

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

TOMO 1. ENFOQUE CONCEPTUAL Y METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN

INFORME FINAL FASE II

ORIGINAL

ÁREA TÉCNICA Y DE GESTIÓN

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

GRUPO DE ESCENARIO DE DAÑOS

DICIEMBRE DE 2010

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
IVÁN ORDÓÑEZ
ADRIANA BELTRÁN
ANDREI TORRES
GERARDO RODRÍGUEZ
DIEGO TORRES
HAROLD ÁLVAREZ

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 y 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 I del estudio ilustra en el capítulo uno de introducción los antecedentes y justificación del proyecto, los objetivos, alcances y el marco lógico de actividades del proyecto; en el capítulo dos se presenta el enfoque conceptual del sistema en donde se incluye la descripción del problema, metodología general de evaluación de riesgo sísmico y descripción de las componentes del sistema; en el capítulo tres de escenarios de amenaza sísmica resume la información regional y local tenida en cuenta, así como las metodologías aplicadas para determinar los escenarios de amenaza y respuesta sísmica de los terrenos de la ciudad; en el capítulo cuatro de vulnerabilidad sísmica se detallan las metodologías aplicadas para edificaciones y tuberías; en el capítulo cinco y seis de daños iniciales ilustra las metodologías tenidas en cuenta para evaluar daños en las edificaciones y líneas vitales respectivamente; en el capítulo siete de daños iniciales del terreno resume los métodos desarrollados para estimar los efectos asociados por los fenómenos de licuación y deslizamiento en el terreno; finalmente en el capítulo ocho de daños secundarios se encuentra los métodos desarrollados para: mayorar los daños iniciales de edificaciones y líneas vitales por efectos colaterales, estimar las afectaciones a la población y pérdidas económicas directas.

Finalmente, es importante resaltar que todos los métodos, desarrollos y resultados se encuentran totalmente documentados y los soportes de información, código fuente y bases de datos son de propiedad del FOPAE, lo cual facilitará los posteriores análisis y mejoras que se deseen hacer al sistema.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	ANTECEDENTES	1
1.2	JUSTIFICACIÓN	2
1.3	OBJETIVOS	3
1.4	ALCANCE	3
1.5	MARCO LÓGICO	4
2	ENFOQUE CONCEPTUAL DEL SISTEMA	5
2.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	5
2.2	METODOLOGÍA DE VALORACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO	7
2.3	METODOLOGÍA GENERAL DE EVALUACIÓN DE DAÑOS POR SISMO	8
3	ESCENARIOS DE AMENAZA SÍSMICA.....	10
3.1	METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN	10
3.2	SISMOS PROBABLES.....	10
3.2.1	Revisión de la amenaza sísmica nacional	10
3.2.2	Revisión de sismos históricos	14
3.3	RESPUESTA SÍSMICA DEL TERRENO	14
3.3.1	Revisión de la zonificación de respuesta sísmica	15
3.3.2	Cálculo de parámetros espectrales	17
3.3.3	Cálculo de parámetros de intensidad sísmica.....	18
4	VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	21
4.1	EDIFICACIONES	21
4.1.1	Descripción del método Italiano	21
4.1.2	Adaptación del método Italiano	24
4.1.3	Información para el método Italiano	28
4.2	TUBERÍAS	31
5	DAÑOS INICIALES DE EDIFICACIONES Y LÍNEAS VITALES.....	34
5.1	EDIFICACIONES	34

5.1.1	Método Italiano	34
5.1.2	Método Miranda	37
5.2	LÍNEAS VITALES	41
5.2.1	Tuberías	43
5.2.2	Cableado	44
5.2.3	Tanques	46
5.2.4	Puentes	47
5.2.5	Vías	50
6	EFFECTOS COLATERALES	52
6.1	LICUACIÓN	52
6.1.1	Índice de Potencial de Licuación	53
6.1.2	Zonificación del potencial de licuación	55
6.2	DESLIZAMIENTO	56
6.2.1	Bloque deslizante de Newmark	57
6.2.2	Zonificación del potencial de deslizamiento	58
7	DAÑOS SECUNDARIOS	60
7.1	DAÑOS DE LOS ELEMENTOS POR EFECTOS COLATERALES	60
7.1.1	Edificaciones	61
7.1.2	Tuberías	62
7.1.3	Cables	62
7.1.4	Tanques y Puentes	62
7.1.5	Postes y torres de energía o telecomunicaciones	63
7.1.6	Vías	63
7.2	AFECTACIONES A LA POBLACIÓN Y PÉRDIDAS ECONÓMICAS DIRECTAS	63
7.2.1	Factor de colapso	64
7.2.2	Ocupación de las edificaciones de día y noche	64
7.2.3	Número de afectados de día y noche	65
7.2.4	Pérdidas económicas directas	66
7.3	ÍNDICE DE BLOQUEO DE VÍAS	66
7.3.1	Densidad de bloqueo	66
7.3.2	Índice de bloqueo lateral	67

8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
9	REFERENCIAS.....	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Definición del problema	5
Figura 2.2. Cadena de acontecimientos que definen el problema.....	6
Figura 2.3. Tipos de análisis que se desarrollan para afrontar el problema	6
Figura 2.4. Interacción de las componentes del análisis de riesgo sísmico	8
Figura 2.5. Metodología de evaluación de vulnerabilidad y daños por sismo incluyendo efectos colaterales	9
Figura 3.1. Curvas de amenaza para Bogotá curvas de Gallego. (AIS, 2009).....	11
Figura 3.2. Curvas de amenaza de distintas fuentes para Bogotá. (Ingeominas & Unal, 2010)	12
Figura 3.3. Comparación de Espectros de Amenaza Uniforme obtenidos por AIS e Ingeominas -IGM	12
Figura 3.4. Mapa de zonificación sísmica de Colombia (AIS, 2009)	13
Figura 3.5. Zonas Geotécnicas de Bogotá (FOPAE, 2010).....	15
Figura 3.6. Aceleraciones máximas registradas en superficie por el sismo de Quetame (DPAE, 2008)	16
Figura 3.7. Zonas de Respuesta Sísmica (FOPAE, 2010)	17
Figura 3.8. Método de evaluación de la respuesta sísmica para propósitos de escenario de daños	18
Figura 3.9. Escala de Intensidades Ingenieriles- EEIS. (Freeman et al., 2004)	20
Figura 5.1. Función de vulnerabilidad para edificaciones en mampostería (Mena, 2002)	35
Figura 5.2. Función de vulnerabilidad para edificaciones en concreto reforzado (Mena, 2002)	35
Figura 5.3. Función de vulnerabilidad para edificaciones con reticular celulado (Mena, 2002)	35
Figura 5.4. Función de vulnerabilidad para edificaciones en mampostería.....	36
Figura 5.5. Función de vulnerabilidad para edificaciones en concreto reforzado.....	36
Figura 5.6. Función de vulnerabilidad para edificaciones con reticular celulado.....	36
Figura 5.7. Curva para el cálculo del factor beta 1	38
Figura 5.8. Curva para el cálculo del factor beta 2	39
Figura 5.9. Curvas de vulnerabilidad en función de la deriva (Uniandes, 2005)	41

Figura 5.10. Curvas de vulnerabilidad en función de la aceleración máxima del terreno (Uniandes, 2005)	41
Figura 5.11. Curvas de vulnerabilidad para los elementos expuestos	42
Figura 5.12. Resumen de curvas de vulnerabilidad de tuberías.....	44
Figura 5.13. Resumen de curvas de vulnerabilidad de postes y cables enterrados.....	45
Figura 5.14. Curvas de vulnerabilidad para tanques en función del anclaje y nivel de llenado	47
Figura 5.15. Curvas de vulnerabilidad para puentes	50
Figura 5.16. Curvas de daño para líneas vitales (Geo-hazards International, 1999).	51
Figura 6.1. Esquema de las variables involucradas en el cálculo de LPI	53
Figura 6.2. Metodología de zonificación del potencial de licuación	56
Figura 6.3. Analogía realizada por el método del bloque deslizante (Newmark, 1965).....	57
Figura 6.4. Metodología de zonificación del potencial de deslizamiento	59
Figura 7.1. Factor de colapso contra índice de daño.....	64
Figura 7.2. Evaluación del índice de bloqueo lateral en vías.....	68

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1. Sismos históricos sentidos en Bogotá (Dimate et al., 2005 y 2006).....	14
Tabla 3.2. Intervalos de respuesta sísmica para Intensidad de Mercalli Modificada (fuente USGS)	19
Tabla 3.3. Valores de aceleración y velocidad espectral asociados a la escala EEIS	20
Tabla 4.1. Parámetros para el cálculo del índice de vulnerabilidad en edificaciones frágiles.	22
Tabla 4.2. Parámetros para el cálculo del índice de vulnerabilidad en edificaciones dúctiles.	22
Tabla 4.3. Resumen información empleada para el cálculo del índice de vulnerabilidad	30
Tabla 4.4. Factor de Corrección por Material (C_p)	32
Tabla 4.5. Factor de Corrección por Diámetro (C_d)	32
Tabla 4.6. Factor de Corrección por condiciones del suelo (C_g).....	32
Tabla 4.7. Factor de Corrección por posibilidad de licuación (C_l).....	33
Tabla 5.1. Escala de daño (Mena, 2002).....	37
Tabla 5.2. Valores de la sumidos para las tipologías estructurales presentes en Bogotá.....	38
Tabla 5.3. Descripción de cada una de las curvas de vulnerabilidad empleadas	43
Tabla 5.4. Resumen de curvas de vulnerabilidad para tuberías.....	44
Tabla 5.5. Estados de daño en tanques (Hanus, 1997).....	46
Tabla 5.6. Criterios de clasificación para puentes	48
Tabla 5.7. Clasificación de puentes por tipología estructural	49
Tabla 5.8. Estados de daño para puentes	50
Tabla 6.1. Factores de corrección por contenido de finos	54
Tabla 6.2. Factores de corrección del resultado del ensayo SPT	54
Tabla 6.3. Grados de daño por licuación basados en valores de LPI.	55
Tabla 6.4. Descripción de los grados de daño.....	55
Tabla 6.5. Grados de daño por deslizamiento basados en valores de deslizamiento.....	58

Tabla 7.1. Elementos expuestos y sus escalas de daño	60
Tabla 7.2. Escala de daño por efectos colaterales	61
Tabla 7.3. Grado de daño total - GDT	61
Tabla 7.4. Factor de densidad de población y porcentajes de ocupación para distintos usos	65
Tabla 7.5. Porcentajes de atrapados según ductilidad	65
Tabla 7.6. Porcentajes de fatalidad según ductilidad	66

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.

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.

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

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

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

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 (F_a) y otro para periodos de vibración largos (F_v).

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.

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

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.

Licuação: 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 sísmica 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 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.

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.

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.

1 INTRODUCCIÓN

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 se 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 y 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 primero 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 capítulo uno del presente tomo en primera instancia enmarca a la ciudad de Bogotá en la problemática del riesgo sísmico y relaciona los estudios realizados con el tema, a partir de la revisión de los antecedentes se definen las principales necesidades que justifican realizar el proyecto y así definir los objetivos y alcance del estudio que finalmente se conllevan al marco lógico de actividades en el cual se desarrolló el mismo.

1.1 ANTECEDENTES

La ciudad de Bogotá de acuerdo con el Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia (AIS, 2009), se localiza en una zona de amenaza sísmica intermedia, con una aceleración máxima probable A_a de 0.15 g para un periodo de retorno de 475 años. Las principales fuentes sismogénicas que dominan la amenaza sísmica en la ciudad según este estudio en orden son Frontal cordillera oriental, Benioff y Salinas. Los datos históricos indican que en la ciudad tres sismos han causado daños (1785, 1827 y 1917) cuyos epicentros han sido localizados en el Páramo de Chingaza (Cundinamarca), Timaná (Huila) y Páramo de Sumapaz (Cundinamarca), respectivamente. Recientemente, el sismo de Tauramena ocurrido el 19 de enero de 1995 y de Quetame el 24 de mayo de 2008 fue consecuencia del fracturamiento en el sistema Frontal de la Cordillera Oriental, con magnitudes M_l de 6.5 y 5.7, a una distancia de 130 y 40 km produjeron en Bogotá fracturas en muros y otros daños menores.

Por otro lado, la ciudad presenta un desarrollo heterogéneo de sus construcciones, debido principalmente a que el primer código de construcción sismorresistente fue del año 1984, el cual fue posteriormente actualizado en el año 1998. Además, las condiciones socioeconómicas de la mayoría de los habitantes de la ciudad han llevado a que las viviendas no sean sismorresistentes. Teniendo en cuenta que en la ciudad se encuentra las principales entidades del gobierno nacional, regional y distrital, así como las industrias de producción, bienes y servicios más importantes del país, la posible afectación en estas puede llegar a causar un gran impacto en el desarrollo del país. Con base en el panorama anterior la ciudad de Bogotá presenta un alto grado de vulnerabilidad sísmica, entendido como una baja capacidad de resistir por sus características estos elementos la amenaza que en este caso corresponden a las acciones de un sismo de considerable energía.

Teniendo en cuenta lo anterior, es necesario plantear escenarios de daño, que consisten básicamente en proponer panoramas hipotéticos, de acuerdo con los eventos sísmicos probables, que presenten áreas afectadas según las características de las construcciones, edificaciones y líneas vitales, número de afectados (heridas y víctimas) diferenciadas si el evento ocurre de día o de noche, pérdidas económicas directas, entre otros. Este tipo de escenarios son un insumo fundamental para enfocar estrategias de reducción del riesgo, como por ejemplo orientar el ordenamiento territorial, mejorar la percepción del riesgo existente, orientar los planes de respuesta a emergencias, y soporte de los planes de rehabilitación y reconstrucción.

Esta problemática ha llevado a que se adelanten desde hace varios años diversas actividades en torno a la gestión general del riesgo sísmico del área urbana de la ciudad. Con anterioridad a este proyecto se han realizado estudios que han involucrado temas similares como el Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá (Ingeominas & Uniandes, 1997), el Estudio para la Prevención de Desastres en el Área Metropolitana de Bogotá (JICA, 2002) y el Estudio de Escenarios de Riesgo y Pérdida por Terremoto para Bogotá (Uniandes, 2005).

En general, cada uno de los estudios relacionados anteriormente presenta un panorama del riesgo sísmico de la ciudad, los cuales han servido para promover los planes de prevención y atención de emergencias. Con base en ellos se desarrolló el Plan de Respuesta por Terremoto, PRT, con las entidades del Sistema Distrital de Prevención y Atención de Emergencias, SDPAE, el cual pretende fortalecer a las entidades del sistema en los temas de prevención y atención en el caso de ocurrir un terremoto.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Después de varios años trabajando en el tema de gestión integral del riesgo sísmico, se ha detectado una serie de necesidades y aspectos que deben contemplar los estudios de escenarios de daño por terremoto, dentro de los cuales se destacan los siguientes aspectos:

- Debido al rápido desarrollo de la ciudad y el conocimiento de nuevos elementos sobre amenaza, vulnerabilidad y riesgo, es necesario establecer escenarios de daños acordes con la Bogotá actual, garantizándose de alguna manera que como procesos dinámicos sea producto de actualización a lo largo del tiempo según el eventual cambio de las condiciones en el Distrito Capital, ya sean estos originados por la modificación en la vulnerabilidad de la infraestructura, la población o sencillamente por la expansión del perímetro urbano entre otros factores.
- La reducción de la vulnerabilidad sísmica se hace evidente a través de los programas de reforzamiento de puentes vehiculares y peatonales (rutas de transmilenio por ejemplo), edificaciones indispensables, hospitales, escuelas, entre otras. Así mismo el crecimiento en áreas subnormales de la ciudad y la continuidad de la construcción informal, imponen mayores vulnerabilidades. De allí la necesidad de contar con un sistema dinámico de cálculo de escenarios de daños.
- Es necesario mejorar los algoritmos empleados para identificar de la base de datos catastral las características estructurales de las edificaciones, información indispensable para estimar la vulnerabilidad sísmica.
- El estudio de Uniandes de 2005 no contempló efectos colaterales, tales como deslizamientos, licuación de terrenos, fallas de represas o jarillones que desencadenen posibles inundaciones y la ocurrencia de incendios por fallas en las redes de suministro de gas domiciliario o en el sector industrial. Los cuales dependiendo de la magnitud del evento pueden llegar a generar daños importantes.
- La actualización de la Microzonificación Sísmica de Bogotá mejoró considerablemente la definición de las zonas de comportamiento sísmico homogéneo, por lo cual es necesario ajustar el escenario de daños a los nuevos valores de amenaza y zonas de comportamiento sísmico.

- La implementación de la telemetría en la Red de Acelerógrafos de Bogotá, RAB, puede llegar a identificar en un breve tiempo las características de un movimiento fuerte sentido en la ciudad, lo cual puede articularse automáticamente para de forma aproximada estimar los efectos producidos por el evento.
- Los planes de respuesta por terremoto y de recuperación, así como las entidades del Sistema Distrital de Prevención y Atención de Emergencias, SDPAE, requieren de un escenario de daños por terremoto que represente las condiciones actuales en que está la ciudad.
- Se requiere un sistema abierto para la Entidad, donde todos los métodos, desarrollos y resultados se encuentren totalmente documentados y los soportes de información, código fuente y bases de datos sean propiedad del FOPAE, lo cual facilitará los posteriores análisis y mejoras que se deseen hacer al sistema.

Todos los anteriores aspectos llevan a la necesidad de adelantar una serie de trabajos y actividades tendientes a actualizar los estudios de riesgo sísmico de la ciudad.

1.3 OBJETIVOS

El objetivo general del estudio es diseñar e implementar un sistema dinámico de cálculo que permita evaluar los posibles daños a las edificaciones y líneas vitales y las posibles afectaciones a la población por la ocurrencia de un sismo de gran magnitud. Los objetivos específicos de esta fase del estudio se resumen a continuación.

- Concebir un enfoque conceptual y metodológico para desarrollar el sistema de evaluación de daños para análisis de riesgo SEDAR.
- Desarrollar y/o adaptar un método para definir escenarios de amenaza sísmica con base en los resultados de estudios de amenaza sísmica de Colombia y la zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá.
- Desarrollar y/o adaptar metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica.
- Desarrollar y/o adaptar metodologías de evaluación de daños a edificaciones y líneas vitales.
- Desarrollar y/o adaptar metodologías de evaluación de efectos colaterales, licuación y deslizamiento.
- Desarrollar y/o adaptar metodologías de evaluación de afectaciones a la población y pérdidas económicas directas
- Actualizar la información requerida y solicitar la faltante para consolidar las bases de datos información recopilada.
- Desarrollar un software que permita evaluar la vulnerabilidad y daños en la ciudad para determinados eventos sísmicos a partir de la información recopilada y los métodos seleccionados.
- Realizar los análisis de la información recopilada que describe la amenaza sísmica y las características de los elementos expuestos de la ciudad.
- Realizar los análisis de los resultados de vulnerabilidad y daños obtenidos para cada uno de los escenarios de amenaza definidos y en cada tipo de elemento expuesto.

1.4 ALCANCE

El alcance del proyecto está relacionado directamente con la información recopilada, además el nivel de detalle que se logre dependerá de varios aspectos como: la cantidad y calidad de los datos, la escala de trabajo, las unidades de análisis definidas (predio, manzana, sector, etc.) y las limitaciones propias de los modelos empleados, entre otros.

El software desarrollado pretenderá ilustrar la magnitud de los posibles daños por un terremoto de cierta Magnitud a una distancia del centro de la ciudad que sea representativo de una fuente sísmica y probabilidad de ocurrencia determinada, abarcando en la medida de lo posible todo el sector urbano y rural de la ciudad que cuente con información suficiente para aplicar los modelos.

Los resultados del proyecto no reemplazan los análisis de vulnerabilidad sísmica y estudios detallados para evaluar el riesgo sísmico de estructuras indispensables y líneas vitales. Sin embargo, los resultados servirán para identificar los sectores en mayor riesgo de modo que las entidades a cargo de la infraestructura indispensable de la ciudad puedan priorizar sus planes de mejoramiento y adecuación sísmo-resistente.

Se realizará en una etapa posterior a la ejecución de este estudio la divulgación de los resultados y la retroalimentación de que haya lugar con base en las discusiones de los resultados, así mismo por ser un software desarrollado totalmente en la entidad deberá ser mantenido y actualizado conforme los requerimientos que sean necesarios.

1.5 MARCO LÓGICO

La segunda fase del proyecto se desarrolló siguiendo un marco lógico de actividades acorde con las necesidades planteadas en la propuesta de trabajo y los avances obtenidos en la primera fase del proyecto, luego para abordar los objetivos del estudio se plantean cinco actividades generales como se resumen a continuación.

- Revisión de estudios y metodologías: un primer paso para desarrollar el proyecto consiste en la revisión de los principales antecedentes relacionados con el objetivo del proyecto, esta actividad demanda de una exhaustiva investigación de metodologías desarrolladas para afrontar los diferentes temas del proyecto, con ello se logró definir con mayor certeza el alcance del proyecto, así como la información necesaria para el desarrollo de los métodos seleccionados para ser aplicados.
- Recopilación de información: se realiza la recopilación de la información necesaria conforme las metodologías de evaluación revisadas, esta actividad demanda además de la gestión para conseguir la información, la organización de esta en bases de datos y el procesamiento primario para su posterior empleo.
- Desarrollo de los métodos para la evaluación de vulnerabilidad, daños, efectos colaterales, afectaciones y pérdidas: una vez se cuente con una visión clara de las metodologías aplicables y la información disponible, se procede a desarrollar, adaptar o adoptar los métodos detallados en forma de algoritmo de cálculo paso a paso para que puedan ser implementados o sistematizados.
- Desarrollo del sistema de cálculo: tras contar con los requisitos funcionales de cada uno de los algoritmos de los métodos seleccionados para el proyecto se evalúan las diferentes opciones para desarrollar el sistema teniendo en cuenta la plataforma tecnológica de la entidad, la información que se maneja y bases de datos, los métodos que se quieren implementar y la disponibilidad de software.
- Análisis de resultados y recomendaciones para futuros desarrollos: se analizan los resultados obtenidos por el sistema de cálculo y se elaboran las recomendaciones para la gestión integral del riesgo sísmico así como para estudios posteriores.

2 ENFOQUE CONCEPTUAL DEL SISTEMA

Para garantizar el éxito de un estudio y que este tenga una visión a largo plazo es necesario contar con un enfoque conceptual claro del problema que estamos abordando, de tal manera que se pueda esquematizar un problema complejo por las partes que lo definen para así poder abordar la solución óptima de acuerdo a los recursos disponibles.

En este sentido, se plantea el enfoque conceptual con el cual se va desarrollar el proyecto, este ha sufrido algunos cambios con respecto a la versión inicialmente planteada en la formulación del estudio, dado que a la luz del conocimiento adquirido en la primera etapa del proyecto, permitió mejorar dicho enfoque conceptual para el sistema. De esta forma se presenta a continuación la definición del problema al que nos afrontamos, luego se ilustra el enfoque conceptual adoptado para realizar la valoración de riesgo sísmico, del cual una es la evaluación de un escenario de daños, por lo que finalmente se explican cada una de las componentes que integran una evaluación de escenario de daños.

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La ocurrencia de un evento sísmico desencadena una serie de acontecimientos o eventos que se ilustran de manera esquemática en la **Figura 2.1**. Cuando las ondas sísmicas llegan a un centro poblado los elementos que la componen experimentan o responden de una manera particular a las ondas, esta respuesta puede llegar a ocasionar daños cuando supera su capacidad, una vez ocurren los daños iniciales por efecto directo de las ondas estos pueden ocasionar efectos secundarios que se pueden llegar a propagar y producir más daños, esta secuencia de acontecimientos se resumen en la **Figura 2.2**, los tipos de análisis que se realizan se pueden llegar a clasificar en análisis de las amenazas, vulnerabilidad y riesgo como se muestra en la **Figura 2.3**.

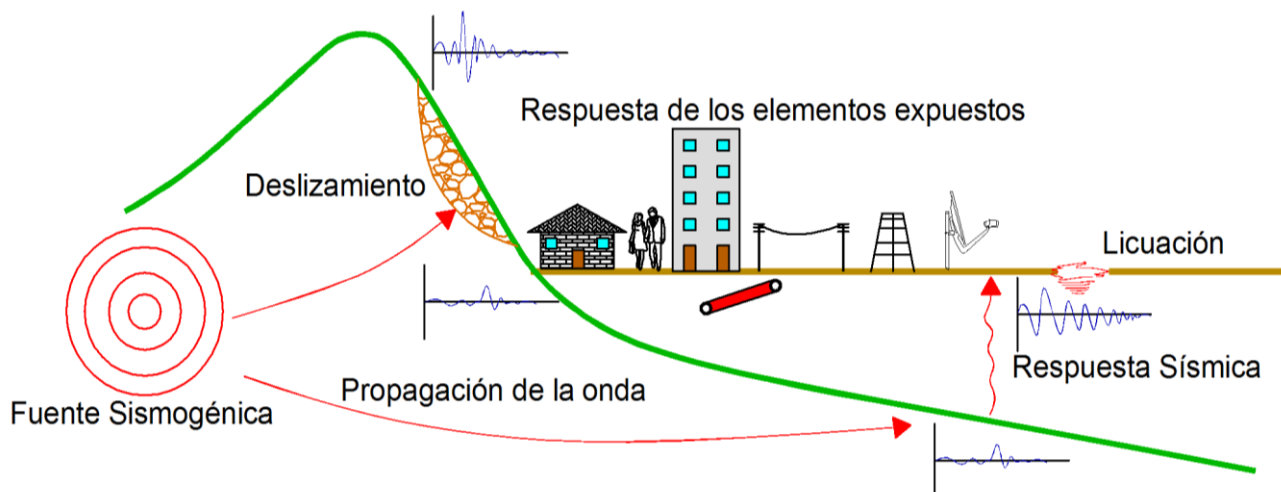


Figura 2.1. Definición del problema

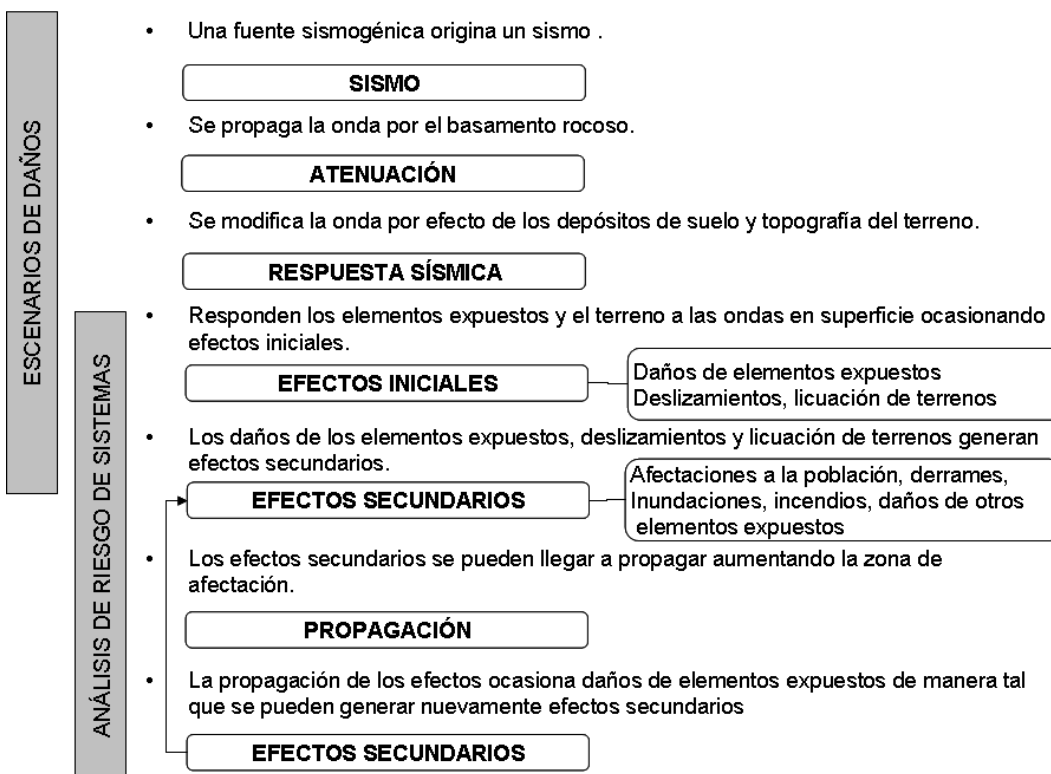


Figura 2.2. Cadena de acontecimientos que definen el problema

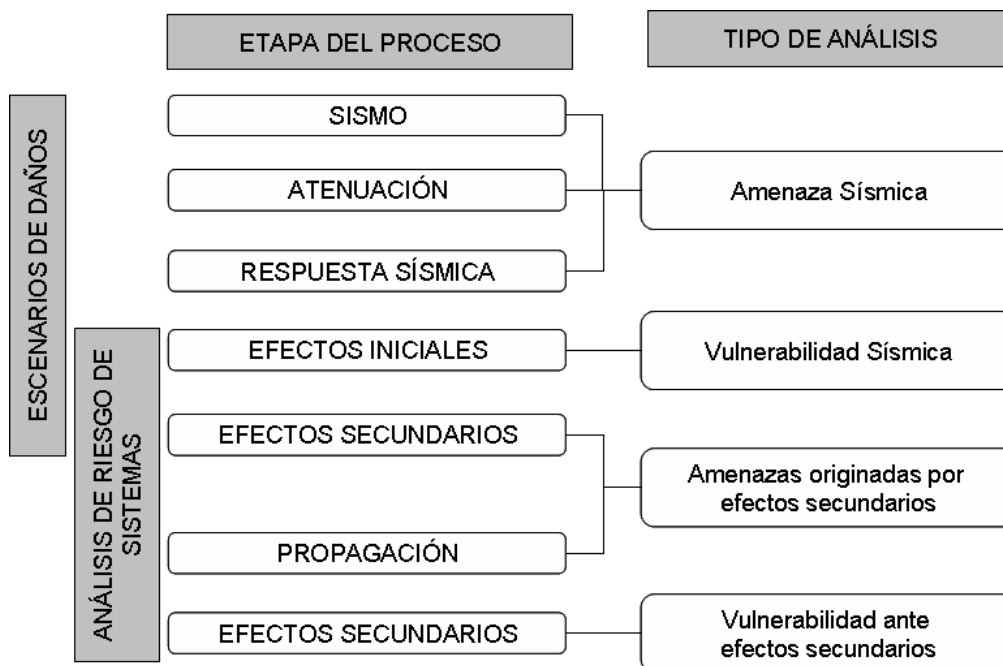


Figura 2.3. Tipos de análisis que se desarrollan para afrontar el problema

Es importante destacar que los resultados de riesgo en términos de daños y afectaciones del primer análisis de amenaza y vulnerabilidad, para el siguiente análisis se convierten en las amenazas, es decir que las consecuencias iniciales de un terremoto son detonantes o las causas de otros análisis de riesgo. A manera de ejemplo, para ilustrar la situación,

imaginémosnos que ocurre un sismo en la falla frontal (sismo), se propaga la onda sísmica por el basamento rocoso (atenuación), por efecto de los suelos y topografía se amplifica (respuesta sísmica), las ondas en superficie mueven los edificios y le ocasionan daños a las estructuras (repuesta de los elementos – efectos iniciales), el daño de los edificios se convierte en una amenaza potencial para sus residentes y entorno, si llega a colapsar alguna estructura afectaría una zona de impacto (propagación) produciendo daños a otros edificios, redes, afectados y víctimas (efectos secundarios), los efectos secundarios se pueden propagar y volver a generar daños, lo cual se puede repetir varias veces.

El anterior panorama describe de manera general los efectos directos que ocasiona un terremoto, adicional a toda la cadena de acontecimientos hay implicaciones indirectas en la sociedad, economía y el desarrollo de la ciudad, las cuales son aún más difíciles de evaluar. Para fines del proyecto de escenarios de daños es imprescindible ilustrar bajo este enfoque el alcance de las evaluaciones que realiza el estudio, las cuales se concentran en la cuantificación de los efectos iniciales y algunos secundarios. Para abarcar las evaluaciones de efectos secundarios es necesario estudiar varios tipos de detonantes (amenazas) por ejemplo: colapso de estructuras, derrames de aguas residuales o líquidos peligrosos, incendios, etc., la manera que se propagan y la vulnerabilidad de los elementos expuestos frente a este tipo de amenazas, siendo entonces un problema aún más complejo que se enmarca en los estudios de análisis de riesgo de sistemas urbanos.

2.2 METODOLOGÍA DE VALORACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO

Los análisis de riesgo sísmico a nivel mundial se realizan desde hace ya varias décadas, las diferentes metodologías desarrolladas identifican diferentes componentes que entran a ser valorados en dichas evaluaciones. En general se ha llegado a un consenso para estimar el riesgo sísmico a partir de tres componentes básicas que son la amenaza, la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta, de este modo el riesgo sísmico se define a partir de la **Ec. 1**.

$$\text{Ec. 1. } R \approx \frac{A \cdot V}{CR}$$

La amenaza (A) se define usualmente en términos de la probabilidad de ocurrencia, sin embargo también se puede determinar de manera determinística para una fuente sísmica particular, el valor de la amenaza será función principalmente del ambiente sismotectónico de la zona y las condiciones locales de los suelos. Además de los efectos directos sobre una ciudad por la propagación de las ondas de un sismo, éste puede desencadenar otros efectos como deslizamientos, licuación de terrenos, inundaciones, etc., o a consecuencia de los daños de las estructuras pueden ocurrir incendios, de tal manera que la amenaza debería involucrar tanto efectos directos como indirectos (colaterales).

La vulnerabilidad (V) de los elementos expuestos (edificaciones, líneas vitales, población) representa la capacidad del elemento para resistir daño o afectación frente a la amenaza, es decir que un elemento con vulnerabilidad baja es capaz de resistir altos niveles de amenaza, en cambio un elemento con vulnerabilidad alta tiene poca resistencia para absorber la demanda de la amenaza, por lo que puede sufrir daños fácilmente.

Finalmente, la capacidad de respuesta (CR) para efectos del presente estudio hace referencia a la capacidad de la sociedad, instituciones y población, de reaccionar adecuadamente en los instantes de emergencia y responder al impacto, controlarlo y recuperarse, es decir que una sociedad con alta capacidad de respuesta reflejado en su buena preparación, organización, recursos para atender una emergencia, capacidad económica y de gestión para recuperarse, sufrirá un menor impacto que una sociedad con baja capacidad de respuesta, la cual por su falta de preparación, organización, recursos para la emergencia y para recuperarse hacen que el riesgo pueda aumentar.

Las estrategias para reducir el riesgo sísmico bajo el anterior enfoque se pueden agrupar en: iniciativas para la reducción de la vulnerabilidad de los elementos expuestos y gestión para el mejoramiento de la capacidad de respuesta de la sociedad.

En la **Figura 2.4** se ilustran los diferentes componentes y elementos expuestos que se tienen en cuenta para las evaluaciones de riesgo sísmico. La amenaza considera tanto la acción de las ondas sísmicas (respuesta sísmica) como los deslizamientos y licuación de terrenos (efectos colaterales); la vulnerabilidad se evalúa para edificaciones - normales e indispensables y líneas vitales – redes y estructuras esenciales; al conjugar la amenaza y la vulnerabilidad se obtienen indicadores de daño, afectaciones a la población y pérdidas económicas, lo cual se conoce como escenario de daño. La capacidad de respuesta de la sociedad, instituciones y población, se evalúa por medio de indicadores.

Finalmente, se escoge una unidad de análisis de interés para integrar los resultados e indicadores mediante técnicas de evaluación multicriterio para obtener un índice de riesgo sísmico, el cual se puede interpretar más fácil que los resultados dispersos de las evaluaciones puntuales, este índice sirve para orientar a los tomadores de decisiones en la definición y/o mejora de las estrategias de reducción del riesgo sísmico, como por ejemplo los planes de respuesta por terremoto.

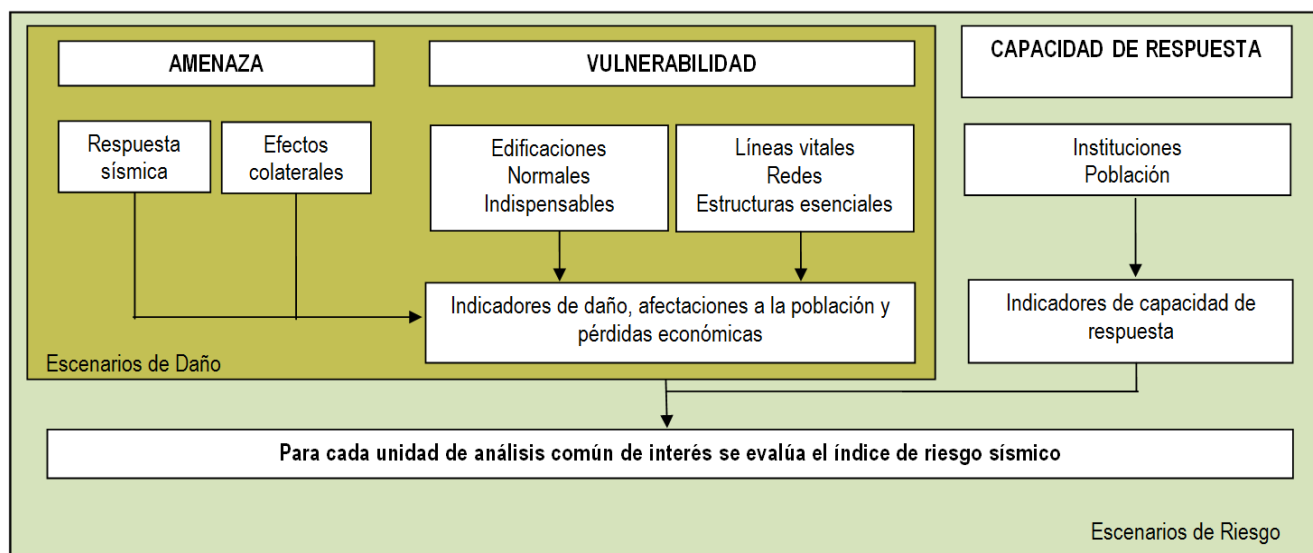


Figura 2.4. Interacción de las componentes del análisis de riesgo sísmico

2.3 METODOLOGÍA GENERAL DE EVALUACIÓN DE DAÑOS POR SISMO

La metodología general propuesta para evaluar los daños mediante el sistema se basa en las componentes y tipos de análisis identificados para afrontar el problema. Básicamente se dividió el problema en cuatro componentes, la primera corresponde al inventario de elementos expuestos, la segunda a la valoración de su vulnerabilidad, la tercera es propiamente la cuantificación de los daños iniciales y la cuarta componente es la evaluación de daños secundarios. Estas componentes se aplican para las tres grandes categorías de elementos, edificaciones, líneas vitales y al terreno, considerado como elemento expuesto a sufrir daños como licuación y deslizamiento. De manera esquemática se puede observar en la **Figura 2.5**.

El flujo de información, evaluaciones y resultados será de la siguiente manera: se identifican y localizan los elementos expuestos, edificaciones, líneas vitales y zonas del terreno potencialmente licuables o susceptibles a deslizamientos; los tipos de elementos que cuentan con métodos de evaluación de vulnerabilidad (básicamente vulnerabilidad física entendida como la resistencia que ofrece para soportar daño) se caracterizan y evalúan; luego con base en los resultados de vulnerabilidad o directamente a partir de las características del elemento y tomando los niveles de amenaza sísmica que define el escenario considerado se estiman los daños iniciales de las edificaciones, líneas vitales y del terreno (zonas que presentan licuación y deslizamientos); los resultados de los daños iniciales de las edificaciones y de las líneas vitales se corrigen o mayoran de acuerdo con los daños del terreno evaluados en la anterior etapa con el fin de obtener los daños

totales que incluyan la licuación del terreno y deslizamientos. Finalmente se calculan la afectación a la población y un estimativo de las pérdidas económicas directas de las edificaciones.

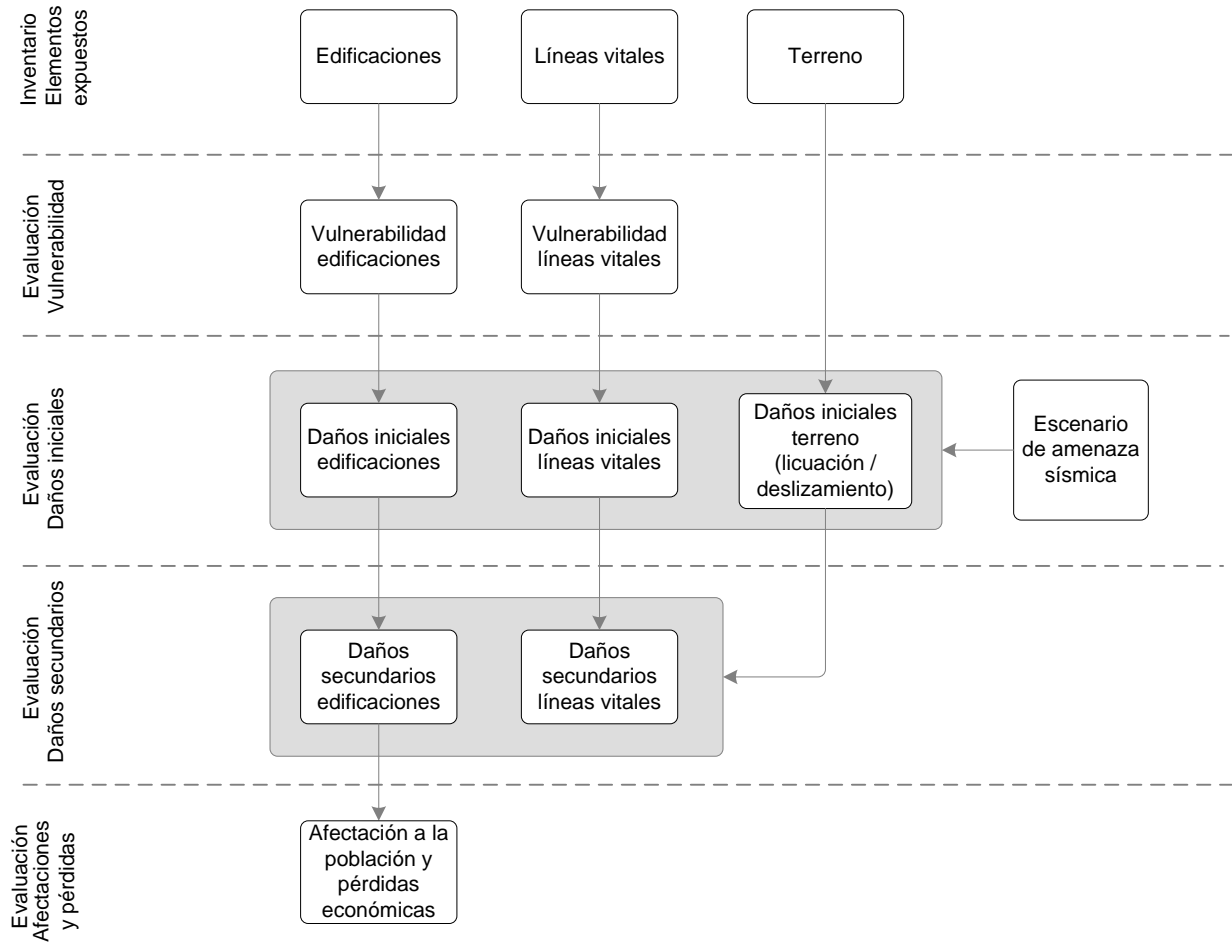


Figura 2.5. Metodología de evaluación de vulnerabilidad y daños por sismo incluyendo efectos colaterales

3 ESCENARIOS DE AMENAZA SÍSMICA

El primer componente que requiere el sistema de cálculo de escenario de daños son los escenarios de amenaza. Los escenarios de amenaza se definen a partir de los sismos probables (asociados a una tasa de retorno) en términos de magnitud y distancia a la ciudad y su respectiva intensidad sísmica en cada una de las zonas de respuesta sísmica del área de estudio. Para este fin, en este capítulo ilustra la metodología desarrollada, la información que se tuvo en cuenta de los estudios de amenaza sísmica nacional y el modelo desarrollado para estimar varios parámetros de intensidad sísmica asociados a cada zona de respuesta sísmica.

3.1 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

La metodología desarrollada para definir y caracterizar los posibles escenarios de amenaza sísmica para el estudio consistió en dos actividades generales, la definición de los sismos probables y la modelación de la respuesta sísmica de los terrenos para varios niveles de amenaza.

Para desarrollar la primera actividad se recopiló la información disponible de los estudios de amenaza sísmica de Colombia y demás publicaciones sobre la actividad sísmica en Colombia, con base en estos estudios se identifican y caracterizan las fuentes sismogénicas que pueden producir sismos que afecten a la ciudad, combinado con los antecedentes encontrados de sismos históricos se definen los sismos probables que pueden ocurrir con determinada Magnitud y a cierta Distancia.

Una vez definido el sismo probable (evento hipotético) es necesario modelar la respuesta sísmica de los terrenos particularmente para dicho evento. Para ello se tomó como base los resultados de los estudios de microzonificación sísmica de Bogotá y referencias bibliográficas que recomendaran la forma de caracterizar en términos de parámetros de intensidad sísmica la respuesta de los terrenos de la ciudad. De este modo se pueden obtener niveles de amenaza para cada una de las zonas de respuesta sísmica de la ciudad

Es importante resaltar que se deben definir varios parámetros de intensidad sísmica, desde los más básicos como la Intensidad de Mercalli Modificada hasta parámetros espectrales de aceleración, velocidad y desplazamiento, ya que los diferentes modelos empleados para estimar daños requerirán un parámetro específico para su aplicación.

3.2 SISMOS PROBABLES

Un punto muy importante en el proceso de estimar los daños, afectaciones y pérdidas es la correcta definición de los sismos probables. Por un lado estos sismos deben ser consistentes con los resultados de los estudios de amenaza sísmica y por otro lado deben ser representativos de los eventos ocurridos en el pasado o sismos históricos.

3.2.1 Revisión de la amenaza sísmica nacional

Los estudios generales de amenaza sísmica de Colombia definen para las ciudades capitales la amenaza total y desagregada por fuentes sismogénicas. Esta información es primordial para definir el potencial de cada fuente sismogénica y definir así en términos de magnitud y distancia los eventos probables que pueden presentarse y afectar a la ciudad.

Con el fin de actualizar las Normas Colombianas de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (AIS 2010), el comité AIS-300 de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica de Colombia realizó el "Estudio General de Amenaza Sísmica de

Colombia 2009". De igual manera INGEOMINAS en convenio con la Universidad Nacional adelantó el "Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia".

El estudio de AIS calcula la amenaza sísmica con las ecuaciones de atenuación modificadas de Campbell (strike) y Campbell (reverse), para ajustar los datos al caso colombiano, y emplearlas para fallas de tipo cortical, subducción y Benioff. De la misma manera se emplearon las ecuaciones propuestas por Gallego, las cuales fueron obtenidas específicamente para el caso colombiano. Para el país se identificaron un total de 35 fuentes sísmicas que contribuyen a la amenaza, cuyas curvas de amenaza de Bogotá se muestran en la **Figura 3.1**.

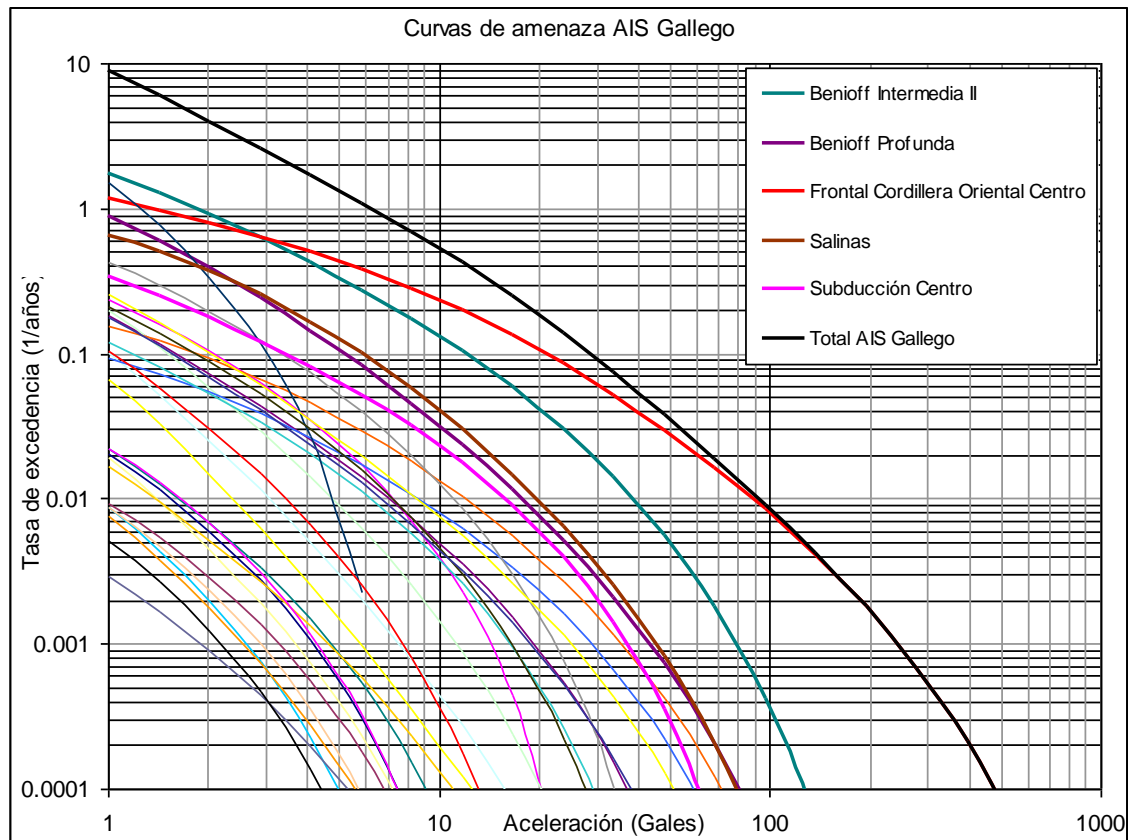


Figura 3.1. Curvas de amenaza para Bogotá curvas de Gallego. (AIS, 2009)

De esas 35 fuentes se identificaron 5 fuentes que se constituyen como las de mayor contribución a la amenaza total en Bogotá; Frontal de la Cordillera Oriental Centro, Benioff Intermedia II, Salinas, Benioff Profunda y Subducción Centro, en donde se puede observar que la amenaza en Bogotá está prácticamente controlada por la actividad de la Falla Frontal.

El estudio de Ingeominas-Unal calcula la amenaza sísmica con varias ecuaciones de atenuación de acuerdo con los tipos de fuentes sísmicas. De acuerdo a este estudio, para Colombia se identificaron un total de 48 fuentes sísmicas que contribuyen a la amenaza, 39 de ellas son de tipo cortical, 3 son de tipo subducción, 4 son profundas y se consideraron 2 fuentes de tipo área. De esas 48 fuentes se identificaron 5 fuentes que se constituyen como las de mayor contribución a la amenaza total en la ciudad de Bogotá, y corresponden a: Guaicaramo Servitá, Quetame Santa María Soápaga, Honda Suarez, Algeciras Altamira y Benioff, de las cuales la amenaza está prácticamente controlada por la actividad de Quetame Santa María Soápaga. En la **Figura 3.2**, se observan las curvas de amenaza correspondientes a cada una de estas fuentes y la amenaza total.

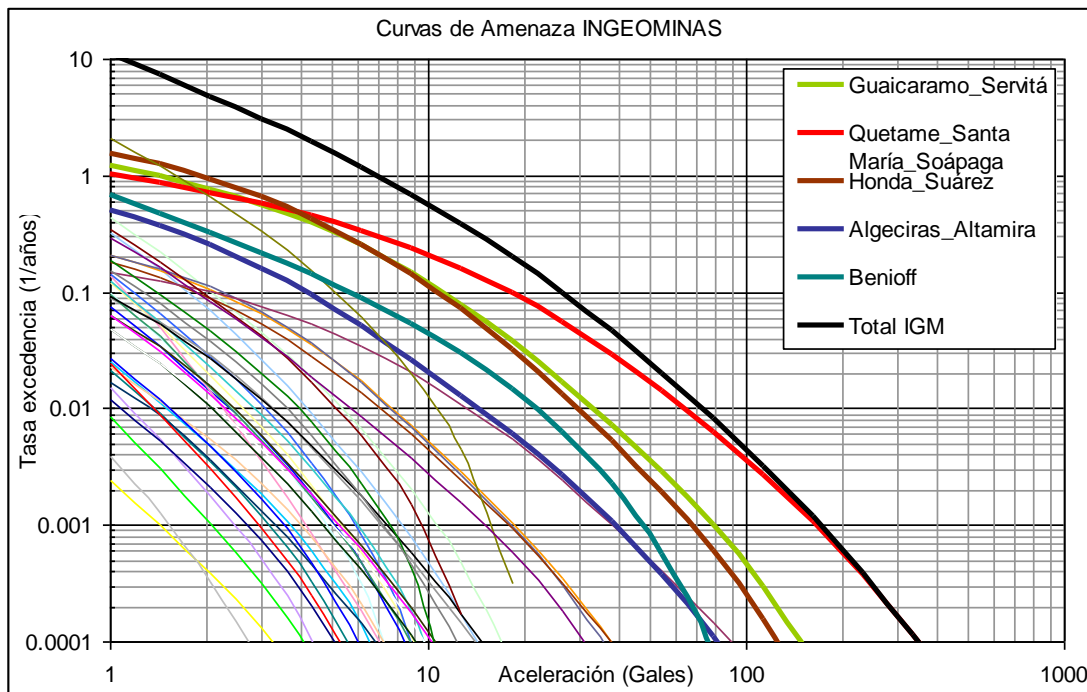


Figura 3.2. Curvas de amenaza de distintas fuentes para Bogotá. (Ingeominas & Unal, 2010)

La **Figura 3.3** presenta los Espectros de Amenaza Uniforme obtenidos por Ingeominas-Unal IGM3, AIS Campbell_García y AIS Gallego para un punto de referencia en la Plaza de Bolívar. Los resultados de los modelos IGM3 y AIS Campbell-García son muy similares. Por otro lado, el espectro obtenido mediante AIS, Gallego, tiene como principal característica, el hecho que genera aceleraciones espectrales más altas para periodos mayores.

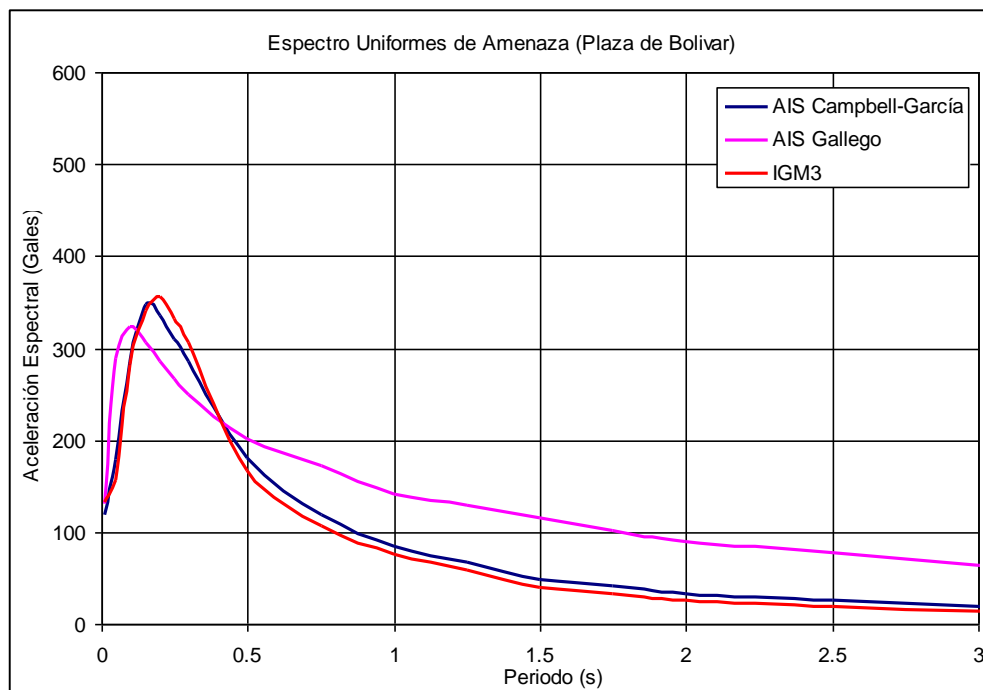


Figura 3.3. Comparación de Espectros de Amenaza Uniforme obtenidos por AIS e Ingeominas -IGM

Finalmente los resultados de estos estudios sirvieron para actualizar el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 el Mapa de Zonificación Sísmica de Colombia que se muestra en la **Figura 3.4**. De acuerdo a esta zonificación sísmica la ciudad de Bogotá (zona urbana) se encuentra en Amenaza Sísmica Intermedia.

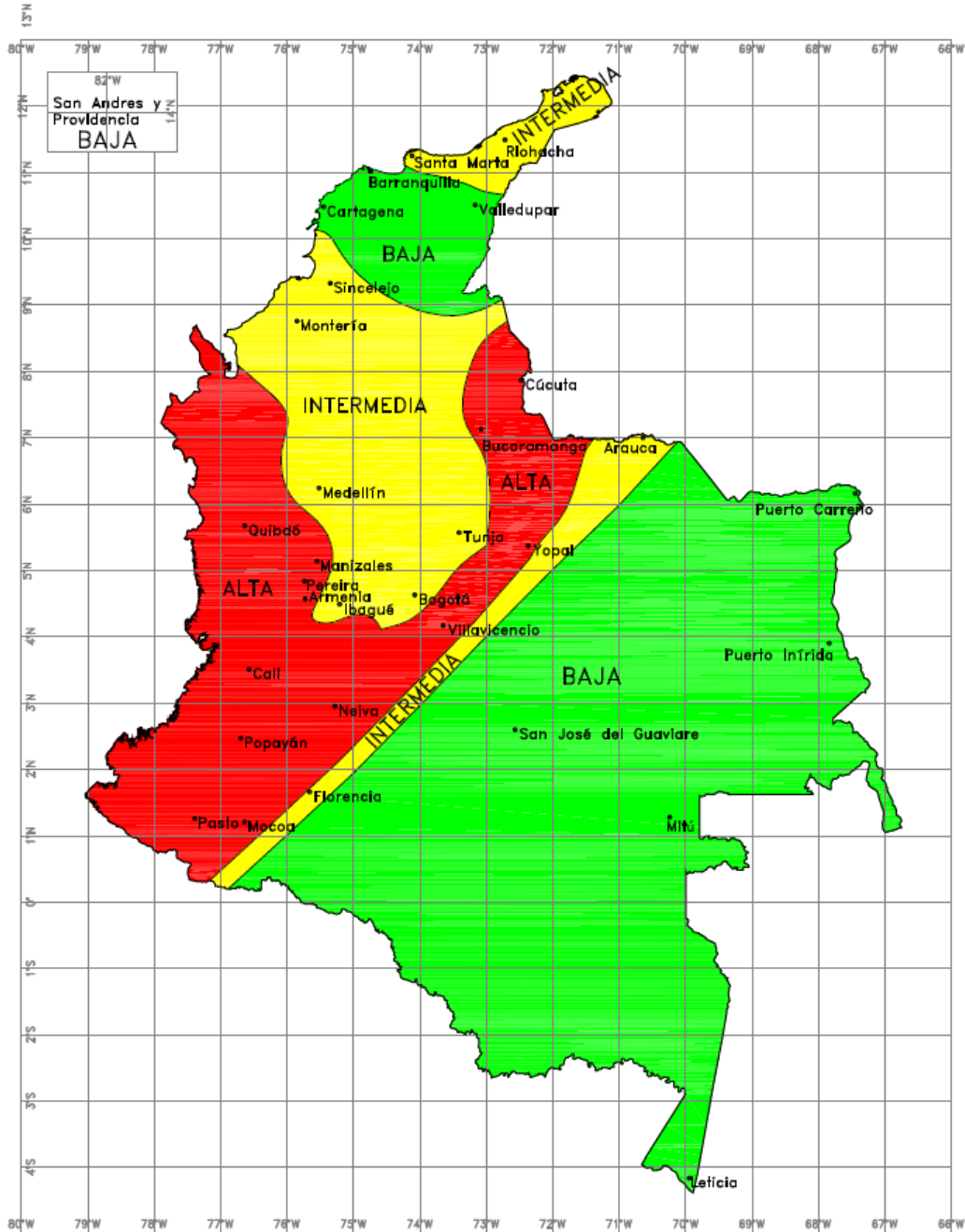


Figura 3.4. Mapa de zonificación sísmica de Colombia (AIS, 2009)

Adicional a la zonificación de amenaza sísmica publicada en el Reglamento NSR-10, se presentan mapas de amenaza para varias tasas de retorno, como 475 años denominado diseño, 225 años asociado a una condición de seguridad limitada y 31 años correspondiente a umbral de daño. Estos mapas de amenaza serán empleados para asociar las afectaciones generales que pueden llegarse a causar por un sismo.

3.2.2 Revisión de sismos históricos

La ciudad de Bogotá ha sido afectada históricamente por la actividad sísmica de la región, registros del siglo XVII a la fecha ratifican que se han sentido en Bogotá por lo menos nueve sismos con intensidad entre VI y VIII en la escala de Mercalli Modificada (desde daños leves a daños moderados). En la **Tabla 3.1** se resumen las intensidades percibidas y afectaciones reportadas por los principales sismos históricos en Bogotá.

Año	Epicentro	Magnitud	Distancia a Bogotá (Km)*	MMI en Bogotá	Afectaciones en Bogotá
1616	Cajicá (Cund)	?	40	?	
1644	Chipaque (Cund)	~6	15	VI	Posible licuación en las márgenes del río Tunjuelo
1646	Sogamoso (Boyacá)	?	180	?	
1724	Chita (Boyacá)	~6¾	250	?	
1743	Páramo de Chingaza (Cund)	~6½	35	VII	Afectó la ermita de Guadalupe, relatos hablan de daños "gravísimos" a iglesias y conventos
1755?	Gámeza (Boyacá)	?	200	?	
1785	Páramo de Chingaza (Cund)?	~6¾ - 7¼	60?	VIII	Afectó la ermita de Guadalupe, relatos hablan de la severidad del evento y de los daños
1805	Honda (Tolima)	~6¾	100	?	
1826	Sopo (Cund)	~6¼	30	VII	
1827	Timaná (Huila)	~7¾	350	VIII	Afectó la ermita de Guadalupe
1917	Páramo Sumapaz (Cund)	~7.1	45	VIII	6 muertos, 12 heridos, 400 casas afectadas y 50 colapsadas, daños a la ermita de Guadalupe y de Chapinero
1923	Gachalá (Cund)	~6¾	70	VII	
1928	Chinavita (Boyacá)	~5¾	100	?	
1967	Los Cauchos (Huila)	7.0	200	VI	13 muertos, 100 heridos, 30 inmuebles afectados, daños a la ermita de Guadalupe
1979	El Cairo (Valle)	7.2	180	VI	
1994	Páez (Cauca)	6.8	290	IV	
1995	Tauramera (Casanare)	6.5	130	V	
1999	Córdoba (Quindío)	6.1	180	III	
2008	Quetame (Cund)	5.7	35	V	Causó daños menores en el edificio de la Lotería de Bogotá y algunos desprendimientos de elementos no estructurales y muros

*Distancia a la Plaza de Bolívar, MMI Intensidad de Mercalli Modificada

Tabla 3.1. Sismos históricos sentidos en Bogotá (Dimate et al., 2005 y 2006)

Como se puede observar en la tabla anterior los sismos que han afectado a la ciudad provienen principalmente del sistema de falla Frontal de la cordillera oriental. En cuanto a las intensidades sísmicas reportadas se deben analizar con cuidado, ya que corresponden a interpretaciones realizadas con base en los reportes de daños en periódicos o libros de la época, limitándose a un valor de intensidad general para la zona urbana de ese entonces de la ciudad.

