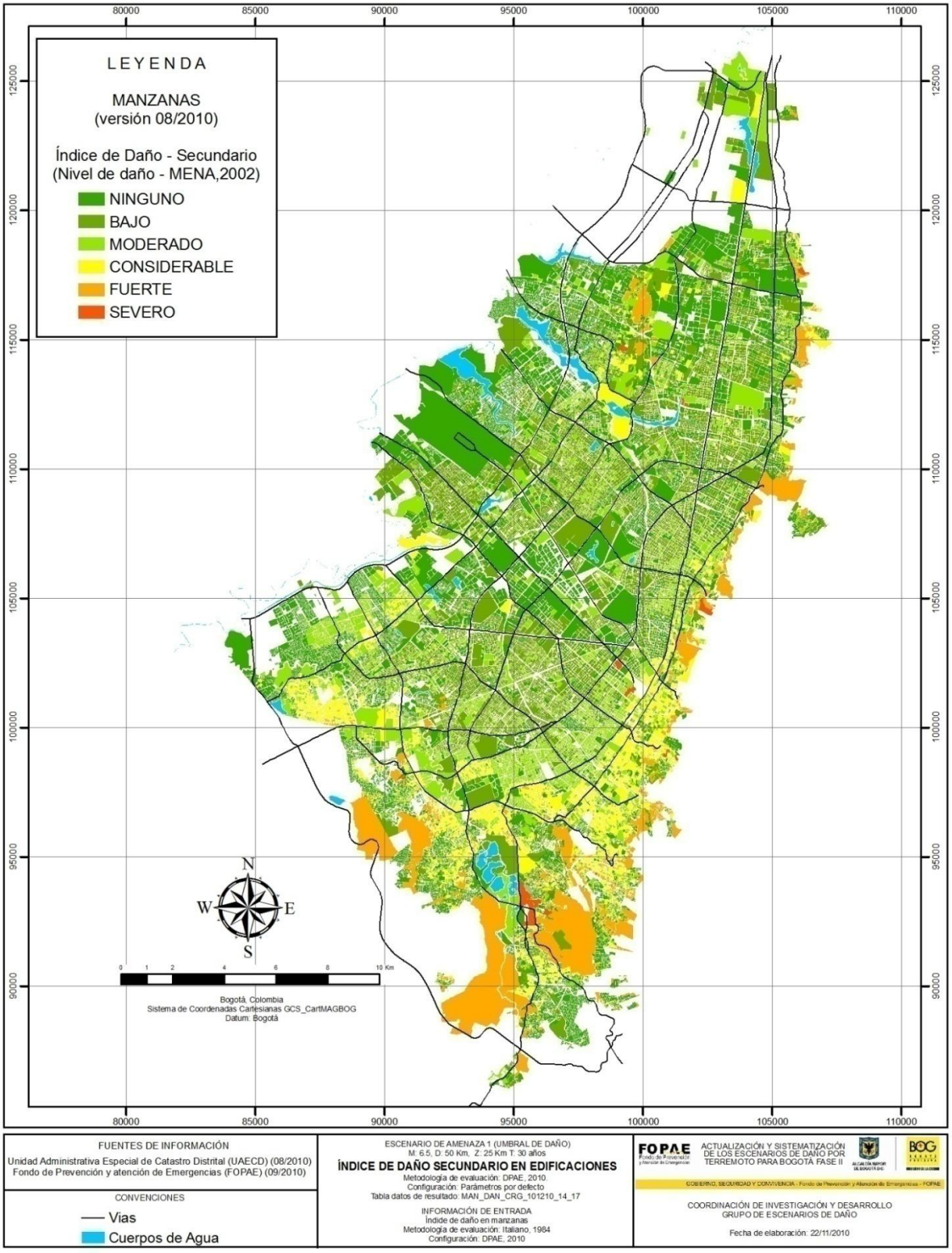


Figura 6.7. Índice de daño secundario en manzanas método italiano para escenario de umbral de daño

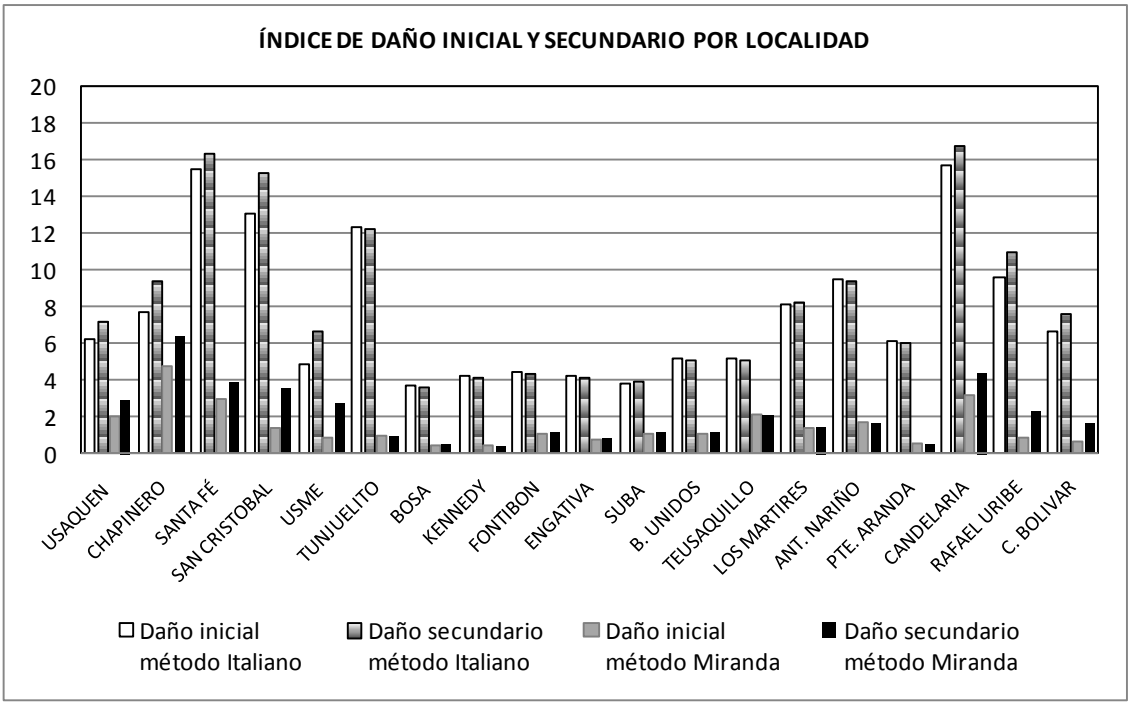


Figura 6.8 Comparación del índice de daño inicial y secundario por localidad

6.3.1.2 Edificaciones Indispensables

Particularmente se encuentra que para daño secundario los sectores de Empresa de Energía de Bogotá y el Terminal de Transporte Terrestre se esperan daños entre considerables y moderados, para el resto de sectores se tiene la perspectiva de que presenten daños bajos o nulos, sin embargo los valores presentados deben ser tomados como valores índice dada la muestra tan reducida con la cual se obtuvieron los resultados, salvo en las edificaciones del cuerpo oficial de bomberos y Secretaría de salud con los cuales se logro levantar un alto porcentaje de las edificaciones a cargo de estas instituciones.

ENTIDAD	NÚMERO EDIFICACIONES	ITALIANO - SECUNDARIO				MIRANDA - SECUNDARIO			
		ID PROM	ID MÍN	ID MÁX	ID DESVEST	ID PROM	ID MÍN	ID MÁX	ID DESVEST
Dirección de Gestión del Riesgo para la Prevención y Atención de Desastres	1	0,0	0,0	0,0	-	0,3	0,3	0,3	-
Cuerpo Oficial de Bomceros de Bogotá	18	0,8	0,0	7,3	1,9	0,5	0,1	1,6	0,5
Secretaria de Salud	42	6,6	0,0	26,0	6,2	1,8	0,2	5,4	1,2
Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá	5	1,2	0,0	4,4	1,9	0,3	0,1	0,5	0,2
Policia Nacional	45	2,8	0,0	29,4	6,5	1,9	0,0	6,6	1,5
Empresa de Energía de Bogotá S.A. ESP.	1	29,4	29,4	29,4	-	3,1	3,1	3,1	-
Secretaria de Gobierno	45	4,3	0,0	29,4	6,9	2,8	0,1	14,2	3,3
Terminal de Transporte	2	9,6	7,2	12,0	3,4	0,7	0,6	0,8	0,1
Ejercito Nacional	7	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,8	2,8	0,7
ETB	29	0,4	0,0	4,3	1,2	1,4	0,3	5,6	1,3
Cruz Roja Colombiana	1	0,0	0,0	0,0	-	1,7	1,7	1,7	-
Defensa civil	2	0,0	0,0	0,1	0,0	1,3	0,5	2,2	1,2
Oficina de Prevención y Atención de Desastres - Gobernación de Cundinamarca	1	0,0	0,0	0,0	-	0,3	0,3	0,3	-
CODENSA	1	0,6	0,6	0,6	-	0,9	0,9	0,9	-
Total general	200	3,4	0,0	29,4	6,1	1,8	0,0	14,2	2,0

Tabla 6.3. Consolidado de daño secundario en edificaciones indispensables

6.3.2 Líneas vitales Tuberías

La metodología de evaluación de los daños secundarios de las redes de tubería se empleó considerando una única configuración a partir de los resultados de daño inicial evaluados mediante la metodología Kubo & Katayama (1975), sin

considerar el efecto de licuación (CL=1.0), usando la curva de vulnerabilidad de Eidinger (2001) y con un valor de corrección por efectos colaterales VC=0.33.

La **Figura 6.9** presenta un consolidado estadístico de los resultados de índice de daño secundario para las tres tipologías de tubería obtenidos para este escenario de amenaza mediante la configuración descrita y la **Figura 6.10** presenta el mapa de resultados. En el Anexo 2 se presentan los resultados detallados para cada una de las tipologías de red de tubería (acueducto, alcantarillado y gas domiciliario).

6.3.2.1 Red de acueducto

Al corregir los resultados de daño inicial considerando los efectos colaterales de licuación y deslizamiento mediante la metodología propuesta, la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0.001 y 0.15 y una media de 0.03 roturas por kilómetro. La red secundaria presenta un rango de tasas de rotura mayor que el de la red primaria.

6.3.2.2 Red de alcantarillado

Al corregir los resultados de daño inicial considerando los efectos colaterales de licuación y deslizamiento, la tasa de roturas de la red de alcantarillado presenta valores entre 0.001 y 0.19 y una media de 0.04 roturas por kilómetro.

La red menor presenta las tasas de roturas más altas, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red, la red de alcantarillado sanitario y la red de alcantarillado combinado presentan las tasas de rotura más altas y la red pluvial presenta las tasas de rotura más bajas.

6.3.2.3 Red de gas domiciliario

Al corregir los resultados de daño inicial considerando los efectos colaterales de licuación y deslizamiento, la tasa de roturas de la red de gas domiciliario presenta valores entre 0.0007 y 0.04 con una media de 0.01 roturas por kilómetro. La red primaria presenta las mayores tasas de rotura, seguida por la red secundaria y las acometidas, las cuales presentan tasas similares.

6.3.2.4 Síntesis

De acuerdo con la metodología de evaluación, las tasas de rotura corregidas por el daño causado por efectos colaterales son en todos los casos mayores a las obtenidas durante la evaluación de los daños iniciales (independientemente de la red evaluada).

De las tres tipologías consideradas en la evaluación, las redes de acueducto y alcantarillado presentan las tasas de roturas más altas y un comportamiento más heterogéneo. La red de gas domiciliario presenta las tasas de roturas más bajas y un comportamiento más homogéneo.

Para el caso de la red de acueducto, la red secundaria presenta un rango de tasas de daño mayor a los de la red primaria.

En el caso de la red de alcantarillado, la tasa de rotura es mayor en la red menor, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red de alcantarillado, las redes de alcantarillado combinado y sanitario presentan las tasas de roturas más altas, mientras que la red de alcantarillado pluvial presenta las menores tasas de rotura.

En el caso de la red de gas domiciliario, la tasa de rotura es mayor en la red primaria, seguida por la red secundaria y las acometidas las cuales presentan valores similares.

Resumen de resultados - Tasa de rotura de la redes de tubería (Número de roturas por kilómetro)
Metodología: Kubo & Katayama (1975)

Curva de vulnerabilidad: Eidinger,2001
Corrección por efectos colaterales (licuación y deslizamiento): FOPAE, 2010

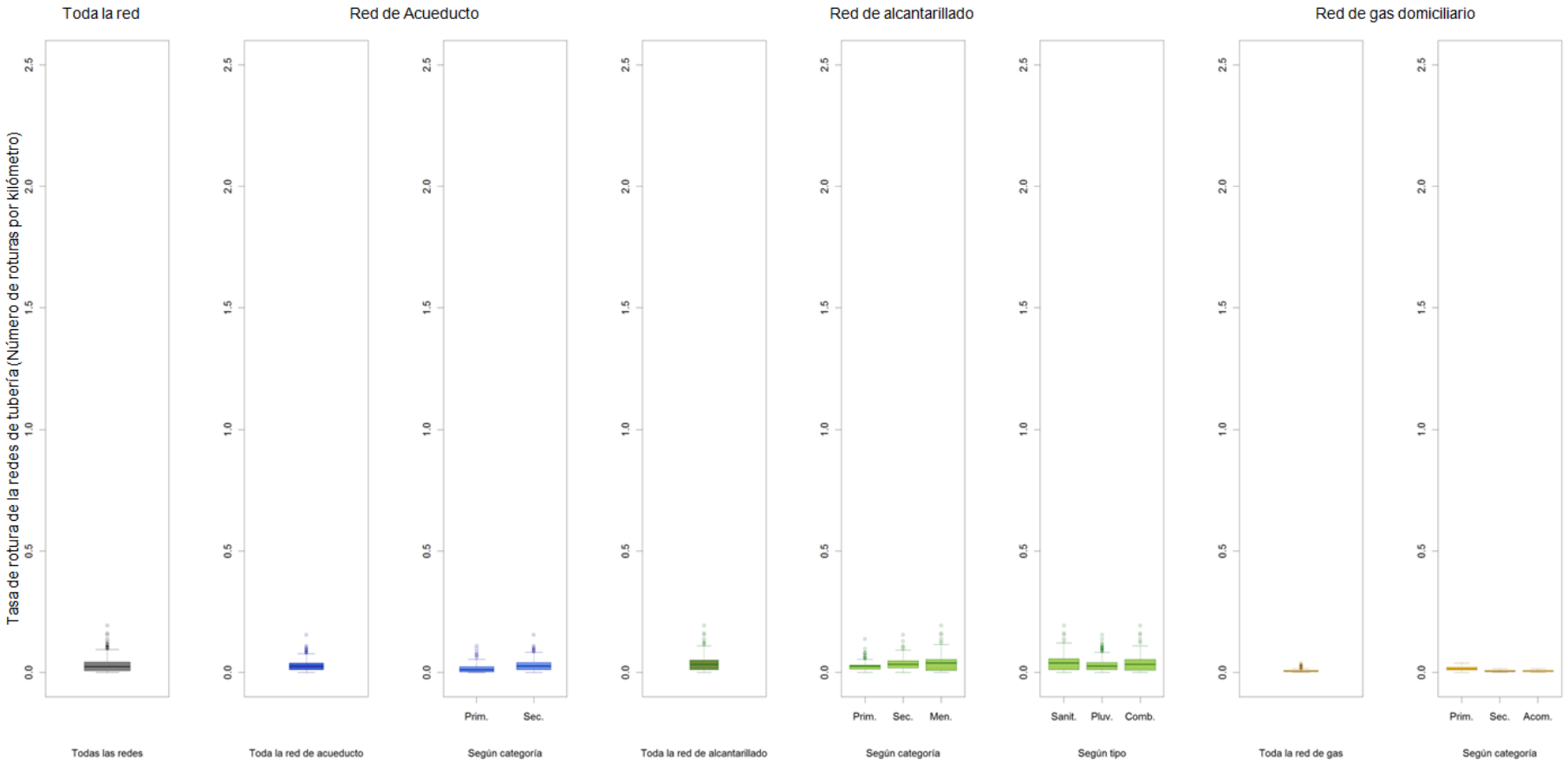


Figura 6.9. Resumen resultados de daño secundario de la red de tuberías

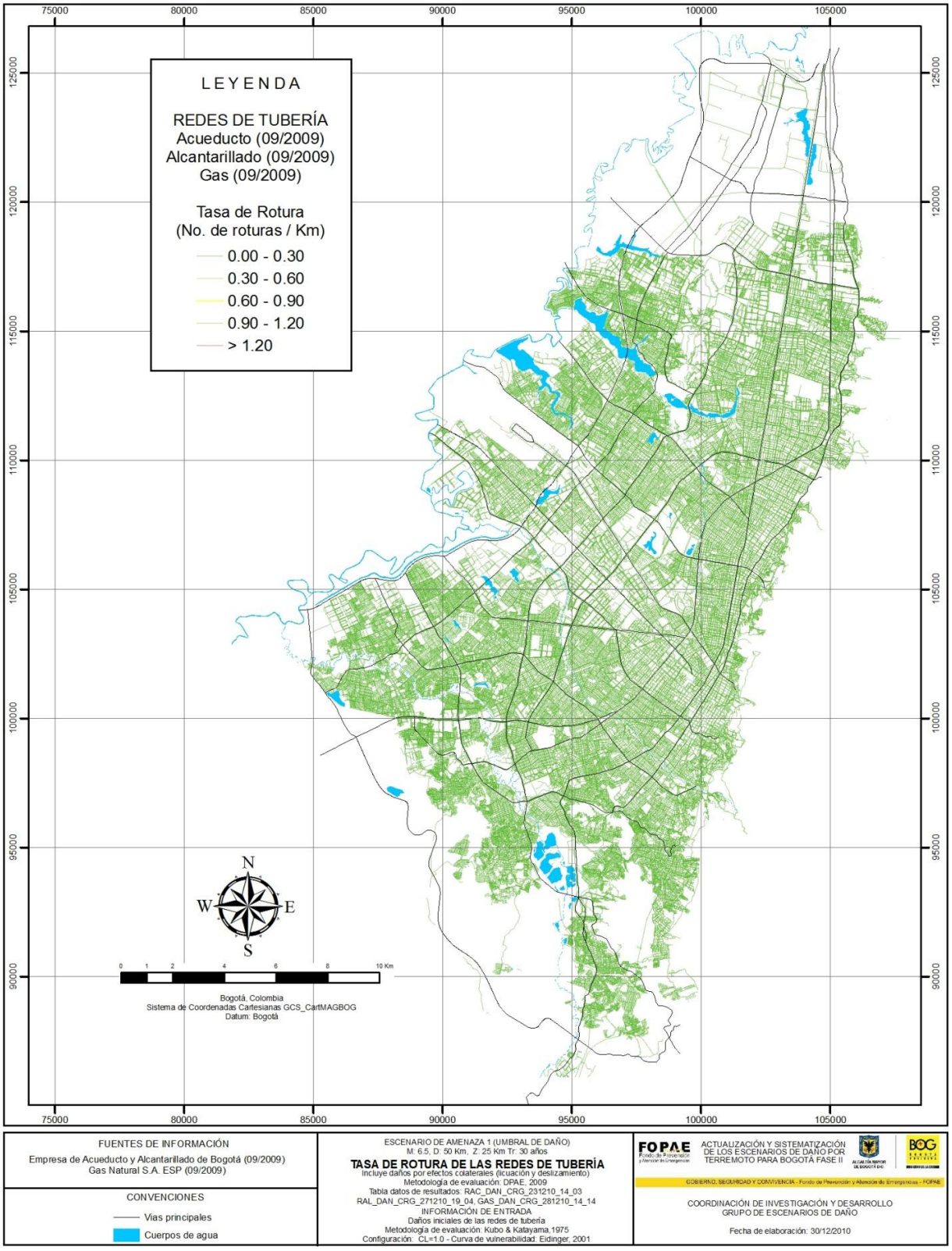


Figura 6.10. Mapa de resultados de daño secundario de la red de tuberías

6.3.3 Líneas vitales Cableado

La metodología de evaluación de los daños secundarios de las redes de cableado se empleó considerando una única configuración a partir de los resultados de daño inicial evaluados mediante la metodología Kubo & Katayama (1975) y usando la curva de vulnerabilidad de JICA (2002) y con un valor de corrección por efectos colaterales VC=0.33.

La **Figura 6.11** presenta un consolidado estadístico de los resultados de daño secundario para las dos tipologías de redes de cableado obtenidos para este escenario de amenaza mediante la configuración descrita y la **Figura 6.12** presenta el mapa de resultados. En el Anexo 2 se presentan los resultados detallados para cada una de las tipologías de red de cableado (red de energía eléctrica y red de telecomunicaciones).

En los siguientes numerales se presenta el análisis de los resultados.

6.3.3.1 Red de energía eléctrica

Al corregir los resultados de daño inicial considerando los efectos colaterales de licuación y deslizamiento mediante la metodología propuesta, el porcentaje de daño de la red de energía eléctrica presenta valores entre 0.0002% y 0.0066% con una media de 0.0009%. Respecto a la categoría de la red, no existen diferencias significativas entre los porcentajes de daño de las redes de alta, media y baja tensión. En cuanto al tipo de red, la red aérea presenta niveles de daño mayores a los de la red canalizada.

6.3.3.2 Red de telecomunicaciones

Al corregir los resultados de daño inicial considerando los efectos colaterales de licuación y deslizamiento mediante la metodología propuesta, el porcentaje de daño de la red de telecomunicaciones presenta valores entre 0.0002% y 0.0044% con una media de 0.0008%. Respecto a la categoría de la red, la red secundaria presenta mayores porcentajes de daño que la red primaria. En cuanto al tipo de red, la red aérea presenta niveles de daño mayores a los de la red canalizada.

6.3.3.3 Síntesis

De acuerdo con la metodología de evaluación, los porcentajes de daño corregidos por el daño causado por efectos colaterales son en todos los casos mayores a las obtenidas a aquellas obtenidas durante la evaluación de los daños iniciales (independientemente de la red evaluada). Para el caso de la red de energía eléctrica, no existe diferencia significativa entre los resultados de daño de las redes de alta, mediana y baja tensión. En el caso de la red de telecomunicaciones, la red secundaria presenta mayor porcentaje de daño que la red primaria. En ambos casos (red de energía eléctrica y telecomunicaciones), los porcentajes de daño son mayores en la red aérea que en la canalizada.

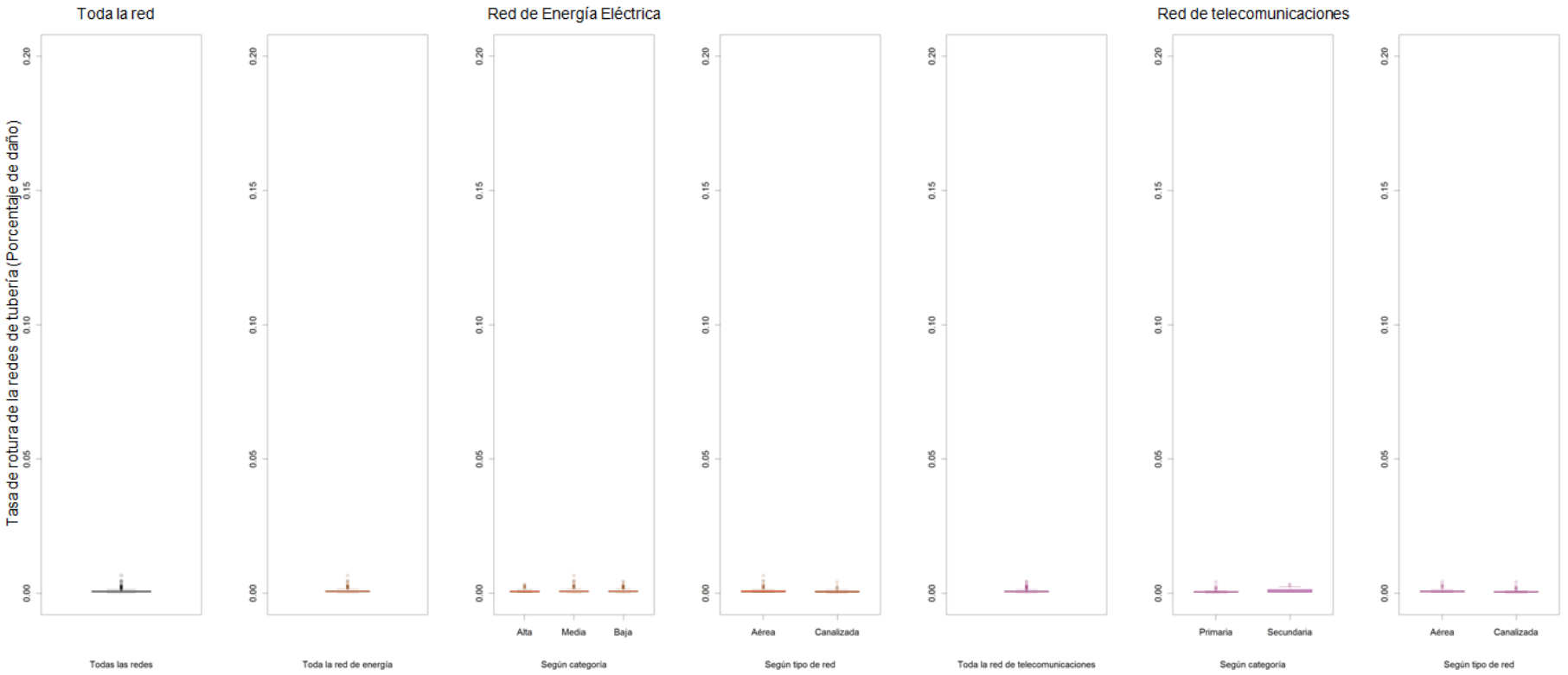


Figura 6.11. Resumen resultados de daño secundario de la red de cableado

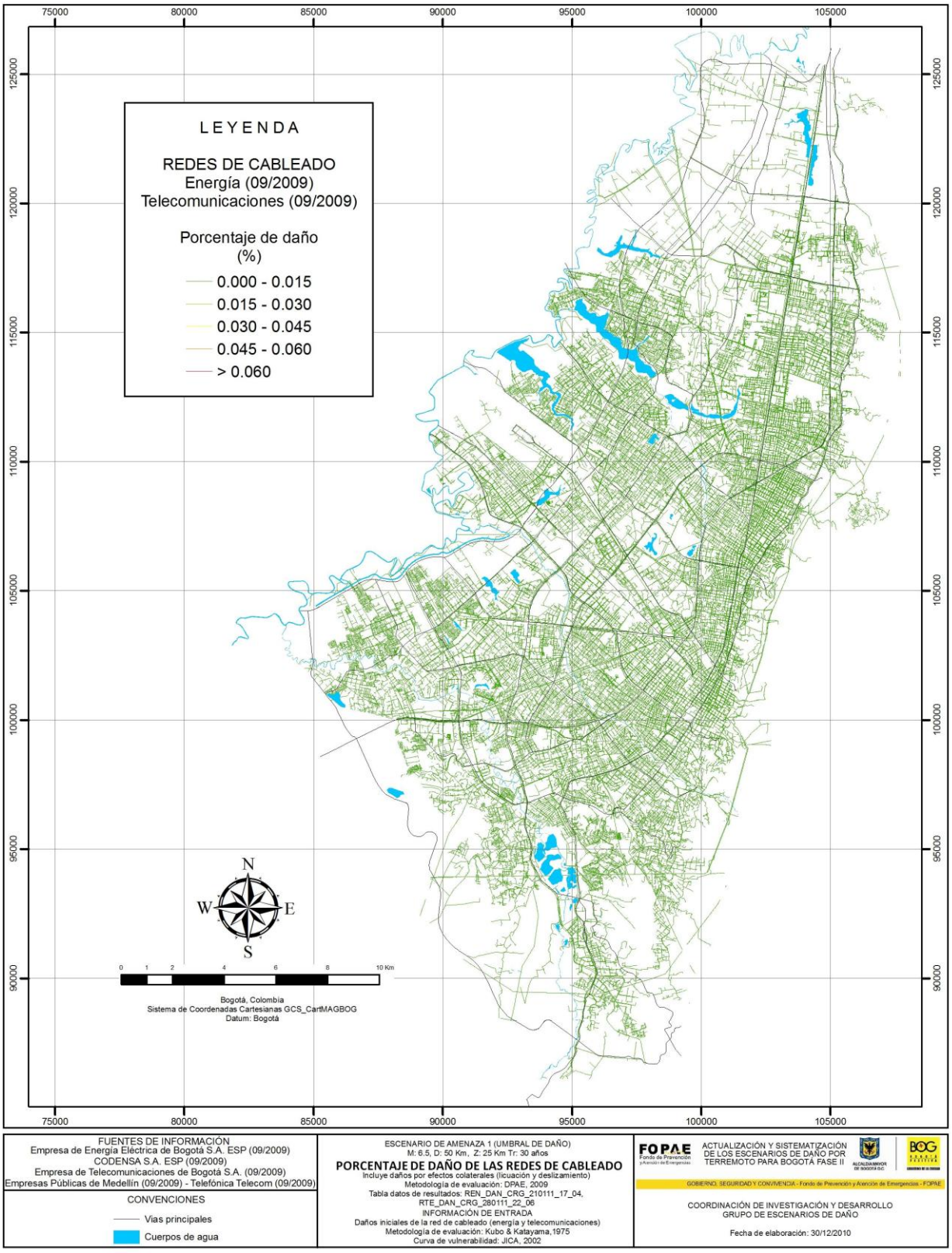


Figura 6.12. Mapa de resultados de daño secundario de la redes de cableado

6.3.4 Líneas vitales Tanques

La metodología de evaluación de los daños secundarios de los tanques de almacenamiento se empleó considerando una única configuración a partir de los resultados de daño inicial evaluados mediante la metodología (American Lifelines Alliance, 2001) con un valor de corrección por efectos colaterales VC=1.0.

De acuerdo con la metodología de evaluación de daños secundarios, para este escenario de amenaza los tanques de almacenamiento analizados presentan estado de daño 1 y 2, siendo más frecuente el estado de daño 1 (donde el estado 1 equivale a un porcentaje de pérdida del 0%, el estado de daño 2 a un porcentaje de pérdida entre el 1 y el 20%, el estado de daño 3 a un porcentaje de pérdida entre el 20 y el 40%, el estado de daño 4 a un porcentaje de pérdida entre el 40 y el 100%, y el estado de daño 5 a un porcentaje de pérdida del 100%).

Teniendo en cuenta el nivel de llenado, el estado de daño es mayor en aquellos casos en los cuales el tanque tiene un nivel habitual de llenado mayor al 50%.

Respecto a la presencia de sistemas de anclaje, para el presente caso no existe diferencia significativa entre los resultados de daño. La **Figura 6.13** presenta el resumen estadístico de los resultados y la **Figura 6.14** el mapa de resultados.

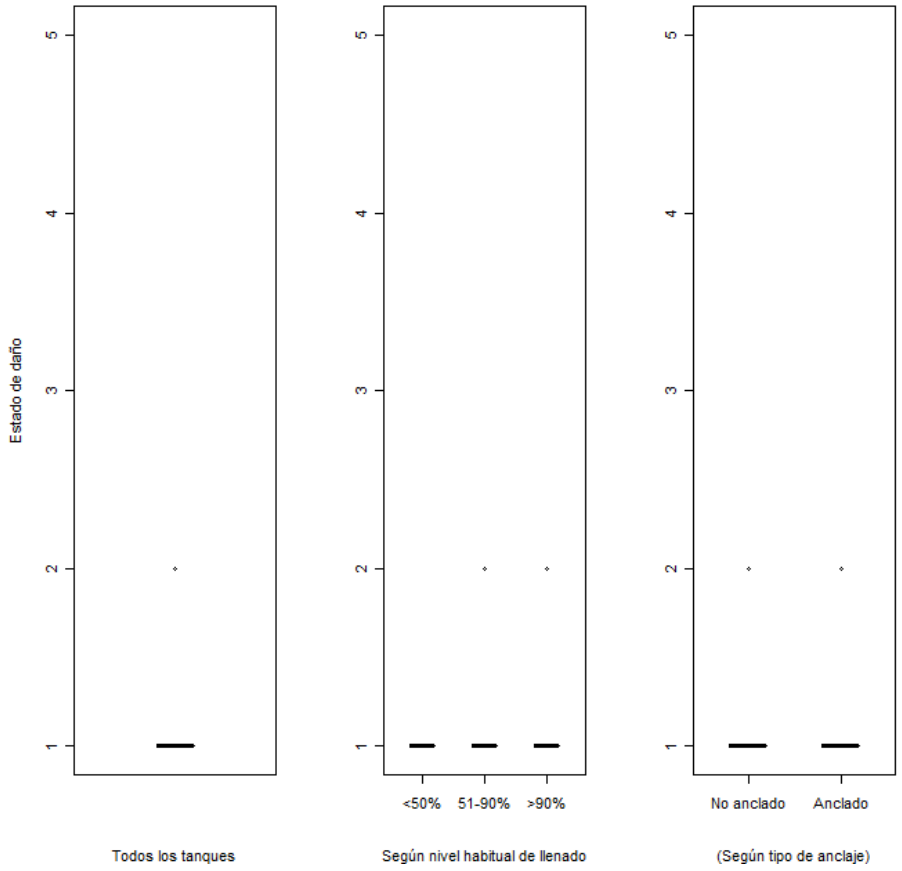


Figura 6.13. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los tanques de almacenamiento

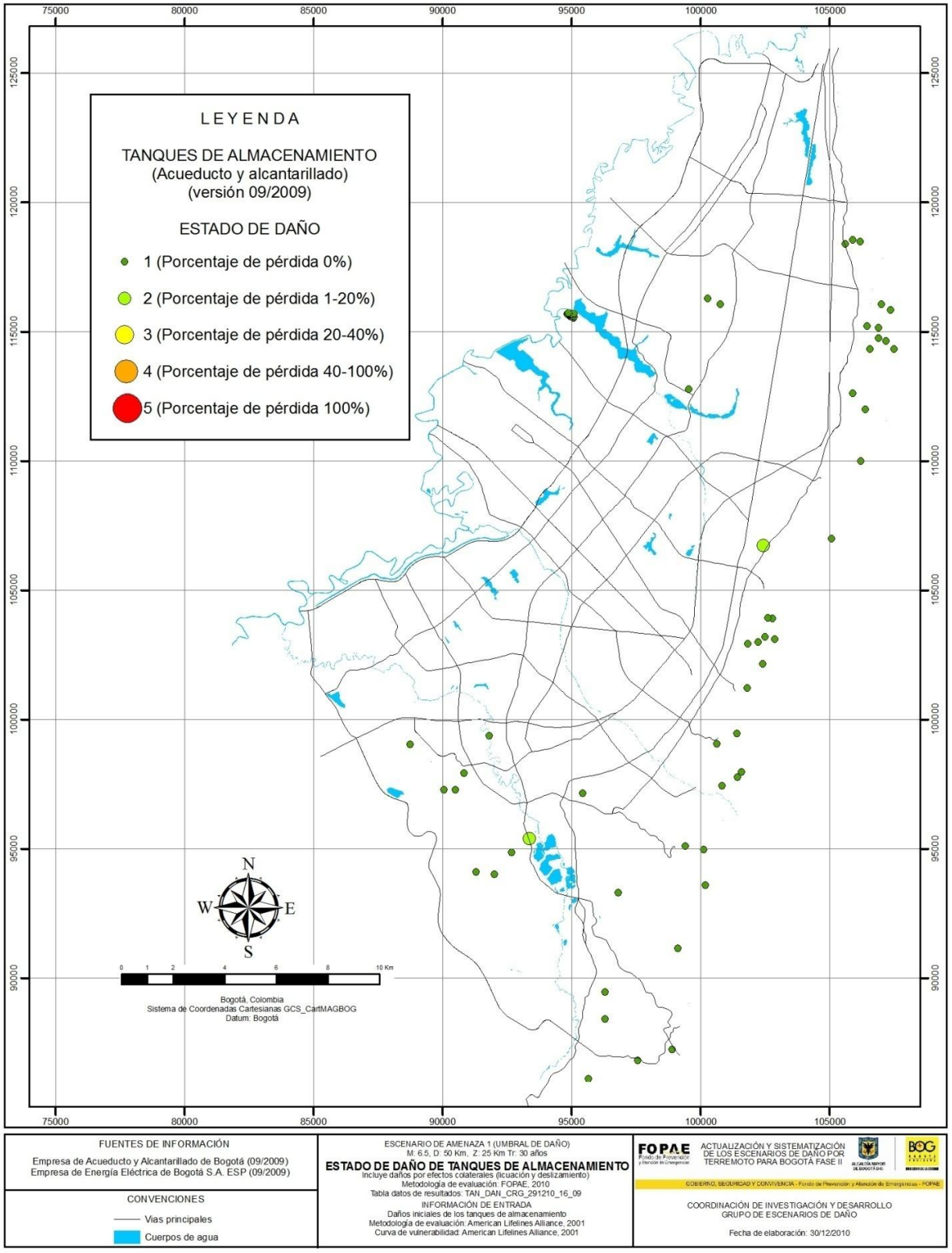


Figura 6.14. Mapa de resultados de daño secundario de los tanques de almacenamiento

6.3.5 Líneas vitales Puentes

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños secundarios de los puentes vehiculares y peatonales, para este escenario de amenaza los puentes de la ciudad presentan estados de daño desde el nivel uno hasta el nivel cinco, siendo más frecuentes los estados de daño 1, 2 y 3 (donde el estado 1 equivale a ningún daño, el estado 2 a daño menor, el estado 3 a daño moderado, el estado 4 a daño generalizado y el estado 5 a daño total).

Los puentes vehiculares presentan estados de daño de 1 a 5, siendo más frecuentes los estados de daño 1, 2 y 3. Los puentes peatonales presentan estados de daño de 1 a 5, siendo más frecuente el estado de daño 1. La **Figura 6.15** presenta el resumen estadístico y la **Figura 6.16** el mapa de resultados.

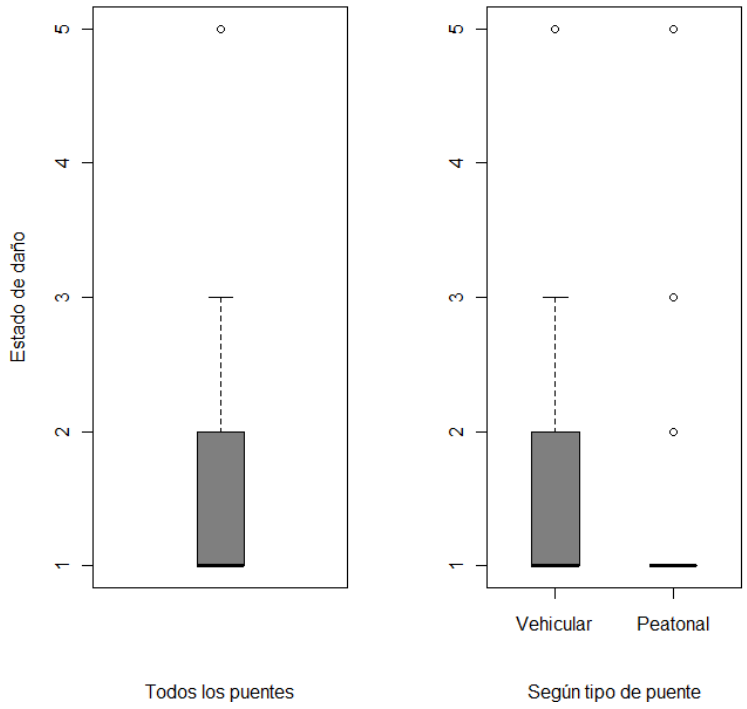


Figura 6.15. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los puentes vehiculares y peatonales

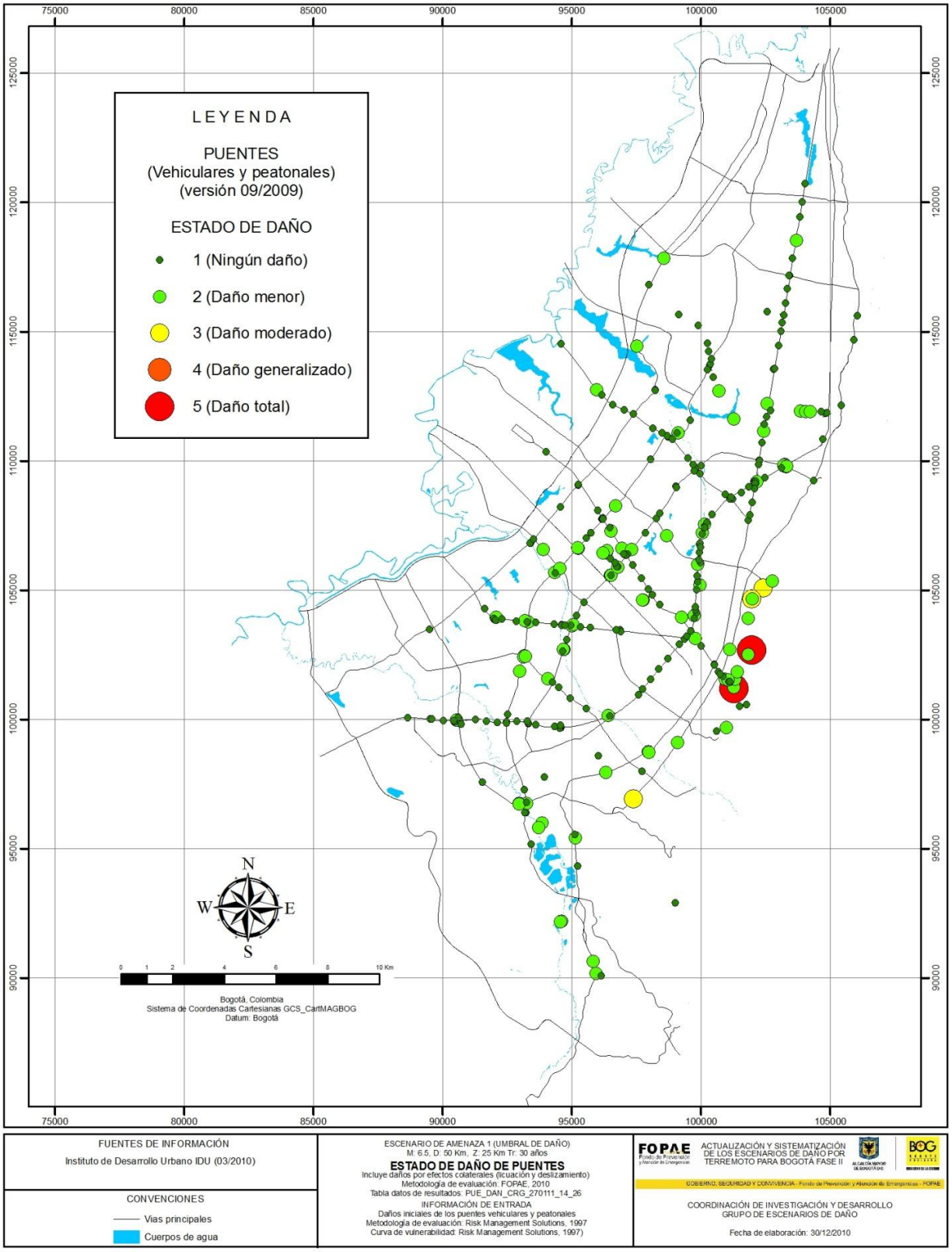


Figura 6.16. Mapa de resultados de daño secundario en puentes vehiculares y peatonales

6.3.6 Líneas vitales Torres

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños secundarios en torres, para este escenario de amenaza las torres de la red de energía eléctrica presentan estados de daño desde el nivel cero hasta el nivel tres (donde el estado 0 equivale a ningún daño, el estado 1 a daño bajo, el estado 2 a daño moderado y el estado 3 a daño severo), siendo más frecuente el estado de daño 0. Para este caso, no existe diferencia significativa entre los resultados de daño de las torres de alta y mediana tensión. La **Figura 6.17** presenta el resumen estadístico y la **Figura 6.18** el mapa de resultados.

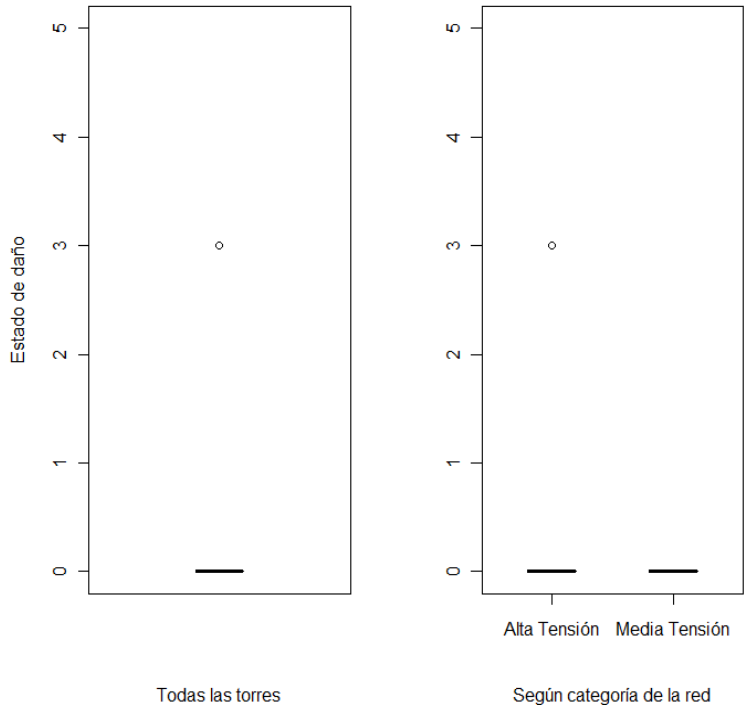


Figura 6.17. Resumen de resultados de estado de daño secundario de las torres de la red de energía eléctrica

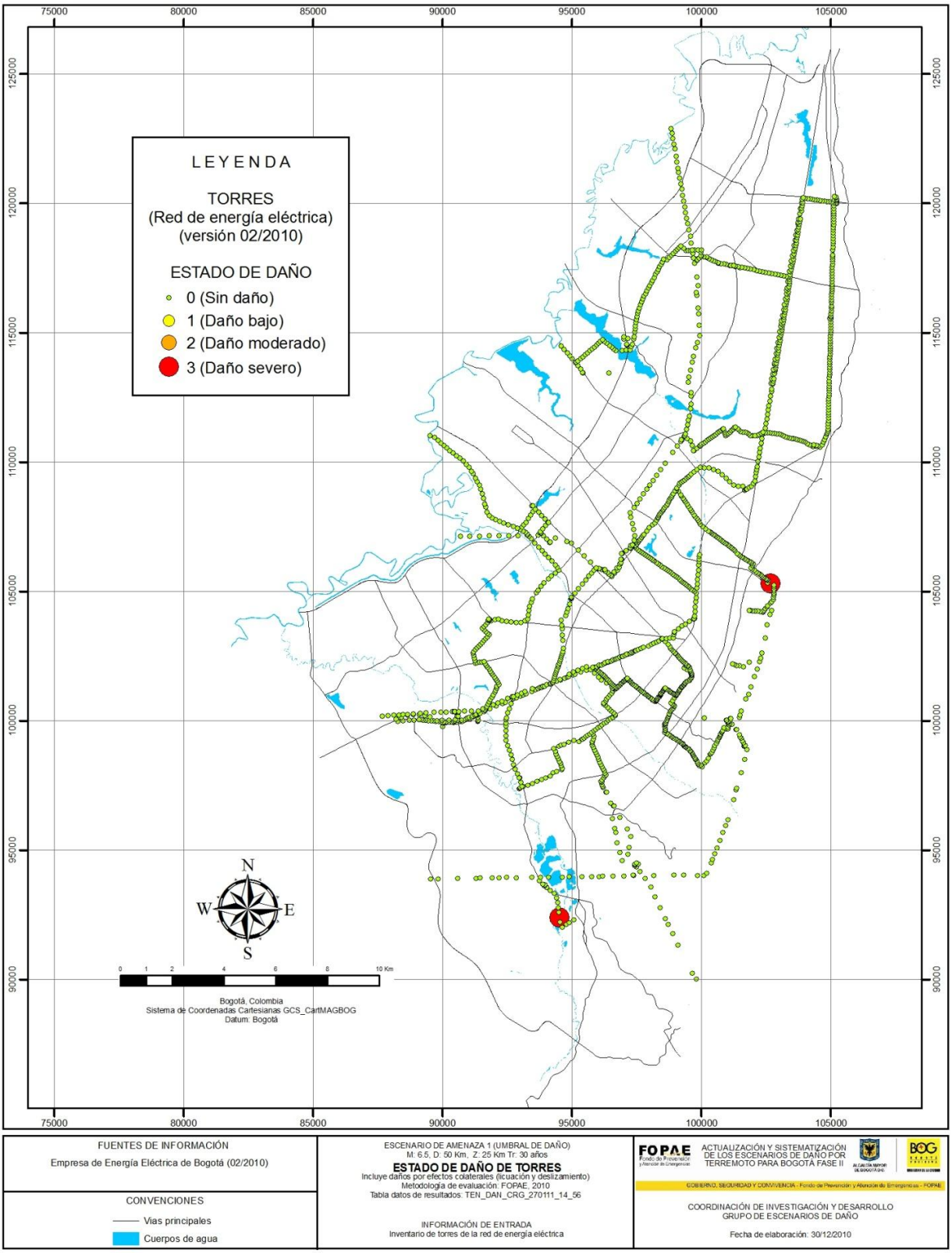


Figura 6.18. Mapa de resultados de daño secundario en torres de la red de energía eléctrica

6.3.7 Postes

6.3.7.1 Postes de la red de energía eléctrica

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños secundarios en postes, para este escenario de amenaza los postes de la red de energía eléctrica presentan estados de daño desde el nivel cero hasta el nivel tres, siendo más frecuente el estado de daño 0 (donde el estado 0 equivale a ningún daño, el estado 1 a daño bajo, el estado 2 a daño moderado y el estado 3 a daño severo). Para este caso no existe diferencia significativa entre los resultados de daño en los postes de la red de alta, mediana y baja tensión.

6.3.7.2 Postes de la red de telecomunicaciones

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños secundarios en postes, para este escenario de amenaza los postes de la red de telecomunicaciones presentan estados de daño desde el nivel cero hasta el nivel tres, siendo más frecuente el estado de daño cero.

Para este caso, no existe diferencia significativa entre los resultados de daño de los postes de la red de energía eléctrica y de la red de telecomunicaciones. La **Figura 6.19** presenta el resumen estadístico y la **Figura 6.20** el mapa de resultados.

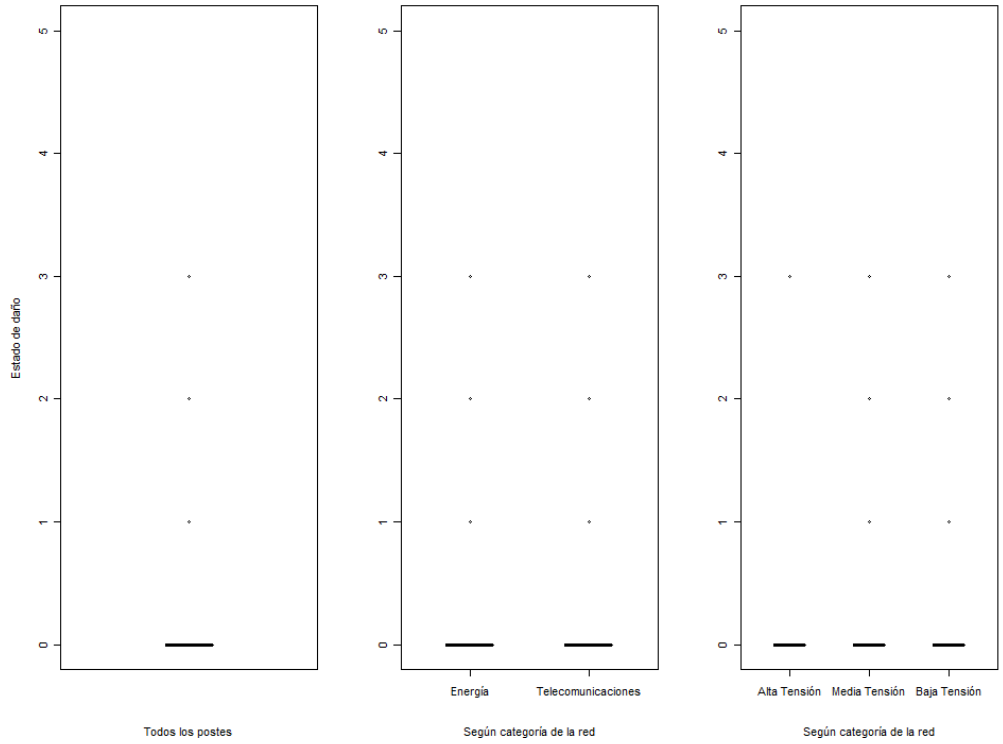


Figura 6.19. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los postes de la red de energía eléctrica y de telecomunicaciones

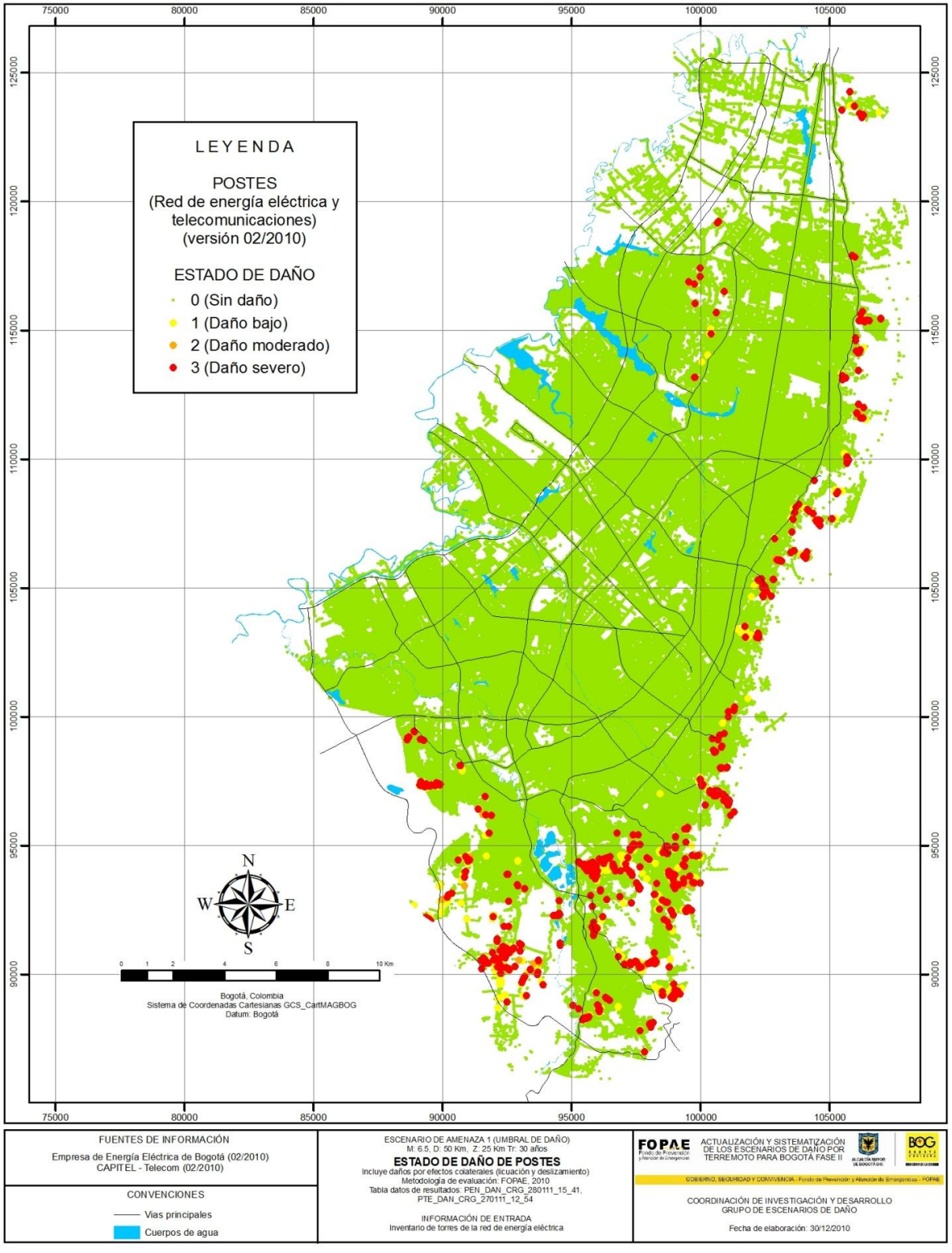


Figura 6.20. Mapa de resultados de daño secundario en los postes de la red de energía eléctrica y telecomunicaciones

6.4 CONSOLIDADO DE RESULTADOS POR UPZ Y LOCALIDAD

6.4.1 Edificaciones

La distribución geográfica de los daños para las unidades administrativas localidad y UPZ a partir del índice de daño promedio es presentada en la **Figura 6.21**, se encuentra que los daños que predominan son nulos a bajos, sin embargo se destaca el sector céntrico compuesto por las localidades de Santa Fe y Candelaria con daños considerables y el sector suroriental que incluye las localidades de San Cristóbal, Usme, Tunjuelito, Antonio Nariño, Rafael Uribe Uribe y Ciudad Bolívar con daños que van desde bajos a considerables.

6.4.2 Líneas vitales

6.4.2.1 Redes de tuberías

q) Red de acueducto: en la **Figura 6.22** se presentan los resultados consolidados (número de roturas) de la ciudad discriminados por UPZ y localidad, y según las características de la red. Para este escenario de amenaza y de acuerdo con la metodología de evaluación, en la red de acueducto se presentarían un total de 251 roturas. De este total 9 corresponden a la red primaria y 242 a la red secundaria. Las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (40), Engativá (39) y Usaquén (26). Las localidades que presentan el menor número de roturas son Antonio Nariño (4) SantaFe (3) y Candelaria (2).

r) Red de alcantarillado: en la **Figura 6.23** se presentan los resultados consolidados (número de roturas) de la ciudad discriminados por UPZ y localidad, y según las características de la red. Para este escenario de amenaza y de acuerdo con la metodología de evaluación, en la red de alcantarillado se presentarían un total de 355. De este total 13 corresponden a la red primaria, 98 a la red secundaria y 244 a la red menor. Las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (70), Engativá (58) y Usaquén (48). Las localidades que presentan el menor número de roturas son Antonio Nariño (5) SantaFe (3) y Candelaria (1).

s) Red de gas domiciliario: en la **Figura 6.24** se presentan los resultados consolidados (número de roturas) de la ciudad discriminados por UPZ y localidad, y según las características de la red. Para este escenario de amenaza y de acuerdo con la metodología de evaluación, en la red de gas domiciliario se presentarían un total de 15 roturas. De este total 4 corresponden a la red primaria, 10 a la red secundaria y 0 a acometidas. Las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (3), Engativá (2) y Usaquén (2). Las localidades de Dan Cristóbal, Rafael Uribe, Chapinero, Tunjuelito, Mártires, SantaFe, Antonio Nariño y Candelaria no presentan roturas.

6.4.2.2 Cableados

t) Red de energía eléctrica: en la **Figura 6.25** se presentan los resultados consolidados (longitud afectada) discriminados por UPZ y localidad y según las características de la red. Para este escenario de amenaza y de acuerdo con la metodología de evaluación, la red de energía eléctrica presentaría un total de 3.74 km afectados. De este total 0.38 km corresponden a la red alta tensión, 0.82 a la red de mediana tensión y 2.46 a la red de baja tensión. 2.58 km corresponden a la red aérea y 1.17 a la red canalizada. Las localidades que presentan mayor longitud afectada son Suba (0.46), Usaquén (0.44) y Chapinero (0.35). Las localidades que presentan la menor longitud afectada son Tunjuelito (0.09), Mártires (0.09), Antonio Nariño (0.07) y Candelaria (0.06).

u) Red de telecomunicaciones: en la **Figura 6.26** se presentan los resultados consolidados (longitud afectada) de la ciudad discriminados por UPZ y localidad, y según las características de la red. Para este escenario de amenaza y de acuerdo con la metodología de evaluación, la red de telecomunicaciones presentaría un total de 3.29 km afectados. De este total 1.04 km corresponden a la red aérea y 2.25 a la red canalizada. Las localidades que presentan mayor longitud afectada son Chapinero (0.39), Suba (0.30) y Usaquén (0.29). Las localidades que presentan la menor longitud afectada son Bosa (0.09), Tunjuelito (0.08) y Candelaria (0.07).

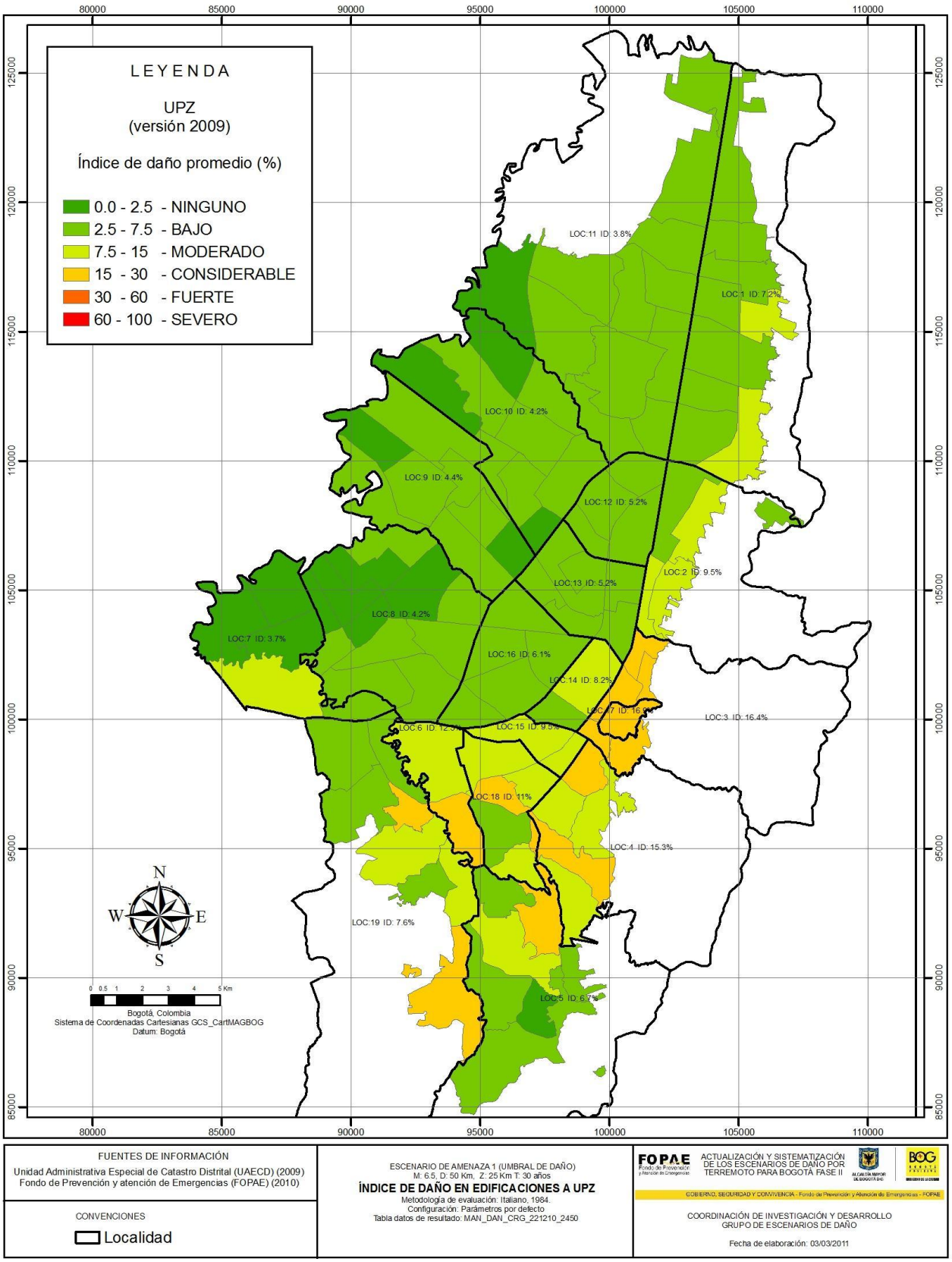


Figura 6.21. Índice de daño secundario promedio a Localidad y UPZ

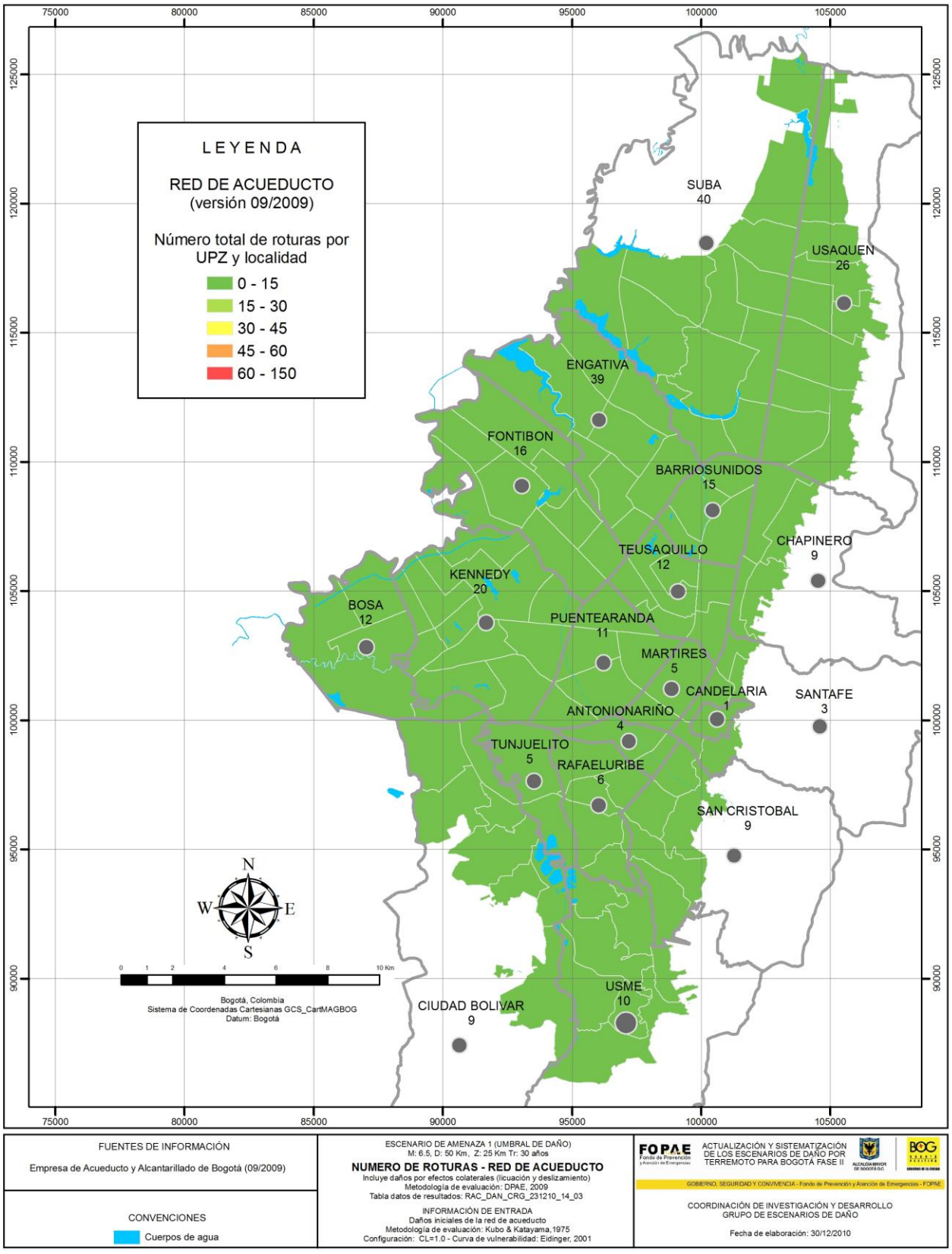


Figura 6.22. Mapa de resultados de daño secundario red de acueducto - Número total de roturas por UPZ y localidad

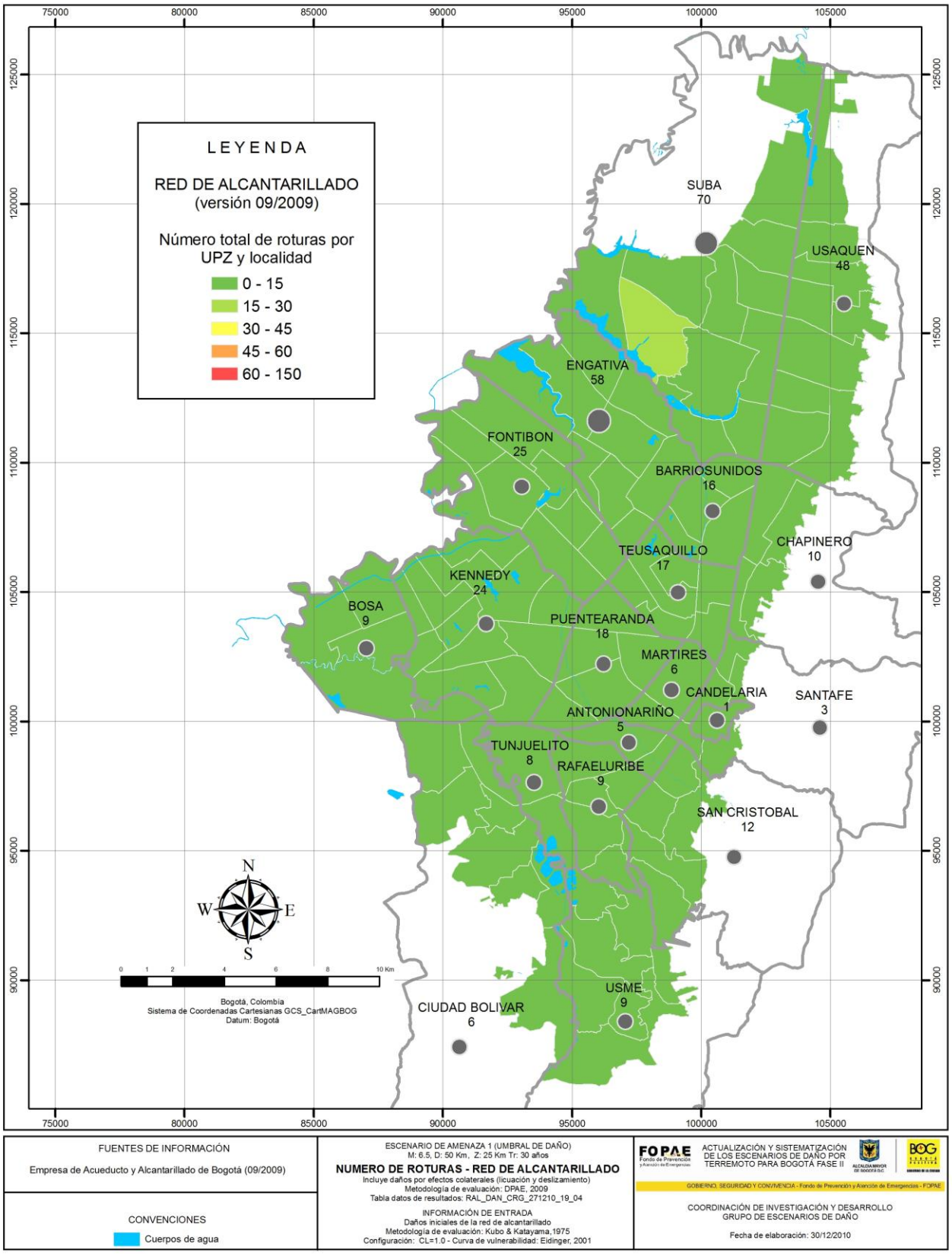


Figura 6.23. Mapa de resultados de daño secundario red de alcantarillado - Número total de roturas por UPZ y localidad

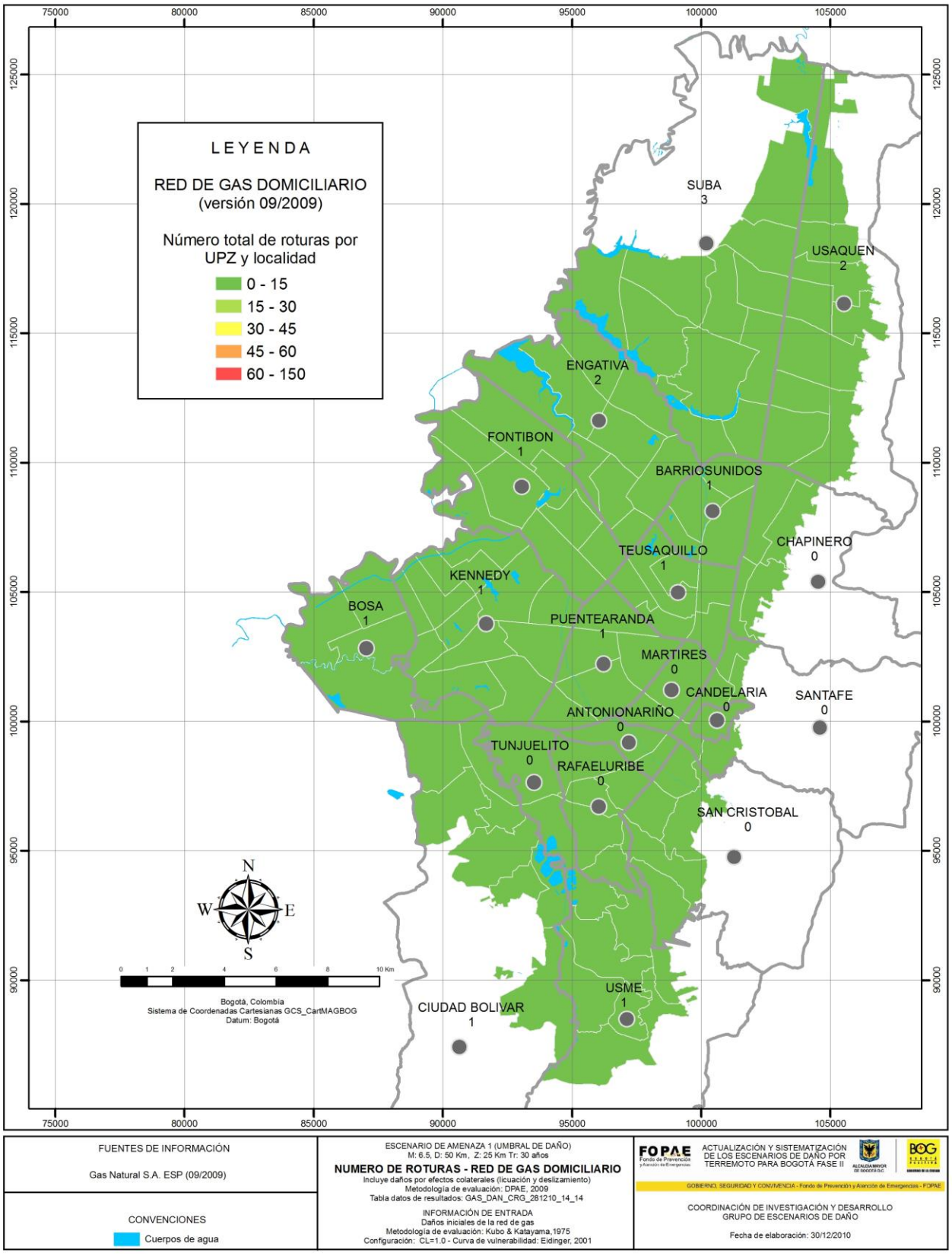


Figura 6.24. Mapa de resultados de daño secundario red de gas domiciliario - Número total de roturas por UPZ y localidad

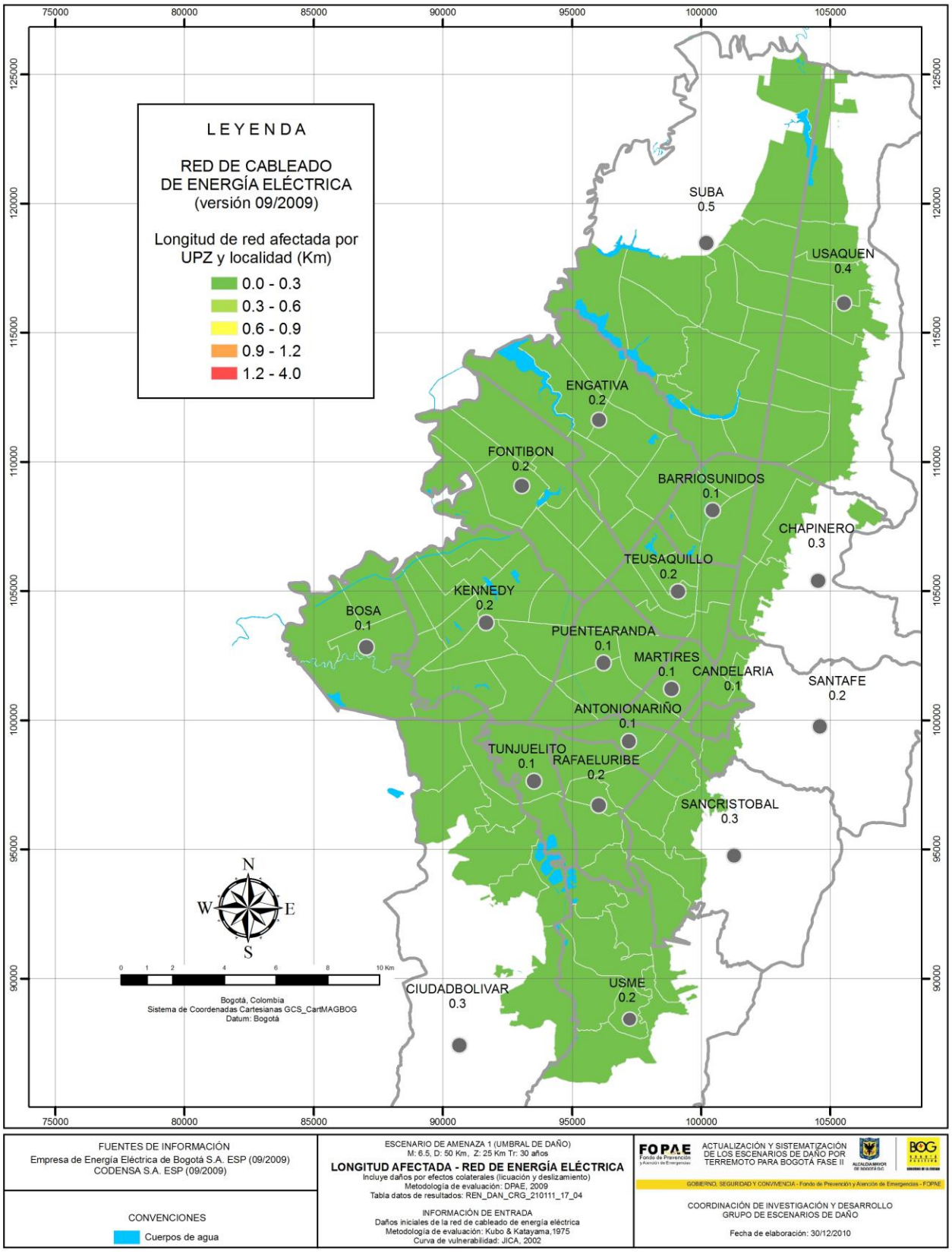


Figura 6.25. Mapa de resultados de daño secundario red de energía eléctrica - Longitud afectada por UPZ y localidad

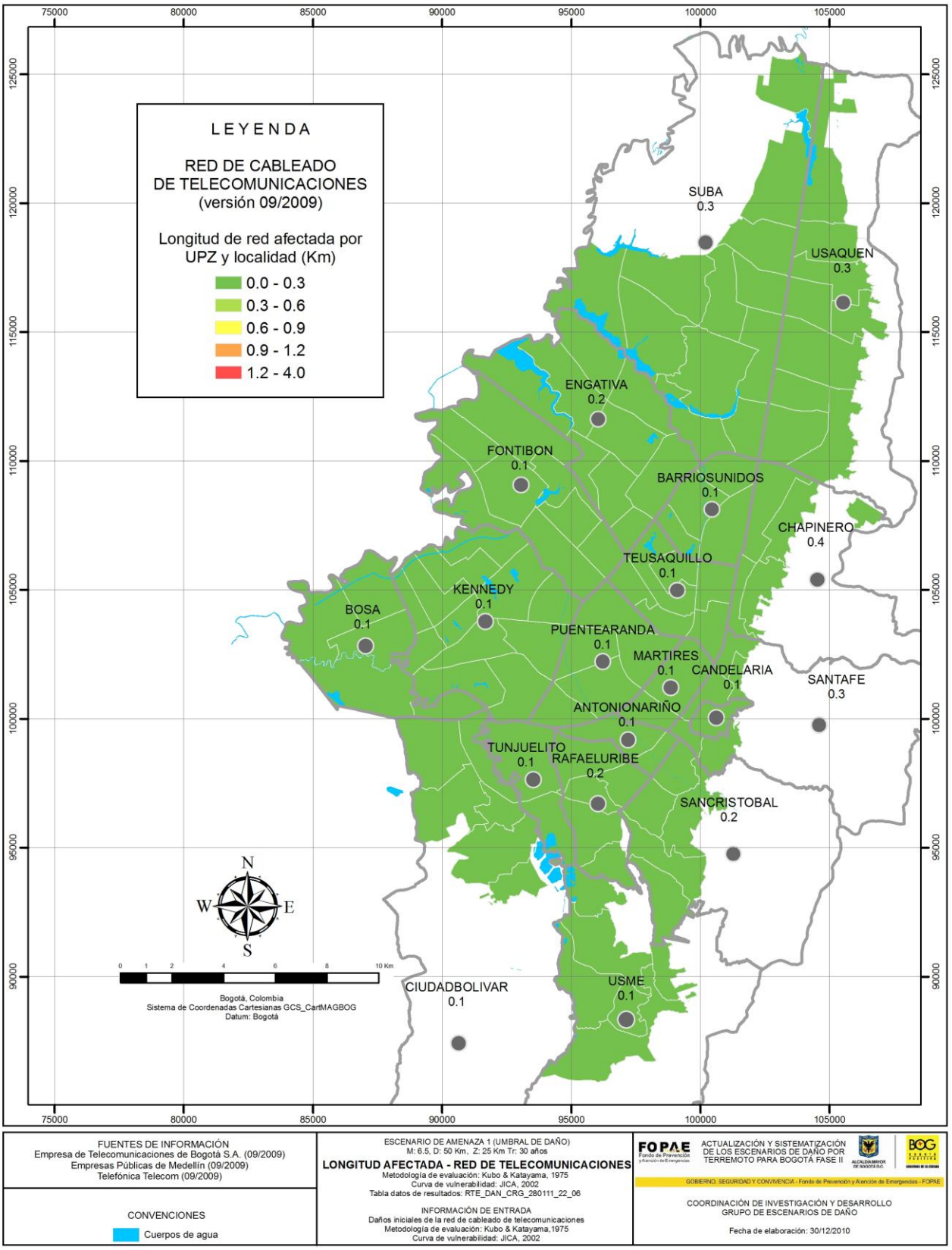


Figura 6.26. Mapa de resultados de daño secundario red de telecomunicaciones - Longitud afectada por UPZ y localidad

6.4.3 Afectaciones y pérdidas

Producto de la evaluación de las afectaciones a la población y pérdidas económicas se encuentra que para este escenario las víctimas fatales en el día varían entre 278 a 327 y en la noche varían entre 259 y 292. Esto dependiendo del resultado de daño empleado para la evaluación (Italiano o Miranda) y sin tener en cuenta los efectos colaterales, los valores acumulados para toda la ciudad en lo relacionados a heridos se presentan en el anexo 2. Observando espacialmente los resultados se tiene que para el método Italiano las mayores afectaciones a la población en el día se dan en las localidades de Usme y Candelaria, de noche se encuentra que las localidades más afectadas serían San Cristóbal y Ciudad Bolívar. Según el método Miranda las mayores afectaciones a la población en el día ocurren en las localidades de Usaquén, Fontibón y Teusaquillo, para las horas de la noche las localidades más afectadas son Fontibón, Suba y Teusaquillo (ver **Figura 6.28**, **Figura 6.29**, **Figura 6.30** y **Figura 6.31**).

Las pérdidas económicas varían de manera general para toda la ciudad entre 1.6 y 2.7 billones de pesos aproximadamente según el modelo empleado para la evaluación del daño (ver anexo 2). Espacialmente los mayores valores de pérdidas económicas se concentran en las localidades de Usaquén, Chapinero, Santa Fe, San Cristóbal, Fontibón y Teusaquillo (ver **Figura 6.27**) dado que estas localidades se concentran los principales centros económicos, financieros y de comercio de la ciudad, como también las estratificación socioeconómica para estas localidades está compuesta preferentemente por estratos 3 o superior, situación que se traduce en avalúos catastrales mayores y por consiguiente mayores pérdidas.

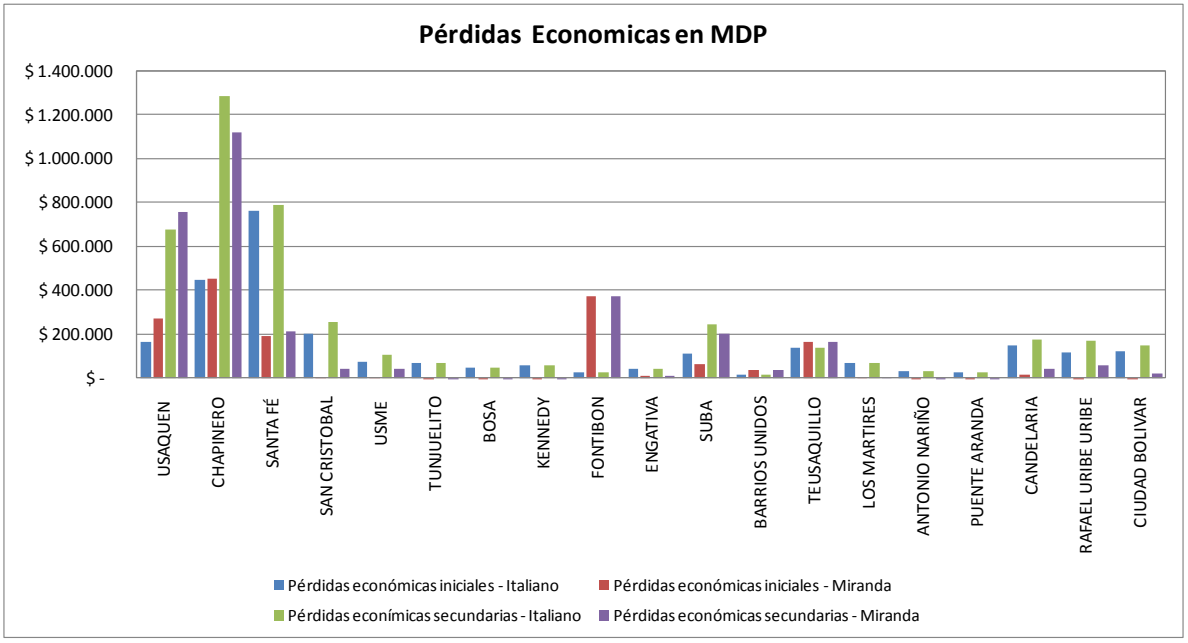


Figura 6.27. Pérdidas económicas en MDP para daños iníciales y secundarios

Con el propósito de visualizar el incremento en las afectaciones y pérdidas en el panorama de día y noche se presenta en la **Figura 6.28** y **Figura 6.29** el consolidado de las víctimas fatales desagregados por localidad, tanto para los ocasionados por los daños iníciales en edificaciones como también aquellos provocados por los daños secundarios. De lo anterior se observa una gran sensibilidad de las afectaciones a la población al incremento en el daño, ya que en promedio para la ciudad el aumento índice de daño es de tan solo el 0.59%, lo cual provoca que el valor de víctimas fatales calculado para el método italiano en el día pase de 278 a 3.049, tendencia que en la noche se mantiene pasando de 259 a 3.319 víctimas. De la misma forma se tiene a partir del resultado de daño calculado con del método Miranda para un incremento promedio del 0.63%, se espera para horas del día que las víctimas fatales pasen de 327 a 2.441 y en horas de la noche pasen de 292 a 1.718. En lo relacionado con las pérdidas económicas se encuentra que este valor es más moderado y acorde con el incremento en el daño, pasando en el método italiano de 2.7 a 4.4 billones de pesos que corresponde a un incremento del 63%, para el método Miranda se tiene que las pérdidas económicas aumentan de 1.7 a 3.1 billones lo que denota un incremento del 82%.

Siguiendo la misma tendencia que los daños secundarios, las afectaciones a la población calculadas a partir del resultado de daño por el método Italiano se concentran para horas del día en el centro oriente y suroriente de la capital, específicamente en las localidades de Chapinero, Rafael Uribe y Usme. Se destaca de Chapinero la UPZ 99-Chapinero, de Rafael Uribe la UPZ 54-Marruecos. En la noche las zonas residenciales del suroriente y nororiente muestran a las localidades de San Cristóbal, Ciudad Bolívar, Rafael Uribe, Usme y Usaquén con mayores afectaciones, recalcando en la localidad de San Cristóbal la UPZ 50-La Gloria y de Ciudad Bolívar la UPZ 66-San Francisco (ver **Figura 6.30** y **Figura 6.31**).

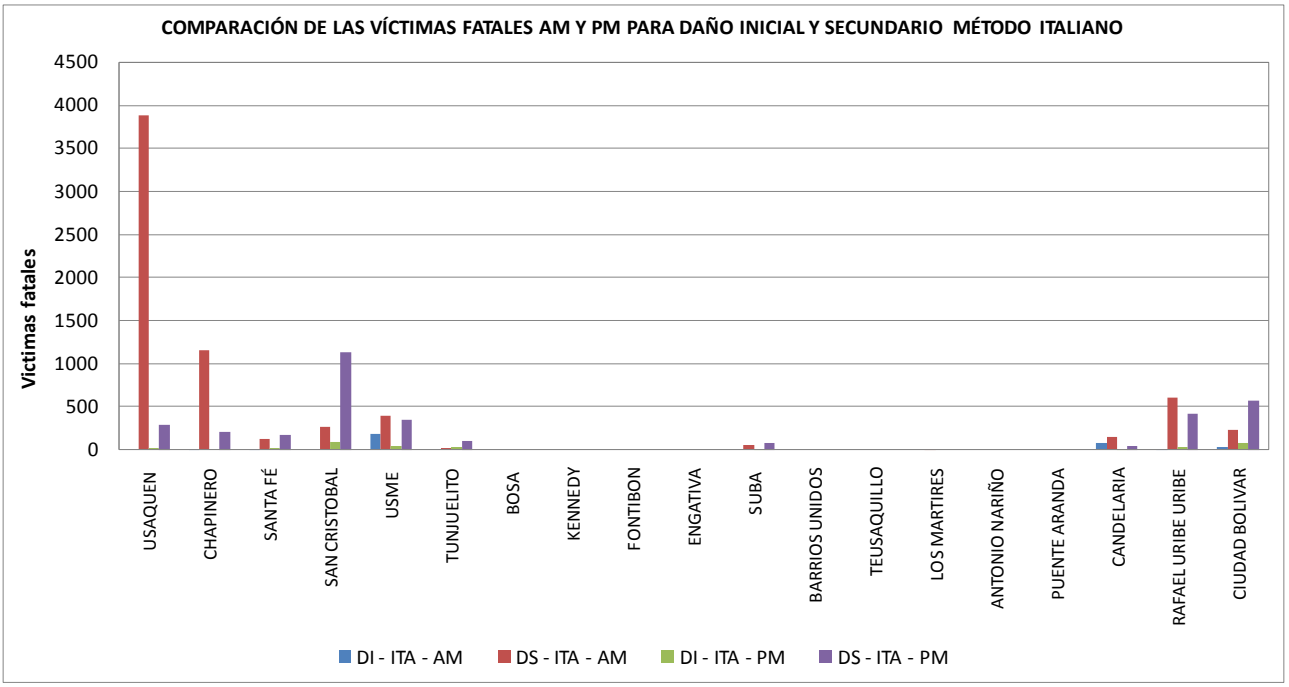


Figura 6.28. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Italiano

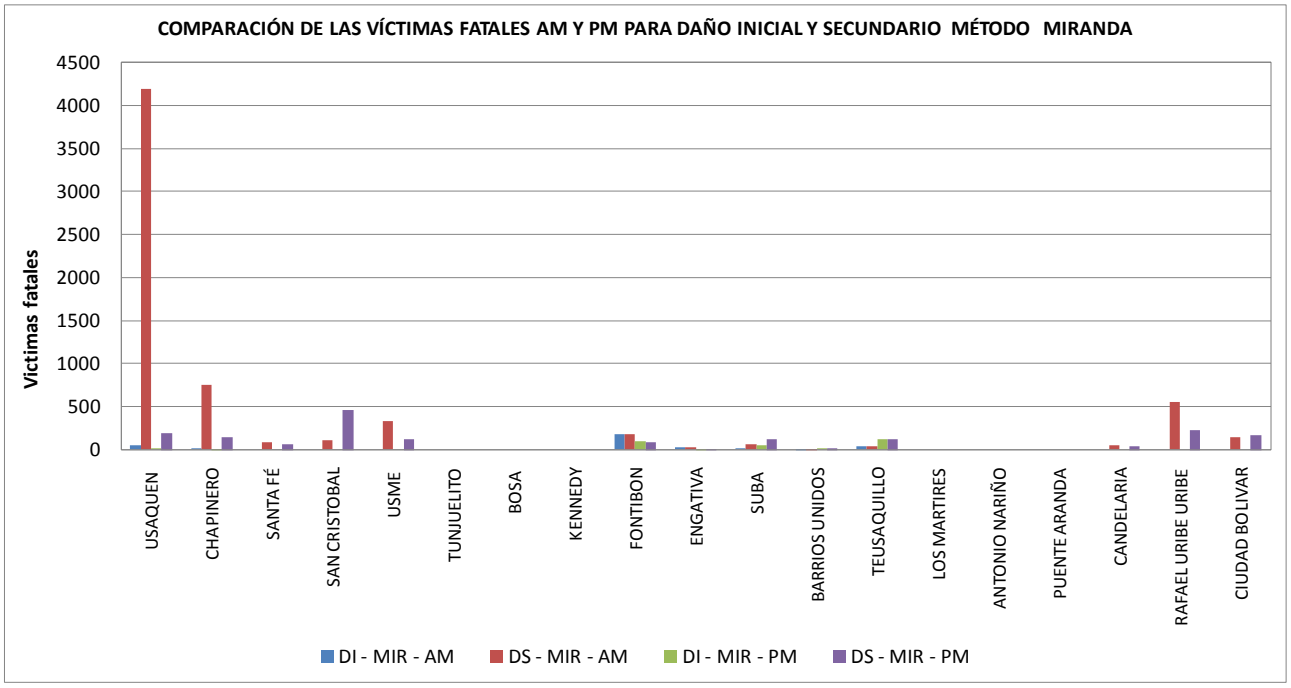


Figura 6.29. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Miranda

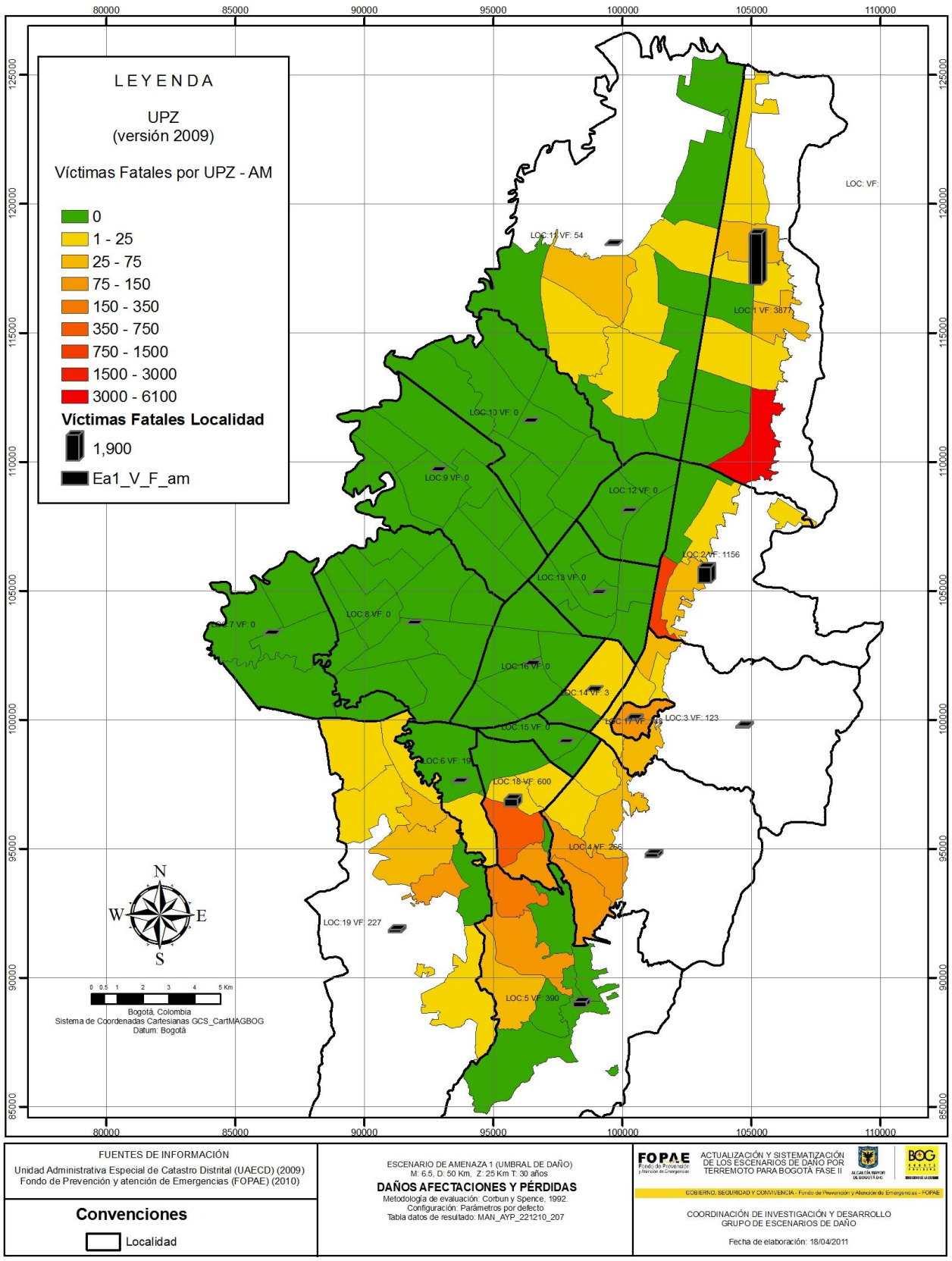


Figura 6.30. Víctimas fatales en el día

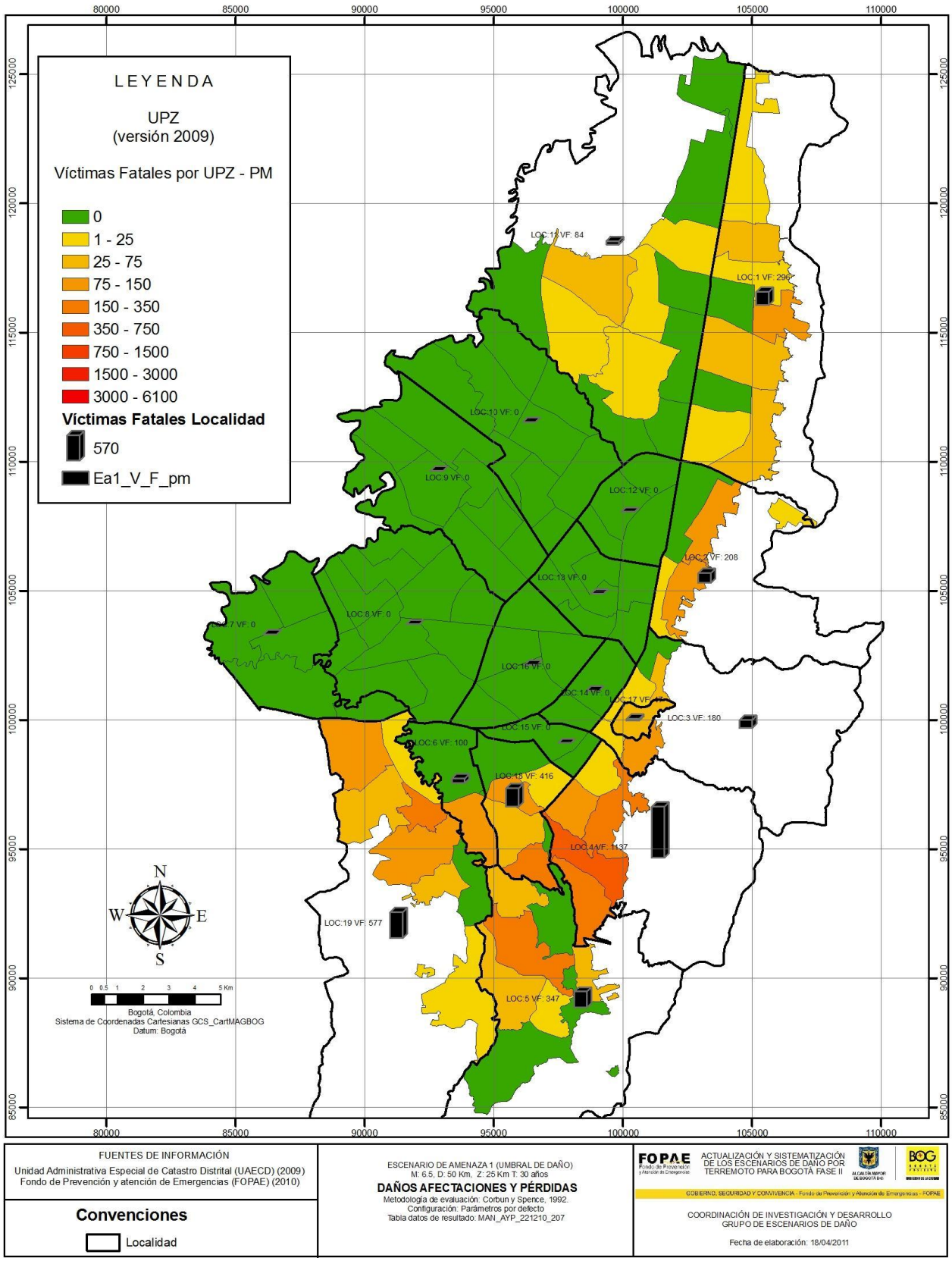


Figura 6.31. Víctimas fatales en la noche

CAPÍTULO 7

7 ESCENARIO M7.0 A 40 KM SEGURIDAD LIMITADA

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

7.1 EFECTOS REGIONALES

El escenario de Seguridad limitada presenta intensidades entre VI y VII, lo cual corresponde a PGA entre 0.092 g y 0.34 g sin incluir efectos de sitio. En la **Figura 7.1** se muestra que para este escenario la mayor parte del departamento de Cundinamarca se encuentra en intensidad de VI; sin embargo, existe una franja hacia el suroccidente que presenta intensidad de VII en donde probablemente se encontrarán los mayores daños.

La malla vial municipal se encuentra en la zona de intensidad VI en donde se podrán encontrar daños tales como caída de rocas y deslizamientos pequeños, sin embargo parte de la vía a Villavicencio se encuentra en la zona de intensidad VII. En este caso, los daños probables que podrían afectar el corredor vial son caída de rocas, deslizamientos moderados y flujo de tierras; para el caso de puentes se pueden presentar fisuras y en cuanto a los túneles los daños pueden ser fisuras y descascaramientos. En el caso de las líneas Ferreas, ambas se encuentran en la zona de intensidad VI y por tanto los daños esperados son caída de rocas y pequeños deslizamientos.

Parte de los tres sistemas de suministro de agua se encuentra en la zona de intensidad VI en donde es posible esperar daños estructurales leves en las plantas de tratamiento, plantas de bombeo y presas. Sin embargo, el sistema Weisner puede presentar daños mayores dado una parte de este se encuentra en zona de intensidad VII en donde los daños pueden presentarse en los túneles, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo y tanques elevados. En cuanto a la red de suministro de electricidad, tanto el sistema Muña y el Sistema Canoas se encuentran en las zonas VI y VII por tanto los daños en ambos sistemas podrían ser muy similares. Los daños probables son afectaciones estructurales de las estaciones y subestaciones y desplazamientos diferenciales y fallas en la fundación de las torres de transmisión. En la red de gas natural los mayores daños se podrían presentar en los citigates con un porcentaje de daño máximo de 20%. En cuanto a la red se podrían presentar desplazamientos diferenciales.

En términos generales los elementos expuestos más vulnerables son la vía a Villavicencio, el sistema Weisner de la red de suministro de agua, los tramos de la red de suministro de electricidad y gas natural que se encuentran en la zona de intensidad VII y particularmente los citigates, estaciones y subestaciones de estos sistemas.

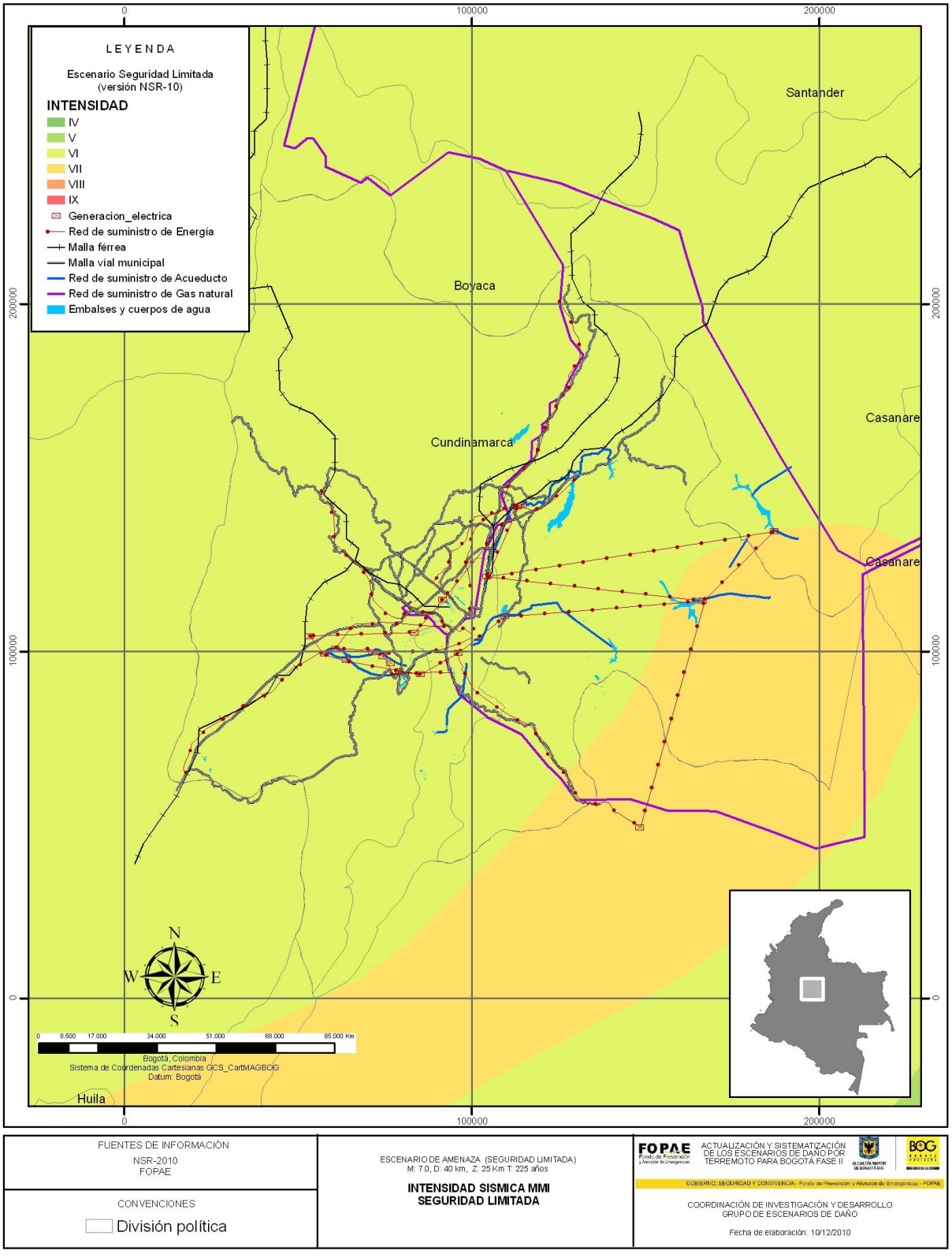


Figura 7.1. Intensidad sísmica para el escenario de Seguridad limitada

7.2 DAÑOS INICIALES

De acuerdo con la metodología general de evaluación, dentro del proceso de evaluación de daños para análisis del riesgo sísmico se considera una primera etapa de evaluación de los daños iniciales (causados directamente por el movimiento sísmico). Se presentan ahora los resultados de evaluación de los daños iniciales en edificaciones y líneas vitales (en aquellos elementos para los que la metodología así lo considera. Ver **Figura 7.2**) correspondientes al escenario de amenaza de "Seguridad Limitada".

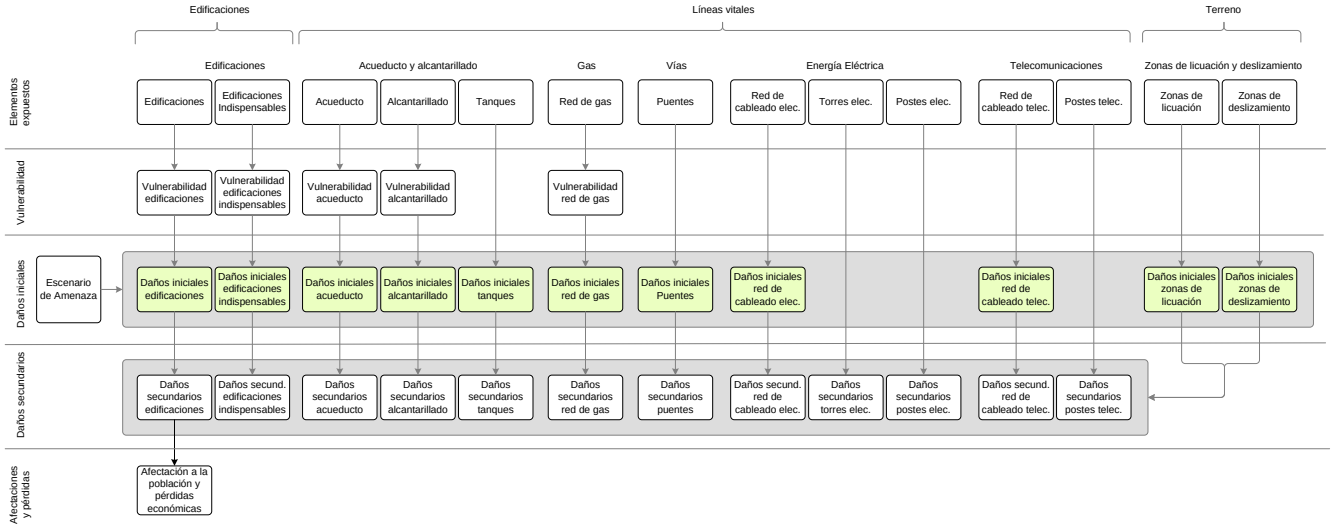


Figura 7.2. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños iniciales en edificaciones y líneas vitales)

7.2.1 Edificaciones

7.2.1.1 Edificaciones Normales

La evaluación de los daños en edificaciones normales en la ciudad de Bogotá se efectuó a partir de las metodologías Italiano y Miranda las cuales usaron las curvas de vulnerabilidad propuestas por DPAE, 2009 y ANDES, 2005, respectivamente. Se observa inicialmente que para el método italiano el índice de daño promedio a nivel de manzanas es de 11.6%, mientras que para el método Miranda alcanza un valor de 7.7%. Observando la distribución de los daños a nivel espacial se encuentra que para el método italiano los daños se concentran especialmente entre el noroccidente y el suroriente de la capital. El método Miranda concentra los daños hacia las zonas de piedemonte de los cerros orientales y en el norte de la capital.

Los valores promedio del índice de daño obtenidos a nivel localidad para ambos métodos muestran que localidades como Chapinero, Santa Fe, San Cristóbal, Tunjuelito, Antonio Nariño, Candelaria y Rafael Uribe Uribe sufren daños considerables a fuertes, con valores del índice de daño entre el 15% y el 28%, el resto de localidades presentan daños moderados (ver **Figura 7.3**). Se presenta una distribución sesgada a la izquierda con un pico inicial entre 0% y 5% de daño, con lo cual se esperarían para este escenario, daños entre moderados, bajos o nulos para el 61.7% de las edificaciones y daños considerables, fuertes y severos para el 28.0% de estas, según el método Italiano; mientras que según el método Miranda se esperan daños entre moderados, bajos o nulos para el 80.2% de las edificaciones y daño considerables, fuertes y severos para el 9.5% de estas.

Adicionalmente, se observa que las localidades con más dispersión en los resultados de daño son Santa fe, San Cristóbal, Candelaria, Rafael Uribe y Ciudad Bolívar, situación que se evidencia en una gran heterogeneidad frente a las edificaciones que componen cada una de estas localidades lo que se traduce en un amplio espectro de resultados de daño y de otro lado esta dispersión es consistente con el resultado de vulnerabilidad que intervienen directamente en los resultados de la estimación del daño en el método Italiano.

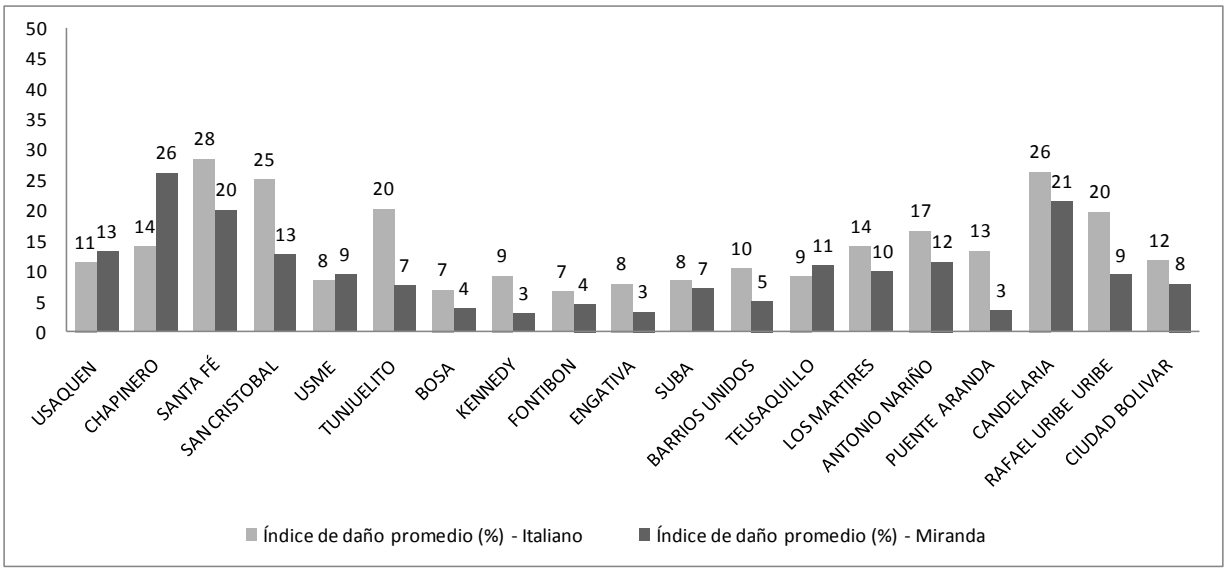


Figura 7.3. Índice de daño promedio por localidades para los métodos italiano y Miranda.

De otro lado se pueden visualizar los daños para este escenario desde la perspectiva del uso de las edificaciones, para lo cual se encontró que las viviendas informales construidas en lotes con uso no autorizado para la construcción presentan daños considerables; para el uso residencial y comercial y de servicios se esperan daños moderados, el sector industrial presenta en promedio daños moderados a bajos, el sector de edificaciones dotacionales presenta daño de moderados, por su parte las edificaciones localizadas en usos de espacio público presentan daños moderados y por último para el sector recreacional y deportivo se esperan daños moderados (ver **Figura 7.4**).

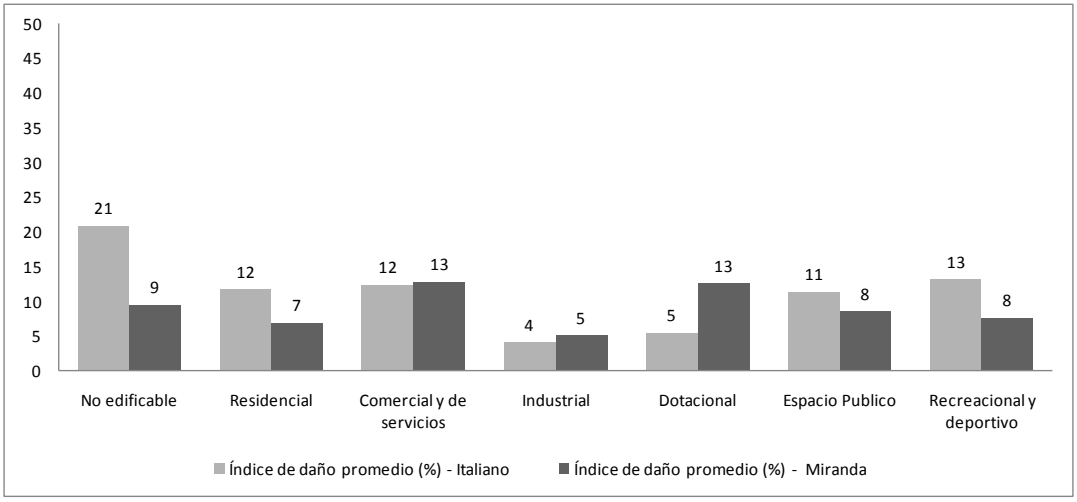


Figura 7.4. Índice de daño en edificaciones de acuerdo a su uso

En el Anexo 3 se encuentran todos los resultados, mapas y estadísticas obtenidas.

7.2.1.2 Edificaciones indispensables

El panorama de los potenciales daños en edificaciones indispensables y de atención a la comunidad a las cuales se les ha prestado especial cuidado teniendo en cuenta su importancia frente a un evento de gran magnitud y a las definiciones expuestas en los códigos de construcciones sismoresistentes NSR-98 y NSR-10, el tratamiento espacial dado a estas construcciones fue la estimación del índice de daño a partir de información primaria de las edificaciones obtenida gracias a la colaboración de las diferentes entidades participantes.

Inicialmente de acuerdo a los valores promedio para los daños iníciales y secundarios deben esperarse daños bajos a moderados en este pequeño grupo de edificaciones evaluado, lo cual es consistente para los dos modelos empleados para la evaluación del daño.

ENTIDAD	NÚMERO EDIFICACIONES	ITALIANO - INICIAL				MIRANDA - INICIAL			
		ID PROM	ID MÍN	ID MÁX	ID DESVEST	ID PROM	ID MÍN	ID MÁX	ID DESVEST
Dirección de Gestión del Riesgo para la Prevención y Atención de Desastres	1	0,0	0,0	0,0	-	0,5	0,5	0,5	-
Cuerpo Oficial de Bomceros de Bogotá	18	1,7	0,0	13,3	3,4	2,1	0,4	4,1	1,4
Secretaria de Salud	42	10,8	0,0	100,2	22,1	6,6	0,5	26,0	5,2
Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá	5	4,5	0,0	11,2	6,1	0,6	0,1	1,2	0,5
Policia Nacional	45	5,3	0,0	43,7	8,0	6,1	0,1	22,6	4,7
Empresa de Energía de Bogotá S.A. ESP.	1	0,0	0,0	0,0	-	10,6	10,6	10,6	-
Secretaria de Gobierno	45	8,5	0,0	40,4	10,5	14,8	0,4	72,7	19,7
Terminal de Transporte	2	6,6	0,0	13,2	9,3	2,5	2,4	2,6	0,2
Ejercito Nacional	7	1,0	0,0	3,8	1,3	9,1	2,1	17,7	6,1
ETB	29	0,9	0,0	11,2	2,3	4,0	0,5	12,7	3,3
Cruz Roja Colombiana	1	0,3	0,3	0,3	-	4,9	4,9	4,9	-
Defensa civil	2	2,0	1,5	2,6	0,8	3,0	1,6	4,4	2,0
Oficina de Prevención y Atención de Desastres - Gobernación de Cundinamarca	1	0,9	0,9	0,9	-	1,6	1,6	1,6	-
CODENSA	1	0,4	0,4	0,4	-	2,7	2,7	2,7	-
Total general	200	5,9	0,0	100,2	12,5	7,3	0,1	72,7	10,9

Tabla 7.1. Consolidado de daño inicial

7.2.2 Líneas vitales Tuberías

La metodología de evaluación de los daños iniciales de las redes de tubería (Kubo & Katayama, 1975) se empleó considerando 4 configuraciones según se indica en la Tabla 7.2.

Configuración	Curva de vulnerabilidad	Configuración método evaluación vulnerabilidad
1	JICA, 2002	Por defecto
2	JICA, 2002	No considera efecto de licuación
3	Eidinger,2001	Por defecto
4	Eidinger,2001	No considera efecto de licuación

Tabla 7.2. Configuraciones empleadas para la evaluación de daños iniciales en las redes de tubería

En el Anexo 3 se presentan los resultados detallados para cada una de las tipologías de red de tubería (acueducto, alcantarillado y gas domiciliario).

7.2.2.1 Red de acueducto

v) Configuración 1 - Curva de vulnerabilidad JICA,2002 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0 y 0.23 con una media de 0.03 roturas por kilómetro. La red secundaria presenta un rango de tasas de rotura mayor a los de la red primaria.

w) Configuración 2 - Curva de vulnerabilidad JICA,2002 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0 y 0.19 con una media de 0.03 roturas por kilómetro (resultados que son inferiores a los obtenidos con la configuración 1). Las redes primaria y secundaria presentan tasas de rotura similares.

x) Configuración 3 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0 y 1.02 con una media de 0.18 roturas por kilómetro. La red secundaria presenta un rango de tasas de rotura mayor a los de la red primaria.

y) Configuración 4 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno, la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0 y 0.57 y una media de 0.15 roturas por kilómetro. La red secundaria presenta un rango de tasas de rotura mayor a los de la red primaria.

7.2.2.2 Red de alcantarillado

z) Configuración 1 - Curva de vulnerabilidad JICA,2002 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de alcantarillado presenta valores entre 0 y 0.27 con una media de 0.04 roturas por kilómetro.

La red menor presenta las tasas de roturas más altas, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red, la red de alcantarillado combinado y la red de alcantarillado sanitario presentan las tasas de rotura más altas y la red pluvial presenta las tasas de rotura más bajas.

aa) Configuración 2 - Curva de vulnerabilidad JICA,2002 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno, la tasa de roturas de la red de alcantarillado presenta valores entre 0 y 0.24 con una media de 0.04 roturas por kilómetro.

La red menor presenta las tasas de roturas más altas, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red, la red de alcantarillado combinado y la red de alcantarillado sanitario presentan las tasas de rotura más altas y la red pluvial presenta las tasas de rotura más bajas.

bb) Configuración 3 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de alcantarillado presenta valores entre 0.01 y 1.28 con una media de 0.24 roturas por kilómetro.

La red menor presenta las tasas de roturas más altas, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red, la red de alcantarillado sanitario y la red de alcantarillado combinado presentan las tasas de rotura más altas y la red pluvial presenta las tasas de rotura más bajas.

cc) Configuración 4 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno, la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0.01 y 0.71 y una media de 0.22 roturas por kilómetro.

La red menor presenta las tasas de roturas más altas, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red, la red de alcantarillado sanitario y la red de alcantarillado combinado presentan las tasas de rotura más altas y la red pluvial presenta las tasas de rotura más bajas.

7.2.2.3 Red de gas domiciliario

dd) Configuración 1 - Curva de vulnerabilidad JICA,2002 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de gas presenta valores entre 0 y 0.069 con una media de 0.006 roturas por kilómetro. La red primaria presenta las mayores tasas de rotura, seguida por la red secundaria y las acometidas, las cuales presentan tasas similares.

ee) Configuración 2 - Curva de vulnerabilidad JICA,2002 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno, la tasa de roturas de la red de gas domiciliario presenta valores entre 0 y 0.08 con una media de 0.01 roturas por kilómetro (resultados que son inferiores a los obtenidos con la configuración 1). La red primaria presenta las mayores tasas de rotura, seguida por la red secundaria y las acometidas, las cuales presentan tasas similares.

ff) Configuración 3 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de gas presenta valores entre 0.01 y 0.34 con una media de 0.05 roturas por kilómetro. La red primaria presenta las mayores tasas de rotura, seguida por la red secundaria y las acometidas, las cuales presentan tasas similares.

gg) Configuración 4 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno, la tasa de roturas de la red de gas domiciliario presenta valores entre 0.01 y 0.21 con una media de 0.04 roturas por kilómetro. La red primaria presenta las mayores tasas de rotura, seguida por la red secundaria y las acometidas, las cuales presentan tasas similares.

7.2.2.4 Síntesis

De acuerdo con la metodología de evaluación, las tasas de rotura obtenidas mediante las curvas de vulnerabilidad de Eidinger 2001 son en todos los casos mayores a las obtenidas mediante las curvas de vulnerabilidad de JICA 2002 (independientemente de la red evaluada y de la configuración usada durante la evaluación de la vulnerabilidad sísmica).

Igualmente, las tasas de rotura obtenidas a partir de los resultados de vulnerabilidad evaluados con la configuración por defecto son mayores a los obtenidos omitiendo el efecto de licuación del terreno.

De las tres tipologías consideradas en la evaluación, las redes de acueducto y alcantarillado presentan las tasas de roturas más altas y un comportamiento más heterogéneo. La red de gas domiciliario presenta las tasas de roturas más bajas y un comportamiento más homogéneo. Lo anterior se cumple para las 4 configuraciones empleadas.

Para el caso de la red de acueducto, la red secundaria presenta un rango de tasas de daño mayor a los de la red primaria. Lo anterior se cumple para las 4 configuraciones empleadas.

En el caso de la red de alcantarillado, la tasa de rotura es mayor en la red menor, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red, la red de alcantarillado combinado y la red de alcantarillado sanitario presentan las tasas de rotura más altas y la red pluvial presenta las tasas de rotura más bajas. Lo anterior se cumple para las 4 configuraciones empleadas.

En el caso de la red de gas domiciliario, la tasa de rotura es mayor en la red primaria, seguida por la red secundaria y las acometidas, las cuales presentan valores similares. Lo anterior se cumple para las 4 configuraciones empleadas.

7.2.3 Líneas vitales Cableado

La metodología de evaluación de los daños iniciales de las redes de cableado (Kubo & Katayama, 1975) se empleó usando la configuración por defecto y la curva de vulnerabilidad de JICA (2002).

En el Anexo 3 se presentan los resultados detallados para cada una de las tipologías de red de cableado (red de energía eléctrica y red de telecomunicaciones).

7.2.3.1 Red de energía eléctrica

Usando la configuración predeterminada del método de evaluación, el porcentaje de daño de la red de energía eléctrica presenta valores entre 0.0011% y 0.0217% con una media de 0.0067%. Respecto a la categoría de la red, no existen diferencias significativas entre los porcentajes de daño de las redes de alta, media y baja tensión. En cuanto al tipo de red, la red aérea presenta porcentajes de daño mayores a los de la red canalizada.

7.2.3.2 Red de telecomunicaciones

Usando la configuración predeterminada del método de evaluación, el porcentaje de daño de la red de telecomunicaciones presenta valores entre 0.0011% y 0.0217% con una media de 0.0053%. Respecto a la categoría de la red, la red secundaria presenta mayores porcentajes de daño que la red primaria. En cuanto al tipo de red, la red aérea presenta porcentajes de daño mayores a los de la red canalizada.

7.2.3.3 Síntesis

De acuerdo con la metodología de evaluación, para este escenario de amenaza las redes de distribución de energía eléctrica y telecomunicaciones alcanzan similares porcentajes de daño.

Para el caso de la red de energía eléctrica no existe mayor diferencia entre los resultados de daño de las redes de alta, mediana y baja tensión. En el caso de la red de telecomunicaciones, la red secundaria presenta mayor porcentaje de daño que la red primaria.

En ambos casos (energía eléctrica y telecomunicaciones), los porcentajes de daño son mayores en la red aérea que en la canalizada.

7.2.4 Líneas vitales Tanques

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños iniciales de los tanques de almacenamiento (American Life Alliance, 2001), para este escenario de daño los tanques de almacenamiento analizados presentan estado de daño 1 y 2 (equivalente a un porcentaje de pérdida del 0% y entre el 1 y el 20% respectivamente) siendo más frecuente el estado de daño 2 (donde el estado 1 equivale a un porcentaje de pérdida del 0%, el estado de daño 2 a un porcentaje de pérdida entre el 1 y el 20%, el estado de daño 3 a un porcentaje de pérdida entre el 20 y el 40%, el estado de daño 4 a un porcentaje de pérdida entre el 40 y el 100%, y el estado de daño 5 a un porcentaje de pérdida del 100%).

Teniendo en cuenta el nivel de llenado, el estado de daño es mayor en aquellos tanques con un nivel de llenado menor al 90%.

Respecto a la presencia de sistemas de anclaje, para el presente caso el estado de daño es mayor en aquellos tanques que no cuentan con sistema de anclaje.

7.2.5 Líneas vitales Puentes

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños iniciales de los puentes vehiculares y peatonales (Risk Management Solutions, 1997), para este escenario de amenaza los puentes de la ciudad presentan estados de daño desde el nivel uno hasta el nivel cuatro, siendo más frecuentes los estados de daño 1, 2 y 3 (donde el estado 1 equivale a ningún daño, el estado 2 a daño menor, el estado 3 a daño moderado, el estado 4 a daño generalizado y el estado 5 a daño total).

Los puentes vehiculares presentan estados de daño de 1 a 4 siendo más frecuente el estado de daño 2. Los puentes peatonales presentan estados de daño de 1 a 4, siendo más frecuente el estado de daño 1, 2 y 3.

7.2.6 Efectos colaterales

En la **Figura 7.5** se ilustran los estados de daño por efectos colaterales de licuación y deslizamiento evaluados para el correspondiente escenario de amenaza.