3.3 RESPUESTA SÍSMICA DEL TERRENO

Los estudios de amenaza sísmica nacional ilustran el panorama general de la intensidad de un sismo a nivel de roca o suelo firme. Adicionalmente a lo anterior, hay que tener en cuenta la respuesta sísmica del terreno, suelos y rocas superficiales, la cual puede llegar a modificar notoriamente la intensidad del sismo, este fenómeno se conoce con el nombre de respuesta sísmica o efectos locales. En términos generales la respuesta sísmica es de dos tipos, una se debe a los cambios de rigidez del medio por el que viajan las ondas sísmicas, produciendo amplificación o de-amplificación de la

onda; el otro se ocasiona por el relieve de la superficie, el cual puede producir el rebote y concentración de las ondas sísmicas a lo cual se denomina efecto topográfico. A continuación se resume la zonificación de respuesta sísmica de la ciudad (FOPAE, 2010) y los métodos desarrollados para evaluar los parámetros de intensidad sísmica para varios escenarios de amenaza.

3.3.1 Revisión de la zonificación de respuesta sísmica

Para conocer la respuesta sísmica de los terrenos de Bogotá el FOPAE realizó el estudio “Zonificación de la respuesta sísmica en Bogotá para el diseño sismo resistente de edificaciones”, el cual abarca las siguientes temáticas: a) modelo geológico - geotécnico que denota la disposición de los materiales y sus propiedades geomecánicas, b) modelo geofísico que ilustra los espesores y características dinámicas de los depósitos, c) interpretación de los registros de red de acelerógrafos que permite medir la respuesta y calibrar las propiedades dinámicas de los depósitos y, d) modelación de la respuesta de sitio que estima los efectos locales de un sismo de gran magnitud.

El modelo geológico – geotécnico (**Figura 3.5**) de la ciudad define cinco zonas geotécnicas, cerros, piedemonte, lacustre, aluvial y llanura de inundación, de las cuales algunas se subdividen de acuerdo con su estratigrafía manteniendo una definición más de carácter geotécnico que geológico.

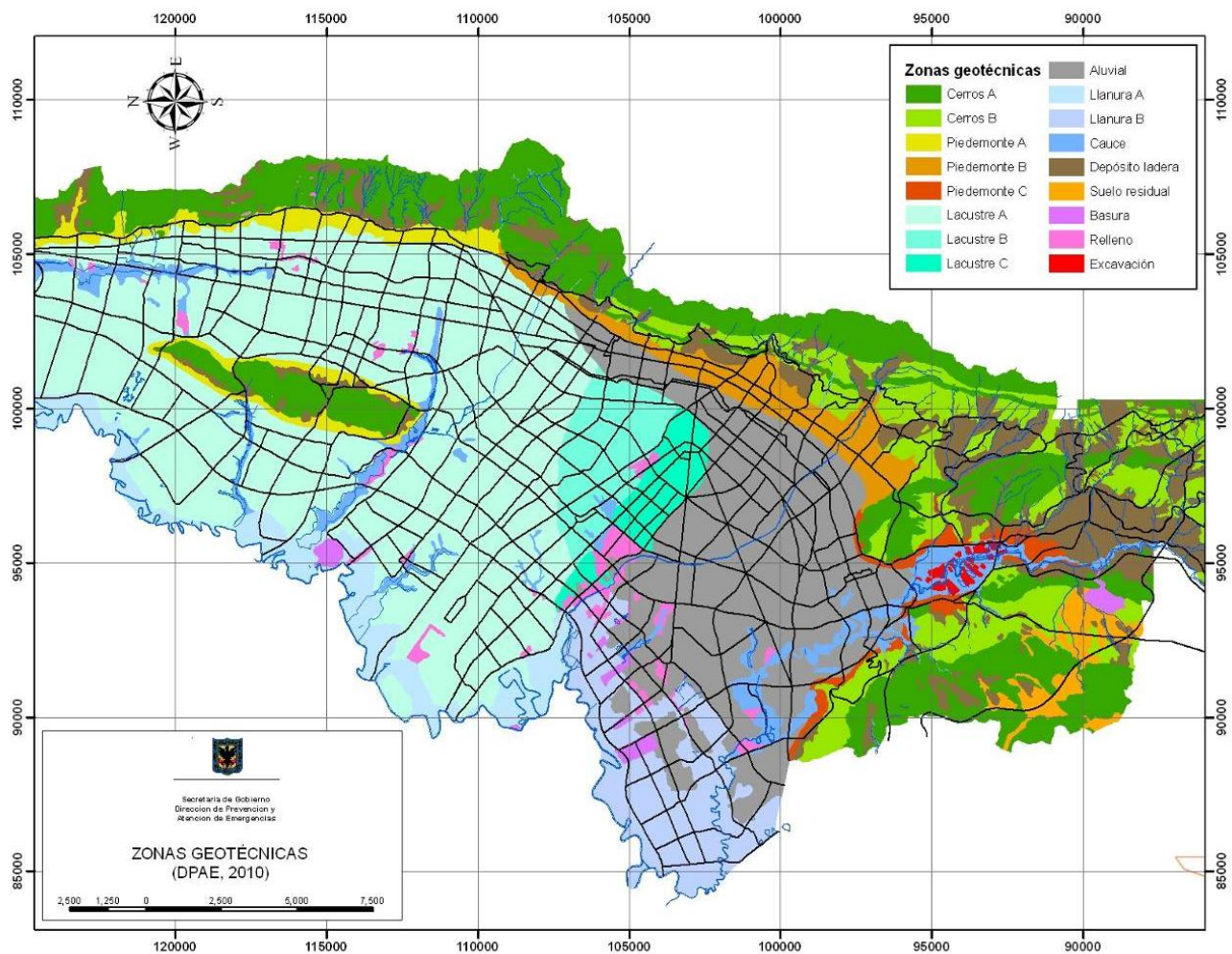


Figura 3.5. Zonas Geotécnicas de Bogotá (FOPAE, 2010)

Mediante el modelo geofísico se estimaron los espesores de los depósitos y la profundidad al basamento rocoso, este modelo muestra la forma en profundidad de la cuenca de la sabana de Bogotá, donde el espesor de los sedimentos varía desde pocos metros en las zonas de piedemonte hasta 500 metros en la parte occidental cerca al río Bogotá, este aspecto tiene gran influencia en la respuesta dinámica.

Los registros de una red de acelerógrafos permiten medir la respuesta y calibrar las propiedades dinámicas de los depósitos, por ello se implementó la Red de Acelerógrafos de Bogotá (RAB) de propiedad del FOPAE. La red cuenta con 30 acelerógrafos digitales marca KINEMETRICS, los cuales fueron distribuidos en toda el área urbana de la ciudad; de estos aparatos, 28 son modelo ETNA y los 2 restantes son modelo K2. El principal evento registrado por la RAB fue el ocurrido el 24 de mayo de 2008 en el municipio de Quetame Cundinamarca, el cual activó todas las estaciones y se obtuvieron registros que permitieron caracterizar la respuesta sísmica. Los valores de aceleración máxima del terreno (Peak Ground Acceleration - PGA) de este sismo se muestran en la **Figura 3.6**, donde se aprecia la correlación con las zonas geotécnicas, puesto que las mayores amplificaciones ocurrieron en las zonas de piedemonte y lacustre, y en menor medida en las zonas de cerros y aluviales.

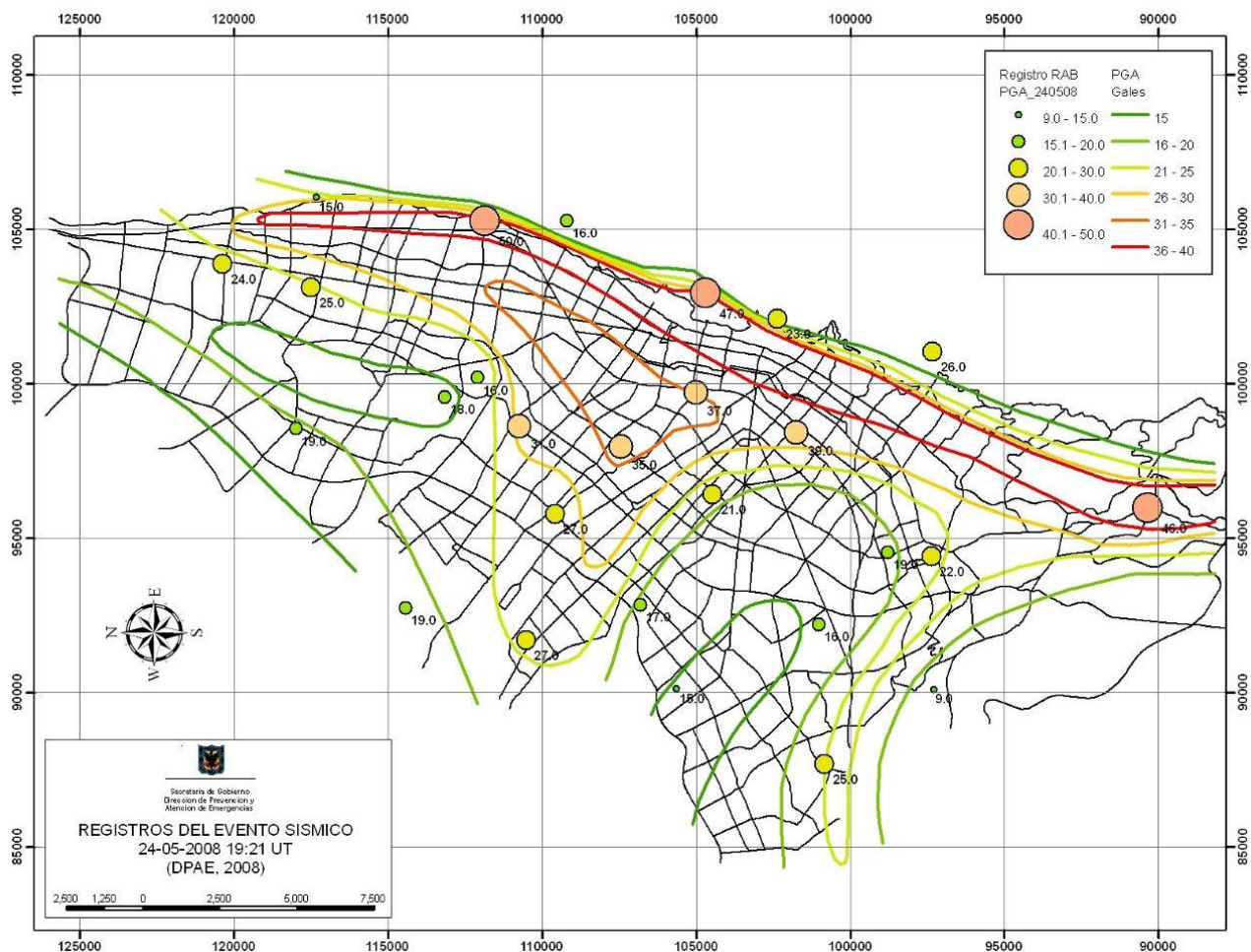


Figura 3.6. Aceleraciones máximas registradas en superficie por el sismo de Quetame (DPAE, 2008)

Mediante la modelación de la respuesta de perfiles unidimensionales y secciones bidimensionales acordes con el modelo geológico, geotécnico y geofísico, con sus propiedades dinámicas de los depósitos que fueron calibradas a partir de los registros de la RAB, se obtuvo la respuesta en superficie para diferentes sismos probables. A partir del análisis de las respuestas obtenidas en la superficie se definieron 15 zonas de respuesta sísmica homogénea y 1 zona de tratamiento

especial (Depósitos de ladera), como se ilustra en la **Figura 3.7**. Las zonas de respuesta sísmica guardan el vínculo con las zonas geotécnicas, destacándose cinco zonas, cerros, piedemonte, lacustre, lacustre-aluvial y aluvial, de las cuales se subdividen las de la zona plana por espesores de depósito. Este mapa define los espectros de respuesta de cada zona que se emplean para el diseño sísmo resistente de edificaciones nuevas o el reforzamiento de edificaciones antiguas.

Es importante mencionar que el mapa de zonificación de la respuesta sísmica no se puede categorizar en rangos de amenaza, baja, intermedio o alta, como el mapa nacional de amenaza sísmica, dado que representa la respuesta para todo un rango de periodos de vibración (respuesta espectral), por ende, la intensidad de la amenaza dependerá del periodo de vibración del elemento expuesto. Por ejemplo, un edificio de tres pisos en la zona de piedemonte estará expuesto a mayor intensidad que si estuviera en la zona de lacustre, pero si el edificio es de 20 pisos en la zona lacustre estaría expuesto a mayor intensidad que en la zona de piedemonte, esta dependencia del número de pisos o en términos técnicos del periodo de vibración es la gran diferencia con el mapa de amenaza sísmica nacional, siendo este mucho más preciso al incluir la respuesta sísmica de los terrenos.

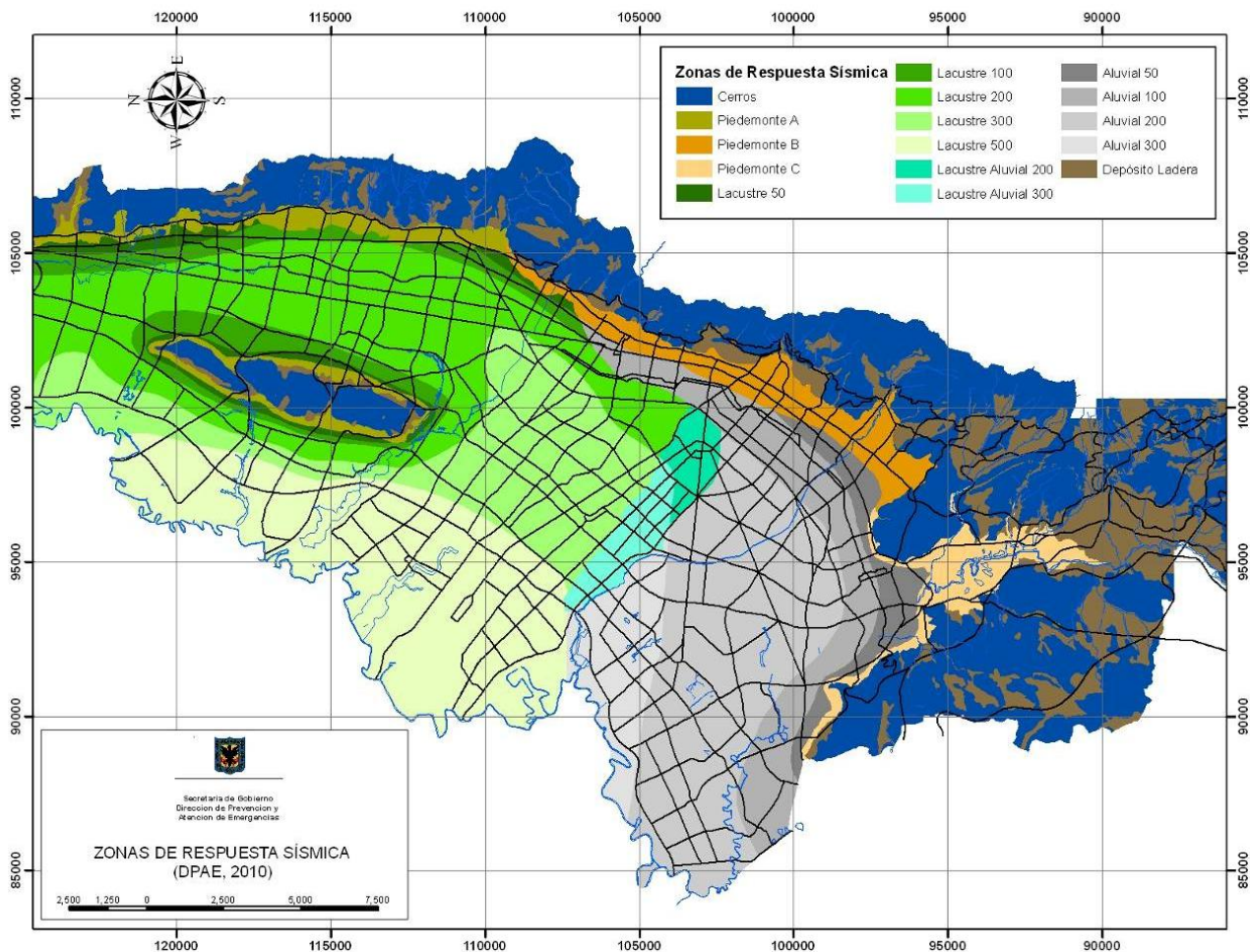


Figura 3.7. Zonas de Respuesta Sísmica (FOPAE, 2010)

3.3.2 Cálculo de parámetros espectrales

La respuesta sísmica de una zona se representa mediante espectros de respuesta que definen la demanda sísmica para varios periodos de vibración (cada elemento expuesto tiene un periodo de vibración propio que es proporcional a su masa y rigidez), los resultados del estudio de Zonificación de la Respuesta Sísmica de Bogotá (DPAE, 2010) da los insumos

necesarios para modelar la respuesta sísmica del terreno para varios niveles de amenaza, de forma esquemática se ilustra en la **Figura 3.8** el procedimiento de cálculo de la respuesta en superficie a partir de espectros uniformes de amenaza y relaciones espectrales de cada zona.

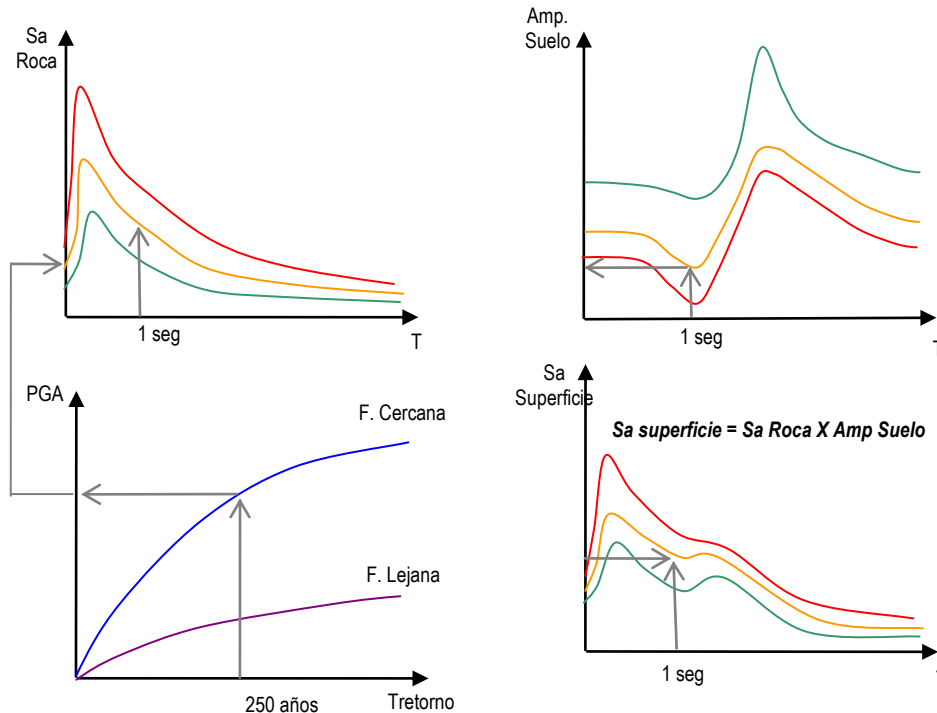


Figura 3.8. Método de evaluación de la respuesta sísmica para propósitos de escenario de daños

Los dos primeros insumos se toman de los estudios de amenaza sísmica de Colombia, por un lado se requieren las curvas de amenaza sísmica de cada una de las fuentes sísmicas de interés, estas están en términos de aceleración pico del terreno (PGA); el segundo insumo corresponde a los espectros de amenaza uniforme en roca para varios niveles de amenaza.

El tercer insumo son las funciones de transferencia que representen el efecto que produce el suelo o las condiciones topográficas al espectro de amenaza uniforme a nivel de roca, esto se representa mediante las denominadas relaciones espectrales que estiman la amplificación periodo a periodo de una señal de cierto nivel de amenaza, niveles altos de amenaza amplifican menos que los niveles bajos de amenaza por efecto del comportamiento no lineal de los terrenos que al ser sometidos a mayores esfuerzos amortiguan más y por ende amplifican menos.

Finalmente el modelo calcula la respuesta espectral en superficie del terreno como el producto periodo a periodo entre el espectro uniforme de amenaza en roca por la relación espectral del terreno correspondiente al nivel de amenaza, eso para cada zona de respuesta sísmica.

Este modelo permite entonces establecer en términos espectrales la respuesta sísmica de cada zona de la ciudad para diferentes niveles de amenaza, de tal manera que a partir de la definición del sismo de interés se modela la respuesta sísmica de los terrenos de toda la zona urbana de la ciudad de Bogotá.

3.3.3 Cálculo de parámetros de intensidad sísmica

Los resultados de respuesta sísmica con el modelo anterior permiten definir para un periodo de vibración igual a cero la aceleración pico del terreno PGA , de la cual se pueden estimar otros parámetros de intensidad sísmica necesarios para

aplicar los modelos de daño, a continuación se presentan las ecuaciones aplicadas para obtener estos parámetros que fueron obtenidas con base en las recomendaciones bibliográficas de Newmark y Moraz que establecen parámetros de referencia entre aceleración, velocidad y desplazamiento.

Velocidad y desplazamiento pico del terreno a nivel de roca:

$$PGV_r = 122 * PGA_r / 981$$

$$PGD_r = 92 * PGA_r / 981$$

Donde PGA_r es la aceleración pico del terreno en roca en Gales, PGV_r es la velocidad pico del terreno en roca en cm/s, PGD_r es el desplazamiento pico del terreno en roca en cm.

Velocidad y desplazamiento pico del terreno a nivel de superficie:

$$PGV = \frac{Sa(1)}{Sa(1)_r} * PGV_r$$

$$PGD = \frac{Sa(2)}{Sa(2)_r} * PGD_r$$

Donde $Sa(1)_r$ y $Sa(2)_r$ son las aceleraciones espectrales para 1 y 2 segundos en roca, $Sa(1)$ y $Sa(2)$ son las aceleraciones espectrales para 1 y 2 segundos en superficie, PGV es la velocidad pico del terreno en superficie en cm/s, PGD es el desplazamiento pico del terreno en superficie en cm.

Otro parámetro de intensidad sísmica necesario para aplicar algunos de los métodos de daños es la Intensidad de Mercalli Modificada MMI, la cual se establece de acuerdo a la recomendación de la USGS como se ilustra en la **Tabla 3.2**.

PGA Gales	PGV cm/s	MMI
0-1.7	0-0.1	I
1.7-14	0.1-1.1	II-III
14-39	1.1-3.4	IV
39-92	3.4-8.1	V
92-180	8.1-16	VI
180-340	16-31	VII
340-650	31-60	VIII
650-1240	60-116	IX
>1240	>116	X+

Tabla 3.2. Intervalos de respuesta sísmica para Intensidad de Mercalli Modificada (fuente USGS)

Debido a que los modelos de daño de edificaciones trabajan mejor con parámetros espectrales, es decir que tengan en cuenta el periodo de vibración de la estructura, la escala MMI no es adecuada para evaluar el daño de edificaciones altas. Por esta razón, y teniendo en cuenta que la intensidad con la cual es sentido un sismo depende del periodo estructural de la edificación, se optó por utilizar la escala EEIS (Earthquake Engineering Intensity Scale), la cual es definida a partir de las aceleraciones espectrales y la velocidad espectral como se muestra en la **Figura 3.9**.

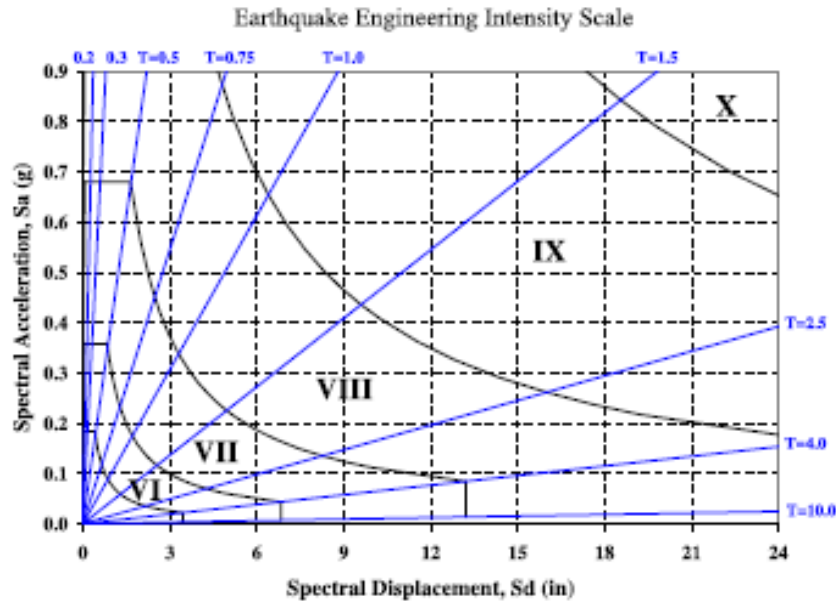


Figura 3.9. Escala de Intensidades Ingenieriles- EEIS. (Freeman et al., 2004)

La escala EEIS define la intensidad en función del periodo de vibración, para edificaciones bajas con periodo menor a 0.5 segundos la intensidad es función de la aceleración espectral, para edificaciones altas con periodo entre 0.5 y 4.0 segundos es función de la velocidad espectral, y para periodos mayores a 4.0 segundos se trabaja con desplazamiento. En la **Tabla 3.3** se presentan los intervalos de aceleración espectral y velocidad espectral asociados a la escala EEIS.

Sa Gales	EEIS T<0.5s	Sv cm/s	EEIS T>0.5s
0.0-3.4	1.0	0.0-0.2	1.0
3.4-15.7	2.0	0.2-1.0	2.0
15.7-28	3.0	1.0-1.9	3.0
28-53	4.0	1.9-3.8	4.0
53-78	4.5	3.8-5.8	4.5
78-131	5.0	5.8-9.8	5.0
131-184	5.5	9.8-13.8	5.5
184-272	6.0	13.8-20.5	6.0
272-360	6.5	20.5-27.2	6.5
360-520	7.0	27.2-40.0	7.0
520-680	7.5	40.0-52.7	7.5
680-990	8.0	52.7-77.4	8.0
990-1300	8.5	77.4-102.0	8.5
1300-1890	9.0	102.0-149.6	9.0
1890-2480	9.5	149.6-197.2	9.5
2480-3000	10.0	197.2-300	10.0

Tabla 3.3. Valores de aceleración y velocidad espectral asociados a la escala EEIS

4 VULNERABILIDAD SÍSMICA

La vulnerabilidad sísmica es una propiedad intrínseca de las estructuras, una característica de su propio comportamiento ante la acción de un sismo descrito a través de una ley causa efecto, donde la causa es el sismo y el efecto es el daño (Sandi, 1986). Esta definición, constituye una clara explicación de la necesidad de evaluar los niveles de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones y líneas vitales en zonas de amenaza sísmica, ya que el nivel de daño en las estructuras repercute directamente sobre las diferentes afectaciones que pueden sufrir las personas que se encuentran dentro o cerca de ellas al momento del evento.

En este capítulo se resume el método para determinar el índice de vulnerabilidad sísmica de edificaciones y el método para estimar un factor de vulnerabilidad para tuberías. Para otras topologías de elementos expuestos no se encontraron en la revisión bibliográfica métodos de cálculo de vulnerabilidad, en estos casos la evaluación se hace directamente a daño.

4.1 EDIFICACIONES

4.1.1 Descripción del método Italiano

Propuesto por Benedetti y Petrini en 1984, define la vulnerabilidad sísmica de un edificio mediante el cálculo de un índice de vulnerabilidad (I_v), el cual es un indicador de la probabilidad que tiene una estructura de sufrir daños ante la acción de un evento sísmico de determinadas características. El cálculo del índice de vulnerabilidad (I_v) se basa en el procesamiento de información de once características específicas de la edificación, consideradas como las más importantes en su capacidad de respuesta sísmica, asignando a cada una de ellas diferentes ponderaciones, según su jerarquía en la aportación a la sismo resistencia de la edificación.

Esta metodología fue desarrollada con base en la observación de los daños producidos a un gran número de edificaciones por diferentes sismos ocurridos en Italia durante la década de los 70 y principios de los años 80, lo que permitió generar diferentes funciones que relacionan directamente las características de la edificación con sus niveles de vulnerabilidad y el potencial de daño generado ante la ocurrencia de un determinado evento sísmico.

Como ya fue mencionado, el índice de vulnerabilidad tiene en cuenta once características propias de la edificación, las cuales constituyen los parámetros considerados más importantes en su capacidad de respuesta y nivel de desempeño ante la acción sísmica, evaluando sus condiciones y estableciendo diferentes posibilidades de calificación para cada uno de estos once parámetros, con cuatro posibilidades de calificación (categorías de desempeño) para edificaciones frágiles (A, B, C, D) y tres para edificaciones dúctiles (A, B, C), que van respectivamente desde las condiciones más favorables (condiciones ideales), a las cuales se asigna con calificación A, hasta aquellas condiciones más desfavorables desde el punto de vista sísmico, a las que corresponderá una calificación de C o D, dependiendo de si se trata de una estructura frágil o dúctil respectivamente.

Esta evaluación asigna a cada uno de los once parámetros un valor numérico K_i , que oscila entre 0 y 45 para edificaciones frágiles y entre -1 y 2 para edificaciones dúctiles, correspondiendo un mayor valor numérico a niveles más desfavorables. Por último la metodología asigna un peso W_i que permite tener presente el nivel de importancia que cada uno de los parámetros evaluados tiene en el desempeño sísmico de la edificación. La **Tabla 4.1** y **Tabla 4.2** muestran los valores de calificación K_i y los pesos W_i respectivos para estructuras frágiles y dúctiles.

I	DESCRIPCIÓN DEL PARÁMETRO	Valor Ki según categoría				Wi
		A	B	C	D	
1	Organización del sistema resistente	0	5	20	45	1
2	Calidad del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
3	Resistencia convencional	0	5	25	45	1.5
4	Posición del edificio y cimentación	0	5	25	45	0.75
5	Diafragmas horizontales	0	5	15	45	1 (variable)
6	Configuración en planta	0	5	25	45	0.5
7	Configuración en elevación	0	5	25	45	1 (variable)
8	Separación máxima entre muros	0	5	25	45	0.25
9	Tipo de cubierta	0	15	25	45	1 (variable)
10	Elementos no estructurales	0	0	25	45	0.25
11	Estado de conservación	0	5	25	45	1

Tabla 4.1. Parámetros para el cálculo del índice de vulnerabilidad en edificaciones frágiles.

I	DESCRIPCIÓN DEL PARÁMETRO	Valor Ki según categoría			Wi
		A	B	C	
1	Organización del sistema resistente	0	1	2	4
2	Calidad del sistema resistente	0	1	2	1
3	Resistencia convencional	-1	0	1	1
4	Posición del edificio y cimentación	0	1	2	1
5	Diafragmas horizontales	0	1	2	1
6	Configuración en planta	0	1	2	1
7	Configuración en elevación	0	1	3	2
8	Conexión entre elementos críticos	0	1	2	1
9	Elementos de baja ductilidad	0	1	2	1
10	Elementos no estructurales	0	1	2	1
11	Estado de conservación	0	1	2	1

Tabla 4.2. Parámetros para el cálculo del índice de vulnerabilidad en edificaciones dúctiles.

Una vez identificados y cuantificados cada uno de los once parámetros se procede al cálculo de índice de vulnerabilidad mediante la ecuación básica del método:

$$\text{Ec. 2. } I_v = \frac{\sum K_i \cdot W_i}{\sum K_i \text{ max} \cdot W_i}$$

Cuanto mayor es el índice de vulnerabilidad menor será la capacidad resistente del edificio (mayor porcentaje de daño esperado). Para el presente proyecto, el valor calculado del índice de vulnerabilidad se normaliza para valores de 0 a 100, mediante la utilización de las siguientes ecuaciones, según la tipología de la edificación.

Para edificaciones frágiles:

$$I_v = \frac{\sum K_i \cdot W_i}{\sum K_i \text{ max} \cdot W_i} + F_{np}$$

Donde F_{np} corresponde al Factor de número de pisos que tiene aplicación en este tipo de edificaciones, que en su mayoría corresponderán a mampostería.

Para edificaciones dúctiles:

$$I_v = \frac{\sum K_i \cdot W_i}{\sum K_{i \max} \cdot W_i}$$

A continuación se presenta un breve resumen de las características que el método considera de cada uno de los once parámetros analizados:

- Organización del sistema resistente: Se evalúa la configuración estructural del sistema resistente principal de la edificación, valorando la continuidad de elementos, estructuración, recorridos de cargas y efectividad de las uniones entre los diferentes elementos del sistema estructural.
- Calidad del sistema resistente: Califica el nivel de desempeño esperado del sistema estructural de la edificación ante un evento sísmico, valorando para ello la forma y disposición del sistema estructural junto con las características de los materiales empleados incluyendo sus niveles esperados de respuesta y resistencia ante solicitaciones dinámicas.
- Resistencia convencional: Busca evaluar la resistencia de la edificación ante la acción de cargas horizontales, mediante una inspección rápida en campo y la utilización de operaciones numéricas simplificadas.
- Posición del edificio y cimentación: Este parámetro evalúa dentro de lo posible por medio de una inspección visual, la influencia del terreno y la cimentación de la edificación en su comportamiento sísmico resistente, teniendo en cuenta principalmente aspectos como la capacidad y pendiente del terreno, la acción de empujes o desequilibrios debido a terraplenes y las ubicaciones a diferente nivel de los elementos de cimentación.
- Diafragmas horizontales: Contempla la importancia que tienen los elementos estructurales horizontales en la transmisión de las solicitaciones dinámicas de manera uniforme a los elementos del sistema de resistencia vertical, lo que influye directamente si es monolítico y en la respuesta en conjunto de toda la estructura.
- Configuración en planta: Este ítem busca tener en cuenta aspectos tales como incrementos de acción torsional y concentraciones de esfuerzos cuando los sistemas estructurales en planta presentan asimetrías o configuraciones irregulares.
- Configuración estructural en altura: Al igual que para el caso anterior, aquí se busca calificar la influencia negativa que tienen las configuraciones irregulares y/o discontinuas de los sistemas estructurales, grandes diferencias de masa, pisos débiles y demás aspectos en altura que influyen en la respuesta estructural ante la acción de movimientos sísmicos.
- Separación máxima entre muros: Tiene en cuenta la influencia que la densidad de muros en las dos direcciones principales del sistema estructural tiene en el grado de vulnerabilidad sísmica de la edificación.
- Tipo de cubierta: Se tienen en cuenta con este parámetro la capacidad del techo para resistir fuerzas sísmicas, además de su aportación en la capacidad de la estructura completa.
- Elementos no estructurales: Tiene en cuenta la existencia de diversos elementos no estructurales cuya caída no implique necesariamente daño estructural pero si pueda causar lesiones o afectaciones a las personas o elementos ubicados dentro de la edificación.

- Estado de conservación: Es un parámetro meramente subjetivo que busca evaluar de manera visual la presencia de desperfectos, fallos, deterioros y/o alteraciones en los materiales y elementos componentes del sistema estructural, que puedan incidir de una u otra manera en la capacidad de respuesta frente a un sismo.

La información de los anteriores once parámetros que requiere el método no se tienen directamente en la base de datos catastral de la ciudad, por lo cual es necesario adaptar el método para que a partir de la información disponible se infieran con algoritmos lógicos la información faltante.

4.1.2 Adaptación del método Italiano

En razón a que fue desarrollado inicialmente en Italia, para su ejecución en otros lugares es indispensable adaptar y calibrar el método teniendo en cuenta las características constructivas del sitio y la calidad y tipo de información disponible, en este apartado se describe la forma como se adaptó el método a la ciudad de Bogotá, mencionando y explicando las razones que se tuvieron en cuenta para ello.

El cálculo del índice de vulnerabilidad la metodología utiliza los once parámetros considerados más importantes en la respuesta estructural, clasificándolos en grupos de acuerdo a su comportamiento estructural. A continuación se explica la adaptación de cada uno de los once parámetros para permitir la aplicación del método a la ciudad de Bogotá.

- Organización del sistema resistente

Busca dar una valoración a la capacidad de respuesta de las diferentes tipologías estructurales, teniendo en cuenta la calidad de diseño sismo resistente empleado, aquí se tuvo en cuenta la influencia que la implementación del código y la normativa sismo resistente aporta en el mejoramiento de este aspecto, respecto de las prácticas comunes de diseño y construcción empleadas con anterioridad a su aparición, adicionalmente aquí se da importancia a la existencia o no de un registro del diseño estructural, lo cual en caso de existir permite visualizar la participación al menos en esta etapa de personal calificado.

- a) Edificación diseñada y construida bajo los requisitos mínimos establecidos en NSR 98 o CCCSR 84.
- b) Edificaciones diseñadas y construidas sin tener en cuenta NSR 98 ni CCCSR 84, pero se cuenta con registro de diseño sistema estructural bien definido.
- c) Edificación sin sistema estructural bien definido ni registro de diseño, o con duda o incertidumbre acerca de la calidad del diseño y o la construcción.
- d) Todas las demás edificaciones

- Calidad del sistema resistente

Se evalúa considerando la tipología estructural y su nivel esperado de desempeño.

- a) Pórticos en acero más divisiones livianas, pórticos en concreto más divisiones livianas, pórticos en concreto más muros de concreto, sistema estructural de muros en concreto reforzado.
- b) Pórticos en concreto más divisiones en mampostería, mampostería reforzada, estructuras con sistema mixto (Acero-Concreto), pórticos en acero más divisiones en mampostería, mampostería confinada.
- c) Mampostería inconfina, sistemas estructurales tipo reticular celular, estructuras prefabricadas, madera.
- d) Adobe, tapia pisada, bahareque, y otros sistemas estructurales.

- Resistencia convencional

Busca tener en cuenta un estimativo de la capacidad real de la estructura analizada, por tanto lo ideal sería realizar su evaluación a partir de información primaria tomada directamente en campo.

Para aquellos casos en que no se disponga de información primaria que permita hacer una valoración directa de este aspecto (la mayoría de los casos), se propone su cálculo promediando los parámetros organización y calidad, pues estos directamente muestran aspectos tales como si hay o no diseño para fuerzas sísmicas y la capacidad de respuesta del sistema estructural específico de la edificación.

- Posición del edificio y su cimentación

Evalúa la influencia de la posición del edificio, su sistema de cimentación y la posibilidad de que existan o no empujes generados por terraplenes sobre la estructura, adicionalmente tiene en cuenta el aspecto de obligatoriedad de formar anillos cerrados con los elementos de cimentación impuestos por el código y la normativa sísmo resistentes colombianas.

- a) Edificio cimentado sobre terreno estable con pendiente menor a 10%, todo el sistema de cimentación a una misma cota y formando anillos cerrados, ausencia de empujes por terraplenes. Se valora en esta categoría aquellos edificios construidos bajo NSR 98 o CCCSR 84, donde la información de topografía y localización de terraplenes lo permitan.
- b) Edificio cimentado sobre suelos con pendientes entre el 10% y 20%, no puede garantizarse la formación de anillos cerrados. Se clasificaran aquí aquellas estructuras cuya construcción no se realizó bajo los parámetros NSR 98 ni CCCSR 84, y cimentadas sobre terrenos con pendientes comprendidas dentro del rango mencionado.
- c) Edificaciones cimentadas sobre suelos con pendientes entre el 20% y 50%, en los cuales no se puede garantizar la formación de anillos cerrados, adicionalmente presencia de empujes por terraplenes.
- d) Todos los demás casos.

- Diafragmas horizontales

Su objetivo es tener en cuenta la influencia que los sistemas de diafragmas horizontales tienen en el comportamiento estructural de las edificaciones. Para considerar este aspecto es deseable la obtención de la información directamente por levantamiento en campo de las características estructurales de la edificación.

Sin embargo como esto casi nunca es posible, para la evaluación de este parámetro se tiene en cuenta información utilizada para la evaluación de parámetros anteriores: Fecha construcción, tipo de entrepiso y pendiente del terreno.

- a) Edificios cuyos diafragmas cumplen todas las siguientes condiciones: Placas de concreto con ausencia de planos a desnivel, Deformaciones en el plano de la placa despreciables (Puede garantizarse acción de diafragma rígido), Conexión eficiente entre los diafragmas y el sistema estructural.
- b) Edificios cuyos diafragmas no cumplen con alguno de los tres requisitos de la clase a), o aquellos en los cuales existe gran incertidumbre sobre uno de ellos.
- c) Edificios cuyos diafragmas no cumplen con dos de los tres requisitos de la clase a), o aquellos en los cuales existe gran incertidumbre sobre dos de ellos.
- d) Edificios que no cumplen con ninguno de los requisitos de la clase a) o donde exista incertidumbre acerca de su conformación.

- Configuración estructural en planta

Incluido para valorar la influencia que la configuración estructural en planta tiene sobre los sistemas estructurales. También es ideal su valoración mediante el levantamiento en campo de la información. Debido a la imposibilidad de hacer algún tipo de correlación con la información disponible que permita determinar este tipo de característica de manera indirecta, se ha tomado la determinación de asumir por defecto que todas las edificaciones presentan una configuración estructural con una irregularidad en planta según las consideradas en el Título A de la NSR 98 (decisión tomada considerando las tipologías típicas de las edificaciones colombianas).

Esta suposición corresponde entonces a asignar por defecto la categoría B para todos aquellos casos en los que no se disponga de información primaria para determinar este parámetro.

- Configuración estructural en altura.

Similarmente a la consideración hecha para el caso de configuración en planta, este parámetro considera la influencia en el comportamiento de las edificaciones influenciado por la configuración estructural en altura. El tratamiento dado será el mismo que para el caso de irregularidad en planta (considerar que la edificación presenta una condición de irregularidad en altura).

- Estructuración del sistema principal (separación máxima entre muros)

Este corresponde al ítem “Separación máxima entre muros” del método original; se ha decidido renombrarlo para la adaptación del método a la ciudad de Bogotá, teniendo en cuenta que además de contemplar sistemas estructurales a base de muros, se evaluarán otro tipo de sistemas con componentes estructurales diferentes. Este parámetro busca valorar la influencia que la configuración de la estructura principal, sus conexiones y demás elementos brindan o aportan en el sistema de resistencia de la estructura.

Para su valoración se tiene en consideración que la aparición del código colombiano de construcciones sismo resistentes 1984, garantiza de cierta manera que se proyecten sistemas estructurales en las dos direcciones principales con detalles adecuados y diseñados para la acción de efectos sísmicos, lo que supone un mejor comportamiento dinámico que el de la mayoría de las estructuras diseñadas y construidas antes de su entrada en vigencia. Las calificaciones son:

- a) Sistema estructural principal actuando en ambos sentidos, con distribución más o menos uniforme. Para aquellos casos en los cuales no se cuente con información primaria de campo, se incluirán dentro de esta categoría de desempeño aquellas edificaciones diseñadas y construidas bajo NSR 98 o CCCSR 84.
- b) Sistema estructural principal en ambos sentidos pero con distribución asimétrica o con diferencia de densidades mayor a 70% de la de sentido mayor respecto de la menor.
- c) Sistema estructural principal en un solo sentido o losas de entrepiso sistema reticular cedulado, o sistemas combinados con placa de transferencia.
- d) Sistema estructural principal en un solo sentido y losas de entrepiso tipo reticular celulado, o completa incertidumbre acerca de la conformación del sistema estructural principal.

- Tipo de cubierta

Considera la influencia que la cubierta tiene en el comportamiento sismo resistente de la edificación, su clasificación se hace de acuerdo a la existencia o no de las características estructurales que se mencionan en cada caso:

- a) La edificación evidencia las siguientes características: Cubierta estable, amarrada a la estructura principal por medio de al menos uno de los mecanismos de construcción monolítica con la estructura principal, unión con anclajes mecánicos calificados, se puede garantizar un comportamiento tipo diafragma rígido, vigas de cubierta debidamente arriostradas e interconectadas, y anclaje adecuado de los elementos de cubierta a la estructura de cubierta.
 - b) Edificio que no cumple con alguna de las características de A.
 - c) Edificio que no cumple con dos de las características de A.
 - d) Edificación que no cumple con tres o más de las características de A.
- Elementos no estructurales

Permite evaluar los niveles de daño que el desprendimiento o caída de este tipo de elementos generan sobre las personas y bienes ante la ocurrencia de un evento sísmico.

- a) Edificación sin cornisas ni parapetos, con muros anclados a la estructura principal, sin presencia de tanques o depósitos de agua elevados, ausencia total de balcones, muros divisorios perfectamente amarrados o confinados. Toda esta información debe ser claramente verificable.
 - b) Edificios con cornisas o parapetos perfectamente anclados a la estructura principal, con presencia de tanques de agua o depósitos elevados de pequeña dimensión y peso modesto comparada con la masa del resto de la estructura, sin balcones o con balcones que formen parte integrante de los diafragmas de entrepiso.
 - c) Edificaciones con escaso o ningún anclaje de elementos no estructurales a la estructura principal, presencia de tanques depósitos elevados.
 - d) Todos los demás casos.
- Estado de conservación

Finalmente este parámetro tiene en cuenta la influencia que el estado de conservación del sistema estructural ejerce en la capacidad de la edificación.

Como parámetro de análisis para otorgar la calificación se toma la fecha de construcción de la edificación, pues generalmente la edad de la construcción tiene relación directa con el estado de conservación, sin embargo es importante recordar que la edad de la estructura no es el único factor determinante en el estado de conservación de un edificio, razón por la cual la secuencia de programación está diseñada para brindar al usuario la posibilidad de ingresar directamente la calificación del estado de conservación del edificio cuando a su criterio no corresponda con el asignado por defecto.

- a) Edificaciones diseñadas y construidas bajo NSR 98, sin presencia de daños evidentes.
- b) Edificaciones diseñadas y construidas bajo NSR 98, con leve presencia de daños evidentes o evidencia de reparaciones. Edificaciones diseñadas y construidas bajo CCCSR 84, sin presencia de daños evidentes.
- c) Edificaciones diseñadas y construidas bajo NSR 98, con presencia de daños evidentes no graves en el sistema estructural. Edificaciones diseñadas y construidas bajo CCCSR 84, con leve presencia de daños evidentes o evidencia de reparaciones.
- d) Todos los demás casos.

- Factor por número de pisos

Debido a que las edificaciones en mampostería constituyen la gran mayoría de las edificaciones de la ciudad, las cuales en un gran número de casos no contaron en ninguna etapa de proyecto con la intervención de profesionales capacitados, se infiere que el número de pisos es un factor determinante en la respuesta sísmica de las edificaciones de mampostería.

Para este proyecto se decidió incluir un factor dependiente del número de pisos (FacNpis), que afecte el índice de vulnerabilidad calculado para edificaciones de mampostería (el proceso de programación permite excluir de esta consideración a otros sistemas estructurales), permitiendo de esta manera tener la posibilidad de contemplar este parámetro dentro del cálculo del I_v de este tipo de edificaciones, se plantean los siguientes casos:

Mampostería reforzada menor de 4 pisos se considera que no influye (FacNpis=0).

Mampostería reforzada entre 4 y 6 pisos se considera que influye medianamente (FacNpis=2).

Mampostería reforzada mayor a 6 pisos se considera que influye bastante (FacNpis=6).

Mampostería simple menor a 2 pisos se considera que no influye (FacNpis=0).

Mampostería simple entre 2 y 3 pisos se considera que influye medianamente (FacNpis=2).

Mampostería simple mayor a 3 pisos se considera que influye bastante (FacNpis=6).

Debido a que el factor propuesto solo contempla la clasificación de mampostería reforzada y mampostería simple, para este caso las edificaciones de mampostería confinada (aquellas que pueden definirse como tales según el título E de NSR 98), se cobijan con las especificaciones dadas para los sistemas de mampostería reforzada, puesto que se considera que evaluarlas dentro del grupo de mampostería simple es desconocer los niveles de capacidad que presenta el sistema confinado.

4.1.3 Información para el método Italiano

Uno de los principales inconvenientes cuando se desarrollan proyectos de análisis de características de edificaciones existentes, ya sea en forma individual o por grandes zonas (como este caso), lo constituye la desproporción existente entre la información disponible y la requerida para poder aplicar el método elegido, siendo necesario en algunas ocasiones desarrollar algoritmos que permitan obtener la información no disponible mediante el proceso lógico a partir de información primaria disponible para el análisis.

Para el cálculo del índice de vulnerabilidad según la metodología propuesta se requiere de la información mostrada en la **Tabla 4.3**, donde se puede apreciar (de izquierda a derecha) la siguiente información:

- Información: aquí se menciona la información específica referenciada en la fila correspondiente.
- Observaciones: breve descripción y/o referencia considerada importante con respecto a la información citada.
- Dominio: corresponde a los posibles valores o características de la información a ser utilizada en el cálculo del índice de vulnerabilidad.
- Información indispensable: se indica si la información contenida en la fila es indispensable para el cálculo del I_v (SI), o si por el contrario el proceso de cálculo permite realizar su evaluación a partir del procesamiento lógico de otra información de la cual sí se disponga (NO).

No	Información	Observaciones	Dominio	Información indispensable
1	Uso. (UL)	Corresponde al tipo de uso que se le está dando al lote en la actualidad, permite también diferenciar aquellas edificaciones institucionales de las edificaciones de otro tipo de uso.	No edificado Residencial Comercial y servicios Industrial Dotacional Espacio publico Recreacional y deportivo	SI
2	Fecha de construcción. (AC)	Se referencia el año de construcción de la edificación.	AC>1998 1985<=AC<=1998 AC<1985 Null	SI
3	Registro de diseño. (RD)	Esta casilla se utilizara para registrar la existencia documental de memorias de diseño estructural, aplica especialmente para el análisis de edificaciones indispensables.	Boleano (si/no)	NO
4	Tipología estructural. (TE)	Se refiere al sistema estructural principal de la edificación analizada. (Pórticos en concreto, mampostería reforzada, adobe etc.)	Pórticos en acero Pórticos en concreto Sistema dual Sistema combinado Muros estructurales en concreto reforzado Mampostería reforzada Mampostería confinada Madera estructural Sistemas prefabricados Mampostería inconfinaada Adobe Tapia Bahareque	NO
5	Tipo de divisiones. (Dv)	Información acerca de las divisiones de la edificación, incluyendo materiales y su aporte estructural	División liviana Muros estructurales Mampostería Adobe Tapia Bahareque	NO
6	Tipo de entrepiso. (Se)	Corresponde a la descripción general de la tipología de los entrepisos.	Placa aligerada en concreto Lamina colaborante Losa maciza Reticular celularo	NO
7	Pendiente del terreno. (Pt)	Indica la pendiente del terreno en porcentaje donde se ubica la edificación.	Numero en porcentaje	SI
8	Empuje por terraplenes. (Empter)	Este campo indicara la existencia o no de terraplenes que de una u otra manera estén actuando sobre la estructura en estudio. Se espera que estos campos se puedan ir completando con información primaria proveniente de otros estudios puntuales realizados en diferentes sectores de la ciudad.	Boleano (si/no)	NO
9	Irregularidad en planta. (Ipta)	Indica la presencia o no de irregularidades en planta en el sistema estructural de la edificación, según las definidas en el título A de la NSR 98.	Irregularidad torsional Retrosesos excesivos en esquinas Discontinuidades del diafragma	NO

No	Información	Observaciones	Dominio	Información indispensable
			Desplazamientos del plano de acción de elementos verticales Sistemas no paralelos	
10	Irregularidades en altura. (Ialt).	Indica la presencia o no de irregularidades en altura en el sistema estructural de la edificación según las definidas en el título A de la NSR 98.	Piso flexible. Irregularidad en distribución de masas Irregularidad geométrica Desplazamientos dentro del plano de acción Piso débil	NO
11	Estrato.(Est)	Estrato socioeconómico registrado para la edificación de uso residencial	Numero (1 al 6 y null)	SI
12	Área del lote. (Alt)	Área en metros cuadrados del lote.	Número en m ²	SI
13	Área construida.(Acs)	Área en metros cuadrados correspondiente a la edificación.	Número en m ²	SI
14	Número de pisos. (Npis)	Número de pisos sobre la rasante que tiene la edificación, este dato junto a la tipología estructural son indispensables en el cálculo del periodo de vibración del edificio.	Número	NO
15	Estado de conservación. (Escv).	Este campo contendrá un indicativo del estado actual de conservación de la estructura.	Evidencia de daños en elementos no estructurales Evidencia de daños en elementos estructurales.	NO
16	Elementos no estructurales	Presencia de tanques o masas elevadas considerables.	Boleano (si/no)	NO
17	Anclaje de elementos no estructurales	Anclaje de elementos no estructurales	Boleano (si/no)	NO
18	Elementos especiales	Presencia de cornisas gárgolas y elementos similares	Boleano (si/no)	NO

Tabla 4.3. Resumen información empleada para el cálculo del índice de vulnerabilidad

A continuación se menciona la información que puede ser obtenida de forma indirecta a la vez que se hace una breve descripción del proceso lógico para su obtención a partir de la información existente:

Tipología estructural: La tipología estructural hace referencia a las principales características de la estructura principal de la edificación, y depende principalmente de variables como la época de construcción, el uso de la edificación y el estrato socioeconómico, por tanto cuando no se cuente con información de primera mano se utilizarán estos parámetros para su ponderación.

Divisiones: La contribución de las divisiones internas de una edificación es muy importante en cuanto a la respuesta de la misma ante excitaciones sísmicas, por tanto es indispensable considerar aspectos como su masa, interacción con la estructura principal, si forman parte o no del sistema estructural principal etc. Las características, tipo y función estructural de las divisiones dependen principalmente de la tipología estructural, época de construcción y uso, aspectos que son tenidos en cuenta para su la obtención indirecta de esta información.

Entrepisos: El tipo y número de entrepisos es factor determinante en la capacidad de respuesta estructural, pues ellos aportan buena parte de la masa de la estructura y pueden facilitar o no la acción de todo el conjunto estructural como un

todo (Diafragma rígido). Para tomar en cuenta esta variable se debe considerar la época constructiva, la tipología estructural, uso de la edificación.

Número de pisos: Estos se calcularon siguiendo la metodología propuesta en el estudio de la Universidad de los Andes, la cual utiliza una relación entre las áreas del lote y la construida para obtener así el número de pisos, aplica cuando los lotes son pequeños (menores a 1000 m²) y no incluyen áreas de cesión, según la siguiente ecuación:

$$\text{Ec. 3. } N_{\text{pisos}} = \frac{\text{Área Construida}}{0.4 * \text{Área Lote}}$$

Irregularidades en planta y altura: Para evaluar indirectamente este parámetro, se optó simplemente por asumir que todas aquellas edificaciones de las cuales no se tiene ninguna información al respecto presentan al menos una de las diez configuraciones irregulares consignadas en NSR 98, esto debido a que la gran heterogeneidad de edificaciones, construcciones y diseños arquitectónicos hacen imposible el enmarcar este parámetro dentro de algún tipo de proceso lógico.

Tipo de cubierta y elementos no estructurales: Al igual que muchos de los elementos antes mencionados, para este aspecto se tiene en cuenta la época de construcción, el uso, tipología estructural y el estrato socioeconómico.

Estado de conservación: Cuando no se cuenta con esta información de primera mano, se recurre en esta metodología a la utilización de la fecha de construcción como indicador del estado de conservación de la estructura, esto atendiendo a la situación de que a mayor de edad de la estructura se espera un mayor deterioro de la misma y/o una disminución de sus características de calidad, como el caso de las estructuras de concreto, en las que el aumento de la profundidad de carbonatación (fenómeno que afecta al concreto y es determinante en la posibilidad de corrosión del refuerzo) es proporcional al paso del tiempo.

4.2 TUBERÍAS

Las evaluaciones de los posibles daños en las tuberías de las redes de las líneas vitales se adelantan con base en una metodología general propuesta por “Japan Waterworks Association” que ha sido replicada en los diferentes estudios de escenarios de daño con algunas modificaciones, pero en general conserva el mismo fundamento. Esta metodología se basa en determinar la acción sísmica que actúa sobre el elemento, establecer su vulnerabilidad por medio de factores de corrección y estimar los daños empleando una curva de vulnerabilidad. La vulnerabilidad de la tubería se representa por medio de factores de corrección que tiene en cuenta el diámetro, material, condiciones del suelo y posibilidad de licuación, entre mayor sea el valor de estos factores mayor es su vulnerabilidad.

$$\text{Ec. 4. } F_v = C_p * C_d * C_g * C_l$$

Donde:

F_v: Factor de vulnerabilidad

C_p: factor de corrección por material de tubería

C_d: factor de corrección por diámetro de tubería

C_g: factor de corrección por condiciones del suelo

C_l: factor de corrección por posibilidad de licuación

Los factores de corrección para las tuberías se basaron en el trabajo de Kubo y Katayama (1975) adaptados a las condiciones de la ciudad y las características de las tuberías de las redes de acueducto, alcantarillado y gas natural.

La definición de los factores de corrección por material partió del inventario los materiales reportados en las coberturas de las redes de acueducto, alcantarillado y de gas natural, los valores propuestos para este factor están acordes con los estudios de JICA (2002) y Uniandes (2005).

Material reportado en las coberturas de tuberías	Factor de Corrección C_p
Tierra	3.0
Gres Ladrillo	2.0
Concreto	1.5
Asbesto Cemento Concreto Reforzado Cilindro Concreto Americano	1.0
Hierro Fundido	0.8
Poli cloruro de Vinilo	0.5
Acero Hierro Acerado Hierro Galvanizado	0.3
Polietileno de 60 psi	0.1
Otros	1.0

Tabla 4.4. Factor de Corrección por Material (C_p)

Los valores propuestos para el factor de corrección por diámetro están definidos de acuerdo a los estudios de JICA (2002) y Uniandes (2005).

Diámetro	Factor de Corrección C_d
≤ 100 mm	1.6
100 mm – 200 mm	1
200 mm – 500 mm	0.8
≥ 500	0.5

Tabla 4.5. Factor de Corrección por Diámetro (C_d)

La definición de los factores de corrección por condiciones del suelo tiene en cuenta la zonificación geotécnica más reciente propuesta por el FOPAE (2010), los valores propuestos para este factor están conforme a los estudios de JICA (2002) y Uniandes (2005).

Condiciones del suelo	Zonificación Geotécnica	Factor de Corrección C_g
Roca	Cerro A, Cerro B	0.4
Suelos duros y estables	Piedemonte A, Piedemonte B, Piedemonte C, Suelo Residual	1.0
Suelos firmes y estables	Aluvial, Llanura de inundación B, Cauce	1.25
Suelos blandos o inestables	Llanura de inundación A, Lacustre A, Lacustre B Lacustre C, Deposito de Ladera, Relleno de Basura Relleno de Escombro, Excavación Especial	1.5

Tabla 4.6. Factor de Corrección por condiciones del suelo (C_g)

La definición de los factores de corrección por posibilidad de licuación tiene en cuenta la zonificación geotécnica propuesta por FOPAE (2010). El factor de posibilidad de licuación es función del nivel de amenaza sísmica, los factores propuestos corresponderían a escenarios de amenaza fuertes (Magnitud > 6.5 y Distancia < 60 Km), donde este fenómeno se podría presentarse, para escenarios de amenaza moderados a bajos este factor será igual a uno para todas las zonas.

Posibilidad de licuación	Zonificación Geotécnica	Factor de Corrección C_i
Bajo o Nulo	Cerro A, Cerro B, Piedemonte A, Piedemonte B, Piedemonte C, Lacustre A, Lacustre B, Lacustre C Deposito de Ladera, Suelo Residual, Relleno de Basura, Relleno de Escombros, Excavación Especial	1
Medio	Aluvial	1.5
Alto	Llanura de inundación A, Llanura de inundación B, Cauce	2.0

Tabla 4.7. Factor de Corrección por posibilidad de licuación (C_i)

5 DAÑOS INICIALES DE EDIFICACIONES Y LÍNEAS VITALES

De acuerdo al enfoque conceptual primero se estiman los daños iniciales debidos al movimiento del terreno por el tren de ondas sísmicas de las edificaciones y líneas vitales, este movimiento del terreno puede ocasionar daños según su nivel de vulnerabilidad a esta acción o fuerza sísmica.

Para las edificaciones se tienen dos métodos que se adaptaron y desarrollaron en el sistema de cálculo de daños, el primero denominado método Italiano trabaja con base en el índice de vulnerabilidad y curvas de vulnerabilidad función de intensidad macro sísmica. El segundo se denomina método Miranda, este método se basa en el cálculo la deriva entre piso de las estructuras y estima el daño con curvas de vulnerabilidad función de la deriva calculada, este método fue aplicado en el estudio de Uniandes 2005. Los dos métodos permitirán que se comparen los resultados, lo cual mejora los criterios para el análisis de los resultados y así mismo se pueden detectar las bondades y limitaciones de cada uno de ellos para ciertos tipos de estructuras.

Para las líneas vitales se estudiaron cinco métodos que se adaptaron y desarrollaron en el sistema de cálculo de daños para estimar los daños de los elementos tipo tuberías, cableados, tanques, puentes y vías vehiculares. Elementos como las torres y postes se asumen que no son afectados por las ondas sísmicas y que los daños se deberán a efectos colaterales, las edificaciones indispensables que hacen parte de las líneas vitales se evalúan con los métodos de edificaciones.

5.1 EDIFICACIONES

5.1.1 Método Italiano

Una vez se tiene calculado el índice de vulnerabilidad (I_v) para cada edificación se estima el nivel de daño esperado mediante la obtención del índice de daño obtenido con las curvas de vulnerabilidad correspondientes al tipo de edificación. Las curvas de vulnerabilidad usadas en el proyecto son las propuestas por Mena (2002) que se componen por familias de curvas en escala de intensidad macrosísmica y unas modificadas por FOPAE en las que se adaptaron a escala de intensidad sísmica para ingeniería EEIS y se adicionaron unas nuevas con el fin de cubrir un mayor número de valores de intensidad.

Otra consideración importante que favoreció la elección de estas curvas de vulnerabilidad es que este estudio propone una diferenciación en los edificios de concreto reforzado dependiendo de si se cuenta o no con sistemas de entrepiso tipo reticular celulado, los cuales son más vulnerables que otro tipo de sistemas de entrepiso.

Para obtener el índice de daño, se entra en las curvas de funciones de vulnerabilidad con el índice de vulnerabilidad normalizado, cortando con la curva de intensidad sísmica correspondiente al sismo de análisis, para finalmente leer en el eje de las ordenadas el índice de daño correspondiente.

A continuación en la **Figura 5.1** a **Figura 5.6**, se muestran las funciones de vulnerabilidad para las tipologías correspondientes a edificaciones de mampostería (frágil), concreto reforzado (Dúctil), concreto reforzado con sistema reticular celulado (Especial) y para las dos escalas de intensidad de trabajo.