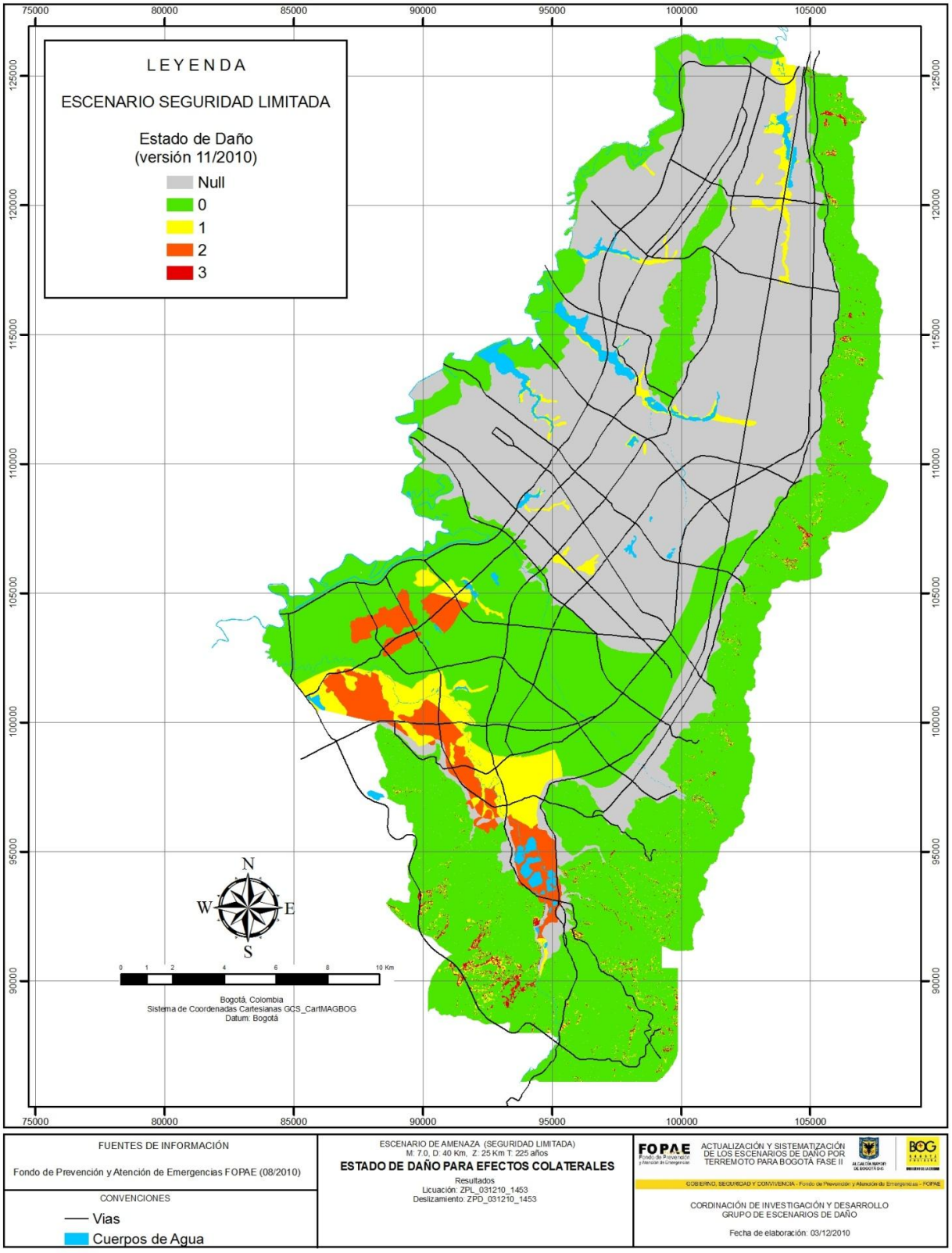


Figura 7.5. Estado de daño por licuación y deslizamiento

7.3 DAÑOS SECUNDARIOS

De acuerdo con la metodología general de evaluación, dentro del proceso de evaluación de daños para análisis del riesgo sísmico se considera una etapa de evaluación de los daños secundarios (causados por los efectos colaterales de licuación y deslizamiento. Ver **Figura 7.6**). Los resultados de la evaluación de los daños secundarios en edificaciones y líneas vitales correspondientes al escenario de amenaza de "Seguridad Limitada", se presentan a continuación.

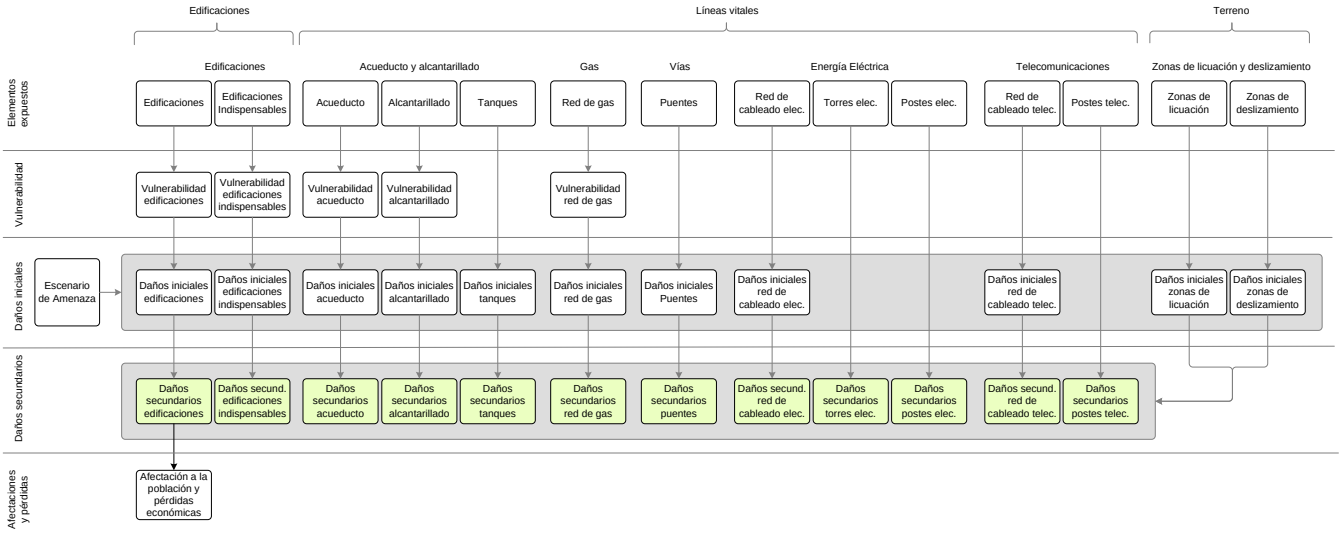


Figura 7.6. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños secundarios en edificaciones y líneas vitales)

7.3.1 Edificaciones

7.3.1.1 Edificaciones Normales

La evaluación de los daños secundarios en edificaciones normales en la ciudad de Bogotá se efectuó a partir de los resultados de daños iníciales obtenidos por las metodologías Italiano y Miranda, usando la configuración por defecto (NC=10). Se observa inicialmente que para el método italiano el índice de daño secundario promedio a nivel de manzanas para toda la ciudad es de 12.99% con un incremento de 1.3% frente al obtenido para el daño inicial, mientras que para el método Miranda alcanza un valor de 9.07%, es decir 1.4% más que el daño inicial.

En los análisis estadísticos para el índice de daño se muestra una distribución sesgada a la izquierda con un pico inicial entre 0% y 5% de daño, se esperaran para este escenario daños nulos a moderados para el 59.9% de las edificaciones y daño considerables a severos para el 30.3% de las edificaciones.

Las localidades que más incrementan los daños por los efectos colaterales en el terreno son Bosa, Tunjuelito, Kennedy y Ciudad Bolívar, para las tres primeras localidades mencionadas el fenómeno que controla este incremento obedece a la licuación del terreno y para Ciudad Bolívar los posibles deslizamientos intervienen en el incremento del daño inicial (ver **Figura 7.8**). Para los resultados obtenidos por el método italiano se presentan los daños concentrados al sur, suroriente y a lo largo de los cerros orientales, para esta extensión de terreno se esperan daños entre considerables a fuertes (ver **Figura 7.7**).

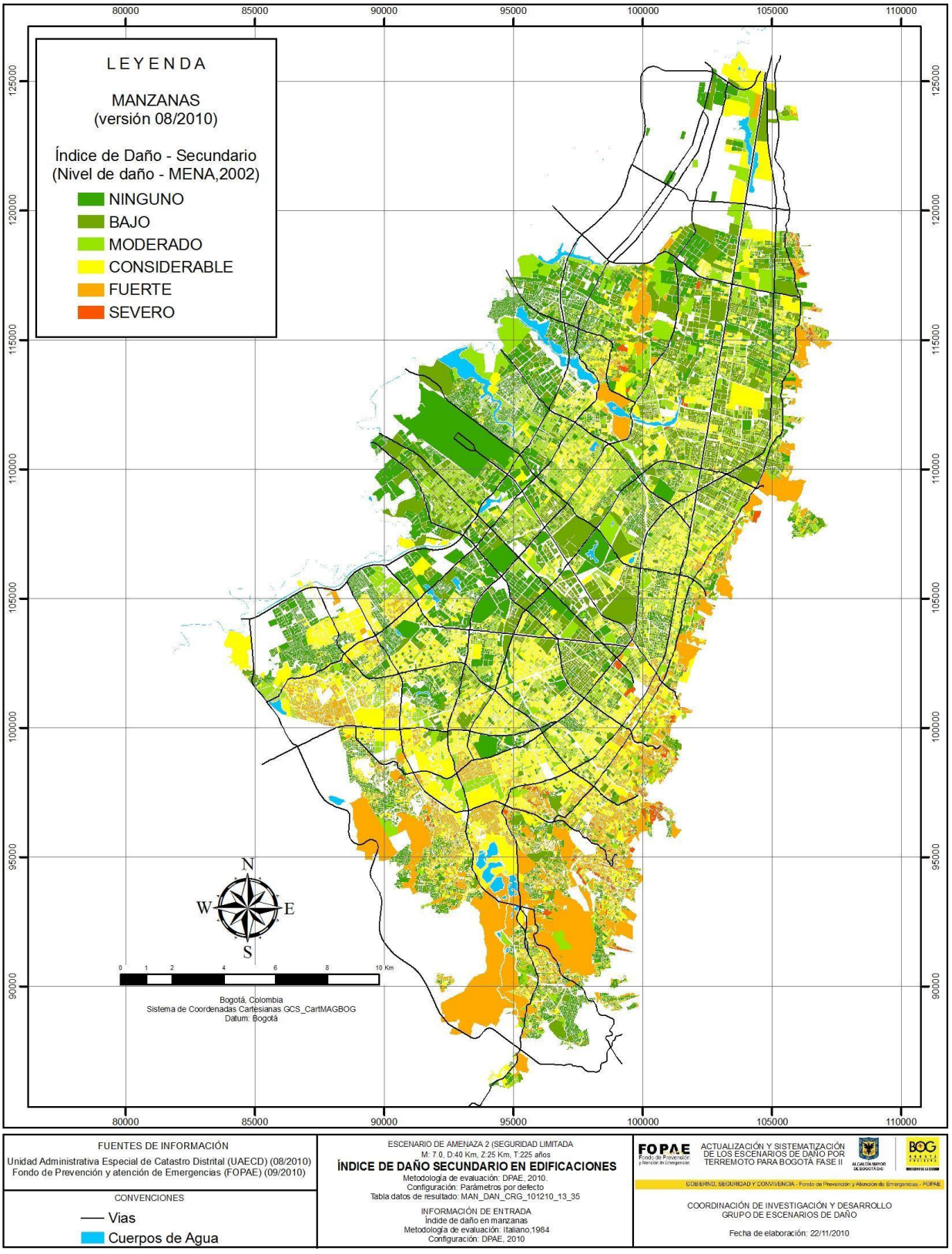


Figura 7.7. Índice de daño secundario en manzanas método italiano para escenario de seguridad limitada

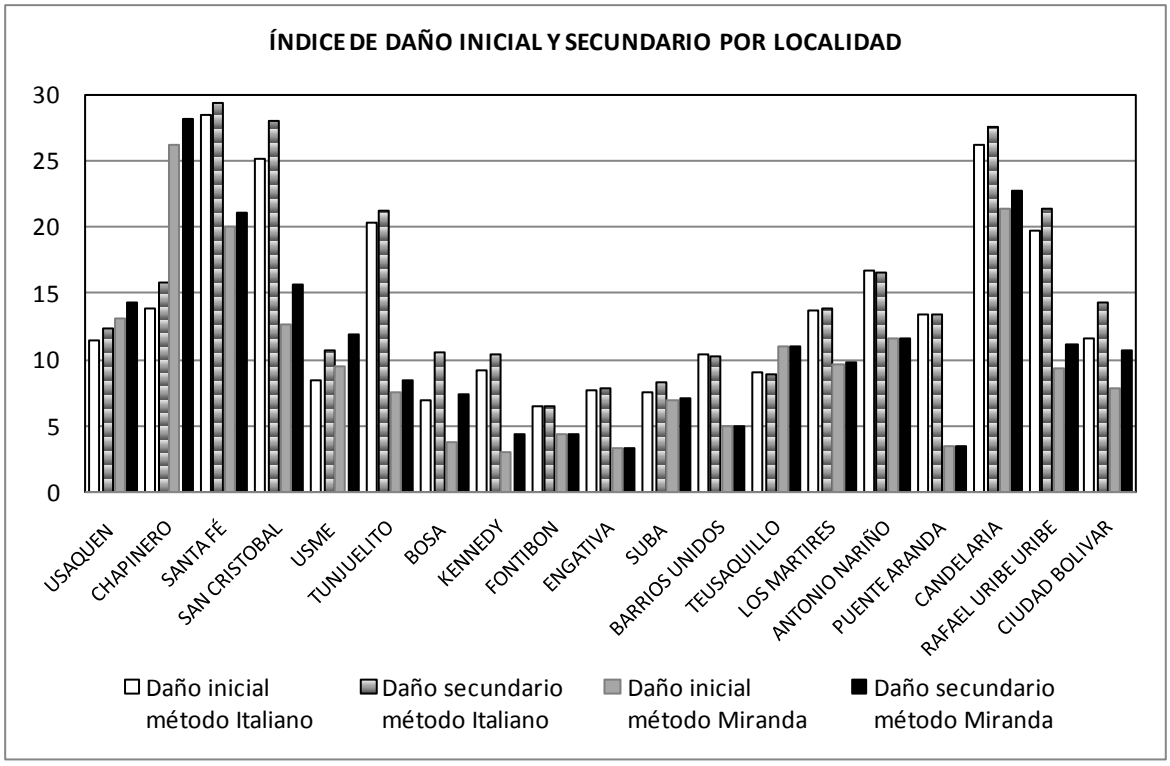


Figura 7.8. Comparación del índice de daño inicial y secundario por localidad

7.3.1.2 Edificaciones Indispensables

Particularmente se encuentra que para daño secundario el sector de gobierno es el más afectado para el cual se esperan daños considerables, mientras que para los sectores de Ejército, Terminal de Transporte Terrestre, Empresa de Energía de Bogotá, Secretaría de Salud y Ponal muestran daños moderados, para el resto de sectores se observan daños bajos o nulos. Sin embargo, los valores presentados deben ser tomados como valores índice dada la muestra tan reducida con la cual se obtuvieron los resultados, salvo en las edificaciones del cuerpo oficial de bomberos y secretaría de salud con los cuales se logró levantar un alto porcentaje de las edificaciones a cargo de estas instituciones.

ENTIDAD	NÚMERO EDIFICACIONES	ITALIANO - SECUNDARIO				MIRANDA - SECUNDARIO			
		ID PROM	ID MÍN	ID MÁX	ID DESVEST	ID PROM	ID MÍN	ID MÁX	ID DESVEST
Dirección de Gestión del Riesgo para la Prevención y Atención de Desastres	1	0,0	0,0	0,0	-	0,5	0,5	0,5	-
Cuerpo Oficial de Bomceros de Bogotá	18	1,9	0,0	13,3	3,4	5,6	0,4	39,0	11,0
Secretaria de Salud	42	12,5	0,0	100,0	25,9	8,2	0,5	73,3	11,5
Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá	5	4,5	0,0	11,2	6,1	0,6	0,1	1,2	0,5
Policia Nacional	45	6,2	0,0	46,4	10,1	8,4	0,1	68,0	11,8
Empresa de Energía de Bogotá S.A. ESP.	1	0,0	0,0	0,0	-	10,6	10,6	10,6	-
Secretaria de Gobierno	45	9,8	0,0	66,4	13,6	17,6	0,4	100,0	23,6
Terminal de Transporte	2	6,7	0,2	13,2	9,2	14,4	2,6	26,1	16,6
Ejercito Nacional	7	1,0	0,0	3,8	1,3	9,1	2,1	17,7	6,1
ETB	29	0,9	0,0	11,2	2,3	5,2	0,5	39,0	7,3
Cruz Roja Colombiana	1	0,3	0,3	0,3	-	4,9	4,9	4,9	-
Defensa civil	2	2,0	1,5	2,6	0,8	3,0	1,6	4,4	2,0
Oficina de Prevención y Atención de Desastres - Gobernación de Cundinamarca	1	0,9	0,9	0,9	-	1,6	1,6	1,6	-
CODENSA	1	0,4	0,4	0,4	-	2,7	2,7	2,7	-
Total general	200	6,8	0,0	100,0	14,9	9,4	0,1	100,0	15,0

Tabla 7.3. Consolidado de daño secundario en edificaciones indispensables

7.3.2 Líneas vitales Tuberías

La metodología de evaluación de los daños secundarios de las redes de tubería se empleó considerando una única configuración a partir de los resultados de daño inicial evaluados mediante la metodología Kubo & Katayama (1975), sin considerar el efecto de licuación (CL=1.0), usando la curva de vulnerabilidad de Eidinger (2001) y con un valor de corrección por efectos colaterales VC=0.33.

La **Figura 7.9** presenta un consolidado estadístico de los resultados de índice de daño secundario para las tres tipologías de tubería obtenidos para este escenario de amenaza mediante la configuración descrita y la **Figura 7.10** presenta el mapa de resultados. En el Anexo 3 se presentan los resultados detallados para cada una de las tipologías de red de tubería (acueducto, alcantarillado y gas domiciliario).

7.3.2.1 Red de acueducto

Al corregir los resultados de daño inicial considerando los efectos colaterales de licuación y deslizamiento mediante la metodología propuesta, la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0.002 y 0.91 y una media de 0.16 roturas por kilómetro. La red secundaria presenta un rango de tasas de rotura mayor que el de la red primaria.

7.3.2.2 Red de alcantarillado

Al corregir los resultados de daño inicial considerando los efectos colaterales de licuación y deslizamiento, la tasa de roturas de la red de alcantarillado presenta valores entre 0.005 y 1.14 y una media de 0.22 roturas por kilómetro.

La red menor presenta las tasas de roturas más altas, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red, la red de alcantarillado sanitario y la red de alcantarillado combinado presentan las tasas de rotura más altas y la red pluvial presenta las tasas de rotura más bajas.

7.3.2.3 Red de gas domiciliario

Al corregir los resultados de daño inicial considerando los efectos colaterales de licuación y deslizamiento, la tasa de roturas de la red de gas domiciliario presenta valores entre 0.004 y 0.27 con una media de 0.03 roturas por kilómetro. La red primaria presenta las mayores tasas de rotura, seguida por la red secundaria y las acometidas, las cuales presentan tasas similares.

7.3.2.4 Síntesis

De acuerdo con la metodología de evaluación, las tasas de rotura corregidas por el daño causado por efectos colaterales son en todos los casos mayores a las obtenidas durante la evaluación de los daños iniciales (independientemente de la red evaluada).

De las tres tipologías consideradas en la evaluación, las redes de acueducto y alcantarillado presentan las tasas de roturas más altas y un comportamiento más heterogéneo. La red de gas domiciliario presenta las tasas de roturas más bajas y un comportamiento más homogéneo.

Para el caso de la red de acueducto, la red secundaria presenta un rango de tasas de daño mayor a los de la red primaria.

En el caso de la red de alcantarillado, la tasa de rotura es mayor en la red menor, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red de alcantarillado, las redes de alcantarillado combinado y sanitario presentan las tasas de roturas más altas, mientras que la red de alcantarillado pluvial presenta las menores tasas de rotura.

En el caso de la red de gas domiciliario, la tasa de rotura es mayor en la red primaria, seguida por la red secundaria y las acometidas las cuales presentan valores similares.

Resumen de resultados - Tasa de rotura de la redes de tubería (Número de roturas por kilómetro)
Metodología: Kubo & Katayama (1975)

Curva de vulnerabilidad: Eidinger,2001
Corrección por efectos colaterales (licuación y deslizamiento): FOPAE, 2010

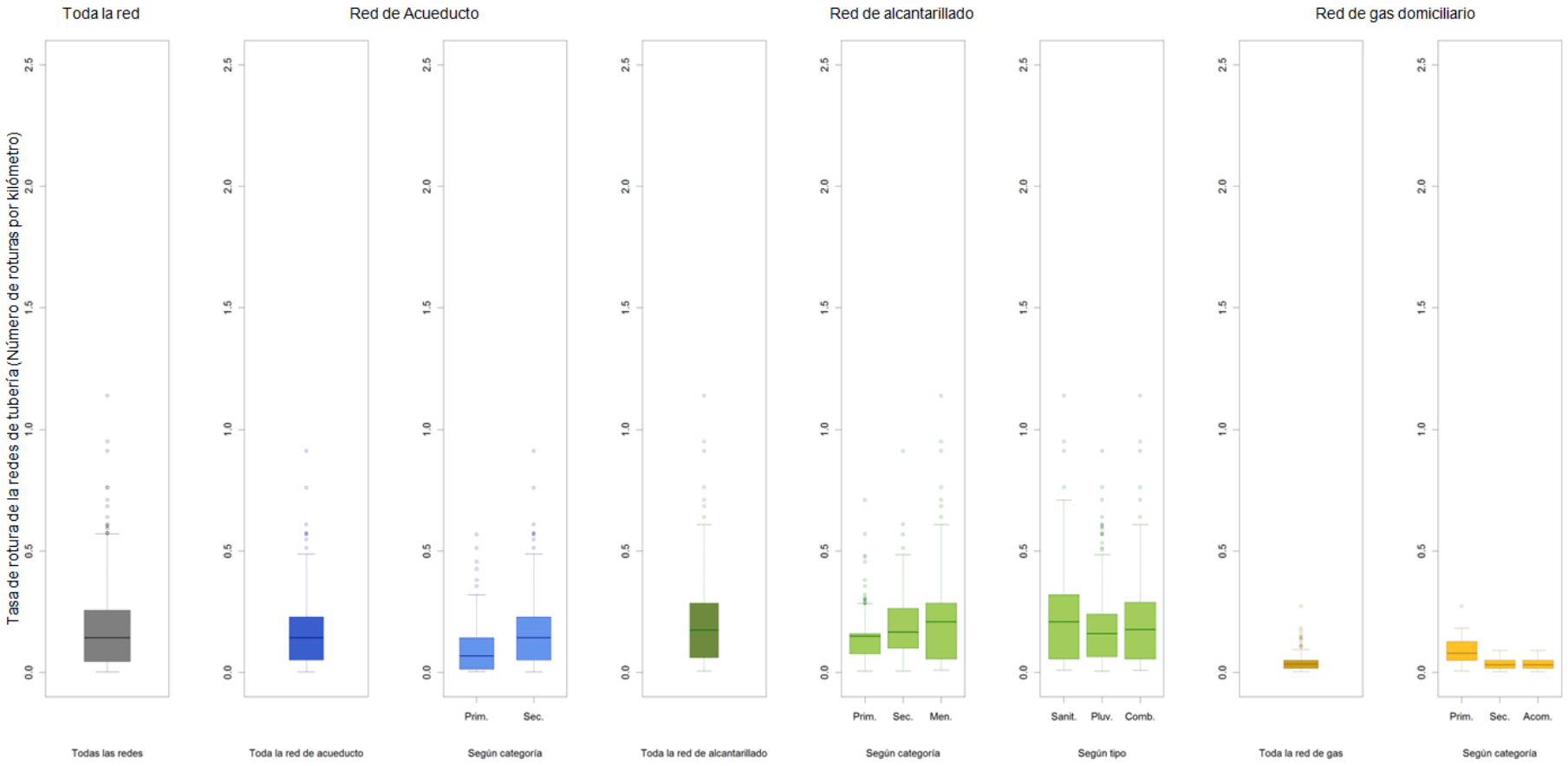


Figura 7.9. Resumen resultados de daño secundario de la red de tuberías

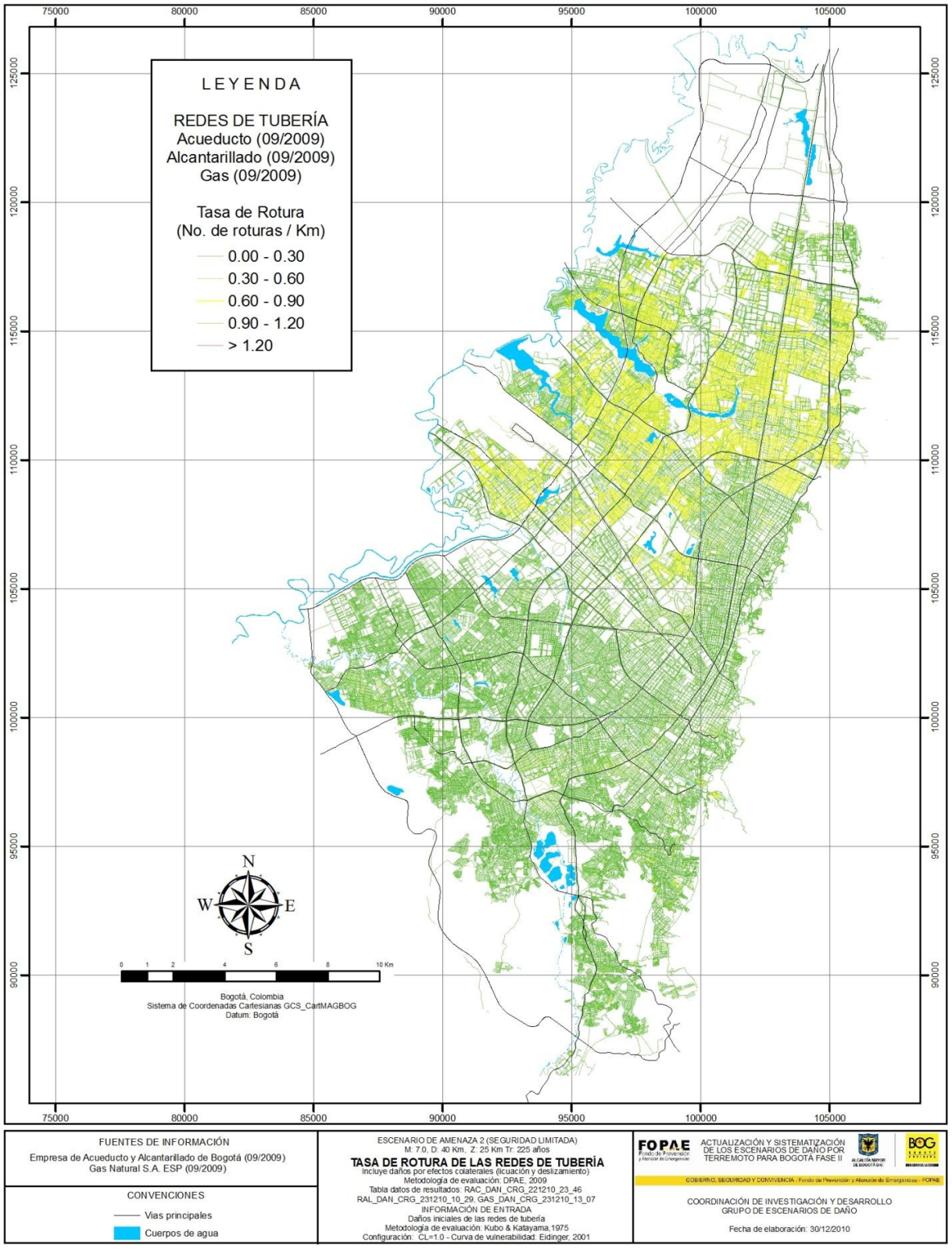


Figura 7.10. Mapa de resultados de daño secundario de la red de tuberías

7.3.3 Líneas vitales Cableado

La metodología de evaluación de los daños secundarios de las redes de cableado se empleó considerando una única configuración a partir de los resultados de daño inicial evaluados mediante la metodología Kubo & Katayama (1975) y usando la curva de vulnerabilidad de JICA (2002) y con un valor de corrección por efectos colaterales VC=0.33.

La **Figura 7.11** presenta un consolidado estadístico de los resultados de daño secundario para las dos tipologías de redes de cableado obtenidos para este escenario de amenaza mediante la configuración descrita y la **Figura 7.12** presenta el mapa de resultados. En el Anexo 3 se presentan los resultados detallados para cada una de las tipologías de red de cableado (red de energía eléctrica y red de telecomunicaciones).

En los siguientes numerales se presenta el análisis de los resultados.

7.3.3.1 Red de energía eléctrica

Al corregir los resultados de daño inicial considerando los efectos colaterales de licuación y deslizamiento mediante la metodología propuesta, el porcentaje de daño de la red de energía eléctrica presenta valores entre 0.0011% y 0.0217% con una media de 0.0067%. Respecto a la categoría de la red, la red de mediana tensión presenta los mayores porcentajes de daño, seguida por la red de baja tensión y por la red de alta tensión que presenta los menores porcentajes de daño. En cuanto al tipo de red, la red aérea presenta porcentajes de daño mayores a los de la red canalizada.

7.3.3.2 Red de telecomunicaciones

Al corregir los resultados de daño inicial considerando los efectos colaterales de licuación y deslizamiento mediante la metodología propuesta, el porcentaje de daño de la red de telecomunicaciones presenta valores entre 0.0011% y 0.0289% con una media de 0.0054%. Respecto a la categoría de la red, la red secundaria presenta mayores porcentajes de daño que la red primaria. En cuanto al tipo de red, la red aérea presenta porcentajes de daño mayores a los de la red canalizada.

7.3.3.3 Síntesis

De acuerdo con la metodología de evaluación, los porcentajes de daño corregidos por el daño causado por efectos colaterales son en todos los casos mayores a las obtenidas a aquellas obtenidas durante la evaluación de los daños iniciales (independientemente de la red evaluada). Para el caso de la red de energía eléctrica, la red de mediana tensión presenta los mayores porcentajes de daño, seguida por la red de baja tensión y por la red de alta tensión que presenta los menores porcentajes de daño. En el caso de la red de telecomunicaciones, la red secundaria presenta mayor porcentaje de daño que la red primaria. En ambos casos (red de energía eléctrica y telecomunicaciones) los porcentajes de daño son mayores en la red aérea que en la canalizada.

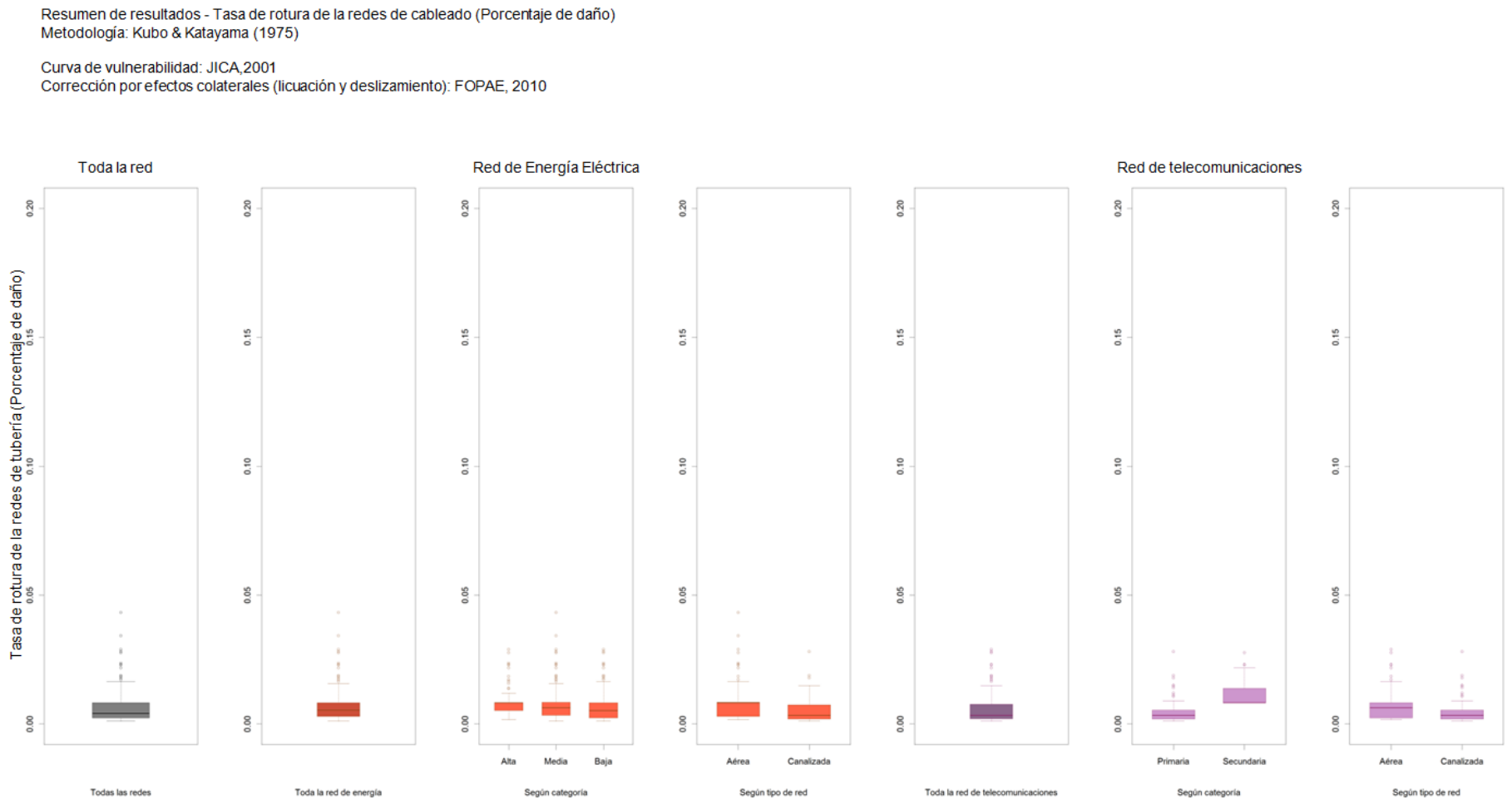


Figura 7.11. Resumen resultados de daño secundario de la red de cableado

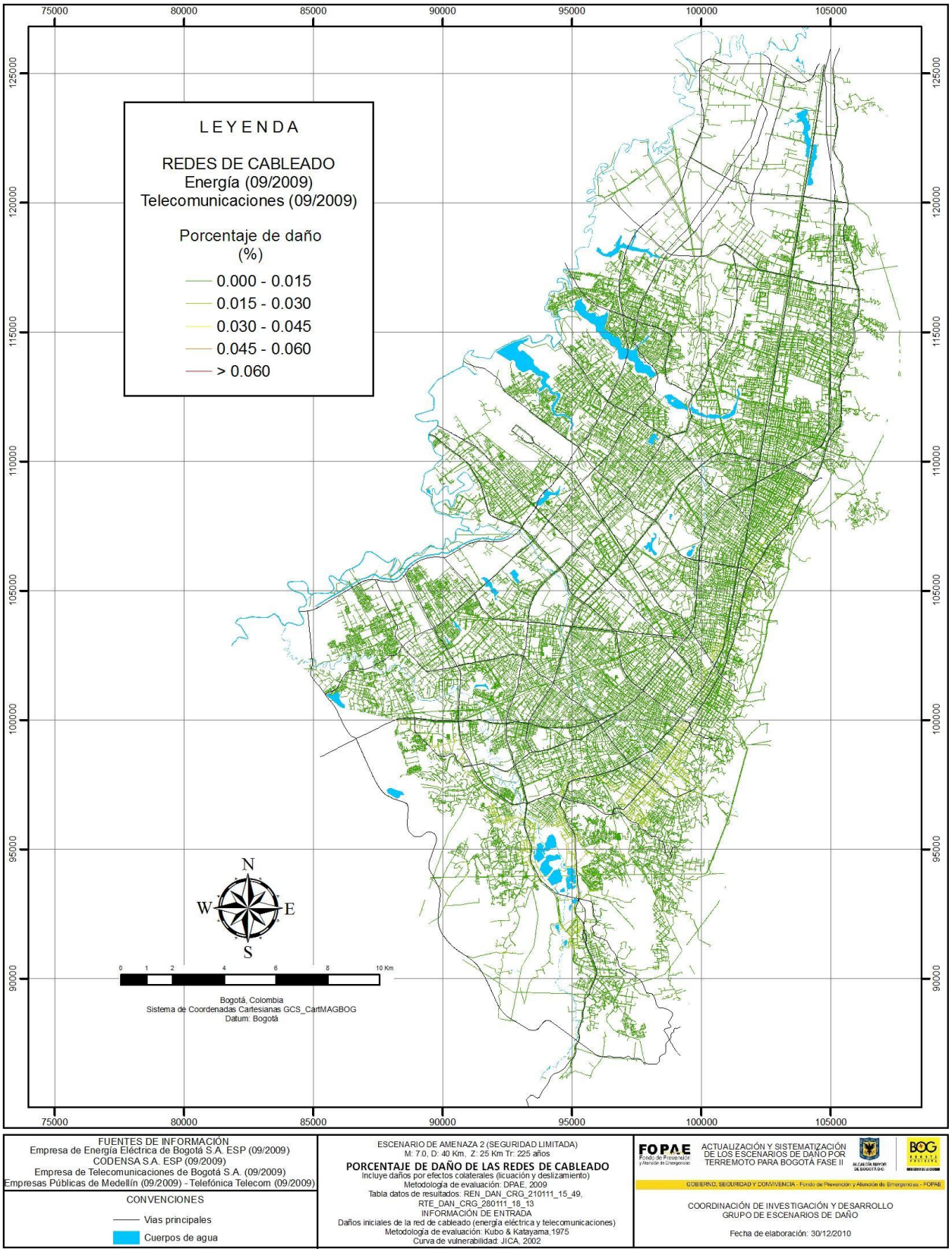


Figura 7.12. Mapa de resultados de daño secundario de la redes de cableado

7.3.4 Líneas vitales Tanques

La metodología de evaluación de los daños secundarios de los tanques de almacenamiento se empleó considerando una única configuración a partir de los resultados de daño inicial evaluados mediante la metodología (American Lifelines Alliance, 2001) con un valor de corrección por efectos colaterales VC=1.0.

De acuerdo con la metodología de evaluación de daños secundarios, para este escenario de amenaza los tanques de almacenamiento analizados presentan estado de daño 1 y 2, siendo más frecuente el estado de daño 2 (donde el estado 1 equivale a un porcentaje de pérdida del 0%, el estado de daño 2 a un porcentaje de pérdida entre el 1 y el 20%, el estado de daño 3 a un porcentaje de pérdida entre el 20 y el 40%, el estado de daño 4 a un porcentaje de pérdida entre el 40 y el 100%, y el estado de daño 5 a un porcentaje de pérdida del 100%).

Teniendo en cuenta el nivel de llenado, el estado de daño es mayor en aquellos casos en los cuales el tanque tiene un nivel habitual de llenado menor al 90%.

Respecto a la presencia de sistemas de anclaje, para el presente caso el estado de daño es mayor en aquellos tanques que no cuentan con sistema de anclaje. La **Figura 7.13** presenta el resumen estadístico de los resultados y la **Figura 7.14** el mapa de resultados.

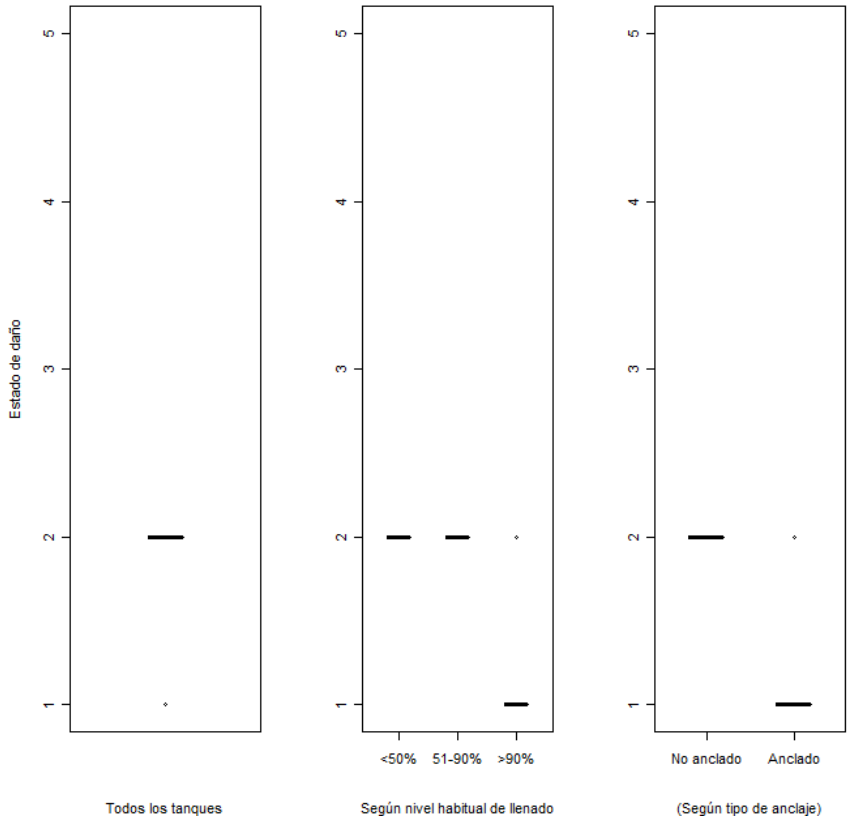


Figura 7.13. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los tanques de almacenamiento

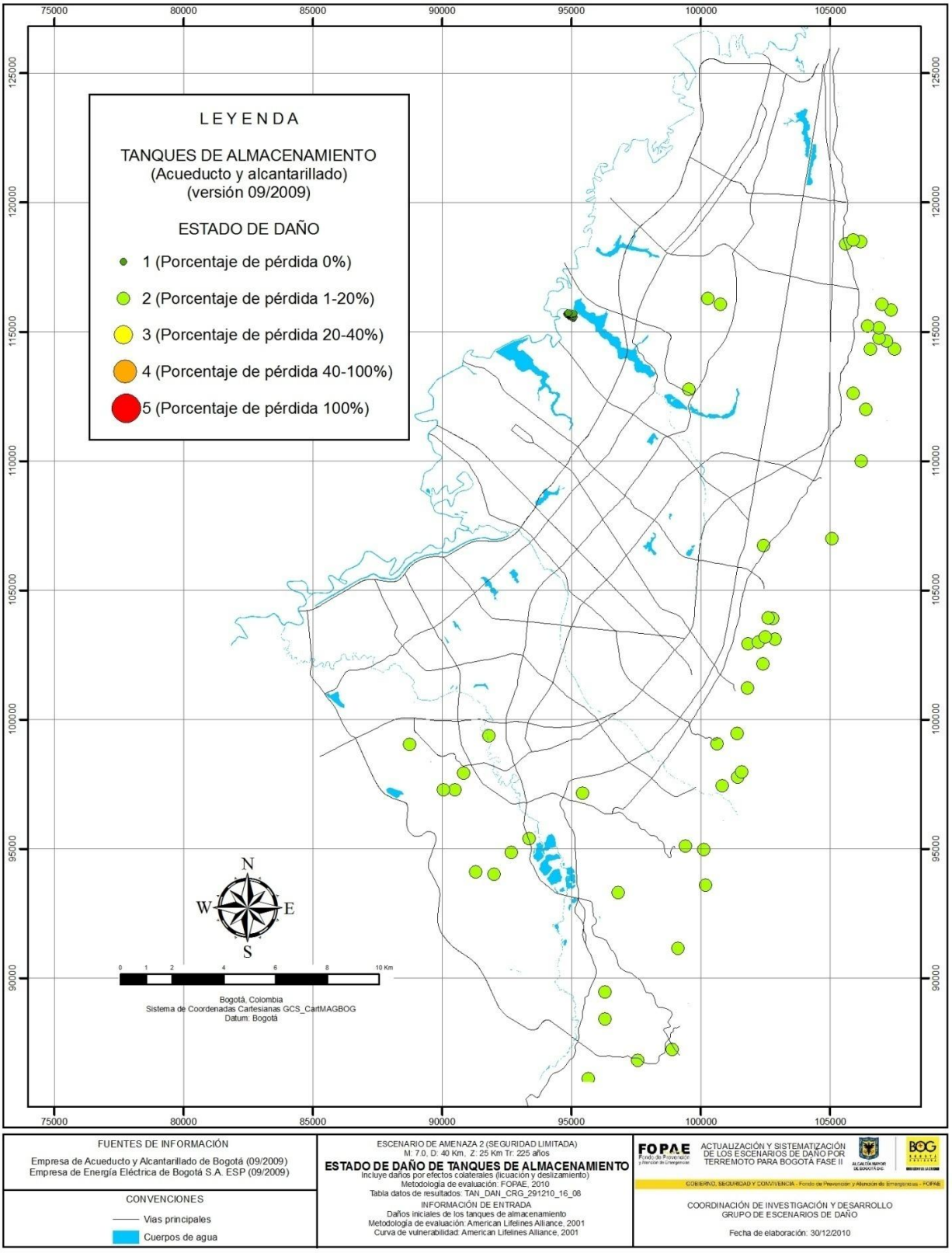


Figura 7.14. Mapa de resultados de daño secundario de los tanques de almacenamiento

7.3.5 Líneas vitales Puentes

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños secundarios de los puentes vehiculares y peatonales, para este escenario de amenaza los puentes de la ciudad presentan estados de daño desde el nivel uno hasta el nivel cinco, siendo más frecuentes los estados de daño 1, 2 y 3 (donde el estado 1 equivale a ningún daño, el estado 2 a daño menor, el estado 3 a daño moderado, el estado 4 a daño generalizado y el estado 5 a daño total).

Los puentes vehiculares presentan estados de daño de 1 a 5, siendo más frecuentes el estado de daño 2. Los puentes peatonales presentan estados de daño de 1 a 5, siendo más frecuentes los estados de daño 1, 2 y 3. La **Figura 6.15** presenta el resumen estadístico y la **Figura 6.16** el mapa de resultados.

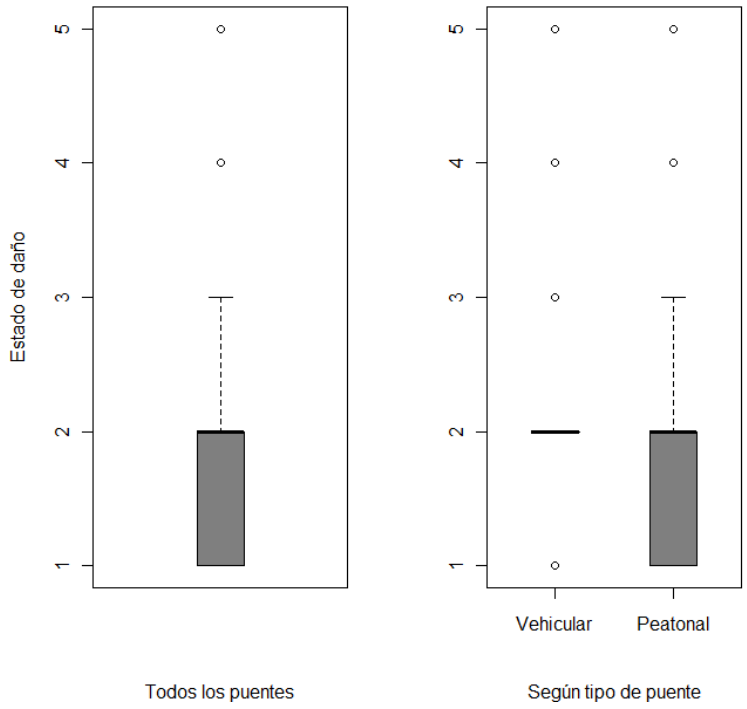


Figura 7.15. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los puentes vehiculares y peatonales

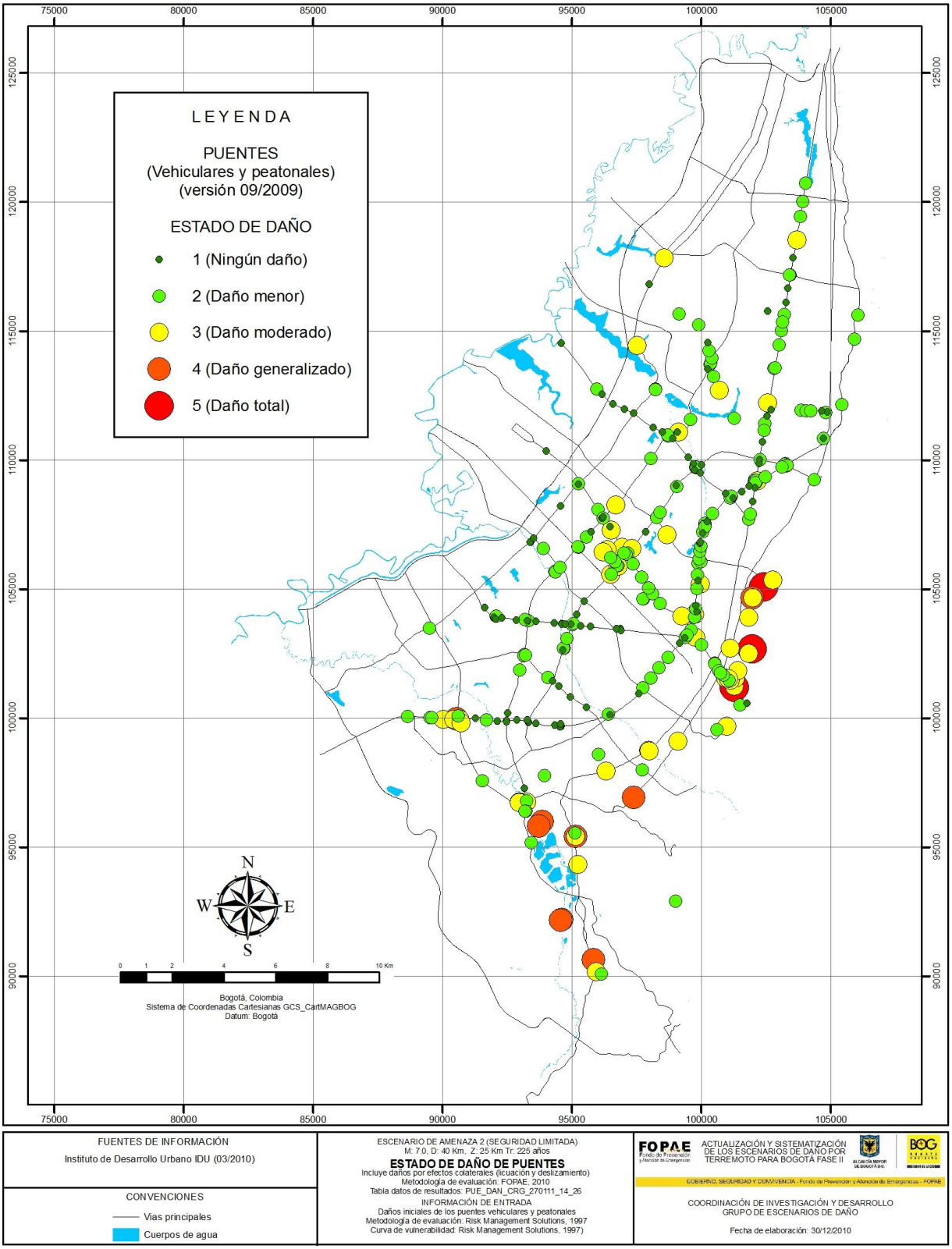


Figura 7.16. Mapa de resultados de daño secundario en puentes vehiculares y peatonales

7.3.6 Líneas vitales Torres

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños secundarios en torres, para este escenario de amenaza las torres de la red de energía eléctrica presentan estados de daño desde el nivel cero hasta el nivel tres (donde el estado 0 equivale a ningún daño, el estado 1 a daño bajo, el estado 2 a daño moderado y el estado 3 a daño severo), siendo más frecuente el estado de daño 0. Para este caso, no existe diferencia significativa entre los resultados de daño de las torres de alta y mediana tensión. La **Figura 6.17** presenta el resumen estadístico y la **Figura 6.18** el mapa de resultados.

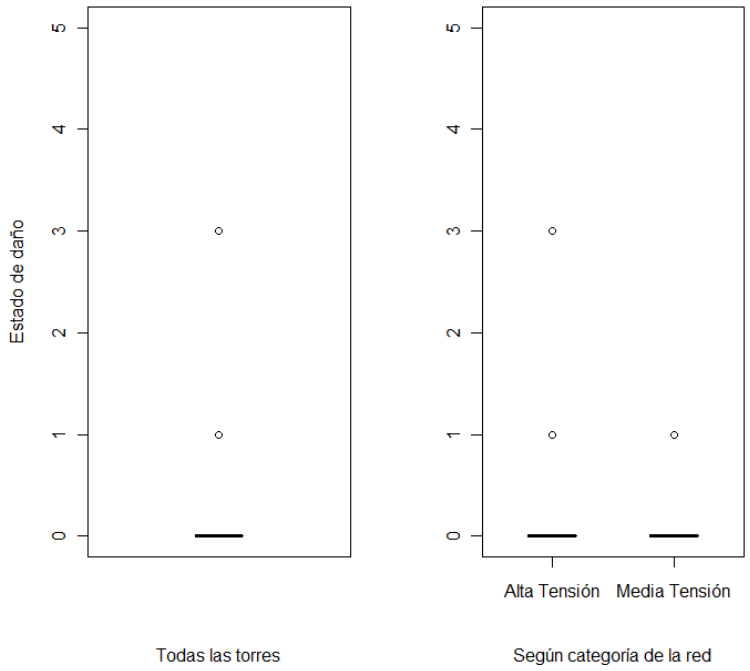


Figura 7.17. Resumen de resultados de estado de daño secundario de las torres de la red de energía eléctrica

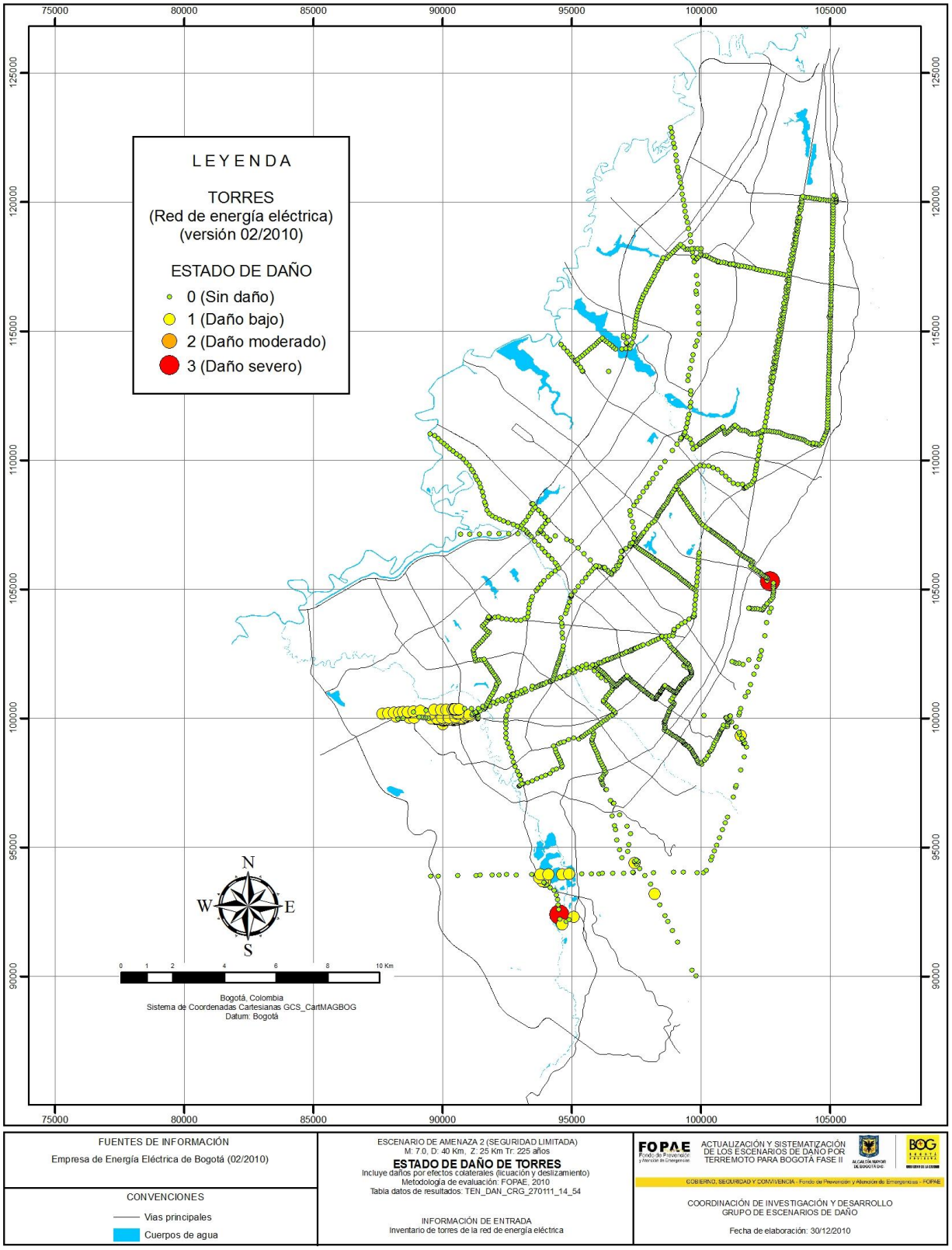


Figura 7.18. Mapa de resultados de daño secundario en torres de la red de energía eléctrica

7.3.7 Postes

7.3.7.1 Postes de la red de energía eléctrica

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños secundarios en postes, para este escenario de amenaza los postes de la red de energía eléctrica presentan estados de daño desde el nivel cero hasta el nivel tres, siendo más frecuente el estado de daño 0 (donde el estado 0 equivale a ningún daño, el estado 1 a daño bajo, el estado 2 a daño moderado y el estado 3 a daño severo). Para este caso no existe diferencia significativa entre los resultados de daño en los postes de la red de alta, mediana y baja tensión.

7.3.7.2 Postes de la red de telecomunicaciones

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños secundarios en postes, para este escenario de amenaza los postes de la red de telecomunicaciones presentan estados de daño desde el nivel cero hasta el nivel tres, siendo más frecuente el estado de daño 0.

Para este caso, no existe diferencia significativa entre los resultados de daño de los postes de la red de energía eléctrica y de la red de telecomunicaciones. La **Figura 6.19** presenta el resumen estadístico y la **Figura 6.20** el mapa de resultados.

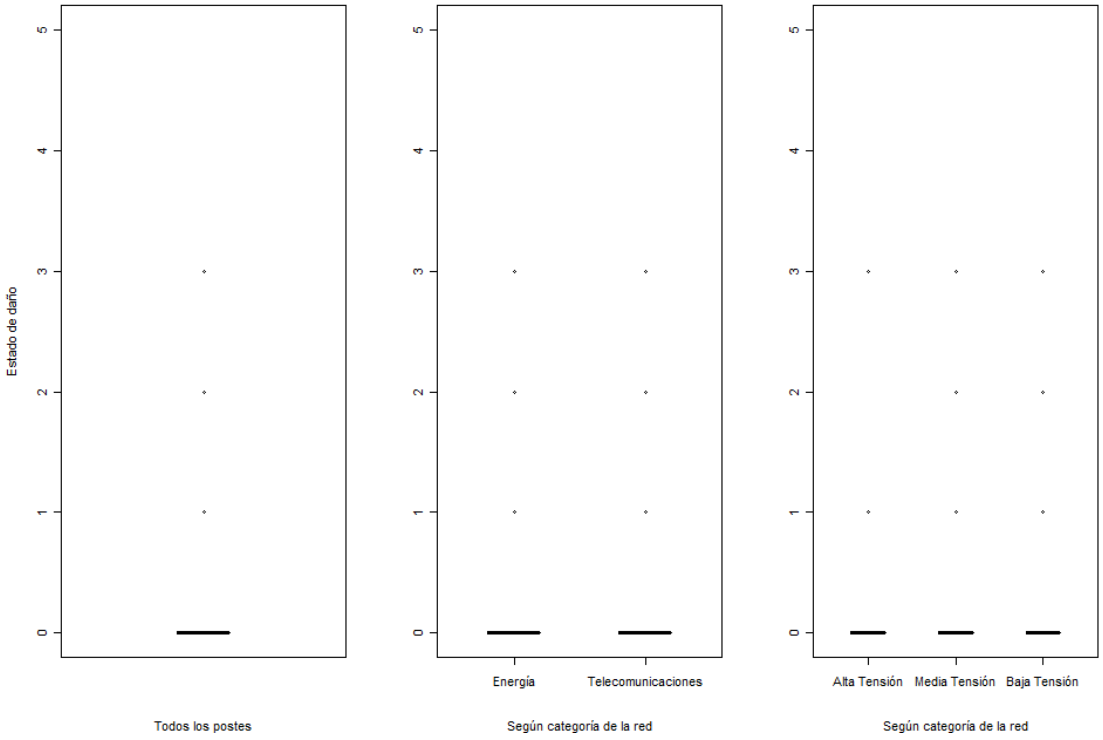


Figura 7.19. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los postes de la red de energía eléctrica y de telecomunicaciones

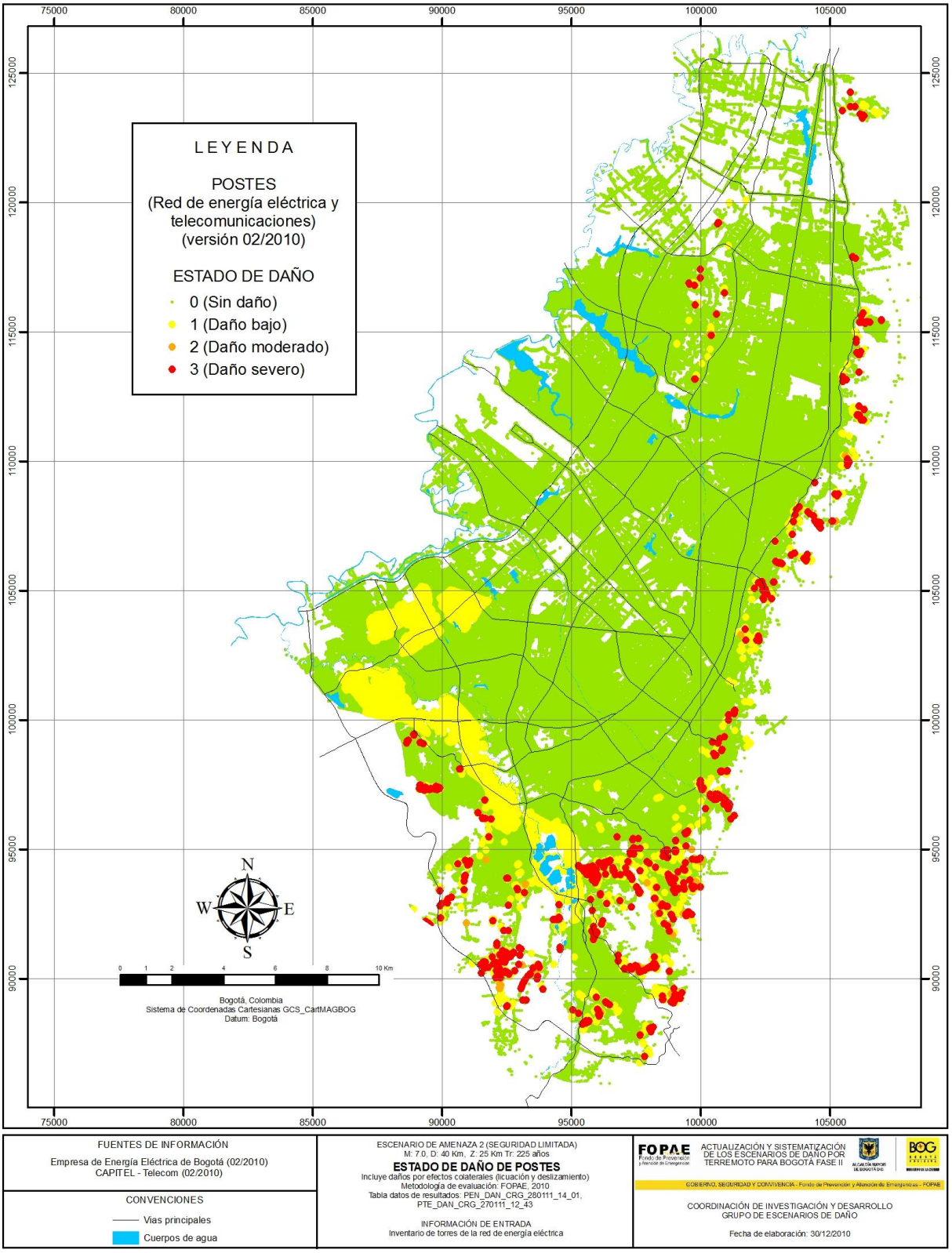


Figura 7.20. Mapa de resultados de daño secundario en los postes de la red de energía eléctrica y telecomunicaciones

7.4 CONSOLIDADO DE RESULTADOS POR UPZ Y LOCALIDAD

7.4.1 Edificaciones

La distribución geográfica de los daños para las unidades administrativas localidad y UPZ a partir del índice de daño promedio es presentada en la **Figura 7.21**, se encuentra que los daños que predominan son moderados a considerables, sin embargo se destaca el sector céntrico compuesto por las localidades de Santa Fe y Candelaria y el sector sur que incluye las localidades de San Cristóbal, Tunjuelito, Antonio Nariño y Rafael Uribe Uribe con daños que van desde considerables a fuertes.

7.4.2 Líneas vitales

7.4.2.1 Redes de tuberías

hh) Red de acueducto: en la **Figura 6.22** se presentan los resultados consolidados (número de roturas) de la ciudad discriminados por UPZ y localidad, y según las características de la red. Para este escenario de amenaza y de acuerdo con la metodología de evaluación, en la red de acueducto se presentarían un total de 1.342 roturas. De este total 50 corresponden a la red primaria y 1.291 a la red secundaria. Las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (215), Engativá (215) y Usaquén (139). Las localidades que presentan el menor número de roturas son SantaFe (19), Antonio Nariño (17) y Candelaria (8).

ii) Red de alcantarillado: en la **Figura 6.23** se presentan los resultados consolidados (número de roturas) de la ciudad discriminados por UPZ y localidad, y según las características de la red. Para este escenario de amenaza y de acuerdo con la metodología de evaluación, en la red de alcantarillado se presentarían un total de 1.878 roturas. De este total 70 corresponden a la red primaria, 513 a la red secundaria y 1295 a la red menor. Las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (374), Engativá (316) y Usaquén (253). Las localidades que presentan el menor número de roturas son Antonio Nariño (25) SantaFe (20) y Candelaria (8).

jj) Red de gas domiciliario: en la **Figura 6.24** se presentan los resultados consolidados (número de roturas) de la ciudad discriminados por UPZ y localidad, y según las características de la red. Para este escenario de amenaza y de acuerdo con la metodología de evaluación, en la red de gas domiciliario se presentarían un total de 80 roturas. De este total 22 corresponden a la red primaria, 56 a la red secundaria y 2 a acometidas. Las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (17), Engativá (10), Usaquén (9) y Fontibón (8). Las localidades que presentan el menor número de roturas son Tunjuelito (1), Mártires (1), Antonio Nariño (1), SantaFe (1) y Candelaria (1).

7.4.2.2 Cableados

kk) Red de energía eléctrica: en la **Figura 6.25** se presentan los resultados consolidados (longitud afectada) de la ciudad discriminados por UPZ y localidad, y según las características de la red. Para este escenario de amenaza y de acuerdo con la metodología de evaluación, la red de energía eléctrica presentaría un total de 26.26 km afectados. De este total 2.75 km corresponden a la red alta tensión, 6.04 a la red de mediana tensión y 16.91 a la red de baja tensión. 18.76 km corresponden a la red aérea y 7.50 a la red canalizada. Las localidades que presentan mayor longitud afectada son Usaquén (3.02), Suba (2.99), Ciudad Bolívar (2.69) y Chapinero (2.50). Las localidades que presentan la menor longitud afectada son Barrios Unidos (0.54), Antonio Nariño (0.53) y Candelaria (0.46).

ll) Red de telecomunicaciones: en la **Figura 6.26** se presentan los resultados consolidados (longitud afectada) de la ciudad discriminados por UPZ y localidad, y según las características de la red. Para este escenario de amenaza y de acuerdo con la metodología de evaluación, la red de telecomunicaciones presentaría un total de 21.91 km afectados. De este total 7.41 km corresponden a la red aérea y 14.50 a la red canalizada. Las localidades que presentan mayor longitud afectada son Chapinero (2.65), San Cristóbal (2.07) y Usaquén (1.87). Las localidades que presentan la menor longitud afectada son y Barrios Unidos (0.54), Candelaria (0.53) y Fontibón (0.50).

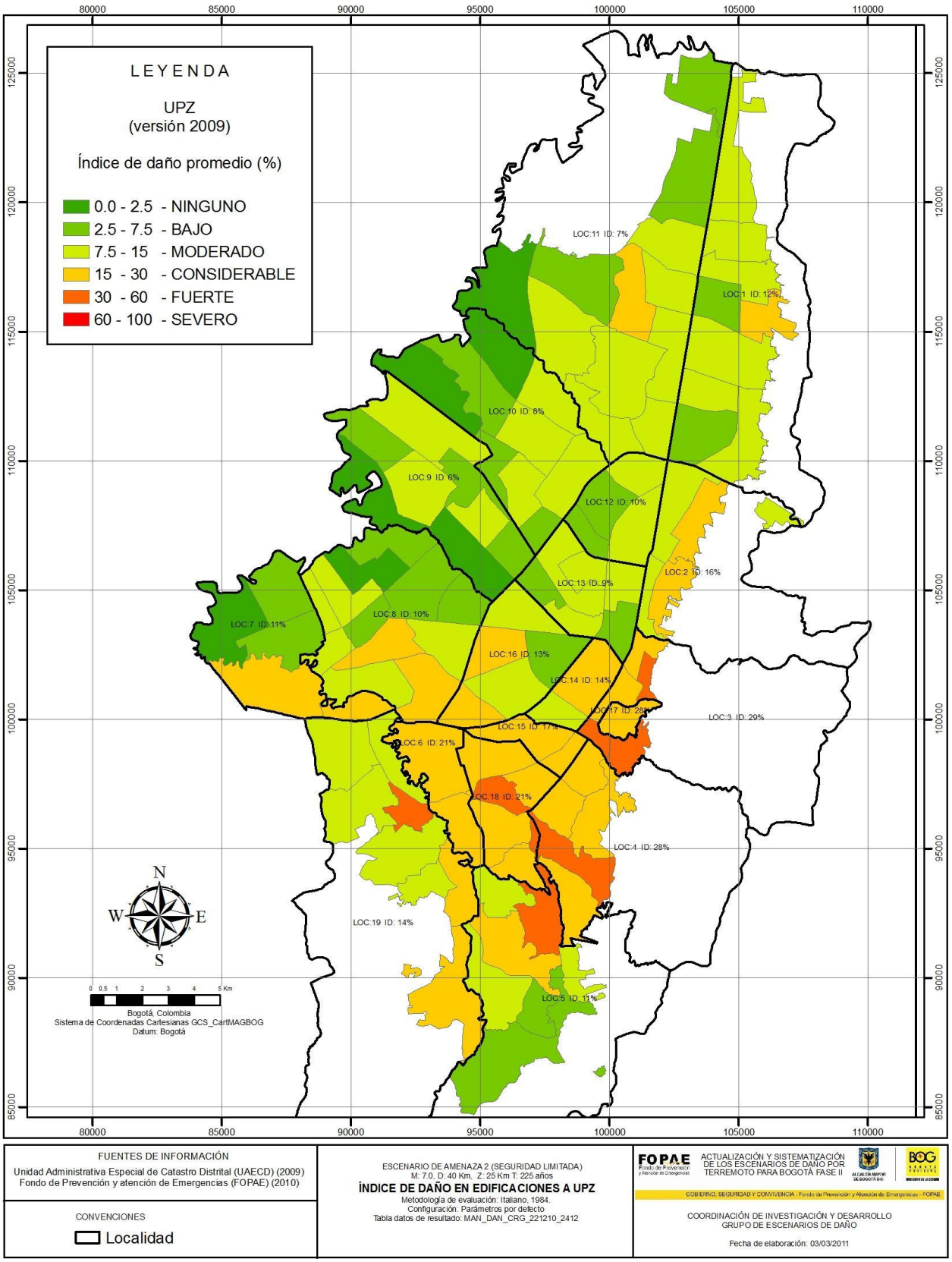


Figura 7.21. Índice de daño secundario promedio a Localidad y UPZ

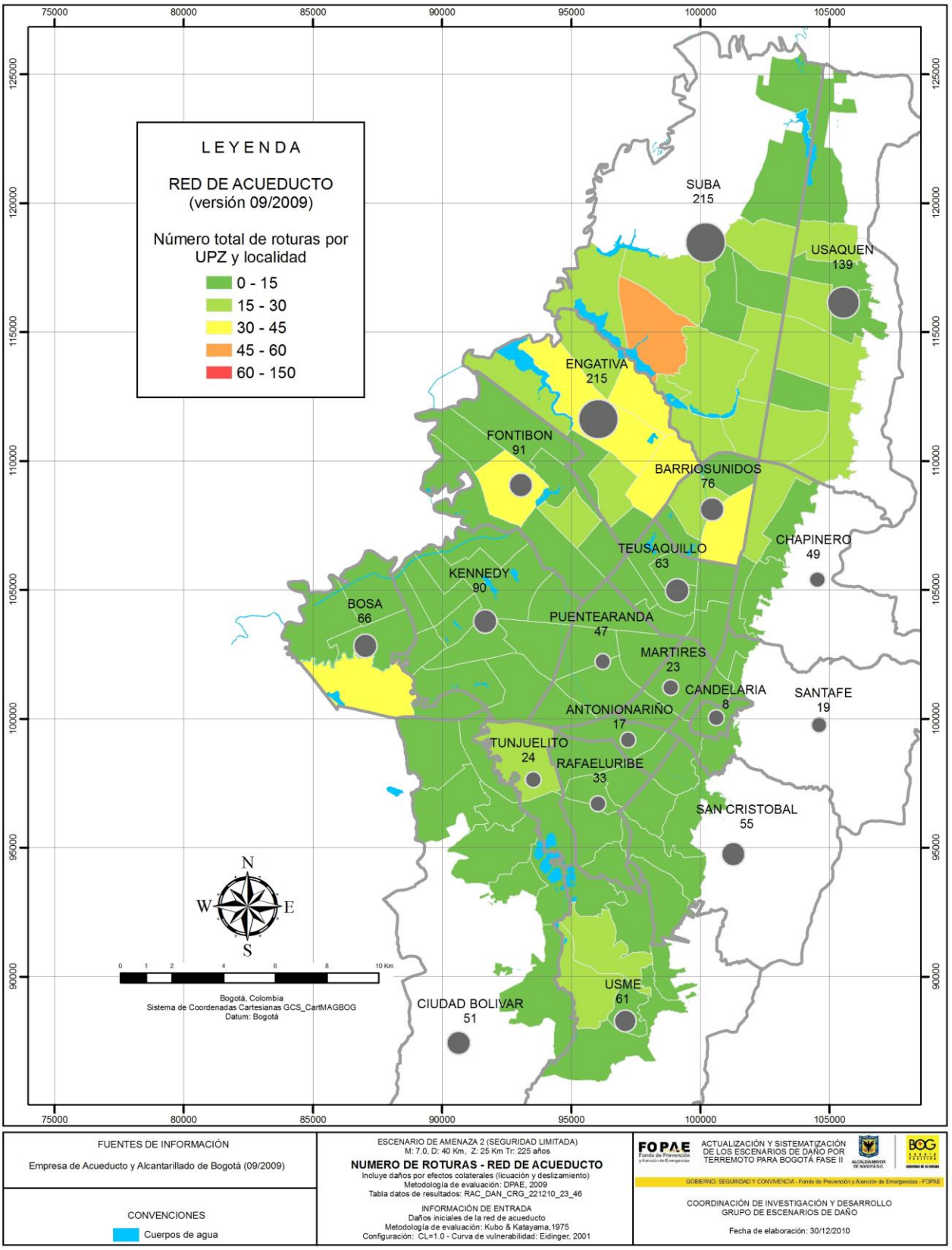


Figura 7.22. Mapa de resultados de daño secundario red de acueducto - Número total de roturas por UPZ y localidad

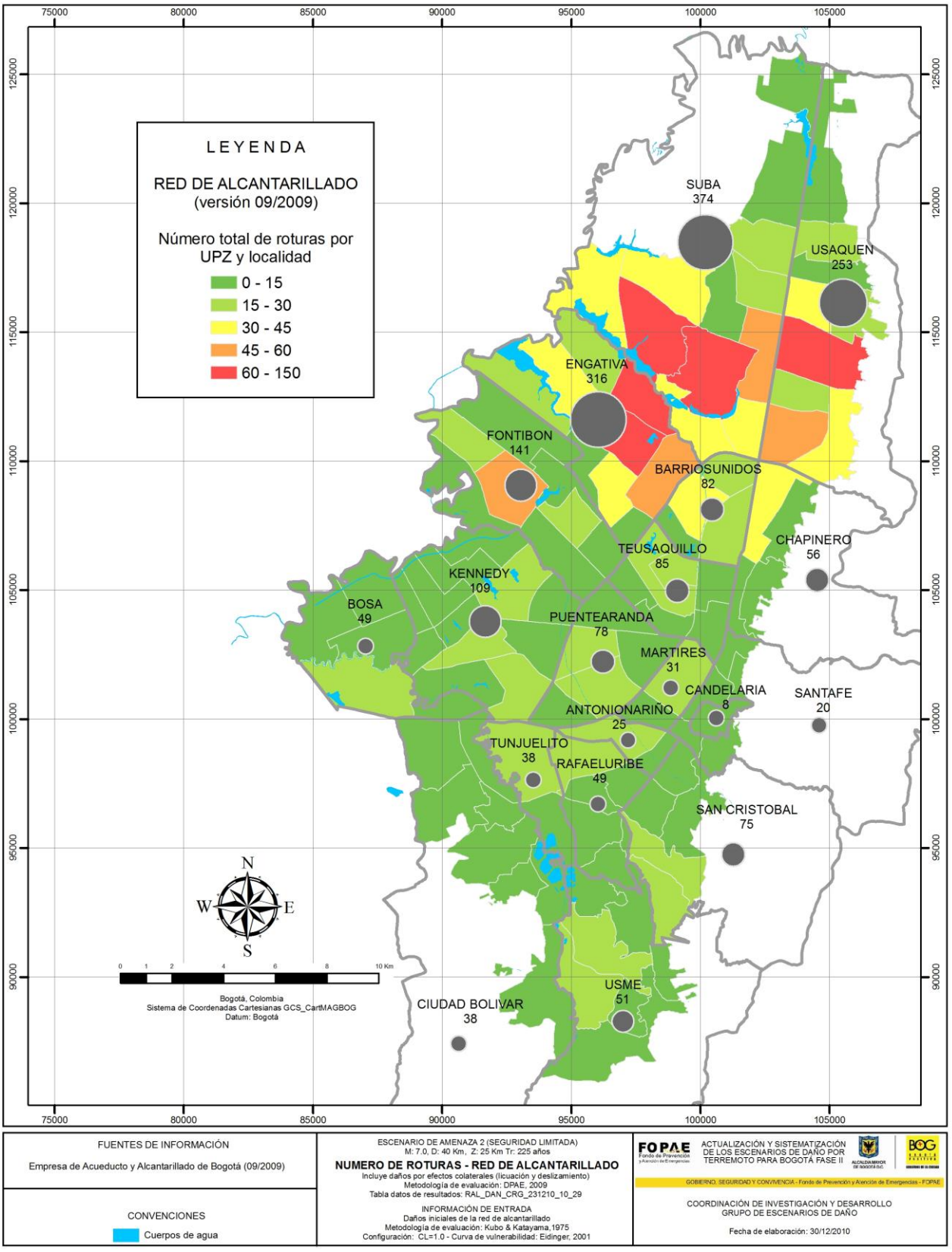


Figura 7.23. Mapa de resultados de daño secundario red de alcantarillado - Número total de roturas por UPZ y localidad

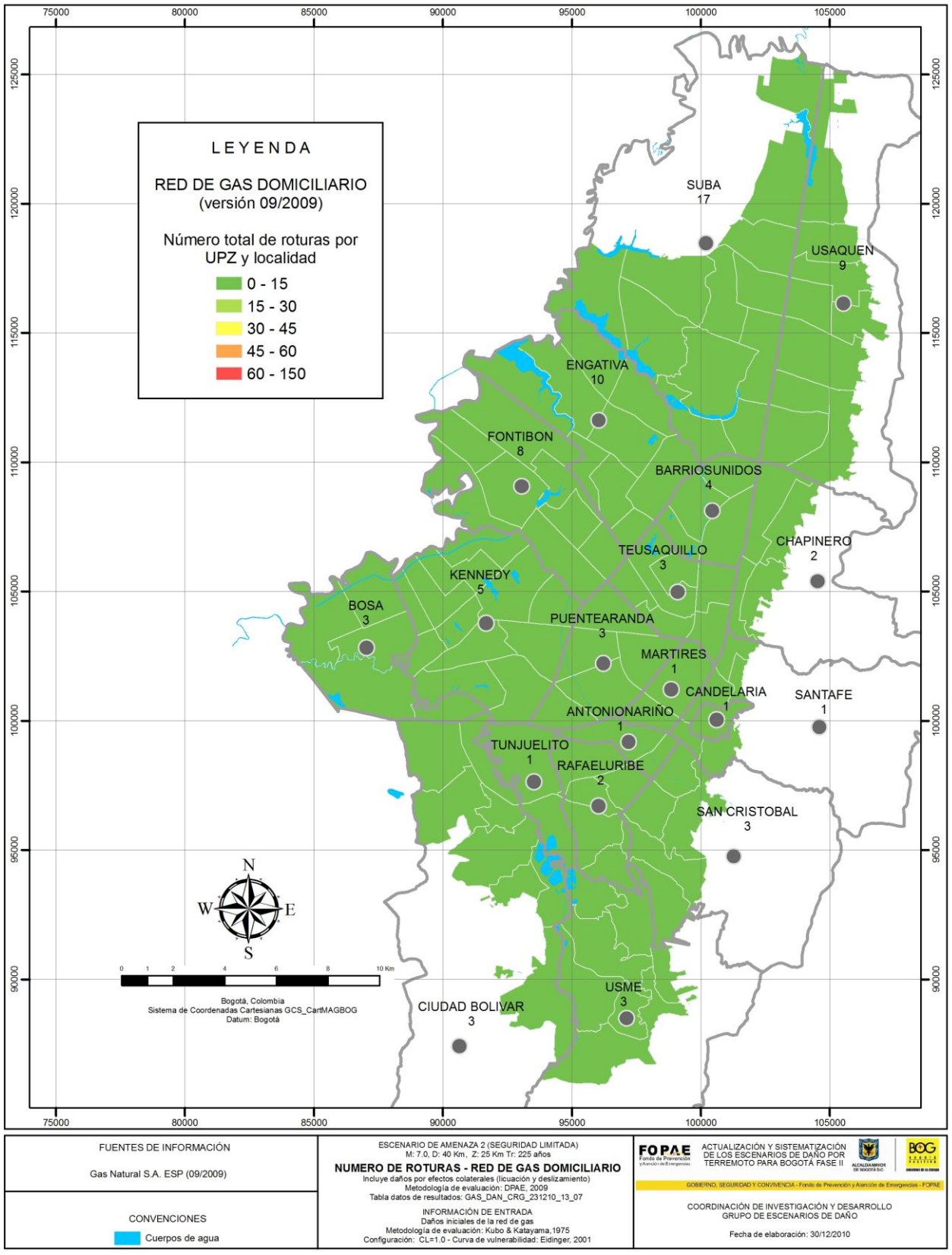


Figura 7.24. Mapa de resultados de daño secundario red de gas - Número total de roturas por UPZ y localidad

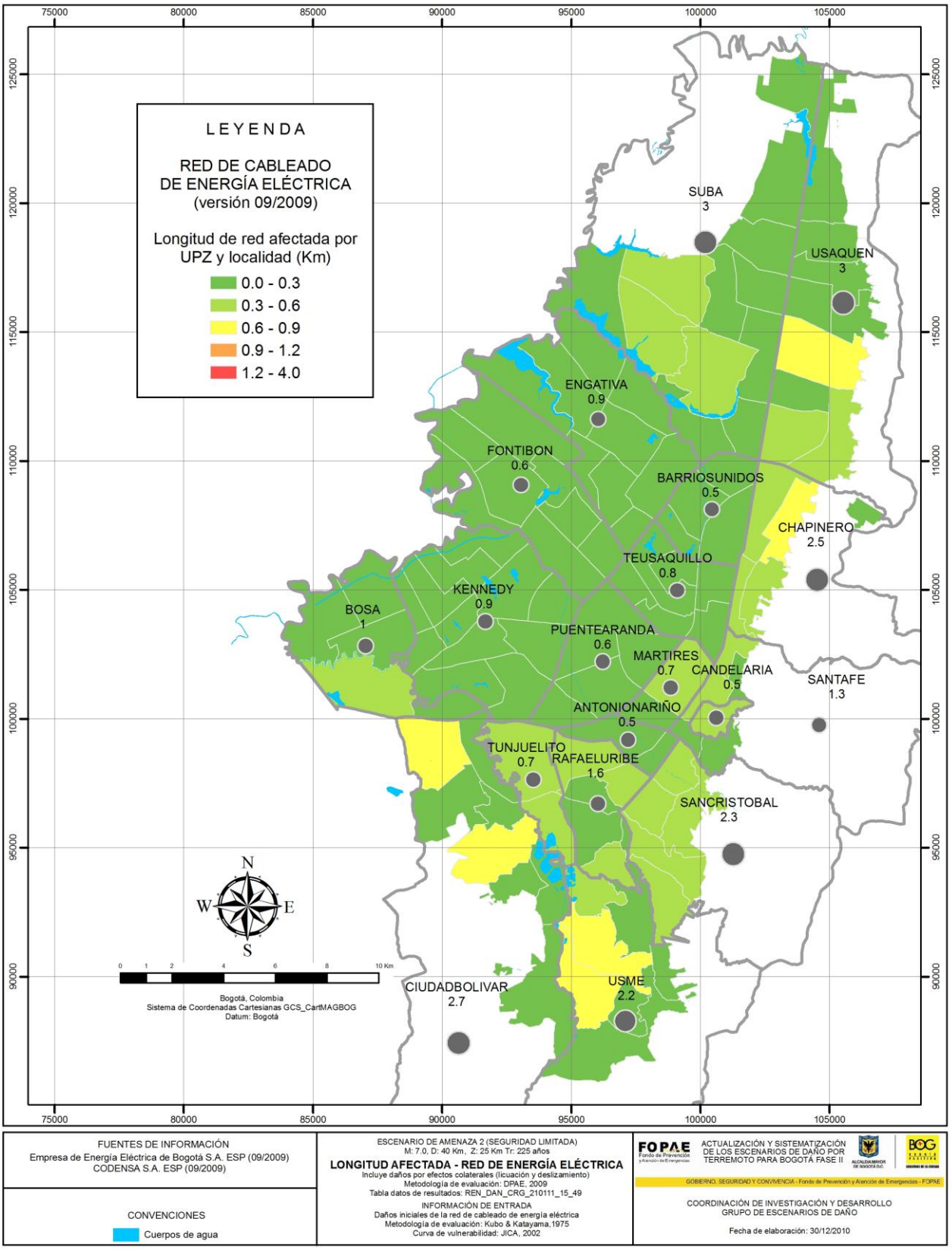


Figura 7.25. Mapa de resultados de daño secundario red de energía eléctrica - Longitud afectada por UPZ y localidad

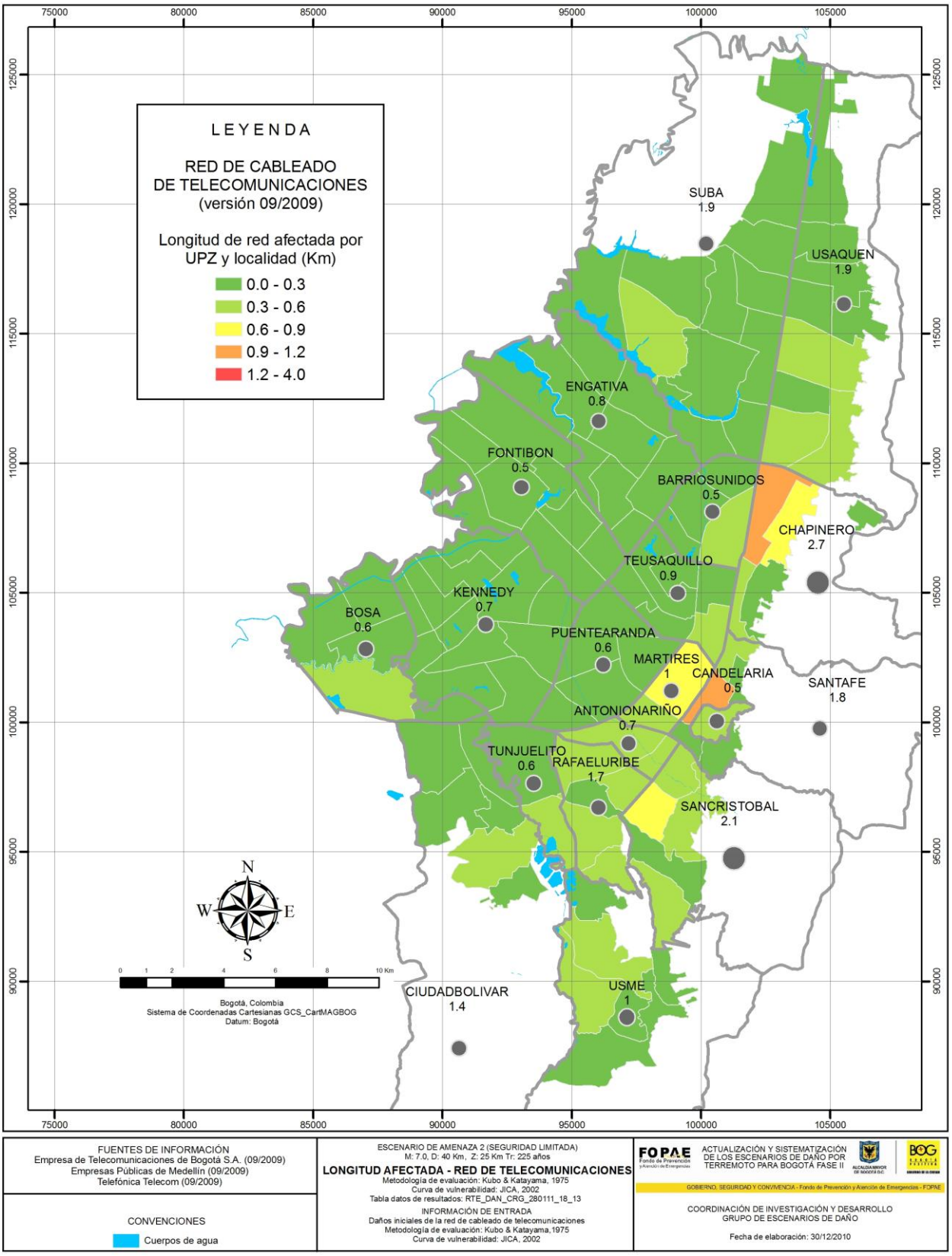


Figura 7.26. Mapa de resultados de daño secundario red de telecomunicaciones - Longitud afectada por UPZ y localidad

7.4.3 Afectaciones y pérdidas

Producto de la evaluación de las afectaciones a la población y pérdidas económicas se encuentra que para este escenario las víctimas fatales en el día varían entre 909 a 10224 y en la noche varían entre 3065 y 3868 esto dependiendo del resultado de daño empleado para la evaluación (Italiano o Miranda) y sin tener en cuenta los efectos colaterales, los valores acumulados para toda la ciudad en lo relacionados a heridos se presentan en el anexo 3. Observando espacialmente los resultados se tiene que para el método italiano las mayores afectaciones a la población en el día se dan en las localidades de Usaquén, Santa fe, San Cristóbal, Tunjuelito, de noche se encuentra que las localidades más afectadas serian, Usaquén, santa fe, San Cristóbal, Usme, Tunjuelito, Bosa, Rafael Uribe Uribe Y Bosa. Para el método Miranda las mayores afectaciones a la población en el día se dan en las localidades de Usaquén, Chapinero, Santa fe, Fontibón y suba, para las horas de la noche se mantiene la misma tendencia (ver **Figura 7.28**, **Figura 7.29**, **Figura 7.30** y **Figura 7.31**).

En relación con las pérdidas económicas se encuentra que varían de manera general para toda la ciudad entre 8.0 y 29.6 billones de pesos aproximadamente según el modelo empleado para la evaluación del daño (ver anexo 3). Espacialmente los mayores valores de pérdidas económicas se concentran en las localidades de Usaquén, Chapinero, Santa Fe, Fontibón, Suba y Teusaquillo (ver **Figura 7.27**) dado que estas localidades se concentran los principales centros económicos, financieros y de comercio de la ciudad como también las estratificación socioeconómica para estas localidades está compuesta preferentemente por estratos 3 o superior situación que se traduce en avalúos catastrales mayores y por consiguiente mayores pérdidas.

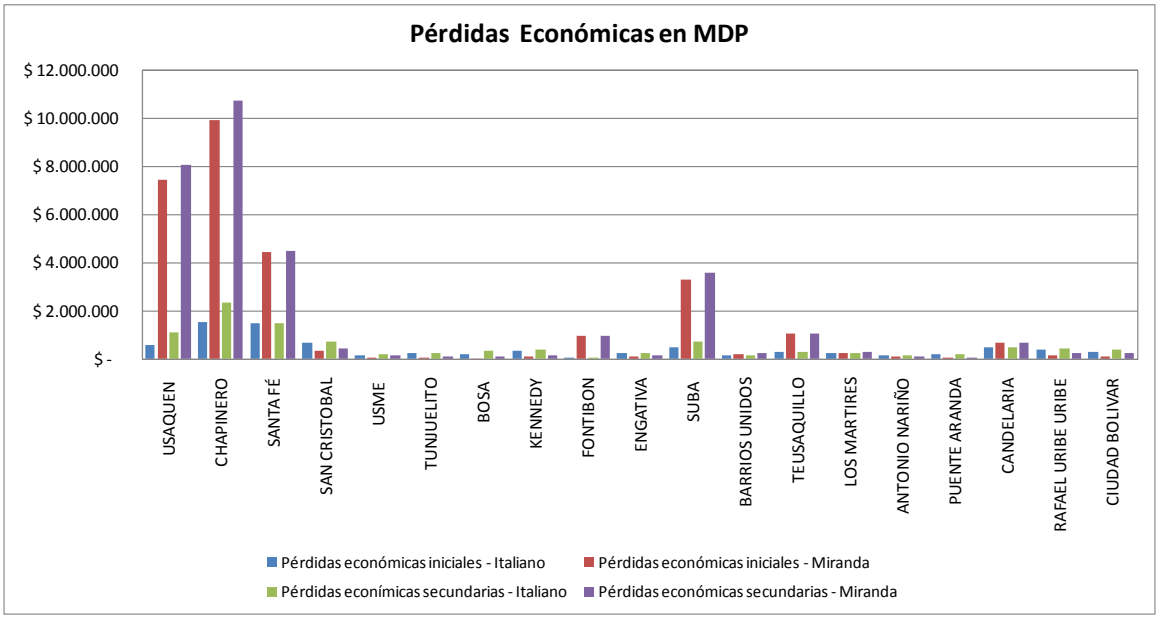


Figura 7.27. Pérdidas económicas en MDP

Con el propósito de visualizar el incremento en las afectaciones y pérdidas en el panorama de día y noche se presenta en la **Figura 7.28** el consolidado de las víctimas fatales desagregados por localidad, tanto para los ocasionados por los daños iníciales en edificaciones como también aquellos provocados por los daños secundarios. De lo anterior se observa una gran sensibilidad de las afectaciones a la población al incremento en el daño, ya que en promedio para la ciudad el aumento índice de daño es de tan solo el 1.3%, lo cual provoca que el valor de víctimas fatales calculado para el método italiano en el día pase de 909 a 10.722, tendencia que en la noche se mantiene pasando de 3.064 a 20.908 víctimas. De la misma forma se tiene a partir del resultado de daño calculado con del método Miranda para un incremento promedio del 1.4%, se espera para horas del día que las víctimas fatales pasen de 5.348 a 12.984 y en horas de la noche pasen de 3.855 a 8.624. En lo relacionado con las pérdidas económicas se encuentra que este valor es más moderado y acorde con el incremento en el daño, pasando en el método italiano de 8.0 a 10.1 billones de pesos que corresponde a un incremento del 26.5%, para el método Miranda se tiene que las pérdidas económicas que aumentan de 29.6 a 31.8 billones lo que denota un incremento del 7.3%.

Siguiendo la misma tendencia que los daños secundarios, las afectaciones a la población calculadas a partir del resultado de daño por el método Italiano, se concentran para horas del día en el oriente y sur de la capital, específicamente en las localidades de Chapinero, Santa fe, Candelaria, los mártires, San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe, Tunjuelito, Usme, Ciudad Bolívar y Bosa. Se destaca de Chapinero la UPZ 99-Chapinero y de Bosa la UPZ 85-Bosa central. En la noche las zonas residenciales del sur muestran a las localidades de San Cristóbal, Ciudad Bolívar, Rafael Uribe, Usme, Tunjuelito, y Bosa con mayores afectaciones, recalcando en la localidad de San Cristóbal la UPZ 50-La Gloria, UPZ 32-San Blas y UPZ 34-20 de Julio, de Rafael Uribe la UPZ 53-Marco Fidel Suárez, de Usme la UPZ 57-Gran Yomasa, de Ciudad Bolívar la UPZ 67-Lucero y UPZ 66-San Francisco y de la localidad de Bosa la UPZ 85-Bosa central (ver **Figura 7.30** y **Figura 7.31**)

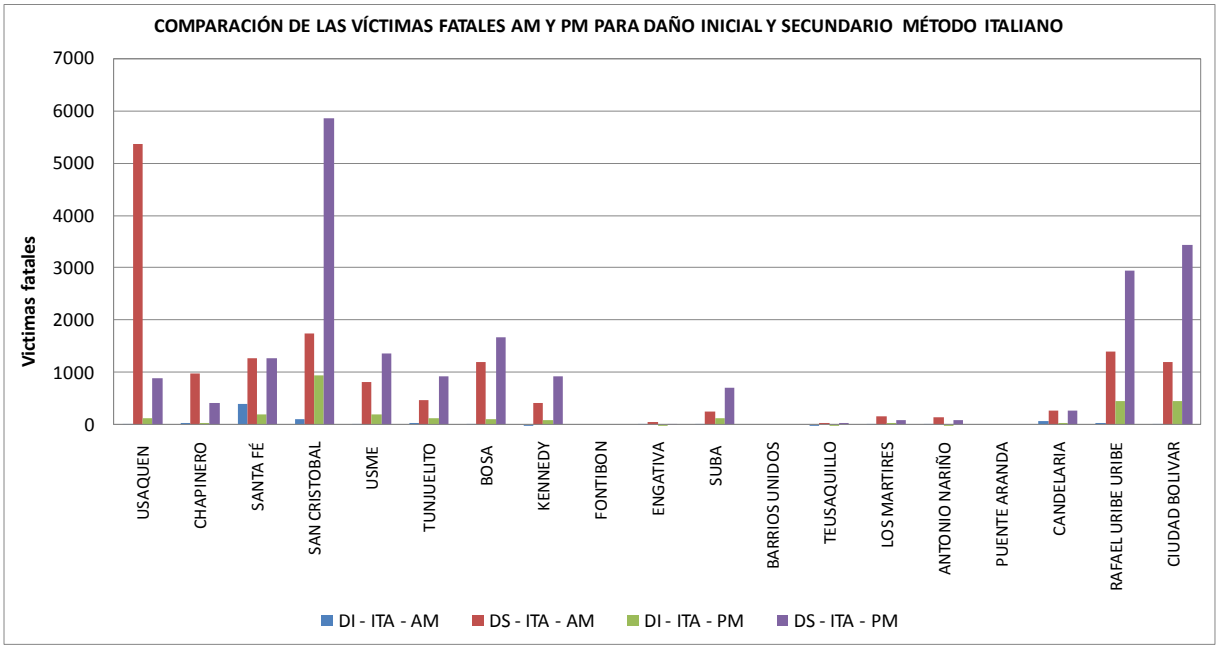


Figura 7.28. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Italiano

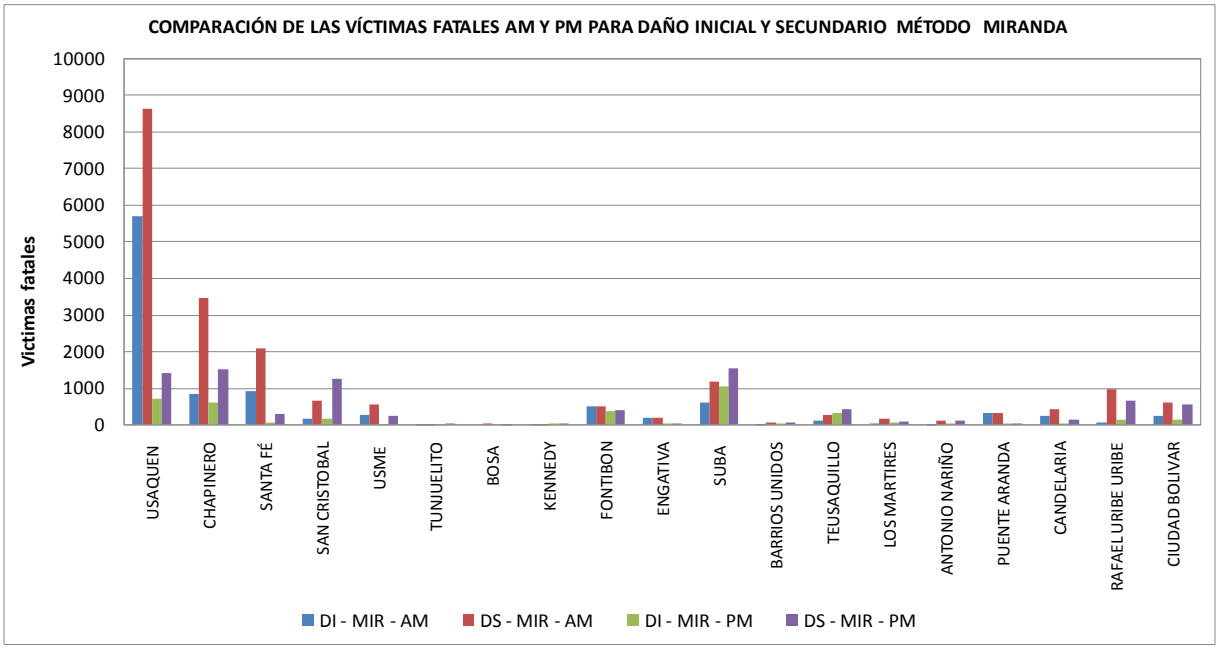


Figura 7.29. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Miranda

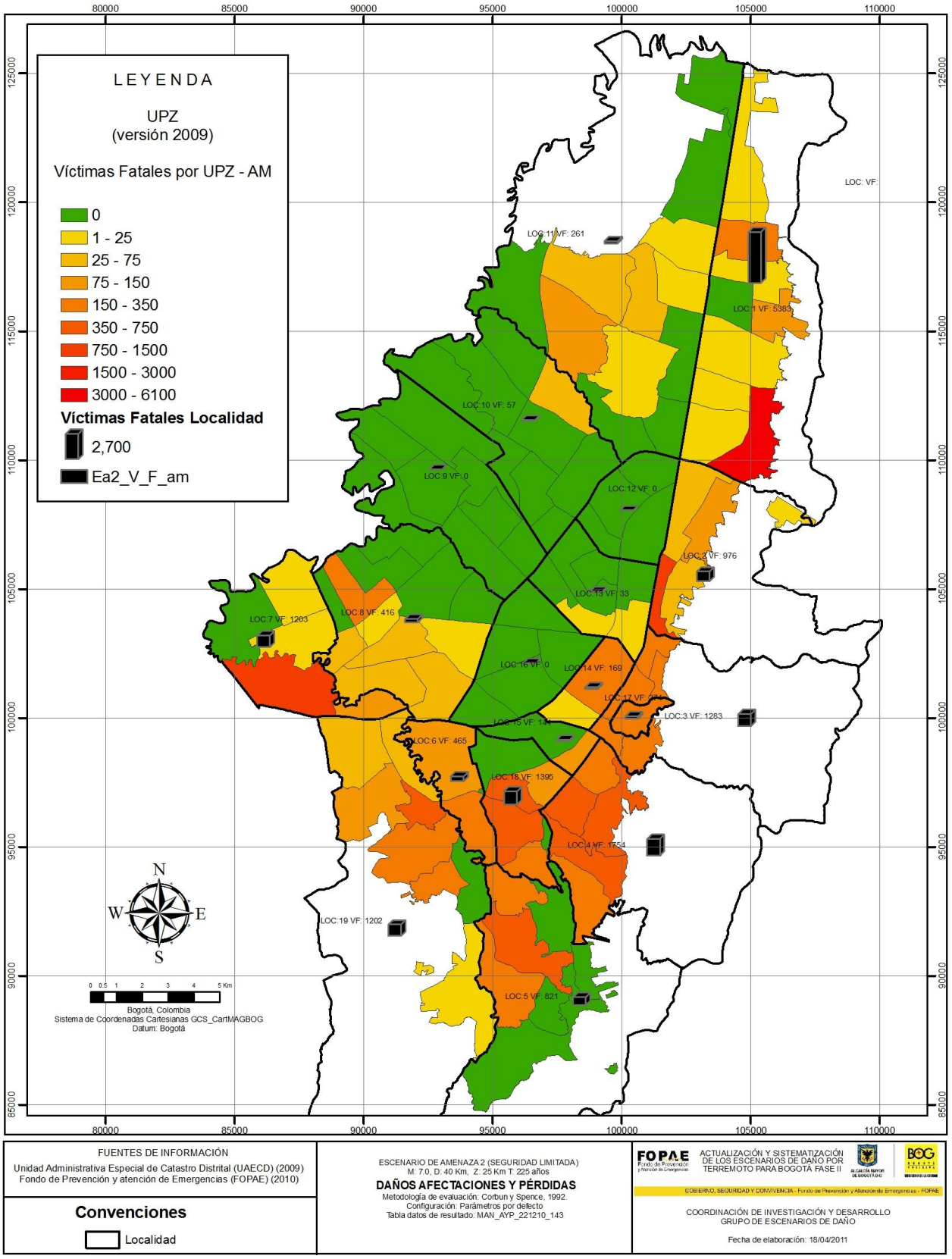


Figura 7.30. Víctimas fatales en el día

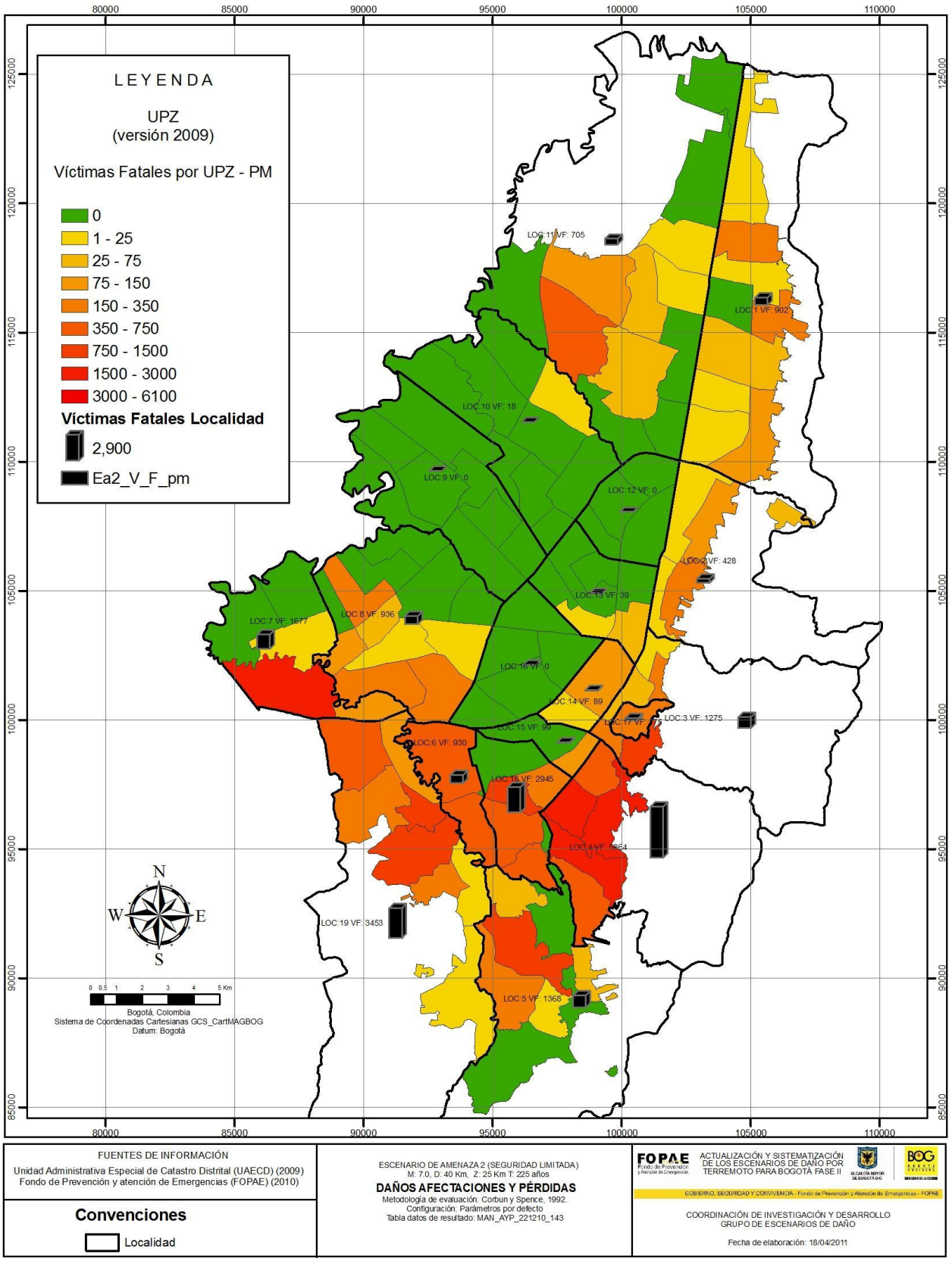


Figura 7.31. Víctimas fatales en la noche

CAPÍTULO 8

8 ESCENARIO M7.3 A 35KM DISEÑO

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

8.1 EFECTOS REGIONALES

El escenario de Diseño presenta intensidades entre VI, VII y VIII. Estas intensidades corresponden a PGA entre 0.092 g y 0.65 g sin incluir efectos de sitio. La **Figura 8.1** muestra la ubicación de cada una de estas zonas de intensidad sin embargo se puede concluir que tanto la zona VII como la zona VIII se encuentran en el suroccidente de la zona de análisis. Al igual que en el escenario anterior, es probable que los mayores daños se presentaran en estas dos zonas.

En la malla vía municipal, los mayores daños se encontrarán en la vía a Villavicencio, la cual se encuentra ubicada en las tres diferentes intensidades. Los daños más probables en la vía son caída de rocas, deslizamientos y flujos de tierra. En cuanto a los puentes ubicados en esta vía, es posible encontrar fisuramientos en la estructura y daños en la cimentación y en los túneles se pueden presentar daños tales como fisuramientos, daños en el portal de entrada y salida y filtraciones de agua. En el caso de la red Ferrea, ninguno de ambos trazados tendrá daños considerables, sin embargo es posible esperar deslizamientos y caída de rocas.

Para el caso de la red de suministro de agua, el sistema más vulnerable es el sistema Weisner ya que parte de sus instalaciones se encuentra en la zona de intensidad VIII y donde cada uno de sus subelementos podría verse afectado. En los túneles se pueden presentar fisuramientos y descascaramientos que eventualmente pueden generar represamientos dentro de los mismos, las plantas de tratamiento y bombeo pueden presentar daños en sus estructuras, las líneas de transmisión pueden presentar desplazamientos diferenciales, las presas pueden presentar fisuramientos y los tanques elevados pueden estar sometidos a grandes esfuerzos que ocasionen daños en las estructuras. Una parte de la red de suministro de electricidad y gas natural se encuentran sobre la zona de intensidad VIII y en esta zona se presentaran daños tales como desplazamientos diferenciales de las líneas de transmisión, colapso parcial o total de la torres de transmisión y daños serios en la estructuras de las subestaciones, estaciones y citigates.

Al igual que en el escenario de Seguridad Limitada los elementos con mayor vulnerabilidad son aquellos que se encuentran al suroccidente del distrito capital ya que en esta zona se presentan las fuentes sismogénicas de amenaza probable para el distrito capital. Los elementos más comprometidos para este escenario son la vía a Villavicencio, el sistema de suministro de agua Weisner y la parte de las redes de suministro de electricidad y gas natural que se encuentran en la zona de intensidad VIII.

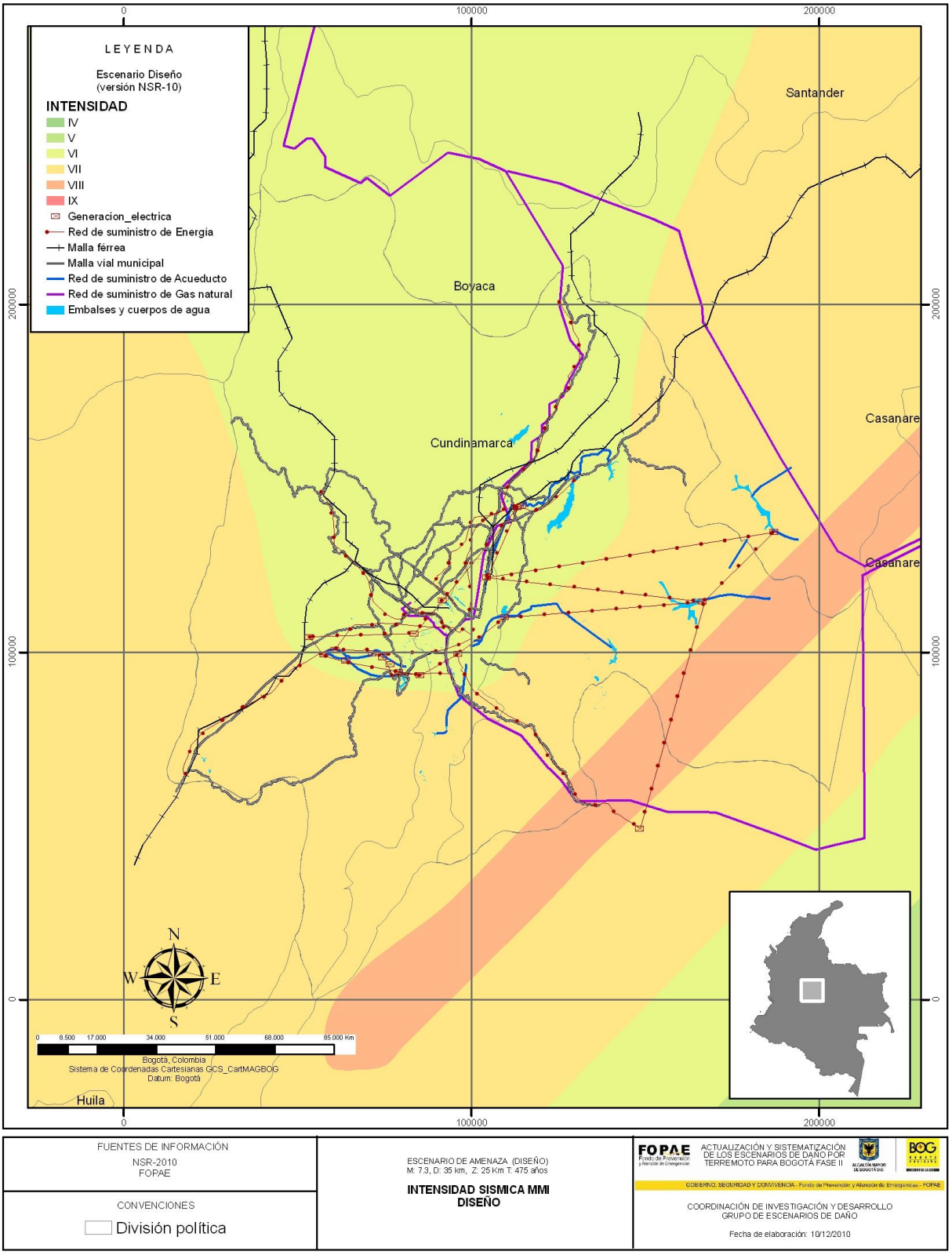


Figura 8.1. Intensidad sísmica para el escenario de Diseño

8.2 DAÑOS INICIALES

De acuerdo con la metodología general de evaluación, dentro del proceso de evaluación de daños para análisis del riesgo sísmico se considera una primera etapa de evaluación de los daños iniciales (causados directamente por el movimiento sísmico). Se presentan a continuación los resultados de evaluación de los daños iniciales en edificaciones y líneas vitales (en aquellos elementos para los que la metodología así lo considera. Ver **Figura 8.2**) correspondientes al escenario de amenaza de "Diseño sismorresistente".

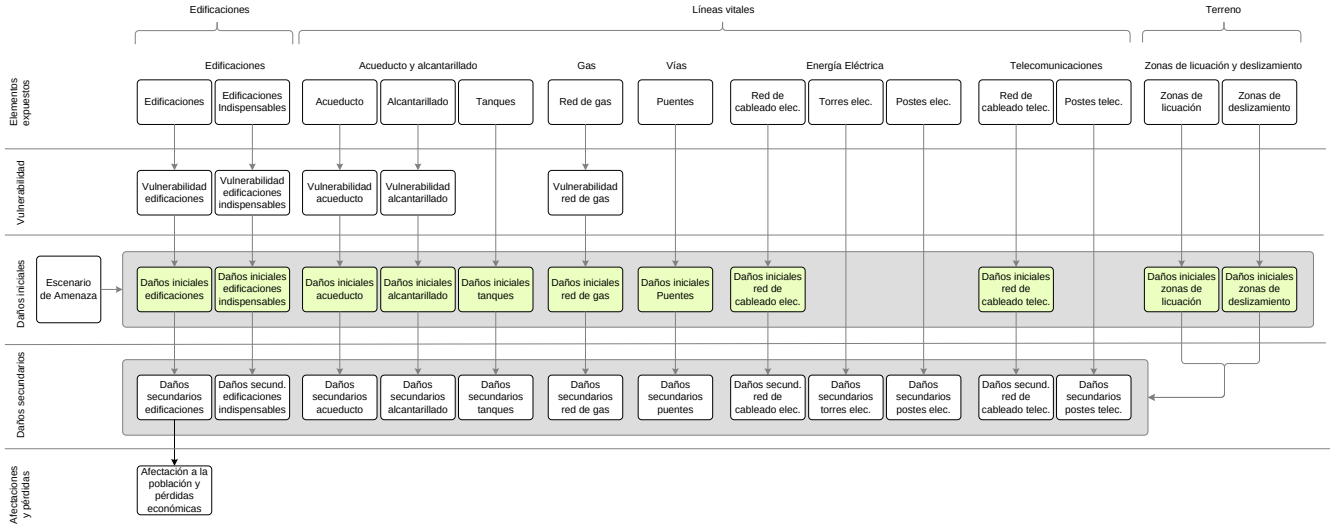


Figura 8.2. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños iniciales en edificaciones y líneas vitales)

8.2.1 Edificaciones

8.2.1.1 Edificaciones Normales

La evaluación de los daños en edificaciones normales en la ciudad de Bogotá se efectuó a partir de las metodologías Italiano y Miranda las cuales usaron las curvas de vulnerabilidad propuestas por DPAE, 2009 y ANDES, 2005, respectivamente. Se observa inicialmente que para el método italiano el índice de daño promedio a nivel de manzanas es de 13.44%, mientras que para el método Miranda alcanza un valor de 10.22%, observando la distribución de los daños a nivel espacial se encuentra que para el método italiano los daños se concentran especialmente entre el noroccidente, el sur y suroriente de la capital (ver Anexo 4). El método Miranda concentra los daños hacia las zonas de piedemonte de los cerros orientales y en el nororiente de la capital.

Los valores promedio del índice de daño obtenidos a nivel localidad para ambos métodos muestran que localidades como Usaquén, Chapinero, Santa Fe, San Cristóbal, Tunjuelito, Los Mártires, Antonio Nariño, Candelaria y Rafael Uribe Uribe presentan respecto a su promedio daños considerables a fuertes, con valores del índice de daño entre el 15% y el 33%, el resto de localidades presentan daños moderados (ver **Figura 8.3**). La distribución de los datos vista a partir del histograma presenta una distribución sesgada a la izquierda con un pico inicial entre 0% y 5% de daño, con lo cual se esperarían para este escenario daños entre moderados, bajos o nulos para el 58.2% de las edificaciones y daño considerables, fuertes y severos para el 31.5% de las edificaciones, para el método Italiano; mientras que para el método Miranda se esperan daños entre moderados, bajos o nulos para el 72.2% de las edificaciones y daño considerables, fuertes y severos para el 17.5 % de las edificaciones.

Adicionalmente, se observa que las localidades con más dispersión en los resultados de daño son Santa fe, San Cristóbal, Candelaria, Rafael Uribe y Ciudad Bolívar (ver Anexo 4), situación que se evidencia en una gran heterogeneidad frente a las edificaciones que componen cada una de estas localidades lo que se traduce en un amplio espectro de resultados de daño y de otro lado esta dispersión es consistente con el resultado de vulnerabilidad que intervienen directamente en los resultados de la estimación del daño en el método Italiano.

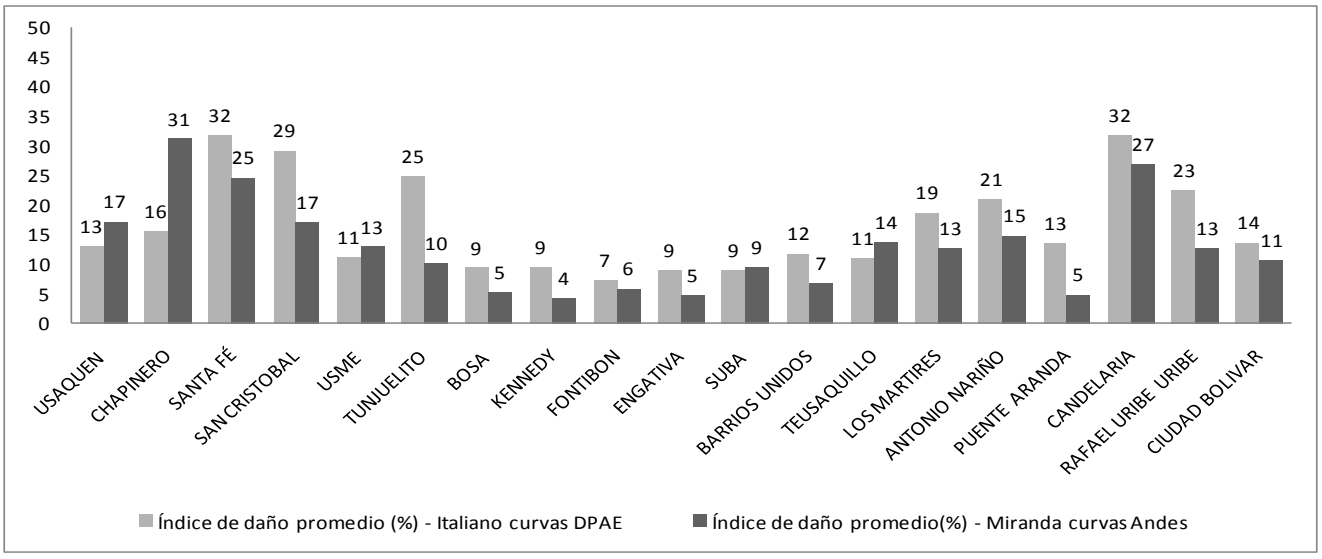


Figura 8.3. Índice de daño promedio por localidades para los métodos italiano y Miranda.

De otro lado se pueden visualizar los daños para este escenario desde la perspectiva del uso de las edificaciones, para lo cual se tiene que las viviendas en usos informales construidas en lotes con uso no autorizado para la construcción presentan daños considerables; situación que se repite para las edificaciones de usos recreacional o deportivo, para el resto de usos incluyendo el residencial se esperan daños que varían entre moderados a bajos (ver **Figura 8.4**).

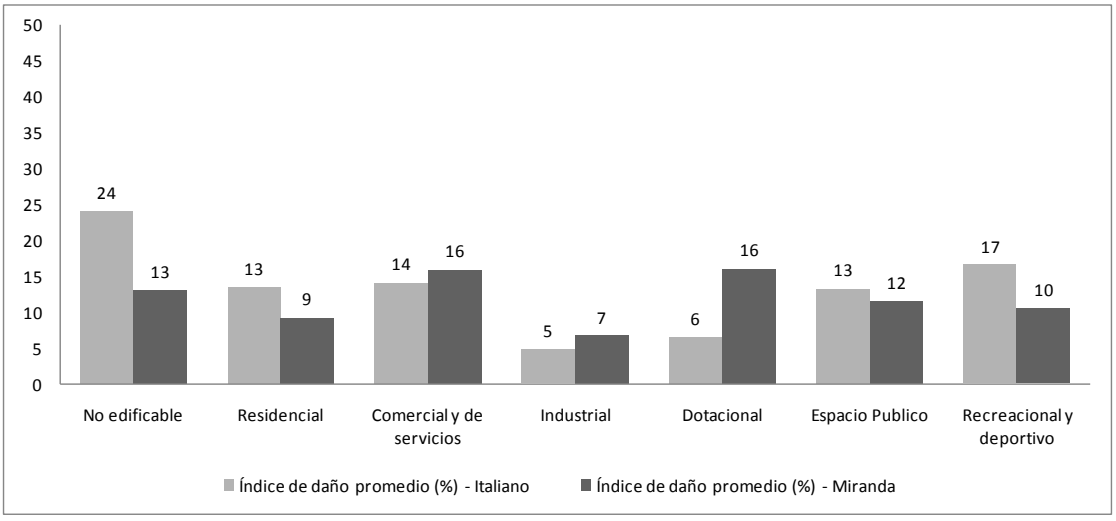


Figura 8.4. Índice de daño en edificaciones de acuerdo a su uso

En el Anexo 4 se encuentran todos los resultados mapas y estadísticas obtenidas.

8.2.1.2 Edificaciones indispensables

El panorama de los potenciales daños en edificaciones indispensables y de atención a la comunidad a las cuales se les ha prestado especial cuidado de teniendo en cuenta su importancia frente a un evento de gran magnitud y a las definiciones expuestas en los códigos de construcciones sismoresistentes NSR-98 y NSR-10, el tratamiento espacial dado a estas construcciones fue la estimación del índice de daño a partir de información primaria de las edificaciones obtenida gracias a la colaboración de las diferentes entidades participantes.

Inicialmente de acuerdo a los valores promedio para los daños iníciales y secundarios deben esperarse daños moderados en este pequeño grupo de edificaciones evaluado, lo cual es consistente para los dos modelos empleados para la evaluación del daño.

ENTIDAD	NÚMERO EDIFICACIONES	ITALIANO - INICIAL				MIRANDA - INICIAL			
		ID PROM	ID MÍN	ID MÁX	ID DESVEST	ID PROM	ID MÍN	ID MÁX	ID DESVEST
Dirección de Gestión del Riesgo para la Prevención y Atención de Desastres	1	0,0	0,0	0,0	-	1,3	1,3	1,3	-
Cuerpo Oficial de Bomceros de Bogotá	18	2,4	0,0	19,4	4,8	2,4	0,4	5,3	1,6
Secretaria de Salud	42	12,2	0,0	100,2	22,3	8,1	0,5	31,1	6,1
Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá	5	5,8	0,0	17,9	8,3	1,0	0,3	1,6	0,6
Policia Nacional	45	7,1	0,0	58,0	10,5	7,1	0,1	26,6	5,5
Empresa de Energía de Bogotá S.A. ESP.	1	0,0	0,0	0,0	-	11,9	11,9	11,9	-
Secretaria de Gobierno	45	10,5	0,0	53,0	12,8	17,7	0,4	84,9	23,9
Terminal de Transporte	2	9,6	0,0	19,1	13,5	3,3	2,9	3,8	0,7
Ejercito Nacional	7	1,0	0,0	3,8	1,3	11,2	2,5	21,2	7,6
ETB	29	1,3	0,0	19,5	3,7	4,9	0,5	14,2	3,7
Cruz Roja Colombiana	1	0,3	0,3	0,3	-	5,6	5,6	5,6	-
Defensa civil	2	2,0	1,5	2,6	0,8	3,1	1,6	4,6	2,1
Oficina de Prevención y Atención de Desastres - Gobernación de Cundinamarca	1	0,9	0,9	0,9	-	2,0	2,0	2,0	-
CODENSA	1	0,4	0,4	0,4	-	3,1	3,1	3,1	-
Total general	200	7,3	0,0	100,2	13,7	8,8	0,1	84,9	13,1

Tabla 8.1. Consolidado de daño inicial

8.2.2 Líneas vitales Tuberías

La metodología de evaluación de los daños iniciales de las redes de tubería (Kubo & Katayama, 1975) se empleó considerando 4 configuraciones según se indica en la Tabla 8.2.

Configuración	Curva de vulnerabilidad	Configuración método evaluación vulnerabilidad
1	JICA, 2002	Por defecto
2	JICA, 2002	No considera efecto de licuación
3	Eidinger,2001	Por defecto
4	Eidinger,2001	No considera efecto de licuación

Tabla 8.2. Configuraciones empleadas para la evaluación de daños iniciales en las redes de tubería

En el Anexo 4 se presentan los resultados detallados para cada una de las tipologías de red de tubería (acueducto, alcantarillado y gas domiciliario).

8.2.2.1 Red de acueducto

mm) Configuración 1 - Curva de vulnerabilidad JICA,2002 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0 y 0.31 con una media de 0.04 roturas por kilómetro. La red secundaria presenta un rango de tasas de rotura mayor a los de la red primaria.

nn) Configuración 2 - Curva de vulnerabilidad JICA,2002 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno, la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0 y 0.26 con una media de 0.04 roturas por kilómetro (resultados que son inferiores a los obtenidos con la configuración 1). Las redes primaria y secundaria presentan tasas de rotura similares.

oo) Configuración 3 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0 y 1.19 con una media de 0.21 roturas por kilómetro. La red secundaria presenta un rango de tasas de rotura mayor a los de la red primaria.

pp) Configuración 4 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno, la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0 y 0.69 y una media de 0.19 roturas por kilómetro. La red secundaria presenta un rango de tasas de rotura mayor a los de la red primaria.

8.2.2.2 Red de alcantarillado

qq) Configuración 1 - Curva de vulnerabilidad JICA,2002 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de alcantarillado presenta valores entre 0 y 0.36 con una media de 0.05 roturas por kilómetro.

La red menor presenta las tasas de roturas más altas, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red, la red de alcantarillado combinado y la red de alcantarillado sanitario presentan las tasas de rotura más altas y la red pluvial presenta las tasas de rotura más bajas.

rr) Configuración 2 - Curva de vulnerabilidad JICA,2002 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno, la tasa de roturas de la red de alcantarillado presenta valores entre 0 y 0.32 con una media de 0.05 roturas por kilómetro.

La red menor presenta las tasas de roturas más altas, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red, la red de alcantarillado combinado y la red de alcantarillado sanitario presentan las tasas de rotura más altas y la red pluvial presenta las tasas de rotura más bajas.

ss) Configuración 3 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de alcantarillado presenta valores entre 0.01 y 1.49 con una media de 0.29 roturas por kilómetro.

La red menor presenta las tasas de roturas más altas, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red, la red de alcantarillado sanitario y la red de alcantarillado combinado presentan las tasas de rotura más altas y la red pluvial presenta las tasas de rotura más bajas.

tt) Configuración 4 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno, la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0.01 y 0.86 y una media de 0.26 roturas por kilómetro.

La red menor presenta las tasas de roturas más altas, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red, la red de alcantarillado sanitario y la red de alcantarillado combinado presentan las tasas de rotura más altas y la red pluvial presenta las tasas de rotura más bajas.