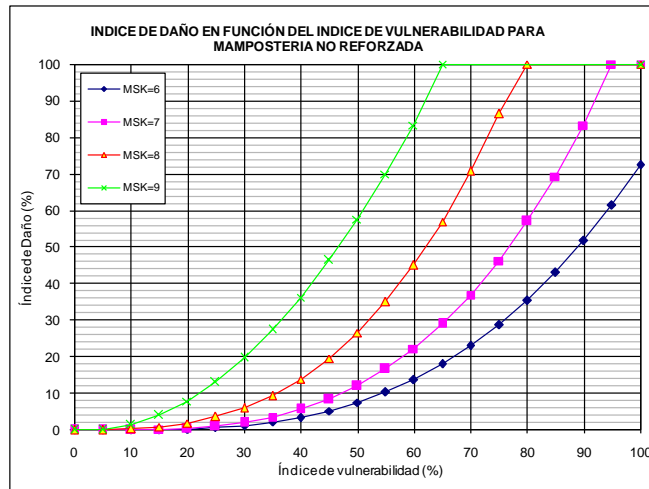


Figura 5.1. Función de vulnerabilidad para edificaciones en mampostería (Mena, 2002)

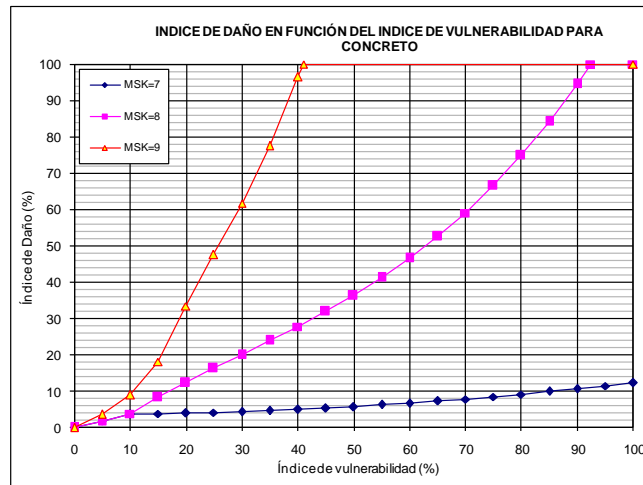


Figura 5.2. Función de vulnerabilidad para edificaciones en concreto reforzado (Mena, 2002)

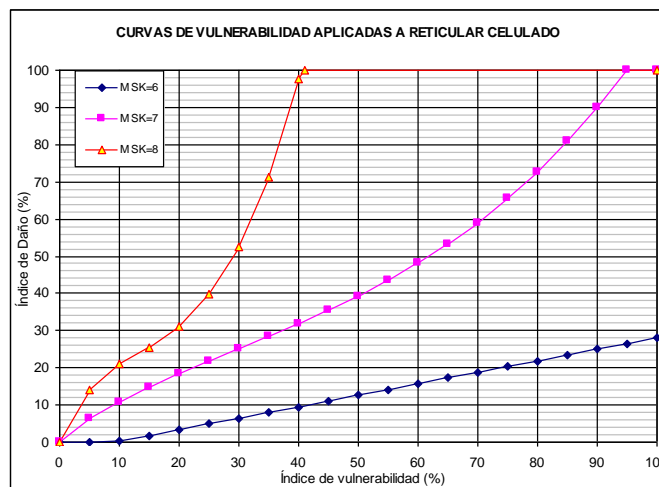


Figura 5.3. Función de vulnerabilidad para edificaciones con reticular celular (Mena, 2002)

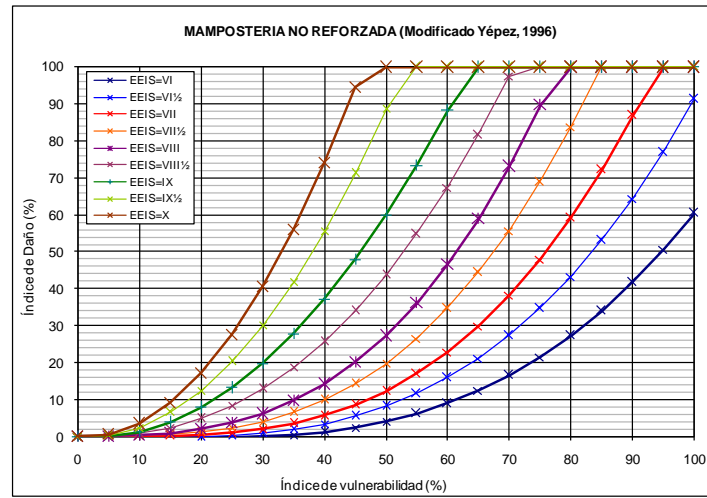


Figura 5.4. Función de vulnerabilidad para edificaciones en mampostería

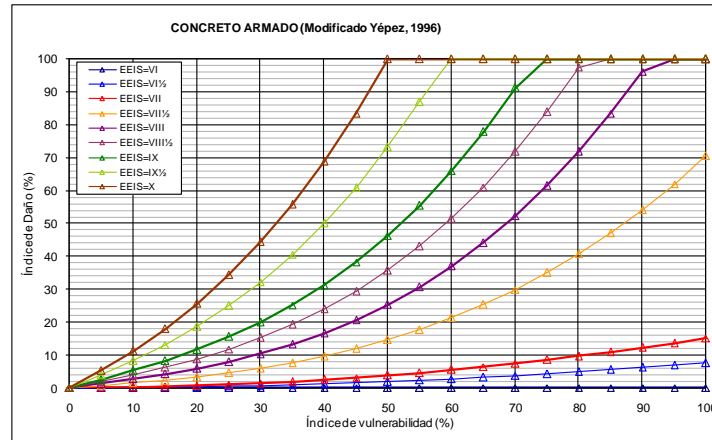


Figura 5.5. Función de vulnerabilidad para edificaciones en concreto reforzado

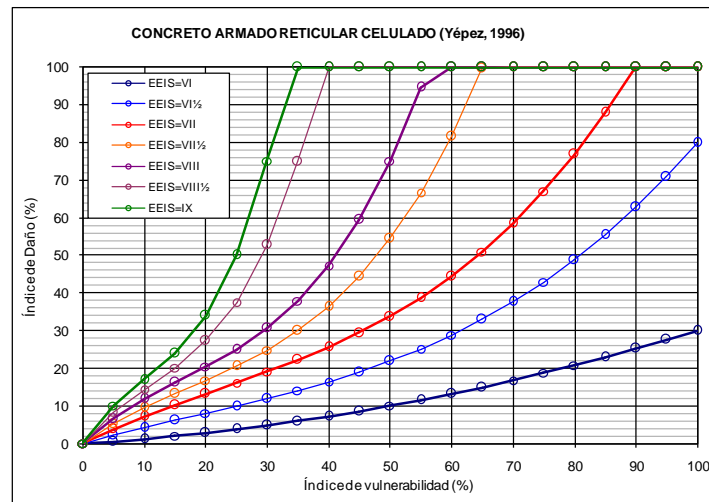


Figura 5.6. Función de vulnerabilidad para edificaciones con reticular celulado

Una vez se tiene el índice de daño se puede asociar a las escalas descriptivas de daño, las cuales permiten obtener una descripción general del daño esperado en una edificación conociendo el índice de daño (**Tabla 5.1**).

Índice de daño	Nivel de daño	Descripción
$0 \leq ID < 2.5$	Ninguno	No existen daños en elementos estructurales, con poco o ningún daño en elementos no estructurales con efecto despreciable en el comportamiento de la estructura, no requiere de reparaciones.
$2.5 \leq ID < 7.5$	Bajo	Daño generalizado en elementos no estructurales, posibles desprendimientos de enchapes y apliques, es posible la aparición de pequeñas fisuras en elementos estructurales como muros de carga, columnas, vigas con bajo efecto en el comportamiento de la estructura. Costos de reparación bajos.
$7.5 \leq ID \leq 15$	Moderado	Daños importantes y de alto costo de reparación en elementos no estructurales. Daños considerables en elementos estructurales que afectan en menor medida el comportamiento de la estructura, pero sin comprometer su estabilidad.
$15 \leq ID < 30$	Considerable	Daños importantes en elementos no estructurales, es probable que se requiera desalojar el edificio. El costo de las reparaciones puede ser un alto porcentaje del costo de la estructura.
$30 \leq ID < 60$	Fuerte	Grandes daños en elementos no estructurales que pueden comprometer la estabilidad de la estructura, es indispensable el desalojo de la edificación. Los costos de reparación pueden igualar al costo de la estructura por lo que puede ser recomendable su demolición para posterior reconstrucción.
$ID \geq 60$	Severo	Edificio colapsado o a punto de colapsar, es necesaria una rápida evacuación, la estructura no es recuperable.

Tabla 5.1. Escala de daño (Mena, 2002)

5.1.2 Método Miranda

Metodología presentada en 1997 por el ingeniero Eduardo Miranda, permite evaluar de forma rápida las distorsiones de entrepiso tanto elásticas como inelásticas en edificios, a partir de un espectro de respuesta elástico lineal mediante la combinación de dos sistemas estructurales acoplados correspondientes la combinación de una viga de flexión con una viga de cortante actuando en voladizo y unidas mediante elementos rígidos biarticulados con capacidad de transmitir únicamente fuerzas horizontales. A partir del análisis de este sistema estructural, Miranda desarrolló una metodología que permite calcular de forma rápida la distorsión máxima de entrepiso por medio de la siguiente Ec. 5.

$$\text{Ec. 5. } \gamma_i = \frac{\beta_1 * \beta_2 * \beta_3 * \beta_4 * T^2 * S_a}{4 * \pi^2 * N * h}$$

Donde:

γ_i : Distorsión máxima.

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ Factores de corrección que permiten tener en cuenta las principales características estructurales del sistema en análisis.

S_a : Aceleración espectral, la cual depende de la amenaza sísmica del sitio de emplazamiento de la edificación y de su periodo de vibración.

T : Periodo de vibración del edificio en estudio.

h : altura de entrepiso y N : Número de pisos

- Factor β_1 .

Para el cálculo del factor β_1 , Miranda establece curvas que relacionan el número de pisos y β_1 en función del factor para distribución triangular de carga horizontal. Estas funciones se muestran en la **Figura 5.7**.

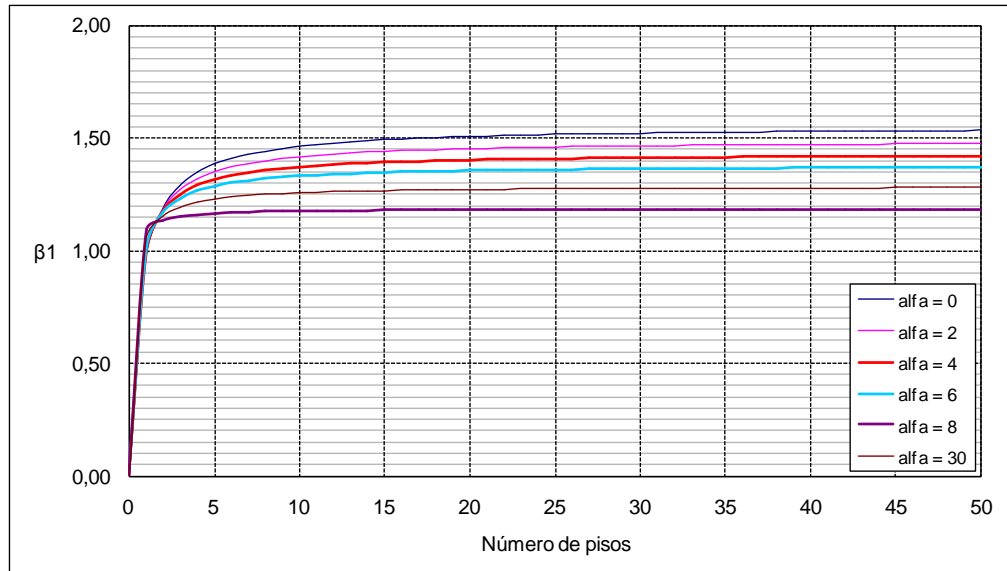


Figura 5.7. Curva para el cálculo del factor beta 1

Para los sistemas estructurales de edificios se tendrán los siguientes valores de α .

$0 < \alpha \leq 2$ Para sistemas estructurales a base de muros.

$1,5 \leq \alpha \leq 6$ Para sistemas estructurales dual y combinado.

$5 \leq \alpha \leq 15$ Para sistemas estructurales a base de pórticos.

Como es de esperarse, existen zonas de transición del factor α para las cuales un mismo valor está contemplado en dos sistemas estructurales diferentes. La aparición de estas zonas de traslapo o transición es perfectamente normal, quedando a responsabilidad del criterio de cada especialista tomar la decisión acerca de los límites exactos de los sistemas estructurales analizados. Los valores de α adoptados en este proyecto para cada tipología involucrada se presentan en la **Tabla 5.2** y se han escogido en base a consideraciones de comportamiento dúctil considerando la clasificación de sistemas estructurales para edificios considerados en NSR 98 Título A.

TOPOLOGÍA ESTRUCTURAL	VALOR DE α
Pórticos en acero	9
Pórticos en concreto	8
Sistema dual	7
Sistema combinado	6
Muros estructurales en concreto reforzado	5
Sistema reticular cedulado	4
Mampostería reforzada	3
Mampostería confinada	2
Mampostería inconfineda, adobe, bahareque, tapia, otros	1

Tabla 5.2. Valores de la sumidos para las tipologías estructurales presentes en Bogotá

- Factor β_2

El método Miranda propone para su cálculo una familia de tres curvas de carga (Uniforme, parabólica y triangular), que relacionan β_2 con el factor α , como se muestra en la **Figura 5.8**.

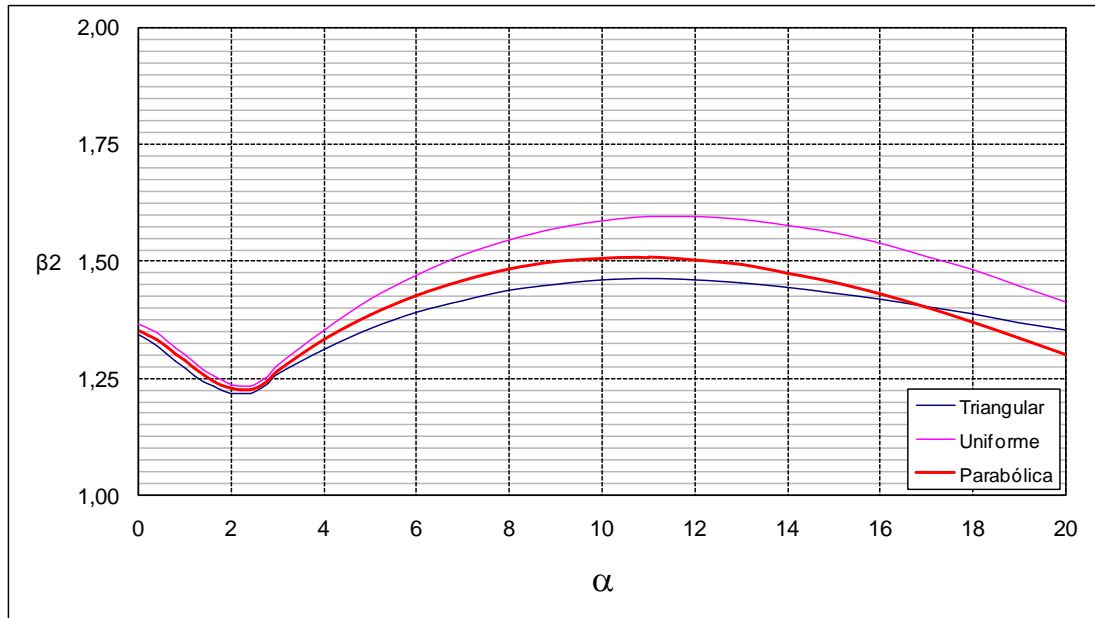


Figura 5.8. Curva para el cálculo del factor beta 2

- Factor β_3

Permite calcular los máximos desplazamientos laterales en estructuras de las que se esperan excursiones en el rango de deformaciones inelásticas resultado de la excitación dinámica, se calcula como la relación existente entre los desplazamientos espectrales de techo elásticos e inelásticos, considerando adicionalmente la capacidad dúctil (μ) del sistema estructural en función del periodo de vibración fundamental de la estructura. El método Miranda expresa el factor β_3 por medio de la Ec. 6 la cual está definida para suelos rocosos y suelos firmes de tipo aluvial.

$$\text{Ec. 6. } \beta_3 = \frac{U_{techo(i)}}{U_{techo(e)}} = \left[1 + (1/\mu - 1) * e^{-1.2 * T * \mu^{-0.8}} \right]^{-1}$$

Donde:

$U_{techo(i)}$ = Desplazamiento espectral de techo en el rango inelástico.

$U_{techo(e)}$ = Desplazamiento espectral de techo en el rango elástico.

μ = Capacidad dúctil del sistema estructural

T = periodo de vibración fundamental de la estructura.

Teniendo en cuenta los aspectos energéticos, puede decirse que la capacidad sismo resistente de un sistema estructural está relacionada directamente con la ductilidad del mismo, razón que explica la importancia que la capacidad dúctil tiene actualmente en la totalidad de los códigos de diseño sismo-resistente existentes en el mundo. En la NSR 98 la capacidad

dúctil del sistema estructural es considerada mediante el coeficiente de capacidad de disipación de energía R_0 (NSR 98 A.3.1.1), el cual es una medida de la ductilidad de la estructura y por lo tanto está relacionado con la capacidad de disipación de energía (capacidad sismo resistente) de cada sistema estructural.

Adicionalmente R_0 es sensitivo al periodo natural de vibración de la estructura así:

Para periodos largos $T \geq 1$ segundo: $R_0 = \mu$

Para periodos intermedios $0.12 \leq T < 1$ segundo: $\mu = (R_0^2 + 1) / 2$

Para periodos cortos $T < 0.12$ segundos $R_0 = \mu = 1$ (Comportamiento elástico, sin capacidad dúctil).

Para adaptar el método Miranda, se propone tomar para cada sistema estructural identificado el valor R_0 correspondiente (NSR 98 A.3.1), clasificando cada uno de ellos como sistemas con capacidad de disipación moderado de energía (DMO) o sistemas con capacidad mínima de disipación de energía (DMI) en función del año de construcción, esto tomando en cuenta que edificaciones construidas antes de 1998 no presentan todas las características de detalle y consideraciones generales de diseño que permitan garantizar la capacidad dúctil definida para estructuras DMO.

En cuanto a las edificaciones con capacidad especial de disipación de energía (DES), estas no son consideradas para Bogotá por estar en una zona de amenaza sísmica intermedia (NSR 98 A.2.3) donde no tiene carácter obligatorio la construcción de estos sistemas estructurales (NSR 98 A3).

- Factor β_4

Este factor permite tomar en cuenta la concentración de distorsiones de entrepiso que ocurre cuando la estructura de un edificio presenta excursiones dentro del rango inelástico de deformaciones al ser sometido a la acción sísmica. Para el cálculo del factor β_4 , se emplea la Ec. 7 que está en función de la capacidad dúctil (μ) y del número de pisos N .

$$\text{Ec. 7. } \beta_4 = 1 + \frac{\mu}{30} + \frac{N}{200}$$

Donde μ : Capacidad dúctil del sistema estructural.

N : Numero de pisos

La evaluación del daño se realiza con las curvas de vulnerabilidad desarrolladas por la Universidad de los Andes creadas a partir de las características propias de las edificaciones encontradas en la ciudad. Estas curvas de vulnerabilidad fueron empleadas para la predicción del daño en el estudio "Escenarios de riesgo y pérdidas por terremoto para Bogotá D.C".

En dicho estudio se establecieron 18 tipologías estructurales típicas para la ciudad que fueron distribuidas en dos familias de curvas de vulnerabilidad, la primera de las cuales define el porcentaje de daño en función de la deriva (**Figura 5.9**), mientras que la otra relaciona el daño con la aceleración máxima del terreno (**Figura 5.10**).

Según lo reportado en el mencionado estudio, esta división en dos familias de curvas de vulnerabilidad pretende considerar en cada caso el parámetro que mejor relación tiene con el nivel de daño presentado en cada tipología. Teniendo en cuenta que las curvas de vulnerabilidad fueron desarrolladas específicamente para la ciudad de Bogotá, no es necesario hacer ningún tipo de adaptación para su aplicación y sistematización.

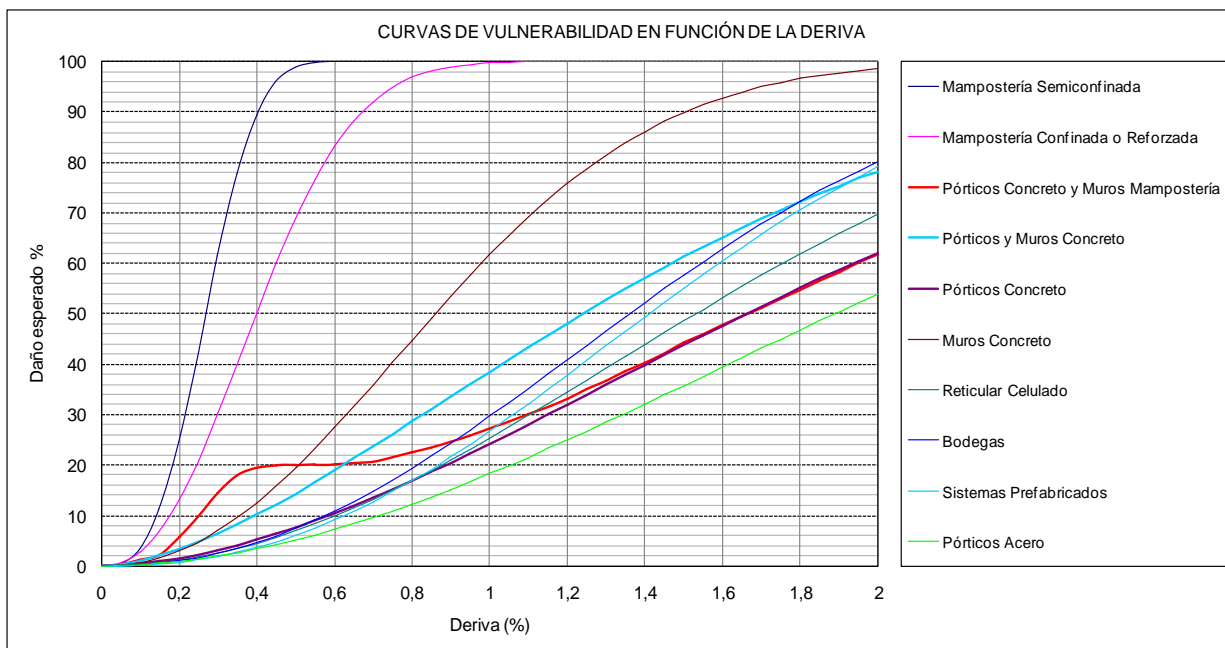


Figura 5.9. Curvas de vulnerabilidad en función de la deriva (Uniandes, 2005)

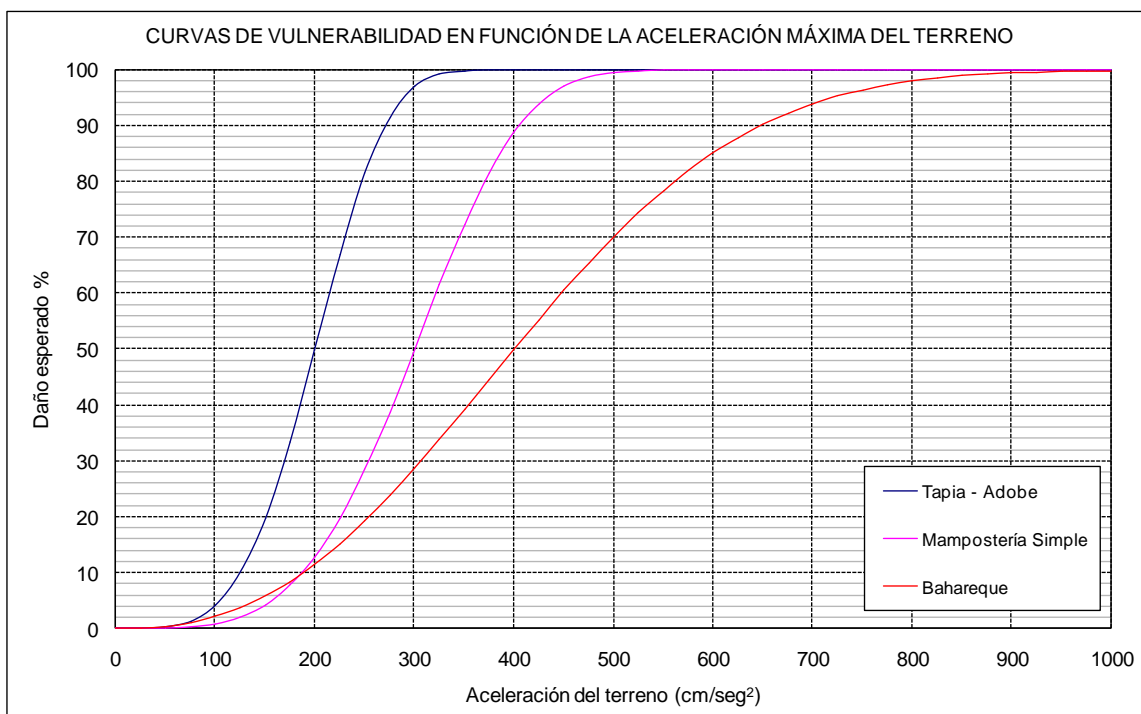


Figura 5.10. Curvas de vulnerabilidad en función de la aceleración máxima del terreno (Uniandes, 2005)

5.2 LÍNEAS VITALES

Para determinar el daño de las líneas vitales de la región que rodea a la ciudad se emplearon curvas de vulnerabilidad recomendadas por RADIUS (1999). RADIUS es una herramienta metodológica sistematizada para la evaluación global de daños por sismo en un área determinada creada por las Naciones Unidas mediante el programa IDNDR (International

Decade for Natural Disaster Reduction). Las curvas de vulnerabilidad de las líneas vitales son establecidas para cada tipo de elemento mediante observaciones efectuadas en eventos sísmicos anteriores o mediante la opinión de expertos.

A pesar de que esta metodología es relativamente sencilla de implementar y de que es posible validar y ajustar resultados mediante la manipulación de los parámetros de evaluación, no siempre es posible contar con observaciones de eventos sísmicos anteriores que permitan elaborar curvas de daño ajustadas a las condiciones locales del área de estudio. Otras limitaciones importantes del método son:

- El parámetro de amenaza sísmica (intensidad sísmica MMI) es una medida cualitativa de la intensidad, lo cual impide establecer y comparar relaciones intensidad-daño para diferentes áreas de estudio de manera objetiva (Tung, 2004).
- No se consideran daños causados por efectos colaterales de licuación o deslizamiento.
- Las curvas de vulnerabilidad empleadas corresponden a una recopilación subjetiva realizada por expertos a partir de información de campo.

A pesar de estas limitaciones estas curvas fueron seleccionadas porque incluyen todos los elementos expuestos seleccionados y por la facilidad que presentan al suministrar el porcentaje de daño para cada caso. Estas curvas relacionan la intensidad de Mercalli (MMI) con un porcentaje de daño para cada uno de los elementos expuestos y se presentan a continuación en la **Figura 5.11** junto con la **Tabla 5.3** que incluye los valores graficados y una descripción del significado de cada una de las curvas.

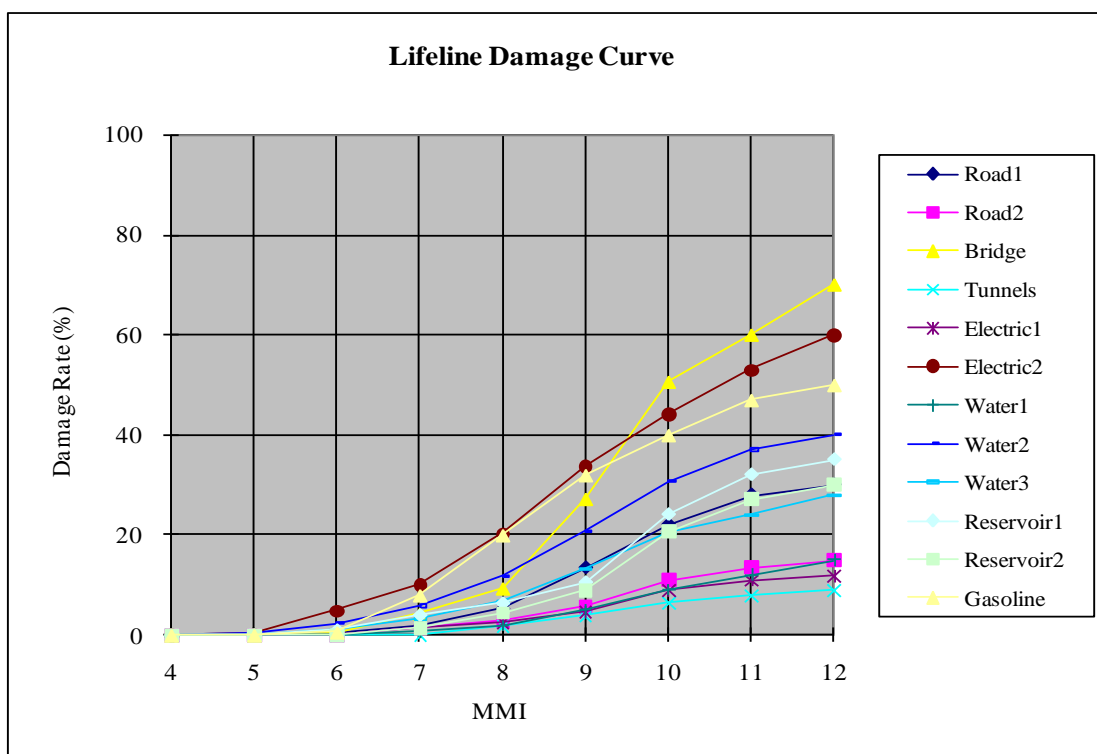


Figura 5.11. Curvas de vulnerabilidad para los elementos expuestos

Curva	Descripción
Road 1 – Vía 1	Curva de vulnerabilidad para vías locales.
Road 2 – Vía 2	Curva de vulnerabilidad para autopistas.
Bridges - Puentes	Curva de vulnerabilidad para puentes de malla vial y férrea.
Tunnels - Túneles	Curva de vulnerabilidad para túneles.
Electric 1 – Electricidad 1	Curvas de vulnerabilidad para torres de transmisión.
Electric 2 – Electricidad 2	Curvas de vulnerabilidad para subestaciones.
Water 1 – Agua 1	Curvas de vulnerabilidad para Líneas de distribución.
Water 2 – Agua 2	Curvas de vulnerabilidad para estaciones de bombeo.
Water 3 – Agua 3	Curvas de vulnerabilidad para plantas de tratamiento.
Reservoir 1 – Reservoirio 1	Curvas de vulnerabilidad para depósitos de almacenamiento o presas.
Reservoir 2 – Reservoirio 2	Curvas de vulnerabilidad para tanques elevados.

Tabla 5.3. Descripción de cada una de las curvas de vulnerabilidad empleadas

A continuación se presentan los métodos seleccionados para determinar el daño inicial de las líneas vitales que se encuentren en la ciudad.

5.2.1 Tuberías

El cálculo de los posibles daños de las tuberías tiene en cuenta curvas de vulnerabilidad que son función de un parámetro sísmico, por lo general de la aceleración o velocidad pico del terreno. Son numerosas las investigaciones en las cuales se definen estas curvas de vulnerabilidad a partir de los inventarios de daños sufridos en terremotos, sin embargo aún para el medio colombiano no se ha desarrollado una curva representativa. Una aproximación válida la realizó JICA (2002) teniendo como referencia lo ocurrido en el sismo de Armenia de 1999.

Bajo el planteamiento anterior se modifica la expresión propuesta por Kubo y Katayama (1975) para evaluar los daños en tramos de tuberías se presenta a continuación, la cual será aplicada a las tuberías de las redes de acueducto, alcantarillado y gas natural.

$$RR = F_v * RR(pis)$$

Donde:

RR: tasa de daño por unidad de longitud (Roture Rate)

Fv: Factor de vulnerabilidad

RR(pis): tasa de daño estándar por unidad de longitud que se obtiene de la curva de vulnerabilidad con el parámetro de intensidad sísmico (pis)

La selección de la curva de vulnerabilidad tiene gran incidencia en los resultados, luego se presenta a continuación en la **Tabla 5.4** un resumen de las principales características de las investigaciones revisadas y en la **Figura 5.12** se muestran gráficamente. Es importante mencionar que al realizar la revisión de las investigaciones de vulnerabilidad se encontraron un gran número de propuestas desarrolladas para diferentes materiales o empleando factores de corrección diferentes a los previstos en el método adoptado, estas curvas de vulnerabilidad particulares no se muestran puesto que el método tienen en cuenta la diferentes materiales con los factores de corrección, por lo cual solo se debe trabajar con curvas de vulnerabilidad estándar o generales.

Autor	Roturas / km estándar - RR(pis)	Observaciones
Kubo y Katayama (1975)	Correlación determinada con los datos: Para $PGA < 450$ Gales $RR(PGA) = 9 \times 10^{-14} \times PGA^{5.0266}$ Para $PGA > 450$ Gales $RR(PGA) = 2$	No presentan ecuación del R(PGA) No se encontraron características
O'Rourke y Ayala (1993)	$RR(PGV) = 1 \times 10^{-4} \times PGV^{2.25}$	Usaron valores estimados de PGV y datos de terremotos en USA, México y Japón
Japan Waterworks Association (1998)	$RR(PGV) = 3.11 \times 10^{-3} \times PGV^{1.3}$ Correlación determinada con los datos: $RR(PGA) = 3.35 \times 10^{-8} \times PGA^{2.6023}$	Se basó en los daños del terremoto de Kobe 1995, No se presenta ecuación de R(PGA)
Eidinger (2001)	Correlación determinada con los datos: $RR(PGV) = 1.7026 \times 10^{-4} \times PGV^{1.9756}$	Se utilizó una curva general de vulnerabilidad para los sistemas de redes propuesta por John M. Eidinger de G&E Engineering Systems Inc. Esta fue empleada por Uniandes (2005). No presentan ecuación de RR(PGV)
JICA (2002)	Correlación determinada con los datos: Para $PGA < 650$ Gales $RR(PGA) = 1.5826 \times 10^{-9} \times PGA^{3.2307}$ Para $PGA > 650$ Gales $RR(PGA) = 2$	Análisis con datos de daño de casos colombianos, terremoto de Quindío 1999 (Armenia y Pereira) y basado en el trabajo de Kawakami's (1996). No presentan ecuación de RR(PGA)

Tabla 5.4. Resumen de curvas de vulnerabilidad para tuberías

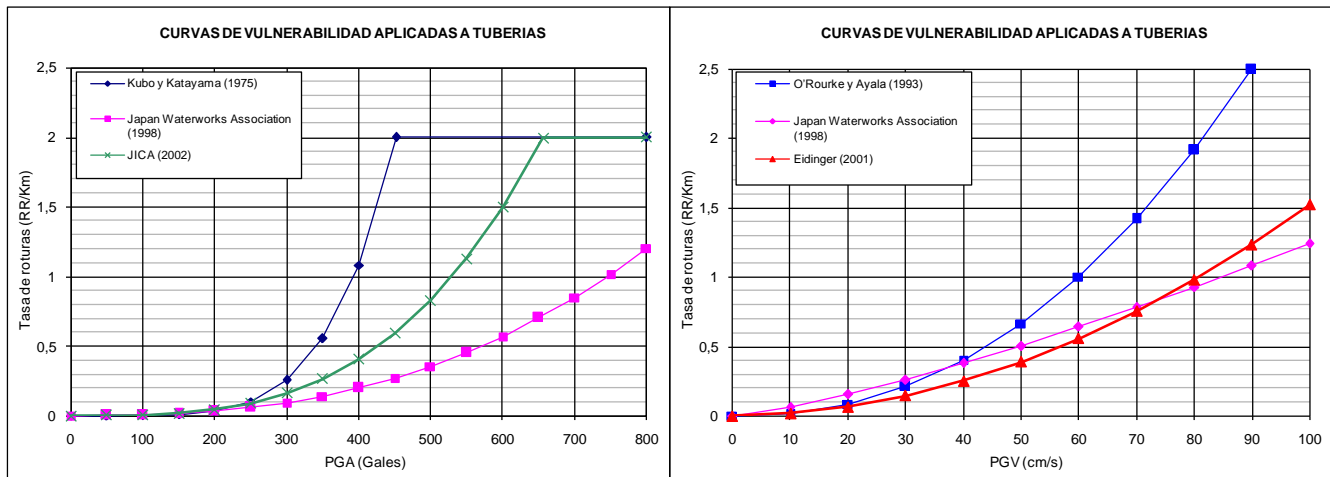


Figura 5.12. Resumen de curvas de vulnerabilidad de tuberías

Una vez considerado los diferentes soportes de las investigaciones que sustentan las curvas de vulnerabilidad, su aplicación en estudios previos y el nivel de representatividad al medio colombiano se recomienda para los análisis emplear la propuesta de JICA (2002) cuando se trabaje con PGA y la propuesta de Edinger (2001) para evaluar con PGV.

5.2.2 Cableado

Las evaluaciones de los posibles daños en los cables colgantes y enterrados de las redes energía eléctrica y de telecomunicaciones se adelantan con base en una metodología propuesta por JICA (2002), en general se estiman los porcentajes de daño de los cables a partir de curvas de vulnerabilidad sin tener en cuenta factores de corrección por las características propias del elemento o del sitio.

En el caso de cables colgantes se emplean curvas de vulnerabilidad con el porcentaje de daño de los postes, el daño a un poste causa daño al cable entre los postes afectados, con ello se estima la cantidad de metros de cableado afectado. Para los cables enterrados se emplea la curva de vulnerabilidad de porcentaje de daño del tramo de cableado enterrado, con ello se estima igualmente los metros de cables enterrados afectados. En ambos casos no se afectan por factores de corrección.

Bajo el planteamiento anterior la expresión para evaluar los daños en tramos de cables colgantes y enterrados que será aplicada a las redes de energía eléctrica y de telecomunicaciones de las que se cuenta con información, se presenta a continuación.

Para cables colgantes:

$$\text{Metros afectados} = \text{PD}(\text{pis}) \times \text{longitud total del tramo de cable colgante}$$

Para Cables enterrados:

$$\text{Metros afectados: } \text{PD}(\text{pis}) \times \text{longitud total del tramo de cable enterrado}$$

Donde:

PD(pis): porcentaje de daño que se obtiene de la curva de vulnerabilidad con el parámetro de intensidad sísmico (pis)

Para aplicar la ecuación anterior se requiere seleccionar las curvas de vulnerabilidad que mejor representen las condiciones locales. Sin embargo se tienen disponibles únicamente las curvas para los postes y cables enterrados de energía eléctrica y telecomunicaciones usadas en el proyecto de escenario de daños para Bogotá JICA 2002 que se basan en la experiencia que dejó el terremoto de Kobe de 1995 (ver **Figura 5.13**).

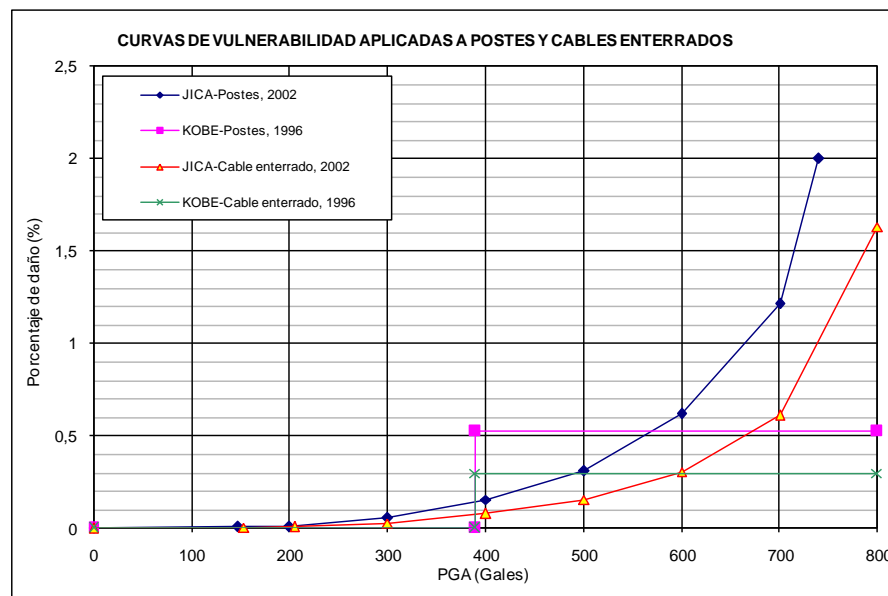


Figura 5.13. Resumen de curvas de vulnerabilidad de postes y cables enterrados

A partir de los datos reportados en el informe de JICA (2002) se estimaron las expresiones para la sistematización del proceso de cálculo como se muestran.

JICA (2002) Porcentaje de daño de cables colgantes:

$$PD(PGA) = 1 \times 10^{-10} \times PGA^{3.5190}$$

JICA (2002) Porcentaje de daño de cables enterrados:

$$PD(PGA) = 6 \times 10^{-11} \times PGA^{3.5336}$$

5.2.3 Tanques

Para el proyecto se ha decidido adoptar una metodología contenida en el documento *Seismic Fragility Formulations For Water System*, publicado en abril de 2001 por American Lifelines Alliance (A.L.A.). La razón de su elección radica en la factibilidad de aplicación para el caso de Bogotá, además de ser una metodología que tiene en cuenta la mayoría de aspectos relacionados con el daño en tanques.

La metodología se basa en la observación analítica de daños observados en estructuras de contención a causa de la acción sísmica de diferentes eventos, contenidos en una base de datos de 532 tanques que sufrieron lesiones al ser sometidos a aceleraciones del suelo de 0.1g o superiores. Esta propuesta contempla 5 estados posibles de daño propuestos por Hazus (1997), las cuales están definidas en función del costo de reparación y la operabilidad del tanque. La descripción de los estados de daño se presenta en la **Tabla 5.5**.

ESTADOS DE DAÑO	DESCRIPCIÓN	PROMEDIO PORCENTAJE DE PÉRDIDAS
DS1	Sin daño.	0%
DS2	Posibilidad de daños en líneas de conducción o cubiertas con presencia de pequeños derrames. Se requieren reparaciones menores. Aunque el tanque no queda fuera de servicio, no puede asegurarse un desempeño funcional adecuado del tanque.	1% a 20%
DS3	Daños en las paredes del tanque con presencia de fisuras en los elementos de concreto y plastificación por pandeo en tanques con paredes de acero (Pata de elefante), se presentan fugas considerables y constantes pero sin vaciado total.	20% a 40%
DS4	Posibilidad de falla por conexiones rígidas, daño en líneas de conducción de de entrada o salida, falla de muros. En cualquiera de estas situaciones o una combinación de las mismas se produce la pérdida completa del contenido del tanque sacándolo de servicio.	40% a 100%
DS5	Colapso completo.	100%

Tabla 5.5. Estados de daño en tanques (Hazus, 1997)

Los efectos dinámicos del contenido influyen en gran medida en la respuesta estructural del tanque, para tomar en cuenta este aspecto, la metodología divide los tanques de la base de datos en grupos de acuerdo al nivel de llenado de cada uno al momento del evento. Se aprecia como era de esperarse la gran influencia que el nivel de llenado tiene en el daño presentado en los tanques, siendo importante visualizar la diferencia existente entre los niveles de daño alcanzados en tanques con bajos niveles de llenado (<50%), respecto de los daños en tanques con altos niveles de llenado (>90%) o en niveles intermedios para condiciones entre (50% y 90%), lo que indica la importancia de conocer este atributo al momento de ocurrido el evento, dato que generalmente no es fácil de conseguir con la precisión requerida, para cuando no se tiene certeza del nivel de llenado a la hora del evento, la metodología recomienda suponer niveles de llenado altos (>90%), recomendación que será adoptada para este estudio, en todos aquellos casos en que no pueda disponerse del dato del nivel de llenado a la hora de ocurrencia del evento.

El anclaje del tanque es otro aspecto que influye en su desempeño sísmico, debido a que los tanques anclados tienden a presentar niveles de daño menores que los tanques no anclados. Por lo anterior y a partir del nivel de llenado y el anclaje

del elemento se asigna a cada uno de los tanques una de las 5 diferentes curvas de vulnerabilidad, que en sus abscisas presenta los valores de la demanda sísmica en función del PGA y que es asignado al elemento geográficamente de acuerdo a su localización y en las ordenadas se establecen los diferentes estados de daño ver **Figura 5.14**.

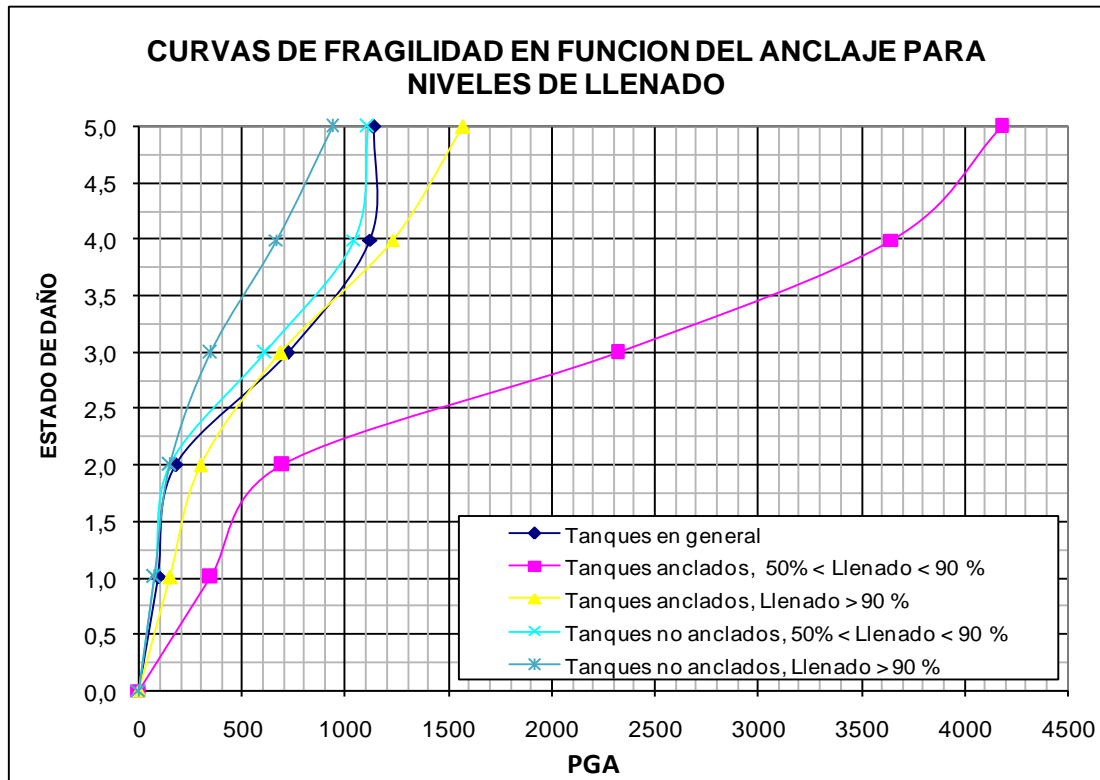


Figura 5.14. Curvas de vulnerabilidad para tanques en función del anclaje y nivel de llenado

5.2.4 Puentes

Para el proyecto se ha decidido adoptar la metodología *Risk Management Solutions Inc (RMS)*, ya que esta permite tomar en consideración algunas de las características estructurales más importantes de los puentes, y es aplicable tanto a puentes vehiculares como a puentes peatonales, tanto urbanos como carreteros. La descripción del método es presentada a continuación.

El método fue publicado en 1997, desarrollado mediante la compilación y refinamiento de metodologías desarrolladas con anterioridad, su principal ventaja radica en que mediante él es posible considerar el comportamiento diferenciado de los diferentes sistemas estructurales de los puentes. Para la predicción del daño, el método utiliza una familia de curvas de vulnerabilidad para diferentes clasificaciones de puentes, las cuales se agrupan teniendo en cuenta sus principales atributos estructurales, permitiendo incluir dentro de ellos la valoración por diseño con criterio sismo resistente o contemplar la ganancia de resistencia cuando se tiene evidencia de puentes viejos originalmente diseñados sin criterio sismo resistente o para requisitos de desempeño sísmico menores a los exigidos en la actualidad.

La respuesta de un sistema estructural tipo puente ante las solicitaciones impuestas por un evento sísmico depende de las características estructurales propias del sistema, lo que indica que los niveles de daño esperados serán diferentes ante una misma sollicitación actuando sobre sistemas estructurales con características diferentes. El método tiene en cuenta esta situación mediante la creación de 12 clases diferentes de puentes, que permiten agruparlos según las características estructurales consideradas más importantes en el desempeño y respuesta sismo resistente de este tipo de estructuras. La

Tabla 5.6. Contiene los criterios de clasificación del método y los códigos de clasificación (columna 4), propuestos para el presente estudio.

CRITERIO DE CLASIFICACIÓN	TIPOLOGÍA.	ATRIBUTOS.	CÓDIGO DE CLASIFICACIÓN.	OBSERVACIONES.
Tipo	Grandes puentes	Luces > 150 m.	T1	
	Continuos	Luces <150m, continuos y monolíticos.	T2	
	Simplemente apoyados	Una o varias luces, cada una de ellas inferiores a 150 metros y con apoyos simples	T3	
Calidad de diseño	Puentes con diseño sismo resistente	Año de construcción >1995	D1	Para el caso Bogotá, aquellos puentes que por fecha de construcción hayan sido clasificados como D2, pero que hayan sido sometidos a trabajos de reforzamiento, serán homologados a la categoría D1.
	Puentes sin diseño sismo resistente	Año de construcción <= 1995	D2	
Características especiales de vulnerabilidad	Puentes sin características especiales de vulnerabilidad	Puentes de superestructura regular, con diseño dúctil o con apoyos restringidos.	V0	todos aquellos puentes que no poseen ninguna de las características especiales de vulnerabilidad
	Superestructura Irregular.	Puente curvo con ángulo mayor a 90 grados	V1	Visto en planta
		Puente con ángulo de esviaje mayor a 45 grados.		El ángulo de esviaje medido con relación al eje longitudinal del obstáculo sorteado.
	Puente sin diseño dúctil	Año de construcción <1973		Alta probabilidad de haber sido diseñado con código AASHTO no sísmico
	Puentes simplemente apoyados con más de una luz	Numero de luces >1, simplemente apoyadas.		Se consideran muy vulnerables debido a su escasa redundancia estructural (Poca capacidad de redistribución de esfuerzos).

Tabla 5.6. Criterios de clasificación para puentes

El primer criterio de clasificación, el tipo de puente, considera el hecho que a mayor complejidad de la estructura, generalmente son más estrictos los controles de calidad en los procesos de diseño y construcción de la estructura, lo cual como es de esperarse, influye en su nivel de respuesta sísmica.

El criterio de clasificación correspondiente a calidad de diseño, permite tener en cuenta el importante aumento en la confiabilidad estructural de aquellos puentes con consideraciones de diseño sismo resistente, respecto de las estructuras cuyo diseño no contempla este tipo de solicitaciones. Para el caso de Bogotá, se considera que a partir de la entrada en vigencia del código colombiano de diseño sísmico de puentes en el año de 1995, puede garantizarse que este tipo de estructuras son diseñadas con esta consideración.

En lo concerniente a las características especiales de vulnerabilidad, esta clasificación permite considerar configuraciones estructurales vulnerables y de diseño estructural con filosofías de diseño no dúctiles. La consideración denominada

estructura irregular, tiene en cuenta el aumento en el nivel de vulnerabilidad debido a la no simetría del sistema estructural, lo cual en algunos casos se ve agravado por la aparición de fuerzas con componentes que tienden a aumentar la acción de las fuerzas horizontales, como por ejemplo la acción de la fuerza centrífuga que los vehículos ejercen por fricción sobre la estructura cuando se tienen puentes curvos. Por otro lado, la inclusión de la categoría de puentes sin diseño dúctil utilizando la fecha de 1973, responde a la inclusión de la fecha de variación en la filosofía de diseño de este tipo de elementos en los Estados Unidos, filosofías que generalmente fueron aplicadas por largo tiempo en Colombia ante la ausencia de códigos y especificaciones nacionales. Por último lo referente a la consideración de puentes con elementos simplemente apoyados como consideración especial de vulnerabilidad, permite considerar la escasa capacidad de redistribución de esfuerzos que este tipo de estructuras posee, lo cual obviamente los constituye en elementos mucho más vulnerables que los elementos continuos.

La combinación de estos tres criterios de clasificación da como resultado un grupo de 12 posibles clases de puentes, como se muestra en la **Tabla 5.7**.

No	CLASE	DESCRIPCIÓN
1	T1D1V0	Grandes luces, diseño sismo resistente
2	T1D2V0	Grandes luces, sin diseño sismo resistente.
3	T2D1V0	Elementos continuos con diseño sismo resistente
4	T2D2V0	Elementos continuos, sin diseño sismo resistente.
5	T3D1V0	Elementos simplemente apoyados con diseño sismo resistente
6	T3D2V0	Elementos simplemente apoyados sin diseño sismo resistente
7	T1D1V1	Grandes luces, diseño sismo resistente, configuración vulnerable.
8	T1D2V1	Grandes luces, sin diseño sismo resistente, configuración vulnerable.
9	T2D1V1	Elementos continuos, con diseño sismo resistente, configuración vulnerable.
10	T2D2V1	Elementos continuos, sin diseño sismo resistente configuración vulnerable.
11	T3D1V1	Elementos simplemente apoyados, diseño sismo resistente, configuración vulnerable.
12	T3D2V1	Elementos simplemente apoyados, sin diseño sismo resistente, configuración vulnerable.

Tabla 5.7. Clasificación de puentes por tipología estructural

La metodología propone cinco estados posibles de daño, con las características mostradas en **Tabla 5.8**.

ESTADO DE DAÑO	DENOMINACIÓN.	DESCRIPCIÓN
DS1	Ningún daño	
DS2	Daño menor	Desconchamiento del concreto y fisuraciones menores sin plastificación del refuerzo.
DS3	Daño moderado	Fisuras y desconchamiento apreciables del concreto de la estructura sin plastificación del refuerzo. Posibilidad de asentamientos en los accesos, fisuras en llaves de cortante y plastificación de algunos conectores mecánicos.
DS4	Daño generalizado	Daño generalizado, descascaramiento del concreto de la estructura y plastificación del refuerzo pero sin colapso, las conexiones pierden casi completamente su capacidad y existen asentamientos importantes en los accesos.
DS5	Daño total	Colapso parcial o total de la estructura. Trabajos de recuperación costosos y probablemente inviables

Tabla 5.8. Estados de daño para puentes

Las de curvas de vulnerabilidad para puentes están resumidas en la **Figura 5.15**, nótese que los valores de aceleración del terreno corresponden a un valor medio.

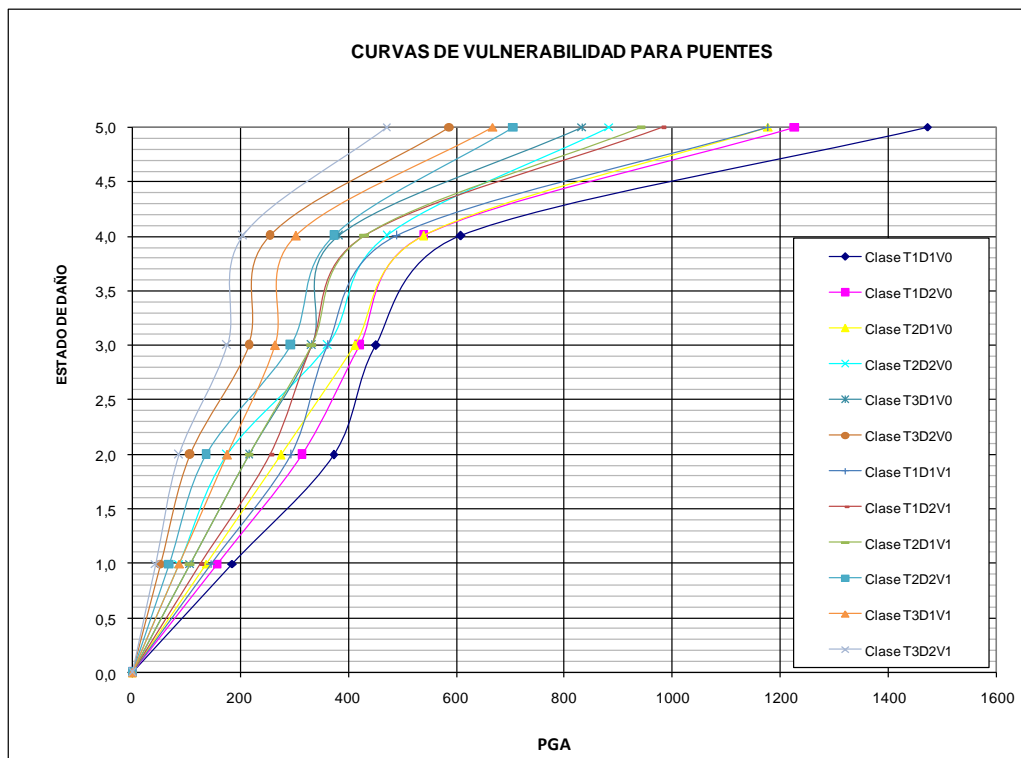


Figura 5.15. Curvas de vulnerabilidad para puentes

5.2.5 Vías

La metodología propuesta incluye la evaluación del daño directo causado por el movimiento sísmico. Se excluye del análisis la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo de las vías desde el punto de vista operativo y la interdependencia entre vías y otros elementos de la infraestructura de transporte de la ciudad.

La metodología en general se propone: 1) la elaboración de un mapa de intensidad sísmica (escala modificada de Mercalli) a partir de la zonificación sísmica vigente (FOPAE, 2010) y un escenario de amenaza dado; 2) determinar la intensidad sísmica en cada tramo de vía de acuerdo con su ubicación geográfica; 3) evaluar la tasa de daño en cada tramo de vía a partir de curvas de daño en función de la intensidad sísmica.

Las curvas de vulnerabilidad representativas para las vías son establecidas mediante observaciones efectuadas en eventos sísmicos anteriores o mediante la opinión de expertos (ver **Figura 5.16**).

A pesar de que esta metodología es relativamente sencilla de implementar y de que es posible validar y ajustar resultados mediante la manipulación de los parámetros de evaluación, no siempre es posible contar con observaciones de eventos sísmicos anteriores que permitan elaborar curvas de vulnerabilidad ajustadas a las condiciones locales del área de estudio. Otras limitaciones importantes del método son:

- El parámetro de amenaza sísmica (intensidad sísmica MMI) es una medida cualitativa de la intensidad, lo cual impide establecer y comparar relaciones intensidad-daño para diferentes áreas de estudio de manera objetiva (Tung, 2004).

- No se consideran daños causados por efectos colaterales de licuación o deslizamiento.
- No se consideran las características particulares de cada tipo de vía.

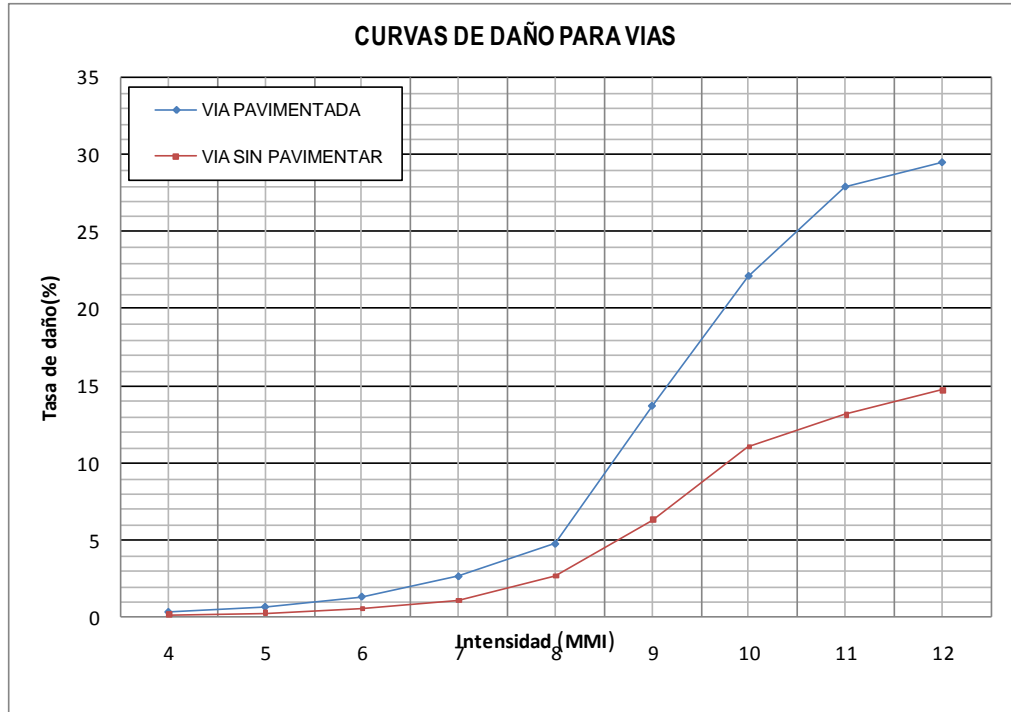


Figura 5.16. Curvas de daño para líneas vitales (Geo-hazards International, 1999).

6 EFECTOS COLATERALES

Un sismo no solamente afecta a las edificaciones y líneas vitales, las ondas sísmicas pueden causar daños importantes a la superficie del terreno, suelos y rocas, los cuales a su vez pueden causar daño a las edificaciones y líneas vitales que se encuentren en los terrenos afectados, a estas afectaciones o daños del terreno se les denomina efectos colaterales.

La determinación de las áreas donde pueden ocurrir fenómenos de licuación o deslizamientos durante un evento sísmico es parte fundamental en el análisis de escenario de daño de cualquier ciudad en el mundo. Las evidencias muestran que los daños causados por los efectos colaterales ocasionan un gran número de pérdidas humanas y económicas, en algunos casos incluso 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.

A continuación se describen las metodologías seleccionadas para identificar las zonas susceptibles a licuación o deslizamiento y el método seleccionado para estimar los daños por estos efectos colaterales inducidos por un sismo.

6.1 LICUACIÓN

Anteriormente, la licuación no era particularmente considerada por los ingenieros porque la mayoría de pérdidas humanas registradas en sismos se debían principalmente a fallas estructurales de edificaciones y obras civiles. Sin embargo, este fenómeno llamó la atención de expertos alrededor del mundo por sus devastadores efectos ocurridos durante los terremotos Good Friday en Alaska y Niigata en Japón. A partir de ese momento, la licuación ha sido estudiada extensivamente alrededor del mundo con el fin de entender cómo se genera y así mismo como establecer medidas que permitan prevenirla.

Los principales efectos que se presentan como consecuencia de la licuación son: pérdida de la capacidad portante del suelo, subsidencia en terraplenes, diques de ríos, casas y edificios, desplazamiento lateral de muros de contención o de taludes licuables y afectación de cimentaciones profundas principalmente. Todos estos daños ponen en riesgo la vida de personas y pueden suponer grandes pérdidas económicas.