8.2.2.3 Red de gas domiciliario

uu) Configuración 1 - Curva de vulnerabilidad JICA,2002 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de gas presenta valores entre 0 y 0.09 con una media de 0.01 roturas por kilómetro. La red primaria presenta las mayores tasas de rotura, seguida por la red secundaria y las acometidas, las cuales presentan tasas similares.

vv) Configuración 2 - Curva de vulnerabilidad JICA,2002 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno, la tasa de roturas de la red de gas domiciliario presenta valores entre 0 y 0.08 con una media de 0.01 roturas por kilómetro (resultados que son inferiores a los obtenidos con la configuración 1). La red primaria presenta las mayores tasas de rotura, seguida por la red secundaria y las acometidas, las cuales presentan tasas similares.

ww) Configuración 3 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de gas presenta valores entre 0.01 y 0.34 con una media de 0.05 roturas por kilómetro. La red primaria presenta las mayores tasas de rotura, seguida por la red secundaria y las acometidas, las cuales presentan tasas similares.

xx) Configuración 4 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno, la tasa de roturas de la red de gas domiciliario presenta valores entre 0.01 y 0.21 con una media de 0.04 roturas por kilómetro. La red primaria presenta las mayores tasas de rotura, seguida por la red secundaria y las acometidas, las cuales presentan tasas similares.

8.2.2.4 Síntesis

De acuerdo con la metodología de evaluación, las tasas de rotura obtenidas mediante las curvas de vulnerabilidad de Eidinger 2001 son en todos los casos mayores a las obtenidas mediante las curvas de vulnerabilidad de JICA 2002 (independientemente de la red evaluada y de la configuración usada durante la evaluación de la vulnerabilidad sísmica).

Igualmente, las tasas de rotura obtenidas a partir de los resultados de vulnerabilidad evaluados con la configuración por defecto son mayores a los obtenidos omitiendo el efecto de licuación del terreno.

De las tres tipologías consideradas en la evaluación, las redes de acueducto y alcantarillado presentan las tasas de roturas más altas y un comportamiento más heterogéneo. La red de gas domiciliario presenta las tasas de roturas más bajas y un comportamiento más homogéneo. Lo anterior se cumple para las 4 configuraciones empleadas.

Para el caso de la red de acueducto, la red secundaria presenta un rango de tasas de daño mayor a los de la red primaria. Lo anterior se cumple para las 4 configuraciones empleadas.

En el caso de la red de alcantarillado, la tasa de rotura es mayor en la red menor, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red, la red de alcantarillado combinado y la red de alcantarillado sanitario presentan las tasas de rotura más altas y la red pluvial presenta las tasas de rotura más bajas. Lo anterior se cumple para las 4 configuraciones empleadas.

En el caso de la red de gas domiciliario, la tasa de rotura es mayor en la red primaria, seguida por la red secundaria y las acometidas, las cuales presentan valores similares. Lo anterior se cumple para las 4 configuraciones empleadas.

8.2.3 Líneas vitales Cableado

La metodología de evaluación de los daños iniciales de las redes de cableado (Kubo & Katayama, 1975) se empleó usando la configuración por defecto y la curva de vulnerabilidad de JICA (2002).

En el Anexo 4 se presentan los resultados detallados para cada una de las tipologías de red de cableado (red de energía eléctrica y red de telecomunicaciones).

8.2.3.1 Red de energía eléctrica

Usando la configuración predeterminada del método de evaluación, el porcentaje de daño de la red de energía eléctrica presenta valores entre 0.0017% y 0.0302% con una media de 0.009%. Respecto a la categoría de la red, no existen diferencias significativas entre los porcentajes de daño de las redes de alta, media y baja tensión. En cuanto al tipo de red, la red aérea presenta porcentajes de daño mayores a los de la red canalizada.

8.2.3.2 Red de telecomunicaciones

Usando la configuración predeterminada del método de evaluación, el porcentaje de daño de la red de telecomunicaciones presenta valores entre 0.0017% y 0.0302% con una media de 0.0074%. Respecto a la categoría de la red, la red secundaria presenta mayores porcentajes de daño que la red primaria. En cuanto al tipo de red, la red aérea presenta porcentajes de daño mayores a los de la red canalizada.

8.2.3.3 Síntesis

De acuerdo con la metodología de evaluación, para este escenario de amenaza las redes de distribución de energía eléctrica y telecomunicaciones alcanzan similares porcentajes de daño.

Para el caso de la red de energía eléctrica, no existe mayor diferencia entre los resultados de daño de las redes de alta, mediana y baja tensión. En el caso de la red de telecomunicaciones, la red secundaria presenta mayor porcentaje de daño que la red primaria.

En ambos casos (energía eléctrica y telecomunicaciones), los porcentajes de daño son mayores en la red aérea que en la canalizada.

8.2.4 Líneas vitales Tanques

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños iniciales de los tanques de almacenamiento (American Life Alliance, 2001), para este escenario de daño los tanques de almacenamiento analizados presentan estado de daño 1 y 2 (equivalente a un porcentaje de pérdida del 0% y entre el 1 y el 20% respectivamente) siendo más frecuente el estado de daño 2 (donde el estado 1 equivale a un porcentaje de pérdida del 0%, el estado de daño 2 a un porcentaje de pérdida entre el 1 y el 20%, el estado de daño 3 a un porcentaje de pérdida entre el 20 y el 40%, el estado de daño 4 a un porcentaje de pérdida entre el 40 y el 100%, y el estado de daño 5 a un porcentaje de pérdida del 100%).

Teniendo en cuenta el nivel de llenado, el estado de daño es mayor en aquellos tanques con un nivel de llenado menor al 90%.

Respecto a la presencia de sistemas de anclaje, para el presente caso el estado de daño es mayor en aquellos tanques que no cuentan con sistema de anclaje.

8.2.5 Líneas vitales Puentes

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños iniciales de los puentes vehiculares y peatonales (Risk Management Solutions, 1997), para este escenario de amenaza los puentes de la ciudad presentan estados de daño desde el nivel uno hasta el nivel cuatro (donde el estado 1 equivale a ningún daño, el estado 2 a daño menor, el estado 3 a daño moderado, el estado 4 a daño generalizado y el estado 5 a daño total).

Los puentes vehiculares presentan estados de daño de 1 a 4. Los puentes peatonales presentan estados de daño de 1 a 4, siendo más frecuente el estado de daño 1, 2 y 3.

8.2.6 Efectos colaterales

En la **Figura 8.5** se ilustran los estados de daño por efectos colaterales de licuación y deslizamiento evaluados para el correspondiente escenario de amenaza.

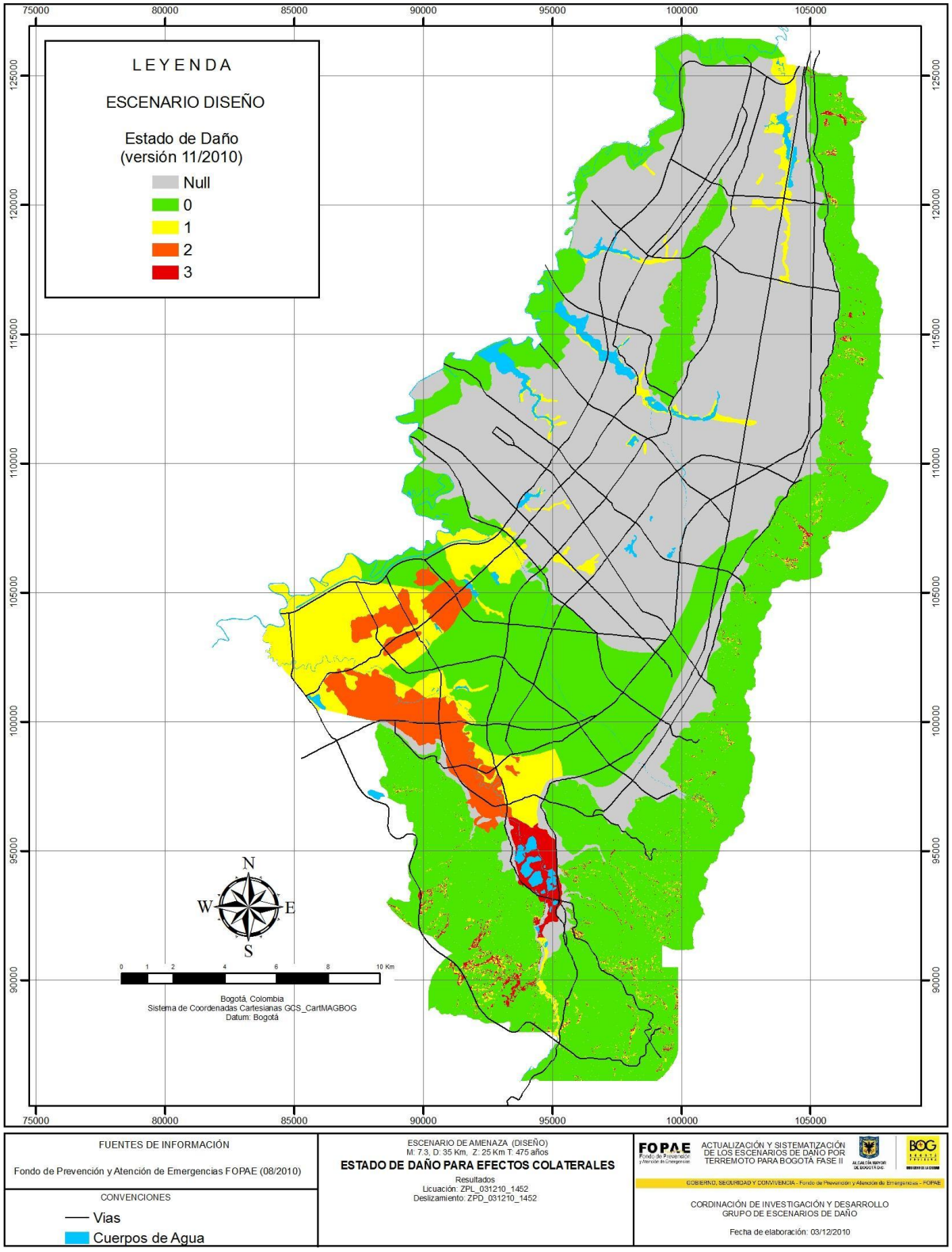


Figura 8.5. Estado de daño por licuación y deslizamiento

8.3 DAÑOS SECUNDARIOS

De acuerdo con la metodología general de evaluación, dentro del proceso de evaluación de daños para análisis del riesgo sísmico se considera una etapa de evaluación de los daños secundarios (causados por los efectos colaterales de licuación y deslizamiento. Ver **Figura 8.6**). Los resultados de la evaluación de los daños secundarios en edificaciones y líneas vitales correspondientes al escenario de amenaza de "Diseño sismorresistente", se presentan a continuación.

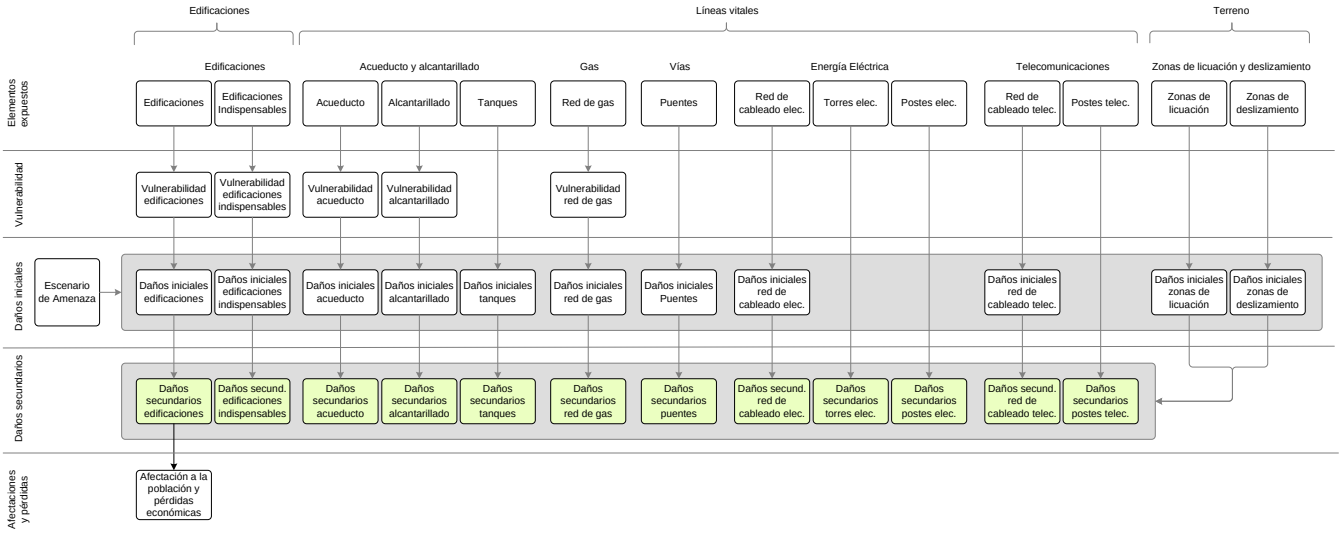


Figura 8.6. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños secundarios en edificaciones y líneas vitales)

8.3.1 Edificaciones

8.3.1.1 Edificaciones Normales

La evaluación de los daños secundarios en edificaciones normales en la ciudad de Bogotá se efectuó a partir de los resultados de daños iníciales obtenidos por las metodologías Italiano y Miranda usando la configuración por defecto (NC=10). Se observa inicialmente que para el método italiano el índice de daño secundario promedio a nivel de manzanas para toda la ciudad es de 15.02% con un incremento de 1.58% frente al obtenido para el daño inicial, mientras que para el método Miranda alcanza un valor de 11.84%, es decir 1.62% más que el daño inicial.

Los análisis estadísticos para el índice de daño se muestra una distribución sesgada a la izquierda con un pico inicial entre 0% y 5% de daño, se esperarían para este escenario daños nulos a moderados para el 56.0% de las edificaciones y daño considerable a severos para el 34.2 % de las edificaciones.

las localidades que más incrementan los daños por los efectos colaterales en el terreno son, Bosa, Tunjuelito, Kennedy y Ciudad Bolívar, para las tres primeras localidades mencionadas el fenómeno que controla este incremento obedece a la licuación del terreno y para Ciudad Bolívar los posibles deslizamientos intervienen en el incremento del daño inicial (ver **Figura 8.8**). Para los resultados obtenidos por el método italiano se presentan los daños a lo largo y ancho del territorio siendo el área menos afectada la centro-occidental y noroccidental segmento cubierto especialmente por las localidades de Fontibón, Engativa y Suba (ver **Figura 8.7**).

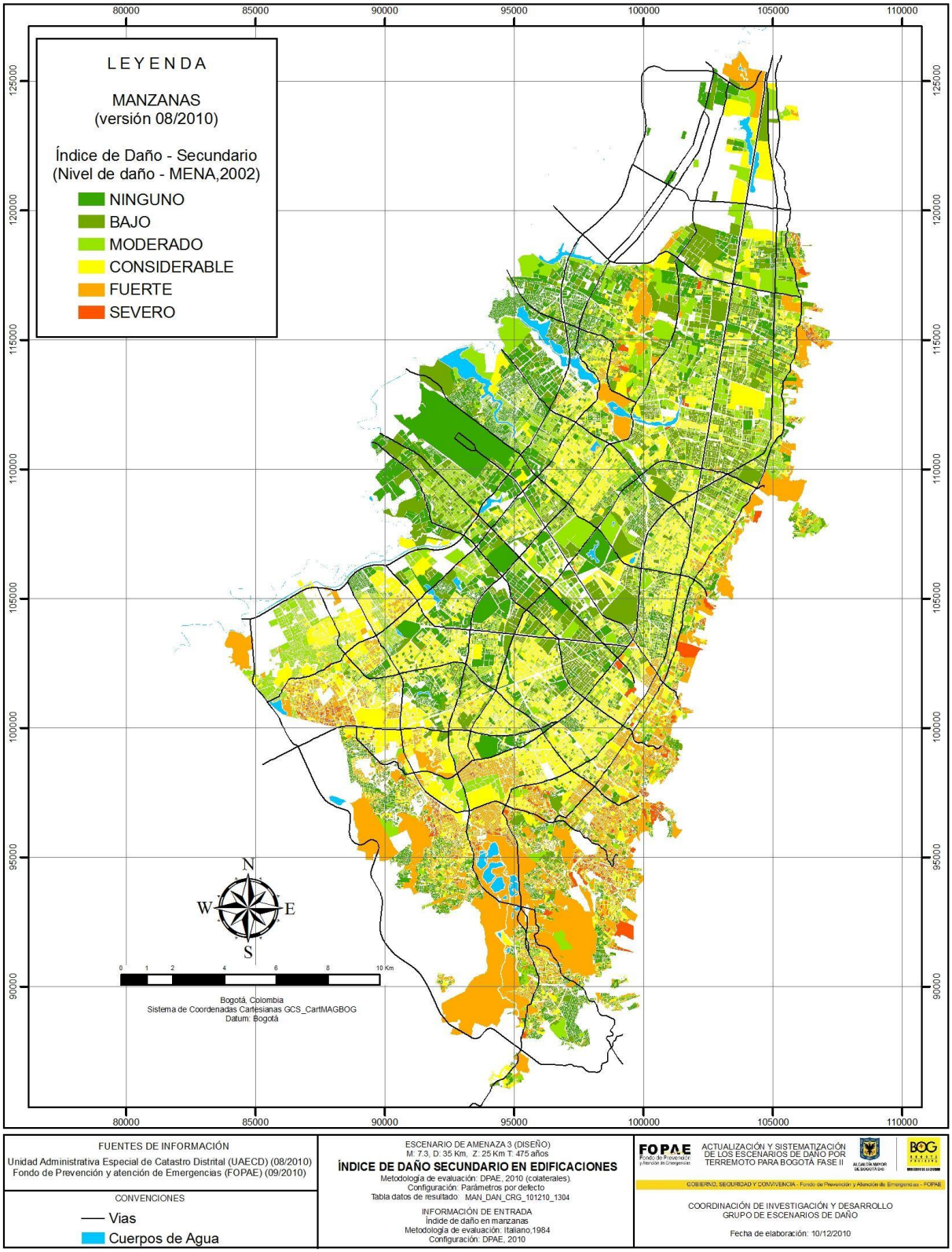


Figura 8.7. Índice de daño secundario en manzanas método italiano para escenario de diseño

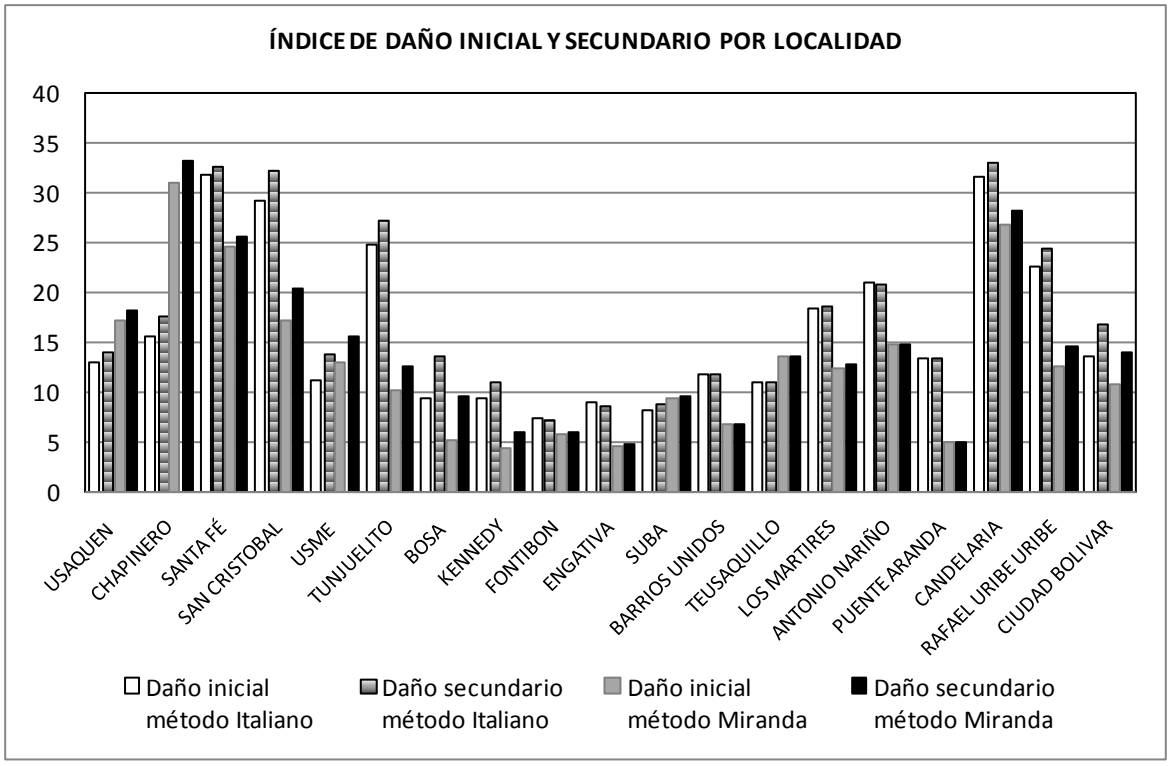


Figura 8.8. Comparación del índice de daño inicial y secundario por localidad

8.3.1.2 Edificaciones Indispensables

Particularmente se encuentra que para daño secundario los sectores de gobierno y de Terminales de Transporte Terrestre se esperan daños considerables, mientras que para los sectores de Ejército, Empresa de Energía de Bogotá, Secretaría de Salud y Ponal posiblemente tengan daños moderados, para el resto de sectores se tiene la perspectiva de que presenten daños bajos o nulos, sin embargo los valores presentados deben ser tomados como valores índice dada la muestra tan reducida con la cual se obtuvieron los resultados, salvo en las edificaciones del cuerpo oficial de bomberos y secretaría de salud con los cuales se logro levantar un alto porcentaje de las edificaciones a cargo de estas instituciones.

ENTIDAD	NÚMERO EDIFICACIONES	ITALIANO - SECUNDARIO				MIRANDA - SECUNDARIO			
		ID PROM	ID MÍN	ID MÁX	ID DESVEST	ID PROM	ID MÍN	ID MÁX	ID DESVEST
Dirección de Gestión del Riesgo para la Prevención y Atención de Desastres	1	0,0	0,0	0,0	-	1,3	1,3	1,3	-
Cuerpo Oficial de Bomceros de Bogotá	18	2,8	0,0	19,4	4,8	6,3	0,4	39,0	11,7
Secretaria de Salud	42	13,9	0,0	100,0	26,0	10,0	0,5	87,7	13,7
Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá	5	5,8	0,0	17,9	8,3	1,0	0,3	1,6	0,6
Policia Nacional	45	9,0	0,0	88,6	16,0	10,8	0,1	100,0	18,1
Empresa de Energía de Bogotá S.A. ESP.	1	0,0	0,0	0,0	-	11,9	11,9	11,9	-
Secretaria de Gobierno	45	12,5	0,0	100,0	18,5	20,4	0,4	100,0	26,9
Terminal de Transporte	2	9,7	0,2	19,1	13,4	17,6	3,8	31,4	19,5
Ejercito Nacional	7	1,0	0,0	3,8	1,3	11,2	2,5	21,2	7,6
ETB	29	1,3	0,0	19,5	3,7	6,3	0,5	45,5	8,4
Cruz Roja Colombiana	1	0,3	0,3	0,3	-	5,6	5,6	5,6	-
Defensa civil	2	2,0	1,5	2,6	0,8	3,1	1,6	4,6	2,1
Oficina de Prevención y Atención de Desastres - Gobernación de Cundinamarca	1	0,9	0,9	0,9	-	2,0	2,0	2,0	-
CODENSA	1	0,4	0,4	0,4	-	3,1	3,1	3,1	-
Total general	200	8,5	0,0	100,0	17,4	11,3	0,1	100,0	18,1

Tabla 8.3. Consolidado de daño secundario en edificaciones indispensables

8.3.2 Líneas vitales Tuberías

La metodología de evaluación de los daños secundarios de las redes de tubería se empleó considerando una única configuración a partir de los resultados de daño inicial evaluados mediante la metodología Kubo & Katayama (1975), sin considerar el efecto de licuación (CL=1.0), usando la curva de vulnerabilidad de Eidinger (2001) y con un valor de corrección por efectos colaterales VC=0.33.

La **Figura 8.9** presenta un consolidado estadístico de los resultados de índice de daño secundario para las tres tipologías de tubería obtenidos para este escenario de amenaza mediante la configuración descrita y la **Figura 8.10** presenta el mapa de resultados. En el Anexo 4 se presentan los resultados detallados para cada una de las tipologías de red de tubería (acueducto, alcantarillado y gas domiciliario).

8.3.2.1 Red de acueducto

Al corregir los resultados de daño inicial considerando los efectos colaterales de licuación y deslizamiento mediante la metodología propuesta, la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0.003 y 1.12 y una media de 0.19 roturas por kilómetro. La red secundaria presenta un rango de tasas de rotura mayor que el de la red primaria.

8.3.2.2 Red de alcantarillado

Al corregir los resultados de daño inicial considerando los efectos colaterales de licuación y deslizamiento, la tasa de roturas de la red de alcantarillado presenta valores entre 0.006 y 1.40 y una media de 0.27 roturas por kilómetro.

La red menor presenta las tasas de roturas más altas, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red, la red de alcantarillado sanitario y la red de alcantarillado combinado presentan las tasas de rotura más altas y la red pluvial presenta las tasas de rotura más bajas.

8.3.2.3 Red de gas domiciliario

Al corregir los resultados de daño inicial considerando los efectos colaterales de licuación y deslizamiento, la tasa de roturas de la red de gas domiciliario presenta valores entre 0.01 y 0.21 con una media de 0.04 roturas por kilómetro. La red primaria presenta las mayores tasas de rotura, seguida por la red secundaria y las acometidas, las cuales presentan tasas similares.

8.3.2.4 Síntesis

De acuerdo con la metodología de evaluación, las tasas de rotura corregidas por el daño causado por efectos colaterales son en todos los casos mayores a las obtenidas durante la evaluación de los daños iniciales (independientemente de la red evaluada).

De las tres tipologías consideradas en la evaluación, las redes de acueducto y alcantarillado presentan las tasas de roturas más altas y un comportamiento más heterogéneo. La red de gas domiciliario presenta las tasas de roturas más bajas y un comportamiento más homogéneo.

Para el caso de la red de acueducto, la red secundaria presenta un rango de tasas de daño mayor a los de la red primaria.

En el caso de la red de alcantarillado, la tasa de rotura es mayor en la red menor, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red de alcantarillado, las redes de alcantarillado combinado y sanitario presentan las tasas de roturas más altas, mientras que la red de alcantarillado pluvial presenta las menores tasas de rotura.

En el caso de la red de gas domiciliario, la tasa de rotura es mayor en la red primaria, seguida por la red secundaria y las acometidas las cuales presentan valores similares.

Resumen de resultados - Tasa de rotura de la redes de tubería (Número de roturas por kilómetro)
Metodología: Kubo & Katayama (1975)

Curva de vulnerabilidad: Eidinger,2001
Corrección por efectos colaterales (licuación y deslizamiento): FOPAE, 2010

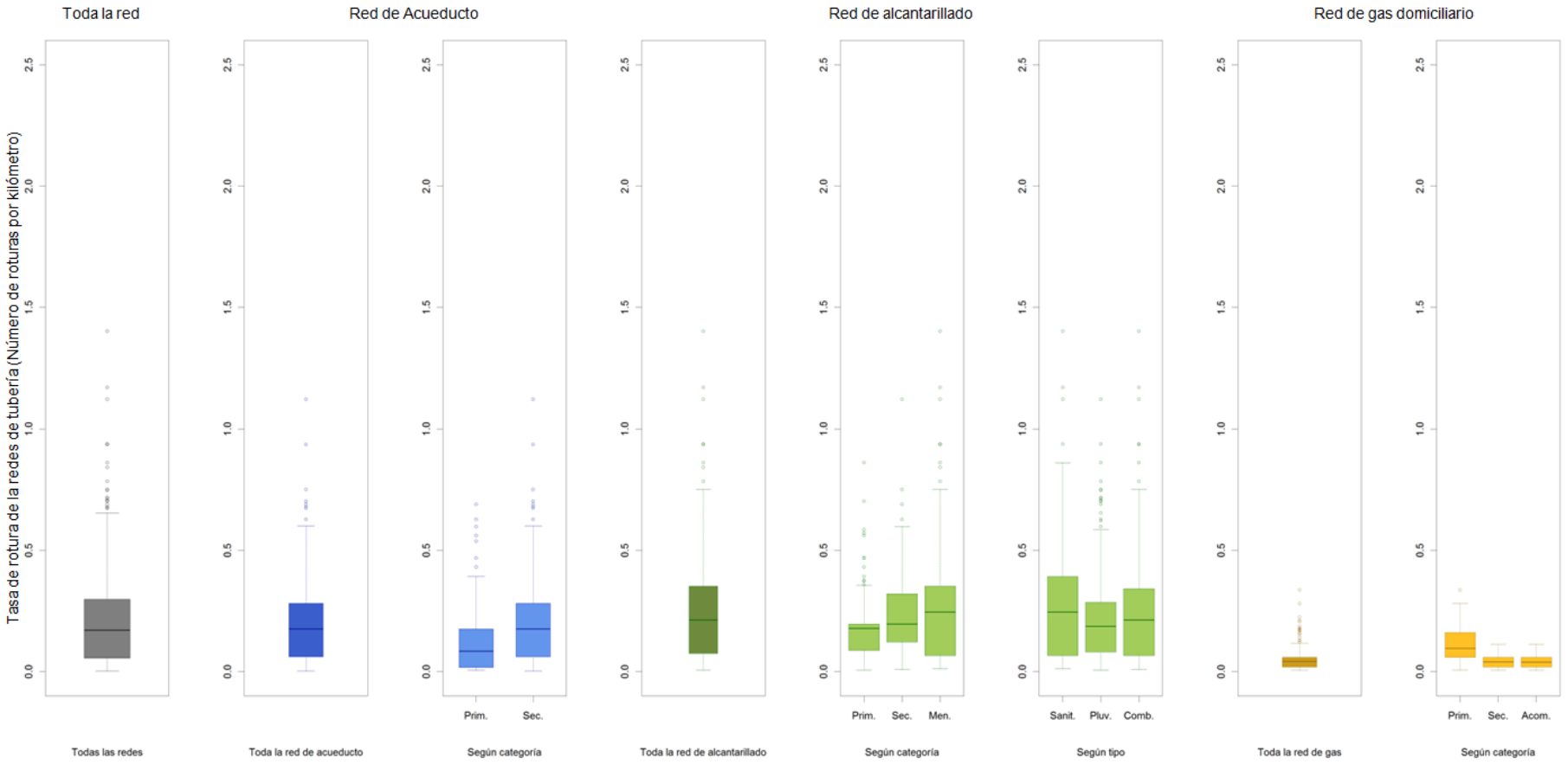


Figura 8.9. Resumen resultados de daño secundario de la red de tuberías

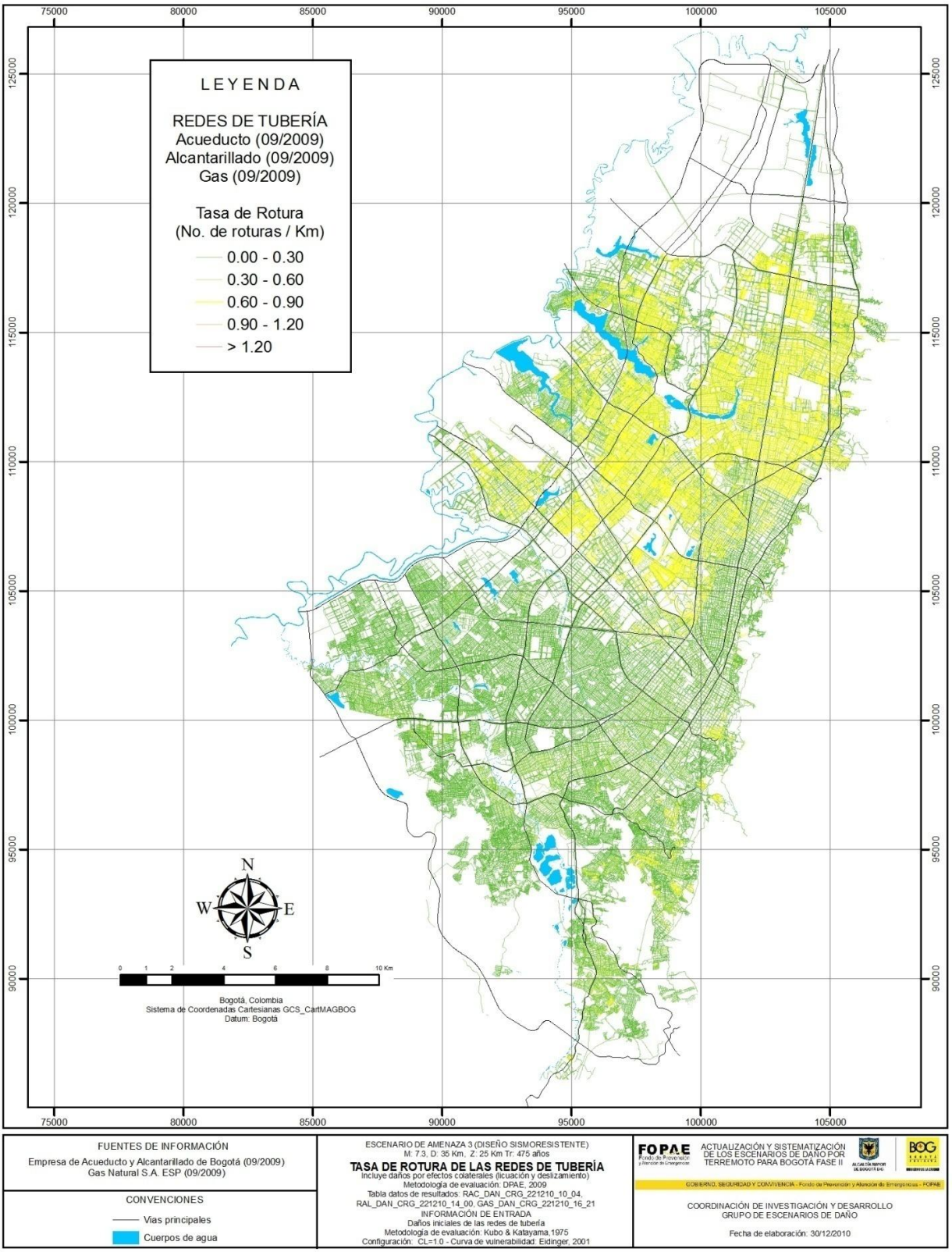


Figura 8.10. Mapa de resultados de daño secundario de la red de tuberías

8.3.3 Líneas vitales Cableado

La metodología de evaluación de los daños secundarios de las redes de cableado se empleó considerando una única configuración a partir de los resultados de daño inicial evaluados mediante la metodología Kubo & Katayama (1975) y usando la curva de vulnerabilidad de JICA (2002) y con un valor de corrección por efectos colaterales VC=0.33.

La **Figura 7.11** presenta un consolidado estadístico de los resultados de daño secundario para las dos tipologías de redes de cableado obtenidos para este escenario de amenaza mediante la configuración descrita y la **Figura 7.12** presenta el mapa de resultados. En el Anexo 4 se presentan los resultados detallados para cada una de las tipologías de red de cableado (red de energía eléctrica y red de telecomunicaciones).

En los siguientes numerales se presenta el análisis de los resultados.

8.3.3.1 Red de energía eléctrica

Al corregir los resultados de daño inicial considerando los efectos colaterales de licuación y deslizamiento mediante la metodología propuesta, el porcentaje de daño de la red de energía eléctrica presenta valores entre 0.0017% y 0.0602% con una media de 0.0097%. Respecto a la categoría de la red, la red de baja tensión presenta los mayores porcentajes de daño, seguida por la red de mediana tensión y por la red de alta tensión que presenta los menores porcentajes de daño. En cuanto al tipo de red, la red aérea presenta porcentajes de daño mayores a los de la red canalizada.

8.3.3.2 Red de telecomunicaciones

Al corregir los resultados de daño inicial considerando los efectos colaterales de licuación y deslizamiento mediante la metodología propuesta, el porcentaje de daño de la red de telecomunicaciones presenta valores entre 0.0017% y 0.0402% con una media de 0.0075%. Respecto a la categoría de la red, la red secundaria presenta mayores porcentajes de daño que la red primaria. En cuanto al tipo de red, la red aérea presenta porcentajes de daño mayores a los de la red canalizada.

8.3.3.3 Síntesis

De acuerdo con la metodología de evaluación, los porcentajes de daño corregidas por el daño causado por efectos colaterales son en todos los casos mayores a las obtenidas a aquellas obtenidas durante la evaluación de los daños iniciales (independientemente de la red evaluada). Para el caso de la red de energía eléctrica, la red de baja tensión presenta los mayores porcentajes de daño, seguida por la red de mediana tensión y por la red de alta tensión que presenta los menores porcentajes de daño. En el caso de la red de telecomunicaciones, la red secundaria presenta mayor porcentaje de daño que la red primaria. En ambos casos (red de energía eléctrica y telecomunicaciones), los porcentajes de daño son mayores en la red aérea que en la canalizada.

Resumen de resultados - Tasa de rotura de la redes de cableado (Porcentaje de daño)
Metodología: Kubo & Katayama (1975)

Curva de vulnerabilidad: JICA,2001
Corrección por efectos colaterales (licuación y deslizamiento): FOPAE, 2010

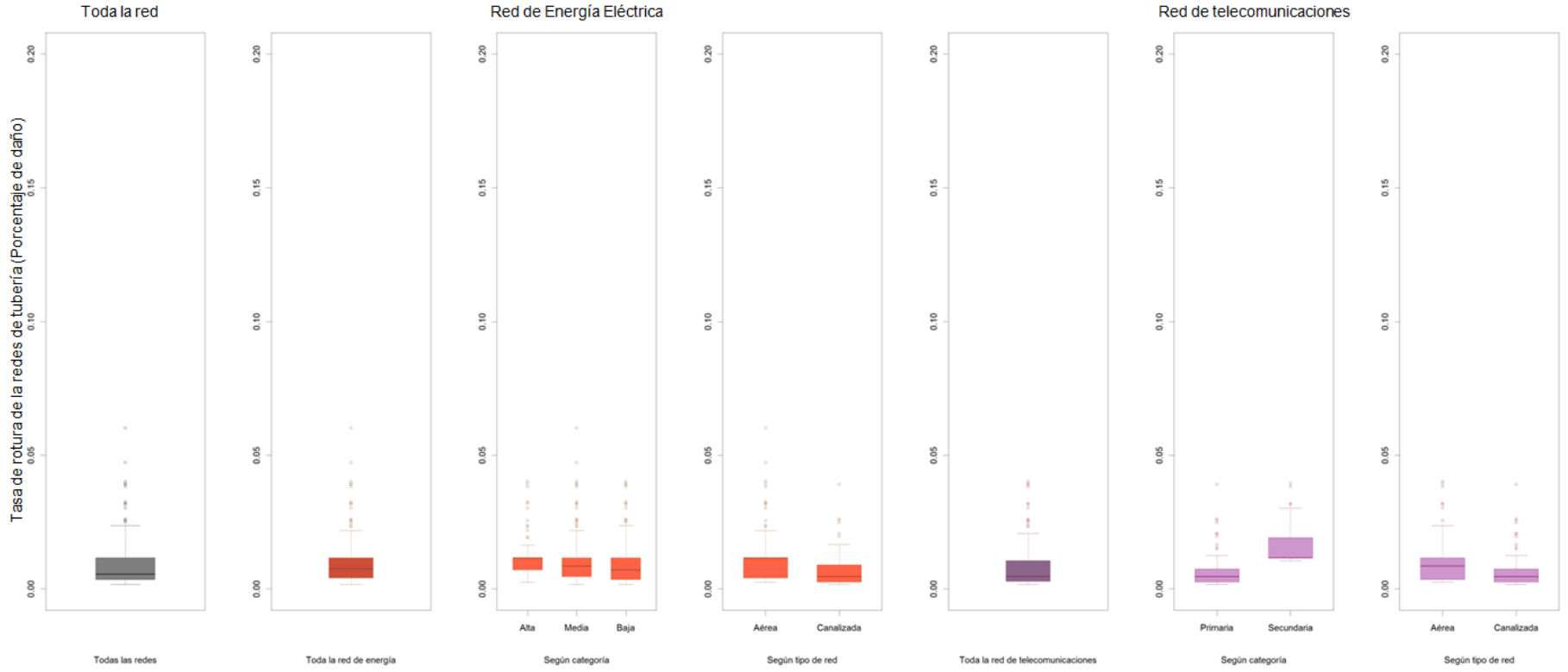


Figura 8.11. Resumen resultados de daño secundario de la red de cableado

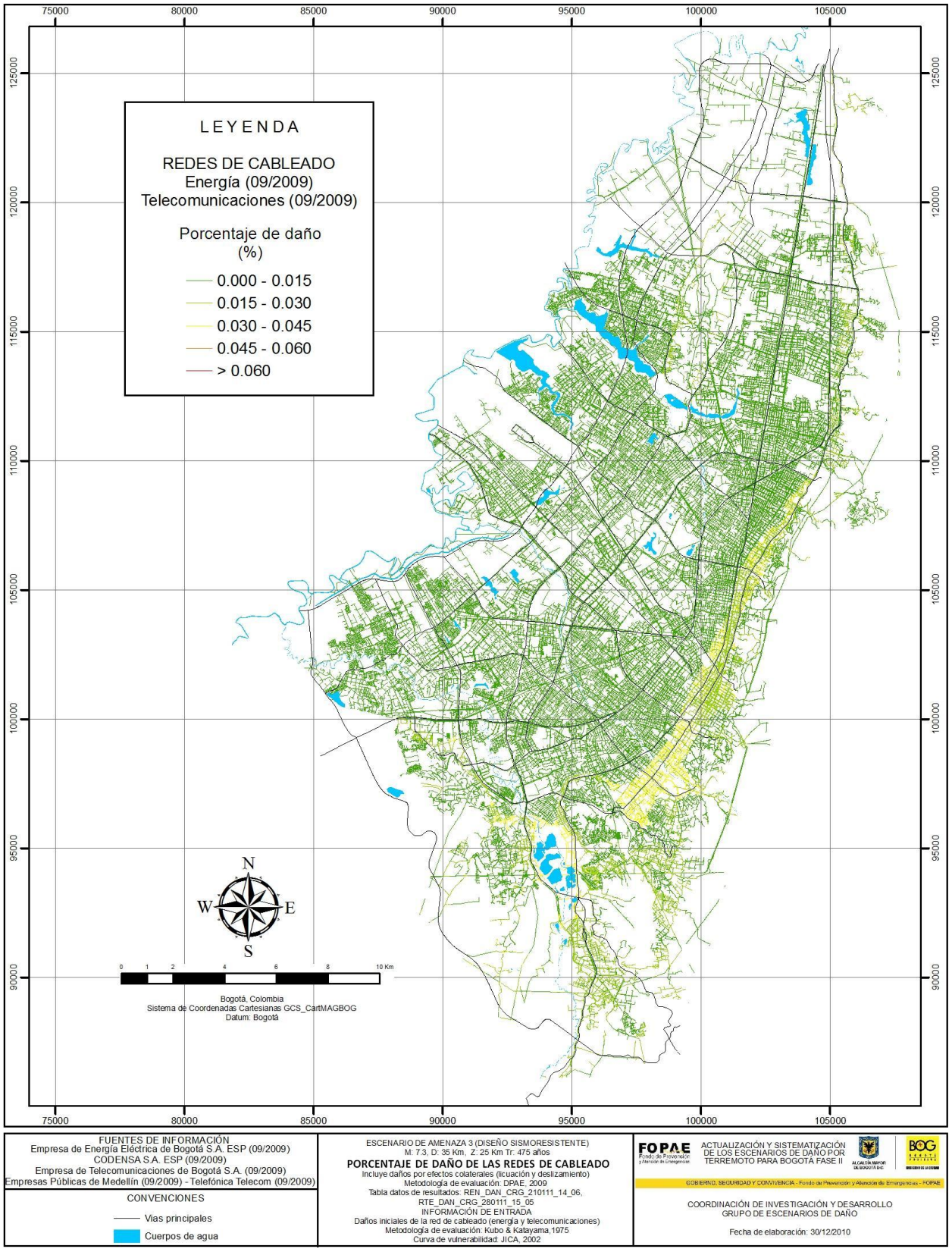


Figura 8.12. Mapa de resultados de daño secundario de la redes de cableado

8.3.4 Líneas vitales Tanques

La metodología de evaluación de los daños secundarios de los tanques de almacenamiento se empleó considerando una única configuración a partir de los resultados de daño inicial evaluados mediante la metodología (American Lifelines Alliance, 2001) con un valor de corrección por efectos colaterales VC=1.0.

De acuerdo con la metodología de evaluación de daños secundarios, para este escenario de amenaza los tanques de almacenamiento analizados presentan estado de daño 1 y 2, siendo más frecuente el estado de daño 2 (donde el estado 1 equivale a un porcentaje de pérdida del 0%, el estado de daño 2 a un porcentaje de pérdida entre el 1 y el 20%, el estado de daño 3 a un porcentaje de pérdida entre el 20 y el 40%, el estado de daño 4 a un porcentaje de pérdida entre el 40 y el 100%, y el estado de daño 5 a un porcentaje de pérdida del 100%).

Teniendo en cuenta el nivel de llenado, el estado de daño es mayor en aquellos casos en los cuales el tanque tiene un nivel habitual de llenado menor al 90%.

Respecto a la presencia de sistemas de anclaje, para el presente caso el estado de daño es mayor en aquellos tanques que no cuentan con sistema de anclaje. La **Figura 7.13** presenta el resumen estadístico de los resultados y la **Figura 7.14** el mapa de resultados.

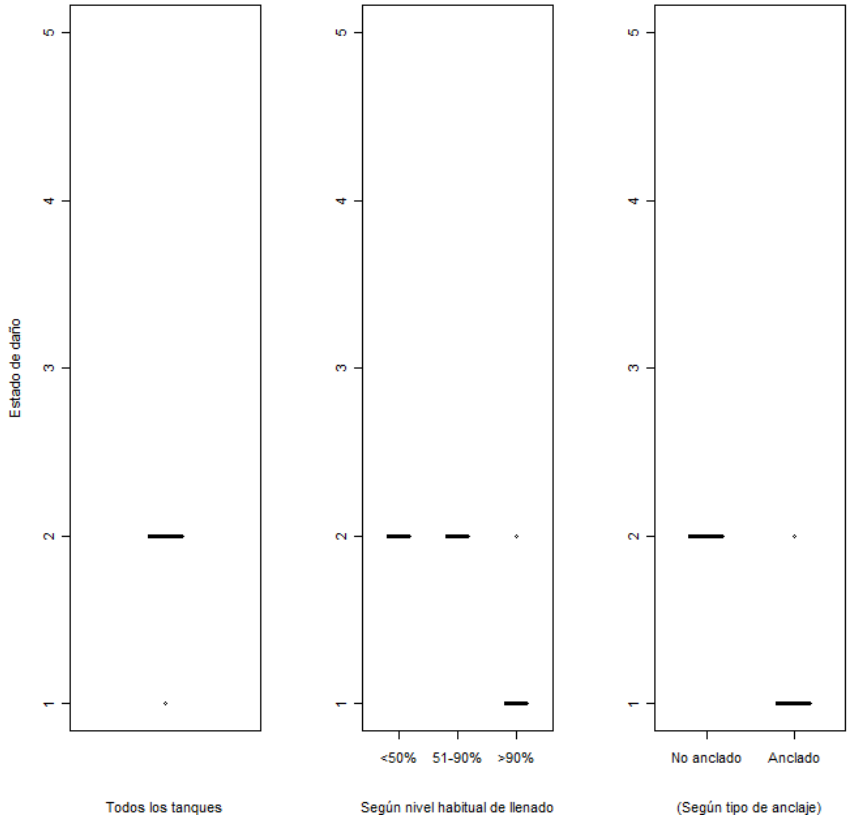


Figura 8.13. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los tanques de almacenamiento

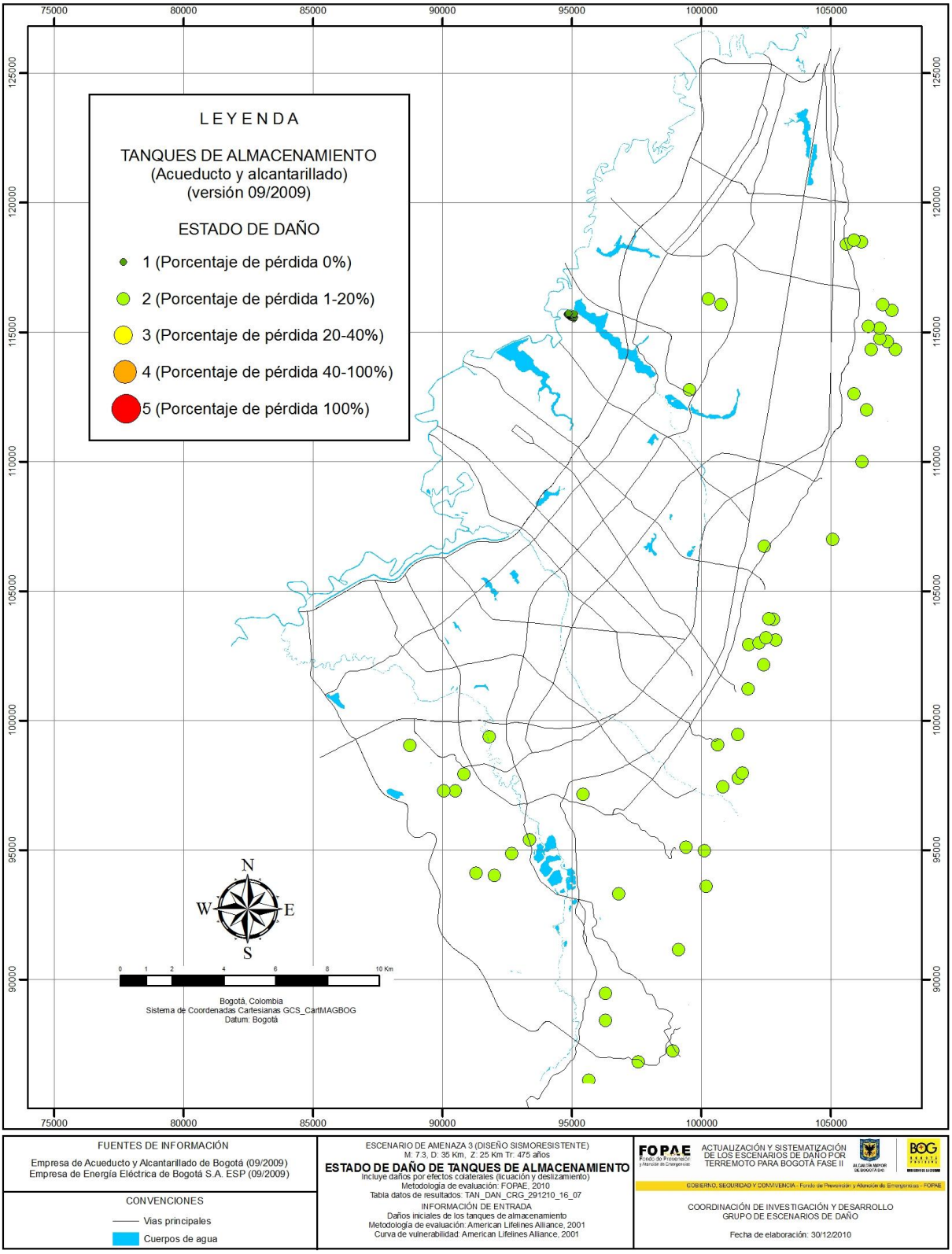


Figura 8.14. Mapa de resultados de daño secundario de los tanques de almacenamiento

8.3.5 Líneas vitales Puentes

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños secundarios de los puentes vehiculares y peatonales, para este escenario de amenaza los puentes de la ciudad presentan estados de daño desde el nivel uno hasta el nivel cinco, siendo más frecuentes los estados de daño 1, 2, 3 y 4 (donde el estado 1 equivale a ningún daño, el estado 2 a daño menor, el estado 3 a daño moderado, el estado 4 a daño generalizado y el estado 5 a daño total).

Los puentes vehiculares presentan estados de daño de 1 a 5, siendo más frecuentes los estados de daño 1, 2, 3 y 4. Los puentes peatonales presentan estados de daño de 1 a 5, siendo más frecuentes los estados de daño 1, 2 y 3. La **Figura 6.15** presenta el resumen estadístico y la **Figura 6.16** el mapa de resultados.

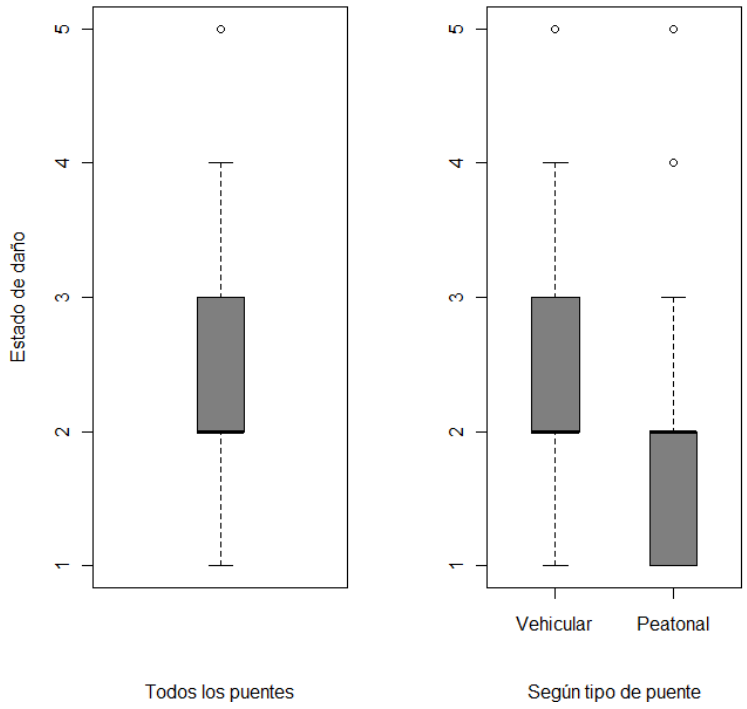


Figura 8.15. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los puentes vehiculares y peatonales

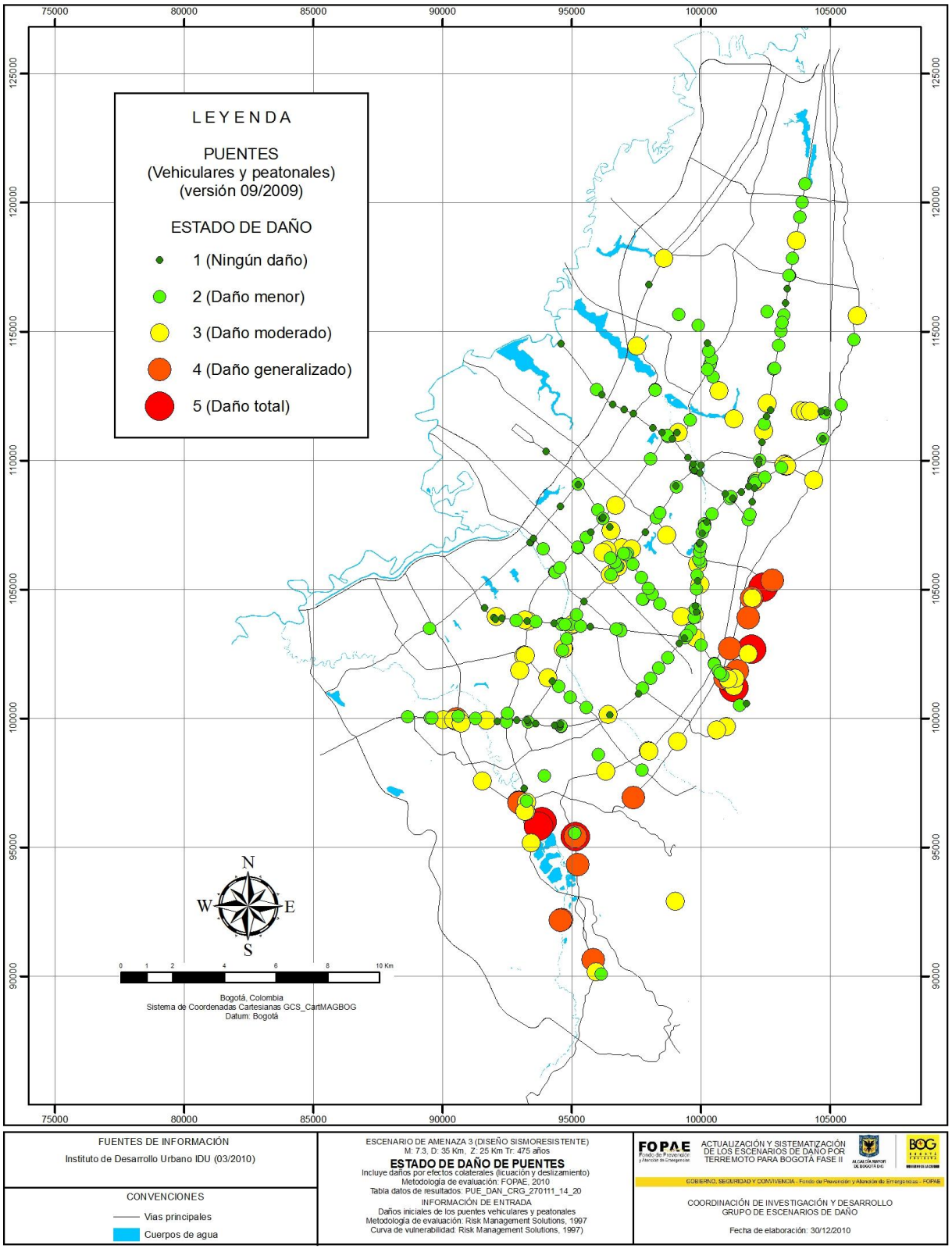


Figura 8.16. Mapa de resultados de daño secundario en puentes vehiculares y peatonales

8.3.6 Líneas vitales Torres

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños secundarios en torres, para este escenario de amenaza las torres de la red de energía eléctrica presentan estados de daño desde el nivel cero hasta el nivel tres (donde el estado 0 equivale a ningún daño, el estado 1 a daño bajo, el estado 2 a daño moderado y el estado 3 a daño severo), siendo más frecuente el estado de daño 0. Para este caso, no existe diferencia significativa entre los resultados de daño de las torres de alta y mediana tensión. La **Figura 6.17** presenta el resumen estadístico y la **Figura 6.18** el mapa de resultados.

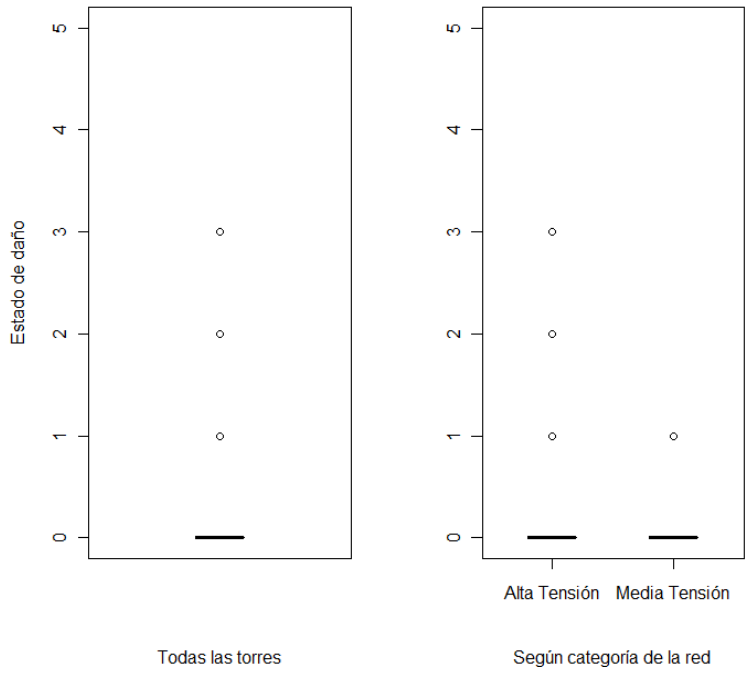


Figura 8.17. Resumen de resultados de estado de daño secundario de las torres de la red de energía eléctrica

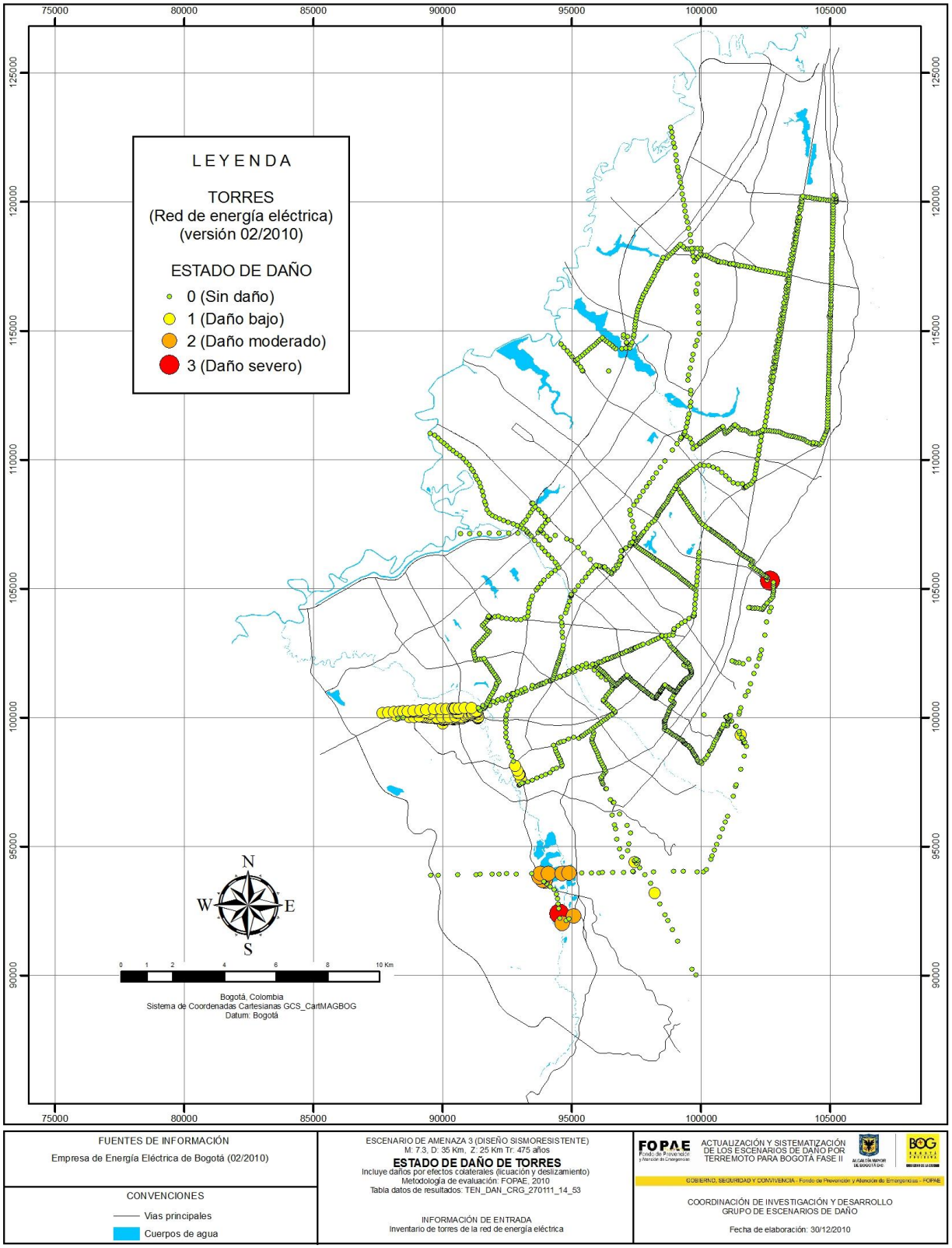


Figura 8.18. Mapa de resultados de daño secundario en torres de la red de energía eléctrica

8.3.7 Postes

8.3.7.1 Postes de la red de energía eléctrica

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños secundarios en postes, para este escenario de amenaza los postes de la red de energía eléctrica presentan estados de daño desde el nivel cero hasta el nivel tres, siendo más frecuente el estado de daño 0 (donde el estado 0 equivale a ningún daño, el estado 1 a daño bajo, el estado 2 a daño moderado y el estado 3 a daño severo). Para este caso no existe diferencia significativa entre los resultados de daño en los postes de la red de alta, mediana y baja tensión.

8.3.7.2 Postes de la red de telecomunicaciones

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños secundarios en postes, para este escenario de amenaza los postes de la red de telecomunicaciones presentan estados de daño desde el nivel cero hasta el nivel tres, siendo más frecuente el estado de daño 0.

Para este caso, no existe diferencia significativa entre los resultados de daño de los postes de la red de energía eléctrica y de la red de telecomunicaciones. La **Figura 6.19** presenta el resumen estadístico y la **Figura 6.20** el mapa de resultados.

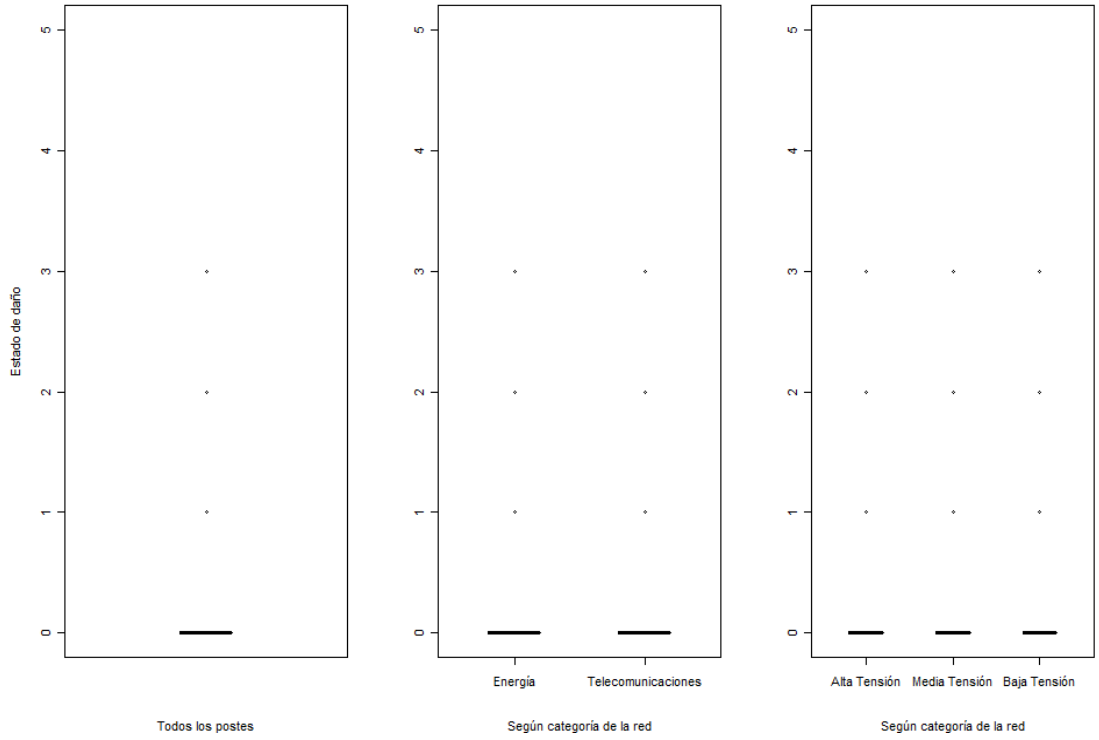


Figura 8.19. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los postes de la red de energía eléctrica y de telecomunicaciones

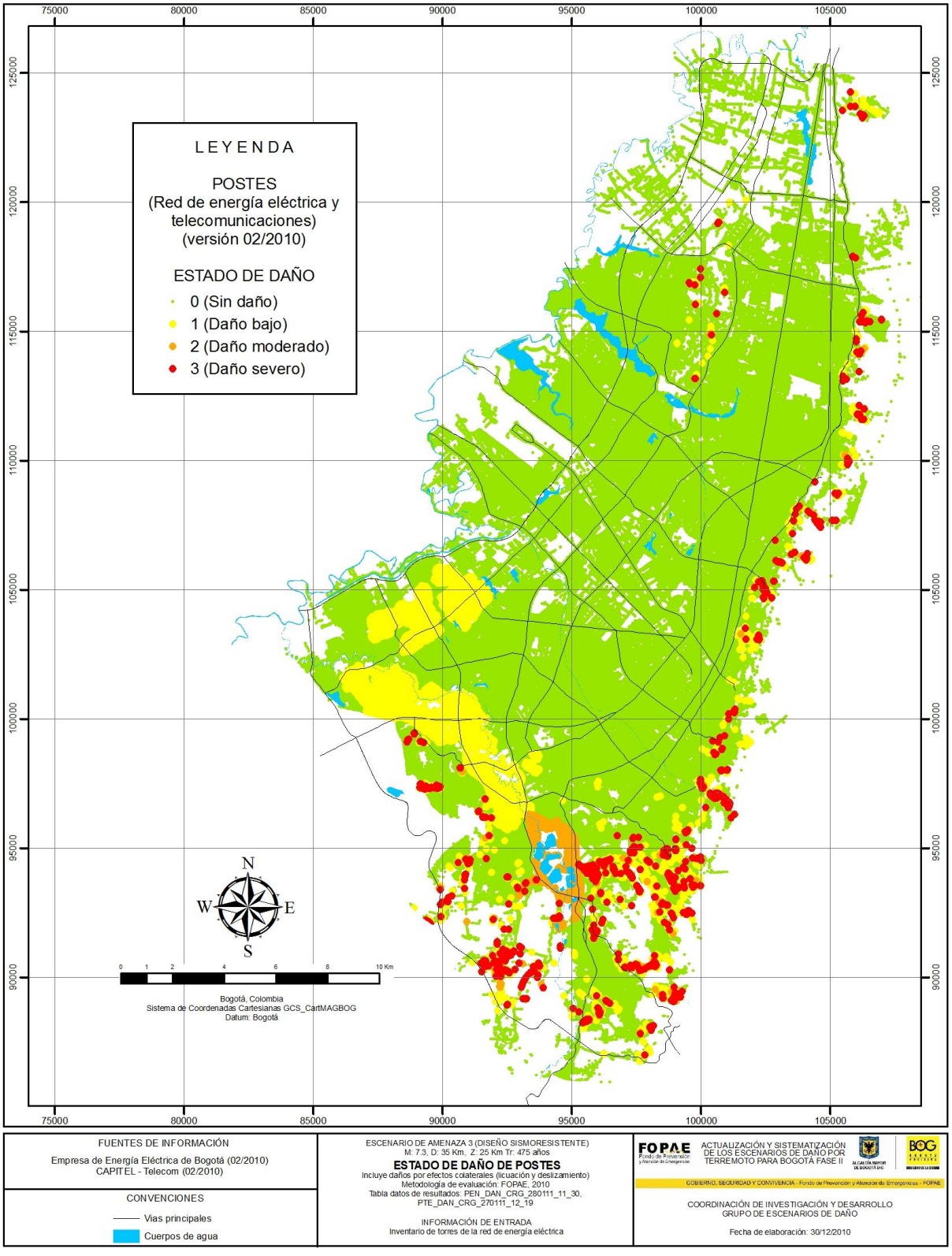


Figura 8.20. Mapa de resultados de daño secundario en los postes de la red de energía eléctrica y telecomunicaciones

8.4 CONSOLIDADO DE RESULTADOS POR UPZ Y LOCALIDAD

8.4.1 Edificaciones

La distribución geográfica de los daños para las unidades administrativas localidad y UPZ a partir del índice de daño promedio es presentada en la **Figura 8.21**, se encuentra que los daños que predominan son moderados a fuertes, sin embargo se destaca el sector céntrico compuesto por las localidades de Santa Fe y Candelaria con daños fuertes y el sector suroriental que incluye las localidades de San Cristóbal, Usme, Tunjuelito, Rafael Uribe Uribe y Ciudad Bolívar con daños que van desde considerables a fuertes.

8.4.2 Líneas vitales

8.4.2.1 Redes de tuberías

yy) Red de acueducto: en la **Figura 6.22** se presentan los resultados consolidados (número de roturas) de la ciudad discriminados por UPZ y localidad, y según las características de la red. Para este escenario de amenaza y de acuerdo con la metodología de evaluación, en la red de acueducto se presentarían un total de 1624 roturas. De este total 61 corresponden a la red primaria y 1563 a la red secundaria. Las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (259), Engativá (258) y Usaquén (169). Las localidades que presentan el menor número de roturas son SantaFe (23), Antonio Nariño (21) y Candelaria (10).

zz) Red de alcantarillado: en la **Figura 6.23** se presentan los resultados consolidados (número de roturas) de la ciudad discriminados por UPZ y localidad, y según las características de la red. Para este escenario de amenaza y de acuerdo con la metodología de evaluación, en la red de alcantarillado se presentarían un total de 2.270 roturas. De este total 85 corresponden a la red primaria, 619 a la red secundaria y 1566 a la red menor. Las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (452), Engativá (379) y Usaquén (307). Las localidades que presentan el menor número de roturas son Antonio Nariño (30) SantaFe (24) y Candelaria (10)

aaa) Red de gas domiciliario: en la **Figura 6.24** se presentan los resultados consolidados (número de roturas) de la ciudad discriminados por UPZ y localidad, y según las características de la red. Para este escenario de amenaza y de acuerdo con la metodología de evaluación, en la red de gas domiciliario se presentarían un total de 97 roturas. De este total 27 corresponden a la red primaria, 67 a la red secundaria y 2 a acometidas. Las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (20), Engativá (13), Usaquén (11) y Fontibón (10). Las localidades que presentan el menor número de roturas son Mártires (1), Antonio Nariño (1), SantaFe (1) y Candelaria (1).

8.4.2.2 Cableados

bbb) Red energía eléctrica: en la **Figura 8.25** se presentan los resultados consolidados (longitud afectada) de la ciudad discriminados por UPZ y localidad, y según las características de la red. Para este escenario de amenaza y de acuerdo con la metodología de evaluación, la red de energía eléctrica presentaría un total de 36.79 km afectados. De este total 3.90 km corresponden a la red alta tensión, 8.42 a la red de mediana tensión y 23.69 a la red de baja tensión. 26.35 km corresponden a la red aérea y 10.44 a la red canalizada. Las localidades que presentan mayor longitud afectada son Usaquén (4.19), Suba (4.16), Ciudad Bolívar (4.16) y Chapinero (3.80). Las localidades que presentan la menor longitud afectada son Barrios Unidos (0.75), Antonio Nariño (0.71) y Candelaria (0.65).

ccc) Red de telecomunicaciones: en la **Figura 6.26** se presentan los resultados consolidados (longitud afectada) de la ciudad discriminados por UPZ y localidad, y según las características de la red. Para este escenario de amenaza y de acuerdo con la metodología de evaluación, la red de telecomunicaciones presentaría un total de 30.52 km afectados. De este total 10.33 km corresponden a la red aérea y 20.18 a la red canalizada. Las localidades que presentan mayor longitud afectada son Chapinero (3.69), San Cristóbal (2.89) y Usaquén (2.59). Las localidades que presentan la menor longitud afectada son y Barrios Unidos (0.75), Candelaria (0.73) y Fontibón (0.70)

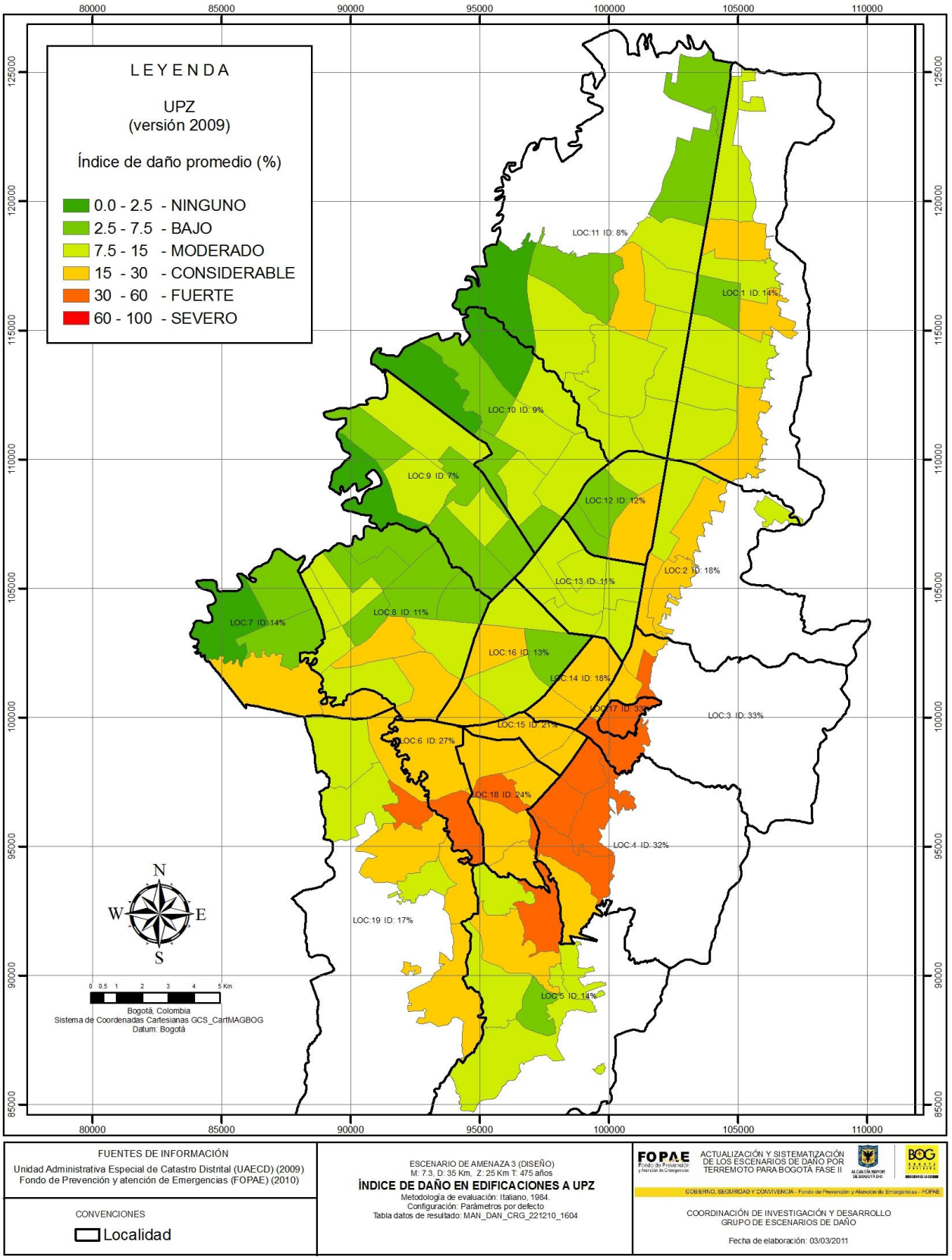


Figura 8.21. Índice de daño secundario promedio a Localidad y UPZ

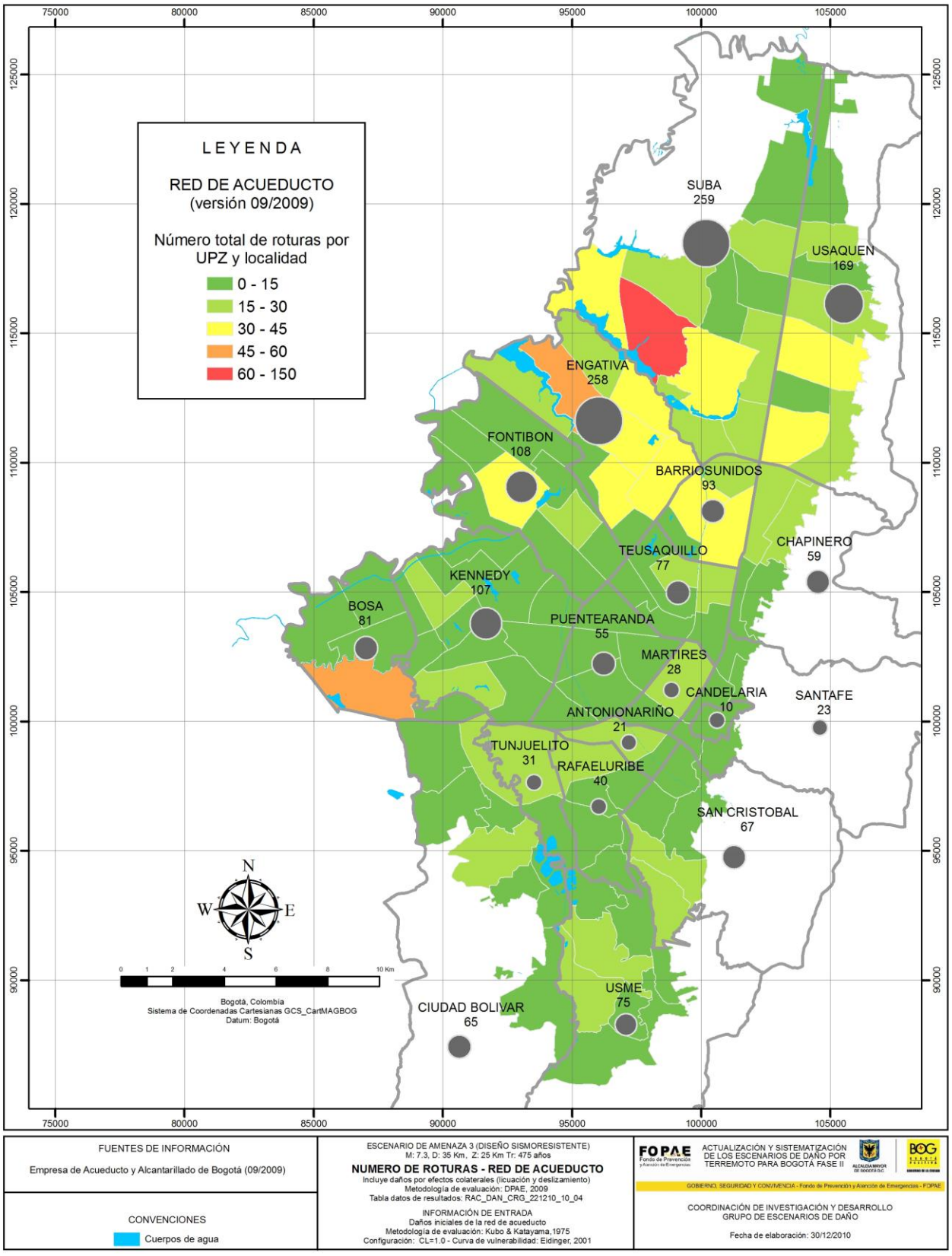


Figura 8.22. Mapa de resultados de daño secundario red de acueducto - Número total de roturas por UPZ y localidad

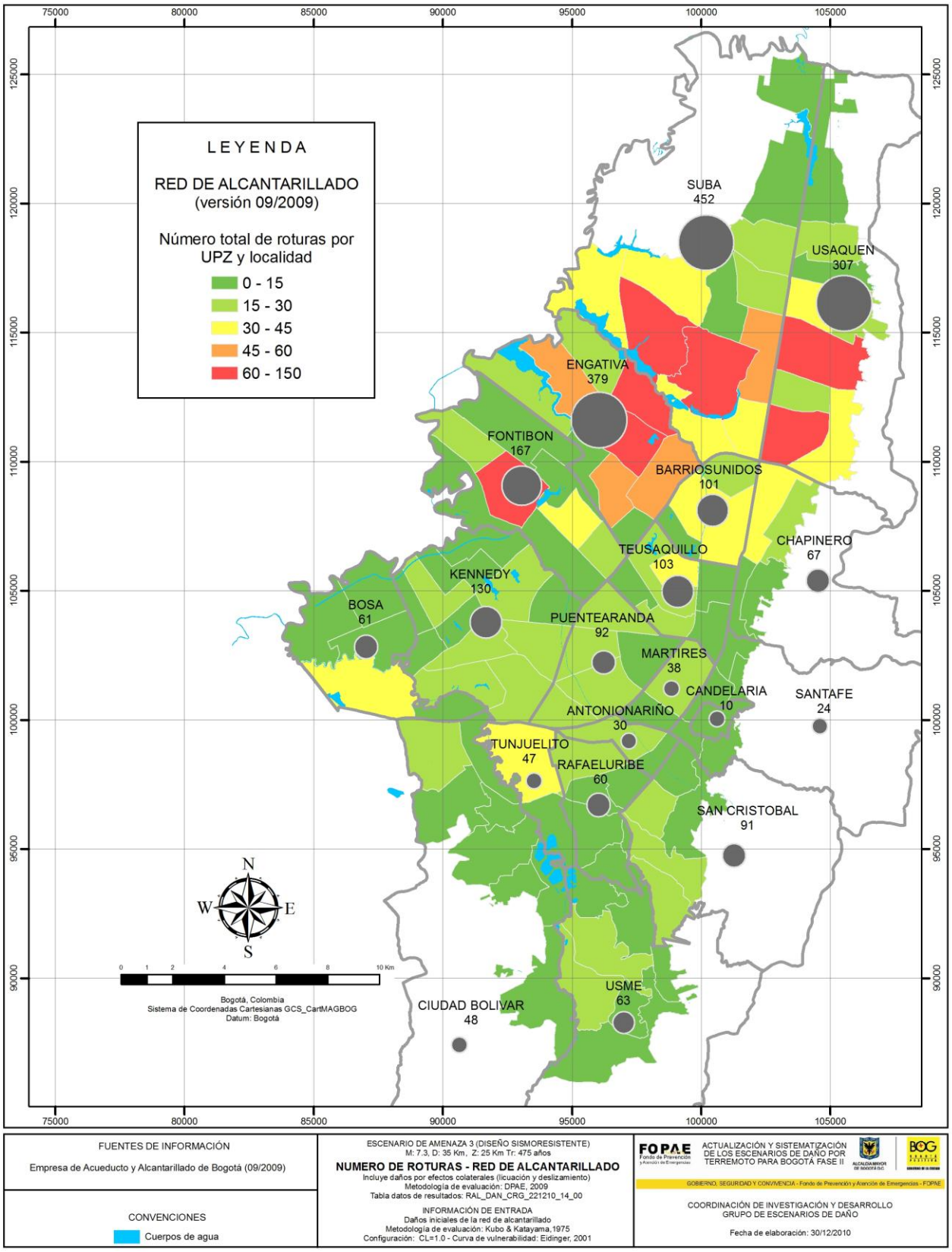


Figura 8.23. Mapa de resultados de daño secundario red de alcantarillado - Número total de roturas por UPZ y localidad

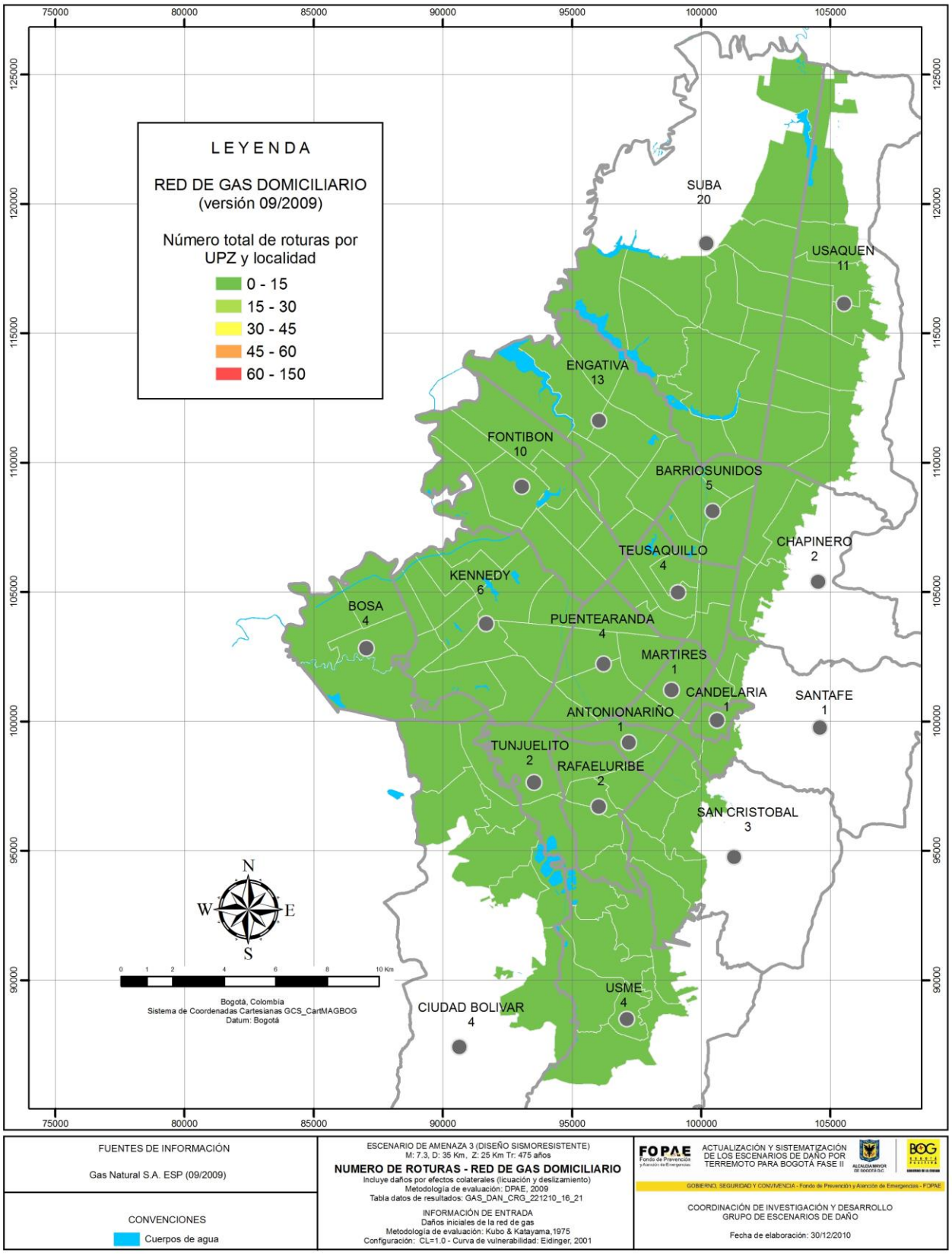


Figura 8.24. Mapa de resultados de daño secundario red de gas - Número total de roturas por UPZ y localidad

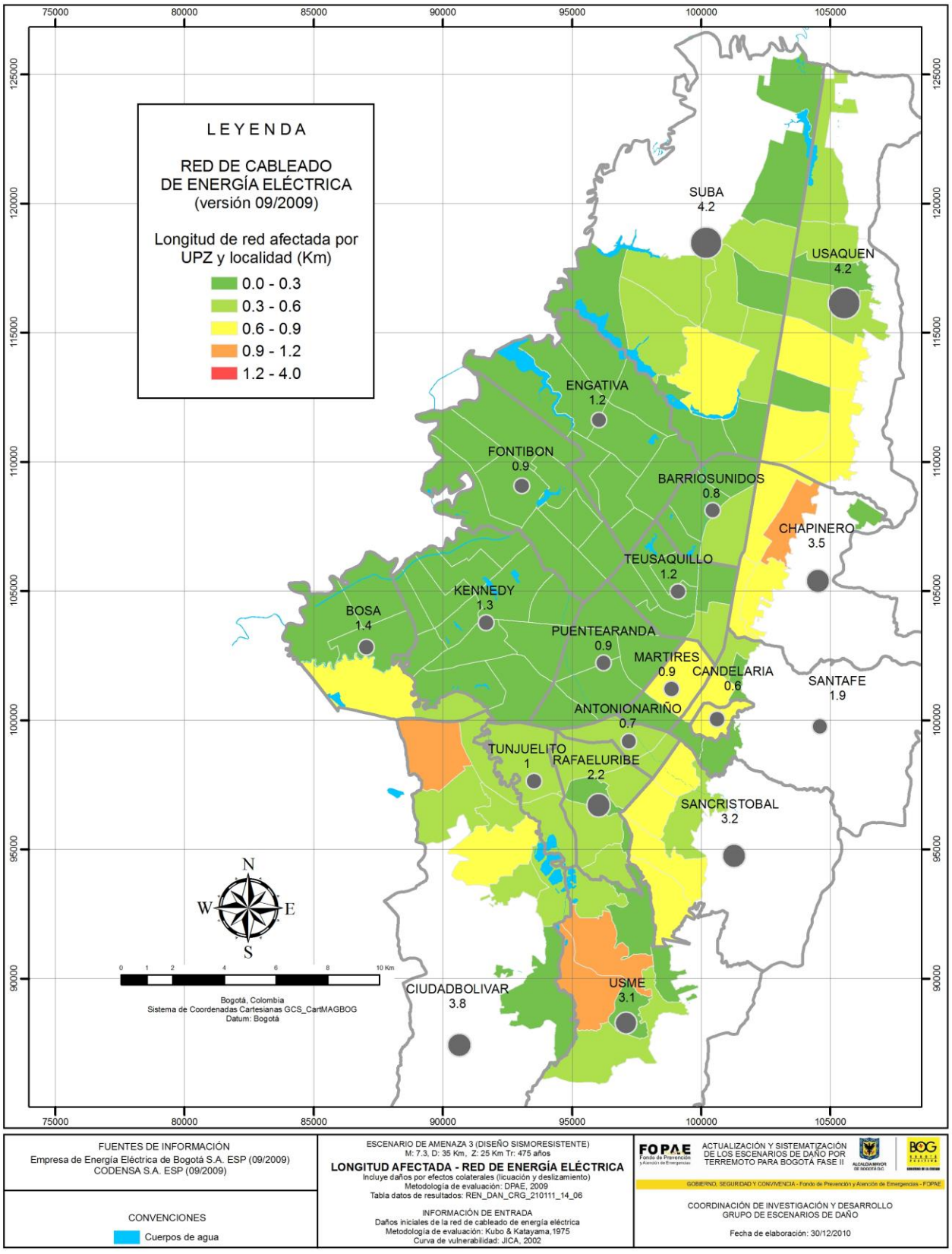


Figura 8.25. Mapa de resultados de daño secundario red de energía eléctrica - Longitud afectada por UPZ y localidad

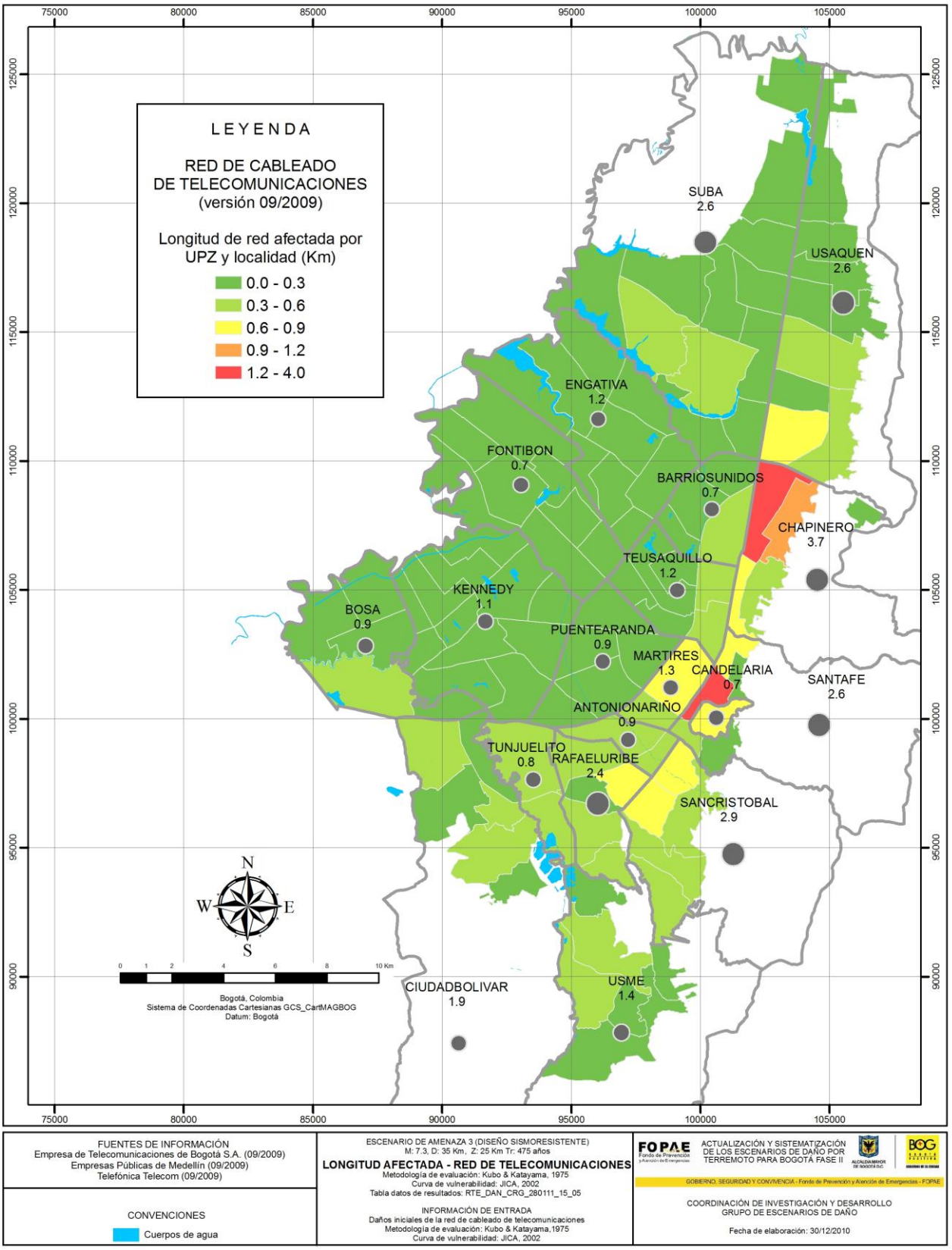


Figura 8.26. Mapa de resultados de daño secundario red de telecomunicaciones - Longitud afectada por UPZ y localidad

8.4.3 Afectaciones y pérdidas

Producto de la evaluación de las afectaciones a la población y pérdidas económicas se encuentra que para este escenario las víctimas fatales en el día varían entre 1484 a 14042 y en la noche varían entre 4140 y 6423 esto dependiendo del resultado de daño empleado para la evaluación (Italiano o Miranda) y sin tener en cuenta los efectos colaterales, los valores acumulados para toda la ciudad en lo relacionados a heridos se presentan en el anexo 4. observando espacialmente los resultados se tiene que para el método italiano las mayores afectaciones a la población en el día se dan en las localidades de Usaquén, Santa fe, San Cristóbal, Tunjuelito y bosa, de noche se encuentra que las localidades más afectadas serian, Usaquén, santa fe, San Cristóbal, Usme, Tunjuelito, Bosa, Rafael Uribe Uribe Y Bosa. Para el método Miranda las mayores afectaciones a la población en el día se dan en las localidades de Usaquén, Chapinero, Santa fe, Fontibón y suba, para las horas de la noche se mantiene la misma tendencia (ver **Figura 8.28**, **Figura 8.29**, **Figura 8.30** y **Figura 8.31**).

En relación con las pérdidas económicas se encuentra que varían de manera general para toda la ciudad entre 10.4 y 39.6 billones de pesos aproximadamente según el modelo empleado para la evaluación del daño (ver Anexo 4). Espacialmente las mayores valores de pérdidas económicas se concentran en las localidades de Usaquén, Chapinero, Santa Fe, Fontibón, suba y Teusaquillo (ver **Figura 8.27**), dado que estas localidades se concentran los principales centros económicos, financieros y de comercio de la ciudad como también las estratificación socioeconómica para estas localidades está compuesta preferentemente por estratos 3 o superior situación que se traduce en avalúos catastrales mayores y por consiguiente mayores pérdidas.

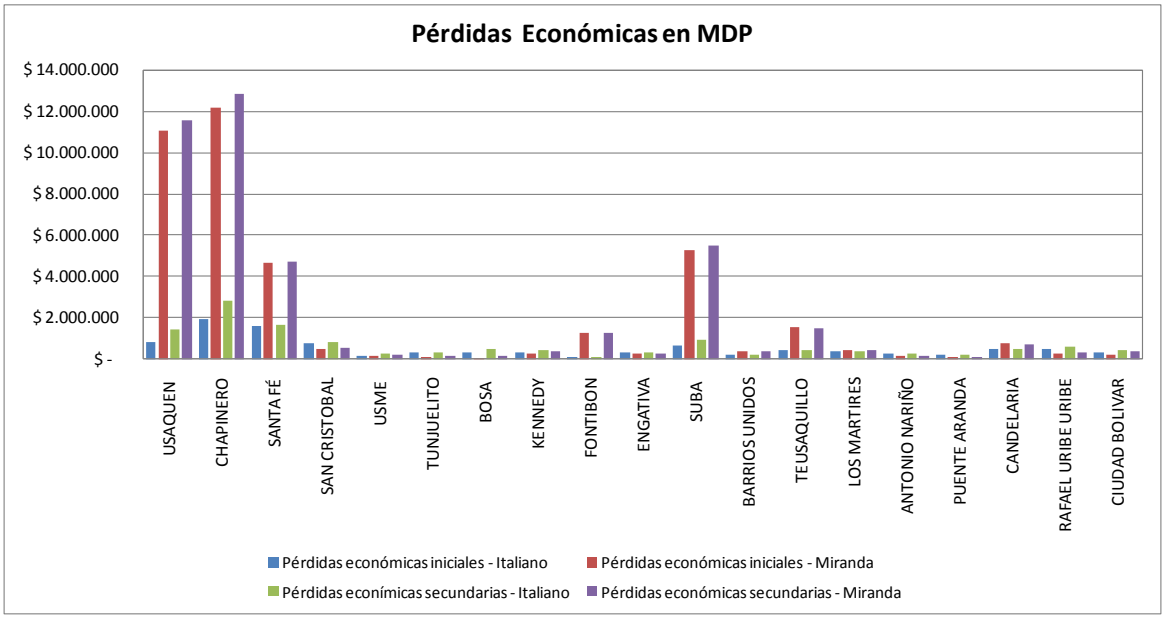


Figura 8.27. Pérdidas económicas en MDP

Con el propósito de visualizar el incremento en las afectaciones y pérdidas en el panorama de día y noche se presenta en la **Figura 8.28** y **Figura 8.29** el consolidado de las víctimas fatales desagregados por localidad, tanto para los ocasionados por los daños iníciales en edificaciones como también aquellos provocados por los daños secundarios. De lo anterior se observa una gran sensibilidad de las afectaciones a la población al incremento en el daño, ya que en promedio para la ciudad el aumento índice de daño es de tan solo el 1.58%, lo cual provoca que el valor de víctimas fatales calculado para el método italiano en el día pase de 1.482 a 15.033, tendencia que en la noche se mantiene pasando de 4.137 a 27.015 víctimas. De la misma forma se tiene a partir del resultado de daño calculado con del método Miranda para un incremento promedio del 1.62%, se espera para horas del día que las víctimas fatales pasen de 7.307 a 18.202 y en horas de la noche pasen de 6.404 a 13.902. En lo relacionado con las pérdidas económicas se encuentra que este valor es más moderado y acorde con el incremento en el daño pasando en el método italiano de 10.4 a 12.7 billones de pesos que corresponde a un incremento del 22%, para el método Miranda se tiene que las pérdidas económicas aumentan de 39.6 a 41.6 billones lo que denota un incremento del 5%.

Siguiendo la misma tendencia que los daños secundarios, las afectaciones a la población calculadas a partir del resultado de daño por el método Italiano, se concentran para horas del día en el sur, centro-oriente y parcialmente en el norte de la capital, específicamente en las localidades de Bosa, Kennedy, Ciudad Bolívar, Tunjuelito, Rafael Uribe, Usme, San Cristóbal, Antonio Nariño, Los Mártires, Santa Fe, Candelaria, Chapinero, Usaquén y Suba. Se destaca de Chapinero la UPZ 99-Chapinero y de la localidad de Bosa la UPZ 85-Bosa Central. En la noche las zonas residenciales del sur muestran a las localidades de Bosa, Kennedy, Ciudad Bolívar, Tunjuelito, Rafael Uribe, Usme y San Cristóbal, con mayores afectaciones, recalcando en todas las UPZ pertenecientes a la localidad de San Cristóbal, en la localidad de Bosa la UPZ 85-Bosa Central, de Ciudad Bolívar la UPZ 66-San Francisco y UPZ 67-Lucero, de la localidad Rafael Uribe la UPZ 53-Marco Fidel Suárez, de Usme la UPZ 57- Gran Yomasa, de la localidad de Tunjuelito la UPZ 42-Venecia y de la localidad de Kennedy la UPZ 82-Patio Bonito (ver **Figura 8.30** y **Figura 8.31**).

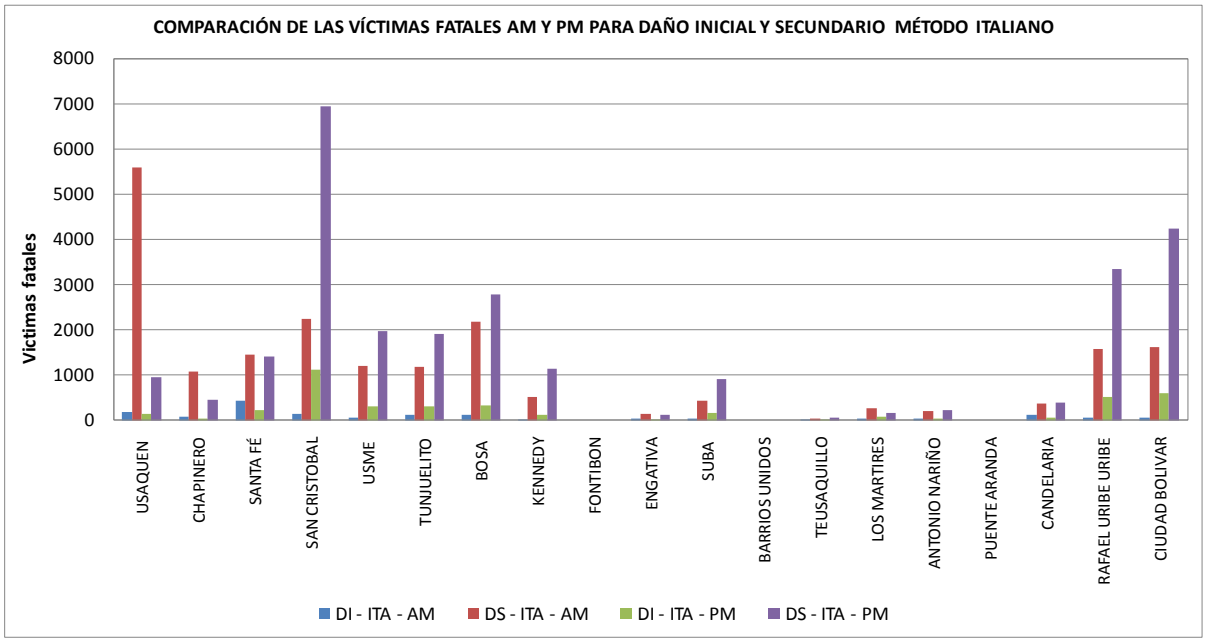


Figura 8.28. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Italiano

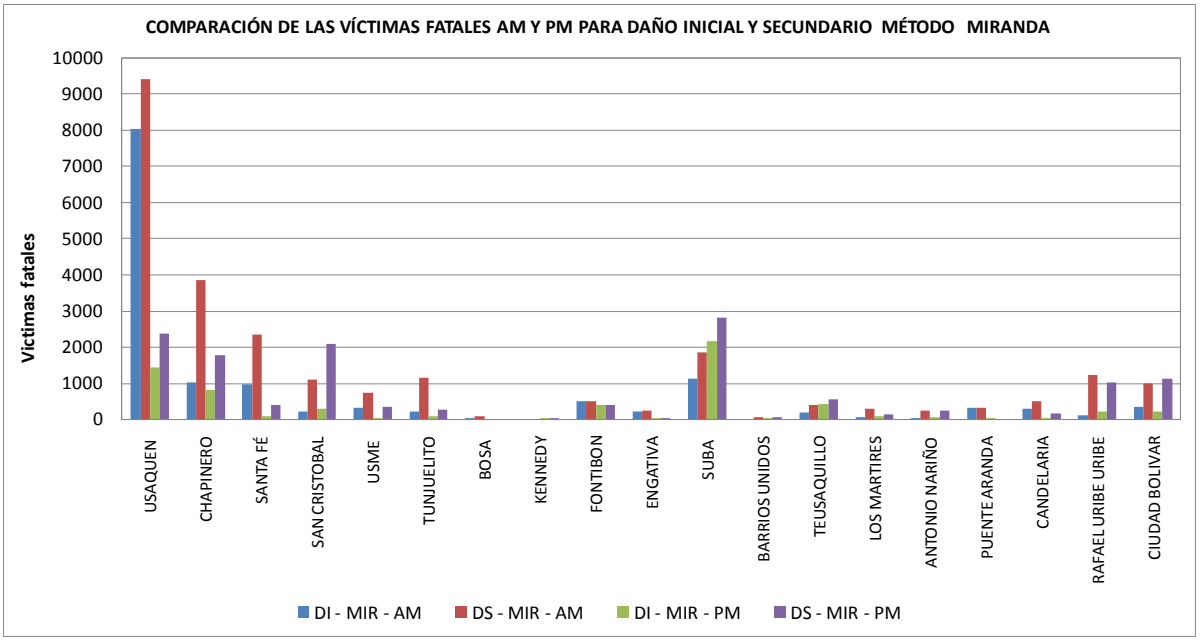


Figura 8.29. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Miranda

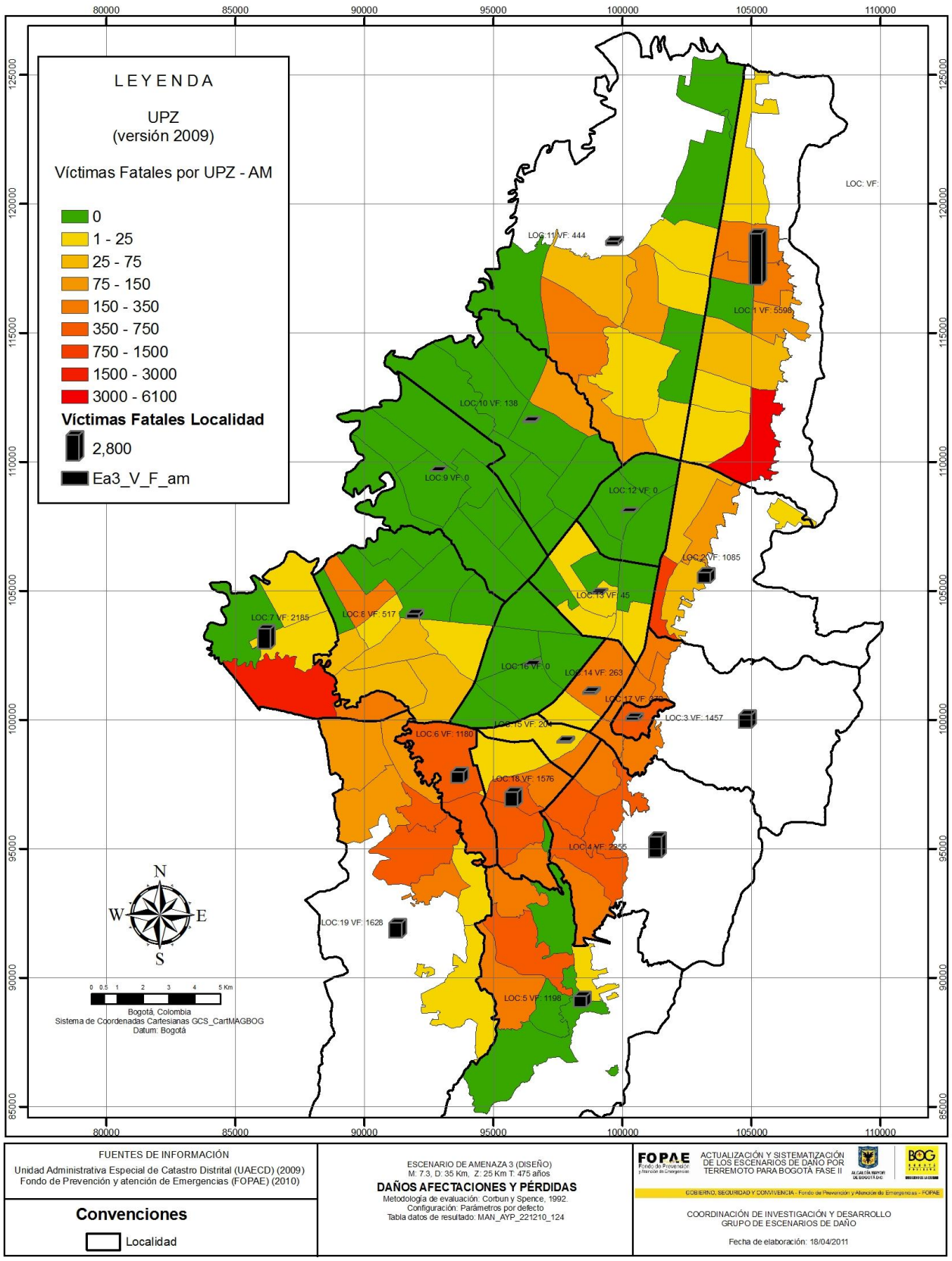


Figura 8.30. Víctimas fatales en el día

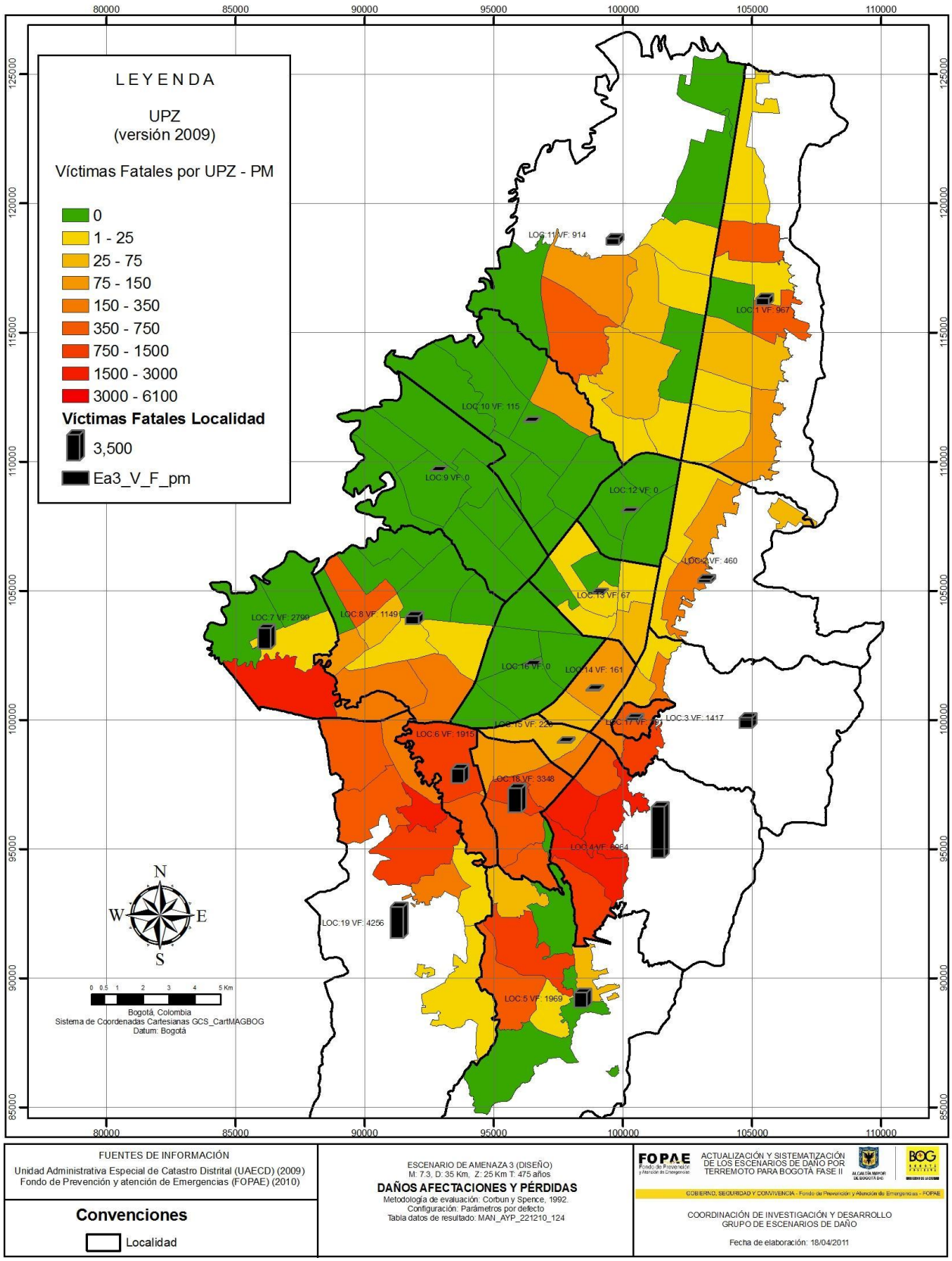


Figura 8.31. Víctimas fatales en la noche

CAPÍTULO 9

9 ESCENARIO 6.5 A 15KM DISEÑO ESPECIAL

El escenario de Diseño especial planteado considera un sismo generado por una fuente cercana con una magnitud de 6.5 en la escala abierta de Richter a una distancia promedio de 15 kilómetros y una profundidad de hasta 15 Km, evento que está asociado a un periodo de retorno equivalente de 1000 años.

9.1 EFECTOS REGIONALES

Los efectos regionales son más complejos que los del escenario de diseño, no se presenta mapa de intensidades dado que su afectación dependerá de la localización exacta del epicentro del sismo.

9.2 DAÑOS INICIALES

De acuerdo con la metodología general de evaluación, dentro del proceso de evaluación de daños para análisis del riesgo sísmico se considera una primera etapa de evaluación de los daños iniciales (causados directamente por el movimiento sísmico). Se presentan ahora los resultados de evaluación de los daños iniciales en edificaciones y líneas vitales (en aquellos elementos para los que la metodología así lo considera. (Ver **Figura 9.1**) correspondientes al escenario de amenaza de "Diseño especial".

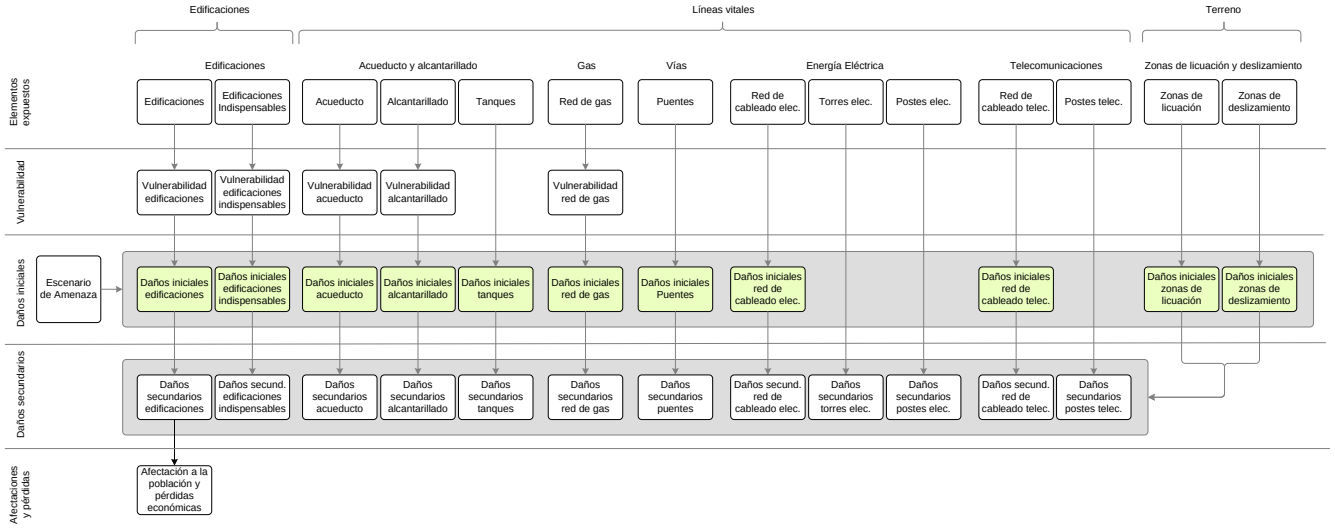


Figura 9.1. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños iniciales en edificaciones y líneas vitales)

9.2.1 Edificaciones

9.2.1.1 Edificaciones Normales

La evaluación de los daños en edificaciones normales en la ciudad de Bogotá se efectuó a partir de las metodologías Italiano y Miranda las cuales usaron las curvas de vulnerabilidad propuestas por DPAE, 2009 y ANDES, 2005, respectivamente. Se observa inicialmente que para el método italiano el índice de daño promedio a nivel de manzanas es de 16.93%, mientras que para el método Miranda alcanza un valor de 18.65%, observando la distribución de los daños a nivel espacial se encuentra que tanto para el método Italiano como para Miranda los daños son generalizados en toda la ciudad salvo unas pequeñas excepciones en el flanco occidental de la ciudad (ver anexo 5).

Los valores promedio del índice de daño obtenidos a nivel localidad para ambos métodos muestran que las localidades de Chapinero, Santa Fe, San Cristóbal y Candelaria se esperan daños fuertes, con valores del índice de daño entre el 34% y el 45%, para localidades como Usaquén, Usme, Tunjuelito, Teusaquillo, Los Mártires, Antonio Nariño y Ciudad Bolívar se

esperan daños moderados a considerables, con valores del índice de daño entre el 15% y el 31%, el resto de localidades presentan daños moderados o bajos ver (**Figura 9.2**). Presenta una distribución sesgada a la izquierda con un pico inicial entre 0% y 5% de daño, con lo cual se esperarían para este escenario daños entre moderados, bajos o nulos para el 51.8% de las edificaciones y daño considerables, fuertes y severos para el 37.9% de las edificaciones, para el método Italiano; mientras que para el método Miranda se esperan daños entre moderados, bajos o nulos para el 52.4% de las edificaciones y daño considerables, fuertes y severos para el 37.3% de las edificaciones.

Adicionalmente, se observa que las localidades con más dispersión en los resultados de daño son Santa fe, San Cristóbal, Tunjuelito, Candelaria, Rafael Uribe y Ciudad Bolívar (ver Anexo 5), situación que se evidencia en una gran heterogeneidad frente a las edificaciones que componen cada una de estas localidades lo que se traduce en un amplio espectro de resultados de daño y de otro lado esta dispersión es consistente con el resultado de vulnerabilidad que intervienen directamente en los resultados de la estimación del daño en el método Italiano.

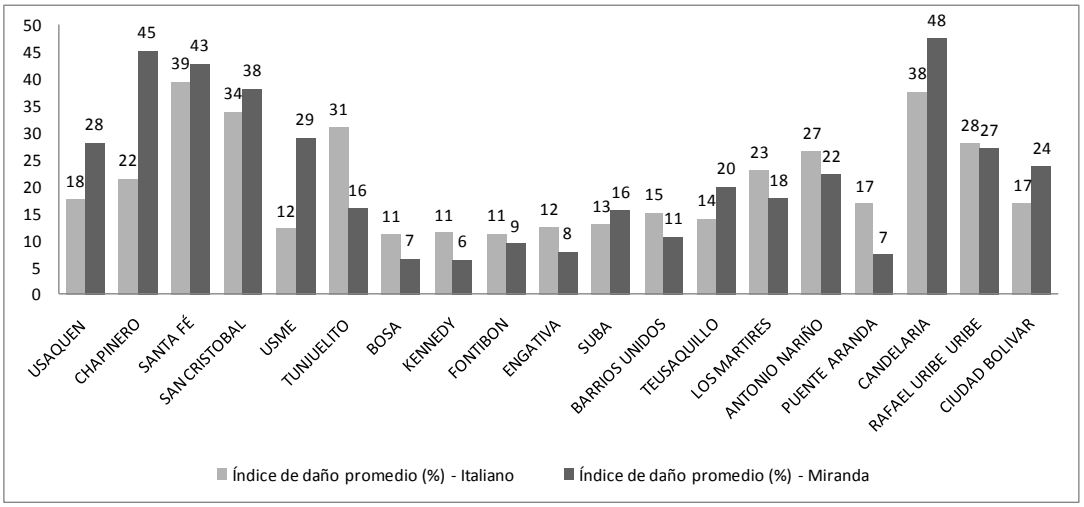


Figura 9.2. Índice de daño promedio por localidades para los métodos italiano y Miranda.

De otro lado se pueden visualizar los daños para este escenario desde la perspectiva del uso de las edificaciones, para lo cual se tiene que las viviendas en usos informales construidas en lotes con uso no autorizado para la construcción presentan una amplia gama de daños que van desde moderados a severos; para los usos residencial, comercial y de servicios, espacio público, recreacional y deportivo presentan daños entre moderados a considerables y por último el uso industrial se esperan daños bajos a moderados (ver **Figura 9.3**).

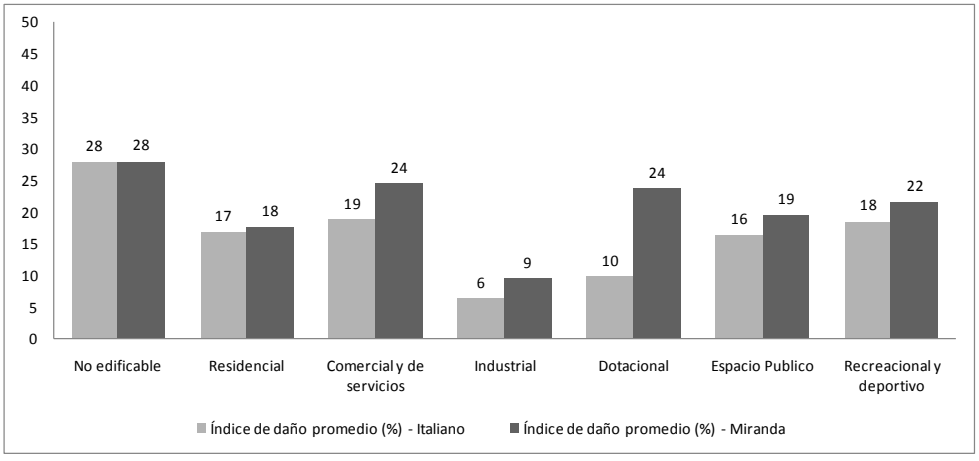


Figura 9.3. Índice de daño en edificaciones de acuerdo a su uso

9.2.1.2 Edificaciones indispensables

El panorama de los potenciales daños en edificaciones indispensables y de atención a la comunidad a las cuales se les ha prestado especial cuidado de teniendo en cuenta su importancia frente a un evento de gran magnitud y a las definiciones expuestas en los códigos de construcciones sismoresistentes NSR-98 y NSR-10, el tratamiento espacial dado a estas construcciones fue la estimación del índice de daño a partir de información primaria de las edificaciones obtenida gracias a la colaboración de las diferentes entidades participantes.

Inicialmente de acuerdo a los valores promedio para los daños iníciales y secundarios deben esperarse daños entre considerables y moderados en este pequeño grupo de edificaciones evaluado, lo cual es consistente para los dos modelos empleados para la evaluación del daño.

ENTIDAD	NÚMERO EDIFICACIONES	ITALIANO - INICIAL				MIRANDA - INICIAL			
		ID PROM	ID MÍN	ID MÁX	ID DESVEST	ID PROM	ID MÍN	ID MÁX	ID DESVEST
Dirección de Gestión del Riesgo para la Prevención y Atención de Desastres	1	0,4	0,4	0,4	-	1,6	1,6	1,6	-
Cuerpo Oficial de Bomceros de Bogotá	18	2,8	0,0	19,4	5,1	3,5	0,5	8,8	2,9
Secretaria de Salud	42	16,3	0,0	100,0	27,2	14,1	0,9	51,0	9,5
Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá	5	8,2	0,0	23,1	11,4	1,6	0,4	3,0	1,3
Policia Nacional	45	8,8	0,0	58,0	11,2	12,2	0,3	45,1	9,9
Empresa de Energía de Bogotá S.A. ESP.	1	0,0	0,0	0,0	-	18,1	18,1	18,1	-
Secretaria de Gobierno	45	13,2	0,0	56,1	14,7	26,2	0,5	99,7	32,2
Terminal de Transporte	2	9,8	0,4	19,1	13,3	5,0	4,1	5,9	1,3
Ejercito Nacional	7	4,2	0,1	14,5	5,2	20,2	5,2	33,1	11,7
ETB	29	1,9	0,0	19,5	4,4	8,0	0,5	27,3	6,6
Cruz Roja Colombiana	1	1,0	1,0	1,0	-	14,9	14,9	14,9	-
Defensa civil	2	4,4	2,6	6,2	2,6	6,0	2,0	9,9	5,6
Oficina de Prevención y Atención de Desastres - Gobernación de Cundinamarca	1	0,9	0,9	0,9	-	2,0	2,0	2,0	-
CODENSA	1	2,3	2,3	2,3	-	7,1	7,1	7,1	-
Total general	200	9,4	0,0	100,0	16,3	14,1	0,3	99,7	18,4

Tabla 9.1. Consolidado de daño inicial en edificaciones indispensables

9.2.2 Líneas vitales Tuberías

La metodología de evaluación de los daños iniciales de las redes de tubería (Kubo & Katayama, 1975) se empleó considerando 4 configuraciones según se indica en la Tabla 9.2.

Configuración	Curva de vulnerabilidad	Configuración método evaluación vulnerabilidad
1	JICA, 2002	Por defecto
2	JICA, 2002	No considera efecto de licuación
3	Eidinger,2001	Por defecto
4	Eidinger,2001	No considera efecto de licuación

Tabla 9.2. Configuraciones empleadas para la evaluación de daños iníciales en las redes de tubería

En el Anexo 5 se presentan los resultados detallados para cada una de las tipologías de red de tubería (acueducto, alcantarillado y gas domiciliario).

9.2.2.1 Red de acueducto

ddd) Configuración 1 - Curva de vulnerabilidad JICA,2002 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0 y 0.76 con una media de 0.08 roturas por kilómetro. La red primaria presenta un rango de tasas de rotura mayor a los de la red secundaria.

eee) Configuración 2 - Curva de vulnerabilidad JICA,2002 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno, la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0 y 0.63 con una media de 0.07 roturas por kilómetro (resultados que son inferiores a los obtenidos con la configuración 1). La red primaria presenta un rango de tasas de rotura mayor a los de la red secundaria.

fff) Configuración 3 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0 y 1.86 con una media de 0.37 roturas por kilómetro. La red secundaria presenta un rango de tasas de rotura mayor los de la red primaria.

ggg) Configuración 4 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno, la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0 y 1.16 y una media de 0.32 roturas por kilómetro. La red secundaria presenta un rango de tasas de rotura mayor los de la red primaria.

9.2.2.2 Red de alcantarillado

hhh) Configuración 1 - Curva de vulnerabilidad JICA,2002 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de alcantarillado presenta valores entre 0 y 0.89 con una media de 0.11 roturas por kilómetro.

La red menor presenta las tasas de roturas más altas, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red, la red de alcantarillado combinado y la red de alcantarillado sanitario presentan las tasas de rotura más altas y la red pluvial presenta las tasas de rotura más bajas.

iii) Configuración 2 - Curva de vulnerabilidad JICA, 2002 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno, la tasa de roturas de la red de alcantarillado presenta valores entre 0 y 0.89 con una media de 0.11 roturas por kilómetro.

La red menor presenta las tasas de roturas más altas, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red, la red de alcantarillado combinado y la red de alcantarillado sanitario presentan las tasas de rotura más altas y la red pluvial presenta las tasas de rotura más bajas.

jjj) Configuración 3 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de alcantarillado presenta valores entre 0.01 y 2.32 con una media de 0.50 roturas por kilómetro.

La red menor presenta las tasas de roturas más altas, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red, la red de alcantarillado sanitario y la red de alcantarillado combinado presentan las tasas de rotura más altas y la red pluvial presenta las tasas de rotura más bajas.

kkk) Configuración 4 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno, la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0.01 y 1.45 y una media de 0.44 roturas por kilómetro.