Por lo general, la licuación se presenta en zonas tales como canales de antiguos cauces, llanuras aluviales o en rellenos antrópicos, áreas en las cuales anteriormente no se presentaba mucha actividad humana. Sin embargo, el reciente desarrollo de las ciudades se ha dirigido a este tipo zonas, lo que ha ocasionado un mayor número de la población habite o desarrolle actividades en zonas potencialmente licuables.

El término licuación fue inicialmente utilizado por Mogami y Kubu en 1953, quienes emplearon este término para definir las deformaciones causadas por cargas monotónicas, transientes o repetidas sobre suelos no cohesivos saturados bajo condiciones no drenadas. La licuación es un fenómeno que consiste en la pérdida de resistencia de suelos causada por el incremento en la presión de poros. Durante la ocurrencia de un sismo, la presión de poros aumenta, lo cual reduce el esfuerzo efectivo y por tanto el módulo de corte del material. El esfuerzo efectivo puede ser entendido como la fuerza de contacto que existe entre los granos de suelo, por lo que cuando la presión de poros aumenta este contacto entre granos desaparece ya que los granos quedan suspendidos en el agua y el suelo se convierte en una especie de lodo. Así, el material pierde su resistencia y por lo tanto se presentan grandes deformaciones ante cualquier tipo de esfuerzo.

La susceptibilidad de estratos ante licuación se determina mediante el Procedimiento Simplificado desarrollado por los profesores Seed e Idriss (1964). Este método calcula el factor de seguridad ante licuación (FS_L) como el cociente entre la resistencia ante la licuación CRR (Cyclic Resistance Ratio) y la demanda sísmica provista por un sismo CSR (Cyclic Stress Ratio). El Procedimiento Simplificado tan solo predice que pasará en una capa de suelo ubicada a una determinada profundidad. Por este motivo, Iwasaki et al. (1978) desarrolló el Índice de Potencial de Licuación (LPI) que permite establecer el comportamiento de una columna de suelo ante licuación y por consiguiente, el daño probable en superficie lo cual permite realizar mapas cuantitativos del potencial de licuación de una determinada zona. El LPI se calcula teniendo en cuenta la profundidad, el espesor acumulado y el factor de seguridad de los estratos licuables que es obtenido mediante el Procedimiento Simplificado; adicionalmente, se califica en un rango de valores que va desde 0 a 20, en donde valores menores representan un bajo potencial de falla por licuación y valores mayores corresponden a un alto potencial de falla por licuación.

6.1.1 Índice de Potencial de Licuación

Esta metodología está basada en el cálculo del un índice de potencial de licuación (LPI), desarrollado por Iwasaki et al. (1978) en capas de suelo entre 0 y 20m de profundidad. El LPI está definido con la Ec. 8 de acuerdo al modelo mostrado en la **Figura 6.1**.

$$\text{Ec. 8. } LPI = \sum_{i=1}^n G_i W_i H_i$$

Donde G_i es la intensidad de la licuación expresada como $G_i=1-FS_L$ donde FS_L es el factor de seguridad de licuación, W_i es una función de ponderación expresada como $W_i=10-0.5z$, donde z es la profundidad media del estrato analizado en metros y H_i es el espesor del estrato considerado en metros, donde i es el numero de la capa y n el número total de capas.

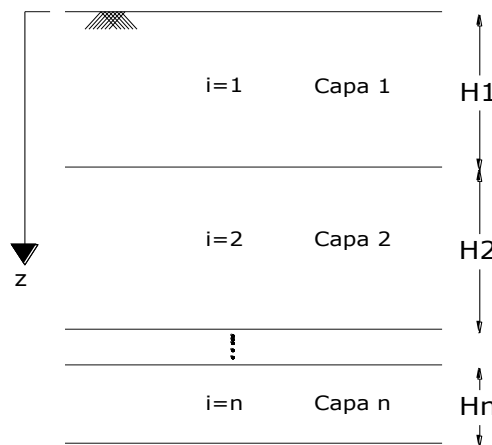


Figura 6.1. Esquema de las variables involucradas en el cálculo de LPI

El factor de seguridad de licuación FS_L es una comparación entre la resistencia cíclica del suelo (CRR) y los esfuerzos cíclicos generados por el sismo (CSR). La determinación de CRR depende del ensayo con el cual se determinan las propiedades del suelo, siendo los más comúnmente empleados SPT y CPT. Así, con el CRR y CSR el factor de seguridad ante licuación FS_L se determina mediante la Ec. 9.

$$\text{Ec. 9. } FS_L = \frac{CRR}{CSR}$$

Con base en los resultados del ensayo SPT se evalúa mediante la Ec. 10 y Ec. 11 la resistencia cíclica CRR de la siguiente forma:

$$\text{Ec. 10. } CRR = \frac{10^{2.54}}{M_w^{2.56}} \cdot CRR_{7.5}$$

$$\text{Ec. 11. } CRR_{7.5} = \frac{1}{(34 - (N_1)_{60CS})} + \frac{(N_1)_{60CS}}{135} + \frac{50}{(10 * (N_1)_{60CS})} - \frac{1}{200}$$

Donde M_w es la Magnitud de momento del sismo y $(N_1)_{60CS}$ es el número de golpes normalizado y corregido por el porcentaje de finos, este se obtiene mediante la Ec. 12.

$$\text{Ec. 12. } (N_1)_{60CS} = \alpha + \beta * (N_1)_{60}$$

Los valores de alfa y beta dependerán del contenido de finos presente en el material (ver **Tabla 6.1**).

Contenido de finos, FC (%)	α , alfa	β , beta
Menor o igual a 5%	0	1
Entre 5% y 35%	$e^{1.76 - (190/FC^2)}$	$0.99 + \frac{FC^{1.5}}{1000}$
Mayor o igual al 35 %	5	1.2

Tabla 6.1. Factores de corrección por contenido de finos

$(N_1)_{60}$ es el número de golpes normalizado mediante la Ec. 13 de acuerdo con los factores resumidos en la **Tabla 6.2**.

$$\text{Ec. 13. } (N_1)_{60} = N_m * C_N * C_E * C_B * C_R * C_S$$

Factor	Descripción del factor	Expresión o valor empleado
C_N	C_N es un factor para normalizar el esfuerzo efectivo a una presión aproximada de 100 kPa la cual se expresa dentro de la ecuación como Pa.	$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{vo}} \right)^{0.5}$
C_E	C_E es un factor de corrección de energía aplicada por el martillo durante la ejecución de la prueba. Se empleo el valor empleado para el caso colombiano	0.83
C_B	C_B es un factor de corrección debido al diámetro de la perforación. Se considero el menor factor posible dentro del rango de opciones.	1
C_R	C_R es un factor de corrección por la longitud de la cuerda. Se considero el menor factor posible dentro del rango de opciones.	0.75
C_S	C_S es un factor de corrección debido al tipo de muestreador. Se considero el tipo estándar de muestreador.	1

Tabla 6.2. Factores de corrección del resultado del ensayo SPT

El esfuerzo cíclico generado por el sismo CSR depende de la amenaza sísmica y del estado de esfuerzo, el cual se obtiene mediante la Ec. 14.

$$\text{Ec. 14. } CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0.65 * \frac{a_{max}}{g} * \frac{\sigma'_{vo}}{\sigma'_{vo}} * r_d$$

Donde a_{max} es la aceleración pico en superficie en gravedades, g es la aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2), σ_{v0} es el esfuerzo total vertical inicial a la profundidad en consideración en KPa, σ'_{v0} es el esfuerzo efectivo vertical inicial a la profundidad en consideración en KPa y r_d es el coeficiente de reducción del esfuerzo que se calcula mediante la Ec. 15.

$$\text{Ec. 15. } \begin{aligned} z \leq 9.15 &\rightarrow r_d = 1.0 - 0.00765z \\ 9.15 < z \leq 23 &\rightarrow r_d = 1.174 - 0.0267z \end{aligned}$$

La evaluación del daño en términos del LPI está basada en análisis probabilísticos detallados, en la **Tabla 6.3** se incluyen la relación entre el LPI, el potencial de falla por licuación y el grado de daño por licuación y en la **Tabla 6.4** se presenta una descripción de los grados de daño relacionados.

LPI (SPT)	Potencial de falla por licuación	Grado de daño por licuación (LQ)
LPI=0	Nada extremadamente bajo	0
0<LPI<5	Bajo	1
5≤LPI≤15	Moderado	2
LPI>15	Alto-Muy alto	3

Tabla 6.3. Grados de daño por licuación basados en valores de LPI.

Estado de daño	Grado de daño
No hay daño	0.0
D1 (ligero)	1.0
D2 (moderado)	1.5
D3 (fuerte)	2.0
D4 (colapso parcial)	2.5
D5 (colapso total)	3.0

Tabla 6.4. Descripción de los grados de daño.

6.1.2 Zonificación del potencial de licuación

La metodología del Índice de Potencial de Licuación se evalúa para perfiles de suelo, por lo cual es necesario determinar zonas con perfiles homogéneos para aplicar este método por áreas y no de manera puntual. Para este fin se desarrollo una metodología de zonificación de potencial de licuación tomando como base el planteamiento de calcular un índice que represente la resistencia cíclica del depósito de suelo, el cual es intrínseco del sitio de acuerdo con las características del perfil analizado. Una vez calculado este índice de resistencia cíclica del terreno para las perforaciones localizadas en las áreas aluviales, de llanura o rellenos que son susceptibles a este fenómeno, se procede a realizar análisis geo-estadísticos para determinar espacialmente zonas de similar resistencia y así zonificar, de manera esquemática este procedimiento se ilustra en la **Figura 6.2**.

De acuerdo a la metodología el índice de resistencia cíclica I_{CRR} se calcula mediante la Ec. 16.

$$\text{Ec. 16. } I_{CRR} = \sum_{i=1}^n CRR_i W_i H_i$$

Donde CRR_i es el valor del CRR calculado para las capas de arenas licuables, W_i es una función de ponderación de la profundidad expresada como $W_i=10-0.5z$, H_i es el espesor de la capa considerada, z es la profundidad del suelo e, i es el numero de la capa.

Una vez calculado el I_{CRR} se realizan los procesos de interpolación espacial para determinar la variación de este índice dentro de las diferentes zonas geotécnicas consideradas. Finalmente, con base en los resultados de las interpolaciones se definen las zonas y perfiles típicos.

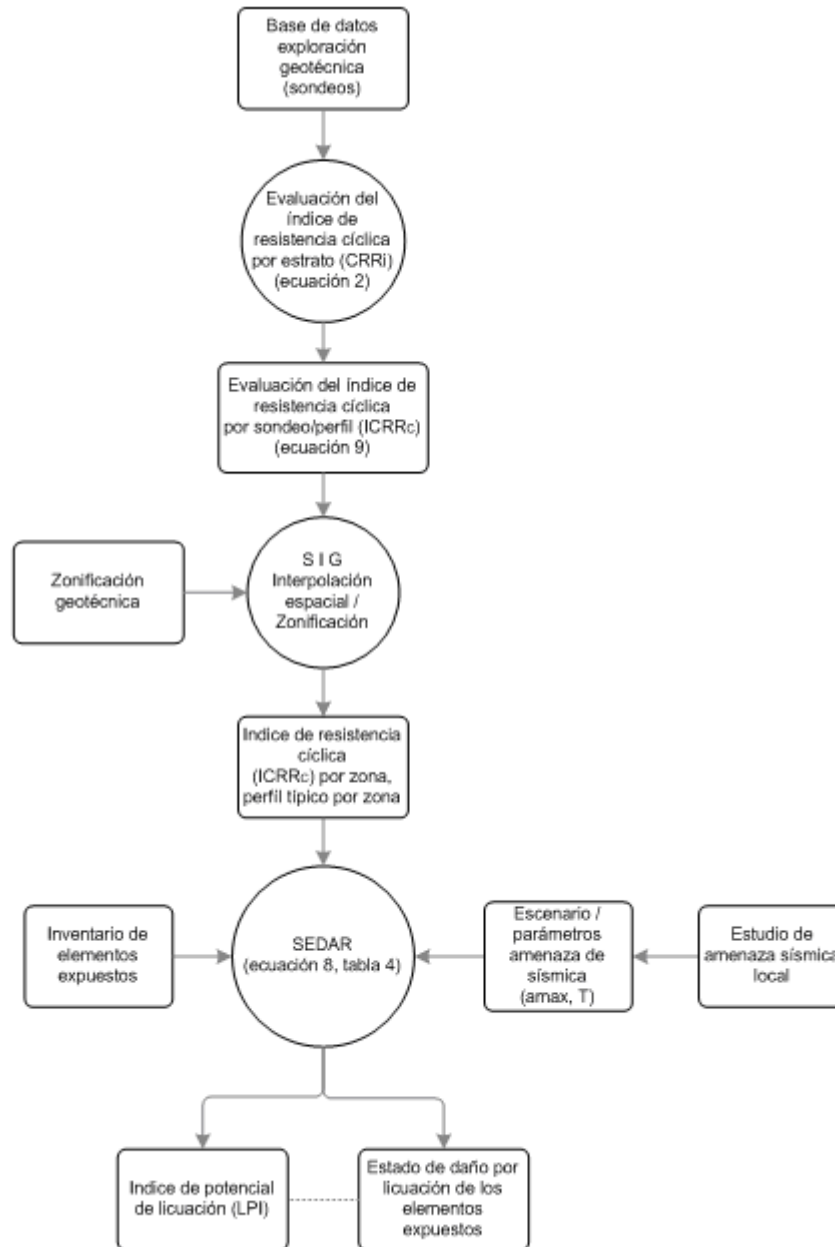


Figura 6.2. Metodología de zonificación del potencial de licuación

6.2 DESLIZAMIENTO

Los deslizamientos causados por eventos sísmicos producen grandes pérdidas humanas y económicas. En la mayoría de los casos este tipo de amenaza natural es subestimada y sus efectos devastadores no son considerados. Varios investigadores han encontrado que en los deslizamientos inducidos por sismo causan incluso más daños que otras amenazas sísmicas combinados. Por ejemplo, Kobayashi, 1981 encontró que más de la mitad de las muertes producidas

en grandes terremotos ($M > 6.9$) en Japón entre 1964 y 1980 fueron causados por deslizamientos y en el caso del terremoto ocurrido en Alaska en 1964 el 56% del total del costo de los daños fue causado por deslizamientos inducidos por terremotos, por lo que la evaluación de la estabilidad sísmica de taludes es una de las más importantes actividades en el ámbito de evaluación de amenaza sísmica.

Para evaluaciones preliminares de estabilidad sísmica, conocer las condiciones bajo las cuales este tipo de deslizamiento han ocurrido es muy útil. Es lógico esperar que para sismos con mayor magnitud haya mayor cantidad de deslizamientos o que la afectación causada por un sismo dependa de la distancia a su fuente. Un estudio realizado por Keefer en 1984 mostró que para sismos locales, pueden desencadenar deslizamientos para magnitudes mayores a 4. La estabilidad de taludes es influenciada por muchos factores y para una completa evaluación de estabilidad sísmica es necesario evaluar los efectos de cada uno de ellos. En términos generales, los factores que más inciden en la estabilidad sísmica de un talud son la geología, hidrología, topografía y características mecánicas de los materiales presentes. Además, el análisis sísmico de estabilidad de taludes debe considerar los esfuerzos dinámicos inducidos por la vibración causada por el terremoto y los efectos de los esfuerzos dinámicos sobre la resistencia y el comportamiento esfuerzo deformación de los materiales del talud. Es así que, la estabilidad sísmica de taludes se divide en dos categorías basadas en los efectos predominantes en un talud determinado; 1. Análisis de estabilidad inercial y 2. Análisis de estabilidad por debilitamiento del material.

Existen varias metodologías de análisis de estabilidad inercial entre las que se encuentran los análisis pseudos-estáticos, el bloque del método deslizante de Newmark, Análisis de Makdisi-Seed y análisis de esfuerzo-deformación. De estos métodos, el único que provee información acerca de las deformaciones asociadas con la falla de un talud por que considera un umbral de aceleración a partir del cual se producirán desplazamientos, es el método del bloque deslizante de Newmark.

6.2.1 Bloque deslizante de Newmark

El método del bloque deslizante de Newmark establece una analogía entre la masa de suelo sobre una superficie de falla y un bloque deslizante sobre una superficie inclinada (Ver **Figura 6.3**) por lo que si las fuerzas actuantes sobre la masa de suelo son tan grandes que exceden las fuerzas resistentes disponibles el factor de seguridad será menor que 1, por lo que el bloque se moverá. Para determinar los daños causados el desplazamiento por este método existen varias metodologías, algunas de las cuales serán ampliadas en la siguiente sección.

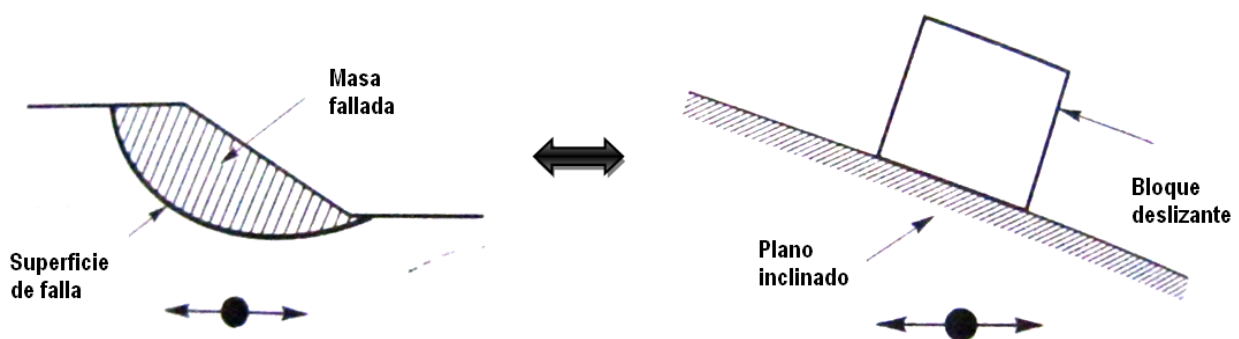


Figura 6.3. Analogía realizada por el método del bloque deslizante (Newmark, 1965)

El factor de seguridad estático obtenido a partir del análisis estático del bloque deslizante de Newmark se obtiene de la Ec. 17.

$$\text{Ec. 17. } FS = \frac{c}{\gamma * \text{espesor} - \text{sen}\beta} + \frac{\tan(\phi)}{\tan(\beta)} - \frac{m * 10 * \tan(\phi)}{\gamma * \tan(\beta)}$$

Donde c es la cohesión del material, γ es el peso unitario del material, ϕ es el ángulo de fricción interna del material, β es la inclinación del talud y m es la altura de la lámina de agua desde la superficie de falla. Su valor será supuesto a 0.5 con el fin de considerar una condición parcialmente saturada y $espesor$ es el espesor del material sobre la superficie de falla o la altura del bloque deslizando.

Con el factor de seguridad, se procede a calcular la aceleración crítica (a_{crit}) mediante la Ec. 18, es decir el nivel de aceleración en el cual se puede activar el movimiento del terreno.

$$\text{Ec. 18. } a_{crit} = (FS - 1) * 980 * \text{sen}\beta$$

Donde FS factor de seguridad del talud y β es la inclinación del talud.

El desplazamiento en centímetros es calculado mediante el modelo propuesto por Yegian et al (1991) mediante la Ec. 19.

$$\text{Ec. 19. } D = \left(a_{max} * N_{eq} * T^2 \right) * 10^{0.22 - 1.012 * \left(\frac{a_{crit}}{a_{max}} \right) + 1.638 * \left(\frac{a_{crit}}{a_{max}} \right)^2 - 1.48 * \left(\frac{a_{crit}}{a_{max}} \right)^3}$$

Donde a_{max} corresponde a la aceleración pico del terreno en superficie, N_{eq} es el número de ciclos equivalente del sismo, T es el periodo dominante de la señal sísmica. Estos parámetros se obtienen del escenario de amenaza que se esté considerando.

La cuantificación del daño en función del desplazamiento permanente del deslizamiento, basado en el trabajo de Wilson y Keefer (1985), quienes definieron el desplazamiento crítico en 10 cm, más allá del cual se esperaría un daño significativo en fundaciones típicas de casas. Un trabajo posterior de Jibson et al (1998) definió una probabilidad de falla del 30% para un desplazamiento de 10 cm del talud. La Tabla 6.5 presenta la estimación del daño en función del desplazamiento calculado.

Desplazamiento esperado debido a deslizamiento	Descripción	Grado de daño por deslizamiento
D=0	Daño en terreno no observado	0
0<D≤5cm	Daños menores al terreno	1
5<D≤10cm	Daños moderados al terreno	2
D≥10cm	Daños severos al terreno	3

Tabla 6.5. Grados de daño por deslizamiento basados en valores de deslizamiento

6.2.2 Zonificación del potencial de deslizamiento

Para aplicar la metodología anterior es necesario determinar en primera instancia las zonas de potencial deslizamiento, para ello se requiere información geológica, geotécnica de parámetros de resistencia al corte del suelo y rocas, y el mapa de pendientes de la zona a analizar. Con lo cual se obtiene el mapa de susceptibilidad a deslizamiento en términos de aceleración crítica, este resultado se calibra con base en un inventario de deslizamientos y estudios de amenaza por remoción en masa. Finalmente en el sistema de cálculo se realiza la evaluación de los desplazamientos para cada escenario de amenaza, la metodología completa de cálculo se presenta en la **Figura 6.4**.

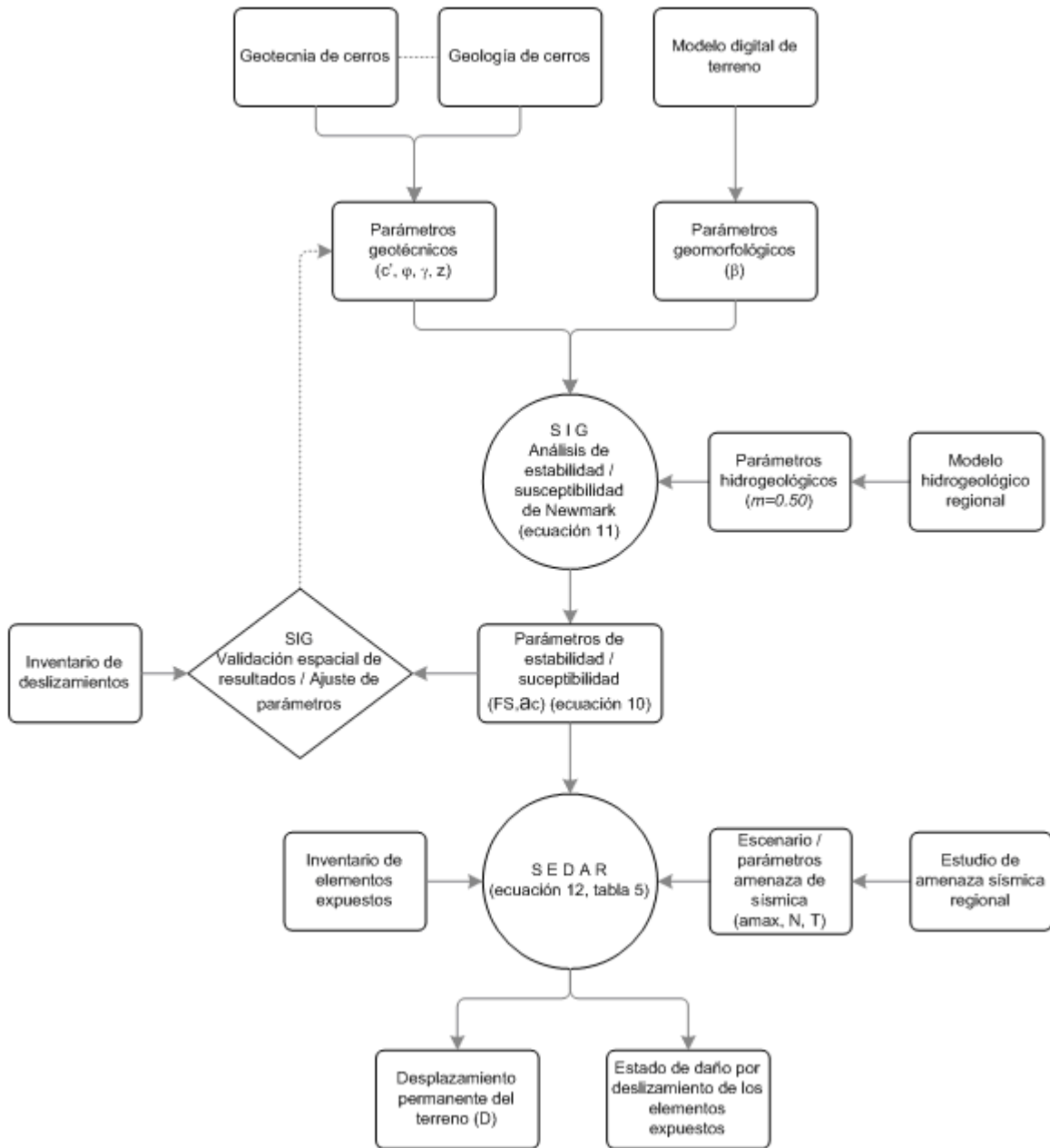


Figura 6.4. Metodología de zonificación del potencial de deslizamiento

CAPÍTULO 7

7 DAÑOS SECUNDARIOS

De acuerdo al enfoque conceptual desarrollado en este estudio se consideran daños secundarios a aquellos causados por el daño o afectación inicial de los elementos expuestos o del terreno. Se desarrolla un método para aumentar los daños de los elementos expuestos, edificaciones y líneas vitales, a causa de los efectos colaterales, licuación y deslizamiento. Otro método para estimar la afectación a la población y las pérdidas económicas directas debidas al daño de las edificaciones y se plantea un método para estimar las afectaciones a las vías vehiculares en forma de bloqueo a causas de los daños de las edificaciones.

7.1 DAÑOS DE LOS ELEMENTOS POR EFECTOS COLATERALES

Los daños iniciales de los elementos expuestos se evalúan en términos de indicadores de daño, estos buscan representar de manera descriptiva o cualitativa el nivel de daño estructural del elemento. Se tiene indicadores como el índice de daño de edificaciones, la tasa de roturas por kilómetro de tuberías, el porcentaje de daño de cables y vías y el estado de daño de tanques y puentes. Un resumen de los indicadores de daño empleados se presenta en la **Tabla 7.1**.

Elemento expuesto	Indicador de daño	Unidad	Rango	Escala Cualitativa
Edificaciones	Índice de daño ID	%	0-100	0≤ID<2.5 - Sin daño 2.5≤ID<7.5 - Bajo 7.5≤ID<15 - Moderado 15≤ID<30 - Considerable 30≤ID<60 - Fuerte ID≥60 - Severo
Tuberías	Tasa de roturas RR	Número de roturas por Km	0-5	0<RR<0.1 - Sin daño 0.1<RR<0.5 - Bajo 0.5≤RR<1.0 - Considerable RR≥1.0 - Fuerte
Cables	Porcentaje de daño DP	%	0-2	0≤DP<0.01 - Sin daño 0.01≤DP<0.1 - Bajo 0.1≤DP<0.5 - Considerable DP≥0.5 - Severo
Vías	Porcentaje de daño DP	%	0-30	0≤DP<1 - Sin daño 1≤DP<5 - Bajo 5≤DP<10 - Considerable DP≥10 - Severo
Tanques	Estado de daño DS	Adimensional	1 - 5	DS=1 - Sin daño DS=2 - Bajo DS=3 - Moderado DS=4 - Fuerte DS=5 - Severo
Puentes	Estado de daño DS	Adimensional	1 - 5	DS=1 - Sin daño DS=2 - Bajo DS=3 - Moderado DS=4 - Fuerte DS=5 - Severo

Tabla 7.1. Elementos expuestos y sus escalas de daño

De manera similar a los elementos expuestos, los métodos que evalúan los efectos colaterales clasifican el nivel de daño en función del índice de potencial de licuación y del desplazamiento del terreno como se explico en el capítulo anterior. De esta manera se tienen cuatro diferentes grados de daño establecidos que se muestran en la **Tabla 7.2**.

Efecto colateral	Indicador de daño	Unidad	Rango	Escala Cualitativa
Licuación	Grado de daño licuación (GDL)	Adimensional	0-3	GDL=0 - Sin daño GDL=1 – Bajo GDL=2 – Moderado GDL=3 - Fuerte-severo
Deslizamiento	Grado de daño deslizamiento (GDD)	Adimensional	0-3	GDD=0 - Sin daño GDD=1 – Bajo GDD=2 – Moderado GDD=3 - Fuerte-severo

Tabla 7.2. Escala de daño por efectos colaterales

Debido a que se evalúan dos efectos colaterales, licuación y deslizamiento, es necesario calcular un grado de daño total GDT que reúna ambas condiciones, para tal efecto se propone en la **Tabla 7.3** una matriz que combina el grado de daño por licuación GDL con el grado de daño por deslizamiento GDD para obtener el GDT.

GDL \ GDD	0	1	2	3
0	0	1	2	3
1	0	1	2	3
2	1	2	3	3
3	2	3	3	3

Tabla 7.3. Grado de daño total - GDT

Se debe tener en cuenta que para el método de tuberías ya se encuentra incluido un factor de afectación por licuación en la evaluación del factor de vulnerabilidad y no es consistente que se corrija el daño por este efecto, por consiguiente se asigna a el factor de corrección por licuación el valor de la unidad “ $C_i=1$ ”, esto para no afectar el factor de vulnerabilidad “Fv” por efectos de licuación, por consiguiente el método planteado considerara este efecto.

Finalmente, a partir de los descriptores de daño inicial de los elementos expuestos y el grado de daño total por efectos colaterales se proponen una serie de ecuaciones que permiten aumentar los daños iniciales si el sitio donde se ubica el elemento está afectado por licuación o deslizamiento. La metodología de corrección consiste en asignar un valor de corrección y operarlo con el grado de daño total y este producto adicionarlo al indicador de daño inicialmente calculado, se debe tener una consideración adicional y es que el valor máximo que puede tomar el indicador de daño será el máximo permitido para cada una de las escalas descriptivas de daño. A continuación se presentan las expresiones y las variables correspondientes para cada uno de los métodos.

7.1.1 Edificaciones

En el cálculo de los daños iniciales en edificaciones se obtiene el índice de daño “ID” expresado en porcentaje, el cual representa la afectación de la edificación, que es función de variables como el número de pisos, la ductilidad del sistema resistente, la pendiente del terreno y del escenario de daño planteado para la evaluación entre otros. El grado de daño total “GDT” como se presentó anteriormente representa el nivel de daño adicional por los efectos colaterales de licuación y deslizamiento, luego se asigna el valor de corrección “VC” que cumple la función de cuantificar el daño adicional entre cada uno de los grados de daño y su valor es fijado por opinión de expertos, por último se operan los valores anteriormente

mencionados como se indica en la Ec. 20 para obtener el índice de daño corregido que contempla los daños de segundo orden.

$$\text{Ec. 20. } IDc = ID + GDT * VC$$

Donde IDc: índice de daño corregido, ID: índice de daño, GDT: grado de daño total, VC: valor de corrección VC=10%.

7.1.2 Tuberías

Para el caso de las tuberías la metodología pretende calcular una tasa de roturas en relación a la longitud de la conducción a partir de características del elemento y su entorno tales como el diámetro y el material de la tubería, topografía del terreno, zona de respuesta sísmica en la que se localice y susceptibilidad de licuación, este último factor de licuación no se tendrá en cuenta dado que el método de corrección de los daños lo contempla. A partir de estos datos se calcula la tasa de roturas inicial "RR", posteriormente es asignado el grado de daño total "GDT" según sean las condiciones de exposición del elemento a los fenómenos de licuación y deslizamiento, para operar junto con el valor corrección "VC" que cumple la función de cuantificar el daño adicional entre cada uno de los grados de daño, para obtener así la tasa de roturas corregida "RRc".

$$\text{Ec. 21. } RRc = RR * (1 + GDT * VC)$$

Donde RRc: tasa de roturas corregida, RR: tasa de roturas, GDT: grado de daño total y VC: valor de corrección VC=0.33.

7.1.3 Cables

El procedimiento para la evaluación de los daños en cables es similar al de tuberías excepto que en este solo se tiene en cuenta la zona de respuesta sísmica y sus parámetros de intensidad asociados, Ver Ec. 22.

$$\text{Ec. 22. } DPc = DP * (1 + GDT * VC)$$

Donde DPc: porcentaje de daño corregido, DP: porcentaje de daño, GDT: grado de daño total y VC: valor de corrección VC=0.1.

7.1.4 Tanques y Puentes

En lo relacionado con estos elementos el daño inicial se caracteriza con el parámetro adimensional "estado de daño", el cual se clasifica en cinco diferentes niveles, en lo relacionado con tanques el estado de daño se obtiene a partir de parámetros como el anclaje y el nivel de llenado.

El estado de daño en puentes se caracteriza a partir de parámetros como longitud de la luz más larga, año de construcción, curvatura y continuidad de la superestructura entre otros. A partir de la caracterización del estado de daño se procede a asignar el grado de daño total "GDT" según sean las condiciones de exposición de los elementos frente a licuación y deslizamiento y de igual forma a los procedimientos anteriores se procede con el valor de corrección que se fijó para así obtener un aumento del daño por efectos colaterales. Ver Ec. 23.

$$\text{Ec. 23. } DSc = DS + GDT * VC$$

Donde DSc: Estado de daño corregido, DS: estado de daño, GDT: grado de daño total y VC: valor de corrección VC=1. Si DSc da mayor a 5 se deja como 5.

7.1.5 Postes y torres de energía o telecomunicaciones

Para la evaluación de los daños en elementos puntuales se parte de que por efecto directo o inicial de las ondas sísmicas estos no sufren afectaciones, pero por efectos colaterales si. De modo que el estado de daño corresponderá al mismo valor del grado de daño total combinado ver Ec. 24.

$$\text{Ec. 24. } DS = GDT$$

7.1.6 Vías

El procedimiento para la evaluación de los daños secundarios en vías es similar al de tuberías excepto que en este solo se tiene en cuenta la zona de respuesta sísmica y sus parámetros de intensidad asociados, Ver Ec. 22.

$$\text{Ec. 25. } DPc = DP * (1 + GDT * VC)$$

Donde DPc: porcentaje de daño corregido, DP: porcentaje de daño, GDT: grado de daño total y VC: valor de corrección VC=10.

7.2 AFECTACIONES A LA POBLACIÓN Y PÉRDIDAS ECONÓMICAS DIRECTAS

Las causas por las cuales un sismo produce afectados se resume en cuatro fuentes, la primera originada por causas individuales como infartos, arrojados desde altura, caídas en intentos de evacuación y pánico grupal; la segunda causa está asociada en razón de la caída o volcamiento de los elementos no estructurales o del mobiliario de las viviendas como caída de muros, estantes y rotura de vidrios entre muchos otros. La tercera asociada a colapso parcial o total de las edificaciones, La cuarta y última asociada a los efectos colaterales como lo son deslizamientos, derrumbes, licuación y tsunami.

Entendiendo que las ciudades no son otra cosa que un gran conglomerado de estructuras diversas, en las que se agrupan permanentemente las personas, por tanto es lógico suponer que ante la acción de un evento sísmico cualquier tipo de afectación que puedan sufrir las estructuras de la ciudad repercutirá directamente sobre las personas que en ella habitan. Tomando en cuenta este último aspecto, es evidente que para calcular las afectaciones que un sismo causa sobre la población residente en la ciudad donde se manifiesta el evento, es necesario primero conocer los niveles de daño que las estructuras de la ciudad llegan a sufrir a causa del sismo, para poder luego continuar con la etapa de evaluación de la afectación directa sobre la población. El aspecto relacionado con el daño de las estructuras ya ha sido cubierto mediante las metodologías adaptadas para tal fin tal y como se describe en los numerales anteriores de este documento.

El desarrollo de un método para la evaluación de las afectaciones sobre la población es una tarea de gran envergadura, debido principalmente a la imposibilidad de predecir los sismos y el nivel de ocupación y las condiciones que determinada estructura estará soportando en el instante de ocurrencia del evento. Este hecho obliga a que las metodologías desarrolladas para la evaluación de la afectación sobre las personas tengan en cuenta por lo menos el tipo de uso de la estructura, la posible cantidad de ocupantes, la tipología estructural y hasta la hora de ocurrencia del evento.

Para el presente estudio se ha hecho una simbiosis entre dos metodologías, aprovechando la relativa facilidad de aplicación de la ecuación propuesta por Corbun y Spence en 1992, y utilizando los ajustes y calibraciones que la Universidad de los Andes que realizó anteriormente sobre diversos parámetros para la ciudad de Bogotá. En todo caso el método propuesto emplea varios factores que tienen gran incertidumbre, razón por la cual los resultados obtenidos se deben interpretar como valores indicativos.

7.2.1 Factor de colapso

El cálculo de las afectaciones a la población parte del principio que estos efectos son causados principalmente por aquellas edificaciones que presentan algún grado de colapso estructural, dicho daño estructural se representa con el factor de colapso, que es expresado como una función del índice de daño, el cual representa el límite inferior con el cual las edificaciones presenta algún tipo de colapso estructural (ver **Figura 7.1** y Ec. 20), para el cual dicho límite se encuentra en el valor numérico de 0.5, lo que quiere decir que para valores mayores a este límite se presentan afectados, los cuales son proporcionales al nivel de ductilidad del sistema estructural.

$$\text{Ec. 26. } F_{cps} = 1 - 0.5 \left(\frac{ID\%}{CFc} \right)^{fm}$$

Donde F_{cps} : Factor de colapso, representa el punto en el cual el daño en la edificación se ve reflejado en afectaciones a sus ocupantes, su valor se encuentra entre 0 y 1, $ID\%$: Índice de daño en edificaciones, representa el nivel de deterioro que presenta la estructura después de someterse a la sollicitación sísmica y puede provenir del uso del Método italiano ó Miranda, se mide en escala porcentual variando entre 0 y 100, CFc : Coeficiente de factor de colapso, este corresponde a un valor de índice de daño el cual es configurable y representa el valor con el cual la relación $ID\%$ y CFc tiende a uno lo que arroja un F_{cps} igual a 0.5 y fm : Factor de forma, este valor hace que la curva representada sea más o menos pendiente. Para el estudio se recomienda emplear como CFc un 30% y un fm de 3.

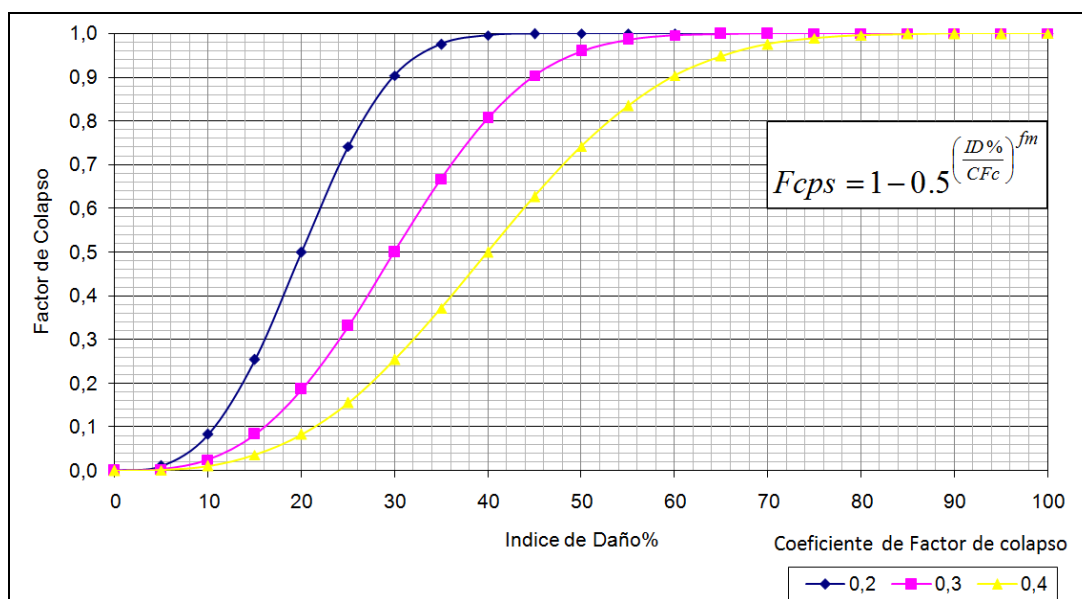


Figura 7.1. Factor de colapso contra índice de daño

7.2.2 Ocupación de las edificaciones de día y noche

La metodología planteada considera dos modos de distribución de la población, la primera es la distribución horaria la cual es dependiente del uso de la edificación, es decir en usos netamente residenciales la población en la noche será un porcentaje muy alto de la población censal, caso opuesto a lo que ocurrirá en horas del día. Para usos no residenciales como los comerciales, industriales, dotacionales, etc., la distribución será por el contrario muy alta en horas del día y muy baja en horas de la noche y esta diferirá de la determinada por el censo habitacional, para tener en cuenta este comportamiento se definieron factores de densidad y porcentajes de ocupación de día y noche para el cálculo del número de ocupantes como se muestra en la **Tabla 7.4**, Ec. 27 y Ec. 28.

$$\text{Ec. 27. } Nocup(\text{noche}) = \frac{\%ocupnoche}{100} * hab$$

$$\text{Ec. 28. } Nocup(\text{día}) = \frac{\%ocupdía}{100} * \frac{denpob * Fden * Acman}{1 * 10^6}$$

Donde *Nocup (noche)* es el número de ocupantes de noche, *%ocupnoche* es el porcentaje de ocupación de noche, *hab* corresponde al número de habitantes, *Nocup(día)* es el número de ocupantes de día, *%ocupdía* es el porcentaje de ocupación de día, *denpob* corresponde a la densidad de población, *Fden* es el factor de densidad que es función del uso y *Acman* es el área construida por manzana que corresponde a la unidad de análisis de este método.

Grupo de uso	Factor de densidad	% Ocupación día	% Ocupación noche
No edificados, espacio público o rural	0	0	0
Residencial	1	20	80
Comercial menor	2	80	20
Comercial mayor	4	80	20
Industria	2	80	20
Dotacional	3	0.8	20
Recreacional y Deportivo	0.5	20	80

Tabla 7.4. Factor de densidad de población y porcentajes de ocupación para distintos usos

7.2.3 Número de afectados de día y noche

Las afectaciones a la población pueden clasificarse en cuatro grupos, el primero que estima el número de heridos leves que son aquellos que requieren atención en el sitio, el segundo que estima el número de heridos que requieren atención hospitalaria pero su condición de salud no pone en riesgo su subsistencia, el tercero agrupa a los heridos graves que son aquellos que requieren atención inmediata de los servicios especializados de urgencias, el cuarto se encuentran las víctimas fatales. Para estimar estos afectados se debe calcular primero las personas atrapadas en los escombros de las edificaciones que serán proporcionales a los afectados de cada tipo.

Para estimar el número de atrapados se tiene en cuenta el número de ocupantes, el factor de colapso y el porcentaje de atrapados que es función del tipo de estructura como se ilustra en la Ec. 29 que se aplica para las condiciones de día y noche. El porcentaje de atrapados es función de la ductilidad de la estructura se define en la **Tabla 7.6**.

$$\text{Ec. 29. } \# \text{Atrapados} = Nocup * \frac{\%atrapados}{100} * Fcps$$

Ductilidad	% Atrapados
Estructura dúctil	30
Estructura frágil	5

Tabla 7.5. Porcentajes de atrapados según ductilidad

Por medio de las siguientes expresiones se estiman los tipos de afectados que tienen en cuenta el porcentaje de fatalidad que tiene la estructura donde se encuentren tal como se resumen en la **Tabla 7.6**.

$$\text{Ec. 30. } Heridos_leves = \#atrapados * 0.4 * \left(1 - \frac{\%Fatalidad}{100}\right)$$

$$\text{Ec. 31. } Heridos_atencion = \#atrapados * 0.33 * \left(1 - \frac{\%Fatalidad}{100}\right)$$

$$\text{Ec. 32. } Heridos_graves = \#atrapados * 0.27 * \left(1 - \frac{\%Fatalidad}{100}\right)$$

$$\text{Ec. 33. } Muertos = \#atrapados * \left(\frac{\%Fatalidad}{100}\right)$$

Ductilidad	% Fatalidad
Estructura dúctil	50
Estructura frágil	15

Tabla 7.6. Porcentajes de fatalidad según ductilidad

7.2.4 Pérdidas económicas directas

La evaluación de los costos económicos directos asociados a los daños por el sismo en una ciudad constituye un parámetro de difícil evaluación, debido al gran número de variables involucradas y su alto grado de incertidumbre. Para este proyecto se realizará la evaluación de costos teniendo como base el indicador de daño de mayor valor numérico entre el índice de daño y el factor de colapso, el cual se opera con el área construida y el valor por metro cuadrado construido. Este análisis no involucra los costos por afectaciones de los contenidos de las edificaciones dañadas ni el lucro cesante por la pérdida de su funcionalidad. De esta manera el costo económico por unidad de análisis se calcula con la Ec. 34.

$$\text{Ec. 34. } Perdidas = Indicador_daño * Aconstruida * valor_m^2\text{ construccion}$$

7.3 ÍNDICE DE BLOQUEO DE VÍAS

La metodología para la evaluación de la pérdida del nivel de servicio está basada en la metodología de indicadores de bloqueo de vías urbanas (Tung, 2004). Se proponen dos indicadores: densidad de bloqueo e índice de bloqueo lateral los cuales se evalúan a nivel de UPZ.

7.3.1 Densidad de bloqueo

El índice de bloqueo se estima en función de la densidad y del estado de daño de las edificaciones esperado en la unidad de análisis. La información requerida es la siguiente:

- Resultados de daño en edificaciones para el escenario de daño seleccionado (incluye identificador de la edificación y estado de daño).
- Unidades de análisis (UPZ).
- Proceso de evaluación

A continuación se presenta la descripción del proceso de evaluación propuesto:

- Seleccionar un escenario de amenaza sísmica.
- Seleccionar los resultados de daño en edificaciones para el escenario de daño seleccionado.

- Establecer una tasa de daño para la cual se considera que las edificaciones alcanzan el estado de colapso. Se adopta un valor por defecto del 65% (Mena, 2002).
- Identificar el número de edificaciones que han alcanzado el estado de colapso dentro de la unidad de análisis.
- Identificar el número de total edificaciones que existen dentro de la unidad de análisis.
- Establecer el área de la unidad de análisis.
- Evaluar el indicador densidad de bloqueo de acuerdo con:

$$\text{Ec. 35. } densBlq = \frac{NoEdClp}{NoEd} * Aup$$

Donde $densBlq$: Densidad de bloqueo por escombros de la unidad de análisis (UPZ), $NoEdClp$: Número de edificaciones colapsadas en la unidad de análisis (UPZ), $NoEd$: Número total de edificaciones en la unidad de análisis (UPZ), $Aupz$: Área total de la unidad de análisis (UPZ) en metros cuadrados.

7.3.2 Índice de bloqueo lateral

El índice de bloqueo lateral se evalúa en función del estado de daño de las edificaciones, material de construcción, del espacio libre entre edificaciones y del ancho de las vías. Se calcula a nivel de tramos de vía en cada unidad de análisis. La información requerida es.

- Resultados de daño en edificaciones para el escenario de daño seleccionado (incluye identificador de la edificación, altura, material de construcción y estado de daño).
- Localización geográfica de las vías vehiculares (identificador de la vía, ancho de la vía, clasificación).
- Unidades de análisis (UPZ).

A continuación se presenta la descripción del proceso de evaluación propuesto:

- Seleccionar un escenario de amenaza sísmica.
- Seleccionar los resultados de daño en edificaciones para el escenario de daño seleccionado.
- Establecer una tasa de daño para la cual se considera que las edificaciones alcanzan el estado de colapso.
- Establecer la altura típica de las edificaciones que han alcanzado el estado de colapso dentro de la unidad de análisis.
- Establecer el material típico de las edificaciones que han alcanzado el estado de colapso dentro de la unidad de análisis.
- Evaluar el indicador índice de bloqueo de la UPZ de acuerdo con:

$$\text{Ec. 36. } IBLqUpz = hEdClp * \tan \alpha * m$$

Donde $IBLqUpz$: Es el índice de bloqueo por escombros de la unidad de análisis (UPZ), $hEdClp$: Es la altura típica de las edificaciones colapsadas en la unidad de análisis (UPZ) en metros, α : Es el ángulo (en grados) que forma el depósito de

escombros respecto a la fachada de la edificación (ver **Figura 7.2**). m : Es un factor de corrección por el tipo de material de construcción de la edificación. Por defecto $m=1.3$ para edificaciones en concreto y $m = 1.1$ para edificaciones en mampostería (Tung, 2004).

- Determinar el ancho de una vía i ubicada en la unidad de análisis (UPZ).
- Calcular la distancia libre entre edificaciones mediante:

$$\text{Ec. 37. } dEd = anchoVia * gV$$

Donde dEd : Distancia libre entre edificaciones en metros, $anchoVia$: Ancho de la vía en metros, gV : Es un factor de corrección según el tipo de vía.

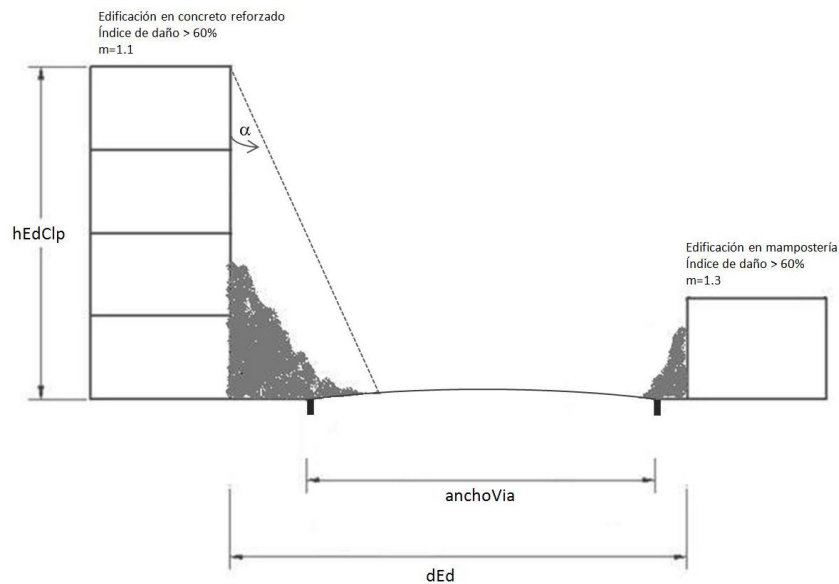


Figura 7.2. Evaluación del índice de bloqueo lateral en vías.

Calcular el índice de bloqueo lateral de la vía como la relación entre el índice de bloqueo lateral de la UPZ calculado en el literal anterior y la distancia libre entre edificaciones calculado según:

$$\text{Ec. 38. } IblqVia = \frac{dEd}{IBlqUpz}$$

Donde $IblqVia$: Es el índice de bloqueo de la vía, dEd : Distancia libre entre edificaciones en metros, $IBlqUpz$: Es el índice de bloqueo por escombros de la unidad de análisis (UPZ).

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La escogencia y aplicabilidad de las metodologías expuestas en el presente informe están ligadas fundamentalmente a la disponibilidad de la información requerida o bien al nivel de representatividad con que la metodología puede ser aplicada al entorno colombiano.

Se logró definir en primera instancia un enfoque conceptual adecuado para el sistema de cálculo con el cual se estructuró la forma con la cual se escogieron las metodologías para evaluar la amenaza, vulnerabilidad, daño inicial, efecto colateral y daño secundario.

Para evaluar la amenaza sísmica y la respuesta sísmica de los terrenos de la ciudad se tuvieron en cuenta los resultados del Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia del año 2009 y del Estudio de Zonificación de Respuesta Sísmica de Bogotá del año 2010. Con base en estos se lograron definir los sismos probables y aplicando un modelo sencillo de respuesta sísmica basado en relaciones espectrales se pueden determinar parámetros de intensidad sísmica máximos y espectrales para cada zona de la ciudad.

De las metodologías desarrolladas para evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones se adaptó para Bogotá el método Italiano del índice de vulnerabilidad, dado que permite analizar zonas urbanas de gran extensión, como el caso de la ciudad de Bogotá, hace un adecuado y rápido manejo de la información y brinda en los procesos de cálculo resultados con un nivel de confiabilidad que se ajusta a los requerimientos propios del estudio. Sin embargo, el principal inconveniente del método es la información necesaria para su aplicación, especialmente porque es de gran dificultad obtener la información primaria del 100% de las edificaciones analizadas debido al tamaño de la ciudad, lo que condiciona directamente la calidad de los resultados obtenidos.

Para el cálculo del índice de daño en edificaciones se trabajaron dos metodologías, la primera es el método italiano el cual caracteriza el daño sufrido a partir de la intensidad sísmica y características estructurales tales como la organización del sistema resistente, tipología estructural, estado de conservación, entre otros. Esta metodología tuvo que ser adaptada desde el punto de vista de la información requerida y hubo la necesidad de transformar las curvas de fragilidad de escala macrosísmica a escala de intensidad de ingeniería. La segunda metodología usada fue la de Miranda, la cual caracteriza el daño en función de la deriva de entrepiso y el tipo de sistema de resistencia sísmica, aunque existen tres excepciones para sistemas estructurales en adobe, bahareque y mampostería simple donde el daño es función de la aceleración máxima.

El método Japonés se escogió para la evaluación de la vulnerabilidad y daños iniciales en tuberías y cableado, es ampliamente usado en investigaciones a nivel mundial y tiene a su favor que la información requerida constituye la más relevante y básica de las redes lo que posibilita su aplicación, adicionalmente se observa que se ha trabajado en la documentación y la calibración de las curvas de fragilidad a partir de los efectos observados en las redes a partir de sismos reales.

El cálculo de los posibles daños de las tuberías y cables tiene en cuenta curvas de vulnerabilidad que son función de un parámetro sísmico, por lo general de la aceleración o velocidad pico del terreno. Son numerosas las investigaciones en las cuales se definen estas curvas de vulnerabilidad a partir de los inventarios de daños sufridos por terremotos, sin embargo aún para el medio colombiano no se ha desarrollado una curva representativa, una aproximación válida la realizó JICA (2002) teniendo como referencia lo ocurrido en el sismo de Armenia de 1999, por lo cual se debe acudir a las referencias internacionales. Una vez considerados los diferentes soportes de las investigaciones que sustentan las curvas de

vulnerabilidad, su aplicación en estudios previos y el nivel de representatividad al medio colombiano se recomienda para los análisis emplear la propuesta de JICA (2002) cuando se trabaje con PGA y la propuesta de Edinger (2001) para evaluar con PGV.

La metodología para evaluar el daño de las vías es similar a la de los cables, trabaja con una curva de vulnerabilidad que en este caso es función de la intensidad sísmica.

La evaluación de los daños en los elementos puntuales de las líneas vitales tales como tanques y puentes se efectúa a partir de modelos semidetallados, los cuales categorizan las afectaciones de los elementos en cinco diferentes estados de daño, que se obtienen en el caso de los primeros en función de los niveles de anclaje y llenado y en los segundos se caracterizan teniendo en cuenta la continuidad de la superestructura, la longitud de las luces, si en el diseño tienen integradas metodologías de diseño sísmico, el tipo de restricción en los apoyos y el estado de reforzamiento entre otros.

La metodología del Índice de Potencial de Licuación permite cuantificar para un perfil de suelo su potencial de licuación. A partir de este método se desarrolló una metodología de zonificación de potencial de licuación tomando como base el planteamiento de calcular un índice que represente la resistencia cíclica del depósito de suelo, el cual es intrínseco del sitio de acuerdo con las características del perfil analizado. Una vez calculado este índice de resistencia cíclica del terreno para las perforaciones localizadas en las áreas aluviales, de llanura o rellenos que son susceptibles a este fenómeno, se procede a realizar análisis geo-estadísticos para determinar espacialmente zonas de similar resistencia y así zonificar.

La metodología del bloque deslizante permite establecer para un talud su potencial falla y desplazamiento con base en parámetros de resistencia de los materiales y geometría del talud. Para obtener las zonas de potencial deslizamiento se requiere información geológica, geotécnica de parámetros de resistencia al corte del suelo y rocas, y el mapa de pendientes de la zona a analizar. Con lo cual se obtiene el mapa de susceptibilidad a deslizamiento en términos de aceleración crítica, este resultado se calibra con base en un inventario de deslizamientos y estudios de amenaza por remoción en masa.

La corrección de los daños iniciales por efectos colaterales se efectuó a partir de una metodología desarrollada por el proyecto, la cual busca integrar los efectos ocasionados por los fenómenos de licuación y deslizamiento en un valor que modifique los daños iniciales en forma proporcional a la magnitud del fenómeno o de los fenómenos presentados en caso que exista simultaneidad en los eventos y a partir de esta información estime la mayoración de los daños de acuerdo a la localización geográfica del elemento expuesto y del comportamiento esperado de terreno.

El método usado para el cálculo de afectaciones y pérdidas es una adaptación de las metodologías usadas en estudios anteriores, para lo cual se trabajó en mejorar la distribución de la población de acuerdo con la hora de ocurrencia del evento sísmico y el uso de la edificación. Así mismo se tuvo en cuenta el índice de daño y el factor de colapso de edificaciones en el cálculo de las afectaciones a la población y pérdidas económicas.

Dada la heterogeneidad de la calidad de la información recopilada se recomienda que desde el grupo de información y sistemas de la entidad se trabaje en la centralización de toda la información geográfica para fines de trabajos desarrollados por la entidad, en los cuales se requiere del acceso a las bases de datos geográficas y una estructura geomática definida, esto es diferente al sistema actual para consulta que se realiza por Internet.

Debido a las condiciones halladas en el presente estudio, es recomendable proponer proyectos de investigación que permitan desarrollar funciones de vulnerabilidad propias para las edificaciones y líneas vitales de la ciudad, junto con metodologías para la evaluación rápida de edificaciones y líneas vitales basadas en las características propias de nuestras construcciones, lo que puede ir encaminado a desarrollar un método colombiano de análisis de vulnerabilidad y daño de edificaciones que permita su aplicación en todo el territorio nacional, no solo en grandes ciudades sino a nivel de cualquier zona de concentración de personas sin importar su tamaño, como un aporte a la disminución del riesgo sísmico en todo el territorio nacional.

9 REFERENCIAS

AIS300 Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, (2010). Normas Colombianas de diseño y construcción sismo resistentes, ley 400 de 1997, Decreto 926 de 2010.

ALA (2001). Seismic Fragility Formulations for Water Systems. Part 1 – Guideline. American Lifelines Alliance (ALA). ASCE-FEMA, 104 p.

Alexoudi, M. (2004). Seismic vulnerability assessment of utility systems. PhD Thesis, Civil Engineering Department, Aristotle University of Thessaloniki, Greece.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, (1998). Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR 98, Ley 400 de 1997, Decreto 33 de 1998.

Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica AIS, (2007). Estudio de Amplificación Sísmica en los Sitios Establecidos por la DPAE a través de Análisis Unidimensional, Transportando en un Análisis no Lineal por etapas la Señal desde la Roca a la Superficie. Convenio interadministrativo FOPAE-AIS No 487 de 2006.

ATC 40 (1996). Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Applied technology council redwood city, California USA.

ATC-13 (1985). Earthquake damage evaluation data for California. Applied Technology Council (ATC). Redwood City, California.

ATC-25 (1991). Seismic Vulnerability and Impact of Disruption of Lifelines in the Conterminous United States. Applied Technology Council (ATC). Redwood City, California.

Ballantyne, D. B. (2003). Water and Wastewater Systems. In: Chen, W. and Scawthorn, C. (Editors), Earthquake Engineering Handbook, CRC Press, Chapter 24.

Banai, R. (1993): "Fuzziness in Geographical Information Systems: contributions from the analytic hierarchy process", International Journal of Geographical Information Systems, 7, 4, pp.315-329.

Barbat, A. H. (2003). Vulnerability and holistic risk indices from engineering perspective and holistic approach to consider hard and soft variables at urban level. IADB/IDEA Program of Indicators for Disaster Risk Management, Universidad Nacional de Colombia, Manizales. <http://idea.unalmzl.edu.co> (consultado Julio 2008)

Barredo, J. (1996). Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio. Editorial RA-MA, España. 261 pp.

Basoz, N. and Kiremidjian, A. S. (1998). Evaluation of Bridge Damage Data from the Loma Prieta and Northridge, California Earthquake. Technical Report MCEER-98-0004, State University of New York, Buffalo.

Benedetti, D. & Petrini, V. (1984). Sulla Vulnerabilità Sísmica di Edifici in Muratura: Prioste di un Método di Valutazione. Roma: Lindustria delle Costruzioni.

Bommer J. J., (2005). Seismic Hazard analysis for engineering design and earthquake loss estimation. Congreso Chileno de Sismología e ingeniería Antisísmica.

- Bommer J. J., Scott S. G. & Sarma S. K., (2000). Hazard consistent earthquake scenarios. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* No19, 219-231.
- Bonham-Carter, G.F., (1996) *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Pergamon, Elsevier Science Ltd. 338 p.
- Botero, Verónica. 2009. *Geo-information for measuring vulnerability to earthquakes*. Enschede : ITC - University of Utrecht, 2009.
- Buckle, I. and Cooper, J. (1995). *Mitigation of Seismic Damage to Lifelines: Highways and Railroads*. In: Schiff, A. and Buckle, I. (Editors), *Critical Issues and State-of-the-Art in Lifeline Earthquake Engineering*. Monograph No. 7, TCLEE/ASCE, October 1995, 70-87.
- Burrough, P.A (1992).: Possibilities and constraints of GIS applications in developing countries; Possibilities and constraints of GIS applications in developing countries; Teefelen, v.P; Gustavson, V.L.; Verkoren, O (ed), Utrecht, pp.17-25.
- Cardona, O. D. (2001). *Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos*. Universidad Politécnica de Cataluña, PhD thesis, Barcelona, España.
- Carreño, M. L. (2005). *Seismic risk evaluation for an urban centre*. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, Spain.
- Carver, S. J., (1991). Integrating multi-criteria evaluation with Geographic information systems, *Int. Jour. Remote Sensing*, 5, 3, 321-339.
- Cinicioglu, S. F., Bozbey, I., Oztoprak, S., Kelsoglu, M.K., (2007). An integrated earthquake damage assessment methodology and its application for two districts in Istanbul, Turkey. *Engineering Geology* 94 pp 145-165.
- Coburn, A. y Spence, R. (1992). *Earthquake Protection*. John Wiley & Sons, Chichester, England. 355 pp.
- Eastman, J. R. (1995): *Idrisi for windows, version 2 – User's guide*. Worcester, Clark University.
- Eidinger, J. (1998). *Lifelines, Water Distribution System in the Loma Prieta, California, Earthquake of October 17, 1989, Performance of the Built Environment-Lifelines*. US Geological Survey Professional Paper 1552-A, edited by A. Schiff, A63-A80.
- Eidinger, J. and E. Avila (1999). *Guidelines for the Seismic Upgrade of Water Transmission Facilities*. Monograph No. 15, TCLEE/ASCE.
- FEMA. (2003). *HAZUS MH - Multi-hazard loss estimation methodology*. Eashington D.C.
- FOPAE. (2009). *Actualización y sistematización de escenario de daños por terremoto para Bogotá Fase 1*. Bogotá Colombia.
- FOPAE. (2010). *Zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño de sismoresistente de edificaciones*. Bogotá Colombia.
- Freeman, S.A., Irfanoglu, A., Paret T.F. *Earthquake Engineering Intensity Scale: A template with many uses* (2004). 13th World Conference on Earthquake Engineering.
- Geo-hazards International. (1999). *RADIUS - Guidelines for the implementation of earthquake risk management projects*.

Grady Booch, James Rumbaugh, Ivar Jacobson, (2007). El Lenguaje Unificado de Modelado. Manual de Referencia. PEARSON EDUCATION. España. 638 Paginas.

Honegger, D. G. and Eguchi, R. T. (1992). Determination of the Relative Vulnerabilities to Seismic Damage for Dan Diego Country Water Authority (SDCWA). Water Transmission Pipelines.

Ingeominas & Universidad de los Andes (1997). Microzonificación sísmica de Bogotá. Colombia.

Isoyama, R., Ishida, E., Yune, K. and Shirozu, T. (1998). Seismic damage estimation procedure for water supply pipelines. Proceedings, Water and Earthquake '98 Tokyo, IWSA International Workshop, Anti-Seismic Measures on Water Supply, International Water Services Association and Japan Water Works Association, Tokyo, Japan.

Iwasaki, T., Tatsuoka, T., Tokida, K.I., Yasuda, S.A. (1978). A practical method for assessing soil liquefaction potential base on case studies at various sites in Japan. Proceeding of the second international conference on microzonation, San Fransisco, pp 885-896.

Japan Waterworks Association (1998). Damage estimation of water supply pipeline due to earthquake.

Jibson, R. W., Harp., E. L., Michael., J.A. (2000). A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps. Engineering Geology 58 pp 271-289.

Jibson, R.W., (1993) Predicting earthquake-induced landslide displacements using Newmark's sliding block analysis. Transport. Res. Rec. 1411, 9-17.

Jibson, R.W., Harp, E.L., Michael, J.A. (1998). A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps: An example from the Los Angeles California area. US Geol.Surv. Open-File Rep. 98-113 17pp.

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.

Katayama, T., K. Kubo, and N. Sato, (1975). "Earthquake Damage to Water and Gas Distribution Systems," Proceedings of the First U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, CA.

Krinitzky E. L., (2002). How to obtain earthquake ground motions for engineering design. Engineering Geology, No 65, 1-16.

Kubo & Katayama (1975) Damage estimation of underground water supplí pipeline.

Lantada, M. (2007). Evaluación del Riesgo Sísmico Mediante Métodos Avanzados y Técnicas GIS. Aplicación a la ciudad de Barcelona. Tesis doctoral en Ingeniería. Barcelona España.

Malczewski, J., (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis, John Wiley and Sons, 392 pp., New York, NY,.

Maldonado G, Chio G, y Gómez I. (2007). Índice de Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones de Mampostería Basado en la Opinión de Expertos. Universidad Industrial de Santander Artículo de investigación. Bucaramanga Colombia.

Mander, J. and Basoz, N. (1999). Seismic fragility curve theory for highway bridges. In: M. Elliot and P. McDonough (Editors), Proceedings, 5th US Conference on Lifeline Earthquake Engineering, TCLEE/ASCE, Monograph No.16, 31-40.

- Martínez A., Alvarado C, Rubiano D. (2002). Selección de señales de diseño consistentes con el escenario regional de amenaza sísmica: casos aplicados a Colombia. IX Congreso y IV Seminario Colombianos de Geotecnia. Medellín-Colombia.
- Mena, U. (2002). Evaluación de Riesgo Sísmico en Zonas Urbanas. Tesis doctoral en Ingeniería sísmica y Dinámica estructural. Universidad politécnica de Cataluña Barcelona España.
- Mendoza, G.A., Prabhu, R., (2000). Development of methodology for selecting criteria and indicators for sustainable forest management: A case study on participatory assessment. *Environmental Management* 26 (6), 659–673.
- Miranda, E (1999), Approximate seismic lateral deformation demands on multistory buildings. *Journal Structural Engineering*. Eng, vol 125 No 4, 417 – 425.
- Monge, O., Alexoudi, M. and Argyroudís, S. (2003). An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns. Vulnerability assessment of lifelines and Essentials facilities (WP06): basic methodological handbook. Report n°GTR-RSK 0101-152av7, 71 p
- Mouroux, P., Bertrand, E., Bour, M., Le Brun, B., Depinois, S. and Masure, P. (2004). The European RISKUE project: an advanced approach to earthquake risk scenarios. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, BC, Canada, paper 3329 (CD-Rom).
- Newmark, N.M., (1965). Effects of earthquakes on dam and embankments. Fifth Ranking lecture. *Geotechniques* 15(2), 139-193.
- NIBS, National Institute of Building Science. (1997, 1999 and 2002). Earthquake loss estimation methodology. HAZUS. Technical manuals. Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington, Vol. 1, 2, 3. (<http://www.fema.gov/plan/prevent/hazus/index.shtm>)
- NIBS, National Institute of Building Science. (1999). Direct physical damage to lifelines-transportation systems-utility systems. In: Earthquake loss estimation methodology. HAZUS. Technical manuals.
- O'Rourke, M. J and Ayala G. (1993). Pipeline damage due to wave propagation. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 119, No.9.
- O'Rourke, M. J. (2003). Buried Pipelines. In *Earthquake Engineering Handbook*, W.Chen and C. Scawthorn (Editors), CRC Press, Chapter 23.
- O'Rourke, T. D., Erdogan, F. H., Savage, W. U., Lund, L. V. and Manager, A. T. (2000). Water, gas, electric power, and telecommunications performance. *Earthquake Spectra*, Suppl. A to Vol.16, 1999 Kocaeli, Turkey, Earthq. Reconnaissance Rep., 377-402.
- Oliveira C.S., Roca A., and Goula X. (2006). *Assessing and Managing Earthquake Risk*. Springer. Netherlands.
- Pereira, J. M. C., Duckstein, L. (1993): "A multiple criteria decision-making approach to GIS-based land suitability evaluation", *International Journal of Geographical Information Systems*, 7, 5, pp. 407-424.
- Porter, K. (2003). Seismic Vulnerability. In *Earthquake Engineering Handbook*. W. Chen and C. Scawthorn (Editors), CRC Press, Chapter 21.
- 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).

Risk Management Solutions Inc., (1997) Earthquake loss Estimation Methodology – HAZUS 97 Technical Manual, Federal Emergency Management Agency, Washington , D.C. , USA.

Safina, S. (2002). Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones Esenciales Análisis de su Contribución al Riesgo Sísmico. Tesis doctoral en Ingeniería sísmica y Dinámica estructural. Universidad politécnica de Cataluña. Barcelona España.

Sociedad Colombiana de Geotecnia, (2007). Modelo Geotécnico de La Sabana de Bogotá y Caracterización Dinámica Bidimensional de los Suelos de Bogotá. Convenio interadministrativo FOPAE-SCG No 460 de 2006.

Schiff, A. J. (2003). Electrical Power Systems. In: W.Chen and C. Scawthorn (Editors), Earthquake Engineering Handbook, CRC Press, Chapter 25.

Seed, H.B., & Idriss I.M., (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. Journal of the soil mechanics and foundation division, ASCE, Vol 97, No. SM9.

Shinozuka, M., Feng, M. Q. Kim, H.-K, Uzawa, T. and Ueda, T. (2003). Statistical Analysis of Fragility Curves. Technical Report MCEER-03-0002, State University of New York, Buffalo.

Sousa C, Roca A y Golua X., (2005). Assessing and Management Earthquake Risk. Netherlands.

Toprak, S. (1998). Earthquake Effects on Buried Lifeline Systems, PhD Thesis, Cornell University. Tralli, D. M. (2000). Assessment of advanced technologies for loss estimation. MCEER, Buffalo Univeristy, Ney Jersey.

Tung, Pho Thanh. 2004. Road vulnerability assessment for earthquakes. Enschede : International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation, 2004.

UNIANDES Universidad de los Andes, (2005). Escenarios de Riesgo y Pérdidas por Terremoto para Bogotá, Centro de Estudios e investigaciones sobre Riesgo. Bogotá.

UNIANDES Universidad de los Andes, (2006). Innovación e Investigación Tendientes a la Actualización de la Información Sísmica de la Ciudad De Bogotá. Convenio interadministrativo FOPAE-UNIANDES No 667 de 2005.

Van Westen, J.C. (1993). Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS based hazard zonation. Geol Rundsh, 86: 404-414

Vielma Pérez, J., (2008). Caracterización del Comportamiento Sísmico de Edificios de Hormigón Armado Mediante Respuesta No Lineal. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona España.

Voogd, H., (1983). Multi-criteria evaluations for urban and regional planning, London Princeton University

W.L. Wang, T.T. Wang, J.J. Su, C.H. Lin, C.R. Seng and T.H Huang. Assesment of damages mountains tunnels due to the Taiwan Chi-Chi Earthquake. Department of Civil Engineering, National Taiwan University, Taipei, Taiwan.

Weerakon, K. G. P. K. (2002): "Integration of GIS based suitability analysis and multicriteria evaluation for urban land use planning; contribution from the Analytic Hierarchy Process", en: 3rd Asian Conference on Remote Sensing. Nepal, Asian Association on Remote Sensing

Wieczorek, G.F., Wilson, R.C., Harp, E.L. (1985). Map showing slope stability during earthquakes in San Mateu County California. US Geol. Surv. Misc. Invest. Map I-1257-E.

Wilson, R.C., Keefer, D.K., (1983). Dynamic analysis of a slope failure from the 6 august 1979 Coyote Lake, California, earthquake. Seismol. Soc. Am. Bull. 73, 863-877.

Wilson, R.C., Keefer, D.K., (1985) Predicting areal limits of earthquake induced landsliding. In: Ziony, J.I. (Ed), evaluating earthquake hazards in Los Angeles region - An earthScience perspective. US Geol. Surv. Prof. Paper 1360, 316-345

Yamazaki, F., Hamada, T., Motoyama, H. Yamauchi, H. (1999). Earthquake damage assessment of expressway bridges in Japan. In: W. Elliott and P. McDonough (Editors), Proceedings, 6th US Conference on Lifeline Earthquake Engineering, TCLEE/ASCE, Monograph No.16, 361-370.

Yegian, M.K., Marciano, E., Ghahraman, V.G., (1991). Earthquake induced permanent deformations: probabilistic approach. ASCE Journal of Geotechnical Engineering.

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

TOMO 2. SISTEMA DE EVALUACIÓN DE DAÑOS PARA ANÁLISIS DE RIESGOS

INFORME FINAL FASE II

ORIGINAL

**ÁREA TÉCNICA Y DE GESTIÓN
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
GRUPO DE ESCENARIO DE DAÑOS
DICIEMBRE DE 2010**

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
ANDREI TORRES
GERARDO RODRÍGUEZ

Desarrollo de software
DIEGO TORRES

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 y 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 primero 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 II del estudio ilustra en el capítulo uno de introducción los antecedentes del sistema, los objetivos, alcances y el marco lógico de actividades para desarrollar el sistema; en el capítulo dos se presenta la forma como se desarrolló el sistema, comprende la metodología aplicada, la plataforma tecnológica, los requisitos funcionales, los casos de uso, el modelo de datos y despliegue de la aplicación; en el capítulo tres se encuentra el manual del usuario del aplicativo donde se explica cada una de las funciones del sistema y en el capítulo cuatro se resumen las conclusiones y recomendaciones referidas al sistema desarrollado.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	ANTECEDENTES.....	1
1.2	OBJETIVOS.....	2
1.3	ALCANCE	2
1.4	MARCO LÓGICO.....	3
2	DESARROLLO DEL APLICATIVO.....	4
2.1	METODOLOGÍA DE DESARROLLO RUP	5
2.1.1	Concepción.....	5
2.1.2	Elaboración.....	5
2.1.3	Construcción.....	6
2.1.4	Transición.....	7
2.2	PLATAFORMA TECNOLÓGICA Y ARQUITECTURA.....	7
2.2.1	Requerimientos tecnológicos	7
2.2.2	Arquitectura del sistema	8
2.3	REQUISITOS FUNCIONALES	10
2.4	CASOS DE USO.....	11
2.5	MODELO DE DATOS	12
2.5.1	Metodología.....	12
2.5.2	Modelo conceptual	13
2.5.3	Modelo lógico	15
2.5.4	Modelo físico	17
2.5.5	Actualización y mantenimiento del modelo de datos	21
2.6	DESPLIEGUE DE LA APLICACIÓN	24

3	MANUAL DEL USUARIO DEL APLICATIVO	25
3.1	REQUERIMIENTOS MÍNIMOS	25
3.1.1	Prerrequisitos	25
3.1.2	- Configuración del JRE.....	25
3.1.3	Acceso a Licencia de ArcGis.....	26
3.2	INSTALACIÓN	26
3.3	EJECUCIÓN DE SEDAR	27
3.4	PANTALLA PRINCIPAL.....	29
3.5	MENÚ ARCHIVO	29
3.5.1	Seleccionar escenario de amenaza	30
3.5.2	Registrar Elementos Expuestos	30
3.5.3	Salir	32
3.6	MENÚ VULNERABILIDAD.....	32
3.6.1	Edificaciones	33
3.6.2	Edificaciones Indispensables	34
3.6.3	Tuberías	34
3.7	MENÚ DAÑOS INICIALES	36
3.7.1	Edificaciones, método Italiano.....	36
3.7.2	Edificaciones, método Miranda	38
3.7.3	Edificaciones indispensables, método Italiano.....	39
3.7.4	Edificaciones indispensables, método Miranda	39
3.7.5	Tuberías	39
3.7.6	Tanques.....	39
3.7.7	Cables	40
3.7.8	Puentes	41
3.7.9	Licucción	41

3.7.10	Deslizamiento.....	42
3.8	MENÚ DAÑOS SECUNDARIOS	42
3.8.1	Edificaciones y edificaciones Indispensables.....	43
3.8.2	Tuberías.....	43
3.8.3	Tanques.....	44
3.8.4	Cableado.....	44
3.8.5	Puentes.....	45
3.8.6	Torres.....	45
3.8.7	Postes.....	45
3.8.8	Afectaciones y pérdidas.....	46
3.9	MENÚ RESULTADOS.....	47
3.9.1	Consolidación de resultados de Elementos	48
3.9.2	Consolidación de Resultados de vulnerabilidad.....	52
3.9.3	Consolidación de resultados de daño	55
3.9.4	Administración de resultados de Elementos	59
3.9.5	Administración de Resultados de vulnerabilidad.....	61
3.9.6	Administración de resultados de daño	62
3.10	MENÚ AYUDA.....	63
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
5	REFERENCIAS.....	66
ANEXO 1. REQUISITOS FUNCIONALES		
ANEXO 2. ANÁLISIS DE REQUISITOS FUNCIONALES		
ANEXO 3. CASOS DE USO		
ANEXO 4. ANÁLISIS DE CASOS DE USO		
ANEXO 5. MODELO DE DATOS		
ANEXO 6. DICCIONARIO DE DATOS		

ANEXO 7. ESTRUCTURACIÓN DE INFORMACIÓN

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Metodología de evaluación de vulnerabilidad y daños por sismo incluyendo efectos colaterales	4
Figura 2.2. Esfuerzo en actividades según la fase del proyecto (Fuente: IBM).....	5
Figura 2.3. Diagrama de procesos para el cálculo de escenario de daños	8
Figura 2.4. Arquitectura general y relación con SIG del FOPAE	9
Figura 2.5. Arquitectura de la aplicación.....	10
Figura 2.6. Metodología adoptada para el diseño del modelo de datos en relación al proceso de desarrollo de la aplicación.	13
Figura 2.7. Modelo conceptual.....	14
Figura 2.8. Modelo físico de la base de datos del sistema (sistema.gdb) implementada en el software ArcGIS 9.3.....	18
Figura 2.9. Modelo físico de la base de datos de elementos expuestos (data.gdb) implementada en el software ArcGIS 9.3	19
Figura 2.10. Modelo físico de la base de datos de resultados de vulnerabilidad (vulnerabilidad.gdb) implementada en el software ArcGIS 9.3.....	20
Figura 2.11. Modelo físico de la base de datos de resultados de daño (daño.gdb) implementada en el software ArcGIS 9.3	21
Figura 2.12. Esquema de trabajo para la creación, actualización y mantenimiento del modelo de datos	23
Figura 3.1. Comprobación de versión maquina virtual de java	26
Figura 3.2. Pantalla de carga del sistema SEDAR.	27
Figura 3.3. Seleccionar aplicación	28
Figura 3.4. Error al cargar SEDAR.....	28
Figura 3.5. Error al cargar las bases de datos	28
Figura 3.6. Pantalla principal	29
Figura 3.7. Menú archivo	29
Figura 3.8. Selección del escenario de amenaza	30
Figura 3.9. Registro de elementos expuestos	30

Figura 3.10. Registro de elementos.....	31
Figura 3.11. Error de compatibilidad con el modelo de datos.....	32
Figura 3.12. Cerrar la aplicación.....	32
Figura 3.13. Menú vulnerabilidad.....	32
Figura 3.14. Configuración del índice de vulnerabilidad en edificaciones.....	33
Figura 3.15. Configuración de parámetros método italiano edificaciones en mampostería.....	33
Figura 3.16. Configuración de parámetros método italiano edificaciones en concreto reforzado.....	34
Figura 3.17. Configuración del método japonés.....	34
Figura 3.18. Configuración de factores de corrección por material de la conducción.....	35
Figura 3.19. Configuración de factores de corrección por condiciones del terreno.....	35
Figura 3.20. Factores de corrección por diámetro de la conducción.....	36
Figura 3.21. Menú de daños iniciales.....	36
Figura 3.22. Configuración del método italiano para daño en edificaciones.....	37
Figura 3.23. Selección de curvas de vulnerabilidad.....	37
Figura 3.24. Configuración del Método Miranda.....	38
Figura 3.25. Configuración parámetros método Miranda.....	38
Figura 3.26. Configuración de corrida de daño en tuberías.....	39
Figura 3.27. Configuración de la corrida de daño en tanques.....	40
Figura 3.28. Configuración de la corrida de daño en cables.....	40
Figura 3.29. Configuración de la corrida de daño en puentes.....	41
Figura 3.30. Configuración de la rutina para el cálculo de afectaciones por licuación.....	41
Figura 3.31. Configuración de la rutina para el cálculo de afectaciones por licuación.....	42
Figura 3.32. Menú de lanzamiento de la sección de daños secundarios.....	42
Figura 3.33. Configuración de la rutina para el cálculo de daños secundarios en edificaciones.....	43
Figura 3.34. Configuración de la rutina para el cálculo de daños secundarios en tuberías.....	43
Figura 3.35. Configuración de la rutina para el cálculo de daños secundarios en tanques.....	44

Figura 3.36. Configuración de la rutina para el cálculo de daños secundarios en cableado.....	44
Figura 3.37. Configuración de la rutina para el cálculo de daños secundarios en puentes.....	45
Figura 3.38. Configuración de la rutina para el cálculo de daños secundarios en torres	45
Figura 3.39. Configuración de la rutina para el cálculo de daños secundarios en postes.....	46
Figura 3.40. Configuración de la rutina para el cálculo de las afectaciones y pérdidas a la población	46
Figura 3.41. Configuración de parámetros de la rutina de afectaciones y pérdidas.....	47
Figura 3.42. Menú de lanzamiento de la sección de consolidación	47
Figura 3.43. Menú de lanzamiento de la sección de administración	47
Figura 3.44. Menú de consolidación de elementos	48
Figura 3.45. Campos consolidados para edificaciones a Localidad y UPZ.....	48
Figura 3.46. Campos consolidados para edificaciones indispensables a Localidad y UPZ	49
Figura 3.47. Campos consolidados para la red de acueducto.....	49
Figura 3.48. Campos consolidados para la red de alcantarillado	50
Figura 3.49. Campos consolidados para tanques	50
Figura 3.50. Campos consolidados para red eléctrica.....	50
Figura 3.51. Campos consolidados para postes de energía eléctrica	51
Figura 3.52. Campos consolidados para torres de energía.....	51
Figura 3.53. Campos consolidados para torres de energía.....	51
Figura 3.54. Campos consolidados para torres de telecomunicaciones	51
Figura 3.55. Campos consolidados para puentes vehiculares y peatonales.....	52
Figura 3.56. Campos consolidados para red de gas natural	52
Figura 3.57. Menú de consolidación de resultados de vulnerabilidad	52
Figura 3.58. Ventana de información de ejecución (Metadatos)	53
Figura 3.59. Campos consolidados para los resultados de vulnerabilidad en edificaciones a localidad y UPZ.....	53
Figura 3.60. Campos consolidados para los resultados de vulnerabilidad en edificaciones indispensables a localidad y UPZ	53
Figura 3.61. Campos consolidados para los resultados de vulnerabilidad en red de acueducto a localidad y UPZ.....	54

Figura 3.62. Campos consolidados para los resultados de vulnerabilidad en red de alcantarillado a localidad y UPZ	54
Figura 3.63. Campos consolidados para los resultados de vulnerabilidad en red de gas a localidad y UPZ.....	55
Figura 3.64. Menú de consolidación de resultados de daño	55
Figura 3.65. Campos consolidados para los resultados de daño en edificaciones a localidad y UPZ.....	56
Figura 3.66. Campos consolidados para los resultados de daño en red de acueducto a localidad y UPZ.....	56
Figura 3.67. Campos consolidados para los resultados de daño en red de alcantarillado a localidad y UPZ	56
Figura 3.68. Campos consolidados para los resultados de daño en tanques a localidad y UPZ.....	57
Figura 3.69. Campos consolidados para los resultados de daño en red de gas a localidad y UPZ.....	57
Figura 3.70. Campos consolidados para los resultados de daño en postes de la red de telecomunicaciones y energía localidad y UPZ.....	57
Figura 3.71. Campos consolidados para los resultados de daño en puentes localidad y UPZ.....	58
Figura 3.72. Campos consolidados para los resultados de daño en tanques localidad y UPZ.....	58
Figura 3.73. Campos consolidados para la red de telecomunicaciones a localidad y UPZ	58
Figura 3.74. Campos consolidados para los resultados de daño en postes de la red de telecomunicaciones y energía localidad y UPZ.....	59
Figura 3.75. Campos consolidados para los resultados de daño en torres de energía localidad y UPZ	59
Figura 3.76. Menú de administración de resultados de elementos.	60
Figura 3.77. Ventana de información de la ejecución (Metadatos).....	60
Figura 3.78. Menú de administración de resultados de vulnerabilidad.....	61
Figura 3.79. Menú de administración de resultados de vulnerabilidad consolidados a UPZ y localidad	61
Figura 3.80. Menú de administración de resultados de vulnerabilidad sin consolidar.....	62
Figura 3.81. Menú de administración de resultados de daño.....	62
Figura 3.82. Menú de ayuda	63
Figura 3.83. Acerca de SEDAR	63

GLOSARIO

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

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

Atributo: propiedad o característica de una clase de elementos en una base de datos. Información asociada a un gráfico: punto, línea o área en un sistema de información geográfica.

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

Bit: unidad mínima de información digital que puede tomar los valores lógicos de 0 o de 1.

Byte: secuencia de 8 bits.

Clase: unidad fundamental de programación en Java, que sirve como plantilla para la creación de objetos. Una clase define datos y métodos y es la unidad de organización básica de un programa Java.

Coordenada: cantidad usada para definir una posición en un sistema de referencia las coordenadas pueden ser lineales (cartesianas) o angulares (esféricas), según el sistema de referencia.

Código fuente: programa en su forma original, tal y como fue escrito por el programador, el código fuente no es ejecutable directamente por el computador, debe convertirse en lenguaje de máquina mediante compiladores, ensambladores o intérpretes.

Compilador: programa de computadora que produce un programa en lenguaje de máquina, de un programa fuente que generalmente está escrito por el programador en un lenguaje de alto nivel.

Escala: proporción de la distancia representada sobre un mapa o fotografía respecto a su longitud real sobre la superficie de la Tierra. Los valores son normalmente escritos como números sin dimensión, indicando que las medidas sobre el mapa y la Tierra están en las mismas unidades.

Estructura de datos: construcción de software (en memoria o en disco duro) que contiene datos y las relaciones lógicas entre ellos.

Georreferenciar: acción de asignar coordenadas geográficas a un objeto o estructura.

HTML (HyperText Markup Language): lenguaje que se utiliza para crear páginas Web. Los programas de navegación de la Web muestran estas páginas de acuerdo con un esquema de representación definido por el programa de navegación.

Ingeniería del software: rama de la ingeniería concerniente con el análisis, diseño, implementación, prueba, y mantenimiento de programas de computadoras.

Instancia: objeto de software construido desde una clase. Por ejemplo, puede tener una clase avión, pero una flota de quince instancias de avión.

Interfaz: mecanismo Java para decirle al compilador que un conjunto de métodos serán definidos en futuras clases. (Esas clases estarán definidas para implementar la interfaz).

Java Runtime Environment (JRE): software suministrado por Sun que permite a los programas de Java ejecutarse en una máquina de usuario. El JRE incluye la Máquina Virtual Java (JVM).

Metadatos: información sobre las características de un conjunto de datos.

Modelo: representación simplificada de un objeto o proceso en la que se representan algunas de sus propiedades. En diseño orientado a objetos, una representación del mundo real en unas abstracciones de software denominadas clases y la relación entre ellas.

Parámetros: valores u objetos pasados entre una subrutina y la rutina de llamada.

Paquete: nombre de Java para una biblioteca de clases.

Ráster: modelo de datos en el que la realidad se representa mediante teselas elementales que forman un mosaico regular.

Rutina: conjunto de instrucciones dentro del mismo programa, que se puede llamar a ejecución desde diferentes partes del mismo programa.

Sistema de información geográfica (SIG): sistema de gestión de bases de datos con herramientas específicas para el manejo de información espacial y sus propiedades.

Sistema de coordenadas: marco de referencia espacial que permite la definición de localizaciones mediante coordenadas.

Sistema operativo: software responsable de asignar a los usuarios los recursos de sistemas de computadoras (incluyendo procesos). UNIX, Windows, NT y Mac OS, son ejemplos de sistemas operativos.

Vectorial: modelo de datos en el que la realidad se representa mediante vectores o estructuras de vectores.

Vector: entidad geométrica definida por una magnitud y un sentido.

1 INTRODUCCIÓN

En el presente volumen se describe la metodología adoptada para el proceso de desarrollo de la aplicación Sistema de evaluación de Daños para Análisis de Riesgo - SEDAR y los resultados obtenidos en cuanto al software desarrollado para tal fin.

En general, el proceso de construcción de la aplicación se realizó de acuerdo con la metodología RUP (Rational Software Corporation, 2009) y la especificación UML 2.0 (Object Management Group, 2009) para el desarrollo de proyectos de software y de acuerdo con lo establecido por el enfoque conceptual para la evaluación de daños, afectaciones y pérdidas por sismo del que trata el capítulo 2 del volumen 1 del presente estudio. El resultado del proceso de desarrollo es el aplicativo SEDAR (versión stand-alone), la implementación física de las bases de datos para la administración de la información requerida y producida por el sistema, su correspondiente documentación y manuales de funcionamiento para el usuario final.

SEDAR está estructurado por módulos para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, daños y pérdidas esperadas en otras categorías/tipologías de elementos expuestos (edificaciones, tuberías, cableado, puentes, vías, postes, torres y tanques), un módulo para la evaluación de daños colaterales (licuación y deslizamiento), módulos para la evaluación de daños secundarios en los elementos expuestos, y un módulo para la administración y consolidación de información y resultados.

1.1 ANTECEDENTES

Para la ciudad de Bogotá, se han realizado dos estudios de evaluación del riesgo a gran escala: El primero de ellos, “The study on disasters prevention in the Bogotá metropolitana area in the Republic of Colombia” (JICA, 2002), fue un estudio a escala regional (Bogotá y municipios vecinos) que buscaba analizar riesgos de origen natural (sismo, inundación, deslizamiento) y antrópico. El estudio estableció una serie de escenarios de riesgo, un estimativo de los daños esperados y una agenda general para la mitigación del riesgo.

El segundo estudio “Escenarios de riesgo y pérdidas por terremoto para Bogotá” (Universidad de los Andes, 2005), fue un estudio a escala urbana cuyo objetivo fue analizar el riesgo sísmico específicamente. El estudio estableció una serie de escenarios de amenaza sísmica y un estimativo de los daños y pérdidas esperadas para cada escenario utilizando metodologías e información más recientes. A pesar de que los dos estudios anteriores representan un importante avance en cuanto a la evaluación de daños y pérdidas esperadas en evento sísmico dado, su utilidad es limitada debido a que los resultados obtenidos se desactualizan constantemente debido a la dinámica urbana. Ante esta situación es necesario contar con una herramienta sistematizada que permita actualizar la evaluación del riesgo sísmico de una manera rápida.

En la actualidad existen varias aplicaciones para la evaluación de daños debidos a diferentes amenazas naturales (i.e. RADIUS, HAZUS MH, NHEMATIS, MRQuake, RiskLink-ALM, RiskBrowser, RMS-DataWizard, CLASIC, CATRADER, CATMAP, ALERT, CAPRA) la conveniencia de su uso en el contexto de la evaluación y gestión del riesgo sísmico en una ciudad como Bogotá se ve limitada por hechos tales como: el acceso restringido a licencias para el uso de las aplicaciones; la naturaleza de las hipótesis y metodologías usadas dentro de los algoritmos (i.e. curvas de vulnerabilidad para la evaluación de daños establecidas para condiciones diferentes a las locales); el volumen y las características de la información requerida para realizar la evaluación con un grado de confiabilidad aceptable; la necesidad de preparar la

información de acuerdo a estándares predefinidos por la aplicación; y limitación en cuanto a formatos, escalas y unidades de evaluación.

El proyecto “Actualización y sistematización de los escenarios de daño por terremoto - Prototipo del sistema fase I” (DPAE, 2009), permitió en principio superar las limitaciones descritas anteriormente mediante el establecimiento de un enfoque conceptual para la evaluación de daños, afectaciones y pérdidas por sismo; el establecimiento de un marco metodológico acorde a las características locales; la actualización de la información; y la sistematización de la metodología propuesta.

Como resultado principal se desarrolló un primer prototipo del aplicativo SEDAR, proceso durante el cual se definió la plataforma tecnológica, la arquitectura del programa, una primera versión del modelo de datos, y se implementaron algunos de los módulos para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica y daño.

Durante el desarrollo de la segunda fase se siguen teniendo presentes los objetivos establecidos en la fase I, es decir el desarrollo de un programa acorde con las necesidades de la entidad, de libre acceso, configurable, actualizable y compatible con la plataforma tecnológica de la entidad y en el que se considere las características propias de la información administrada y requerida por las entidades distritales, y el uso de metodologías de evaluación acordes con las condiciones locales.

1.2 OBJETIVOS

Desarrollar una aplicación que permita evaluar los daños, pérdidas y afectaciones probables para diferentes escenarios de amenaza sísmica en la ciudad de Bogotá de acuerdo con el enfoque conceptual y metodológico propuesto en el Tomo 1 del estudio.

Los objetivos específicos se resumen a continuación:

- Establecer un marco metodológico para el proceso de desarrollo de software de acuerdo con las necesidades del proyecto.
- Definir una plataforma funcional y técnicamente viable para la entidad.
- Considerar durante el desarrollo del software, las características propias de la información producida, administrada y requerida por las entidades distritales.
- Desarrollar un software que permita ampliar o incorporar nuevas funciones que permitan atender futuras necesidades o nuevas metodologías de evaluación de daños, pérdidas y afectaciones.
- En desarrollo del marco metodológico, generar la documentación del proyecto (documentación del proceso de desarrollo de software, documentación del proceso de diseño de bases de datos y manuales técnicos)

1.3 ALCANCE

La aplicación se desarrolla de acuerdo con el enfoque conceptual y el marco metodológico para la evaluación de daños, pérdidas y afectaciones por sismo que fueron definidos en el Tomo 1 del estudio, lo cual corresponde con la revisión bibliográfica realizada sobre dichos temas hasta la fecha. La aparición de nuevas necesidades por parte de la entidad y la generación de nuevas metodologías implican un proceso de actualización y modificación del software.

El proceso de desarrollo de software se ajustará al estándar RUP (Rational Software Corporation, 2009), el cual es de uso corriente para este tipo de proyectos. Este estándar provee un marco metodológico y herramientas de control y seguimiento del proceso de construcción de la aplicación.

De acuerdo con las posibilidades tecnológicas de la entidad, en principio, la aplicación se ejecutará en modo “stand-alone” y debe ser compatible con herramientas ESRI.

1.4 MARCO LÓGICO

Las actividades ejecutadas en desarrollo del proyecto son las siguientes:

- Revisión bibliográfica sobre aplicaciones para la evaluación del riesgo en ambientes urbanos.
- Revisión bibliográfica y elección del marco metodológico para el desarrollo del software.
- Revisión y análisis del enfoque conceptual y marco metodológico para la evaluación de daños pérdidas y afectaciones por sismo (Tomo 1).
- Desarrollo del software de acuerdo con el marco metodológico seleccionado RUP (Rational Software Corporation, 2009).
- Entrega del producto final (software, documentación del proyecto e informe técnico final).

2 DESARROLLO DEL APLICATIVO

El desarrollo del aplicativo se fundamenta en el enfoque conceptual para evaluar los daños que se basa en las componentes y tipos de análisis identificados para estimar los daños y afectaciones por la ocurrencia de un sismo. Este enfoque básicamente divide el problema en cuatro componentes, la primera corresponde al inventario de elementos expuestos, la segunda a la valoración de su vulnerabilidad, la tercera es propiamente la cuantificación de los daños iniciales y la cuarta componente es la evaluación de daños secundarios. Estas componentes se aplican para tres grandes categorías de elementos, edificaciones, líneas vitales y al terreno, considerado como elemento expuesto a sufrir daños como licuación y deslizamiento (efectos colaterales). De manera esquemática se puede observar en la **Figura 2.1**.

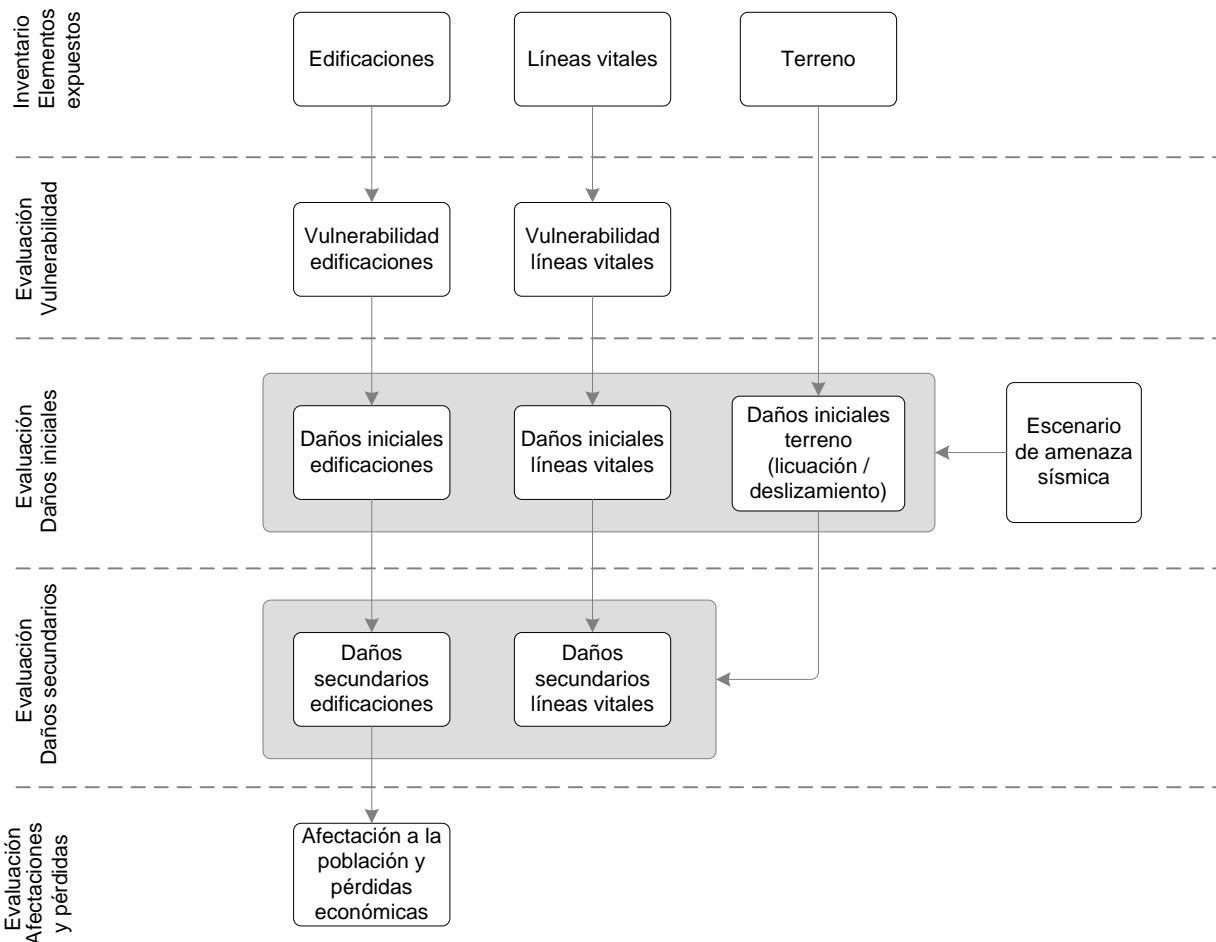


Figura 2.1. Metodología de evaluación de vulnerabilidad y daños por sismo incluyendo efectos colaterales

El flujo de información, evaluaciones y resultados será de la siguiente manera: se identifican y localizan los elementos expuestos, edificaciones, líneas vitales y zonas del terreno potencialmente licuables o susceptibles a deslizamientos; los tipos de elementos que cuentan con métodos de evaluación de vulnerabilidad (básicamente vulnerabilidad física entendida

como la resistencia que ofrece para soportar daño) se caracterizan y evalúan; luego con base en los resultados de vulnerabilidad o directamente a partir de las características del elemento y tomando los niveles de amenaza sísmica que define el escenario considerado se estiman los daños iniciales de las edificaciones, líneas vitales y del terreno (zonas que presentan licuación y deslizamientos); los resultados de los daños iniciales de las edificaciones y de las líneas vitales se corrigen o aumentan de acuerdo con los daños del terreno evaluados en la anterior etapa con el fin de obtener los daños totales que incluyan la licuación del terreno y deslizamientos. Finalmente se calculan la afectación a la población y un estimativo de las pérdidas económicas directas de las edificaciones.

2.1 METODOLOGÍA DE DESARROLLO RUP

En el desarrollo de este proyecto se utilizó el Proceso Unificado Racional (RUP por sus siglas en inglés), adaptándolo a las necesidades y características del proyecto. El RUP es una combinación de varias metodologías de diversos autores quienes crearon Rational Software Corporation a mediados de los años 90.

RUP define cuatro fases del ciclo de vida: Inception (concepción), Elaboration (elaboración), Construction (construcción) y Transition (Transición), y una serie de actividades que están presentes en cada una de ellas. El esfuerzo necesario para la ejecución de estas actividades varía de acuerdo a la fase del proyecto en ejecución, como se puede ver en la **Figura 2.2**.

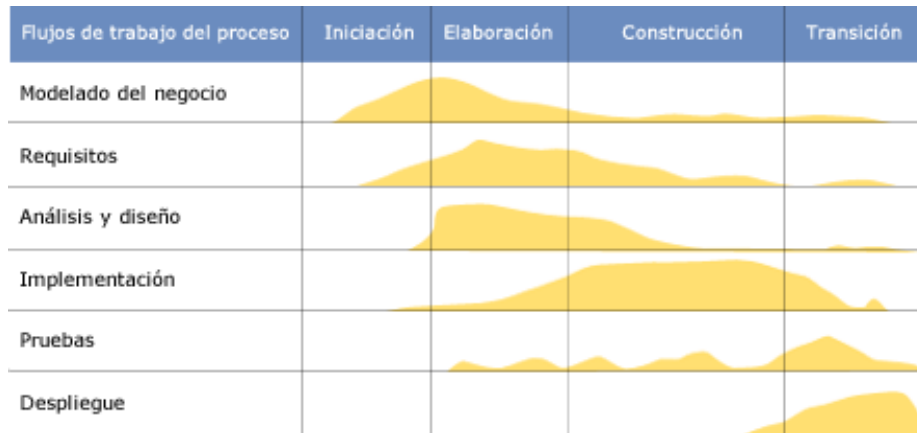


Figura 2.2. Esfuerzo en actividades según la fase del proyecto (Fuente: IBM)

2.1.1 Concepción

El objetivo de esta fase es determinar el alcance del sistema, identificando los requerimientos, y la viabilidad de los mismos, generando además un modelo de casos de uso básico. Al ser una metodología iterativa, la fase de concepción estuvo presente en todo el desarrollo del software. El levantamiento de requisitos se realiza en reuniones periódicas del equipo de trabajo, en reuniones personales con los responsables de suministrar la información de cada requerimiento, o mediante envío de información por correo electrónico.

2.1.2 Elaboración

En la fase de elaboración del sistema se inicia el análisis al problema y definición de la arquitectura del software. UML es una herramienta útil en esta fase; la vista de casos de uso captura el comportamiento de un sistema, subsistema clase o componente tal y como se muestra a un usuario externo. Divide la funcionalidad del sistema en transacciones que tienen significado para los actores (Booch, 2007).

La vista estática modela conceptos del dominio de la aplicación, así como los conceptos internos inventados como parte de la implementación de una aplicación. Esta vista es estática porque no describe el comportamiento dependiente del tiempo del sistema. Los principales componentes de la vista estática son las clases y sus relaciones. (Booch, 2007).

El diagrama de clases y el diagrama de casos de uso producto de esta fase están desarrollados de acuerdo con la especificación 2.0 del lenguaje UML adoptado por el OMG (Object Management Group).

Los patrones de diseño en ingeniería de software también desempeñan un papel importante en esta fase, definiendo aspectos importantes de la arquitectura. En el desarrollo del software se aplicaron los siguientes patrones:

- **Abstract Factory:** El patrón Abstract Factory se utiliza para crear diferentes familias de objetos, en el sistema se utiliza para la creación de lectores de datos de distintos formatos.
- **Singleton:** El patrón de única instancia o singleton está diseñado para restringir la creación de objetos pertenecientes a una clase o el valor de un tipo a un único objeto, su intención es garantizar que la clase solo tenga una instancia y proporcionar un punto de acceso global a dicha instancia. Se utiliza en la creación de objetos que leen información de la base de datos de registro. De esta manera, se garantiza que sólo exista un workspace, y de éste se puedan leer múltiples tablas simultáneamente, sin crear múltiples instancias del workspace en memoria. Igualmente se utiliza al crear hilos para la ejecución de cálculos, evitando que se lancen múltiples procesos de cálculo simultáneamente. Finalmente se utiliza para almacenar en memoria la información de configuración de la aplicación, la cual es cargada al ejecutar la aplicación y se vuelve a escribir en el disco cuando el usuario efectúa un cambio en ella.

2.1.3 Construcción

El objetivo principal de esta etapa es construir el sistema de software, para lo cual esta fase se enfoca en el desarrollo de componentes, interfaces, archivos de entrada y salida del sistema construido. Aquí es donde se efectúa la codificación, partiendo del análisis y diseño de las fases anteriores.

El código escrito además es sometido a pruebas unitarias para verificar que efectúa su tarea correctamente y que interactúa adecuadamente con otras piezas de código. Para estas pruebas se utilizó la herramienta JUnit, generándose una unidad de prueba para cada pieza de código sensible. El producto resultante de esta fase es el código fuente del sistema.

Convenciones de código fuente

Para la codificación de algoritmos y desarrollo de interfaces se buscó seguir las recomendaciones que se mencionan en Code Conventions for the Java Programming Language (documento disponible en <http://java.sun.com/docs/codeconv/>), procurando que los nombres de variables, clases, interfaces y métodos estén en inglés, ya que las clases, interfaces y métodos propios Java, y aquellos propios del Arcgis Engine se encuentran en ese idioma. Gracias a la adopción de estas convenciones se garantiza la legibilidad del código y la fácil interpretación del mismo por parte de cualquier programador que lo revise.

Documentación del código fuente

Además de las convenciones en la escritura de código fuente, otra herramienta útil para la comprensión de código de terceros es la documentación técnica. JavaDoc es una herramienta para documentar código fuente en formato HTML directamente desde el código.

Al documentar el código fuente siguiendo el estándar JavaDoc, se genera un documento HTML que describe los paquetes, clases, interfaces, métodos y variables que componen la aplicación. La información del documento se visualiza desde un navegador web, y aparece organizada por paquetes, con un índice de clases, interfaces y excepciones.

El documento resultante se visualiza óptimamente desde un navegador web, y no está diseñado para leerse de principio a fin, sino siguiendo los enlaces que el lector desee seguir. El documento impreso luce caótico y desordenado, perdiendo su navegabilidad. La documentación puede observarse en la carpeta Documentación\JavaDoc\ que hace parte del sistema.

El resultado de esta fase es el código fuente del sistema, las clases de pruebas unitarias generadas, y la documentación técnica en formato JavaDoc y la compilación de un archivo ejecutable. El código fuente está escrito en lenguaje Java, y está configurado como proyecto para el entorno de desarrollo Eclipse, aunque puede llevarse sin problema a otros entornos como NetBeans y JDeveloper. El ejecutable es un archivo de distribución de aplicaciones java en formato jar.

El código puede compilarse con versiones de Java 5 o posterior, con versiones anteriores no compilará ni ejecutará.

2.1.4 Transición

El objetivo de la fase de transición es llevar el producto de software de desarrollo a producción, haciéndolo disponible al usuario final. Las actividades de esta fase incluyen el entrenamiento a los usuarios, pruebas y corrección de errores. Esta etapa de la metodología se inicia con las pruebas y validación de resultados, sin embargo se debe tener en cuenta que a medida que sea intensamente empleado el software es posible que requiera más ajustes.

2.2 PLATAFORMA TECNOLÓGICA Y ARQUITECTURA

2.2.1 Requerimientos tecnológicos

De acuerdo con los objetivos y alcance dados para definir la plataforma y arquitectura del sistema se requiere basar su desarrollo en una herramienta de Sistemas de Información Geográfica con las siguientes características fundamentales:

- Compatibilidad con las tecnologías SIG e información geográfica disponibles en el FOPAE.
- Eficiencia en las corridas de los escenarios de daño, en términos de velocidad de procesamiento. Es por esta razón que se sugiere el uso de aplicativos de escritorio con mínima utilización y acceso a recursos de red tanto institucional como de otras redes externas.
- Poderoso ambiente de desarrollo, dada la complejidad y la especificidad de las labores de geoprocetamiento de los escenarios de daño; se requiere el uso frecuente de operaciones y funciones matemáticas especializadas, y la facilidad de utilización de los objetos básicos del software SIG para la manipulación personalizada de datos espaciales tanto en formato vectorial como ráster.

En la **Figura 2.3** se ilustra de manera esquemática los tipos de procesos que se requieren desarrollar.

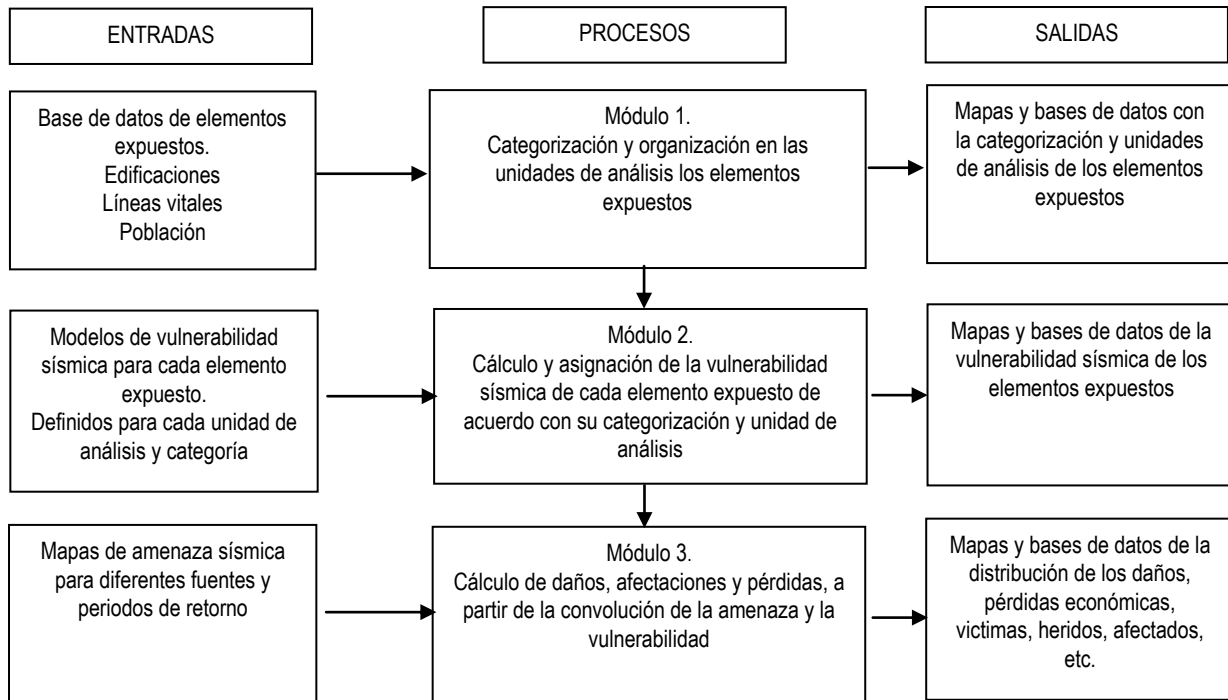


Figura 2.3. Diagrama de procesos para el cálculo de escenario de daños

2.2.2 Arquitectura del sistema

La arquitectura general y su relación con SIG del FOPAE se muestra en la **Figura 2.4**, donde a nivel de usuario el software es un aplicativo de escritorio “stand alone”, que consiste en una herramienta con varias funcionalidades en forma de menús y/o botones. En el nivel del negocio, el aplicativo es compilado y almacenado en librerías que se puede instalar y/o ejecutar como aplicativo independiente “stand alone”. A nivel de datos, se diferencian dos temas importantes. Los datos de entrada y de salida, y la base de datos del sistema.

Para los datos de entrada y de salida, en pro del rendimiento y la eficiencia en el procesamiento, se trabajó con datos que están disponibles localmente, y así mismo los resultados del procesamiento son escritos en los discos duros del equipo local. Aunque se entiende que será necesario el uso de recursos y datos de red, se desea evitar la dependencia a estos recursos ya que dificultan y retrasan el geoprocesamiento.

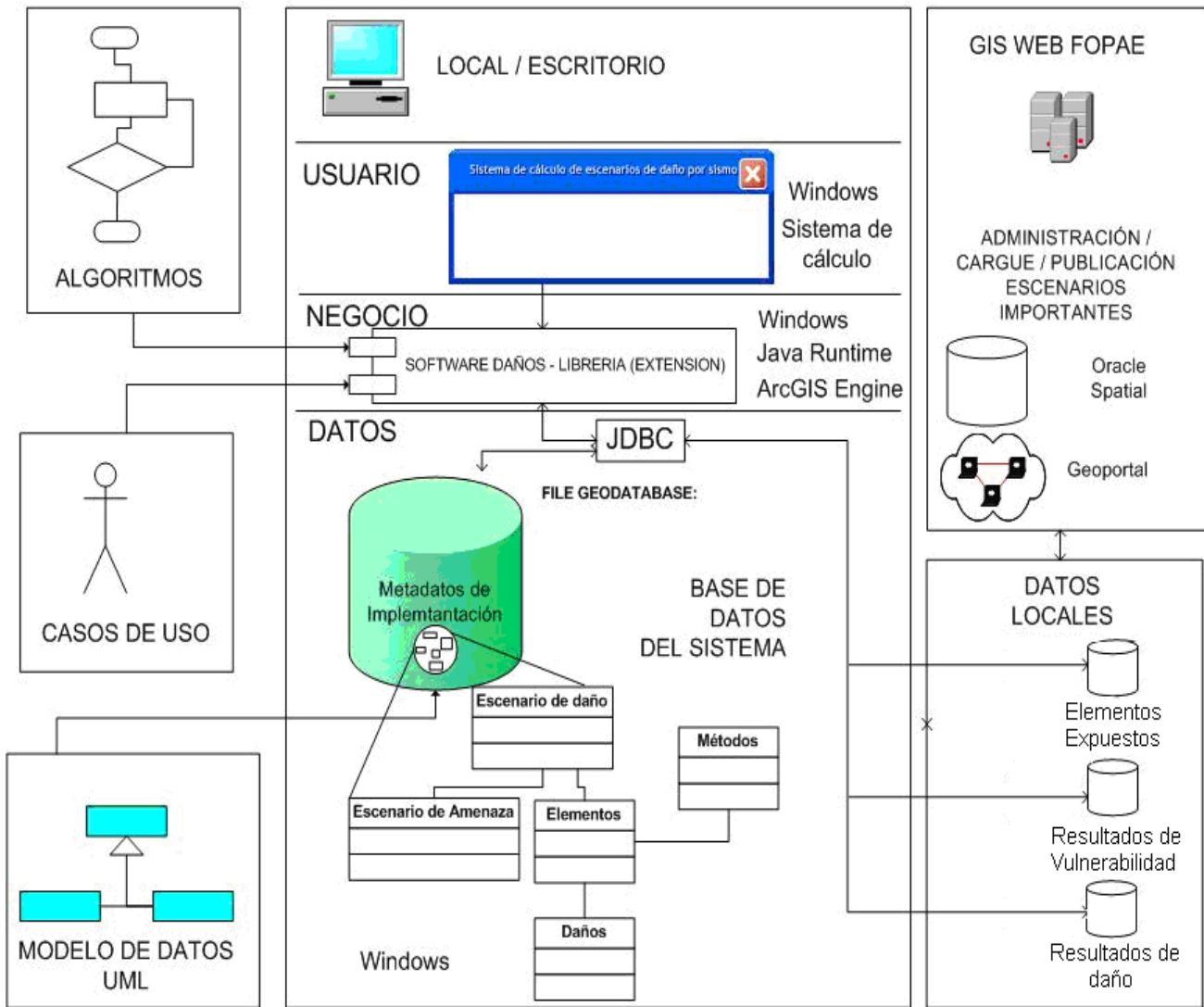


Figura 2.4. Arquitectura general y relación con SIG del FOPAE

Los escenarios de daño generados que se consideren de importancia para la oficina o el sistema de prevención y atención de emergencias se podrán publicar y entregar a partir de los mecanismos y procedimientos ya establecidos en el FOPAE, relacionados con el funcionamiento de su Sistema de Información Geográfico (Web y Stand Alone).

Se ha trabajado el nivel de negocio y persistencia con ArcGis Engine 9.3, que proporciona librerías de acceso a objetos utilizados por ArcGis Desktop para geoprocresamiento y apertura de archivos y bases de Datos. La **Figura 2.5** muestra cómo interactúa Java con éstos objetos, específicamente en la manipulación de bases de datos y archivos.

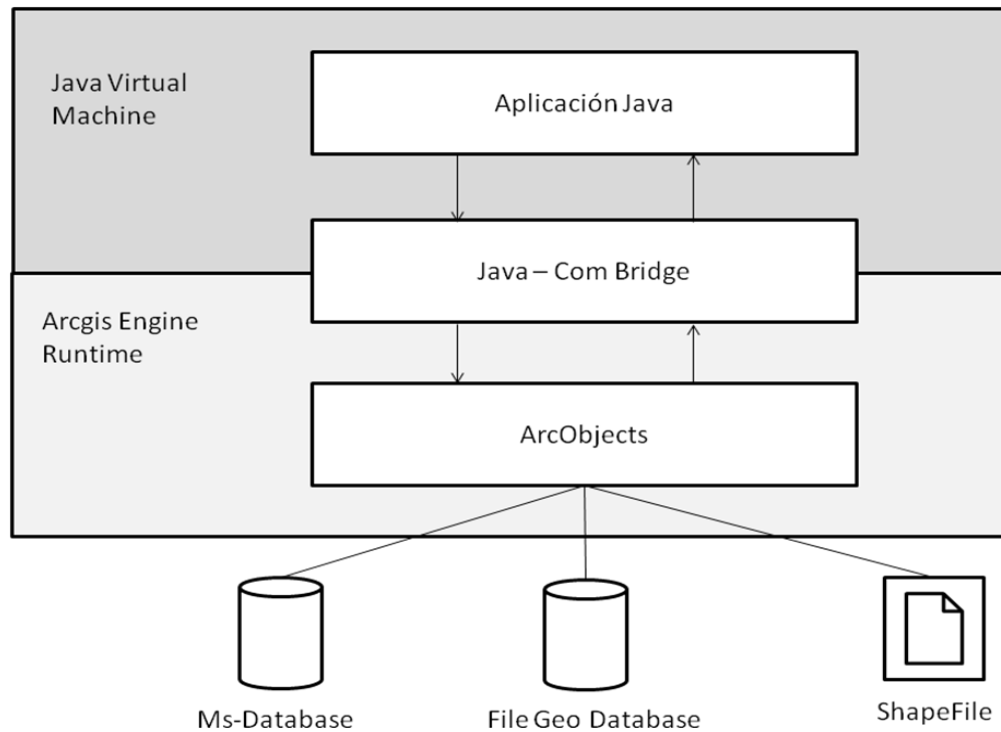


Figura 2.5. Arquitectura de la aplicación

Java Virtual Machine (Máquina virtual de java): Es un programa nativo, capaz de ejecutar instrucciones en código binario especial (el bytecode de java), el cual es generado por el compilador de Java. Es una de las piezas fundamentales de la plataforma Java. Se sitúa en el nivel superior al hardware del sistema sobre el que se ejecuta, y actúa como un puente que entiende tanto el bytecode a ejecutar, como al sistema en que se ejecuta. De esta manera, al escribir una aplicación Java se hace pensando en que se ejecutará sobre una Máquina virtual, y no en un sistema operativo específico, finalmente será la máquina virtual la que se encargue de ejecutar el código Java en el código nativo del dispositivo final.

Aplicación Java: Este componente es la aplicación escrita como tal. Como se observa en la ilustración, ésta se ejecuta sobre la máquina virtual de java, interactuando con Arcgis Engine Runtime por medio de Java Com-bridge. En este componente se encuentran las interfaces, los cálculos matemáticos, el envío y recepción de peticiones a los objetos de ArcGis y la gestión de errores de procesamiento.

Java COM-Bridge: Es un puente que permite que Java establezca comunicación con los ArcObjects.

ArcObjects: Incluye a todos los objetos que manipulan información geográfica. Este componente se encarga de la lectura y escritura de archivos y bases de datos geográficas, así como del geoprocésamiento. Es una librería propietaria de ESRI que se ejecuta sobre el ArcGis Engine Runtime, y requiere de una licencia disponible.

2.3 REQUISITOS FUNCIONALES

Los requisitos funcionales describen detalladamente cada método de evaluación o función que se requiere hacer con el sistema de cálculo. La definición de los requisitos funcionales tuvo en cuenta la información disponible, los objetivos y alcances de cada método o función y el tiempo de cálculo empleado, razones por las cuales los requisitos funcionales fueron evolucionando hasta llegar a la versión más óptima para ser implementada en el sistema.

Con el propósito de establecer un orden lógico del sistema de cálculo se establecieron siete secciones que agrupan los requisitos funcionales como se describe a continuación.

Sección 1 - Arquitectura del sistema, esta sección pretende definir la plataforma tecnológica a usar, las herramientas necesarias para el desarrollo como el lenguaje y ambiente de desarrollo.

Sección 2 - Pantalla principal, esta sección pretende establecer la interfaz del sistema y las funciones disponibles en el ambiente gráfico de la aplicación, como lanzar y cerrar, accesos directos y el lanzamiento, configuración, cargue y almacenamiento de rutinas y configuraciones.

Sección 3 - Archivo, dentro de esta sección se encuentran las funciones de seleccionar el escenario de amenaza y el registro de la información base de elementos expuestos dentro de la cual se encuentran las funciones de registrar, eliminar y adicionar una nueva versión de datos de entrada.

Sección 4 - Evaluación de vulnerabilidad en elementos expuestos, esta sección contiene los procedimientos de cálculo para la obtención del índice de vulnerabilidad en edificaciones y el factor de vulnerabilidad en tuberías.

Sección 5 - Evaluación de daños iniciales, esta sección del sistema agrupa cada una de los métodos para la evaluación de daños iniciales de los elementos expuestos, tales como el método Italiano y Miranda para edificaciones, el método Japonés para tuberías y cableados, el método A.L.A para tanques de almacenamiento, el método R.M.S. puentes y finalmente los métodos de efectos colaterales, licuación y deslizamiento.

Sección 6 - Evaluación de daños secundarios, esta sección incorpora las rutinas relacionadas con la corrección de los daños iniciales incluidos en la sección 5 por los efectos colaterales licuación y deslizamiento y la evaluación de las afectaciones y pérdidas económicas.

Sección 7 – Resultados, la última sección se realiza la consolidación y administración resultados del sistema.

La compilación de los contenidos de cada una de las secciones se incluye en el formato ADM-FT-16 “Relación de requerimientos” que se puede consultar en el **Anexo 1**.

El análisis de los requisitos funcionales consiste en identificar y aterrizar los objetivos del requisito, bajo un ambiente técnico y tecnológico del área de informática, el cual tiene previsto identificar las herramientas, software, enfoque conceptual de la rutina, apariencia de las interfaces y la interrelación con los demás elementos incluidos en el sistema de cálculo, con el propósito de establecer un punto de partida claro, evidenciando las restricciones y condicionamientos externos. Para el desarrollo de estos análisis se procedió con el diligenciamiento del formato ADM-FT-18, que se trabaja en algunos casos a nivel de sección o de rutina según se requiera nivel de detalle en la definición del desarrollo, en el **Anexo 2** se encuentra el análisis detallado de los requisitos funcionales.

2.4 CASOS DE USO

A partir del análisis de los requisitos funcionales se identifican los casos de uso del sistema, que principalmente buscan identificar de la interacción del sistema con el usuario, con el propósito de lograr los objetivos específicos de cada una de las rutinas, es por ello que la tipificación de esta interacción constituye un proceso fundamental para la definición de las interfaces y la forma como estas interactúan con las componentes del sistema como bases de datos, relaciones, configuraciones del sistema y parámetros específicos de las metodologías. Los casos de uso identificados se listan en el formato ADM-FT-42 y los diagramas de casos de uso en el formato ADM-FT-19 que se recopilan en el **Anexo 3**. Los análisis de cada uno de los casos de uso están en el formato ADM-FT-20 localizado en el **Anexo 4**.

2.5 MODELO DE DATOS

En esta sección se documenta el proceso de diseño e implementación del modelo de datos del “Sistema de Evaluación de Daños para Análisis del Riesgo Sísmico de Bogotá D.C. SEDAR”.

El proceso se adelantó en 3 etapas: diseño conceptual, diseño lógico y diseño físico. El proceso de elaboración del modelo lógico se realizó de acuerdo con la especificación del lenguaje de modelamiento UML2.0 (Object Management Group, 2009); (Naiburg & Maksimchuk, 2001) y el proceso de implementación física de las bases de datos se realizó mediante el uso de las herramientas y documentación técnica del software ArcGIS 9.3 (ESRI, 2005b); (ESRI, 2008); (ESRI, 2005a); (Zeiler, 1999).