La red menor presenta las tasas de roturas más altas, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red, la red de alcantarillado sanitario y la red de alcantarillado combinado presentan las tasas de rotura más altas (de hecho presentan rangos de valores similares) y la red pluvial presenta las tasas de rotura más bajas.

9.2.2.3 Red de gas domiciliario

lll) Configuración 1 - Curva de vulnerabilidad JICA,2002 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de gas presenta valores entre 0 y 0.23 con una media de 0.02 roturas por kilómetro. La red primaria presenta las mayores tasas de rotura, seguida por la red secundaria y las acometidas, las cuales presentan tasas similares.

mmm) Configuración 2 - Curva de vulnerabilidad JICA,2002 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno, la tasa de roturas de la red de gas domiciliario presenta valores entre 0 y 0.19 con una media de 0.02 roturas por kilómetro (resultados que son inferiores a los obtenidos con la configuración 1). La red

primaria presenta las mayores tasas de rotura, seguida por la red secundaria y las acometidas, las cuales presentan tasas similares.

nnn) Configuración 3 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (parámetros por defecto)

Usando la configuración predeterminada de los parámetros de evaluación, la tasa de roturas de la red de gas presenta valores entre 0.01 y 0.53 con una media de 0.08 roturas por kilómetro. La red primaria presenta las mayores tasas de rotura, seguida por la red secundaria y las acometidas, las cuales presentan tasas similares.

ooo) Configuración 4 - Curva de vulnerabilidad Eidinger,2001 (sin considerar efecto de licuación del terreno)

Omitiendo el efecto de licuación del terreno, la tasa de roturas de la red de gas domiciliario presenta valores entre 0.01 y 0.35 con una media de 0.07 roturas por kilómetro. La red primaria presenta las mayores tasas de rotura, seguida por la red secundaria y las acometidas, las cuales presentan tasas similares.

9.2.2.4 Síntesis

De acuerdo con la metodología de evaluación, las tasas de rotura obtenidas mediante las curvas de vulnerabilidad de Eidinger 2001 son en todos los casos mayores a las obtenidas mediante las curvas de vulnerabilidad de JICA 2002 (independientemente de la red evaluada y de la configuración usada durante la evaluación de la vulnerabilidad sísmica).

Igualmente, las tasas de rotura obtenidas a partir de los resultados de vulnerabilidad evaluados con la configuración por defecto son mayores a los obtenidos omitiendo el efecto de licuación del terreno.

De las tres tipologías consideradas en la evaluación, las redes de acueducto y alcantarillado presentan las tasas de roturas más altas y un comportamiento más heterogéneo. La red de gas domiciliario presenta las tasas de roturas más bajas y un comportamiento más homogéneo. Lo anterior se cumple para las 4 configuraciones empleadas.

Para el caso de la red de acueducto, empleando las curvas de vulnerabilidad de JICA 2002 la red primaria presenta un rango de tasas de daño mayor a los de la red secundaria (independientemente de la configuración empleada para evaluar la vulnerabilidad de la red) pero al emplear las curvas de vulnerabilidad de Eidinger 2001 se observa el comportamiento contrario (i.e. el rango de tasas de rotura es mayor para la red secundaria).

En el caso de la red de alcantarillado, la tasa de rotura es mayor en la red menor, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red de alcantarillado, las redes de alcantarillado y sanitario presentan las tasas de roturas más altas, mientras que la red de alcantarillado pluvial presenta las menores tasas de rotura. Lo anterior se cumple para las 4 configuraciones empleadas.

En el caso de la red de gas domiciliario, la tasa de rotura es mayor en la red primaria, seguida por la red secundaria y las acometidas las cuales presentan valores similares. Lo anterior se cumple para las 4 configuraciones empleadas.

9.2.3 Líneas vitales Cableado

La metodología de evaluación de los daños iniciales de las redes de cableado (Kubo & Katayama, 1975) se empleó usando la configuración por defecto y la curva de vulnerabilidad de JICA (2002).

En el Anexo 5 se presentan los resultados detallados para cada una de las tipologías de red de cableado (red de energía eléctrica y red de telecomunicaciones).

9.2.3.1 Red de energía eléctrica

Usando la configuración predeterminada del método de evaluación, el porcentaje de daño de la red de energía eléctrica presenta valores entre 0.0023% y 0.08% con una media de 0.021%. Respecto a la categoría de la red, no existen diferencias significativas entre los porcentajes de daño de las redes de alta, media y baja tensión. En cuanto al tipo de red, la red aérea presenta porcentajes de daño mayores a los de la red canalizada.

9.2.3.2 Red de telecomunicaciones

Usando la configuración predeterminada del método de evaluación, el porcentaje de daño de la red de telecomunicaciones presenta valores entre 0.0023% y 0.08% con una media de 0.016%. Respecto a la categoría de la red, la red primaria

presenta mayores porcentajes de daño que la red secundaria. En cuanto al tipo de red, la red aérea presenta porcentajes de daño mayores a los de la red canalizada.

9.2.3.3 Síntesis

De acuerdo con la metodología de evaluación, para este escenario de amenaza sísmica la red de distribución de energía eléctrica alcanza un mayor porcentaje de daño que la red de telecomunicaciones.

Para el caso de la red de energía eléctrica, no existe mayor diferencia entre los porcentajes de daño de las redes de alta, mediana y baja tensión. En el caso de la red de telecomunicaciones, la red secundaria presenta mayor porcentaje de daño que la red primaria.

En ambos casos (energía eléctrica y telecomunicaciones), los porcentajes de daño son mayores en la red aérea que en la canalizada.

9.2.4 Líneas vitales Tanques

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños iniciales de los tanques de almacenamiento (American Life Alliance, 2001), para este escenario de daño los tanques de almacenamiento analizados presentan estado de daño 2, equivalente a un porcentaje de pérdida entre el 1 y el 20% (donde el estado 1 equivale a un porcentaje de pérdida del 0%, el estado de daño 2 a un porcentaje de pérdida entre el 1 y el 20%, el estado de daño 3 a un porcentaje de pérdida entre el 20 y el 40%, el estado de daño 4 a un porcentaje de pérdida entre el 40 y el 100%, y el estado de daño 5 a un porcentaje de pérdida del 100%). Lo anterior independientemente del nivel de llenado o de la presencia de sistemas de anclaje de los tanques analizados.

9.2.5 Líneas vitales Puentes

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños iniciales de los puentes vehiculares y peatonales (Risk Management Solutions, 1997), para este escenario de amenaza los puentes de la ciudad presentan estados de daño desde el nivel uno hasta el nivel cinco (donde el estado 1 equivale a ningún daño, el estado 2 a daño menor, el estado 3 a daño moderado, el estado 4 a daño generalizado y el estado 5 a daño total).

Los puentes vehiculares presentan estados de daño de 1 a 4. Los puentes peatonales presentan estados de daño de 1 a 5, siendo más frecuente el estado de daño 1, 2 y 3.

9.2.6 Efectos colaterales

En la **Figura 9.4** se ilustran los estados de daño por efectos colaterales de licuación y deslizamiento evaluados para el correspondiente escenario de amenaza.

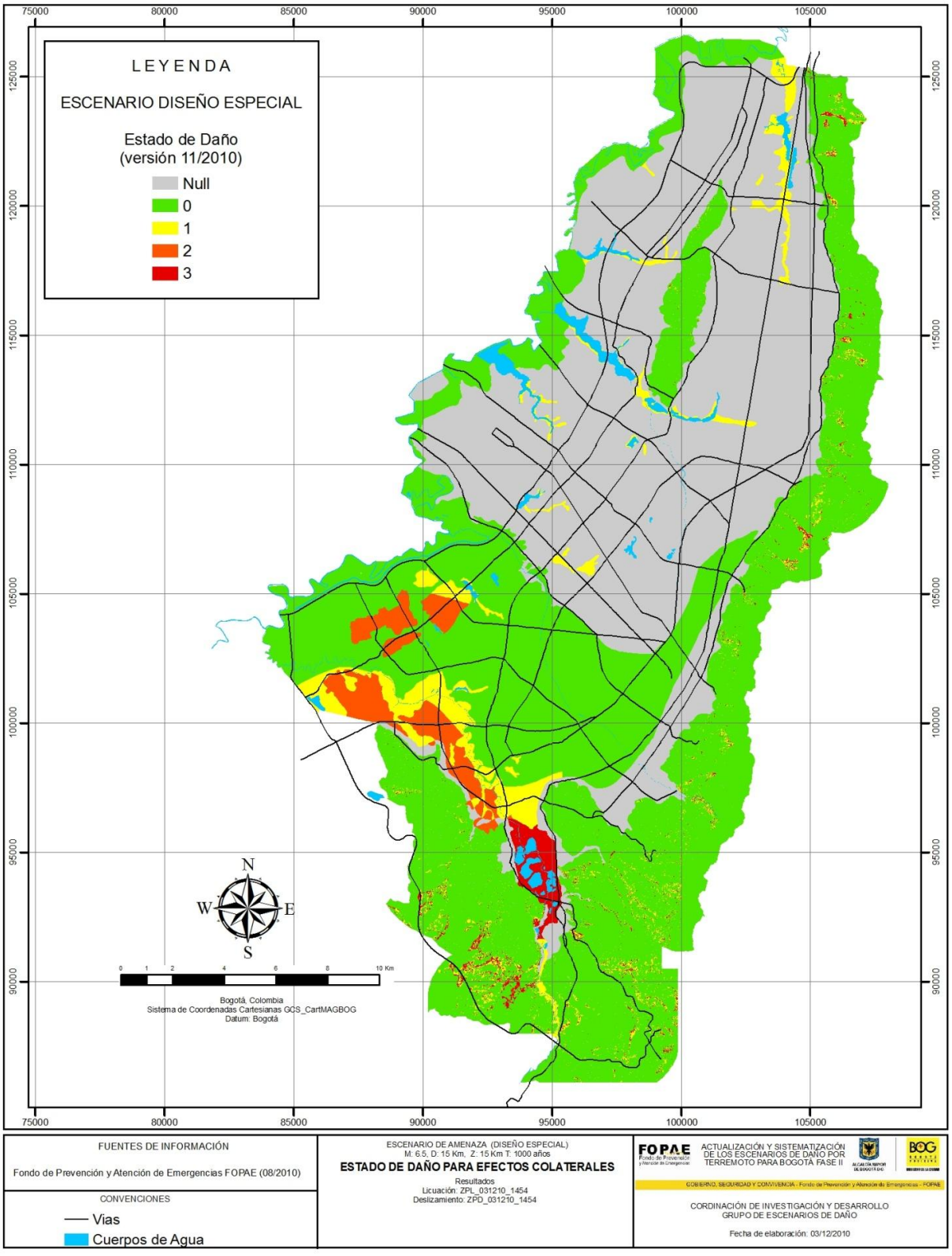


Figura 9.4. Estado de daño por licuación y deslizamiento

9.3 DAÑOS SECUNDARIOS

De acuerdo con la metodología general de evaluación, dentro del proceso de evaluación de daños para análisis del riesgo sísmico se considera una etapa de evaluación de los daños secundarios (causados por los efectos colaterales de licuación y deslizamiento. Ver **Figura 9.5**). Los resultados de la evaluación de los daños secundarios en edificaciones y líneas vitales correspondientes al escenario de amenaza de "Diseño especial" se presentan a continuación.

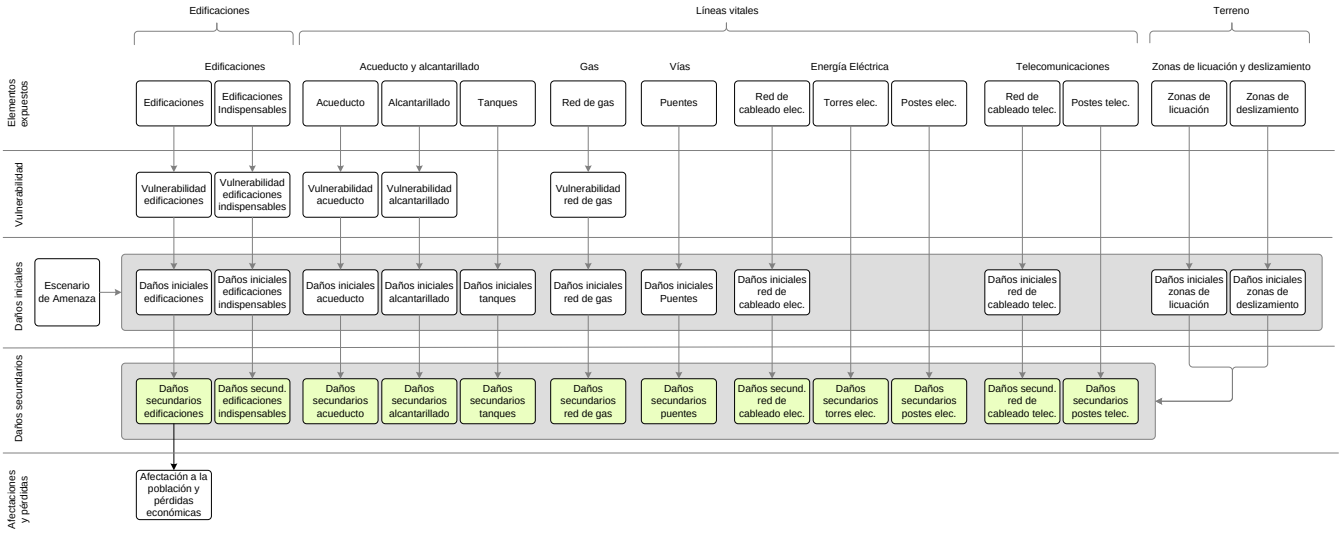


Figura 9.5. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños secundarios en edificaciones y líneas vitales)

9.3.1 Edificaciones

9.3.1.1 Edificaciones Normales

La evaluación de los daños secundarios en edificaciones normales en la ciudad de Bogotá se efectuó a partir de los resultados de daños iníciales obtenidos por las metodologías Italiano y Miranda usando la configuración por defecto (NC=10). Se observa inicialmente que para el método italiano el índice de daño secundario promedio a nivel de manzanas para toda la ciudad es de 18.36%, con un incremento de 1.43% frente al obtenido para el daño inicial, mientras que para el método Miranda alcanza un valor de 20.11%, es decir 1.46% más que el daño inicial.

Las localidades que más incrementan los daños por los efectos colaterales en el terreno son Bosa, Kennedy, Tunjuelito, Usme y Ciudad Bolívar, para las tres primeras localidades mencionadas el fenómeno que controla este incremento obedece a la licuación del terreno y para las localidades restantes los posibles deslizamientos intervienen en el incremento del daño inicial (ver **Figura 9.7**). Para los resultados obtenidos por el método italiano se presentan los daños son generalizados en toda la extensión de la ciudad se esperan daños entre considerables a fuertes (ver **Figura 9.6**).

Los análisis estadísticos, para el índice de daño se muestra una distribución sesgada a la izquierda con un pico inicial entre 0% y 5% de daño, se esperaran para este escenario daños nulos a moderados para el 49.5% de las edificaciones y daño considerables a severo para el 40.7% de las edificaciones.

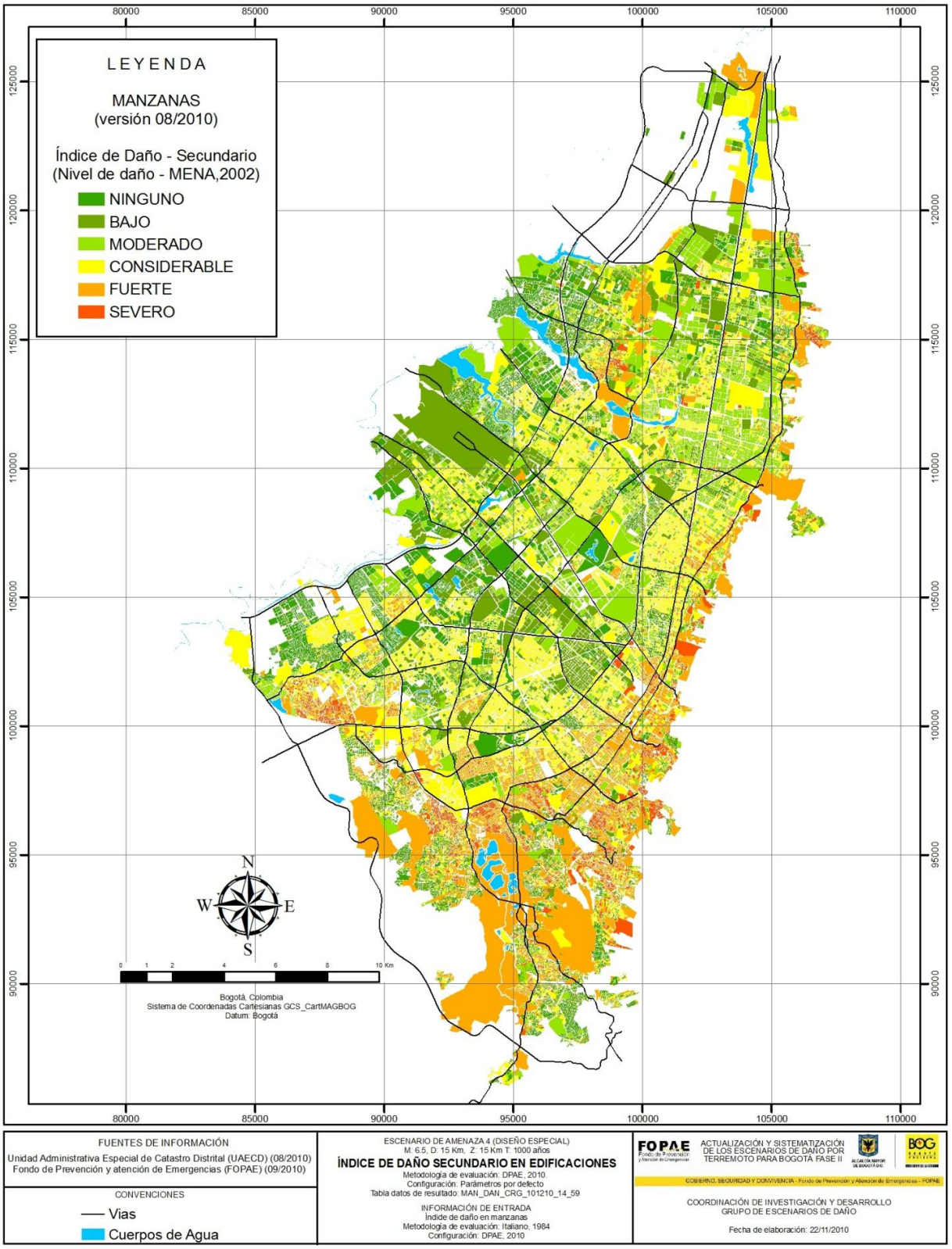


Figura 9.6. Índice de daño secundario en manzanas método italiano para escenario de diseño especia

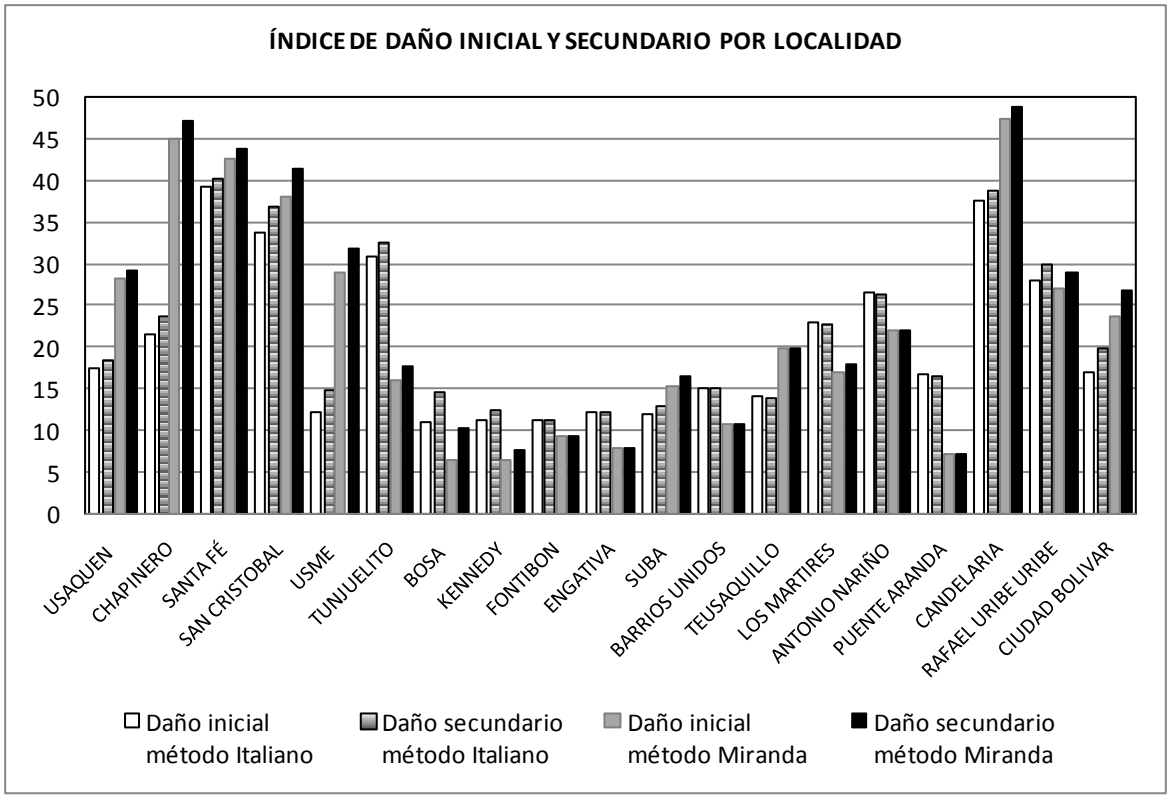


Figura 9.7. Comparación del índice de daño inicial y secundario por localidad

9.3.1.2 Edificaciones Indispensables

Particularmente se encuentra que para daño secundario los sectores de Ejercito, Terminales de Transporte Terrestre, Gobierno, Empresa de Energía de Bogotá, Ponal y Secretaría de Salud se esperan daños considerables, mientras que para los sectores de Cruz Roja y ETB posiblemente tengan daños moderados, para el resto de sectores se tiene la perspectiva de que presenten daños bajos o nulos, sin embargo los valores presentados deben ser tomados como valores índice dada la muestra tan reducida con la cual se obtuvieron los resultados, salvo en las edificaciones del cuerpo oficial de bomberos y Secretaría de salud con los cuales se logro levantar un alto porcentaje de las edificaciones a cargo de estas instituciones.

ENTIDAD	NÚMERO EDIFICACIONES	ITALIANO - SECUNDARIO				MIRANDA - SECUNDARIO			
		ID PROM	ID MÍN	ID MÁX	ID DESVEST	ID PROM	ID MÍN	ID MÁX	ID DESVEST
Dirección de Gestión del Riesgo para la Prevención y Atención de Desastres	1	0,4	0,4	0,4	-	1,6	1,6	1,6	-
Cuerpo Oficial de Bomceros de Bogotá	18	3,2	0,0	19,4	5,0	8,0	0,5	45,5	13,5
Secretaria de Salud	42	17,7	0,0	100,0	29,9	18,1	0,9	100,0	20,8
Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá	5	8,2	0,0	23,1	11,4	1,6	0,4	3,0	1,3
Policia Nacional	45	10,2	0,0	70,2	14,5	16,1	0,3	100,0	20,5
Empresa de Energía de Bogotá S.A. ESP.	1	0,0	0,0	0,0	-	18,1	18,1	18,1	-
Secretaria de Gobierno	45	15,2	0,0	100,0	19,6	28,9	0,5	100,0	33,9
Terminal de Transporte	2	11,8	4,4	19,1	10,4	25,2	5,9	44,6	27,4
Ejercito Nacional	7	4,2	0,1	14,5	5,2	20,2	5,2	33,1	11,7
ETB	29	1,9	0,0	19,5	4,4	9,6	0,5	52,5	10,6
Cruz Roja Colombiana	1	1,0	1,0	1,0	-	14,9	14,9	14,9	-
Defensa civil	2	4,4	2,6	6,2	2,6	6,0	2,0	9,9	5,6
Oficina de Prevención y Atención de Desastres - Gobernación de Cundinamarca	1	0,9	0,9	0,9	-	2,0	2,0	2,0	-
CODENSA	1	2,3	2,3	2,3	-	7,1	7,1	7,1	-
Total general	200	10,5	0,0	100,0	18,9	17,3	0,3	100,0	23,1

Tabla 9.3. Consolidado de daño secundario en edificaciones indispensables

9.3.2 Líneas vitales Tuberías

La metodología de evaluación de los daños secundarios de las redes de tubería se empleó considerando una única configuración a partir de los resultados de daño inicial evaluados mediante la metodología Kubo & Katayama (1975), sin considerar el efecto de licuación (CL=1.0), usando la curva de vulnerabilidad de Eidinger (2001) y con un valor de corrección por efectos colaterales VC=0.33.

La **Figura 9.8** presenta un consolidado estadístico de los resultados de índice de daño secundario para las tres tipologías de tubería obtenidos para este escenario de amenaza mediante la configuración descrita y la **Figura 9.9** presenta el mapa de resultados. En el Anexo 5 se presentan los resultados detallados para cada una de las tipologías de red de tubería (acueducto, alcantarillado y gas domiciliario).

9.3.2.1 Red de acueducto

Al corregir los resultados de daño inicial considerando los efectos colaterales de licuación y deslizamiento mediante la metodología propuesta, la tasa de roturas de la red de acueducto presenta valores entre 0.005 y 1.98 y una media de 0.32 roturas por kilómetro. La red secundaria presenta un rango de tasas de rotura mayor que el de la red primaria.

9.3.2.2 Red de alcantarillado

Al corregir los resultados de daño inicial considerando los efectos colaterales de licuación y deslizamiento, la tasa de roturas de la red de alcantarillado presenta valores entre 0.01 y 2.48 y una media de 0.45 roturas por kilómetro.

La red menor presenta las tasas de roturas más altas, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red, la red de alcantarillado sanitario y la red de alcantarillado combinado presentan las tasas de rotura más altas y la red pluvial presenta las tasas de rotura más bajas.

9.3.2.3 Red de gas domiciliario

Al corregir los resultados de daño inicial considerando los efectos colaterales de licuación y deslizamiento, la tasa de roturas de la red de gas domiciliario presenta valores entre 0.01 y 0.59 con una media de 0.07 roturas por kilómetro. La red primaria presenta las mayores tasas de rotura, seguida por la red secundaria y las acometidas, las cuales presentan tasas similares.

9.3.2.4 Síntesis

De acuerdo con la metodología de evaluación, las tasas de rotura corregidas por el daño causado por efectos colaterales (licuación y deslizamiento) son en todos los casos mayores a las obtenidas durante la evaluación de los daños iniciales (independientemente de la red evaluada).

De las tres tipologías consideradas en la evaluación, las redes de acueducto y alcantarillado presentan las tasas de roturas más altas y un comportamiento más heterogéneo. La red de gas domiciliario presenta las tasas de roturas más bajas y un comportamiento más homogéneo.

Para el caso de la red de acueducto, la red secundaria presenta un rango de tasas de daño mayor a los de la red primaria.

En el caso de la red de alcantarillado, la tasa de rotura es mayor en la red menor, seguida por la red secundaria y la red primaria. Respecto al tipo de red de alcantarillado, las redes de alcantarillado combinado y sanitario presentan las tasas de roturas más altas, mientras que la red de alcantarillado pluvial presenta las menores tasas de rotura.

En el caso de la red de gas domiciliario, la tasa de rotura es mayor en la red primaria, seguida por la red secundaria y las acometidas las cuales presentan valores similares.

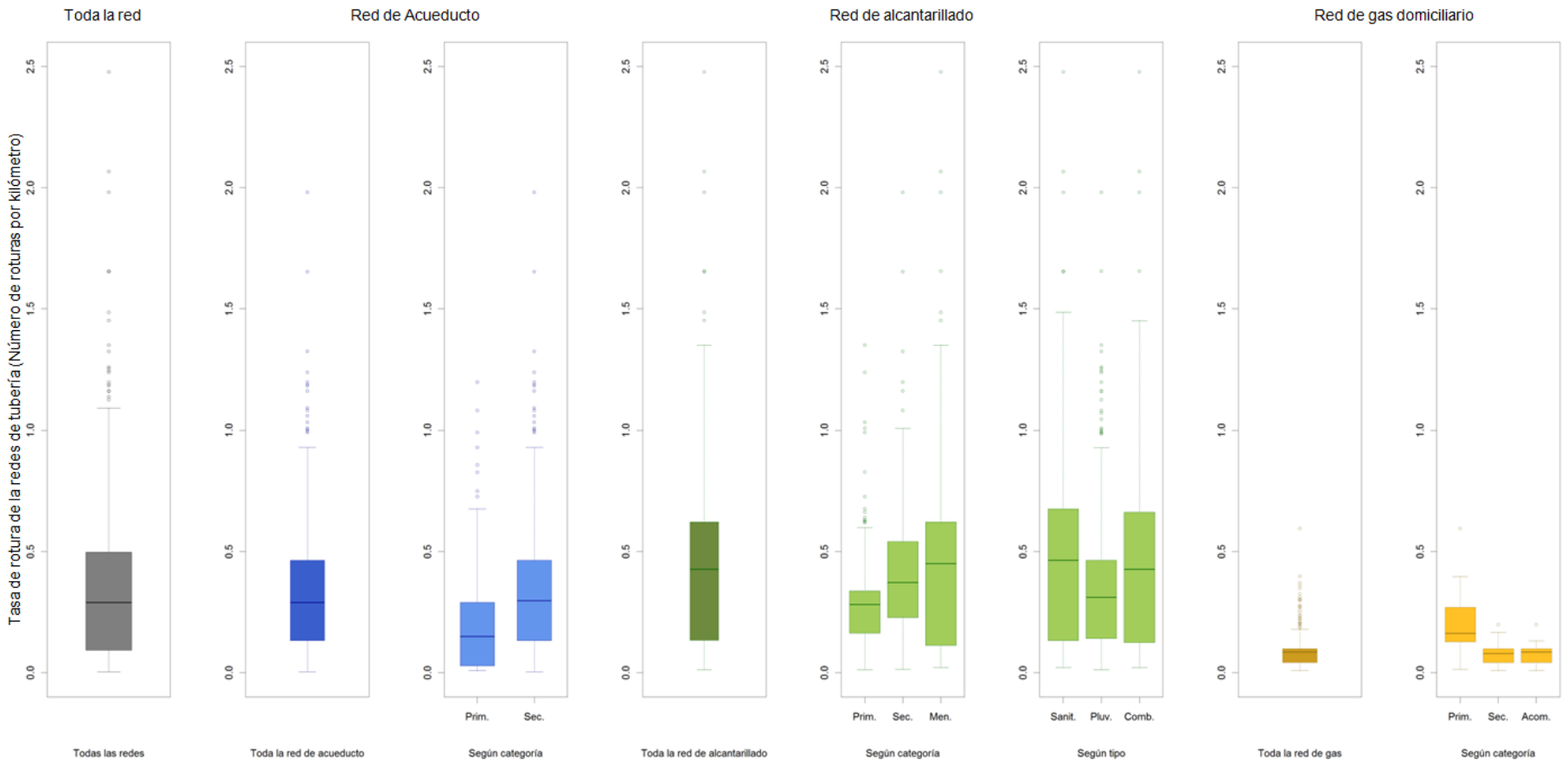


Figura 9.8. Resumen resultados de daño secundario de la red de tuberías

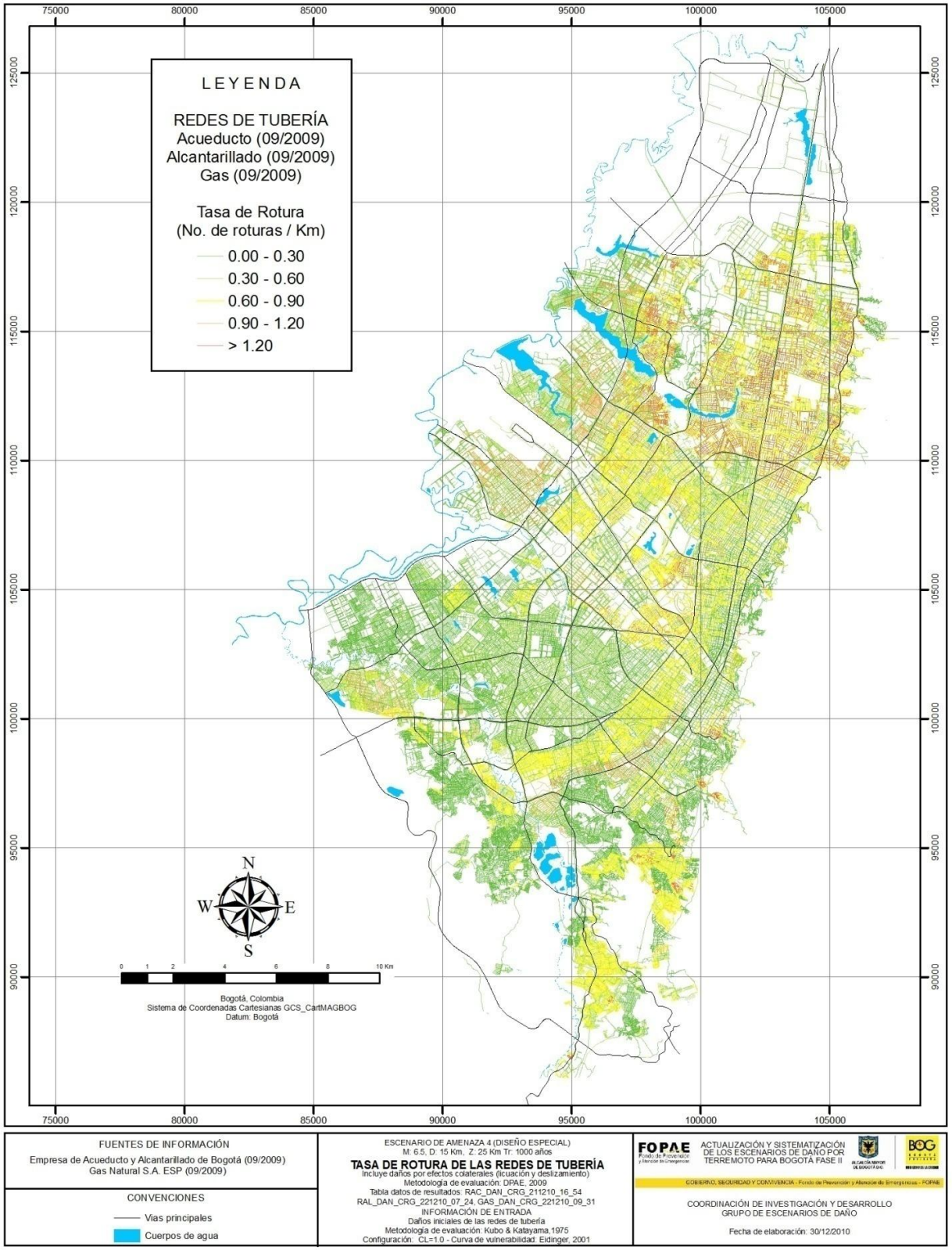


Figura 9.9. Mapa de resultados de daño secundario de la red de tuberías

9.3.3 Líneas vitales Cableado

La metodología de evaluación de los daños secundarios de las redes de cableado se empleó considerando una única configuración a partir de los resultados de daño inicial evaluados mediante la metodología Kubo & Katayama (1975) y usando la curva de vulnerabilidad de JICA (2002) y con un valor de corrección por efectos colaterales VC=0.33.

La **Figura 7.11** presenta un consolidado estadístico de los resultados de daño secundario para las dos tipologías de redes de cableado obtenidos para este escenario de amenaza mediante la configuración descrita y la **Figura 7.12** presenta el mapa de resultados. En el Anexo 5 se presentan los resultados detallados para cada una de las tipologías de red de cableado (red de energía eléctrica y red de telecomunicaciones).

En los siguientes numerales se presenta el análisis de los resultados.

9.3.3.1 Red de energía eléctrica

Al corregir los resultados de daño inicial considerando los efectos colaterales de licuación y deslizamiento mediante la metodología propuesta, el porcentaje de daño de la red de energía eléctrica presenta valores entre 0.0023% y 0.1595% con una media de 0.0220%. Respecto a la categoría de la red, la red de baja tensión presenta los mayores porcentajes de daño, seguida por la red de mediana tensión y por la red de alta tensión que presenta los menores porcentajes de daño. En cuanto al tipo de red, la red aérea presenta porcentajes de daño mayores a los de la red canalizada.

9.3.3.2 Red de telecomunicaciones

Al corregir los resultados de daño inicial considerando los efectos colaterales de licuación y deslizamiento mediante la metodología propuesta, el porcentaje de daño de la red de telecomunicaciones presenta valores entre 0.0023% y 0.1066% con una media de 0.0159%. Respecto a la categoría de la red, la red secundaria presenta mayores porcentajes de daño que la red primaria. En cuanto al tipo de red, la red aérea presenta porcentajes de daño mayores a los de la red canalizada.

9.3.3.3 Síntesis

De acuerdo con la metodología de evaluación, los porcentajes de daño corregidas por el daño causado por efectos colaterales son en todos los casos mayores a las obtenidas a aquellas obtenidas durante la evaluación de los daños iniciales (independientemente de la red evaluada). Para el caso de la red de energía eléctrica, la red de baja tensión presenta los mayores porcentajes de daño, seguida por la red de mediana tensión y por la red de alta tensión que presenta los menores porcentajes de daño. En el caso de la red de telecomunicaciones, la red secundaria presenta mayor porcentaje de daño que la red primaria. En ambos casos (red de energía eléctrica y telecomunicaciones), los porcentajes de daño son mayores en la red aérea que en la canalizada.

Resumen de resultados - Tasa de rotura de la redes de cableado (Porcentaje de daño)
Metodología: Kubo & Katayama (1975)

Curva de vulnerabilidad: JICA,2001
Corrección por efectos colaterales (licuación y deslizamiento): FOPAE, 2010

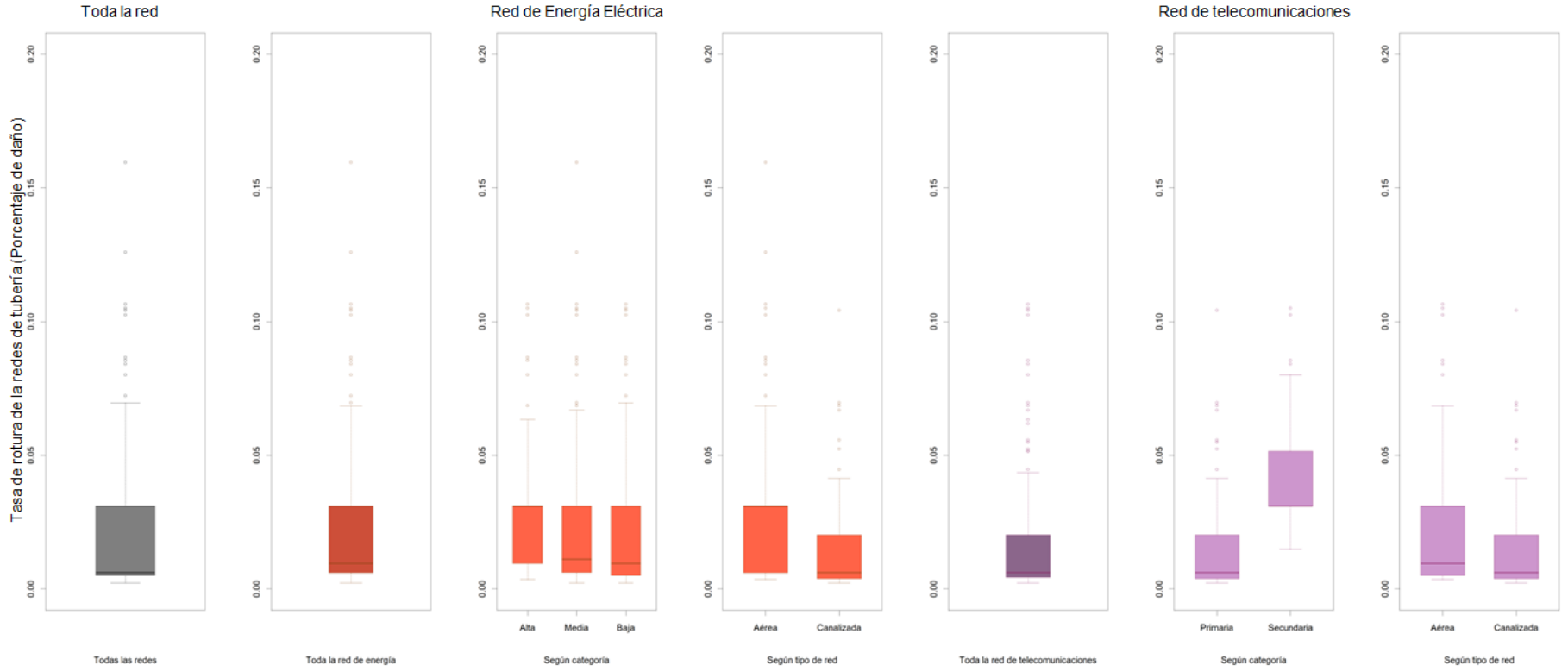


Figura 9.10. Resumen resultados de daño secundario de la red de cableado

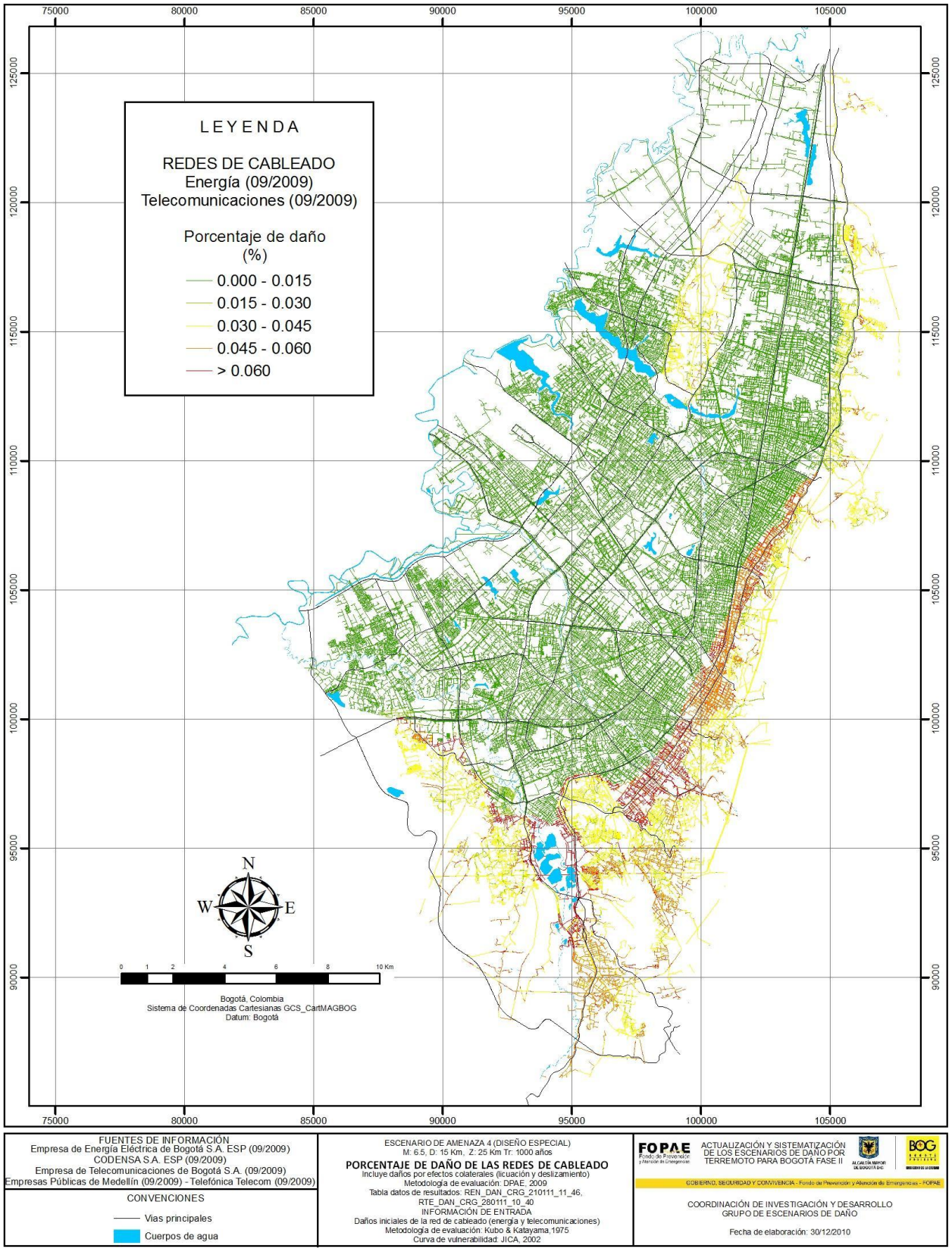


Figura 9.11. Mapa de resultados de daño secundario de la redes de cableado

9.3.4 Líneas vitales Tanques

La metodología de evaluación de los daños secundarios de los tanques de almacenamiento se empleó considerando una única configuración a partir de los resultados de daño inicial evaluados mediante la metodología (American Lifelines Alliance, 2001) con un valor de corrección por efectos colaterales VC=1.0.

De acuerdo con la metodología de evaluación de daños secundarios, para este escenario de amenaza los tanques de almacenamiento analizados presentan estado de daño (donde el estado 1 equivale a un porcentaje de pérdida del 0%, el estado de daño 2 a un porcentaje de pérdida entre el 1 y el 20%, el estado de daño 3 a un porcentaje de pérdida entre el 20 y el 40%, el estado de daño 4 a un porcentaje de pérdida entre el 40 y el 100%, y el estado de daño 5 a un porcentaje de pérdida del 100%). Lo anterior independientemente del nivel de llenado o de la presencia de sistemas de anclaje de los tanques analizados.

La **Figura 9.12** presenta el resumen estadístico de los resultados y la **Figura 9.13** el mapa de resultados.

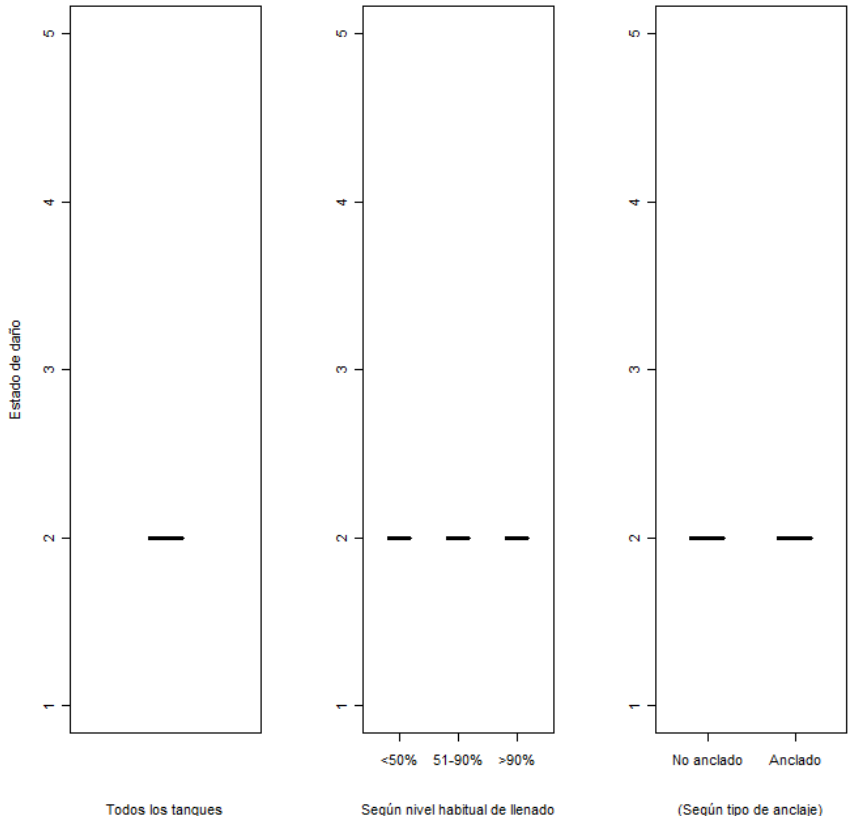


Figura 9.12. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los tanques de almacenamiento

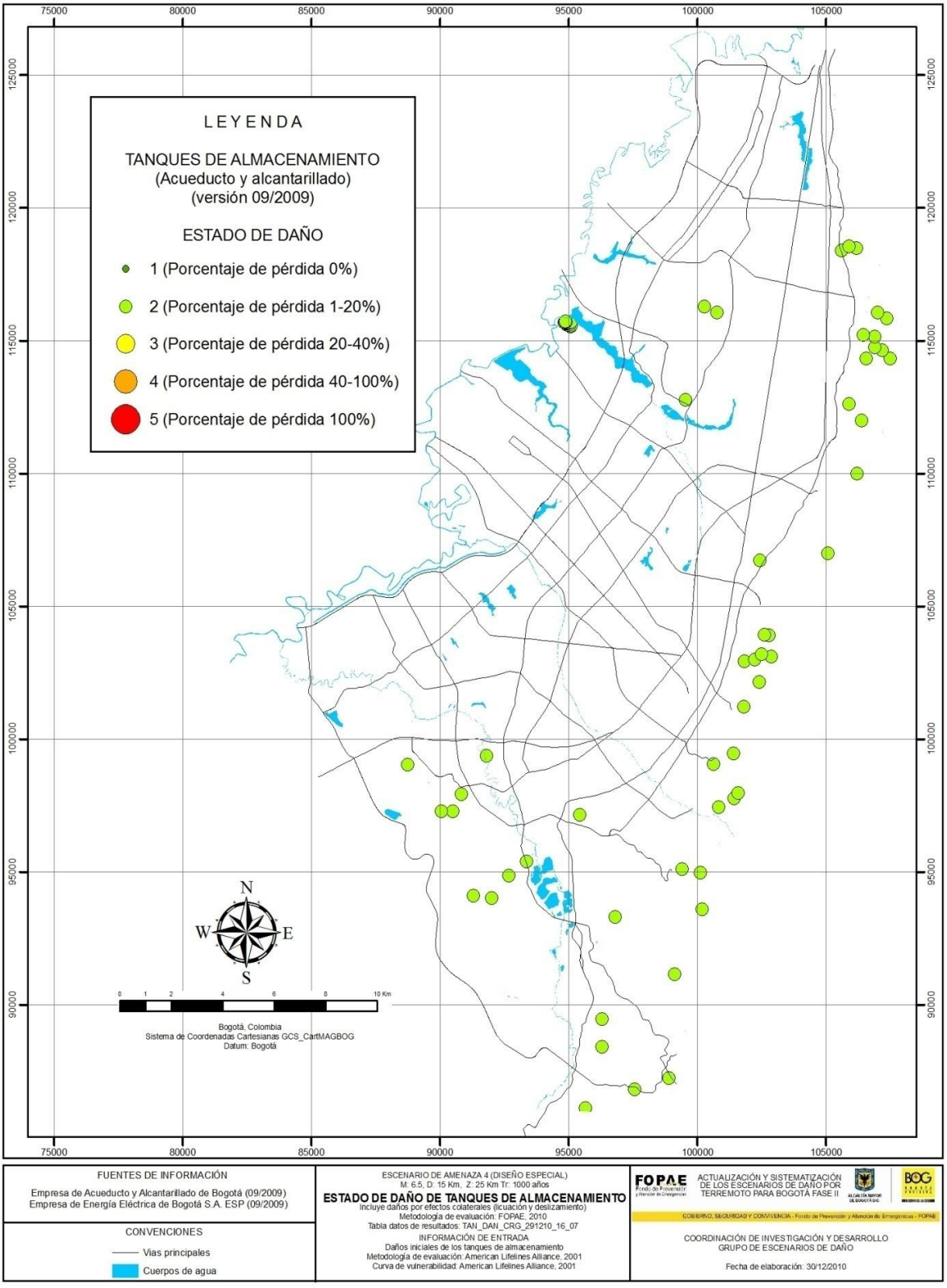


Figura 9.13. Mapa de resultados de daño secundario de los tanques de almacenamiento

9.3.5 Líneas vitales Puentes

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños secundarios de los puentes vehiculares y peatonales, para este escenario de amenaza los puentes de la ciudad presentan estados de daño desde el nivel uno hasta el nivel cinco, siendo más frecuentes los estados de daño 1, 2, 3 y 4 (donde el estado 1 equivale a ningún daño, el estado 2 a daño menor, el estado 3 a daño moderado, el estado 4 a daño generalizado y el estado 5 a daño total).

Los puentes vehiculares presentan estados de daño de 1 a 5, siendo más frecuentes los estados de daño 1, 2, 3 y 4. Los puentes peatonales presentan estados de daño de 1 a 5. La **Figura 6.15** presenta el resumen estadístico y la **Figura 6.16** el mapa de resultados.

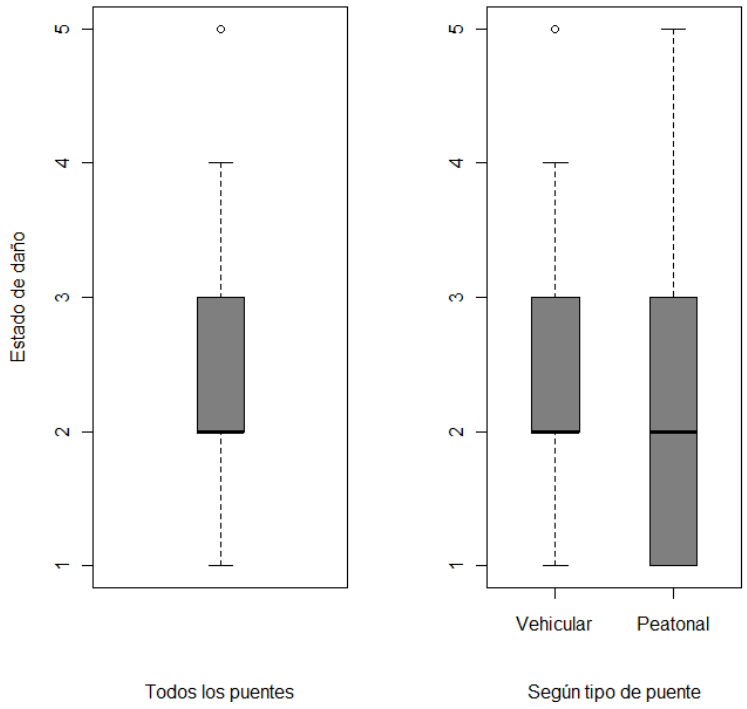


Figura 9.14. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los puentes vehiculares y peatonales

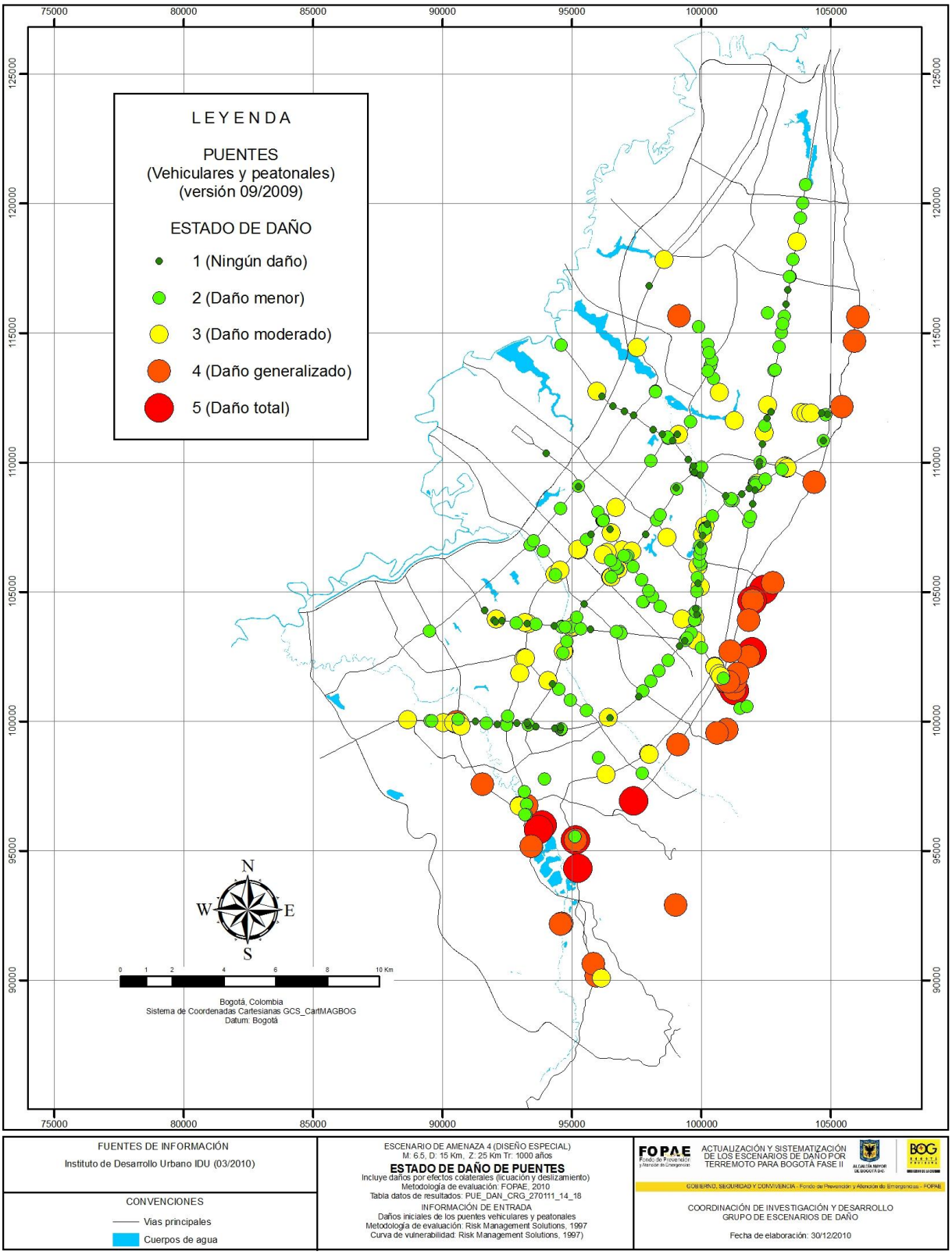


Figura 9.15. Mapa de resultados de daño secundario en puentes vehiculares y peatonales

9.3.6 Líneas vitales Torres

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños secundarios en torres, para este escenario de amenaza las torres de la red de energía eléctrica presentan estados de daño desde el nivel cero hasta el nivel tres (donde el estado 0 equivale a ningún daño, el estado 1 a daño bajo, el estado 2 a daño moderado y el estado 3 a daño severo), siendo más frecuente el estado de daño 0. Para este caso, no existe diferencia significativa entre los resultados de daño de las torres de alta y mediana tensión. La **Figura 6.17** presenta el resumen estadístico y la **Figura 6.18** el mapa de resultados.

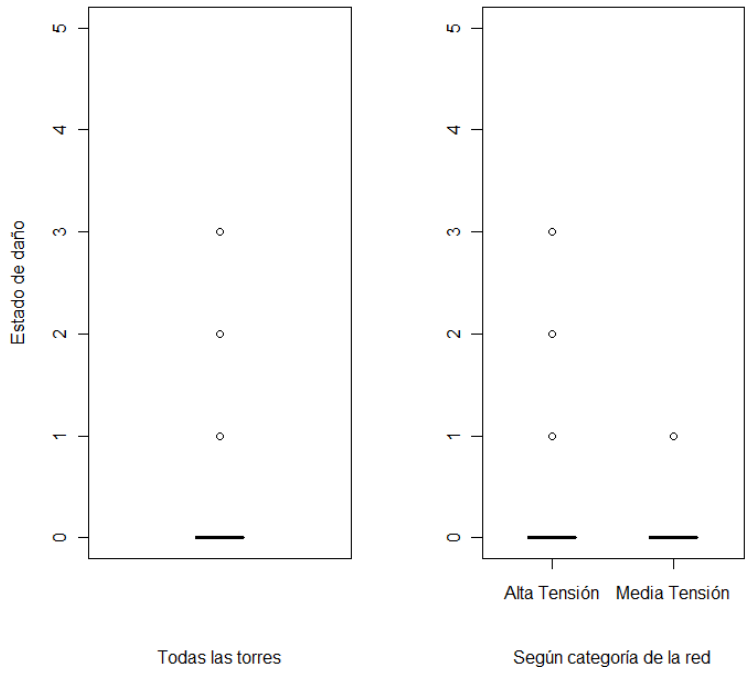


Figura 9.16. Resumen de resultados de estado de daño secundario de las torres de la red de energía eléctrica

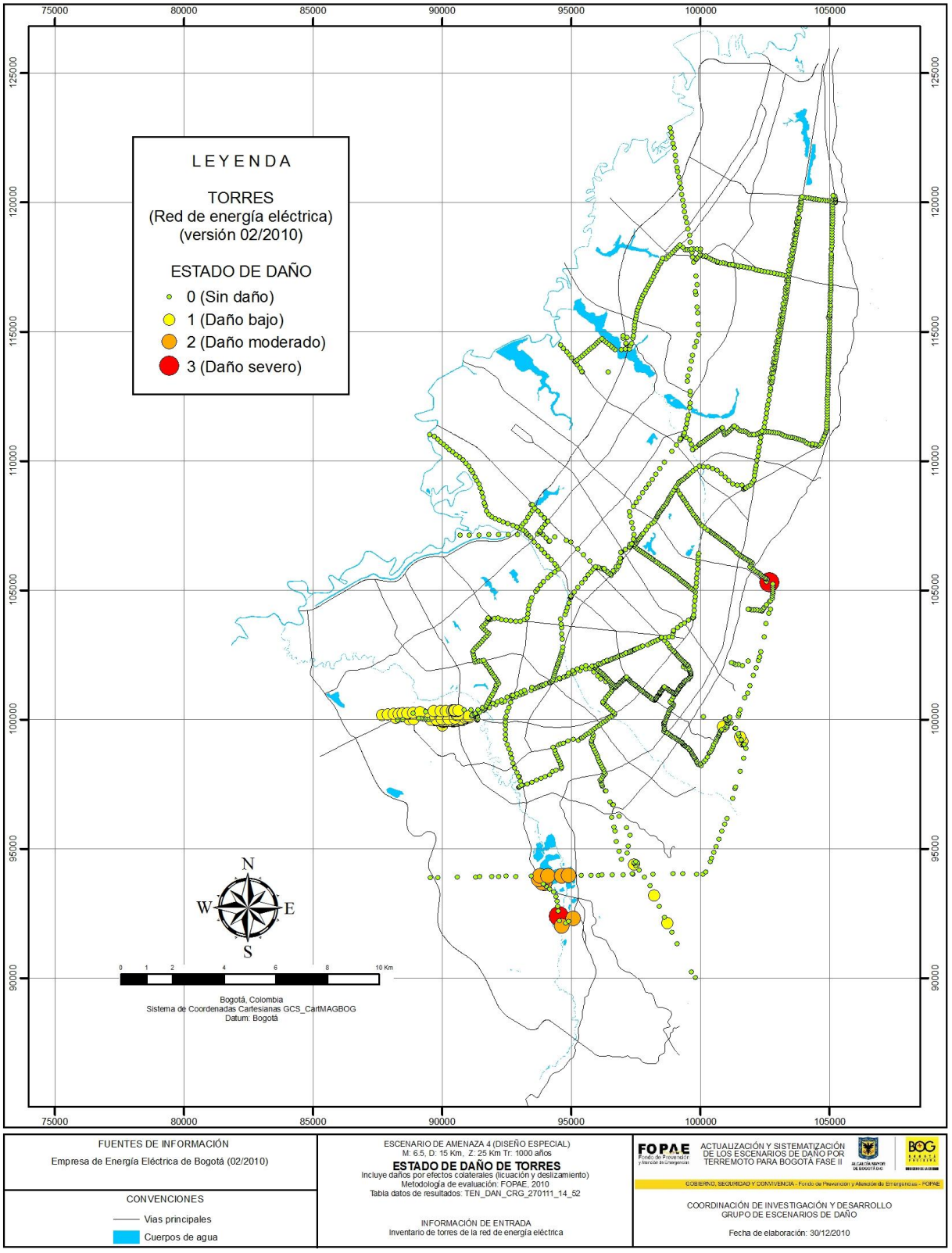


Figura 9.17. Mapa de resultados de daño secundario en torres de la red de energía eléctrica

9.3.7 Postes

9.3.7.1 Postes de la red de energía eléctrica

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños secundarios en postes, para este escenario de amenaza los postes de la red de energía eléctrica presentan estados de daño desde el nivel cero hasta el nivel tres, siendo más frecuente el estado de daño 0 (donde el estado 0 equivale a ningún daño, el estado 1 a daño bajo, el estado 2 a daño moderado y el estado 3 a daño severo). Para este caso no existe diferencia significativa entre los resultados de daño en los postes de la red de alta, mediana y baja tensión.

9.3.7.2 Postes de la red de telecomunicaciones

De acuerdo con la metodología de evaluación de los daños secundarios en postes, para este escenario de amenaza los postes de la red de telecomunicaciones presentan estados de daño desde el nivel cero hasta el nivel tres, siendo más frecuente el estado de daño 0.

Para este caso, no existe diferencia significativa entre los resultados de daño de los postes de la red de energía eléctrica y de la red de telecomunicaciones. La **Figura 6.19** presenta el resumen estadístico y la **Figura 9.19** el mapa de resultados.