Como resultado, el modelo de datos de la aplicación implementa cuatro tipos de bases de datos: una base de datos para la información del sistema de cálculo (sistema.gdb), una base de datos para la información geográfica de entrada (data.gdb), una base de datos para los resultados de vulnerabilidad (vulnerabilidad.gdb) y una serie de bases de datos para los resultados de daño de los elementos expuestos (daño.gdb).

2.5.1 Metodología

El proceso empleado durante el desarrollo del proyecto corresponde al marco metodológico RUP (Rational Software Corporation, 2009). El proceso de elaboración del modelo de datos (junto con el de desarrollo de la aplicación) se realizó siguiendo el procedimiento propuesto por la metodología RUP para el desarrollo de proyectos de software, la cual en términos generales constituye un proceso cíclico iterativo que se desarrolla en cuatro fases (concepción, diseño, desarrollo y transición). En atención a lo anterior el proceso de diseño del modelo de datos se adelantó en tres etapas cíclicas: modelo conceptual, modelo lógico y modelo físico (ver **Figura 2.6**):

Modelo conceptual: Se adelanta durante la fase de concepción de la aplicación. Durante esta etapa se establecen las reglas básicas de operación del sistema, se identifican y analizan funciones (casos de uso y requisitos funcionales), se establecen los requerimientos de la información que soporta las funciones del sistema, y se define la estrategia general para el almacenamiento y administración de datos.

Modelo lógico: Se adelanta durante la fase de diseño. Durante esta etapa se establece en detalle las características estructurales de la información que se desea administrar (i.e. bases de datos, entidades, atributos, tipos de atributos, dominios y relaciones entre entidades).

Modelo físico: Se adelanta durante la etapa de desarrollo y transición (pruebas de funcionamiento y operación). Durante esta etapa se implementa físicamente el modelo de datos (configuración de la base de datos en el medio de almacenamiento establecido), se genera la documentación del modelo de datos y se alimenta la base de datos para realizar las pruebas de funcionamiento y operación de la aplicación.

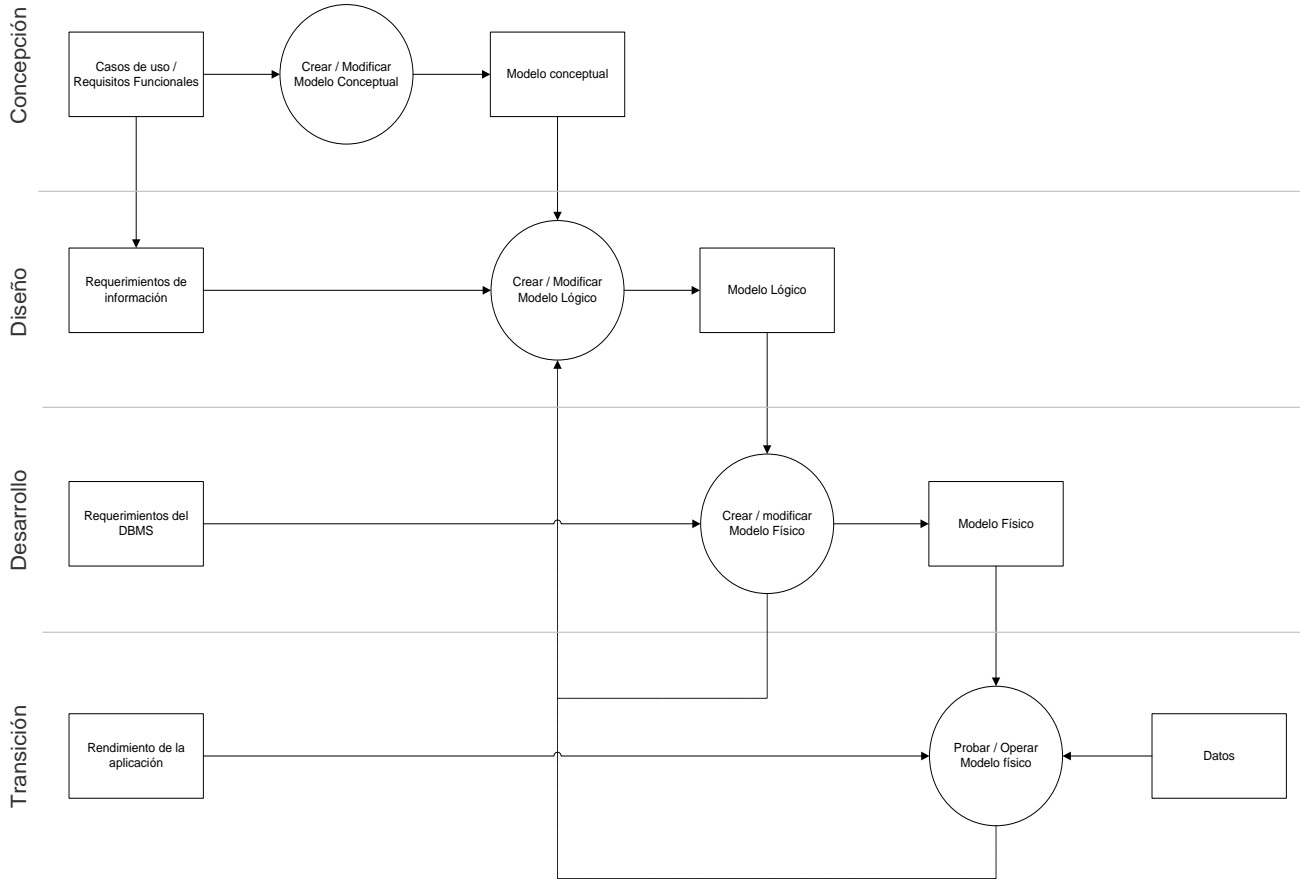


Figura 2.6. Metodología adoptada para el diseño del modelo de datos en relación al proceso de desarrollo de la aplicación.

2.5.2 Modelo conceptual

La **Figura 2.7** presenta el modelo conceptual de funcionamiento del modelo de datos del sistema el cual fue elaborado a partir de los resultados de la primera etapa del proyecto.

El modelo conceptual es una abstracción de la estrategia general de almacenamiento y administración de la información que requiere y soporta las funciones del sistema y se preparó partir de un análisis integral de los casos de uso y requisitos funcionales de la aplicación atendiendo los resultados de las pruebas de funcionamiento del prototipo e incluyendo nuevas funcionalidades.

En general, la estrategia definida para el almacenamiento y administración de la información ilustrada en la **Figura 2.7** consiste en operar 4 bases de datos: una base de datos para administración la información de los elementos expuestos, una base de datos para administrar la información relacionada con la operación del sistema, una base de datos para los resultados de vulnerabilidad y una serie de de bases de datos para los resultados de daño correspondientes a cada escenario de amenaza (ver **Figura 2.7**).

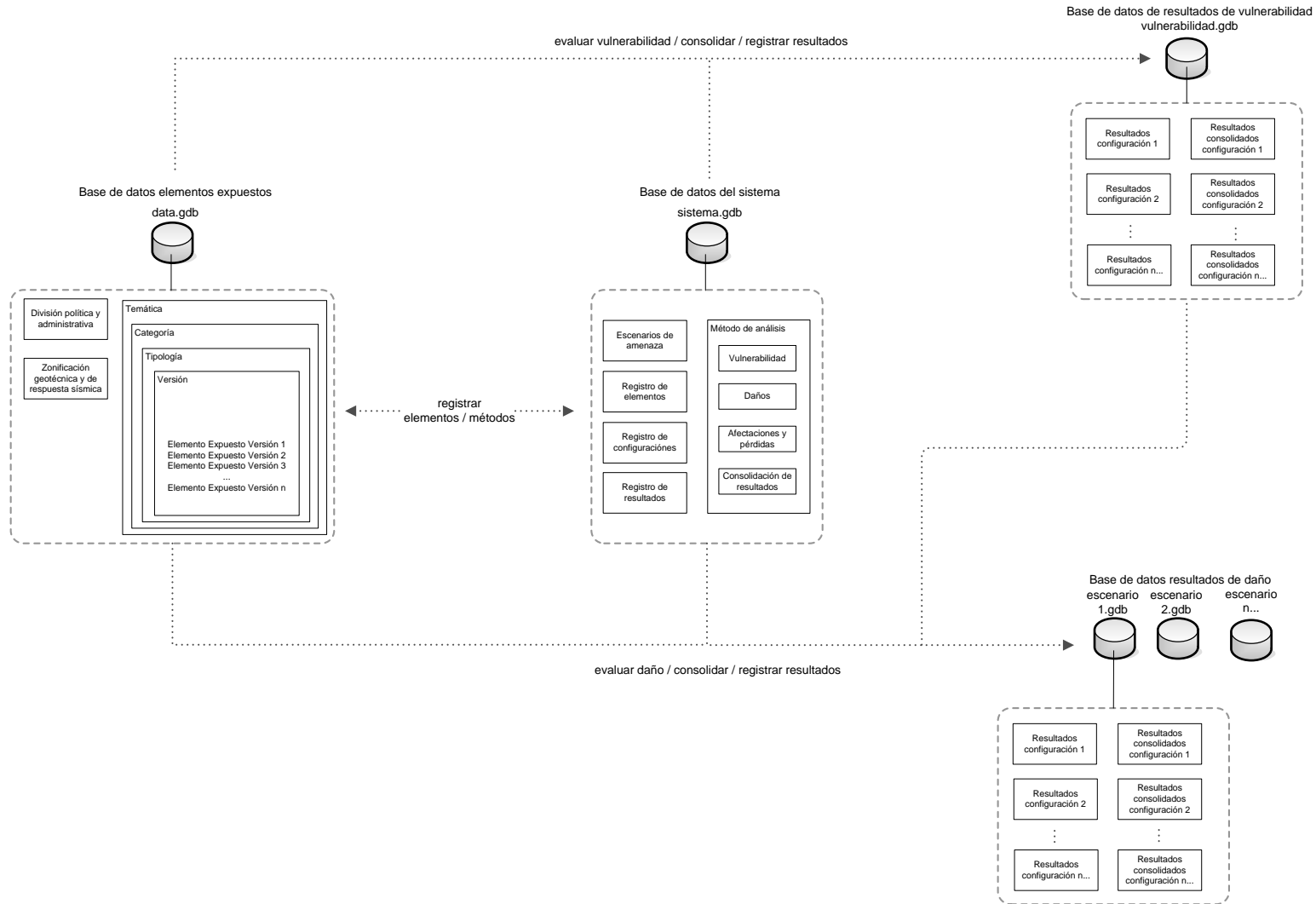


Figura 2.7. Modelo conceptual

2.5.2.1 Base de datos de elementos expuestos (data.gdb)

Esta base de datos contiene la información geográfica correspondiente a los diferentes elementos expuestos (e.g. edificaciones, redes de servicios, vías de comunicación, etc.), la división político administrativa (i.e. UPZ y localidades), y la zonificación geotécnica y de amenaza (i.e. zonificación geotécnica, zonificación por respuesta sísmica, por potencial de licuación y por potencial de deslizamiento). Los elementos expuestos están categorizados por temática, categoría y tipología y es posible almacenar diferentes versiones de la información.

2.5.2.2 Base de datos del sistema (sistema.gdb)

Esta base de datos alfanumérica almacena la información relacionada con las funcionalidades de la aplicación, así:

- Escenarios y parámetros de amenaza sísmica.
- Registro de los elementos expuestos a analizar.
- Registro de los métodos de evaluación, parámetros y configuraciones de los mismos.
- Registro de los resultados que se han obtenido en el sistema (historial de ejecución).

2.5.2.3 Base de datos de resultados de vulnerabilidad (vulnerabilidad.gdb)

Esta base de datos alfanumérica almacena los resultados de vulnerabilidad de los elementos expuestos y los resultados de vulnerabilidad consolidados por unidades administrativas. Es posible generar diferentes resultados para un elemento en función de las diferentes configuraciones que hayan sido usadas durante la evaluación.

Esta base de datos es implementada físicamente por la aplicación, es decir que la aplicación es la que genera directamente entidades y atributos como resultado de los procesos de evaluación que se ejecuten.

2.5.2.4 Base de datos de resultados de daño (daño.gdb)

Esta base de datos alfanumérica almacena los resultados de daño de los elementos expuestos y los resultados de daño consolidados por unidades administrativas. Los resultados de daño varían en función del escenario de amenaza, de los resultados de vulnerabilidad y de la configuración del método de evaluación de daño.

Los resultados de daño correspondientes a cada escenario de amenaza serán almacenados y administrados en bases de datos independientes. Cada una de estas bases de datos almacenará las diferentes versiones de resultados de daño que se hayan obtenido mediante la operación del sistema.

Estas bases de datos son implementadas físicamente por la aplicación, es decir que la aplicación es la que genera directamente las bases de datos, entidades y atributos como resultado de los procesos de evaluación que se ejecuten.

2.5.3 Modelo lógico

Durante la elaboración del modelo lógico se establecieron en detalle las características estructurales de la información que será almacenada y administrada en cada una de las bases de datos que se definieron previamente durante la construcción del modelo conceptual. Las características estructurales de la información están definidas por los siguientes aspectos:

- Entidades
- Relaciones entre entidades

- Atributos
- Dominios

El proceso de elaboración del modelo lógico se realizó de acuerdo con la especificación del lenguaje de modelamiento UML2.0 (Object Management Group, 2009); (Naiburg & Maksimchuk, 2001) y mediante el uso de una herramienta CASE (MS Visio Professional 2003) y del complemento suministrado por el fabricante del software en el que se implementa físicamente el modelo de datos (ArcGIS 9.3).

El resultado del proceso de elaboración del modelo lógico son los diagramas de estructura estática de cada una de las bases de datos y que se encuentran en los anexos del presente documentos así:

2.5.3.1 Modelo de datos del sistema (sistema.gdb)

En el **Anexo 5** se presenta el modelo lógico para la base de datos del sistema. Esta es una base de datos no espacial y en ella se almacenará y administrará la información que utiliza el sistema.

De izquierda a derecha el modelo puede dividirse en tres secciones:

- a) Escenario de amenaza y parámetros de intensidad sísmica: Estas tablas registran y administran la información relacionada con los escenarios de amenaza sísmica a analizar.
- b) Temática, categoría, tipología y versión de los elementos expuestos: Estas tablas registran y administran la información referencial de las coberturas geográficas de las diferentes tipologías de elementos expuestos que se encuentran en la base de datos de elementos expuestos.
- c) Métodos y configuración de parámetros y funciones: Estas tablas registran y administran la información relacionada con los métodos y rutinas de cálculo, así como el historial de ejecuciones (configuraciones de funciones y parámetros) de la aplicación.

2.5.3.2 Modelo de datos de elementos expuestos (data.gdb)

En el **Anexo 5** se presenta el modelo lógico para la base de datos espacial de elementos expuestos. Las entidades que están incluidas en el modelo corresponden a: edificaciones; edificaciones indispensables; red de acueducto, alcantarillado y tanques de almacenamiento; red de distribución de gas natural; red de distribución de energía eléctrica; red de telecomunicaciones; efectos colaterales (zonas con potencial de licuación y deslizamiento); zonificación geotécnica; zonificación por respuesta sísmica y unidades administrativas.

El modelo considera las relaciones espaciales existentes entre manzanas y predios; y entre la zonificación geotécnica y de respuesta sísmica con los diferentes elementos expuestos.

Igualmente incluye entidades alfanuméricas para el almacenamiento y administración de información consolidada por unidades administrativas (UPZ y localidades).

2.5.3.3 Modelo de datos de resultados de vulnerabilidad (vulnerabilidad.gdb)

En el **Anexo 5** se presenta el modelo lógico para la base de datos de resultados de vulnerabilidad. Las entidades incluidas en el modelo corresponden a tablas alfanuméricas para el almacenamiento de resultados de vulnerabilidad y para el almacenamiento de resultados consolidados por unidades administrativas (UPZ y localidades).

2.5.3.4 Modelo de datos de resultados de daño (daño.gdb)

En el **Anexo 5** se presenta el modelo lógico para la base de datos de resultados de daño. Las entidades incluidas en el modelo corresponden a tablas alfanuméricas para el almacenamiento de resultados de daño y para el almacenamiento de resultados consolidados por unidades administrativas (UPZ y localidades).

2.5.4 Modelo físico

El proceso de implementación del modelo físico comprende la creación física y alimentación de las bases de datos y la generación de la documentación del modelo. El proceso de implementación física de las bases de datos se realizó mediante las herramientas y complementos suministrados por el fabricante del software en el que se implementa el modelo de datos (ArcGIS 9.3) y de acuerdo con la documentación técnica (ESRI, 2005a); (ESRI, 2005b); (ESRI, 2008); (Zeiler, 1999).

Las características de la base de datos que implementa el software (ArcGIS 9.3) son las siguientes:

- Tipo: File Geodatabase (archivo de base de datos).
- Descripción: Colección de “features” (entidades) categorizados en “datasets” (temas) y “tables” (entidades alfanuméricas) almacenados en una base de datos.
- Recurrencia: Para pequeños grupos de trabajo (i.e. múltiples sesiones de consulta, una única sesión de edición).
- Formato de almacenamiento: Folders y archivos de sistema.
- Tamaño: Un terabyte por dataset (ampliable hasta 256 terabyte).
- Actualización: Permite actualizar información en la sesión de edición.
- Manejo de versiones: No
- Plataforma: Windows XP / Vista

2.5.4.1 Base de datos del sistema (sistema.gdb)

La **Figura 2.8** presenta la base de datos del sistema (sistema.gdb) que ha sido implementada en el software ArcGIS 9.3 (ArcCatalog). La implementación física se realizó mediante herramientas CASE y de acuerdo con la metodología especificada por el desarrollador de este software (ESRI, 2005b); (ESRI, 2008).

Las características de configuración de la base de datos son las siguientes:

- Ruta de acceso: \\escenarios01\F:\SEDAR\database_sistema\SEDAR2010\sistema.gdb
- Configuration keyword: DEFAULTS (un terabyte por dataset)
- Sistema de coordenadas y propiedades espaciales: no aplica

En el **Anexo 6** se presenta la documentación (diccionario de datos) de la base de datos del sistema en formato *.mht la cual fue generada mediante un editor de XML (GDB xRay 4.1) a partir del modelo físico implementado.

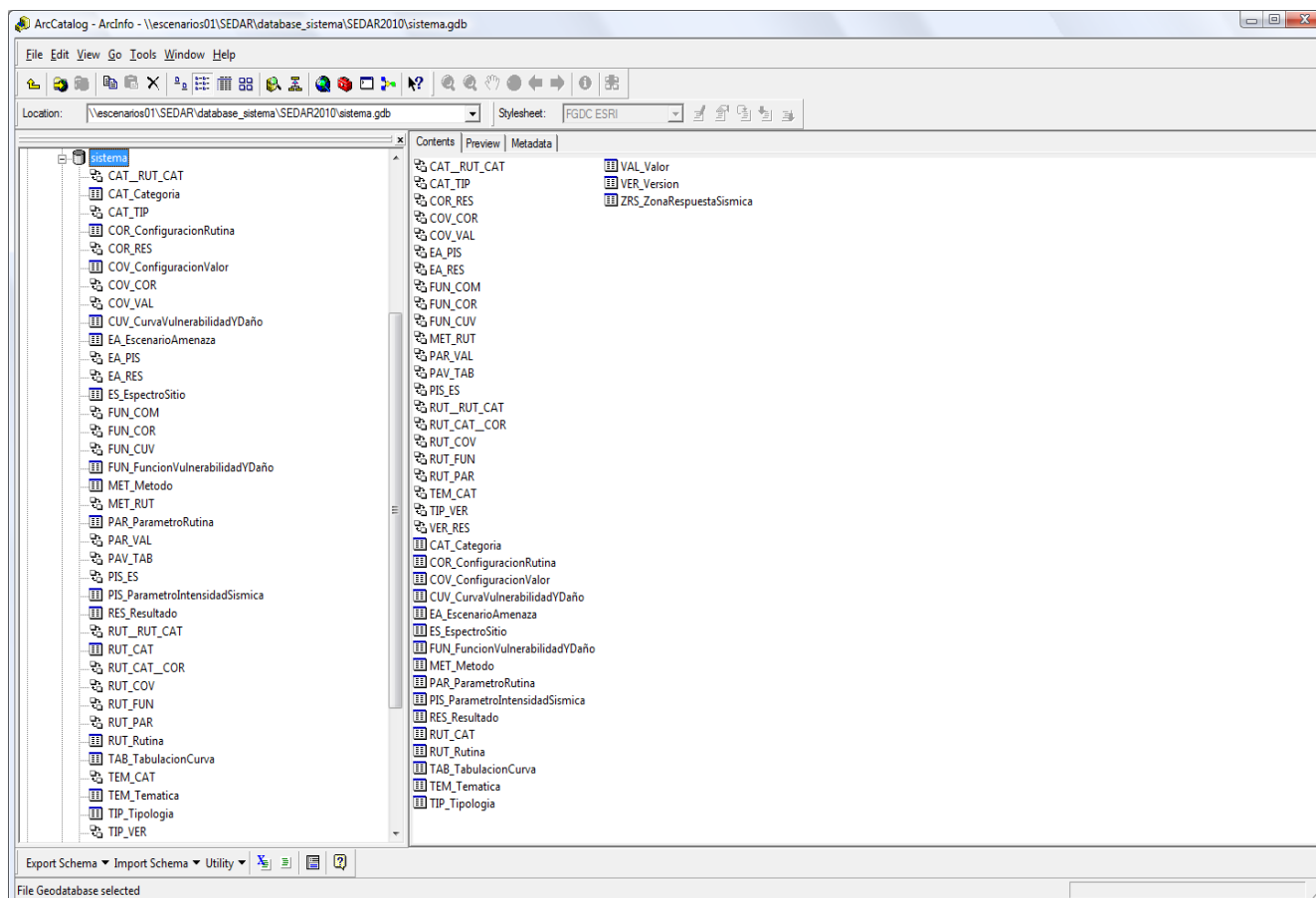


Figura 2.8. Modelo físico de la base de datos del sistema (sistema.gdb) implementada en el software ArcGIS 9.3

2.5.4.2 Base de datos de elementos expuestos (data.gdb)

La **Figura 2.9** presenta la base de datos espacial de elementos expuestos (data.gdb) que ha sido implementada en el software ArcGIS 9.3 (ArcCatalog). La implementación física se realizó mediante herramientas CASE y de acuerdo con la metodología especificada por el desarrollador de este software (ESRI, 2005b); (ESRI, 2008).

Las características de configuración de la base de datos son las siguientes:

Ruta de acceso: \\escenarios01\F:\SEDAR\database_sistema\SEDAR2010\data.gdb

Configuration keyword: DEFAULTS(un terabyte por dataset)

Sistema de coordenadas y propiedades espaciales

Proyección: Transverse_Mercator

Falso este: 92334,879000

Falso norte: 109320,965000

Meridiano central: -74,146592

Factor de escala: 1,000000

Latitud del origen: 4,680486

Unidad lineal: metro (1,000000)

Sistema de coordenadas geográficas: GCS_CartMAGBOG

Unidad angular: Grado (0,017453292519943299)

Meridiano principal: Greenwich (0,000000000000000000)

Datum: personalizado

Esferoide: personalizado

Eje semimayor: 6380687,000000000000000000

Eje semimenor: 6359293,764473118800000000

Aplanamiento inverso: 298,257222101000020000

Sistema de coordenadas en Z: ninguno

Tolerancia en XY: 0.001 m

Resolución en XY: 0.001 m

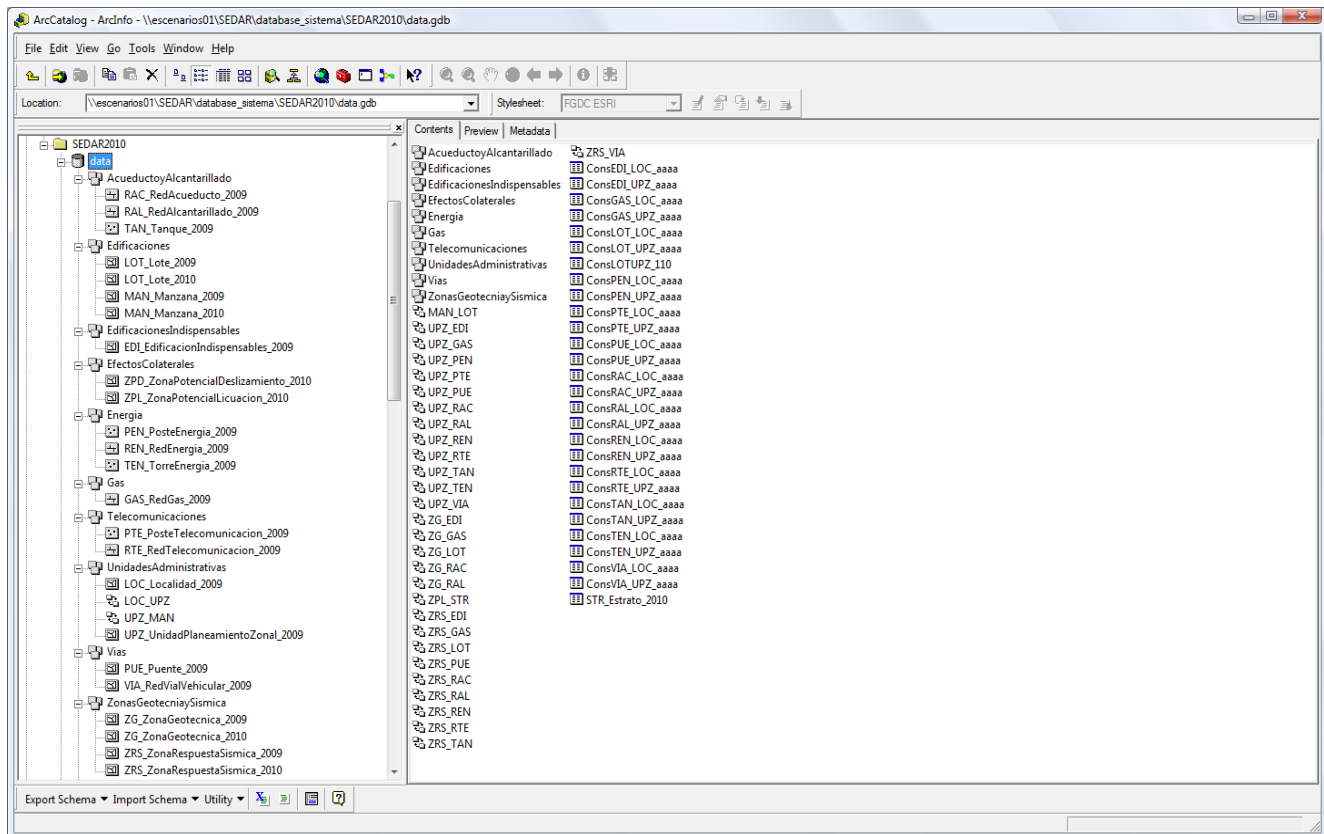


Figura 2.9. Modelo físico de la base de datos de elementos expuestos (data.gdb) implementada en el software ArcGIS 9.3

En el **Anexo 6** se presenta la documentación (diccionario de datos) de la base de datos de elementos expuestos en formato *.mht la cual fue generada mediante un editor de XML (GDB xRay 4.1) a partir del modelo físico implementado.

2.5.4.3 Base de datos de resultados de vulnerabilidad (vulnerabilidad.gdb)

La **Figura 2.10** presenta la base de datos de resultados de vulnerabilidad (vulnerabilidad.gdb) que ha sido implementada en el software ArcGIS 9.3 (ArcCatalog). La implementación física se realizó mediante herramientas CASE y de acuerdo con la metodología especificada por el desarrollador de este software (ESRI, 2005b); (ESRI, 2008).

Las características de configuración de la base de datos son las siguientes:

- Ruta de acceso: \\escenarios01\F:\SEDAR\database_sistema\SEDAR2010\vulnerabilidad.gdb
- Configuration keyword: DEFAULTS (un terabyte por dataset)
- Sistema de coordenadas y propiedades espaciales: no aplica

En el **Anexo 6** se presenta la documentación (diccionario de datos) de la base de datos de resultados de vulnerabilidad en formato *.mht la cual fue generada mediante un editor de XML (GDB xRay 4.1) a partir del modelo físico implementado.

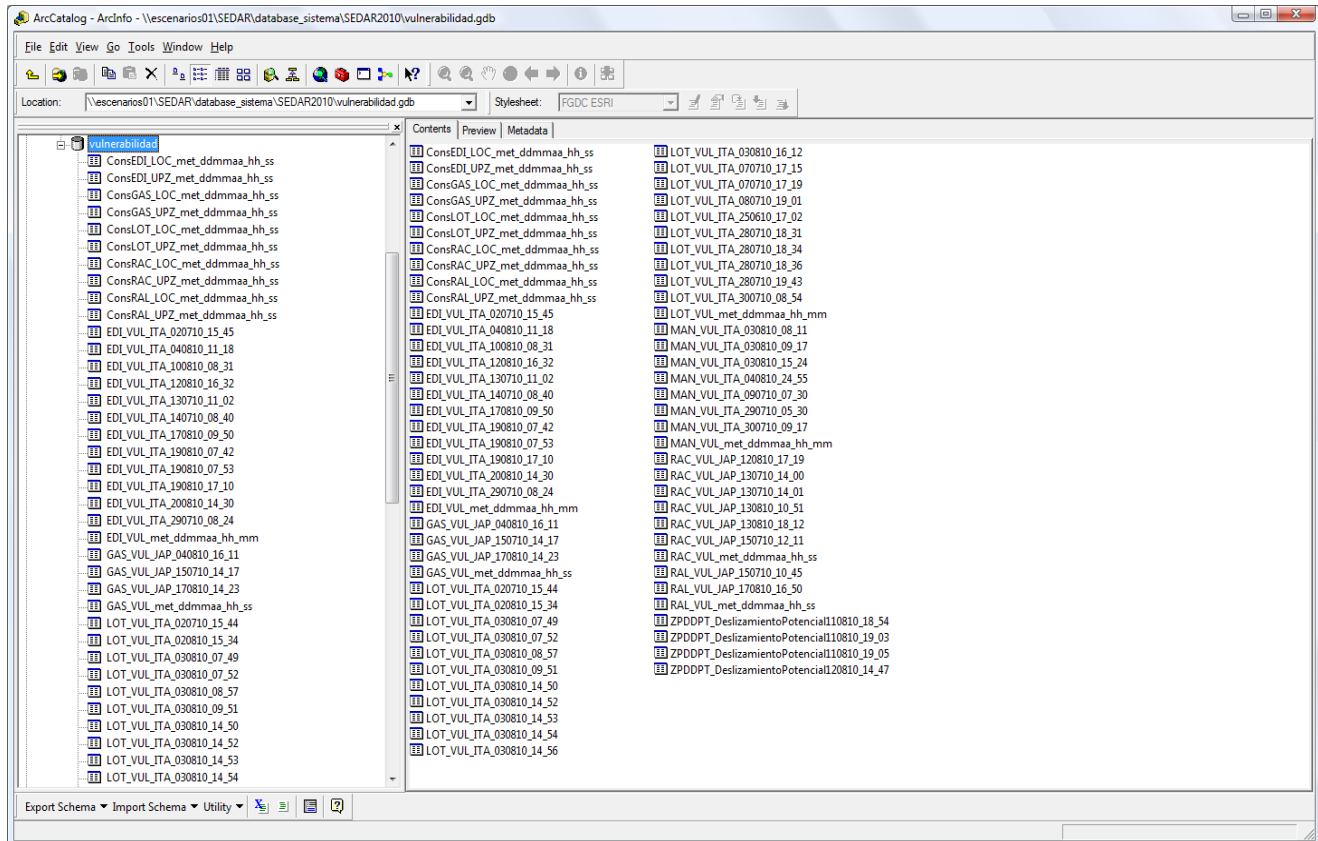


Figura 2.10. Modelo físico de la base de datos de resultados de vulnerabilidad (vulnerabilidad.gdb) implementada en el software ArcGIS 9.3

2.5.4.4 Base de datos de resultados de daño (daño.gdb)

La **Figura 2.11** presenta la base de datos de resultados de daño (daño.gdb) que ha sido implementada en el software ArcGIS 9.3 (ArcCatalog). La implementación física se realizó mediante herramientas CASE y de acuerdo con la metodología especificada por el desarrollador de este software (ESRI, 2005b); (ESRI, 2008).

Las características de configuración de la base de datos son las siguientes:

- Ruta de acceso: \\escenarios01\F:\SEDAR\database_sistema\SEDAR2010\daño.gdb
- Configuration keyword: DEFAULTS (un terabyte por dataset)
- Sistema de coordenadas y propiedades espaciales: no aplica

En el **Anexo 6** se presenta la documentación (diccionario de datos) de la base de datos de resultados de daño en formato *.mht la cual fue generada mediante un editor de XML (GDB xRay 4.1) a partir del modelo físico implementado.

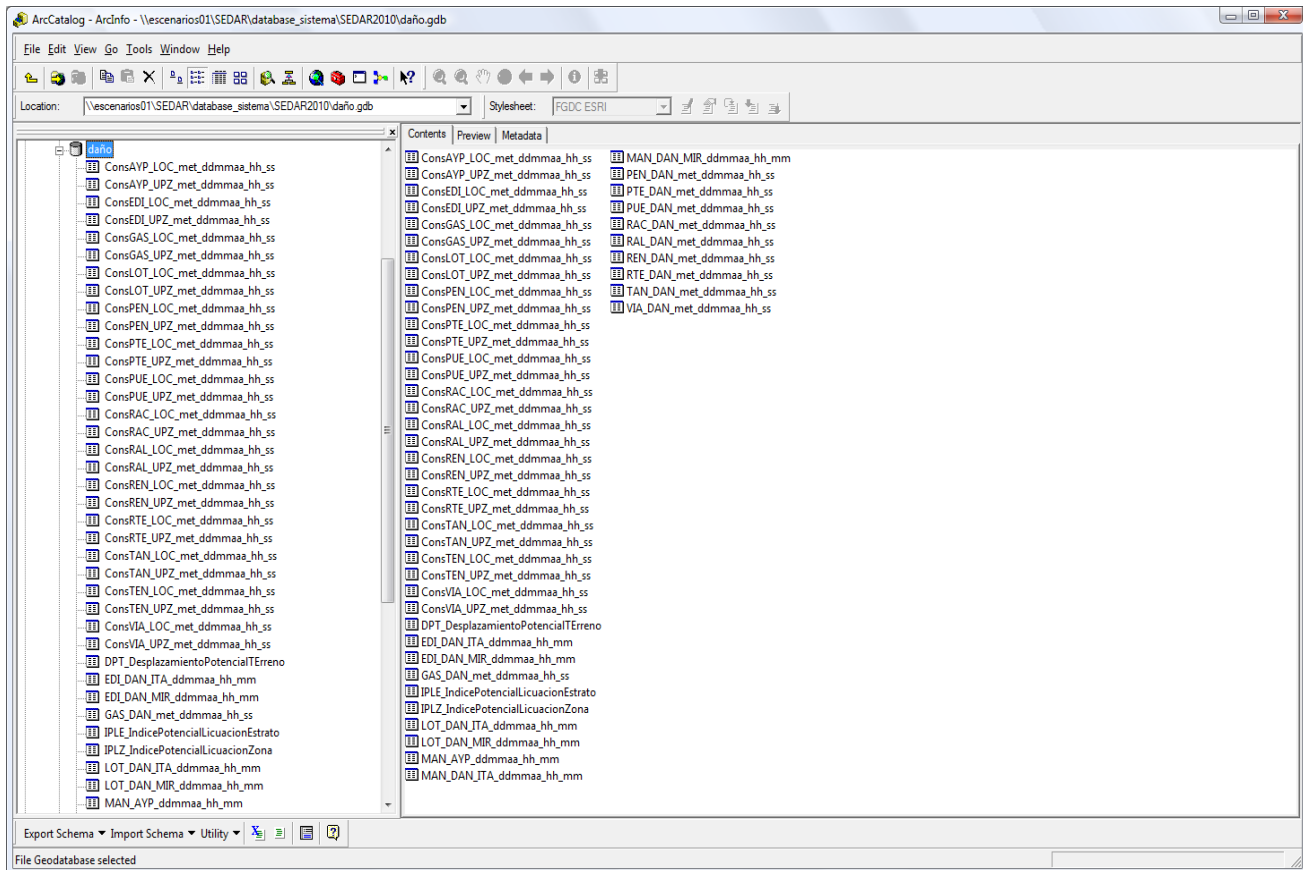


Figura 2.11. Modelo físico de la base de datos de resultados de daño (daño.gdb) implementada en el software ArcGIS 9.3

2.5.5 Actualización y mantenimiento del modelo de datos

Durante el proceso de elaboración del modelo de datos de la aplicación se estableció un esquema de trabajo que permite ejecutar la metodología descrita en el numeral 2.5.1 de este documento. Dicho esquema de trabajo permite desarrollar las tres fases de diseño (modelo conceptual, modelo lógico y modelo físico, ver **Figura 2.6**) mediante el uso de herramientas de modelamiento e implementación (i.e. UML2.0, herramientas CASE, ArcGIS 9.3 y editores de XML).

La **Figura 2.12** describe el esquema de trabajo propuesto para realizar la actualización y mantenimiento del modelo lógico, del modelo físico y de la documentación (diccionario de datos) de las bases de datos del sistema. El esquema de trabajo aplica para los cuatro tipos de modelos de datos (sistema, data, vulnerabilidad y daño) y la metodología es la siguiente:

2.5.5.1 Modelo lógico

- a) Generar el modelo lógico de la base de datos en UML2.0 mediante una herramienta CASE (MS Visio 2003) y el modelo "ArcInfoUMLModel.vsd" suministrada por ESRI.
- b) Desde la herramienta CASE, exportar el modelo lógico en formato *.xml haciendo uso de complemento "ESRIExportToXml.bas" suministrado por ESRI.
- c) Desde la herramienta CASE, validar el archivo *.xml mediante el complemento "Semantics checker" suministrado por ESRI.
- d) Desde la herramienta CASE, exportar el modelo lógico validado en formato *.xml haciendo uso de complemento "ESRIExportToXml.bas" suministrado por ESRI.

2.5.5.2 Modelo físico

- a) Desde ArcCatalog crear una nueva "file Geotadabase".
- b) Desde ArcCatalog, implementar físicamente el modelo de datos en la "file Geotadabase" vacía mediante la herramienta "Case Schema Creation".
- c) Desde ArcCatalog, exportar nuevamente la "file Geotadabase" en formato xml mediante el comando "Export XML WorkSpace Document".
- d) Desde el editor de xml (GDB Xray) abrir el "XML WorkSpace Document" generado en f).
- e) En el editor de xml especificar el sistema de referencia espacial
- f) En el editor de xml generar la documentación del modelo de datos (descripción de entidades, atributos, relaciones y alias).
- g) Desde el editor de xml guardar el "XML WorkSpace Document".
- h) Validar la semántica del archivo XML.
- i) Desde ArcCatalog, importar el "XML WorkSpace Document" mediante el comando "Import XML WorkSpace Document" en la misma base de datos implementada en el literal b).

2.5.5.3 Documentación

- a) Desde el editor de xml (GDB Xray) abrir el "XML WorkSpace Document" generado en el literal g) del numeral anterior.
- b) En el editor de xml exportar la documentación del modelo de datos en formato *.mht

Modelo Lógico

CASE TOOL (MS Visio Professional 2003)

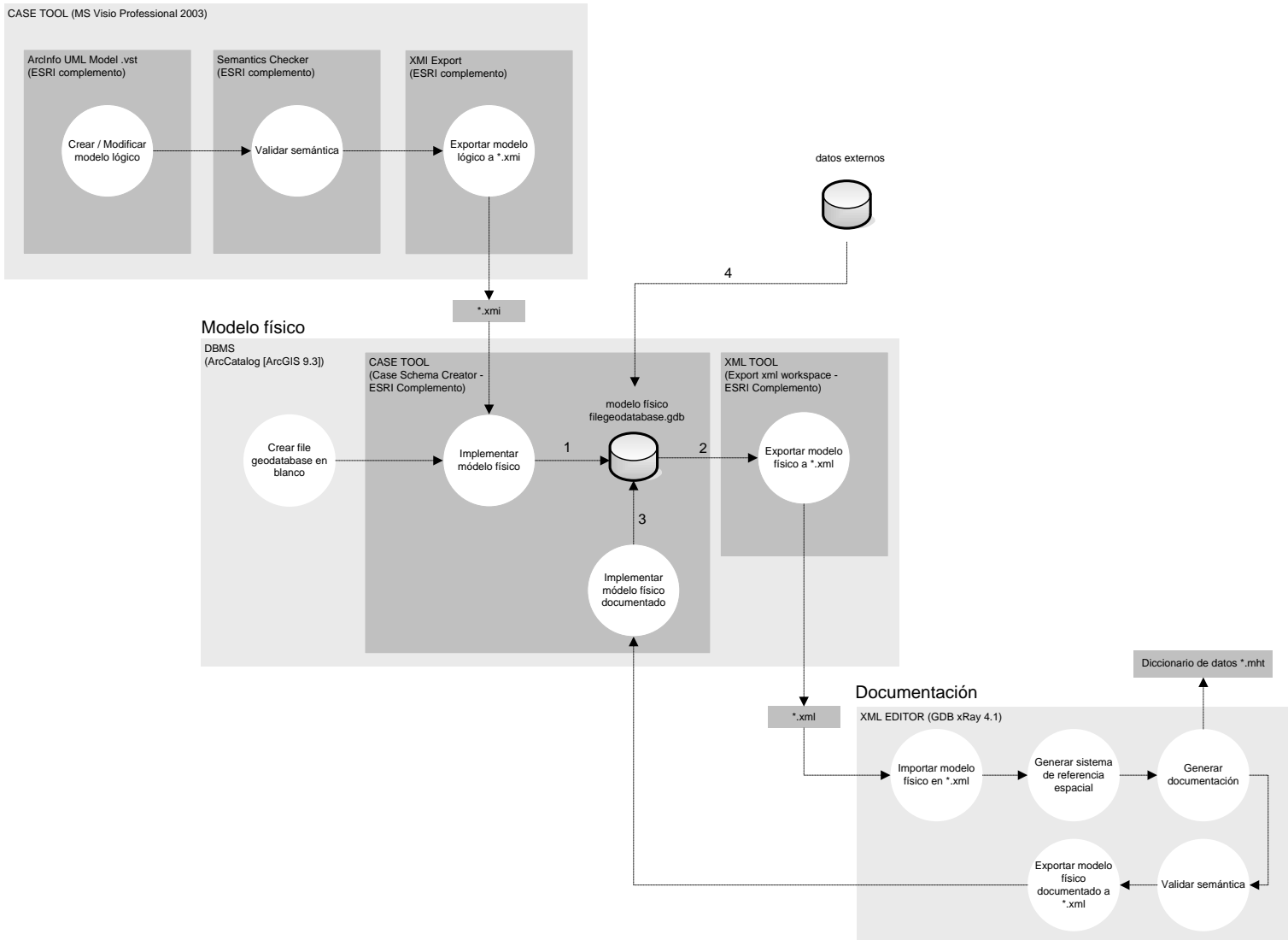


Figura 2.12. Esquema de trabajo para la creación, actualización y mantenimiento del modelo de datos

2.6 DESPLIEGUE DE LA APLICACIÓN

Para proteger la información de manipulación accidental desde el entorno ArcGis, y debido a la selección de lenguaje Java como lenguaje de programación del producto, la aplicación es independiente y utiliza objetos de ArcGis Engine (Arcgis solo permite integrar en su interfaz módulos desarrollados con la plataforma .net de Microsoft). La aplicación se despliega como un archivo bytecode que se ejecutará por una máquina virtual de Java.

Todas las clases y archivos de configuración desarrollados en la fase de programación se encuentran en un único archivo JAR; las librerías y objetos externos de Arcgis se almacenan en archivos JAR independientes, que deberán estar presentes para permitir la ejecución. No hay restricciones acerca de qué carpeta utilizar para almacenar el archivo JAR ejecutable.

El directorio de archivos donde se instala la aplicación luce de esta manera:

[Unidad:]\[Directorio de instalación].\SistemaCalculo.jar

[Unidad:]\[Directorio de instalación].\LIB\[Archivos Jar Externos]

El sistema se conecta a una base de datos GDB que preferiblemente debe encontrarse almacenada en el mismo equipo local donde se ejecuta la aplicación, aunque puede trabajar aún si la base de datos sólo se encuentra disponible a través de la red.

El aplicativo no requiere de servidores de aplicaciones para ejecutarse, por lo tanto el formato dispuesto por la entidad para despliegue de aplicaciones web no aplica.

3 MANUAL DEL USUARIO DEL APLICATIVO

El presente numeral describe detalladamente el funcionamiento de la aplicación SEDAR para el usuario común. Incluye una lista de prerequisites para su correcto funcionamiento, así como una guía de instalación de estos.

3.1 REQUERIMIENTOS MÍNIMOS

El sistema puede ejecutarse en equipos de características menores a las mencionadas a continuación, pero el rendimiento durante las corridas se ve reducido drásticamente en configuraciones menores a las aquí mencionadas.

Procesador: De doble núcleo de 2 GHz

Memoria: 2Gbytes

Espacio libre en disco duro: 3 Gbytes

3.1.1 Prerrequisitos

SEDAR es un sistema desarrollado en lenguaje JAVA, utilizando las librerías ArcObjects de ESRI. Para ejecutarse correctamente es necesario contar con:

Sistema operativo Windows XP, Windows Vista o Windows 7. *

Java Runtime Environment (JRE) 6.0 o superior.

ArcGis Desktop Administrator.

* Aunque las aplicaciones Java son multiplataforma, las librerías de ArcGis que utilizan componentes nativos solo están disponibles para sistemas Windows.

3.1.2 - Configuración del JRE

Si tiene problemas ejecutando la aplicación, o si desea comprobar la versión de la máquina virtual de Java que tiene instalada en su equipo, siga los siguientes pasos (Windows XP):

- a) En el menú inicio, seleccione la opción “Ejecutar” (Ctrl + R).
- b) En la caja de diálogo escriba “cmd” (sin comillas) y pulse Aceptar.
- c) En la consola de comandos de DOS que obtiene escriba “java –versión” (sin comillas), y pulse Enter.

A continuación aparecerá en la consola información sobre la versión de la máquina virtual, como se muestra en la **Figura 3.1**.



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe

C:\Documents and Settings\Administrador>java -version
java version "1.6.0_22"
Java(TM) SE Runtime Environment (build 1.6.0_22-b04)
Java HotSpot(TM) Client VM (build 17.1-b03, mixed mode, sharing)