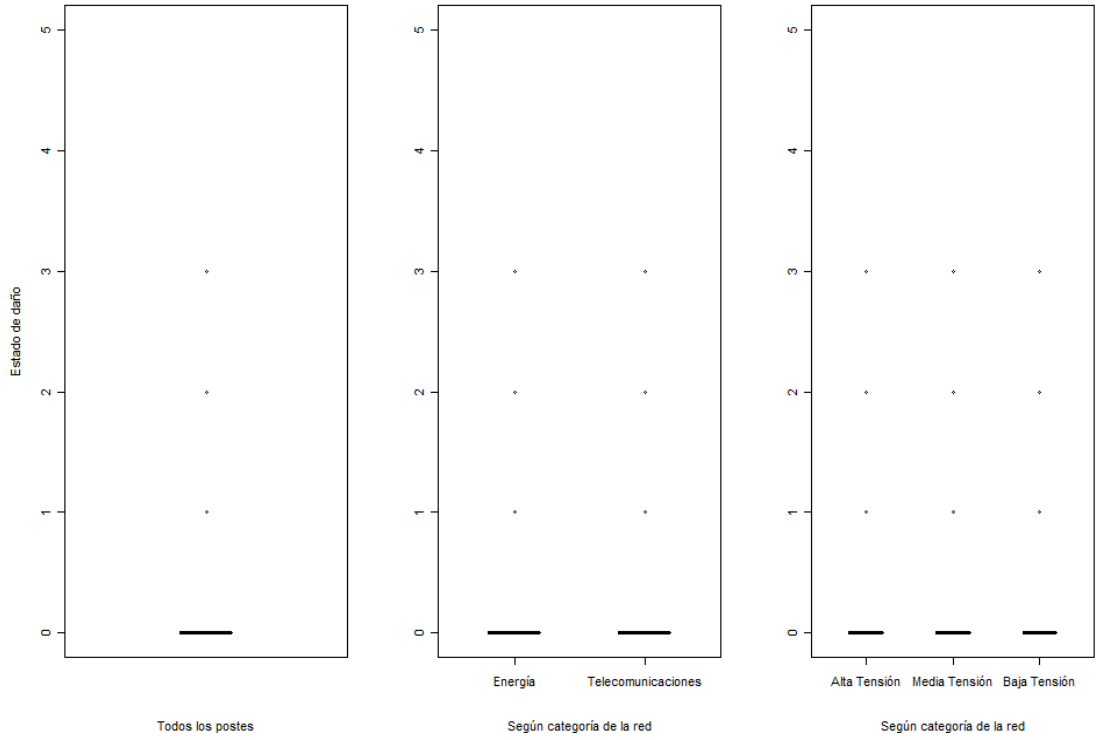


Figura 9.18. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los postes de la red de energía eléctrica y de telecomunicaciones

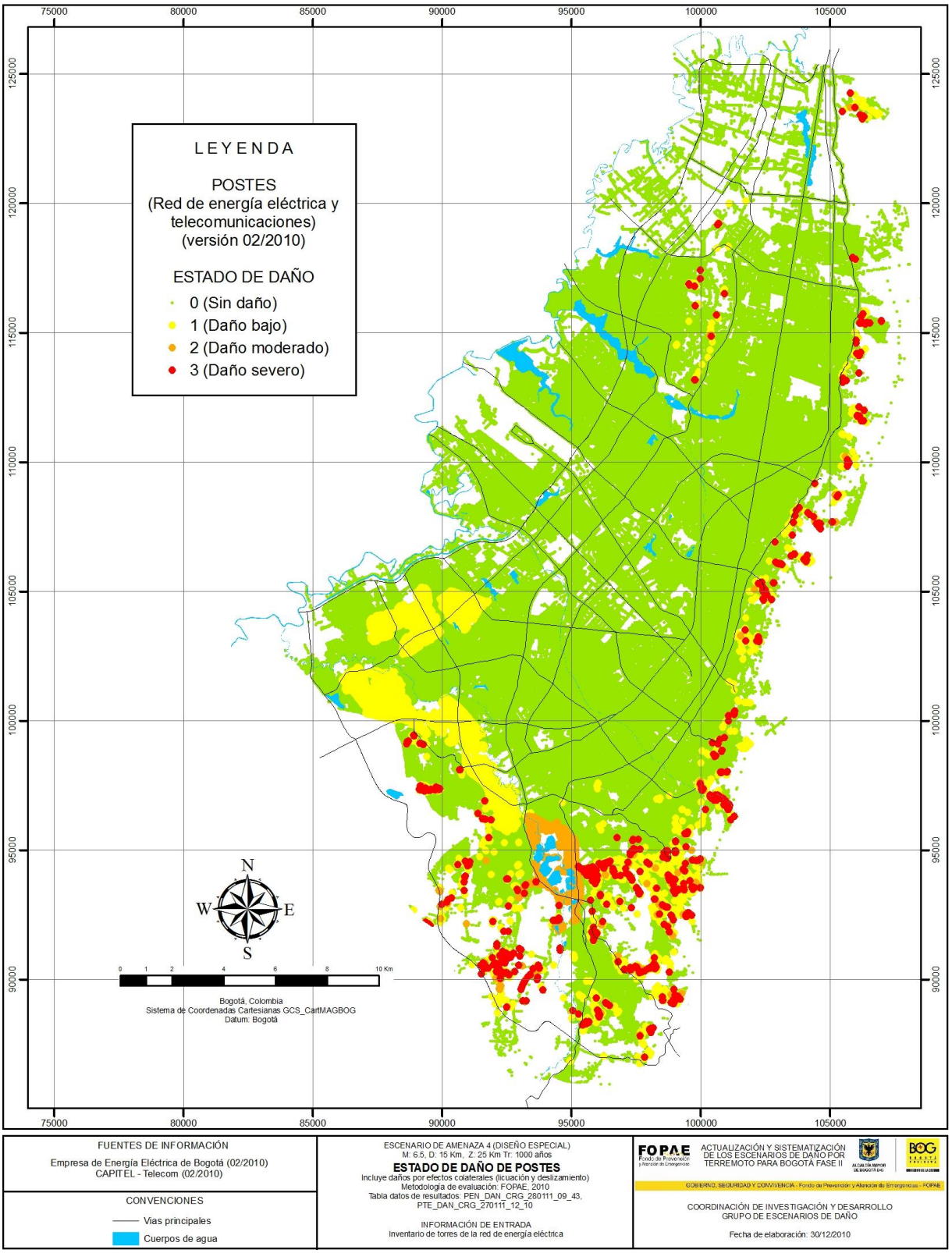


Figura 9.19. Mapa de resultados de daño secundario en los postes de la red de energía eléctrica y telecomunicaciones

9.4 CONSOLIDADO DE RESULTADOS POR UPZ Y LOCALIDAD

9.4.1 Edificaciones

La distribución geográfica de los daños para las unidades administrativas localidad y UPZ a partir del índice de daño promedio es presentada en la **Figura 9.20**, se encuentra que los daños que predominan son moderados a fuertes, sin embargo se destaca el sector céntrico compuesto por las localidades de Santa Fe y Candelaria con daños fuertes y el sector suroriental que incluye las localidades de San Cristóbal, Tunjuelito, Antonio Nariño y Rafael Uribe Uribe con daños que van desde considerables a fuertes.

9.4.2 Líneas vitales

9.4.2.1 Redes de tuberías

ppp) Red de acueducto: en la **Figura 6.22** se presentan los resultados consolidados (número de roturas) de la ciudad discriminados por UPZ y localidad, y según las características de la red. Para este escenario de amenaza y de acuerdo con la metodología de evaluación, en la red de acueducto se presentarían un total de 2.761 roturas. De este total 104 corresponden a la red primaria y 2.657 a la red secundaria. Las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (397), Engativá (376), Usaquén (266) y Kennedy (222). Las localidades que presentan el menor número de roturas son Mártires (58), Antonio Nariño (44), SantaFe (40) y Candelaria (17).

qqq) Red de alcantarillado: en la **Figura 6.23** se presentan los resultados consolidados (número de roturas) de la ciudad discriminados por UPZ y localidad, y según las características de la red. Para este escenario de amenaza y de acuerdo con la metodología de evaluación, en la red de alcantarillado se presentarían un total de 3.790 roturas. De este total 138 corresponden a la red primaria, 1.022 a la red secundaria y 2.629 a la red menor. Las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (693), Engativá (550) y Usaquén (481). Las localidades que presentan el menor número de roturas son Antonio Nariño (64), SantaFe (42) y Candelaria (18).

rrr) Red de gas domiciliario: en la **Figura 6.24** se presentan los resultados consolidados (número de roturas) de la ciudad discriminados por UPZ y localidad, y según las características de la red. Para este escenario de amenaza y de acuerdo con la metodología de evaluación, en la red de gas domiciliario se presentarían un total de 165 roturas. De este total 47 corresponden a la red primaria, 113 a la red secundaria y 4 a acometidas. Las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (31), Engativá (18), Usaquén (17) y Fontibón (16). Las localidades que presentan el menor número de roturas son Antonio Nariño (2), SantaFe (2) y Candelaria (1).

9.4.2.2 Cableados

sss) Red de energía eléctrica: en la

ttt) **Figura** 8.25 se presentan los resultados consolidados (longitud afectada) de la ciudad discriminados por UPZ y localidad, y según las características de la red. Para este escenario de amenaza y de acuerdo con la metodología de evaluación, la red de energía eléctrica presentaría un total de 75.98 km afectados. De este total 7.60 km corresponden a la red alta tensión, 17.64 a la red de mediana tensión y 49.05 a la red de baja tensión. 54.73 km corresponden a la red aérea y 21.25 a la red canalizada. Las localidades que presentan mayor longitud afectada son Ciudad Bolívar (9.12), San Cristóbal (8.43), Usme (8.37) y Chapinero (8.28). Las localidades que presentan la menor longitud afectada son Antonio Nariño (1.27), Puente Aranda (1.26) y Barrios Unidos (1.03).

uuu) Red de telecomunicaciones: en la **Figura 6.26** se presentan los resultados consolidados (longitud afectada) de la ciudad discriminados por UPZ y localidad, y según las características de la red. Para este escenario de amenaza y de acuerdo con la metodología de evaluación, la red de telecomunicaciones presentaría un total de 61.87 km afectados. De este total 21.60 km corresponden a la red aérea y 40.26 a la red canalizada. Las localidades que presentan mayor longitud afectada son Chapinero (8.11), San Cristóbal (7.72) y SantaFe (6.79). Las localidades que presentan la menor longitud afectada son Bosa (1.10), Fontibón (1.06) y Barrios Unidos (1.03).

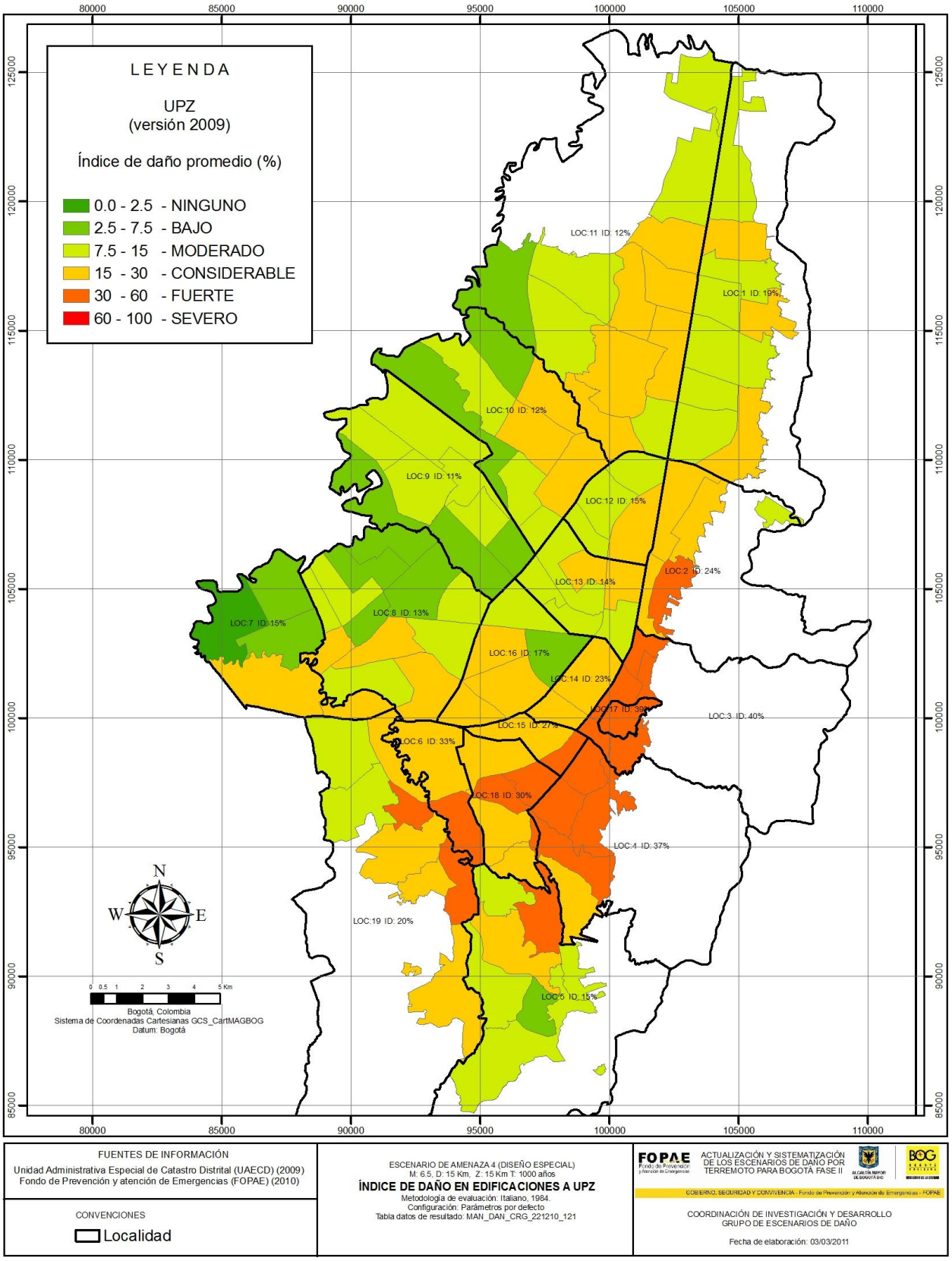


Figura 9.20. Índice de daño secundario promedio a Localidad y UPZ

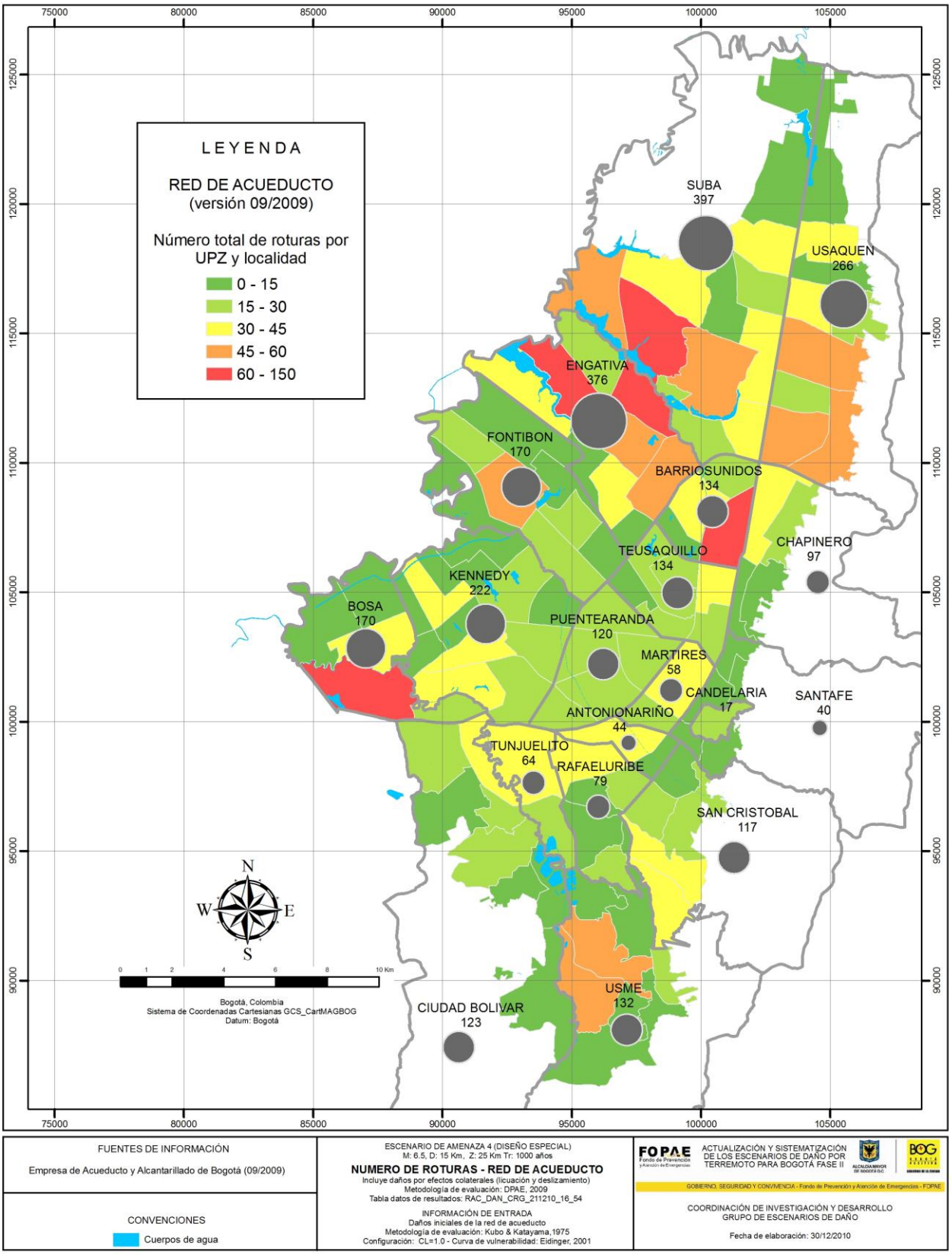


Figura 9.21. Resultados daño secundario red de acueducto - Número total de roturas por UPZ y localidad

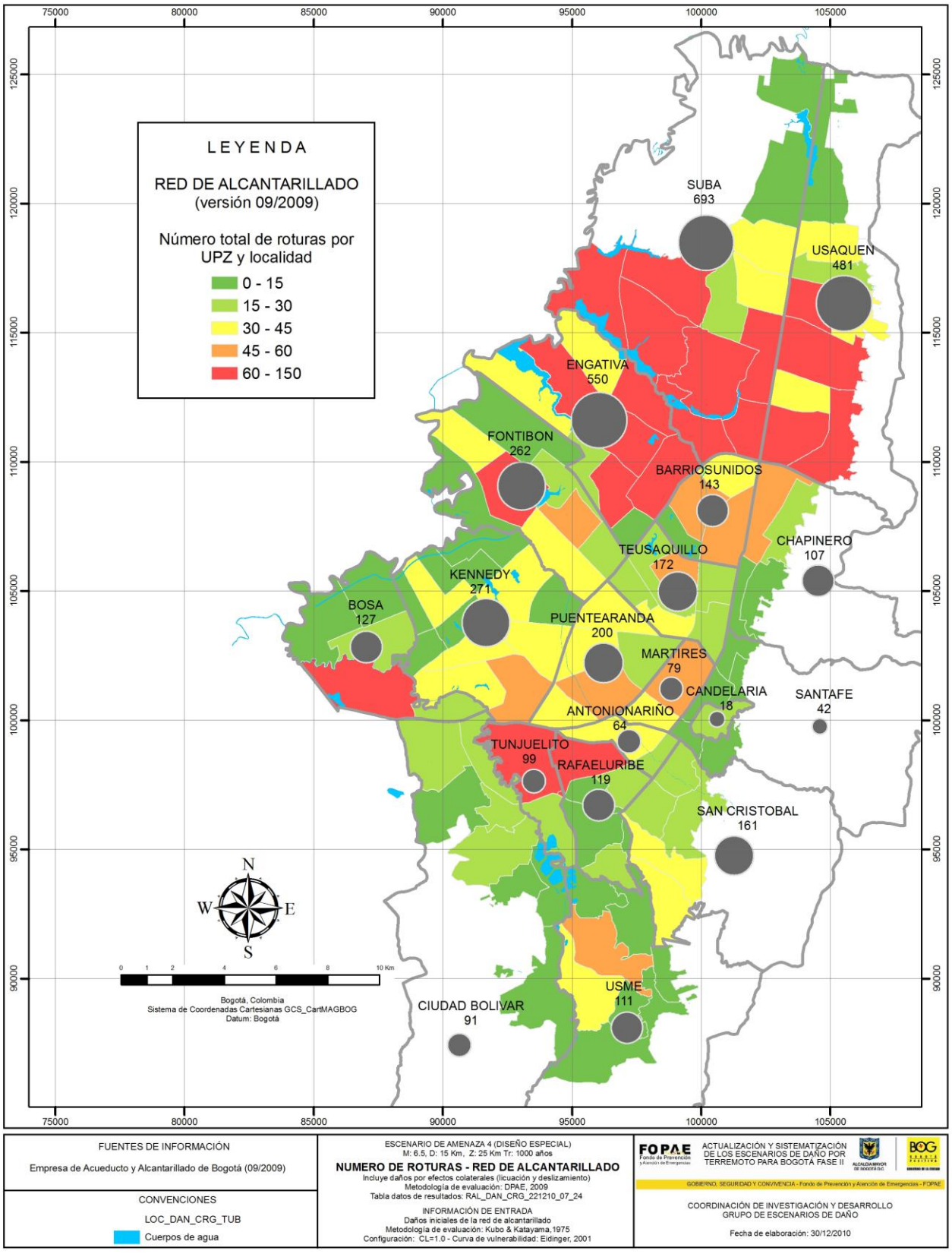


Figura 9.22. Resultados daño secundario red de alcantarillado - Número total de roturas por UPZ y localidad

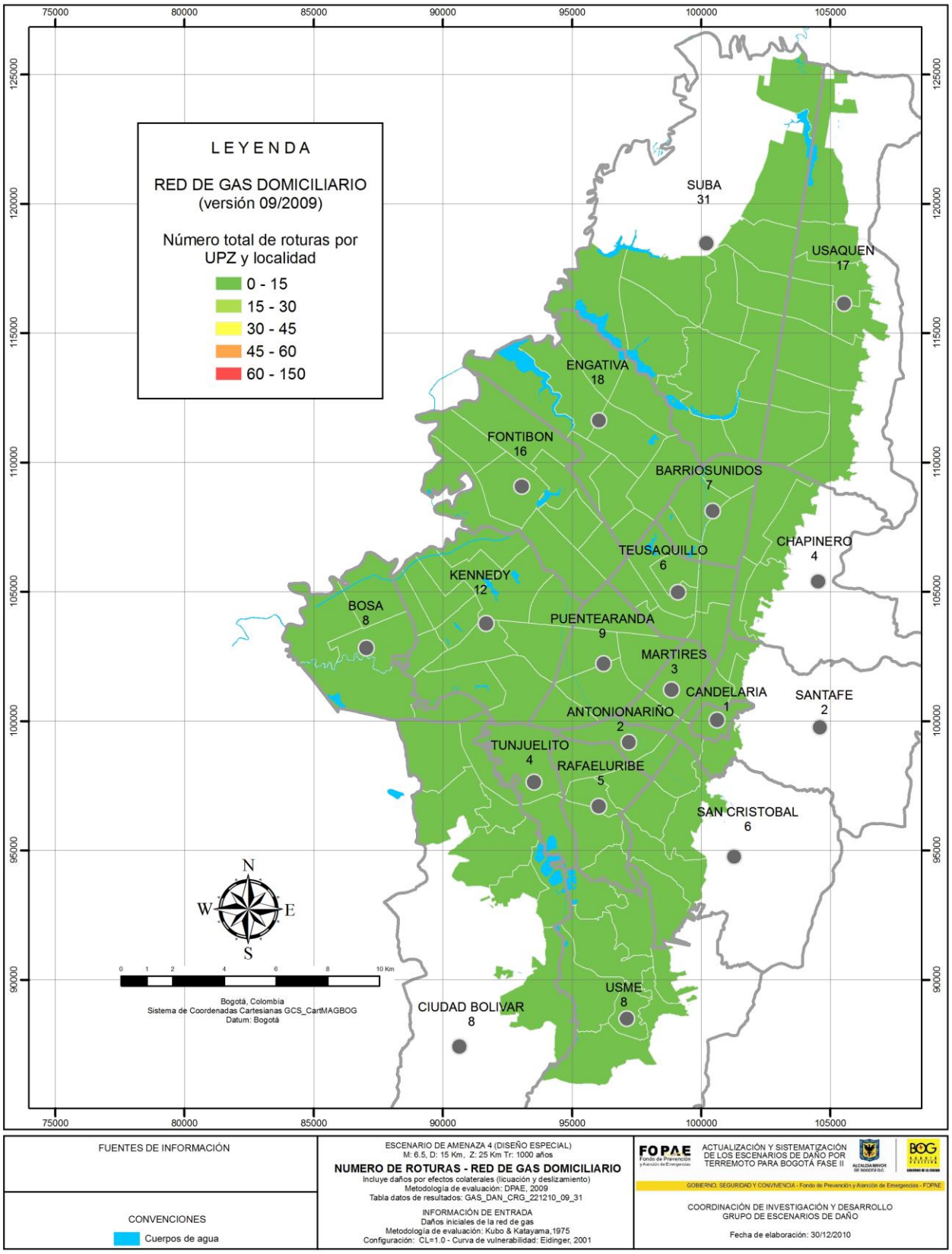


Figura 9.23. Resultados daño secundario red de gas domiciliario - Número total de roturas por UPZ y localidad

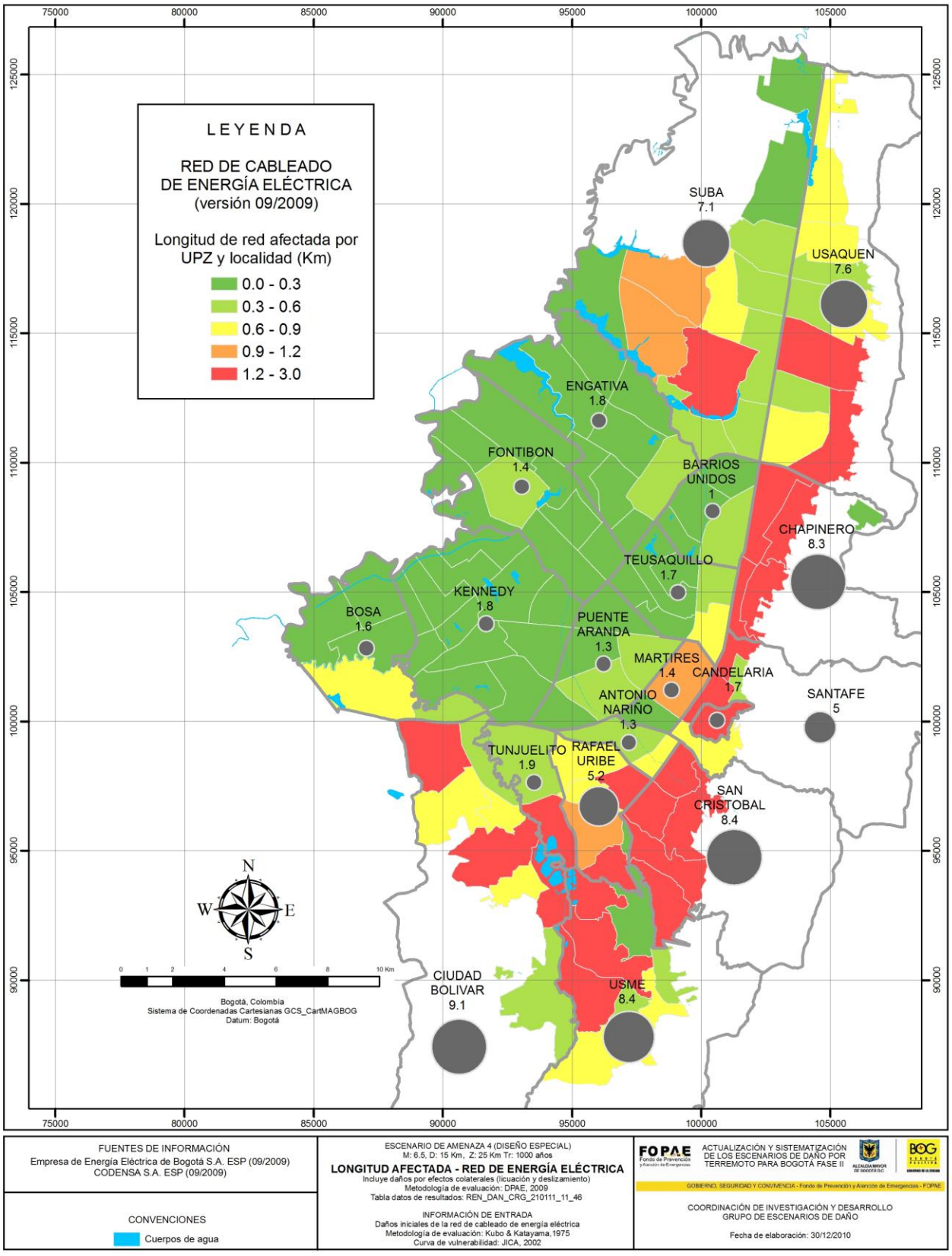


Figura 9.24. Resultados daño secundario red de energía eléctrica - Longitud afectada por UPZ y localidad

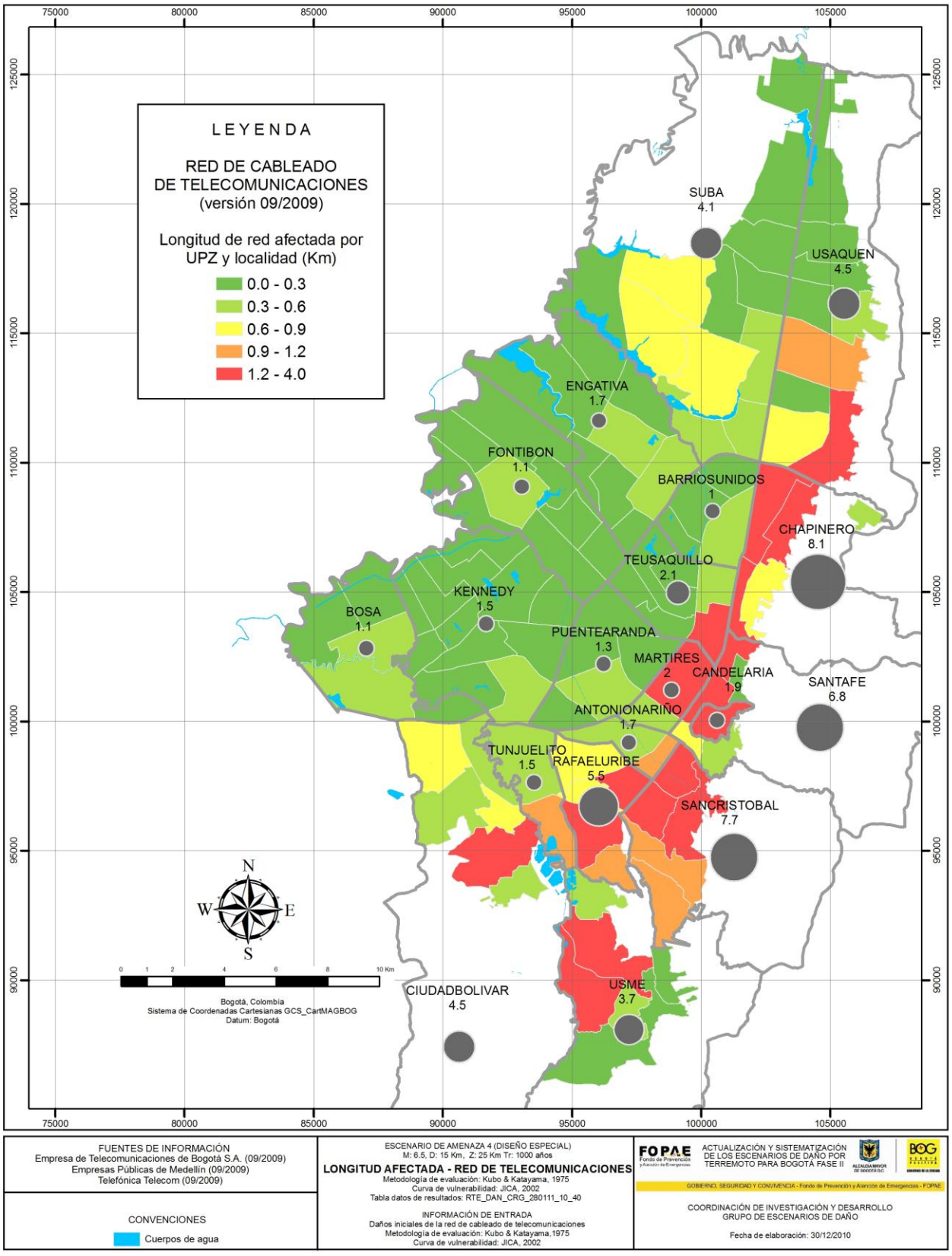


Figura 9.25. Resultados daño secundario red de telecomunicaciones - Longitud afectada por UPZ y localidad

9.4.3 Afectaciones y pérdidas

Producto de la evaluación de las afectaciones a la población y pérdidas económicas se encuentra que para este escenario las víctimas fatales en el día varían entre 5793 a 20366 y en la noche varían entre 5989 y 13680 esto dependiendo del resultado de daño empleado para la evaluación (Italiano o Miranda) y sin tener en cuenta los efectos colaterales, los valores acumulados para toda la ciudad en lo relacionados a heridos se presentan en el Anexo 5. Observando espacialmente los resultados se tiene que para el método Italiano las mayores afectaciones a la población en el día se dan en las localidades de Santa Fe y Antonio Nariño, de noche se encuentra que las localidades más afectadas serian San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe y Ciudad Bolívar. Para el método Miranda las mayores afectaciones a la población en el día se dan en las localidades de Usaquén, Chapinero, Santa Fe y Suba, para las horas de la noche las localidades más afectadas son Usaquén, Chapinero, San Cristóbal y Suba (ver Anexo 5).

En relación con las pérdidas económicas se encuentra que varían de manera general para toda la ciudad entre 18.6 y 58.7 billones de pesos aproximadamente según el modelo empleado para la evaluación del daño (ver Anexo 5). Espacialmente los mayores valores de pérdidas económicas se concentran en las localidades de Usaquén, Chapinero, Santa Fe, San Cristóbal, y Suba (ver **Figura 9.26**), dado que estas localidades se concentran los principales centros económicos, financieros y de comercio de la ciudad como también las estratificación socioeconómica para estas localidades está compuesta preferentemente por estratos 3 o superior situación que se traduce en avalúos catastrales mayores y por consiguiente mayores pérdidas.

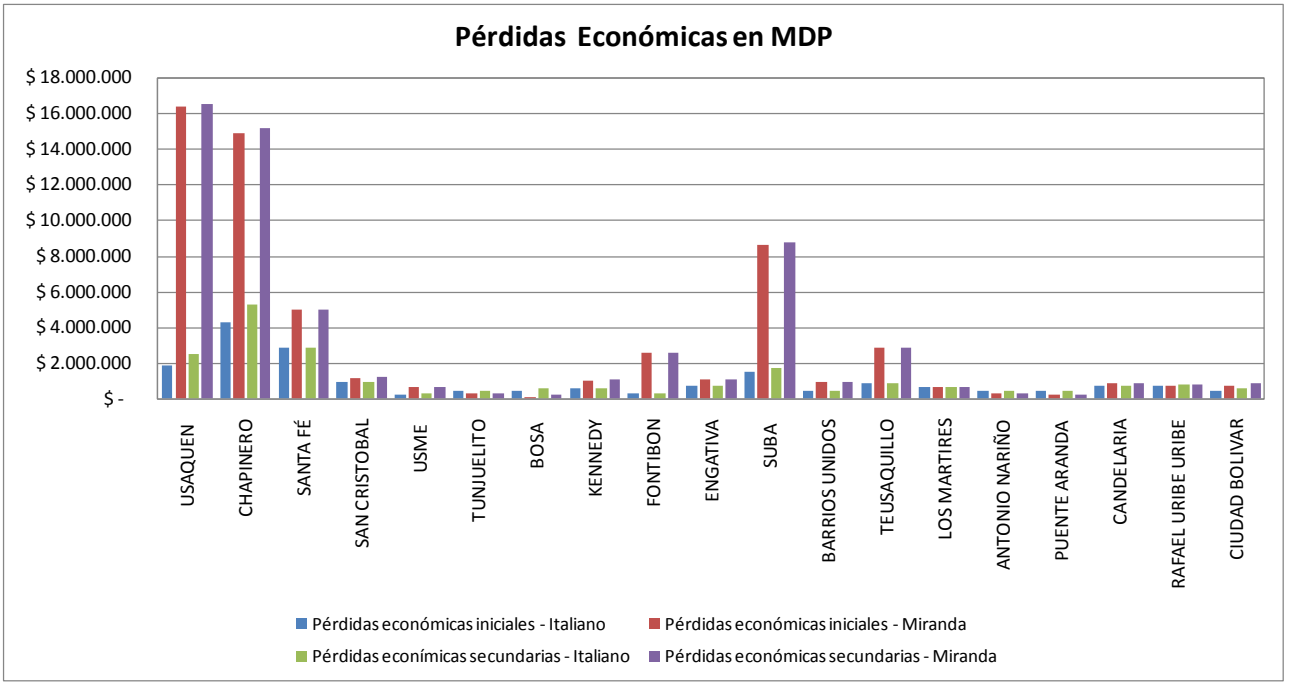


Figura 9.26. Pérdidas económicas en MDP para daños iníciales y secundarios

Con el propósito de visualizar el incremento en las afectaciones y pérdidas en el panorama de día y noche se presenta en la **Figura 9.27** y **Figura 9.28** el consolidado de las víctimas fatales desagregados por localidad, tanto para los ocasionados por los daños iníciales en edificaciones como también aquellos provocados por los daños secundarios. De lo anterior se observa una gran sensibilidad de las afectaciones a la población al incremento en el daño, ya que en promedio para la ciudad el aumento índice de daño es de tan solo el 1.43%, lo cual provoca que el valor de víctimas fatales calculado para el método italiano en el día pase de 5.741 a 26.039, tendencia que en la noche se mantiene pasando de 5.985 a 36.406 víctimas. De la misma forma se tiene a partir del resultado de daño calculado con del método Miranda para un incremento promedio del 1.46%, se espera para horas del día que las víctimas fatales pasen de 13.141 a 35.322 y en horas de la noche pasen de 13.648 a 43.054. En lo relacionado con las pérdidas económicas se encuentra que este valor es más moderado y acorde con el incremento en el daño, pasando en el método italiano de 18.6 a 21.0 billones de pesos que corresponde a un

incremento del 12.9%, para el método Miranda se tiene que las pérdidas económicas aumentan de 58.7 a 59.9 billones lo que denota un incremento del 2.0%.

Siguiendo la misma tendencia que los daños secundarios, las afectaciones a la población calculadas a partir del resultado de daño por el método Italiano, se concentran para horas del día en todas las localidades de sur, en el centro-oriente las localidades de Santa Fe y Candelaria y en el norte de la capital, se destaca la localidad de suba. En la noche las zonas residenciales del sur y norte de la capital muestran a las localidades de San Cristóbal, Ciudad Bolívar, Rafael Uribe, Usme, Tunjuelito y Suba con mayores afectaciones (ver **Figura 9.29** y **Figura 9.30**).

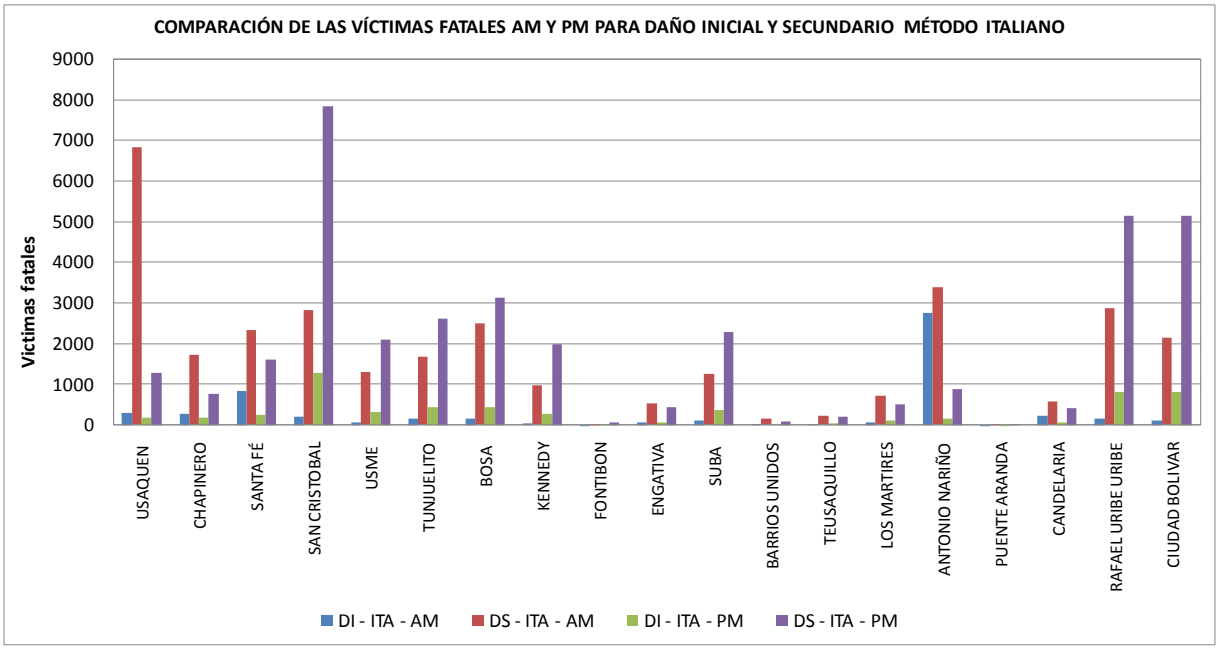


Figura 9.27. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Italiano

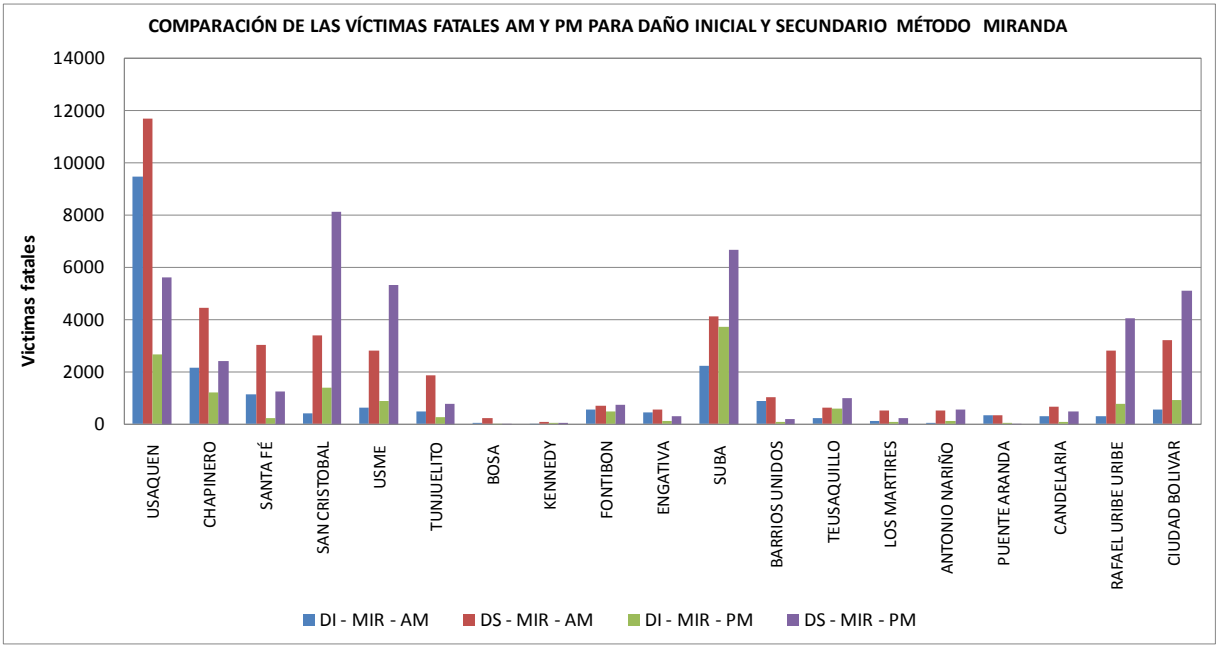


Figura 9.28. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Miranda

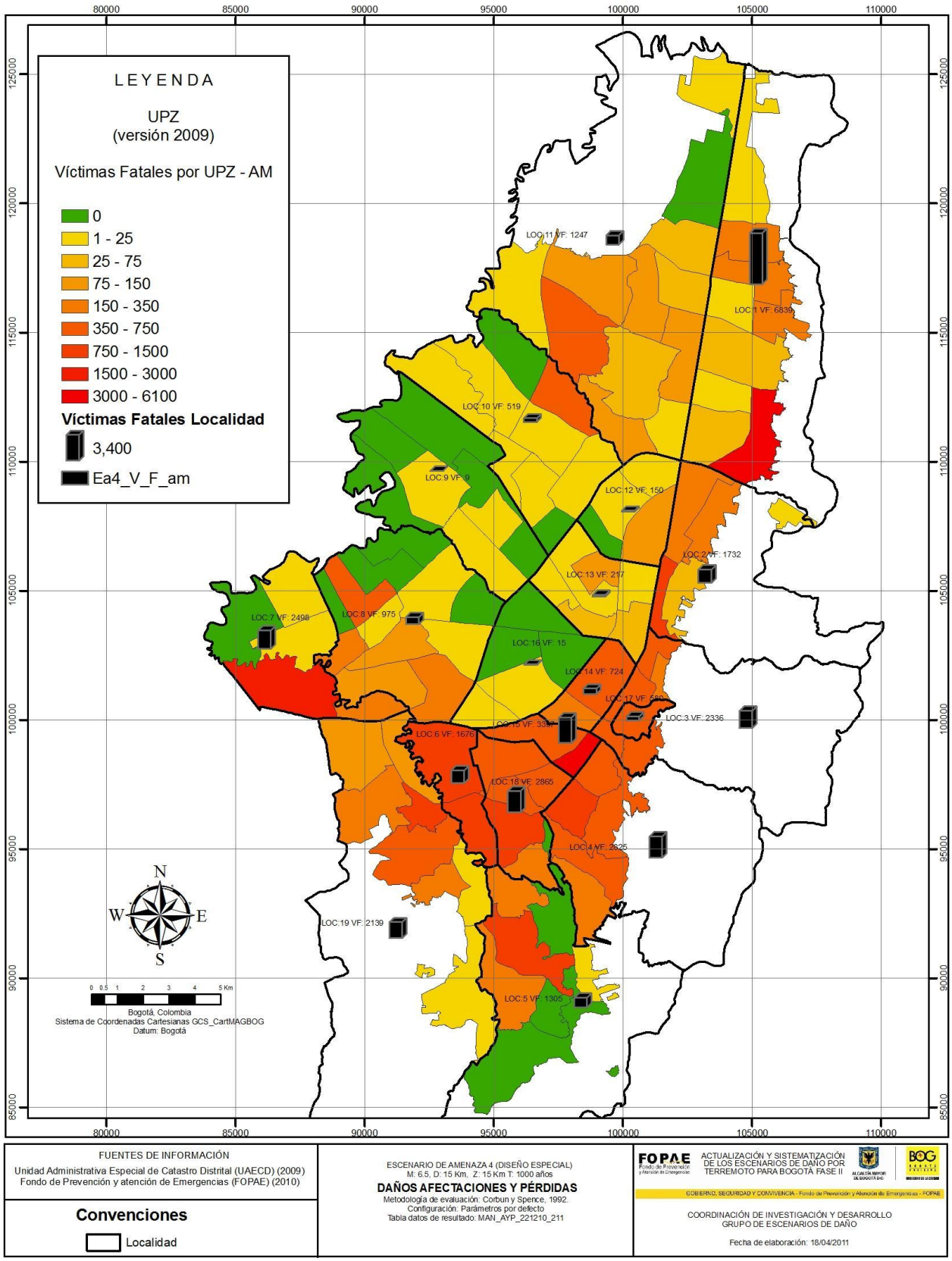


Figura 9.29. Víctimas fatales en el día

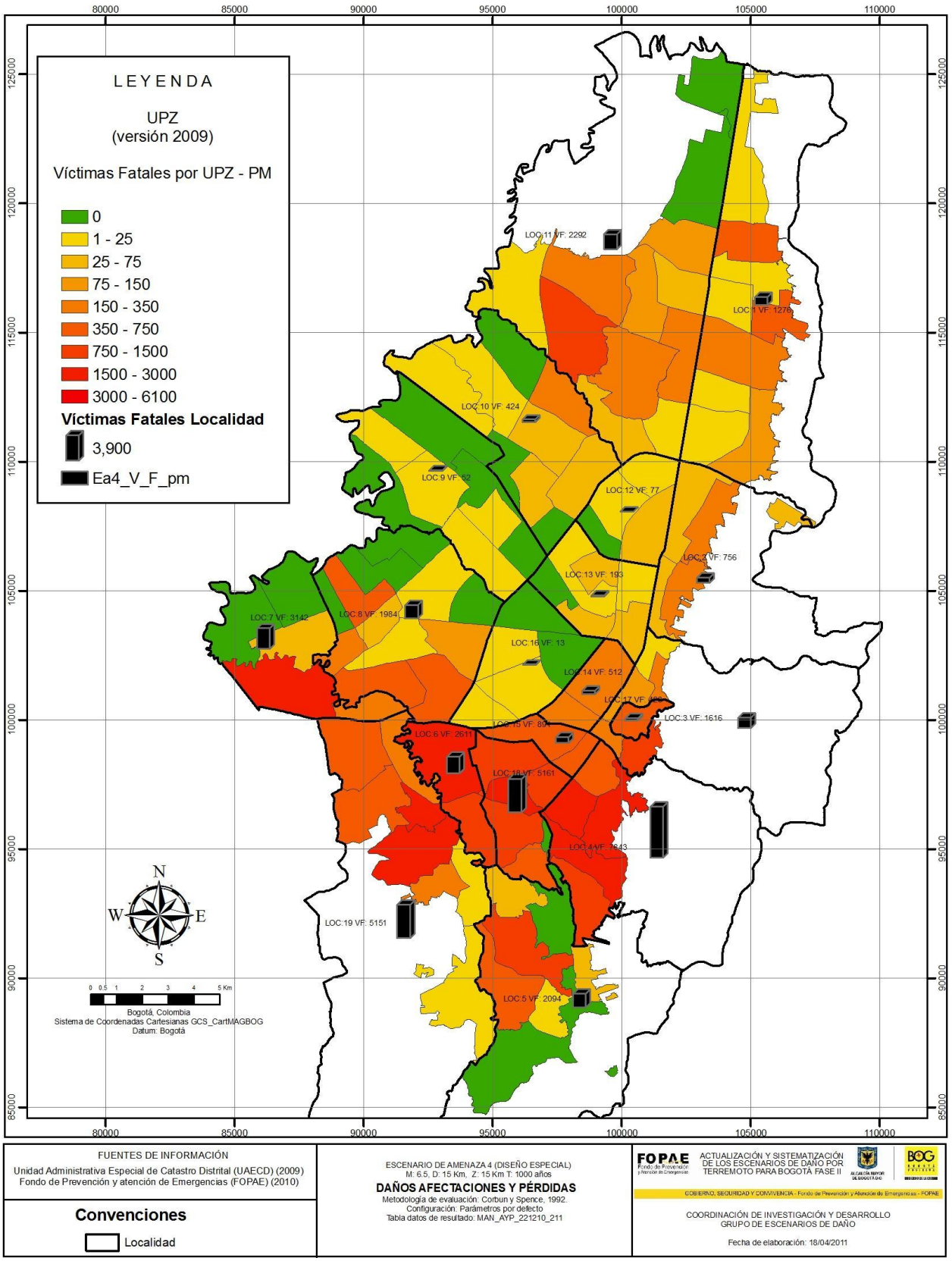


Figura 9.30. Víctimas fatales en la noche

CAPÍTULO 10

10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Inventario de elementos expuestos

Se logró recopilar información actualizada a los años 2009 y 2010 que cubre la totalidad del área urbana de la ciudad, adicionalmente se recopilo información de la región del sistema de transporte, suministro de agua, gas y energía. El número de elementos expuestos recopilados para las evaluaciones de daños por terremoto se resumen a continuación.

Elemento	Cantidad	Elemento	Cantidad
Número de predios	2'086,111	Kilómetros red alcantarillado	7,748
Número de lotes	887,534	Kilómetros red gas natural	1,898
Número de manzanas	43,225	Kilómetros red energía	4,759
Número de ed. indispensables	200	Kilómetros red telecomunicaciones	5,060
Número de habitantes	7'350,582	Número de puentes vehiculares	165
Número de tanques almacenamiento	78	Número de puentes peatonales	148
Kilómetros red acueducto	7,982	Kilómetros red vial	15,063

Tabla 10.1. Cantidad de edificaciones, líneas vitales y población de Bogotá

Escenarios de amenaza sísmica

Se definieron cuatro escenarios de amenaza sísmica con base en los resultados de la actualización del Mapa Nacional de Amenaza Sísmica de Colombia "AIS, 2009" e "INGEOMINAS, 2010", los sismos históricos que han afectado a la ciudad y el reglamento de sismorresistencia de edificaciones NSR-10. Los detalles de cada escenario de amenaza se resumen a continuación:

Escenario	Fuente	Magnitud Ml	Distancia (km)	Periodo de retorno (años)
Umbral de daño M6.5 a 50 km	Regional	6.5	50	30
Seguridad limitada M7.0 a 40 km	Regional	7.0	40	225
Diseño M7.3 a 35 km	Regional	7.3	35	475
Diseños especiales M6.5 a 15 km	Cercana*	6.5	15	1000

Tabla 10.2. Escenarios de amenaza sísmica evaluados

Efectos colaterales de licuación y deslizamientos

En la ciudad se detectaron cuatro zonas geotécnicas con potencial de licuación (Aluvial, Cauces, Llanura A y Llanura B) que fueron subdivididas en 15 sectores de acuerdo con los resultados de la interpolación del índice de resistencia cíclica I_{CRR}, de estas zonas las que presentan mayor susceptibilidad ante licuación se encuentran en las cercanías del río Tunjuelito. Por otro lado, las zonas con potencial de deslizamiento se concentran en el suroriente, especialmente en las unidades con depósitos de ladera, rocas arcillosas y cauces antiguos o activos que presentaron los menores valores de aceleración crítica y por ende son más susceptibles a producir deslizamientos.

Vulnerabilidad sísmica

En términos generales los índices de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de la ciudad son medios a altos, las localidades Candelaria, Tunjuelo y Santa Fe son las que presentan mayores índices de vulnerabilidad sísmica entre 50% y 55%; las localidades de Bosa, Usme y Suba tienen índices menores con valores entre el 30% y 35%. Las tuberías más vulnerables se encuentran en las zonas de terrenos inestables y blandos, siendo por materiales y diámetros la red de alcantarillado la más vulnerable seguida de la red de acueducto y la menos vulnerable la red de gas natural.

Daños físicos

Para los cuatro escenarios de amenaza definidos, se evaluaron los daños iniciales, daños secundarios, afectaciones a la población y pérdidas económicas directas. Los resultados más relevantes para cada escenario de amenaza y las localidades con mayores afectaciones discriminando el tipo de afectación se resume a continuación:

Ítem	Und	M6.5 a 50km	M7.0 a 40km	M7.3 a 35km	M6.5 a 15km
Daño Edificaciones	%	6.77	12.99	15.02	18.36
Manzanas con ID ≥ 30%	No	1,209	4,919	6,166	8,194
Daño edificaciones indispensables	%	3.4	6.8	8.5	10.5
Ed. indispensables con ID ≥ 30%	No	0	11	13	17
Pérdidas directas daño edificaciones	BDP	4.38	10.16	12.75	21.07
Muertos evento de día	No	6,863	15,833	20,145	32,048
Muertos evento de noche	No	3,392	21,003	27,115	36,511
Roturas acueducto	No	251	1,342	1,624	2,761
Roturas alcantarillado	No	355	1,878	2,270	3,790
Daño Tanques DS≥3	No	0	0	0	0
Roturas gas natural	No	15	80	97	165
Daño Energía	Km	3.74	26.26	36.79	75.98
Daño Torres energía DS≥2	No	2	2	11	11
Daño Telecomunicaciones	Km	3.29	21.91	30.52	61.87
Daño Postes DS≥2	No	56	62	234	226
Daño Puentes DS≥3	No	5	61	96	110

Tabla 10.3. Daños, afectaciones y pérdidas generales para cada escenario de amenaza

Ítem	M6.5 a 50km	M7.0 a 40km	M7.3 a 35km	M6.5 a 15km
Daños Edificaciones	Candelaria Santa Fe San Cristóbal	Santa Fe Candelaria San Cristóbal	Candelaria Santa Fe San Cristóbal	Santa Fe Candelaria San Cristóbal
Pérdidas directas por daño edificaciones	Chapinero Santa Fe	Chapinero Santa Fe	Chapinero Santa Fe	Chapinero Santa Fe
Muertos evento de día	Usaquén Chapinero	Usaquén San Cristóbal	Usaquén San Cristóbal	Usaquén Rafael Uribe
Muertos evento de noche	San Cristóbal Ciudad Bolívar	San Cristóbal Ciudad Bolívar	San Cristóbal Ciudad Bolívar	Rafael Uribe Ciudad Bolívar
Roturas acueducto	Suba Engativá	Suba Engativá	Suba Engativá	Suba Engativá
Roturas alcantarillado	Suba Engativá	Suba Engativá	Suba Engativá	Suba Engativá
Roturas gas natural	Suba Engativá	Suba Engativá	Suba Engativá	Suba Engativá
Daños Energía	Suba Usaquén	Usaquén Ciudad Bolívar	Usaquén Ciudad Bolívar	Ciudad Bolívar San Cristóbal
Daños Telecomunicaciones	Chapinero Suba	Chapinero Usaquén	Chapinero Usaquén	Chapinero San Cristóbal

Tabla 10.4. Localidades con mayores daños, afectaciones y pérdidas

- Edificaciones

Los daños en las edificaciones se concentran en las zonas de cerros y piedemonte donde predominen tipologías constructivas no sismo resistentes. Las localidades con mayores daños son Candelaria, Santa Fe y San Cristóbal, las mayores pérdidas económicas directas por los daños a las edificaciones están en las localidades de Chapinero, Santa Fe y Suba.

- Edificaciones indispensables

Las edificaciones indispensables presentan en general daños bajos a moderados, los mayores daños se presentarían en las edificaciones de la secretaría de gobierno (alcaldías locales), secretaría de salud (edificaciones no reforzadas), terminales de transporte y de la Policía Nacional (estaciones antiguas sin reforzar).

- Acueducto

El suministro de agua potable a la ciudad proviene de los sistemas Wiesner, Tibitoc y el Dorado, los suministros que están localizados en la cordillera oriental puede tener afectaciones dado que el epicentro de los sismos probables puede ser cerca a estos sistemas de abastecimientos. A nivel urbano, las redes de acueducto presentarían mayores daños en las zonas de suelos blandos y donde se presenten efectos colaterales de licuación y deslizamiento. Las localidades con mayores roturas de la red serían Suba y Engativá. Se destaca que los tanques de almacenamiento no presentarían mayores daños, sin embargo puede ser afectado el funcionamiento del sistema por las roturas de las redes de suministro.

- Alcantarillado

El comportamiento de la red de alcantarillado es similar a la red de acueducto, sin embargo el número de roturas es mucho mayor dado principalmente los diámetros y materiales de estas conducciones. Las localidades más afectadas por roturas de la red serían Suba y Engativá.

- Gas natural

El suministro de gas natural a la ciudad proviene del norte y del oriente, puede tener afectaciones las redes de suministro que estén cercanas al epicentro del sismo, principalmente la red del oriente. A nivel urbano la red de gas natural presenta una tasa pequeña de roturas en comparación con las redes de acueducto y alcantarillado, las localidades con algunas posibles roturas serían en Suba y Engativá, adicionalmente las redes que sean afectadas por efectos colaterales de licuación y deslizamiento.

- Energía eléctrica

A la ciudad le surte de energía los sistemas de Muña y Canoas, las conducciones provenientes del oriente de la ciudad pueden tener afectaciones por la cercanía al posible epicentro del sismo. En el centro urbano los daños se concentran en las zonas de cerros y piedemontes, en las localidades de Ciudad Bolívar, Usaquén, San Cristóbal y Suba.

- Telecomunicaciones

Las redes de cableado telefónico evaluado pueden tener las mayores afectaciones en las localidades de Chapinero, Usaquén, San Cristóbal y Suba. Las centrales telefónicas presentan índices de daño bajos a nulos, sin embargo las centrales localizadas en el suroriente de la ciudad pueden tener afectaciones por efectos colaterales.

- Movilidad

La malla vial de la región la compone las vías panamericanas al Llano, a Tunja, a Medellín, a La Mesa y a Girardot. La vía al Llano tiene la mayor probabilidad de ser afectada por deslizamientos ocasionados por la cercanía con el epicentro del sismo. A nivel urbano los daños de las vías y puentes se concentran en las zonas de cerros y piedemontes, en las localidades de Ciudad Bolívar, Usaquén, San Cristóbal y Suba. Adicionalmente se pueden presentar bloqueos de las vías donde se presentan los mayores daños de las edificaciones (Localidades de Candelaria, Santa Fe y San Cristóbal).

- Población

Las afectaciones a la población en términos de muertes, heridos y afectados se concentran en las zonas de cerros y piedemonte. Si el evento sísmico es diurno las localidades con mayores víctimas son Usaquén, Rafael Uribe, San Cristóbal y Chapinero. Si el evento sísmico es nocturno las localidades con mayores víctimas son San Cristóbal, Rafael Uribe y Ciudad Bolívar.

Recomendaciones

- Conocimiento

Aunar esfuerzos técnicos con las entidades nacionales e internacionales que investigan la amenaza sísmica, con el fin de obtener modelos y mapas de intensidades sísmicas de cubrimiento regional, que incluya efectos locales y colaterales.

Continuar y fortalecer los sistemas de monitoreo de la amenaza sísmica, tanto a nivel nacional las redes de Acelerógrafos y Sismológicas como a nivel local la Red de Acelerógrafos de Bogotá.

Continuar con las investigaciones y desarrollos para mejorar y/o incorporar métodos de análisis de vulnerabilidad y daño por sismo.

- Prevención

Divulgar los resultados del estudio en distintos niveles de la sociedad, desde las entidades del sistema de prevención y atención de emergencias hasta los niveles comunitarios. Dicha divulgación debe ser dirigida por personal capacitado y que dé cuenta de los alcances de las modelaciones para que la información se interprete de la mejor manera sin causar pánico ni desinformación.

Fortalecer las campañas de prevención y educación a la comunidad, resaltando la necesidad de la autoprotección y la cultura de la prevención.

Incorporar los productos de vulnerabilidad de edificaciones e indicadores de posibles daños (riesgo) como un determinante más en los conceptos de legalización de barrios, renovación urbana y demás documentos técnicos de la entidad donde se pueda mencionar las condiciones de vulnerabilidad y riesgo sísmico, siempre y cuando se precise detalladamente el alcance de las modelaciones.

- Mitigación

Incentivar el reforzamiento de las edificaciones normales con mayores índices de daño, así mismo promover estudios detallados de vulnerabilidad sísmica y su reforzamiento de las edificaciones indispensables que presentaron índices altos de daño.

Promover en las empresas de servicios públicos a cargo de las líneas vitales que verifiquen detalladamente el riesgo sísmico de sus sistemas, que definan estrategias para la reducción del riesgo, tanto físico como funcional.

- Atención

Actualizar los planes de respuesta por terremoto de Bogotá con base en un escenario que se escoja de acuerdo a la capacidad operativa de la ciudad y del país, de manera tal que se definan consistentemente los recursos necesarios para atender la emergencia y se actualice el sistema de atención en sus ramas de planeación, operaciones, logística y administración.

Crear un centro para el manejo de emergencias de la ciudad, dicho centro debe contar con una sala de crisis equipada con la tecnología necesaria para dirigir la atención de la emergencia, generación independiente de energía y agua potable, salas auxiliares, habitaciones equipadas para cortos descansos, estudio para dar declaraciones públicas, cuarto de control de los sistemas para el manejo de emergencia y de comunicaciones satelitales.

Mejorar el sistema de manejo de emergencias y de comunicaciones, para que pueda manejar la información de la ciudad y de la atención de la emergencia. Dicho sistema debe tener tecnología de punta realizar el inventario de daños y afectaciones de manera geográfica, el acceso de la información debe ser descentralizada y por canales de comunicación satelitales, el sistema se opera desde el centro de manejo de emergencias y debe contar con los demás soportes tecnológicos, logísticos y administrativos para su funcionamiento.

- Recuperación

Revisar y ajustar los avances en los planes de recuperación, promover mecanismos para la trasferencia del riesgo con acciones a corto plazo fundamentales para reducción del riesgo de desastre.

11 REFERENCIAS

AIS300 Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, (2010). Normas Colombianas de diseño y construcción sismo resistentes, ley 400 de 1997, Decreto 926 de 2010.

EERI & WMD, (2005). Scenario for a Magnitude 6.7 Earthqueke on the Seattle Fault. Earthquake Engineering Reasearch Institute and the Washinton Military Departament Emergency Manament Division. USA.

FOPAE. (2010). Zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño de sismoresistente de edificaciones. Bogotá Colombia.

JICA, (2002). The Study on Disaster Prevention in the Bogota Metropolitan Area in the Republic of Colombia. Japan International Cooperation Agency, Pacific Consultants international, OYO Corporation.

RADIUS (1999). Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas Against Seismic Disasters. Involved cities: Tijuana-Mexico, Guyaquil-Ecuador, Antofagasta-Chile, Skopje-FYROM, Izmir-Turkey, Addis Ababa-Ethiopia, Tachkent-Ouzbekistan, Bandung-Indonesia, Zigong-China. Report United Nations Initiative towards Earthquake Safe Cities, 1999, http://www.geohaz.org/contents/projects/radius.html, (consultado Julio 2004).

UNIANDES, (2005). Escenarios de Riesgo y Pérdidas por Terremoto para Bogotá, Centro de Estudios e investigaciones sobre Riesgo. Universidad de los Andes. Bogotá.