C:\Documents and Settings\Administrador>
```

Figura 3.1. Comprobación de versión maquina virtual de java

El número de versión debe ser 1.6.x.

Si obtiene un mensaje de error diciendo que “java” no se reconoce el comando interno o externo, es posible que no tenga instalado el runtime de Java. Para descargar la última versión del Java Runtime Environment , o para buscar ayuda en la instalación de la máquina virtual, consulte el siguiente enlace:

<http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/index.html>

3.1.3 Acceso a Licencia de ArcGis

Debe configurar el desktop administrator de ArcGis para que busque un administrador de licencias que brinde acceso a licencias para ArcInfo o para ArcView. SEDAR busca conectarse a este administrador de licencias para poder iniciar la ejecución.

3.2 INSTALACIÓN

El sistema sedar se compone de 3 archivos, y dos bases de datos (inicialmente, éste número crece a medida que se creen nuevos escenarios de amenaza, y se calculen resultados de vulnerabilidad).

Para instalar SEDAR debe copiar los archivos “SEDAR.jar”, “ArcObjects.jar” y “DatePicker-V0.99-2006.09.01.jar” en la misma carpeta (cualquier carpeta de su elección en su sistema de archivos).

Por otra parte, debe copiar las bases de datos de información de elementos y del sistema en la ruta de su elección, y tomar nota de éstas rutas.

Se sugiere que las rutas de las bases de datos sean:

- “C:\SEDAR\database_sistema\SEDAR2010\sistema.gdb” para la base de datos del sistema.
- “C:\SEDAR\database_sistema\SEDAR2010\data.gdb” para la base de datos de elementos expuestos.
- “C:\SEDAR\database_sistema\SEDAR2010\data.gdb” para la base de datos de resultados de vulnerabilidad.
- “C:\SEDAR\database_sistema\SEDAR2010\” como directorio raíz para las bases de datos de resultados de daño.

Si decide copiar las bases de datos en un directorio diferente, deberá modificar el archivo de inicialización de la aplicación, que se encuentra dentro del archivo SEDAR.jar; para hacerlo siga los siguientes pasos:

- Abra el archivo SEDAR.jar con un gestor de archivos comprimidos (como Winzip o Winrar).

- Localice el archivo “applicationSettings.properties”, y ábralo en el bloc de notas, o en otra aplicación para edición de archivos de texto.
- Modifique los valores de las variables systemDatabaseName, inputDataGDB, vulnerabilityResultGDB y damageDir.
- licenseType=60
- systemDatabaseName=C:\\SEDAR\\database_sistema\\sedar2010\\sistema.gdb
- inputDataGDB=C:\\SEDAR\\database_sistema\\sedar2010\\data.gdb
- vulnerabilityResultGDB=C:\\SEDAR\\database_sistema\\sedar2010\\vulnerabilidad.gdb
- damageDir=C:\\SEDAR\\database_sistema\\sedar2010\\

Nota: Como se aprecia en el ejemplo anterior El separador de directorios es un doble backslash (“\\”). Tenga cuidado con las rutas, si no están configuradas correctamente la aplicación no podrá iniciar.

3.3 EJECUCIÓN DE SEDAR

Para ejecutar SEDAR debe dar doble click en el archivo “SEDAR.jar”. Esto lanzará la aplicación, y no debería haber problemas en la pantalla de cargue (ver **Figura 3.2**) y despliegue de la pantalla principal.

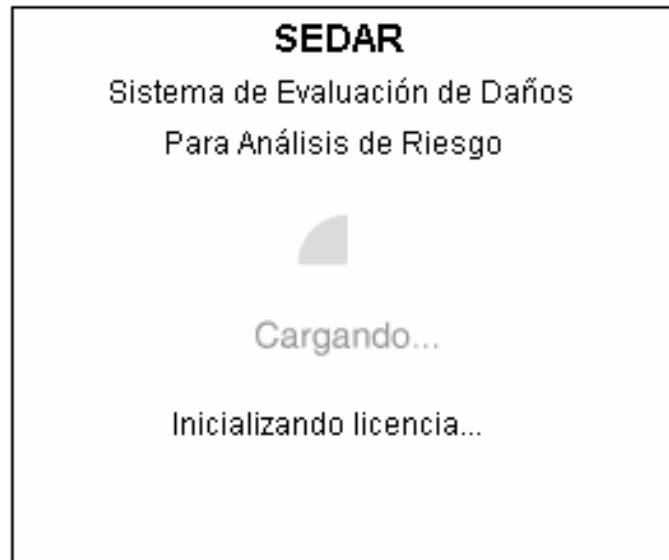


Figura 3.2. Pantalla de carga del sistema SEDAR.

A continuación se muestran algunos errores que pueden presentarse durante el lanzamiento de la aplicación, y se da una descripción del error y cómo puede solucionarse:

- Al intentar ejecutar la aplicación se muestra una ventana “Abrir con” como se muestra en la **Figura 3.3**.
- Causa y solución: Este mensaje se obtiene si no está instalada correctamente el Java Runtime Environment. Para instalarlo diríjase al siguiente enlace: <http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/index.html>

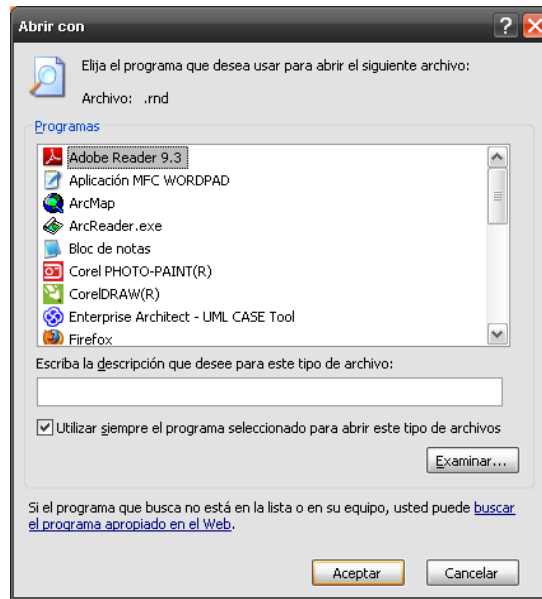


Figura 3.3. Seleccionar aplicación

- Se muestra la pantalla de cargue, pero se obtiene el siguiente mensaje de error antes de ver la pantalla principal. La aplicación finaliza (Ver **Figura 3.4**).

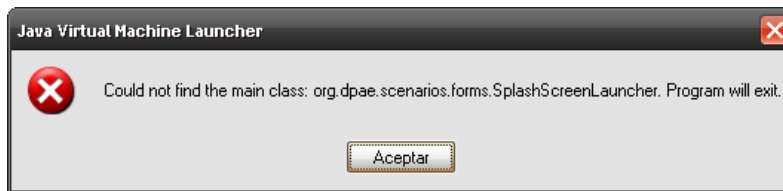


Figura 3.4. Error al cargar SEDAR

Causa y solución: El mensaje se muestra cuando se produce un error inesperado cargando la clase principal. En la aplicación SEDAR, esto se da porque no es posible crear el enlace entre la aplicación y las librerías de Arcgis. Para solucionar el problema debe copiar las librerías “ArcObjects.jar” y “DatePicker-V0.99-2006.09.01.jar” en el mismo directorio donde está “SEDAR.jar”.

- Se muestra la pantalla de cargue, se logra inicializar la licencia, pero se obtiene el siguiente mensaje de error antes de ver la pantalla principal. La aplicación finaliza al dar clic en aceptar (Ver **Figura 3.5**).

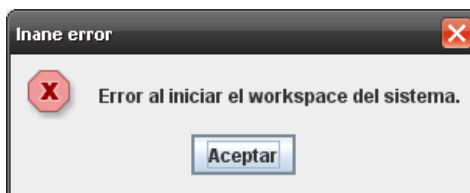


Figura 3.5. Error al cargar las bases de datos

Causa y solución: Las rutas de las bases de datos están mal escritas en el archivo “applicationSettings.properties”. Consulte la sección “Instalación” para ver cómo solucionar el problema.

3.4 PANTALLA PRINCIPAL

Una vez finaliza la inicialización de la licencia y el cargue inicial de la información necesaria para ejecutar SEDAR, se mostrará la pantalla principal de la aplicación (ver **Figura 3.6**), compuesta por una barra de título, una barra de menús, y un área de trabajo.



Figura 3.6. Pantalla principal

La barra de título siempre muestra el nombre de la aplicación “SEDAR-Sistema de evaluación de Daños para Análisis de Riesgo”, pero adicionalmente puede mostrar el nombre del escenario de amenaza seleccionado por el usuario.

3.5 MENÚ ARCHIVO



Figura 3.7. Menú archivo

3.5.1 Seleccionar escenario de amenaza

Permite cambiar el escenario de amenaza seleccionado actualmente, o seleccionar un escenario si aún no hay alguno seleccionado. Al dar clic en ésta opción se despliega la pantalla de selección de escenarios de amenaza donde se listan los escenarios registrados en el sistema, así como información detallada del escenario seleccionado, como se muestra en la **Figura 3.8**.

Figura 3.8. Selección del escenario de amenaza

Al dar clic en Aceptar se cambiará el escenario de amenaza trabajo por el que se encuentre seleccionado en la pantalla. Pulsar el botón Cancelar no producirá cambios en el sistema.

Nota: Los escenarios de amenaza deben registrarse manualmente en la base de datos del sistema. SEDAR no ofrece una funcionalidad para registro de escenarios.

3.5.2 Registrar Elementos Expuestos

Al dar clic en esta opción del menú se muestra la pantalla de elementos expuestos (**Figura 3.9**). Esta pantalla presenta una lista de todas las tipologías de elementos que maneja la aplicación, y para cada una de ellas, un listado de las versiones que han sido registradas.

Cobertura de información	Versión	Fuente	Fecha de elaboración	Fecha de Registro	Nombre de tabla en FGDB.	Eliminar
Edificaciones						
Edificaciones - Lotes	1	Catastro Distrital	31/12/05	30/11/09	LOT_Lote_2010	
Edificaciones - Manzanas	1	Catastro Distrital	31/12/05	30/11/09	MAN_Manzana_2010	
Edificaciones indispensable...	1	DPAE	30/11/09	30/11/09	EDI_EdificacionIndispensabl...	
Lineas Vitales						
Acueducto	1	EAAB	30/09/09	30/11/09	RAC_RedAcueducto_2009	
Alcantarillado	1	EAAB	30/09/09	30/11/09	RAL_RedAlcantarillado_2009	
Tanques	1	EAAB	30/09/09	30/11/09	TAN_Tanque_2009	
Red eléctrica	1	EEB	30/09/09	18/01/10	REN_RedEnergia_2009	
Red telecomunicaciones	1	DPAE	30/12/99	16/07/10	RTE_RedTelecomunicacion...	
Red de gas	1	Gas Natural	30/09/09	30/11/09	GAS_RedGas_2009	
Puentes	1	IDU	-	12/03/10	PUE_Puente_2009	

Figura 3.9. Registro de elementos expuestos

Para cada tipología se dispone de una caja de selección que muestra el número de versión registrada para cada tipología. Al cambiar el número de versión se actualiza la información de fecha de elaboración, fecha de registro, Nombre de la tabla en la base de datos, y Fuente. En la parte derecha de la pantalla hay una serie de botones que permiten eliminar las versiones registradas.

Para eliminar una versión debe asegurarse que ésta no haya sido utilizada como punto de partida para obtener resultados, ya sea de daño o de vulnerabilidad.

Finalmente, en la parte inferior izquierda verá el botón “Registrar nueva versión”. Al pulsar el botón aparecerá la pantalla de registro (**Figura 3.10**).

Figura 3.10. Registro de elementos

La pantalla de registro muestra en la parte superior una lista de todas las tipologías que son manipuladas por la aplicación. Al cambiar la tipología seleccionada se actualiza la parte inferior para que en la lista de tablas aparezcan aquellas que correspondan con la tipología seleccionada y que aún no han sido registradas.

Pulse el botón aceptar para continuar el proceso de registro, pulse Cancelar para volver a la pantalla anterior sin ejercer cambios.

Nota: Las tablas que aparecen listadas en la pantalla de registro deben ser creadas manualmente en la base de datos de elementos, y cumplir con las siguientes reglas de nombramiento:

- Las tablas de acueducto deben estar en el dataset AcueductoyAlcantarillado y comienzan con el prefijo RAC.
- Las tablas de alcantarillado deben estar en el dataset AcueductoyAlcantarillado y comienzan con el prefijo RAL.
- Las tablas de tanques deben estar en el dataset AcueductoyAlcantarillado y comienzan con el prefijo TAN.
- Las tablas de edificaciones normales deben estar en el dataset Edificaciones, y comienzan con el prefijo LOT para el featureClass de lotes, y MAN para el de manzanas.
- Las tablas de edificaciones indispensables deben estar en el dataset EdificacionesIndispensables, y comienzan con el prefijo ED I.

- Las tablas de la red de Energía deben estar en el dataset Energía, y comienzan con el prefijo REN.
- Las tablas de la red de distribución de Gas deben estar en el dataset Gas, y comienzan con el prefijo GAS
- Las tablas de la red de Telecomunicaciones deben estar en el dataset Telecomunicaciones, y comienzan con el prefijo RTE.

Adicionalmente, las tablas deben tener la misma estructura que describe el diccionario de datos y prepararse de acuerdo con la guía de estructuración de información presentada en el **Anexo 7**.

Antes de registrar una tabla, SEDAR comprueba que los campos y tipos de datos de la nueva tabla sean idénticos a los descritos en el diccionario de datos. En caso de que la validación no sea satisfactoria, se mostrará un mensaje de error como el que se muestra en la **Figura 3.13**, y la tabla no será registrada.

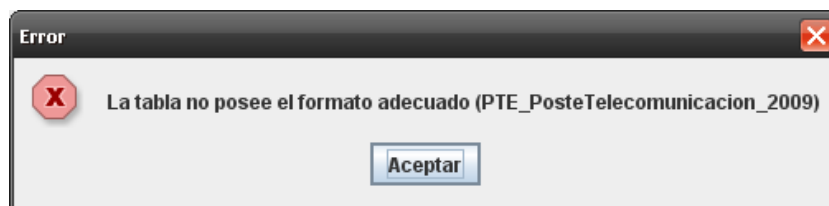


Figura 3.11. Error de compatibilidad con el modelo de datos

3.5.3 Salir

Termina la ejecución de SEDAR. Primero pide al usuario que asegure que desea cerrar la aplicación (ver **Figura 3.12**).

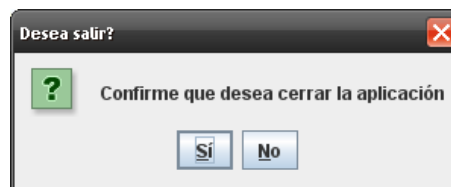


Figura 3.12. Cerrar la aplicación

3.6 MENÚ VULNERABILIDAD



Figura 3.13. Menú vulnerabilidad

Permite lanzar las rutinas para cálculo de resultados de vulnerabilidad para las tipologías que lo permiten.

3.6.1 Edificaciones

Muestra la pantalla de lanzamiento de la rutina de cálculo de vulnerabilidad del método italiano para edificaciones normales.

El aspecto de las pantallas de lanzamiento es similar para todas las rutinas que se ejecutan en SEDAR. El aspecto es similar al mostrado en la **Figura 3.14**.

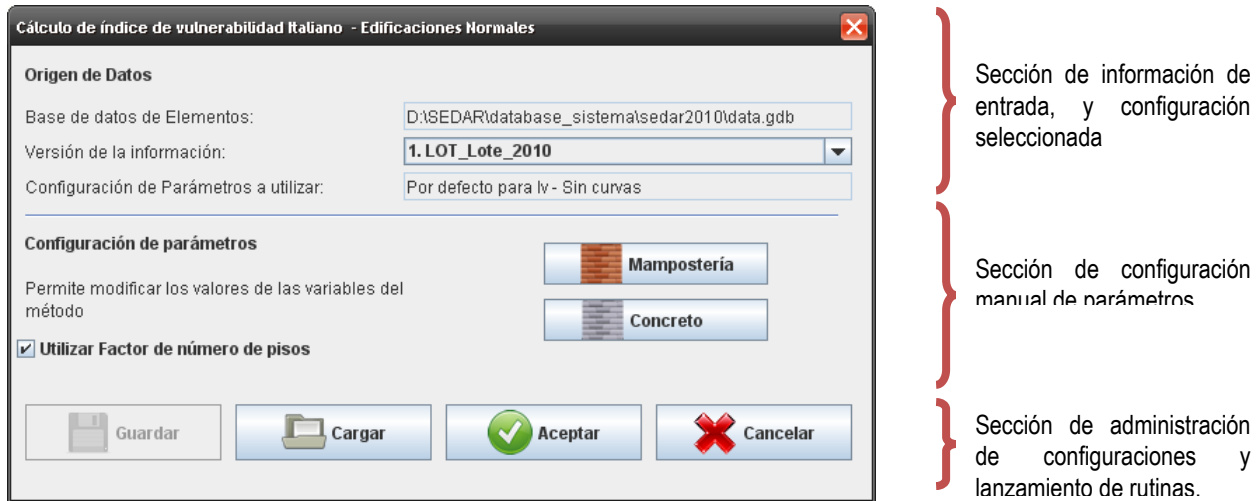


Figura 3.14. Configuración del índice de vulnerabilidad en edificaciones

Sección de información de entrada y configuración seleccionada: en este caso se listarán las tablas de edificaciones normales (Lotes) que hayan sido registradas en el sistema, y se mostrará la ruta en disco duro de la base de datos de elementos. También aparece el nombre de la configuración con la que se ejecutará el método.

Sección de configuración manual de parámetros: En el cálculo de vulnerabilidad de edificaciones aparecen dos botones que permiten configurar los parámetros utilizados por la rutina para construcciones de mampostería (**Figura 3.15**) y concreto (**Figura 3.16**). Al pulsar en estos botones aparecerán las pantallas de configuración específicas para estos parámetros.

Nombre de la variable	A	B	C	D	K
Organización del sistema resistente	0	5	20	45	1
Calidad del sistema resistente	0	5	25	45	0,25
Resistencia convencional	0	5	25	45	1,5
Posición del edificio y cimentación	0	5	25	45	0,75
Diafragmas horizontales	0	5	15	45	1
Configuración en planta	0	5	25	45	0,5
Configuración en elevación	0	5	25	45	1
Separación máxima entre muros	0	5	25	45	0,25
Tipo de cubierta	0	15	25	45	1
Elementos no estructurales	0	0	25	45	0,25
Estado de conservación	0	5	25	45	1

Figura 3.15. Configuración de parámetros método italiano edificaciones en mampostería

Configuración de parámetros del método italiano para edificaciones de Concreto

Nombre de la Variable	A	B	C	K
Organización del sistema resistente	0	1	2	4
Calidad del sistema resistente	0	1	2	1
Resistencia convencional	-1	0	1	1
Posición del edificio y cimentación	0	1	2	1
Diagramas horizontales	0	1	2	1
Configuración en planta	0	1	2	1
Configuración en elevación	0	1	3	2
Conexión entre elementos críticos	0	1	2	1
Elementos de baja ductilidad	0	1	2	1
Elementos no estructurales	0	1	2	1
Estado de conservación	0	1	2	1

Figura 3.16. Configuración de parámetros método italiano edificaciones en concreto reforzado

Sección de administración de configuraciones y lanzamiento de rutinas: Permite guardar y cargar configuraciones de parámetros en la base de datos del sistema. Al pulsar en el botón aceptar se inicia la ejecución de la corrida. Esta sección funciona de manera idéntica para todas las interfaces de lanzamiento, por lo tanto no será descrita nuevamente en el resto del presente documento.

3.6.2 Edificaciones Indispensables

Muestra la pantalla de lanzamiento de la rutina de cálculo de vulnerabilidad del método italiano para edificaciones Indispensables. El aspecto de la pantalla es igual al de edificaciones normales, con la salvedad que la Sección de información de entrada y configuración seleccionada listará las tablas de edificaciones indispensables que hayan sido registradas en el sistema. El funcionamiento de la pantalla es el mismo.

3.6.3 Tuberías

Muestra la pantalla de lanzamiento para la rutina de cálculo de vulnerabilidad en tuberías de acueducto, gas y acueducto (ver **Figura 3.17**).

Cálculo del factor de Vulnerabilidad Japonés - Tuberías

Origen de Datos

Base de datos de Elementos: D:\SEDAR\database_sistema\sedar2010\data.gdb

Versión de la información: 1. RAC_RedAcueducto_2009

Configuración de Parámetros a utilizar: Por defecto para Fv - Sin curvas

Configuración de parámetros

Figura 3.17. Configuración del método japonés

Sección de información de entrada y configuración seleccionada: Se listarán las tablas de acueducto, alcantarillado y gas que hayan sido registradas en el sistema, y se mostrará la ruta en disco duro de la base de datos de elementos. También aparece el nombre de la configuración con la que se ejecutará el método.

Sección de configuración manual de parámetros (**Figura 3.18**): Contiene un botón que permitirá seleccionar los parámetros utilizados en el cálculo de vulnerabilidad de tuberías, que incluyen los factores de corrección por material (CP), condiciones de terreno (CG y CL) y por diámetro (CD).

Material	Factor de correccion
A - Acero	0,3
AC - AsbestoCemento	1
AD - PolietilenoAltaDensidad	0,1
ARB - AceroConRecubrimientoBituminoso	0,3
BD - PolietilenoBajaDensidad	0,1
CCP - ConcretCylindricPipe	1
CR - ConcretoReforzado	1
CU - Cobre	0,3
DES - Desconocido	1
GAL - Galvanizado	0,3
HA - HierroAcerado	0,3
HC - HierroColado	0,3
HD - HierroDúctil	0,3
HF - HierroFundido	0,8
HG - HierroGalvanizado	0,3
PCCP - PretensedConcreteCylindricPipe	1
PE - Polietileno	0,1
PFUA - PipeFlexUltraDensity	0,1
PP - AlmaAluminio	0,3
PVC - PVC	0,5
RCN - RevestimientoConcretoNeumático	1

Figura 3.18. Configuración de factores de corrección por material de la conducción

La pestaña para configurar factores de corrección por material muestra todos los materiales y el factor de corrección asociado a cada material. Permite asignar un nuevo valor numérico, pero no es posible registrar nuevos materiales, pues todos hacen parte de un dominio en la base de datos de elementos (ver **Figura 3.19**).

ZG	CL	CG
1=Cerros A	1	0,4
2=Cerros B	1	0,4
3=Piedemonte A	1	1
4=Piedemonte B	1	1
5=Piedemonte C	1	1
6=Lacustre A	1	1,5
7=Lacustre B	1	1,5
8=Lacustre C	1	1,5
9=Aluvial	1,5	1,25
10=Llanura A	2	1,5
11=Llanura B	2	1,25
12=Cauce	2	1,25
13=Depósito ladera	1	2,5
14=Suelo residual	1	1
15=Basura	1	1,5
16=Relleno	1	1,5
17=Excavación	1	1,5

Figura 3.19. Configuración de factores de corrección por condiciones del terreno

Los factores de corrección por condiciones de terreno son CL y CG. Pueden configurarse desde la misma pantalla para cada una de las zonas registradas en la tabla de terreno en la base de datos de elementos (ver **Figura 3.20**).

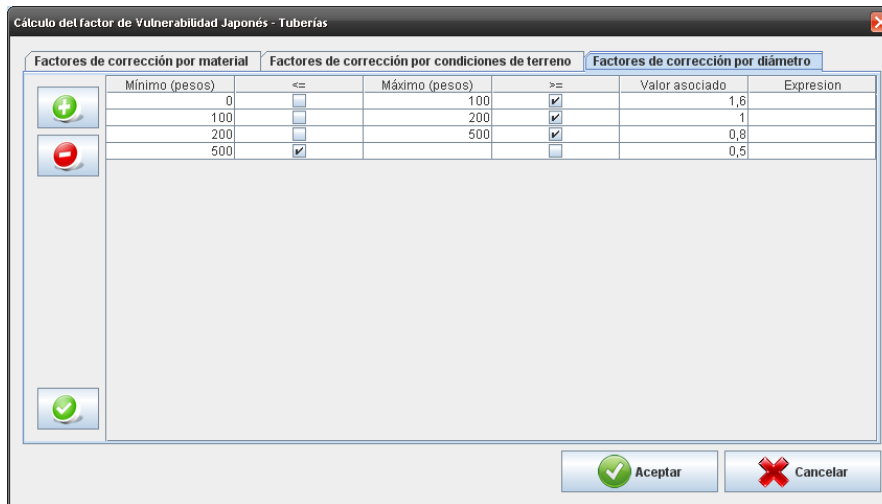


Figura 3.20. Factores de corrección por diámetro de la conducción

La pestaña de factores de corrección por diámetro muestra inicialmente la configuración por defecto. Estos valores son rangos de diámetros para los que se asocia un valor. Pueden crearse o eliminarse tantas filas como sea necesario.

3.7 MENÚ DAÑOS INICIALES



Figura 3.21. Menú de daños iniciales

Las opciones del menú Daños Iniciales permiten calcular los daños sufridos en los elementos según el escenario de amenaza seleccionado por el usuario. El menú aparece deshabilitado si no hay escenario seleccionado.

3.7.1 Edificaciones, método Italiano

Lanza la pantalla de configuración de la rutina de cálculo de daños por el método italiano (ver Figura 3.22).

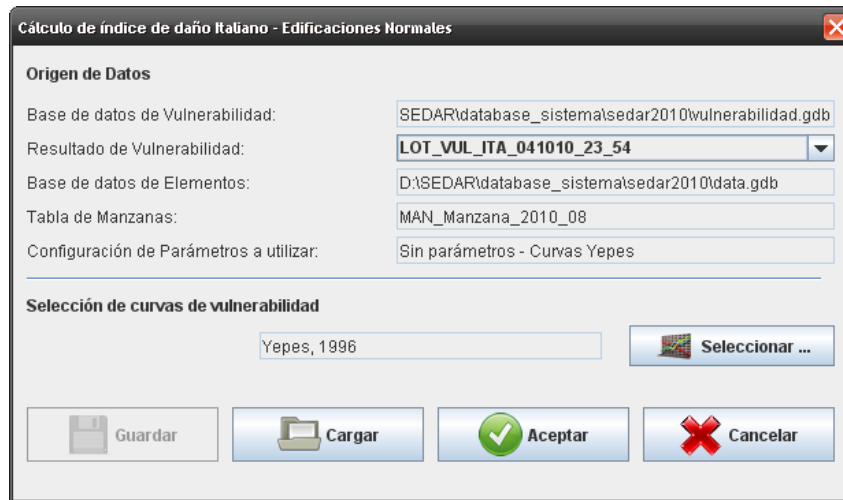


Figura 3.22. Configuración del método italiano para daño en edificaciones

Sección de información de entrada y configuración seleccionada: Se listarán las tablas de resultados de vulnerabilidad obtenidas para edificaciones normales. Se mostrará la ruta en disco duro de la base de datos de vulnerabilidad. También aparece el nombre de la configuración con la que se ejecutará el método.

Sección de configuración manual de parámetros (**Figura 3.23**): Contiene un botón que permitirá seleccionar la curva de vulnerabilidad utilizada durante el cálculo de daño.

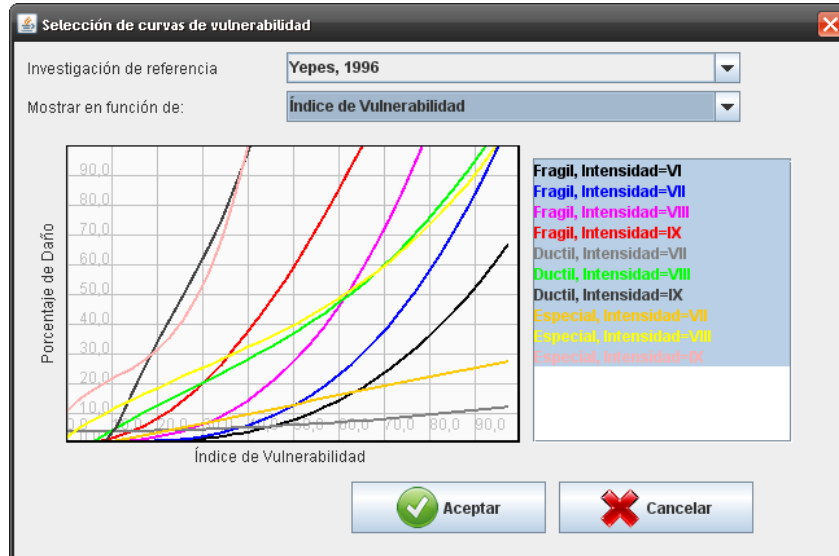


Figura 3.23. Selección de curvas de vulnerabilidad

En esta pantalla se mostrará en la parte superior una lista de las familias de funciones disponibles para la rutina y tipología seleccionada. Abajo se listarán las unidades en las que se obtiene el valor resultante al despejar la función. Y más abajo se graficarán las funciones que estén seleccionadas en la parte derecha de la pantalla.

Al dar clic en el botón aceptar se elegirá la familia de curvas que se encuentre seleccionada actualmente para ser utilizada en el proceso de cálculo de índice de daño.

3.7.2 Edificaciones, método Miranda

Al seleccionar esta opción en el menú se desplegará la pantalla de configuración de la rutina de cálculo de daño del método Miranda, como se muestra en la **Figura 3.24**.

Figura 3.24. Configuración del Método Miranda

Sección de información de entrada y configuración seleccionada: Se listarán las tablas de resultados de edificaciones normales registradas en la base de datos del sistema. Se mostrará la ruta en disco duro de la base de datos de elementos. También aparece el nombre de la configuración con la que se ejecutará el método.

Sección de configuración manual de parámetros (**Figura 3.25**): Contiene dos botones, el primero (configurar parámetros) que permite modificar los valores por defecto para las variables alfa del método Miranda, y el segundo (seleccionar investigación) permitirá seleccionar la curva de vulnerabilidad utilizada durante el cálculo de daño. Es la misma pantalla que se utiliza en la rutina de cálculo de daño del método italiano

Sistemas estructurales	Alfa
Pórticos en Acero	1,4
Pórticos en Concreto Reforzado	1,2
Sistema Dual	1,0
Sistema Combinado	8
Muros Estructurales en Concreto Reforzado	1,5
Muros Estructurales en Mampostería Reforzada	1,5
Muros Estructurales en Mampostería Confinada	1,5
Sistema Estructural en Madera	1,5
Sistema estructural prefabricado	1,5

Tipo de Distribución de Carga: Parabólica

Figura 3.25. Configuración parámetros método Miranda

3.7.3 Edificaciones indispensables, método Italiano

Al seleccionar esta opción en el menú se desplegará la pantalla de configuración de la rutina de cálculo de daño del método Italiano. La pantalla es idéntica a la rutina de cálculo de daño por método italiano en edificaciones normales, con pequeños cambios en la siguiente sección:

Sección de información de entrada y configuración seleccionada: Se listarán las tablas de resultados de vulnerabilidad de edificaciones indispensables registradas en la base de datos del sistema.

3.7.4 Edificaciones indispensables, método Miranda

Al seleccionar esta opción en el menú se desplegará la pantalla de configuración de la rutina de cálculo de daño del método Miranda. La pantalla es idéntica a la rutina de cálculo de daño por método Miranda en edificaciones normales, con pequeños cambios en la siguiente sección:

Sección de información de entrada y configuración seleccionada: Se listarán las tablas de edificaciones indispensables registradas en la base de datos del sistema.

3.7.5 Tuberías

Al seleccionar esta opción en el menú se desplegará la pantalla de configuración de la rutina de cálculo de daño en tuberías por el método de Kubo y Katayama, como se muestra en la **Figura 3.26**.



Figura 3.26. Configuración de corrida de daño en tuberías

Sección de información de entrada y configuración seleccionada: Se listarán las tablas de resultados de vulnerabilidad calculadas para tuberías de acueducto, alcantarillado y gas. Se mostrará la ruta en disco duro de la base de datos de elementos. También aparece el nombre de la configuración con la que se ejecutará el método.

Sección de configuración manual de parámetros: Contiene un botón que permitirá seleccionar la curva de utilizada durante el cálculo, mediante la pantalla de selección de curvas descrita anteriormente.

3.7.6 Tanques

Al seleccionar esta opción en el menú se desplegará la pantalla de configuración de la rutina de cálculo de daño en tanques por el método ALA, como se muestra en la **Figura 3.27**.

Cálculo de estado de daño - Tanques

Origen de Datos

Base de datos de Elementos: F:\SEDAR\database_sistema\sedar2010\data.gdb

Versión de la información: 1. TAN_Tanque_2009

Configuración de Parámetros a utilizar: Sin parámetros - Curvas ALA

Selección de curvas de vulnerabilidad

ALA, 2001 [Seleccionar ...]

[Guardar] [Cargar] [Aceptar] [Cancelar]

Figura 3.27. Configuración de la corrida de daño en tanques

Sección de información de entrada y configuración seleccionada: Se listarán las tablas de versiones registradas en el sistema para las topologías de tuberías de acueducto, alcantarillado y gas. Se mostrará la ruta en disco duro de la base de datos de vulnerabilidad. También aparece el nombre de la configuración con la que se ejecutará el método.

Sección de configuración manual de parámetros: Contiene un botón que permitirá seleccionar la curva de utilizada durante el cálculo, mediante la pantalla de selección de curvas descrita anteriormente.

3.7.7 Cables

Al seleccionar esta opción en el menú se desplegará la pantalla de configuración de la rutina de cálculo de daño en cables por el método Kubo y Katayama (ver **Figura 3.28**).

Calculo de daño en cables

Origen de Datos

Base de datos de Elementos: F:\SEDAR\database_sistema\sedar2010\data.gdb

Versión de la información: 1. REN_RedEnergia_2009

Configuración de Parámetros a utilizar: Sin parámetros - Curvas Jica

Selección de curvas de vulnerabilidad

Jica, 2002 [Seleccionar ...]

[Guardar] [Cargar] [Aceptar] [Cancelar]

Figura 3.28. Configuración de la corrida de daño en cables

Sección de información de entrada y configuración seleccionada: Se listarán las tablas registradas en el sistema para las redes de cableado eléctrico y de telecomunicaciones. Se mostrará la ruta en disco duro de la base de datos de elementos. También aparece el nombre de la configuración con la que se ejecutará el método.

Sección de configuración manual de parámetros: Contiene un botón que permitirá seleccionar la curva de utilizada durante el cálculo, mediante la pantalla de selección de curvas descrita anteriormente.

3.7.8 Puentes

Al seleccionar esta opción en el menú se desplegará la pantalla de configuración de la rutina de cálculo de daño en puentes por el método RSM, como se muestra en la **Figura 3.29**.

The screenshot shows a dialog box titled "Calculo de daño en puentes". It is divided into two main sections: "Origen de Datos" and "Configuración de parámetros".

- Origen de Datos:**
 - Base de datos de Elementos: F:\SEDAR\database_sistema\sedar2010\data.gdb
 - Versión de la información: 1. PUE_Puente_2009
 - Configuración de Parámetros a utilizar: Sin parámetros - Curvas RSM
- Configuración de parámetros:**
 - A text field contains "RSM, 1997".
 - A button labeled "Seleccionar ..." is next to it.

At the bottom of the dialog, there are four buttons: "Guardar" (disabled), "Cargar" (disabled), "Aceptar" (active), and "Cancelar" (active).

Figura 3.29. Configuración de la corrida de daño en puentes

Sección de información de entrada y configuración seleccionada: Se listarán las tablas de puentes registras en el sistema. Se mostrará la ruta en disco duro de la base de datos de elementos. También aparece el nombre de la configuración con la que se ejecutará el método.

Sección de configuración manual de parámetros: Contiene un botón que permitirá seleccionar la curva de utilizada durante el cálculo, mediante la pantalla de selección de curvas descrita anteriormente.

3.7.9 Licuación

Al seleccionar esta opción en el menú se desplegará la pantalla de lanzamiento de la rutina de cálculo de afectaciones por licuación en el terreno (ver **Figura 3.30**). Esta rutina no tiene parámetros. Por lo tanto la Sección de información de entrada y configuración seleccionada no aparece visible y se deshabilitan los botones de cargue y almacenamiento de configuraciones.

The screenshot shows a dialog box titled "Cálculo de afectaciones por licuación.". It is divided into one main section: "Origen de Datos".

- Origen de Datos:**
 - Base de datos de Vulnerabilidad: F:\SEDAR\database_sistema\sedar2010\data.gdb
 - Tabla de datos: 1. ZPL_ZonaPotencialLicuacion_2010

At the bottom of the dialog, there are four buttons: "Guardar" (disabled), "Cargar" (disabled), "Aceptar" (active), and "Cancelar" (active).

Figura 3.30. Configuración de la rutina para el cálculo de afectaciones por licuación

3.7.10 Deslizamiento

Al seleccionar esta opción en el menú se desplegará la pantalla de lanzamiento de la rutina de cálculo de afectaciones por deslizamiento en el terreno (ver **Figura 3.31**). Esta rutina no tiene parámetros. Por lo tanto la Sección de información de entrada y configuración seleccionada no aparece visible y se deshabilitan los botones de cargue y almacenamiento de configuraciones.

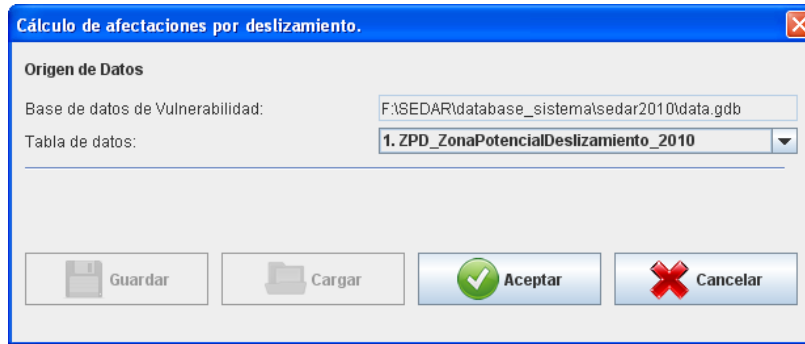


Figura 3.31. Configuración de la rutina para el cálculo de afectaciones por licuación

3.8 MENÚ DAÑOS SECUNDARIOS

Las opciones del menú Daños Secundarios permiten calcular los daños indirectos sufridos en los elementos debido al daño en el terreno. El menú aparece deshabilitado si no hay escenario seleccionado. En la **Figura 3.32** se muestra dicho menú.



Figura 3.32. Menú de lanzamiento de la sección de daños secundarios

Casi todos los elementos requieren que se haya calculado el daño inicial para poder calcular los daños secundarios. Solo Torres y Postes pueden calcularse sin ejecutar un cálculo de daño inicial.

3.8.1 Edificaciones y edificaciones Indispensables

Al seleccionar las opciones de Edificaciones y Edificaciones Indispensables se desplegará una ventana como la mostrada en la **Figura 3.33**, que listará todos los resultados de daño calculados para edificaciones normales e indispensables, tanto por método Miranda como por método Italiano.

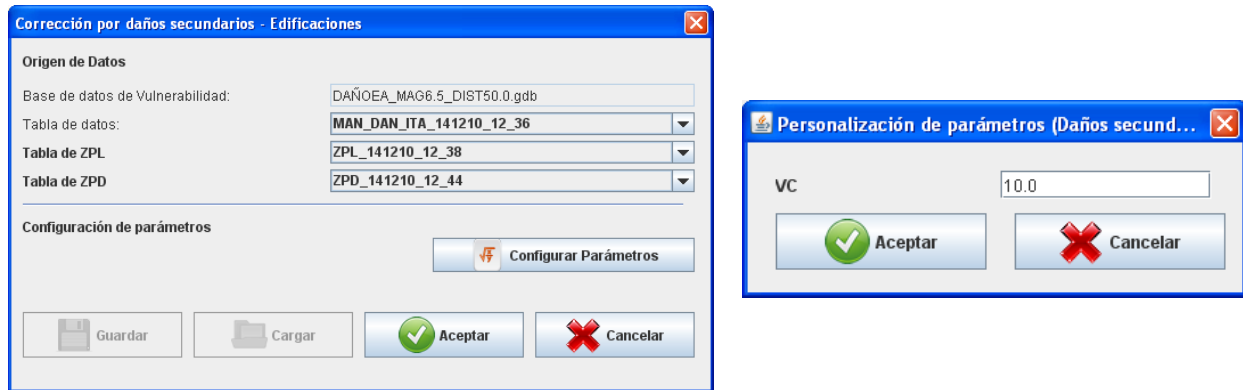


Figura 3.33. Configuración de la rutina para el cálculo de daños secundarios en edificaciones

Sección de información de entrada y configuración seleccionada: Se listarán las tablas de resultados obtenidas para cálculo de daño en Edificaciones tanto por método Italiano como por método Miranda. También incluye una lista de los resultados de daño en el terreno por licuación y deslizamiento para el escenario de amenaza actual. Sección de configuración manual de parámetros: Permite configurar el valor del parámetro de corrección VC.

3.8.2 Tuberías.

Al seleccionar la opción de Tuberías se desplegará la ventana de lanzamiento del método de cálculo de daños secundarios en tuberías, que incluye tuberías de acueducto, gas y alcantarillado, como se muestra en la **Figura 3.34**.

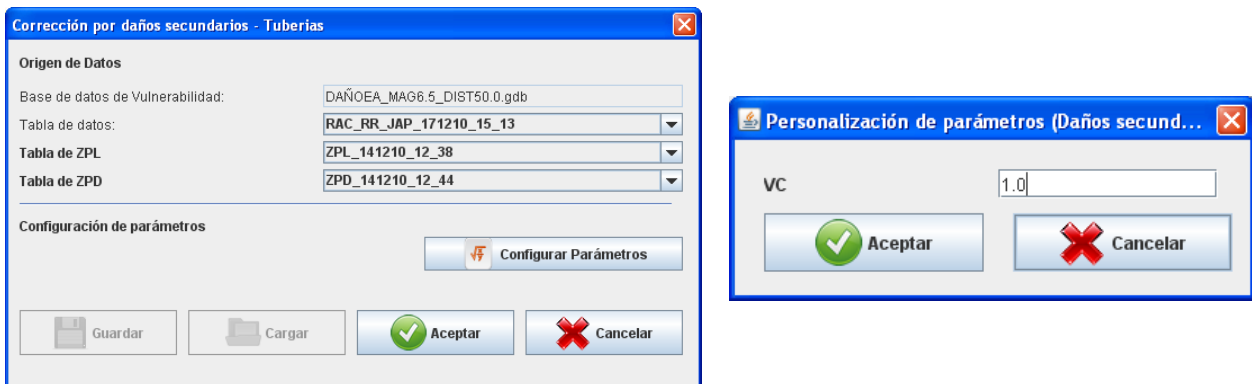


Figura 3.34. Configuración de la rutina para el cálculo de daños secundarios en tuberías

Sección de información de entrada y configuración seleccionada: Se listarán las tablas de resultados obtenidas para cálculo de daño en tuberías de Acueducto, alcantarillado y gas. También incluye una lista de los resultados de daño en el terreno por licuación y deslizamiento para el escenario de amenaza actual. Sección de configuración manual de parámetros: Permite configurar el valor del parámetro de corrección VC.

3.8.3 Tanques.

Despliega la pantalla de lanzamiento de la rutina de cálculo de daños secundarios en tanques, como se muestra en la **Figura 3.35**.

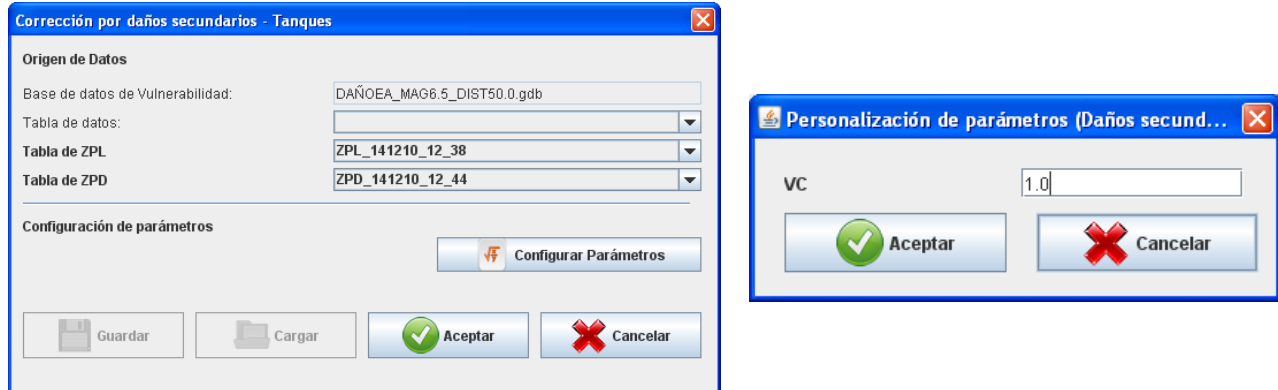


Figura 3.35. Configuración de la rutina para el cálculo de daños secundarios en tanques

Sección de información de entrada y configuración seleccionada: Se listarán las tablas de resultados obtenidas para cálculo de daño en Tanques. También incluye una lista de los resultados de daño en el terreno por licuación y deslizamiento para el escenario de amenaza actual. Sección de configuración manual de parámetros: Permite configurar el valor del parámetro de corrección VC.

3.8.4 Cableado.

Despliega la pantalla de lanzamiento de la rutina de cálculo de daños secundarios en redes de cableado eléctrico y de telecomunicaciones. Esta pantalla se muestra en la **Figura 3.36**.

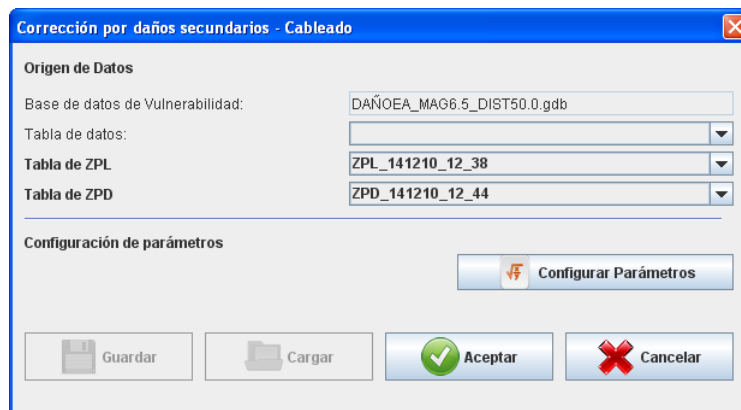


Figura 3.36. Configuración de la rutina para el cálculo de daños secundarios en cableado

Sección de información de entrada y configuración seleccionada: Se listarán las tablas de resultados obtenidas para cálculo de daño en redes de cableado de postes y telecomunicaciones. También incluye una lista de los resultados de daño en el terreno por licuación y deslizamiento para el escenario de amenaza actual. Sección de configuración manual de parámetros: Permite configurar el valor del parámetro de corrección VC.

3.8.5 Puentes.

Despliega la pantalla de lanzamiento de la rutina de cálculo de daños secundarios en puentes, como se muestra en la **Figura 3.37**.

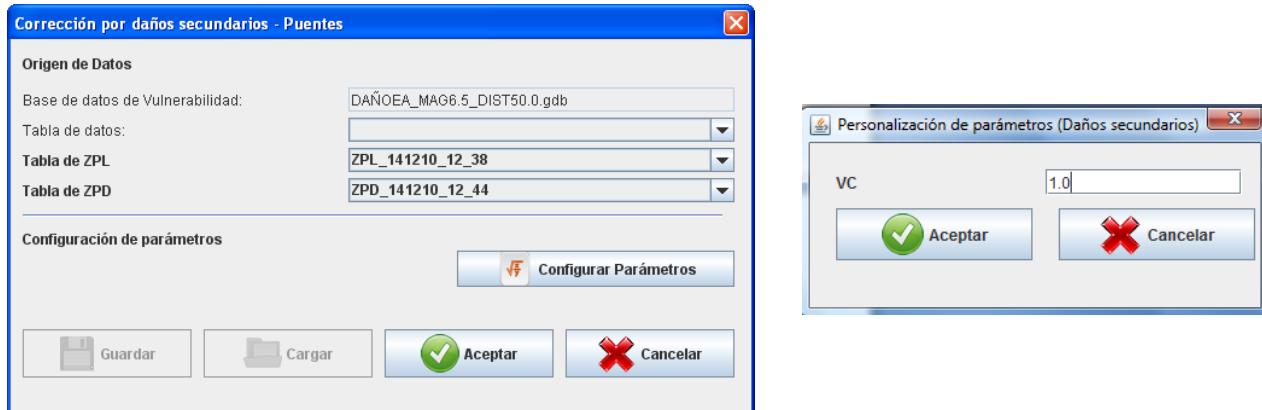


Figura 3.37. Configuración de la rutina para el cálculo de daños secundarios en puentes

Sección de información de entrada y configuración seleccionada: Se listarán las tablas de resultados obtenidas para cálculo de daño en puentes. Incluye una lista de los resultados de daño en el terreno por licuación y deslizamiento para el escenario de amenaza actual. Sección de configuración manual de parámetros: Permite configurar el valor del parámetro de corrección VC.

3.8.6 Torres

Despliega la pantalla de lanzamiento de la rutina de cálculo de daños secundarios en Torres de luz y telecomunicaciones. Esta pantalla se muestra en la **Figura 3.38**.

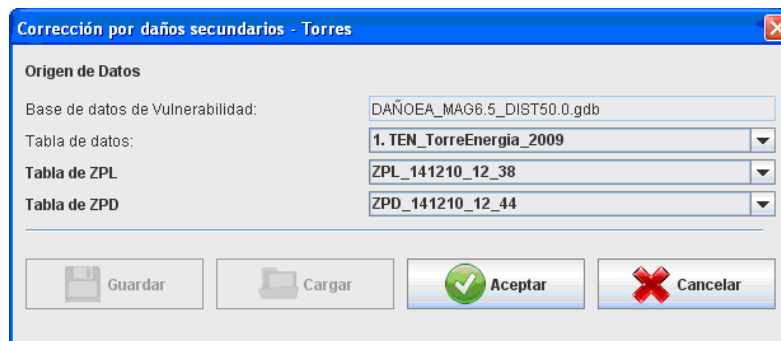


Figura 3.38. Configuración de la rutina para el cálculo de daños secundarios en torres

Sección de información de entrada y configuración seleccionada: Se listarán las tablas registradas en el sistema para las tipologías de torres de energía y telecomunicaciones. También listará los resultados de daño en el terreno por licuación y deslizamiento para el escenario de amenaza actual. Sección de configuración manual de parámetros: No aparece

3.8.7 Postes

Despliega la pantalla de lanzamiento de la rutina de cálculo de daños secundarios en postes de luz y telecomunicaciones (ver **Figura 3.39**).

Corrección por daños secundarios - Postes

Origen de Datos

Base de datos de Vulnerabilidad: DAÑOEA_MAG6.5_DIST50.0.gdb

Tabla de datos: 1. PEN_PosteEnergia_2009

Tabla de ZPL: ZPL_141210_12_38

Tabla de ZPD: ZPD_141210_12_44

Guardar Cargar Aceptar Cancelar

Figura 3.39. Configuración de la rutina para el cálculo de daños secundarios en postes

Sección de información de entrada y configuración seleccionada: Se listarán las tablas registradas en el sistema para las tipologías de postes de energía y telecomunicaciones. También listará los resultados de daño en el terreno por licuación y deslizamiento para el escenario de amenaza actual. Sección de configuración manual de parámetros: No aparece

3.8.8 Afectaciones y pérdidas.

Permite calcular pérdidas económicas y afectaciones en la población a partir de los resultados de daño en edificaciones normales. El cálculo puede realizarse a partir de un resultado de daño primario o secundario (ver **Figura 3.40**).

Calculo de afectaciones y pérdidas económicas - Edificaciones Normales

Origen de Datos

Base de datos de Vulnerabilidad: SEDAR\databse_sistemasedar2010\vulnerabilidad.gdb

Resultado de Vulnerabilidad: MAN_DAN_ITA_141210_12_36

Configuración de Parámetros a utilizar: Por defecto para AyP - Sin curvas

Configuración de parámetros

Configurar Parámetros

Guardar Cargar Aceptar Cancelar

Figura 3.40. Configuración de la rutina para el cálculo de las afectaciones y pérdidas a la población

Sección de información de entrada y configuración seleccionada: Permite seleccionar un resultado de daño de manzanas calculado previamente.

Sección de configuración manual de parámetros (**Figura 3.41**): Permite configurar los valores de los parámetros utilizados en la rutina.

Configuración de parámetros para cálculo de afectaciones y pérdidas

Tipo de uso	Factor de Densidad	% Ocupacion (Dia)	% Ocupacion (Noch...)
No Edificado	0	0	0
Residencial	1	20	80
Comercial y servicios (Vecinal, zonal, otros)	1	80	20
Comercial y servicios (Urbano)	2	80	20
Comercial y servicios (Metropolitano)	3	80	20
Industrial	1	80	20
Dotacional (Educativo)	5	80	20
Dotacional (Salud)	3	80	20
Dotacional (Seguridad ciudadana, centros culturales, etc)	1	80	20
Espacio público	0	0	0
Recreacional y deportivo (Clubes e instalaciones deportivas)	0,5	80	20
Recreacional y deportivo (Parques y otros)	0	0	0
Rural	0	0	0
Bosques	0	0	0
No definido	0	0	0

% Atrapados frágiles: 50.0 % fatalidad frágiles: 15.0
 % Atrapados dúctiles: 50.0 % fatalidad dúctiles: 30.0
 Factor de forma: 3.0 Const. Factor de Colapso: 30.0

Aceptar Cancelar

Figura 3.41. Configuración de parámetros de la rutina de afectaciones y pérdidas

3.9 MENÚ RESULTADOS

Permite listar los resultados obtenidos de vulnerabilidad y daño para el escenario de amenaza seleccionado actualmente.

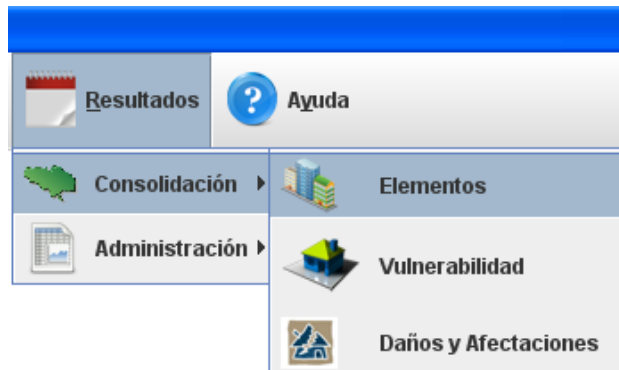


Figura 3.42. Menú de lanzamiento de la sección de consolidación

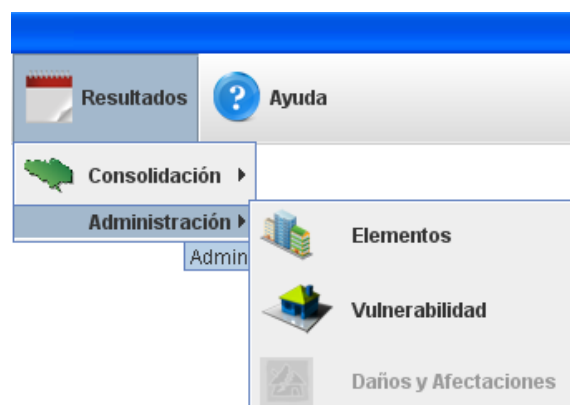


Figura 3.43. Menú de lanzamiento de la sección de administración

3.9.1 Consolidación de resultados de Elementos

Despliega una ventana que permite consolidar la información registrada de la base de datos de elementos (ver **Figura 3.44**). En la parte derecha de cada elemento aparece un botón que permite consolidar la versión seleccionada de una tipología determinada.

Cobertura de información	Versión	Fuente	Fecha de elaboración	Fecha de Registro	Nombre de tabla en FGDB.	Consolidar
Edificaciones						
Edificaciones - Lotes	1	Catastro Distrital	31/12/05	30/11/09	LOT_Lote_2010	[+]
Edificaciones indispensa...	1	DPAE	30/11/09	30/11/09	EDI_EdificacionIndispensabl...	[+]
Lineas Vitales						
Acueducto	1	EAAB	30/09/09	30/11/09	RAC_RedAcueducto_2009	[+]
Alcantarillado	1	EAAB	30/09/09	30/11/09	RAL_RedAlcantarillado_2009	[+]
Tanques	1	EAAB	30/09/09	30/11/09	TAN_Tanque_2009	[+]
Red eléctrica	1	EEB	30/09/09	18/01/10	REN_RedEnergia_2009	[+]
Postes de energía	1	EEB	-	20/02/10	PEN_PosteEnergia_2009	[+]
Torres de energía	1	EEB	-	20/02/10	TEN_TorreEnergia_2009	[+]
Red telecomunicaciones	1	DPAE	30/12/99	16/07/10	RTE_RedTelecomunicacion...	[+]
Postes de comunicacion...	1	ETB, Telecom	-	20/02/10	PTE_PosteTelecomunicacio...	[+]
Torres de comunicacion...						[+]
Red de gas	1	Gas Natural	30/09/09	30/11/09	GAS_RedGas_2009	[+]
Puentes	1	IDU	-	12/03/10	PUE_Puente_2009	[+]

Figura 3.44. Menú de consolidación de elementos

El sistema procederá a generar las siguientes tablas de información consolidada, por Unidad de Planeación Zonal (UPZ) y localidad.

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Número de predios	Número total de predios	Número total de predios
Área de predios	Área máxima(m2)	Área máxima(m2)
	Área mínima(m2)	Área mínima(m2)
	Promedio(m2)	Promedio(m2)
Altura de predios	Desviación Estándar(m2)	Desviación Estándar(m2)
	Altura máxima(m2)	Altura máxima(m2)
	Altura mínima(m2)	Altura mínima(m2)
	Moda(m2)	Moda(m2)
	Desviación Estándar(m2)	Desviación Estándar(m2)
Valor de predios	Máximo (pesos)	Máximo (pesos)
	Mínimo (pesos)	Mínimo (pesos)
	Promedio (pesos)	Promedio (pesos)
	Desviación Estándar (pesos)	Desviación Estándar (pesos)
Año de construcción de predios	Máximo	Máximo
	Mínimo	Mínimo
	Moda	Moda
	Desviación Estándar	Desviación Estándar
Número de manzanas	Número total de Manzanas	Número total de Manzanas
Área unidad de análisis	Área total(m2)	Área total(m2)
Densidad de construcción	Área de predios / Área Total	Área de predios / Área Total
Estrato típico (moda)	Estrato típico (moda)	Estrato típico (moda)
Usos (Para cada uno de ellos)	Número de predios	Número de predios
	Área(m2)	Área(m2)
	Valor(pesos)	Valor(pesos)

Figura 3.45. Campos consolidados para edificaciones a Localidad y UPZ

La rutina toma la información registrada en la tabla y obtiene sumatorias, promedios, medias, desviaciones estándar, máximos y mínimos de las características relevantes de cada tipología, y la almacena a nivel de UPZ y Localidad, como se muestra en la **Figura 3.45**.

A continuación aparecen las pantallas que listan las variables que son obtenidas para cada tipología. Estas pantallas son simplemente informativas y no permiten modificar los valores que allí se muestran.

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Edificaciones Indispensables	Número total de edificaciones	Número total de edificaciones
	Área total(m2)	Área total(m2)
Salud	Número total de edificaciones	Número total de edificaciones
	Área total(m2)	Área total(m2)
Bomberos	Número total de edificaciones	Número total de edificaciones
	Área total(m2)	Área total(m2)
Orden público	Número total de edificaciones	Número total de edificaciones
	Área total(m2)	Área total(m2)
Atención de Emergencias	Número total de edificaciones	Número total de edificaciones
	Área total(m2)	Área total(m2)
Servicios públicos	Número total de edificaciones	Número total de edificaciones
	Área total(m2)	Área total(m2)
Telecomunicaciones	Número total de edificaciones	Número total de edificaciones
	Área total(m2)	Área total(m2)
Educación	Número total de edificaciones	Número total de edificaciones
	Área total(m2)	Área total(m2)
Gobierno	Número total de edificaciones	Número total de edificaciones
	Área total(m2)	Área total(m2)

Figura 3.46. Campos consolidados para edificaciones indispensables a Localidad y UPZ

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Longitud total de la red	Longitud total (km)	Longitud total (km)
Longitud según categoría		
Longitud red primaria(km)	Longitud(km)	Longitud(km)
Longitud red secundaria(km)	Longitud(km)	Longitud(km)
Longitud según diámetro		
Longitud diámetro < 100mm	Longitud(km)	Longitud(km)
Longitud diámetro 100 - 200mm	Longitud(km)	Longitud(km)
Longitud diámetro 200 - 500mm	Longitud(km)	Longitud(km)
Longitud diámetro > 500mm	Longitud(km)	Longitud(km)
Longitud según material		
Asbesto Cemento	Longitud(km)	Longitud(km)
Concreto	Longitud(km)	Longitud(km)
Hierro (Varios tipos)	Longitud(km)	Longitud(km)
PVC	Longitud(km)	Longitud(km)
Otros materiales	Longitud(km)	Longitud(km)
Diámetro de la red		
Máximo(mm)	Máximo(mm)	Máximo(mm)
Máximo(mm)	Máximo(mm)	Máximo(mm)
Moda(mm)	Moda(mm)	Moda(mm)
Desviación Estándar (mm)	Desviación Estándar (mm)	Desviación Estándar (mm)

Figura 3.47. Campos consolidados para la red de acueducto

Consolidar Información por unidad de planeación zonal UPZ y localidad

El sistema procederá a generar las siguientes tablas de información consolidada, por Unidad de Planeación Zonal (UPZ) y localidad.

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Longitud total de la red	Longitud total (km)	Longitud total (km)
Longitud según categoría		
Longitud red primaria(km)	Longitud(km)	Longitud(km)
Longitud red secundaria(km)	Longitud(km)	Longitud(km)
Longitud de red menor	Longitud(km)	Longitud(km)
Longitud según tipo		
Longitud red pluvial	Longitud(km)	Longitud(km)
Longitud red sanitaria	Longitud(km)	Longitud(km)
Longitud red combinada	Longitud(km)	Longitud(km)
Longitud según diámetro		
Longitud diámetro < 100mm	Longitud(km)	Longitud(km)
Longitud diámetro 100 - 200mm	Longitud(km)	Longitud(km)
Longitud diámetro 200 - 500mm	Longitud(km)	Longitud(km)
Longitud diámetro > 500mm	Longitud(km)	Longitud(km)
Longitud según material		
Concreto Reforzado	Longitud(km)	Longitud(km)
PVC	Longitud(km)	Longitud(km)
Poliétileno de alta densidad	Longitud(km)	Longitud(km)
Gres	Longitud(km)	Longitud(km)
Diámetro de la red	Máximo(mm)	Máximo(mm)
	Máximo(mm)	Máximo(mm)
	Moda(mm)	Moda(mm)
	Desviación Estándar (mm)	Desviación Estándar (mm)

Figura 3.48. Campos consolidados para la red de alcantarillado

Consolidar Información por unidad de planeación zonal UPZ y localidad

El sistema procederá a generar las siguientes tablas de información consolidada, por Unidad de Planeación Zonal (UPZ) y localidad.

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Tanques de almacenamiento		
Número de tanques	Número de tanques	Número de tanques
Capacidad Máxima	Volumen Máximo(m3)	Volumen Máximo(m3)
Volumen habitual de llenado	Volumen habitual de llenado(m3)	Volumen habitual de llenado(m3)

Figura 3.49. Campos consolidados para tanques

Consolidar Información por unidad de planeación zonal UPZ y localidad

El sistema procederá a generar las siguientes tablas de información consolidada, por Unidad de Planeación Zonal (UPZ) y localidad.

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Longitud total de la red	Longitud total (km)	Longitud total (km)
Longitud según categoría		
Longitud de alta tensión	Longitud(km)	Longitud(km)
Longitud de media tensión	Longitud(km)	Longitud(km)
Longitud de baja tensión	Longitud(km)	Longitud(km)
Longitud según tipo		
Longitud red aérea	Longitud(km)	Longitud(km)
Longitud red canalizada	Longitud(km)	Longitud(km)

Figura 3.50. Campos consolidados para red eléctrica

Consolidar Información por unidad de planeación zonal UPZ y localidad

El sistema procederá a generar las siguientes tablas de información consolidada, por Unidad de Planeación Zonal (UPZ) y localidad.

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Postes de la red de energía	Número total de postes	Número total de postes

Figura 3.51. Campos consolidados para postes de energía eléctrica

Consolidar Información por unidad de planeación zonal UPZ y localidad

El sistema procederá a generar las siguientes tablas de información consolidada, por Unidad de Planeación Zonal (UPZ) y localidad.

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Torres de transmisión de energía	Número total de torres	Número total de torres
Torres de transmisión según categoría		
Torres de alta tensión	Longitud(km)	Longitud(km)
Torres de media tensión	Número total de torres	Número total de torres
Torres de baja tensión	Número total de torres	Número total de torres

Figura 3.52. Campos consolidados para torres de energía

Consolidar Información por unidad de planeación zonal UPZ y localidad

El sistema procederá a generar las siguientes tablas de información consolidada, por Unidad de Planeación Zonal (UPZ) y localidad.

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Longitud total de la red	Longitud total (km)	Longitud total (km)
Longitud según tipo		
Longitud red aérea	Longitud(km)	Longitud(km)
Longitud red canalizada	Longitud(km)	Longitud(km)

Figura 3.53. Campos consolidados para torres de energía

Consolidar Información por unidad de planeación zonal UPZ y localidad

El sistema procederá a generar las siguientes tablas de información consolidada, por Unidad de Planeación Zonal (UPZ) y localidad.

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Postes de la red de comunicaciones	Número total de postes	Número total de postes

Figura 3.54. Campos consolidados para torres de telecomunicaciones

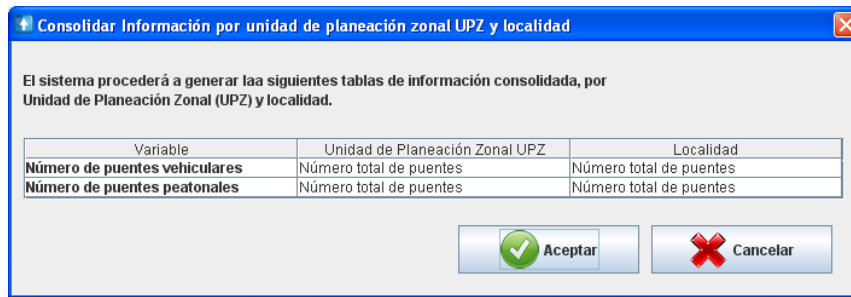


Figura 3.55. Campos consolidados para puentes vehiculares y peatonales

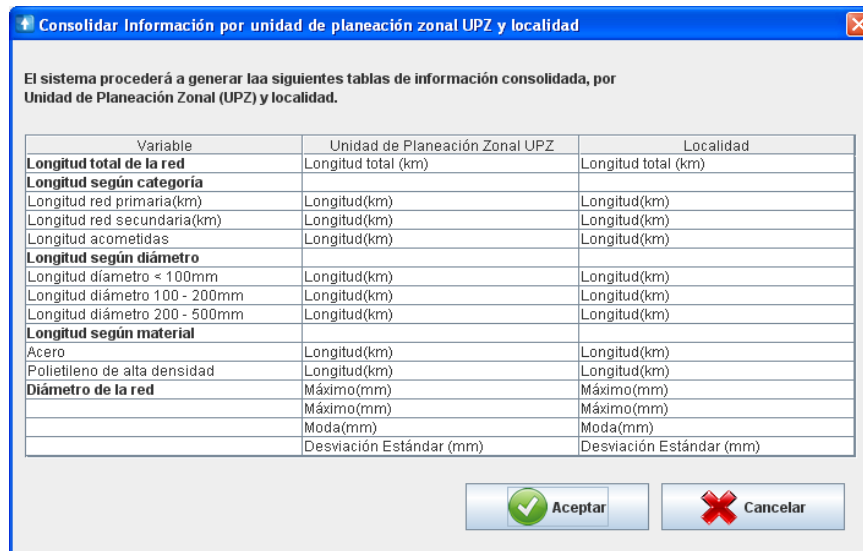


Figura 3.56. Campos consolidados para red de gas natural

3.9.2 Consolidación de Resultados de vulnerabilidad

Despliega una ventana que permite consolidar la información obtenida mediante la ejecución de rutinas de cálculo de vulnerabilidad (ver **Figura 3.57**). Lista las tipologías para las que aplica el cálculo de vulnerabilidad (edificaciones normales e indispensables, y redes de acueducto, alcantarillado y gas). Para cada tipología muestra un listado con los resultados obtenidos, y dos botones, el primero para ver la configuración con la que se ejecutó la corrida (ver **Figura 3.58**), y el segundo para iniciar la consolidación (ver **Figura 3.59** a **Figura 3.63**).

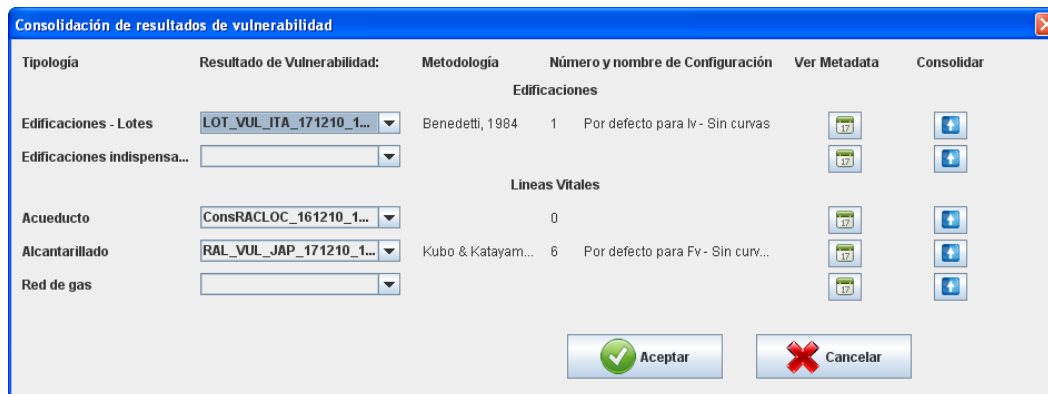


Figura 3.57. Menú de consolidación de resultados de vulnerabilidad

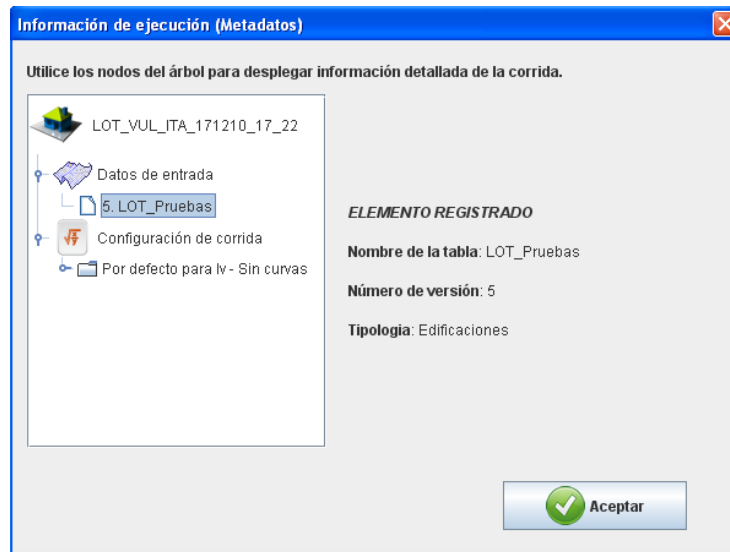


Figura 3.58. Ventana de información de ejecución (Metadatos)

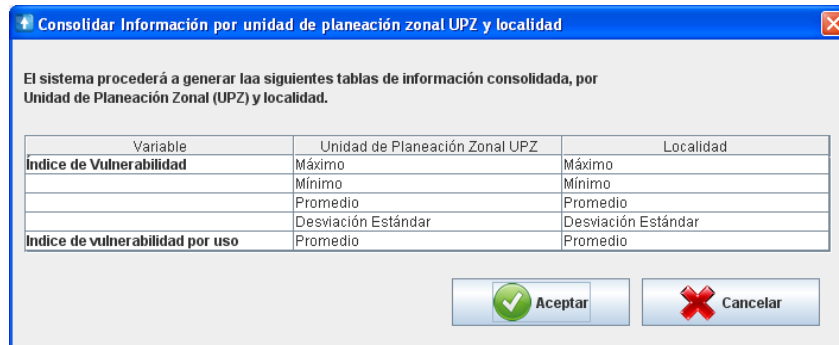


Figura 3.59. Campos consolidados para los resultados de vulnerabilidad en edificaciones a localidad y UPZ

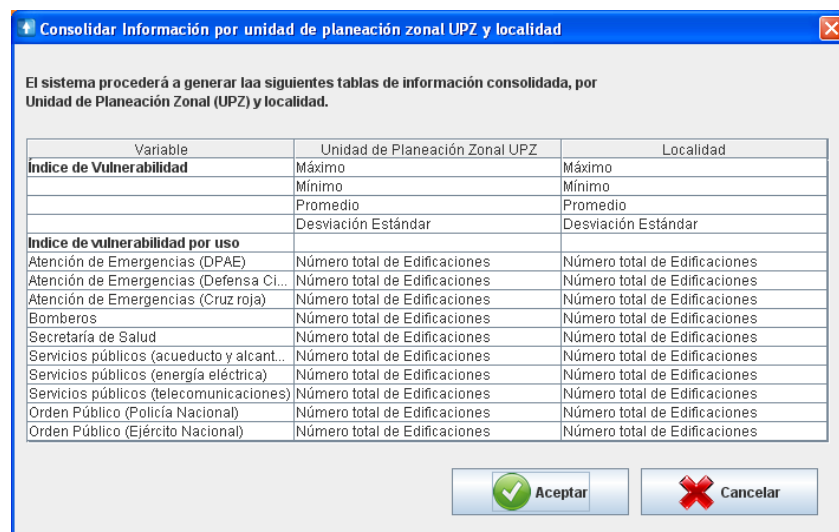


Figura 3.60. Campos consolidados para los resultados de vulnerabilidad en edificaciones indispensables a localidad y UPZ

Consolidar Información por unidad de planeación zonal UPZ y localidad

El sistema procederá a generar las siguientes tablas de información consolidada, por Unidad de Planeación Zonal (UPZ) y localidad.

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Factor de vulnerabilidad Red de	Máximo	Máximo
	Mínimo	Mínimo
	Promedio	Promedio
	Desviación Estándar	Desviación Estándar
Factor de vulnerabilidad según		
Red Primaria	--	Máximo
	--	Mínimo
	Promedio	Promedio
	--	Desviación Estándar
Red Secundaria	--	Máximo
	--	Mínimo
	Promedio	Promedio
	--	Desviación Estándar

Figura 3.61. Campos consolidados para los resultados de vulnerabilidad en red de acueducto a localidad y UPZ

Consolidar Información por unidad de planeación zonal UPZ y localidad

El sistema procederá a generar las siguientes tablas de información consolidada, por Unidad de Planeación Zonal (UPZ) y localidad.

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Factor de vulnerabilidad Red de	Máximo	Máximo
	Mínimo	Mínimo
	Promedio	Promedio
	Desviación Estándar	Desviación Estándar
Factor de vulnerabilidad según		
Red Primaria	--	Máximo
	--	Mínimo
	Promedio	Promedio
	--	Desviación Estándar
Red Secundaria	--	Máximo
	--	Mínimo
	Promedio	Promedio
	--	Desviación Estándar
Red Menor	--	Máximo
	--	Mínimo
	Promedio	Promedio
	--	Desviación Estándar
Factor de vulnerabilidad según tipo		
Red pluvial	--	Máximo
	--	Mínimo
	Promedio	Promedio
	--	Desviación Estándar
Red sanitaria	--	Máximo
	--	Mínimo
	Promedio	Promedio
	--	Desviación Estándar
Red combinada	--	Máximo
	--	Mínimo
	Promedio	Promedio
	--	Desviación Estándar

Figura 3.62. Campos consolidados para los resultados de vulnerabilidad en red de alcantarillado a localidad y UPZ

Consolidar Información por unidad de planeación zonal UPZ y localidad

El sistema procederá a generar las siguientes tablas de información consolidada, por Unidad de Planeación Zonal (UPZ) y localidad.

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Factor de vulnerabilidad Red de	Máximo	Máximo
	Mínimo	Mínimo
	Promedio	Promedio
	Desviación Estándar	Desviación Estándar
Factor de vulnerabilidad según		
	Red Primaria	
	--	Máximo
	--	Mínimo
	--	Promedio
	--	Desviación Estándar
	Red Secundaria	
	--	Máximo
	--	Mínimo
	--	Promedio
	--	Desviación Estándar
	Acometidas	
--	Máximo	
--	Mínimo	
--	Promedio	
--	Desviación Estándar	

Aceptar Cancelar

Figura 3.63. Campos consolidados para los resultados de vulnerabilidad en red de gas a localidad y UPZ

3.9.3 Consolidación de resultados de daño

Despliega una ventana que permite consolidar la información obtenida mediante la ejecución de rutinas de cálculo de daños iniciales y secundarios (ver Figura 3.64). Muestra todas las tipologías. Para cada tipología hay un listado con los resultados obtenidos, y dos botones, el primero para ver la configuración con la que se ejecutó la corrida y el segundo para iniciar la consolidación (ver Figura 3.65 a Figura 3.75).

Consolidación de resultados de vulnerabilidad

Tipología	Resultado de daño	Metodología	Número y nombre de Configuración	Ver Metadata	Consolidar
Edificaciones					
Edificaciones - Lotes	LOT_DAN_ITA_171210_1...	Benedetti, 1984	2 Sin parámetros - Curvas Yep...		
Lineas Vitales					
Acueducto	RAC_RR_JAP_171210_1...	Kubo & Katayam...	7 Sin parámetros - Curvas Jica		
Alcantarillado	RAL_RR_JAP_171210_17...	Kubo & Katayam...	7 Sin parámetros - Curvas Jica		
Tanques					
Red eléctrica					
Torres de energía					
Postes de energía					
Red telecomunicaciones					
Red de gas					

Aceptar Cancelar

Figura 3.64. Menú de consolidación de resultados de daño

Consolidar Información por unidad de planeación zonal UPZ y localidad

El sistema procederá a generar las siguientes tablas de información consolidada, por Unidad de Planeación Zonal (UPZ) y localidad.

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Índice de daño	Máximo	Máximo
	Mínimo	Mínimo
	Promedio	Promedio
	Desviación Estándar	Desviación Estándar
Índice de daño por uso		
	Promedio	Promedio
Índice de daño por escala de daño y		
ninguno (<2.5%)	Proporción (%)	Proporción (%)
leve (2.5 - 7.5%)	Proporción (%)	Proporción (%)
leve (7.5 - 15%)	Proporción (%)	Proporción (%)
considerable (15 - 30%)	Proporción (%)	Proporción (%)
fuerte(30 - 60%)	Proporción (%)	Proporción (%)
severo (>60 %)	Proporción (%)	Proporción (%)

Figura 3.65. Campos consolidados para los resultados de daño en edificaciones a localidad y UPZ

Consolidar Información por unidad de planeación zonal UPZ y localidad

El sistema procederá a generar las siguientes tablas de información consolidada, por Unidad de Planeación Zonal (UPZ) y localidad.

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Daño en la red de Acueducto		
	Número de roturas	Número de roturas
Daño en la red según categoría		
	Red Primaria	Red Primaria
Daño en la red según categoría		
	Red Primaria	Red Secundaria
Daño en la red según diámetro		
Longitud diámetro < 100mm	Número de roturas	Número de roturas
Longitud diámetro 100 - 200mm	Número de roturas	Número de roturas
Longitud diámetro 200 - 500mm	Número de roturas	Número de roturas
Longitud diámetro > 500mm	Número de roturas	Número de roturas
Daño en la red según material		
Asbesto Cemento	Número de roturas	Número de roturas
Concreto	Número de roturas	Número de roturas
Hierro (Varios tipos)	Número de roturas	Número de roturas
PVC	Número de roturas	Número de roturas
Otros materiales	Número de roturas	Número de roturas

Figura 3.66. Campos consolidados para los resultados de daño en red de acueducto a localidad y UPZ

Consolidar Información por unidad de planeación zonal UPZ y localidad

El sistema procederá a generar las siguientes tablas de información consolidada, por Unidad de Planeación Zonal (UPZ) y localidad.

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Daño en la red de alcantarillado		
	Número de roturas	Número de roturas
Daño en la red según categoría		
Red Primaria	Red Primaria	Red Menor
Daño en la red según tipo		
Red pluvial	Red sanitaria	Red combinada
Daño en la red según diámetro		
Longitud diámetro < 100mm	Número de roturas	Número de roturas
Longitud diámetro 100 - 200mm	Número de roturas	Número de roturas
Longitud diámetro 200 - 500mm	Número de roturas	Número de roturas
Longitud diámetro > 500mm	Número de roturas	Número de roturas
Daño en la red según material		
Concreto	Número de roturas	Número de roturas
PVC	Número de roturas	Número de roturas
Poliétileno	Número de roturas	Número de roturas
Gres	Número de roturas	Número de roturas

Figura 3.67. Campos consolidados para los resultados de daño en red de alcantarillado a localidad y UPZ

Consolidar Información por unidad de planeación zonal UPZ y localidad

El sistema procederá a generar las siguientes tablas de información consolidada, por Unidad de Planeación Zonal (UPZ) y localidad.

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Estado de daño en Tanques		
Estado de daño 1	Número de tanques	Número de tanques
Estado de daño 2	Número de tanques	Número de tanques
Estado de daño 3	Número de tanques	Número de tanques
Estado de daño 4	Número de tanques	Número de tanques
Estado de daño 5	Número de tanques	Número de tanques

Figura 3.68. Campos consolidados para los resultados de daño en tanques a localidad y UPZ

Consolidar Información por unidad de planeación zonal UPZ y localidad

El sistema procederá a generar las siguientes tablas de información consolidada, por Unidad de Planeación Zonal (UPZ) y localidad.

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Daño en la red de distribución de gas		
	Número de roturas	Número de roturas
Daño en la red según categoría		
Red Primaria	Longitud afectada (km)	Longitud afectada (km)
Red Secundaria	Longitud afectada (km)	Longitud afectada (km)
Acometidas	Longitud afectada (km)	Longitud afectada (km)
Daño en la red según diámetro		
Longitud diámetro < 100mm	Número de roturas	Número de roturas
Longitud diámetro 100 - 200mm	Número de roturas	Número de roturas
Longitud diámetro 200 - 500mm	Número de roturas	Número de roturas
Daño en la red según material		
Acero	Número de roturas	Número de roturas
Poliétileno	Número de roturas	Número de roturas

Figura 3.69. Campos consolidados para los resultados de daño en red de gas a localidad y UPZ

Consolidar Información por unidad de planeación zonal UPZ y localidad

El sistema procederá a generar las siguientes tablas de información consolidada, por Unidad de Planeación Zonal (UPZ) y localidad.

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Daño en postes de comunicaciones		
Estado de daño 1	Número de postes	Número de postes
Estado de daño 2	Número de postes	Número de postes
Estado de daño 3	Número de postes	Número de postes

Figura 3.70. Campos consolidados para los resultados de daño en postes de la red de telecomunicaciones y energía localidad y UPZ

Consolidar Información por unidad de planeación zonal UPZ y localidad

El sistema procederá a generar las siguientes tablas de información consolidada, por Unidad de Planeación Zonal (UPZ) y localidad.

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Calculo de estado de daño - Puentes		
Estado de daño 1	Número de puentes	Número de puentes
Estado de daño 2	Número de puentes	Número de puentes
Estado de daño 3	Número de puentes	Número de puentes
Estado de daño 4	Número de puentes	Número de puentes
Estado de daño 5	Número de puentes	Número de puentes
Daño en puentes peatonales		
Estado de daño 1	Número de puentes	Número de puentes
Estado de daño 2	Número de puentes	Número de puentes
Estado de daño 3	Número de puentes	Número de puentes
Estado de daño 4	Número de puentes	Número de puentes
Estado de daño 5	Número de puentes	Número de puentes

Figura 3.71. Campos consolidados para los resultados de daño en puentes localidad y UPZ

Consolidar Información por unidad de planeación zonal UPZ y localidad

El sistema procederá a generar las siguientes tablas de información consolidada, por Unidad de Planeación Zonal (UPZ) y localidad.

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Estado de daño en Tanques		
Estado de daño 1	Número de tanques	Número de tanques
Estado de daño 2	Número de tanques	Número de tanques
Estado de daño 3	Número de tanques	Número de tanques
Estado de daño 4	Número de tanques	Número de tanques
Estado de daño 5	Número de tanques	Número de tanques

Figura 3.72. Campos consolidados para los resultados de daño en tanques localidad y UPZ

Consolidar Información por unidad de planeación zonal UPZ y localidad

El sistema procederá a generar las siguientes tablas de información consolidada, por Unidad de Planeación Zonal (UPZ) y localidad.

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Daño en la red de telecomunicaciones		
	Longitud afectada (km)	Longitud afectada (km)
Daño en la red según tipo		
Longitud red aérea	Longitud afectada (km)	Longitud afectada (km)
Longitud red canalizada	Longitud afectada (km)	Longitud afectada (km)

Figura 3.73. Campos consolidados para la red de telecomunicaciones a localidad y UPZ

Consolidar Información por unidad de planeación zonal UPZ y localidad

El sistema procederá a generar las siguientes tablas de información consolidada, por Unidad de Planeación Zonal (UPZ) y localidad.

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Daño en la red de energía		
Estado de daño 1	Número de torres	Número de torres
Estado de daño 2	Número de torres	Número de torres
Estado de daño 3	Número de torres	Número de torres
Daño en torres según categoría		
Torres de alta tensión		
Estado de daño 1	Número de torres	Número de torres
Estado de daño 2	Número de torres	Número de torres
Estado de daño 3	Número de torres	Número de torres
Torres de mediana tensión		
Estado de daño 1	Número de torres	Número de torres
Estado de daño 2	Número de torres	Número de torres
Estado de daño 3	Número de torres	Número de torres
Torres de baja tensión		
Estado de daño 1	Número de torres	Número de torres
Estado de daño 2	Número de torres	Número de torres
Estado de daño 3	Número de torres	Número de torres

Figura 3.74. Campos consolidados para los resultados de daño en postes de la red de telecomunicaciones y energía localidad y UPZ

Consolidar Información por unidad de planeación zonal UPZ y localidad

El sistema procederá a generar las siguientes tablas de información consolidada, por Unidad de Planeación Zonal (UPZ) y localidad.

Variable	Unidad de Planeación Zonal UPZ	Localidad
Daño en la red de energía		
Estado de daño 1	Número de torres	Número de torres
Estado de daño 2	Número de torres	Número de torres
Estado de daño 3	Número de torres	Número de torres
Daño en torres según categoría		
Torres de alta tensión		
Estado de daño 1	Número de torres	Número de torres
Estado de daño 2	Número de torres	Número de torres
Estado de daño 3	Número de torres	Número de torres
Torres de mediana tensión		
Estado de daño 1	Número de torres	Número de torres
Estado de daño 2	Número de torres	Número de torres
Estado de daño 3	Número de torres	Número de torres
Torres de baja tensión		
Estado de daño 1	Número de torres	Número de torres
Estado de daño 2	Número de torres	Número de torres
Estado de daño 3	Número de torres	Número de torres

Figura 3.75. Campos consolidados para los resultados de daño en torres de energía localidad y UPZ

3.9.4 Administración de resultados de Elementos

Despliega una ventana que permite administrar la información registrada de la base de datos de cada elemento en las diferentes versiones de ejecución (ver **Figura 3.76**). En la parte derecha de cada elemento aparece un botón que muestra la ventana de información de ejecución (Metadata), como se muestra en la **Figura 3.77**.

Cobertura de información	Versión	Fuente	Fecha de elaboración	Fecha de Registro	Nombre de tabla en FGDB.	Consolidar
Edificaciones						
Edificaciones - Lotes						
Edificaciones indispensa...	ConsEDILOC_070111_16...		0			
Lineas Vitales						
Acueducto	ConsRACLOC_030111_1...		0			
Alcantarillado	ConsRALLOC_171210_17...		0			
Tanques	ConsTANLOC_030111_13...		0			
Red eléctrica	ConsRENLOC_030111_15...		0			
Postes de energía	ConsPENLOC_070111_15...		0			
Torres de energía	ConsTENLOC_070111_15...		0			
Red telecomunicaciones	ConsRTELOC_030111_16...		0			
Postes de comunicacion...	ConsPTELOC_070111_15...		0			
Torres de comunicacion...			0			
Red de gas	ConsGASLOC_030111_1...		0			
Puentes	ConsPUELOC_070111_16...		0			

Figura 3.76. Menú de administración de resultados de elementos.

Información de ejecución (Metadatos)	
<p>Utilice los nodos del árbol para desplegar información detallada de la corrida.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ConsEDILOC_070111_16_34 <ul style="list-style-type: none"> Datos de entrada <ul style="list-style-type: none"> EDI_VUL_ITA_291210_15... 	<p>RESULTADO DE VULNERABILIDAD</p> <p>Tabla de resultados: EDI_VUL_ITA_291210_15_00</p> <p>Version de información de entrada: 1. EDI_EdificacionIndispensables_2009</p>
<input type="button" value="Aceptar"/>	

Figura 3.77. Ventana de información de la ejecución (Metadatos)

3.9.5 Administración de Resultados de vulnerabilidad

Despliega una ventana que permite administrar la información obtenida mediante la ejecución de rutinas de cálculo de vulnerabilidad (ver **Figura 3.78**). Lista las tipologías para las que aplica el cálculo de vulnerabilidad (edificaciones normales e indispensables, y redes de acueducto, alcantarillado y gas). Para cada tipología muestra un listado con los resultados obtenidos, y dos botones, el primero para ver la configuración con la que se ejecutó la corrida, y el segundo para eliminar dicha información. Esta información se puede ver sin consolidar (ver **Figura 3.80**) y consolidado por UPZ y localidad (ver **Figura 3.79**).

The screenshot shows a window titled "Administración de resultados de elementos". At the top, there is a dropdown menu for "Tipo de resultados a mostrar" set to "Todos los resultados". Below this is a table with columns: Tipología, Resultado de Vulnerabilidad, Metodología, Número y nombre de Configuración, Ver Metadata, and Eliminar. The table is divided into two sections: "Edificaciones" and "Lineas Vitales".

Tipología	Resultado de Vulnerabilidad:	Metodología	Número	Nombre de Configuración	Ver Metadata	Eliminar
Edificaciones						
Edificaciones - Lotes	MAN_VUL_ITA_141210_1...	Benedetti, 1984	1	Por defecto para lv - Sin curvas		
Edificaciones indispensa...	EDI_VUL_ITA_291210_15...	Benedetti, 1984	1	Por defecto para lv - Sin curvas		
Lineas Vitales						
Acueducto	RAC_VUL_JAP_161210_...	Kubo & Katayam...	6	Por defecto para Fv - Sin curv...		
Alcantarillado	RAL_VUL_JAP_171210_1...	Kubo & Katayam...	6	Por defecto para Fv - Sin curv...		
Red de gas	GAS_VUL_JAP_291210_...	Kubo & Katayam...	6	Por defecto para Fv - Sin curv...		

At the bottom of the window are two buttons: "Aceptar" (with a green checkmark) and "Cancelar" (with a red X).

Figura 3.78. Menú de administración de resultados de vulnerabilidad

The screenshot shows the same window as Figure 3.78, but with the "Tipo de resultados a mostrar" dropdown set to "Solo resultados de consolidación a UPZ y Local...". The table structure is identical, but the "Número" column now shows 0 for all entries under the "Lineas Vitales" section.

Tipología	Resultado de Vulnerabilidad:	Metodología	Número	Nombre de Configuración	Ver Metadata	Eliminar
Edificaciones						
Edificaciones - Lotes		Benedetti, 1984	1	Por defecto para lv - Sin curvas		
Edificaciones indispensa...		Benedetti, 1984	1	Por defecto para lv - Sin curvas		
Lineas Vitales						
Acueducto	ConsRACLOC_070111_1...		0			
Alcantarillado	ConsRALLOC_171210_17...		0			
Red de gas	ConsGASLOC_060111_1...		0			

At the bottom of the window are two buttons: "Aceptar" (with a green checkmark) and "Cancelar" (with a red X).

Figura 3.79. Menú de administración de resultados de vulnerabilidad consolidados a UPZ y localidad

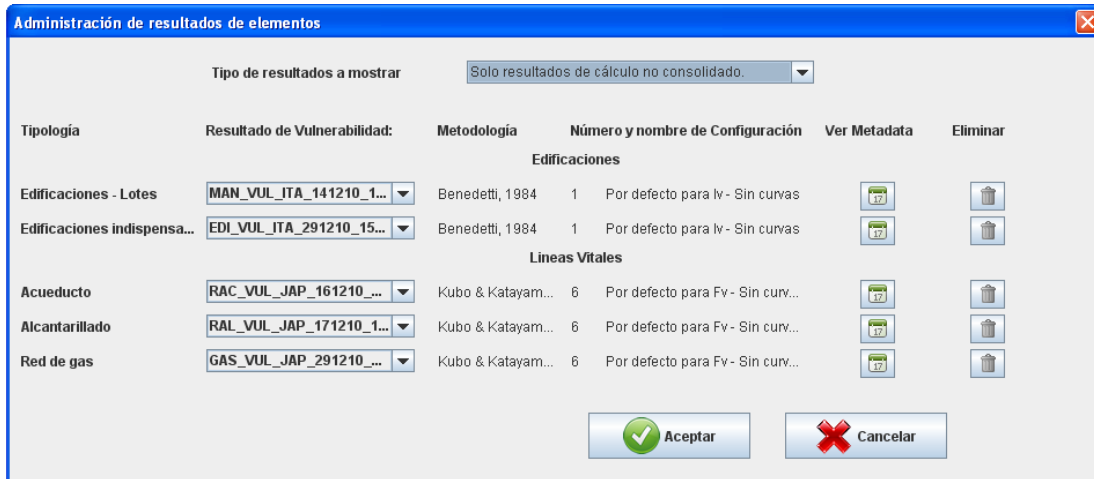


Figura 3.80. Menú de administración de resultados de vulnerabilidad sin consolidar.

3.9.6 Administración de resultados de daño

Despliega una ventana que permite administrar la información obtenida mediante la ejecución de rutinas de cálculo de daños iniciales y secundarios (ver **Figura 3.81**). Muestra todas las tipologías. Para cada tipología hay un listado con los resultados obtenidos, y dos botones, el primero para ver la configuración con la que se ejecutó la corrida, y el segundo para eliminar dicha información. Esta información se puede ver sin consolidar y consolidado por UPZ y localidad.

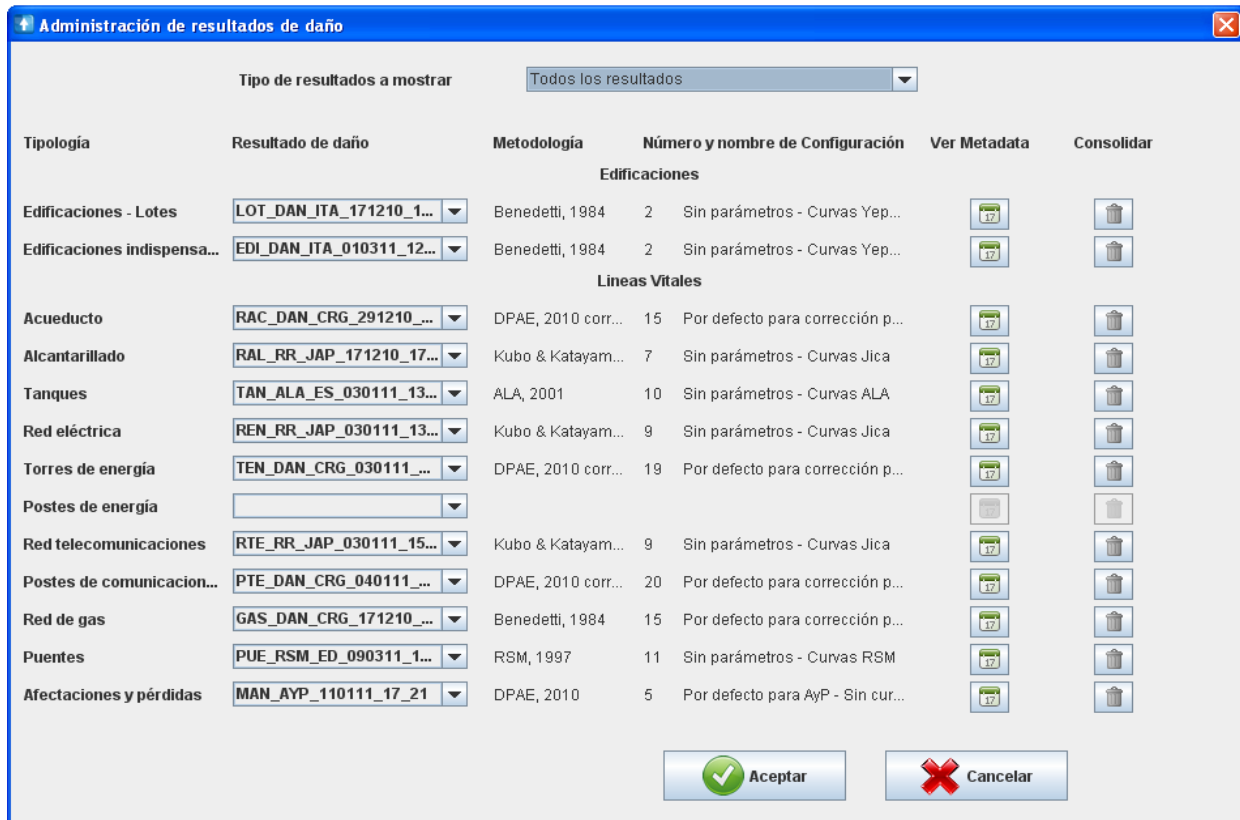


Figura 3.81. Menú de administración de resultados de daño.

3.10 MENÚ AYUDA

Permite acceder al manual del usuario del aplicativo y a la información de desarrollo y licencia del software mediante la ventana “Acerca de SEDAR”, como se muestra en la **Figura 3.82** y la **Figura 3.83**.



Figura 3.82. Menú de ayuda



Figura 3.83. Acerca de SEDAR

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

SEDAR fue estructurado por módulos para realizar las evaluaciones la vulnerabilidad sísmica, daños y pérdidas esperadas por sismo para varias categorías/tipologías de elementos expuestos (edificaciones, tuberías, cableado, puentes, vías, postes, torres, tanques y población). Cuenta con un módulo para la evaluación de daños colaterales (licuación y deslizamiento) y permite la evaluación de daños secundarios en los elementos expuestos por estos efectos colaterales. Finalmente cuenta con un módulo para la administración y consolidación de información y resultados.

En el desarrollo de este proyecto se utilizó el Proceso Unificado Racional RUP, adaptándolo a las necesidades y características del proyecto. El RUP define cuatro fases del ciclo de vida (concepción, elaboración, construcción y transición) y una serie de actividades que están presentes en cada una de ellas. De esta manera se logró que el software desarrollado esté de acuerdo con los lineamientos actuales de ingeniería de software, permitiendo que en el futuro la operación, mantenimiento y actualización del software se realice fácilmente.

Teniendo en cuenta las características del proyecto, las necesidades y posibilidades técnicas actuales de la entidad, se optó por desarrollar la aplicación bajo la modalidad “stand-alone”, haciendo uso de las herramientas que ESRI provee para el desarrollo de este tipo de aplicaciones, así como la plataforma de programación y compilación de Java.

Esta plataforma tecnológica y ambiente de desarrollo provee las herramientas necesarias para el desarrollo y operación del aplicativo de acuerdo con el alcance y necesidades definidos para SEDAR. En un principio esta plataforma proveerá los elementos necesarios para ampliar las funciones y capacidades del sistema de acuerdo con las necesidades de la entidad, aunque será necesario analizar la posibilidad de modificarla cuando se presenten nuevos requerimientos o posibilidades técnicas.

El software desarrollado cuenta con siete secciones (arquitectura del sistema, pantalla principal, archivo, vulnerabilidad, daño inicial, daño secundario y resultados) donde se pueden ejecutar más de 50 requisitos funcionales (entre algoritmos de cálculo y funciones del sistema), los cuales se estructuraron en nueve tipos de casos de uso típicos que pueden llegar a desplegar más de 70 ventanas de interacción con el usuario.

El proceso de diseño e implementación del modelo de datos se adelantó en 3 etapas: diseño conceptual, diseño lógico y diseño físico. El proceso de elaboración del modelo lógico se realizó de acuerdo con la especificación del lenguaje de modelamiento UML2.0 y el proceso de implementación física de las bases de datos se realizó mediante el uso de las herramientas y documentación técnica provistas por ESRI.

Como resultado, el modelo de datos de la aplicación implementa cuatro tipos de bases de datos: una base de datos para la información del sistema de cálculo (sistema.gdb), una base de datos para la información geográfica de entrada (data.gdb), una base de datos para los resultados de vulnerabilidad (vulnerabilidad.gdb) y una serie de bases de datos para los resultados de daño de los elementos expuestos (daño.gdb).

Tanto el proceso de diseño, implementación física y administración del modelo de datos está limitado a las posibilidades de las herramientas y del sistema de administración de bases de datos de ESRI. En un principio, estas herramientas proveen los elementos necesarios para ampliar las funciones y capacidades del sistema de acuerdo con las necesidades de la entidad, sin embargo será necesario analizar la posibilidad de modificarla cuando se presenten nuevos requerimientos o posibilidades técnicas.

En la actualidad, el modelo de datos se encuentra en fase de operación lo cual incluye las actividades de actualización y mantenimiento de la información y de la documentación.

Se elaboró el manual del usuario que resume la manera de operar el sistema, tanto para acceder a los módulos de cálculo como para otras funciones desarrolladas para el manejo de los datos y resultados.

Se recomienda que el sistema sea operado por el grupo de escenario de daños de la coordinación de investigación y desarrollo del FOPAE. Los resultados del sistema deben ser analizados por la entidad anticipadamente a cualquier tipo de publicación en la página de Internet o en el Geoportal.

Se recomienda continuar con el desarrollo de nuevos módulos de cálculo para elementos que aún no se hayan evaluado, otros métodos aplicables y efectos colaterales. Así mismo es necesario de que por lo menos dos veces al año se realice el mantenimiento del software, dicho mantenimiento incluye la organización de las bases de datos, ajustes de errores del sistema y demás actividades que sean necesarias para su correcto funcionamiento.

Se recomienda a mediano y largo plazo continuar con los desarrollos de este tipo de herramientas que permitan para la Entidad y para el Distrito disponer de evaluaciones de daño para otros tipos de amenazas, como deslizamientos o inundaciones.

5 REFERENCIAS

Booch G. (2001). *Análisis y diseño de aplicaciones orientado a objetos*. Editorial Addison-Wesley.

DPAE. (2009a). *Actualización y Sistematización de los Escenarios de Daño por Terremoto*. Informe Final Prototipo del Sistema Fase I, Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, Coordinación de Investigación y Desarrollo, Bogotá.

ESRI. (2005). *Designing Geodatabases with Visio*. Redlands, CA, USA: ESRI Press.

ESRI. (2005a). *Designing Geodatabases with Visio*. Redlands, CA, USA: ESRI Press.

ESRI. (2005b). *CASE Tools Tutorial*. Redlands, CA, USA: ESRI Press.

ESRI. (2008). *Building Geodatabases Tutorial*. Redlands, CA, USA: ESRI Press.

Naiburg, E., & Maksimchuk, R. (2001). *UML for Database Design*. Addison Wesley.

Object Management Group. (2009). *Object Management Group - UML*. (O. M. Group, Editor) Recuperado el 15 de 09 de 2009, de Object Management Group - UML: <http://www.uml.org/>

Rational Software Corporation. (2009). *Rational Unified Process Whitepaper: Best Practices for Software Development Teams*. (R. S. Corporation, Editor, & R. S. Corporation, Productor) Recuperado el 15 de 11 de 2009, de http://www.augustana.ab.ca/~mohrj/courses/2000.winter/csc220/papers/rup_best_practices/rup_bestpractices.html

Schreiner, C. (2005). *Geo-Database Modeling Using CASE tools*. Sidney: NZERN.

Zeiler, M. (1999). *Modelling Our World*. Redlands, CA, USA: ESRI Press.

Páginas WEB.

The java Tutorials – Sun Microsystems. Lesson: Exceptions.

<http://java.sun.com/docs/books/tutorial/essential/exceptions/index.html>

Object Management Group (OMG) www.uml.org SCJP Sun Certified Programmer for Java 5 Study Guide: Exam (310-055)

by Kathy Sierra, Bert Bates - McGraw-Hill/Osborne - Book – 825

ANEXO 1. REQUISITOS FUNCIONALES

ANEXO 2. ANÁLISIS DE REQUISITOS FUNCIONALES

ANEXO 3. CASOS DE USO

ANEXO 4. ANÁLISIS DE CASOS DE USO

ANEXO 5. MODELO DE DATOS

ANEXO 6. DICCIONARIO DE DATOS

ANEXO 7. ESTRUCTURACIÓN DE INFORMACIÓN

**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

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 pérdidas; 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 RECOPIADA	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	EFFECTOS 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	EFFECTOS 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	EFFECTOS 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	EFFECTOS 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 iniciales 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 iniciales 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 iniciales 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 (F_a) y otro para periodos de vibración largos (F_v).

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.

Licuefacción: 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 sísmica 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 microtemores 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 Km ²	Población Personas	Edificaciones Número	Tubería de acueducto Longitud (m)	Tubería Gas (60psi) Longitud (m)	Cableado Eléctrico (11kv) Longitud (m)	Cableado Teléfono Longitud (m)	Instalaciones Industriales 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 Teléfono	
	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 entresijos con altura doble, estrato, valor asegurable, año de construcción, áreas de construcción, daños previos, existencia de arriostamiento, 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.

2 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN RECOPIADA

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 de 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.

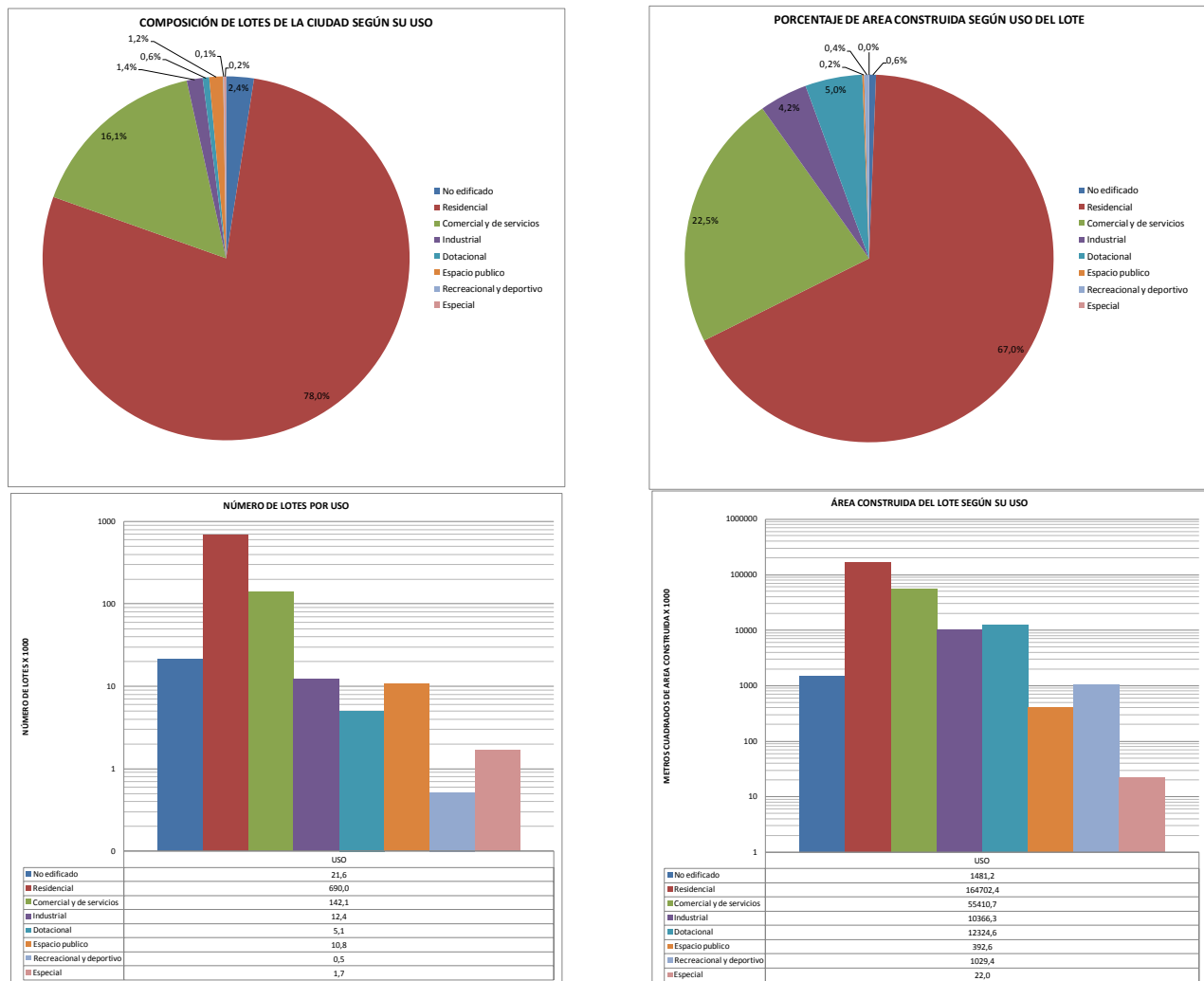


Figura 2.1. Uso del suelo

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.

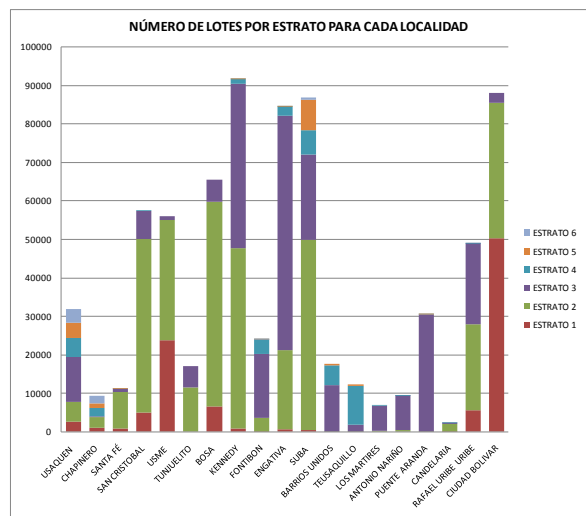
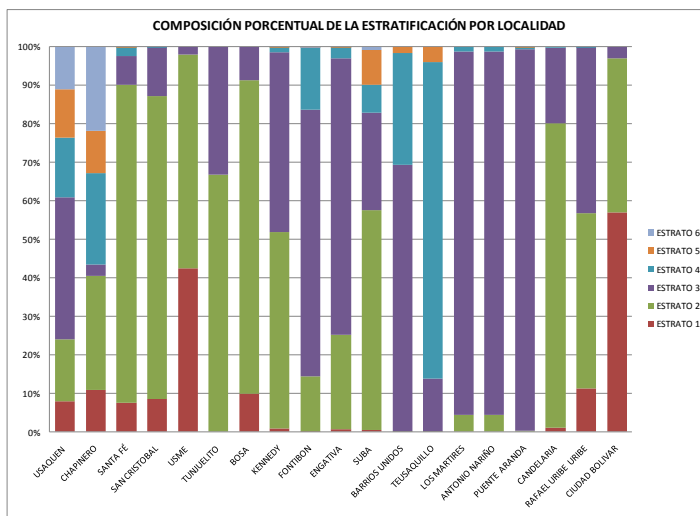
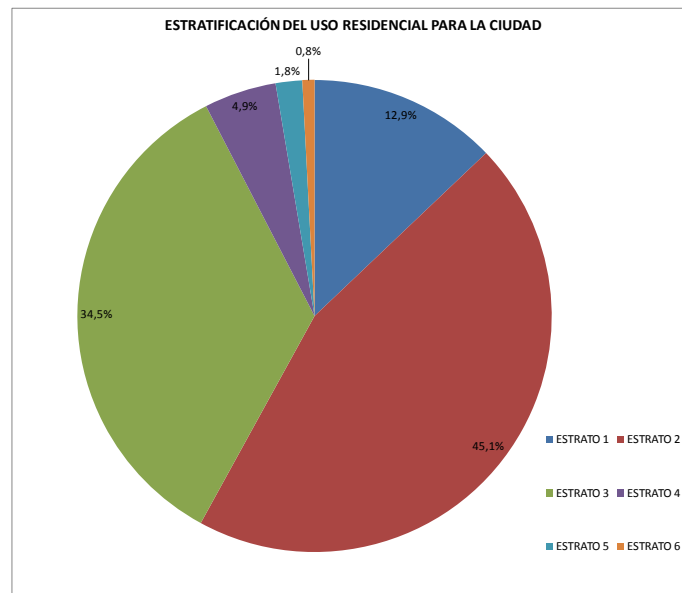


Figura 2.2. Estratificación socioeconómica por lote

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 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.

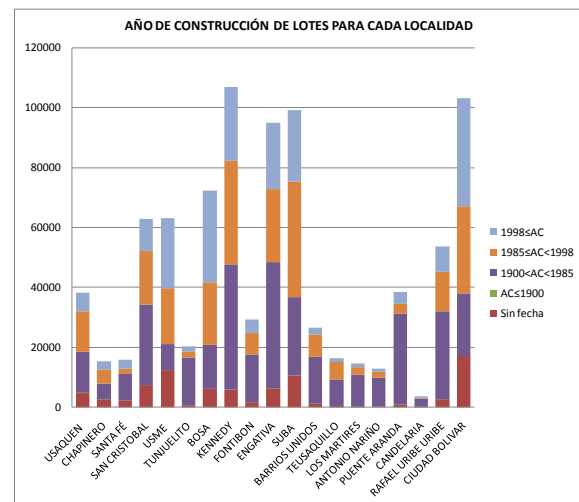
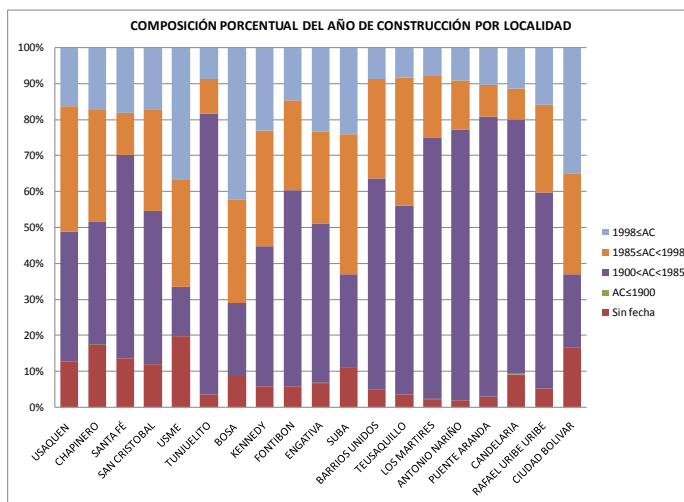
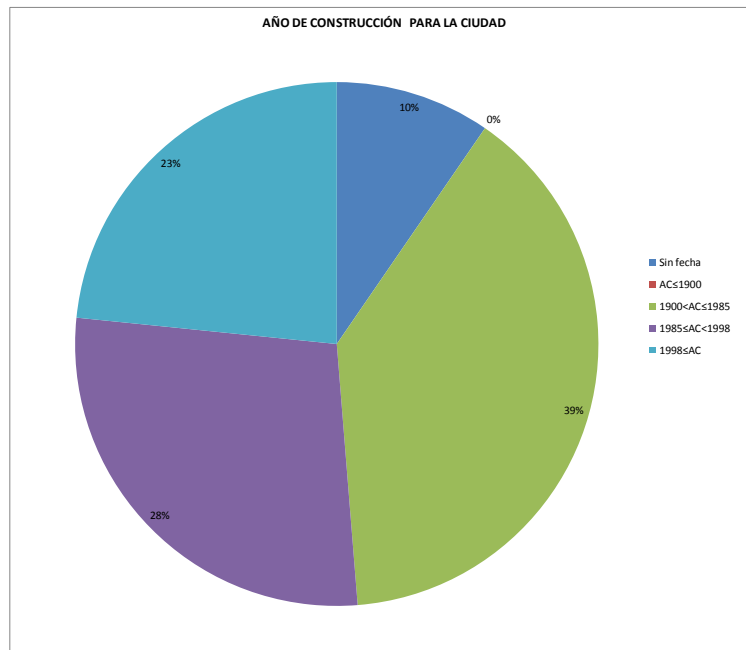


Figura 2.3. Año de construcción de edificaciones

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.

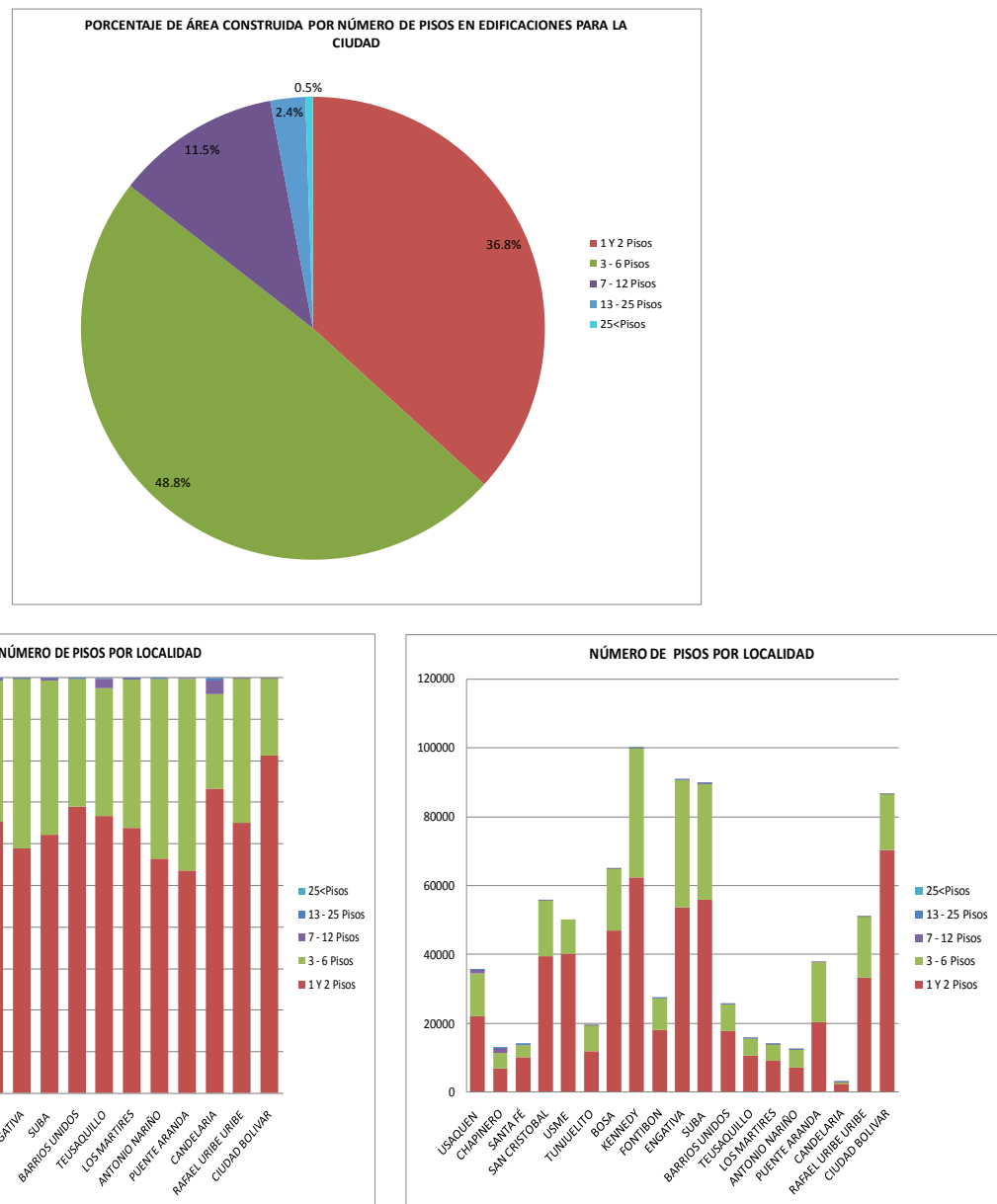


Figura 2.4. Número de pisos de las edificaciones por lote

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.

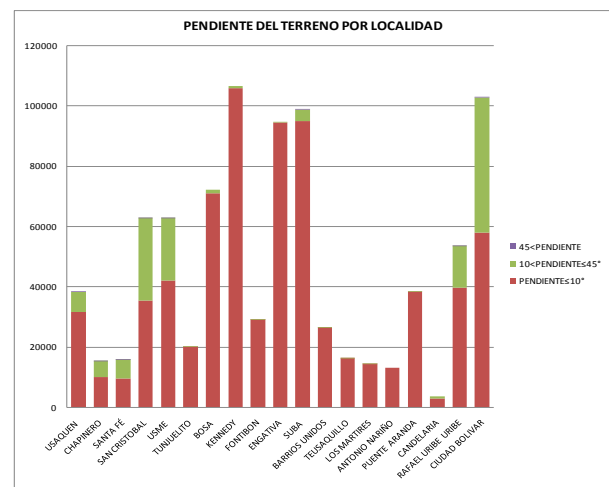
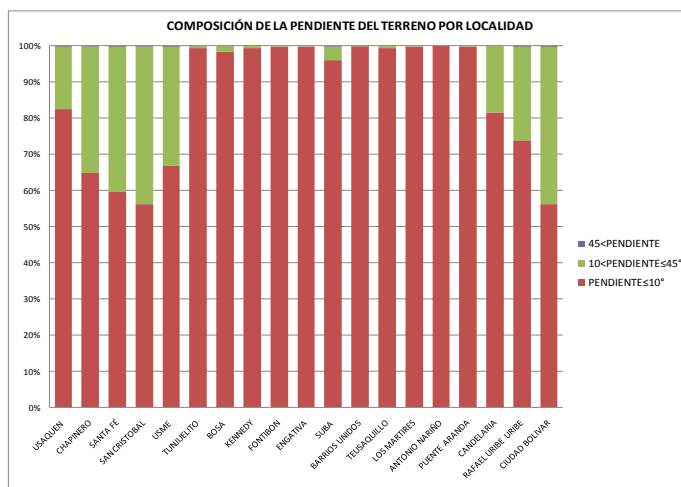
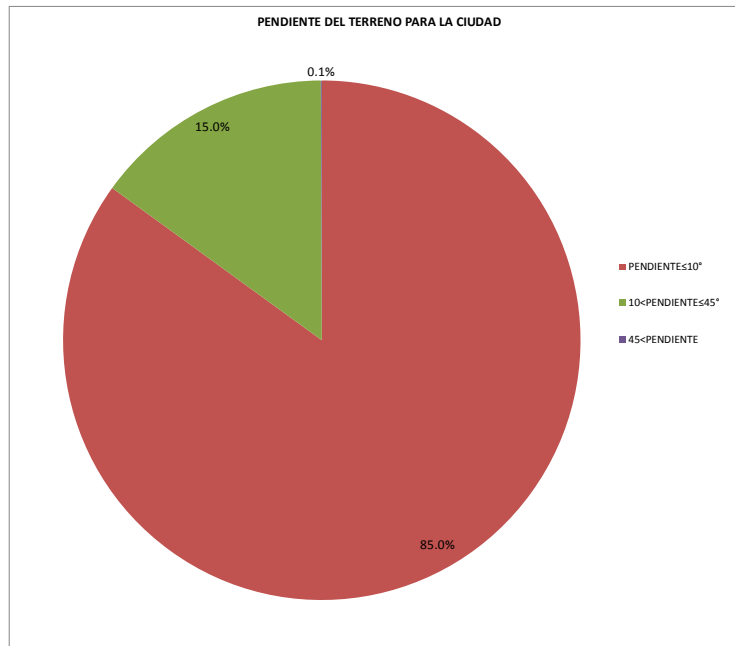


Figura 2.5. Pendiente del terreno de los lotes

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.

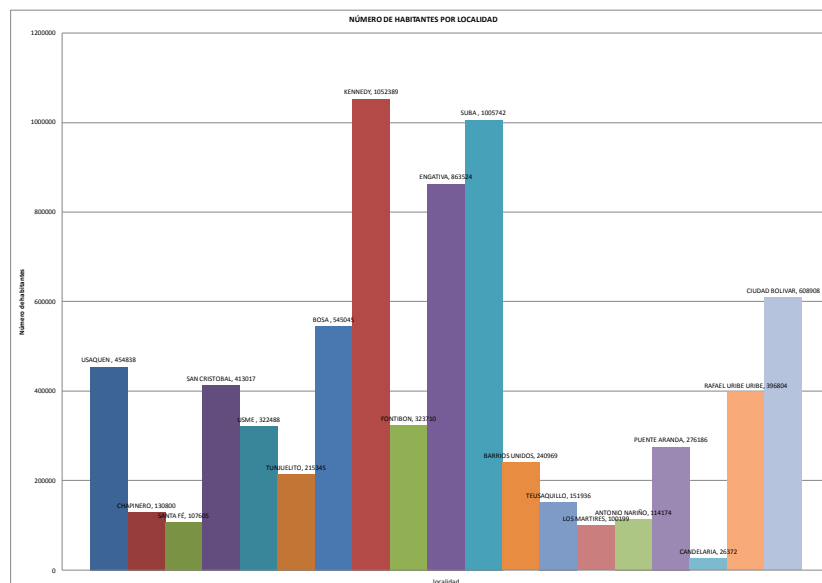
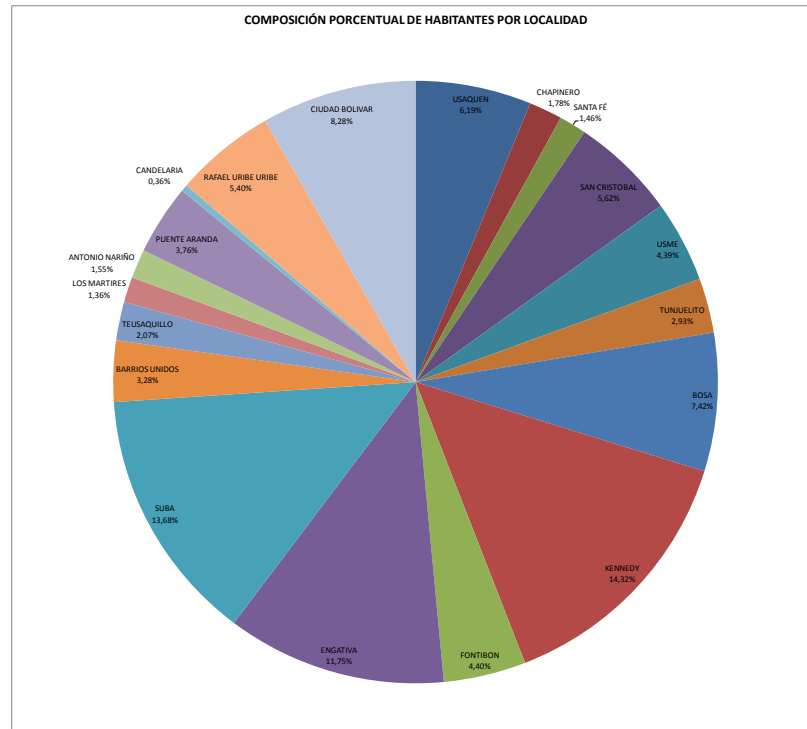


Figura 2.6. Población proyectada 2010

2.2.1.7 Densidad poblacional

La densidad de población en habitantes por kilómetro 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 crítico¹ 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 kilómetro 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.

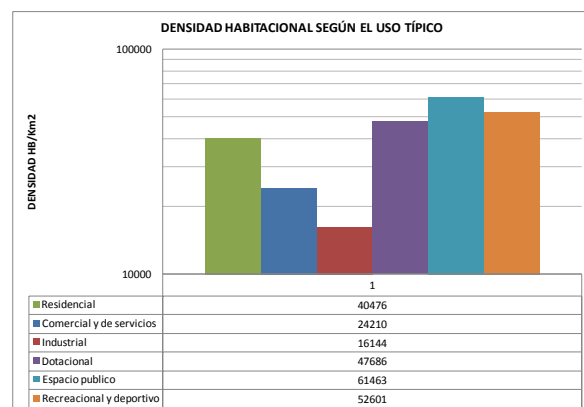
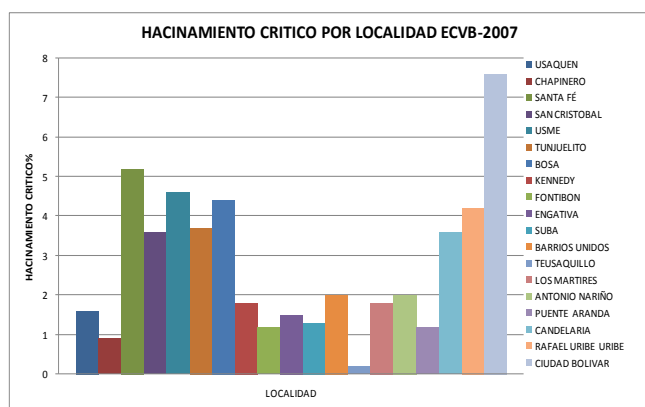
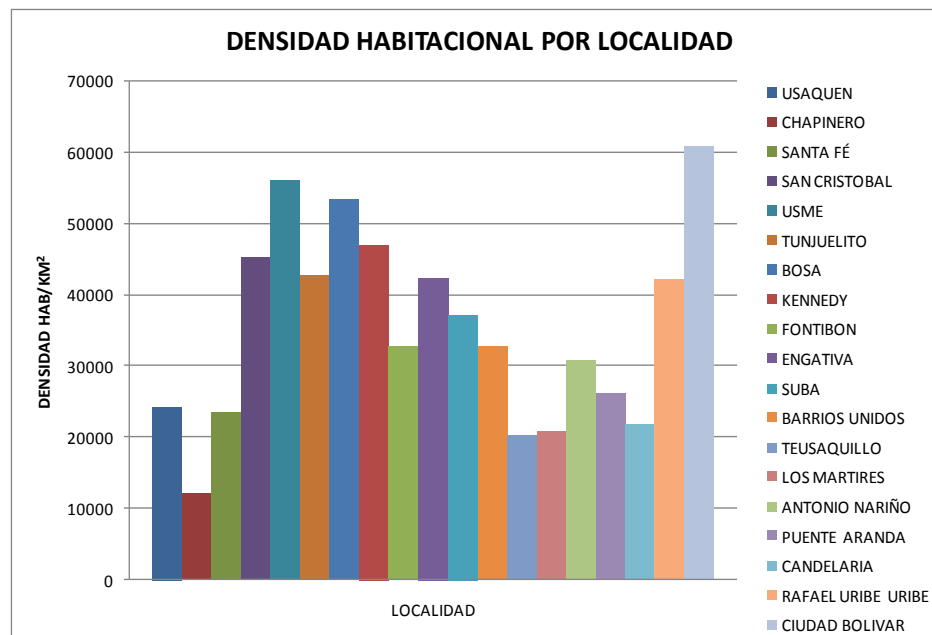


Figura 2.7. Densidad poblacional

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.

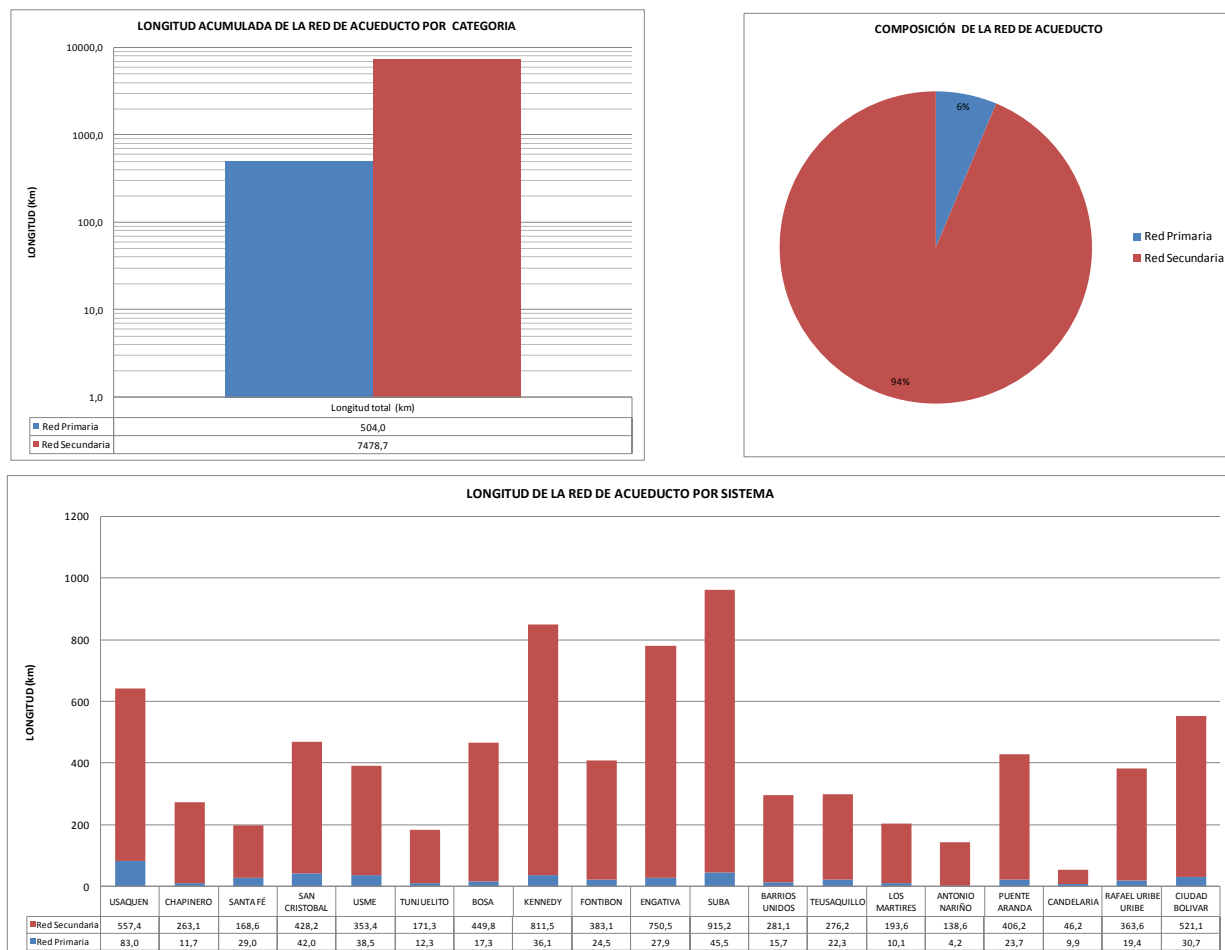


Figura 2.8. Acueducto



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**).

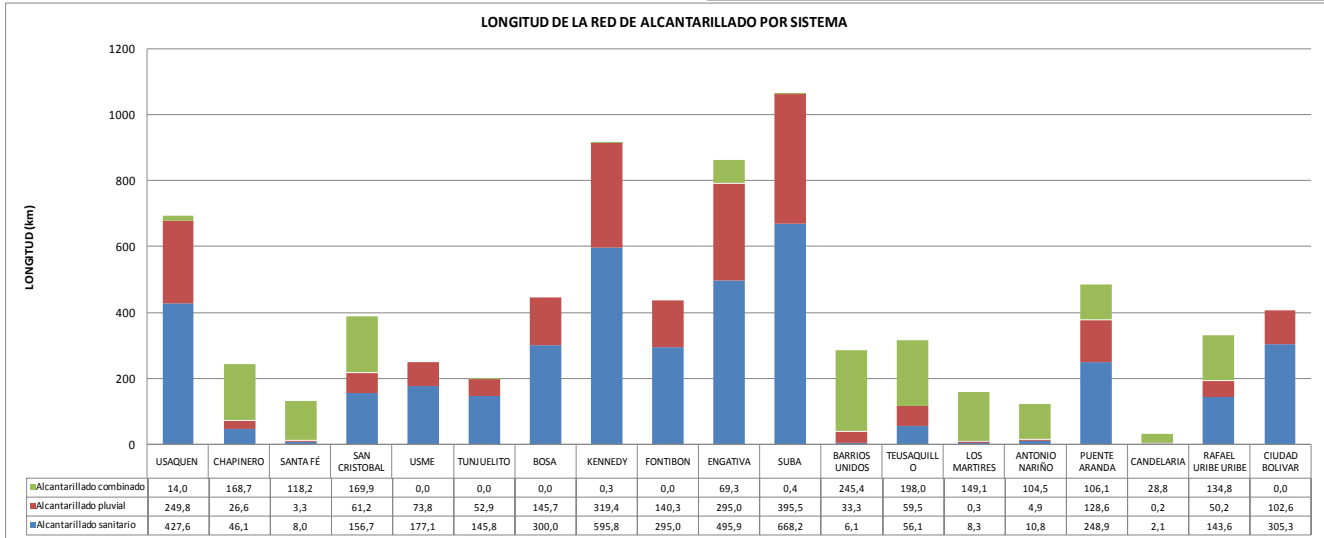
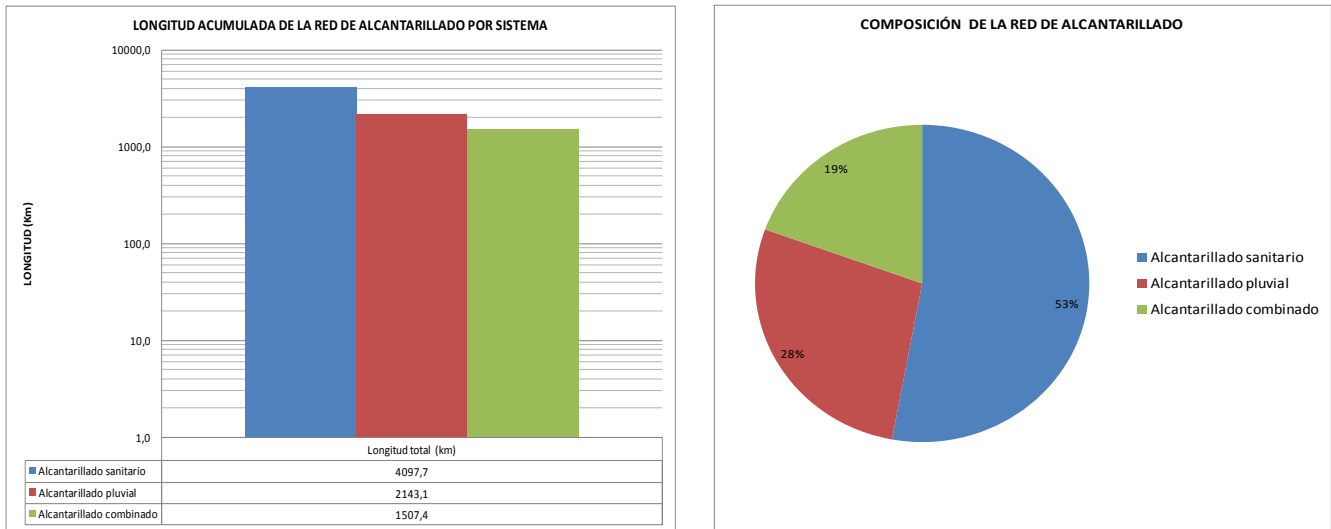


Figura 2.10. Composición del sistema de alcantarillado

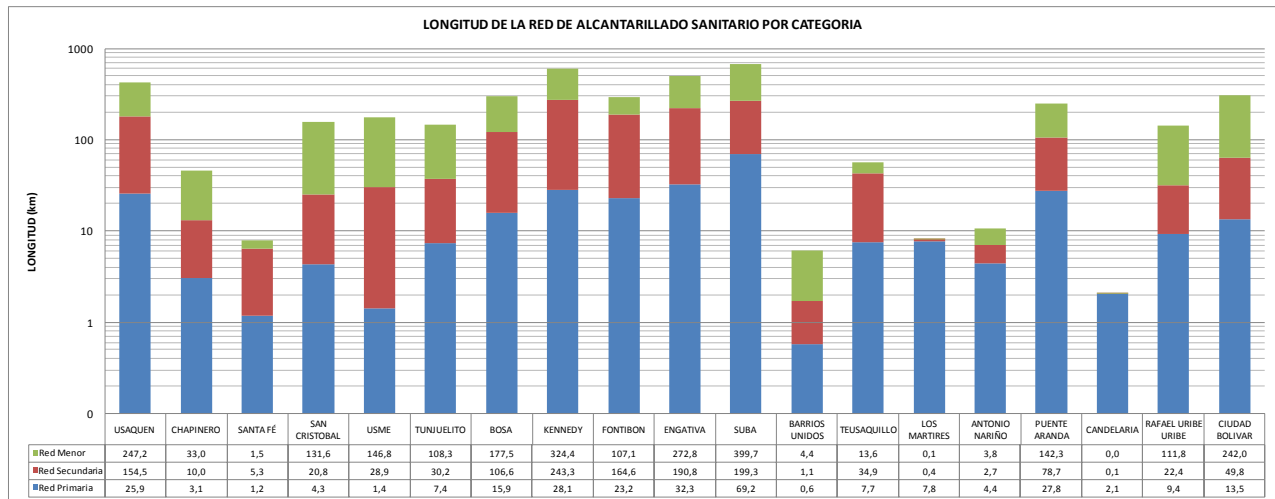


Figura 2.11. Alcantarillado sanitario

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**).

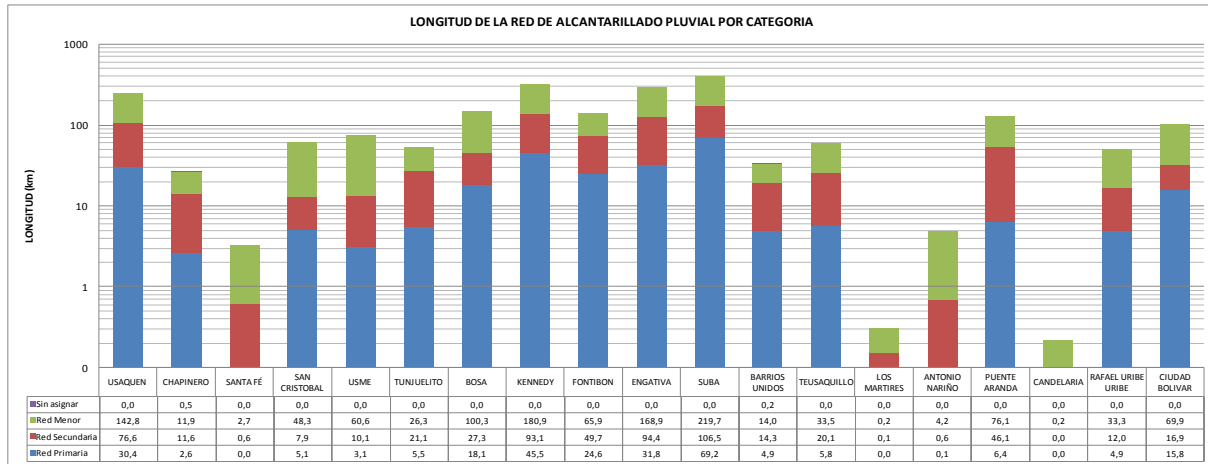


Figura 2.12. Alcantarillado pluvial

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.

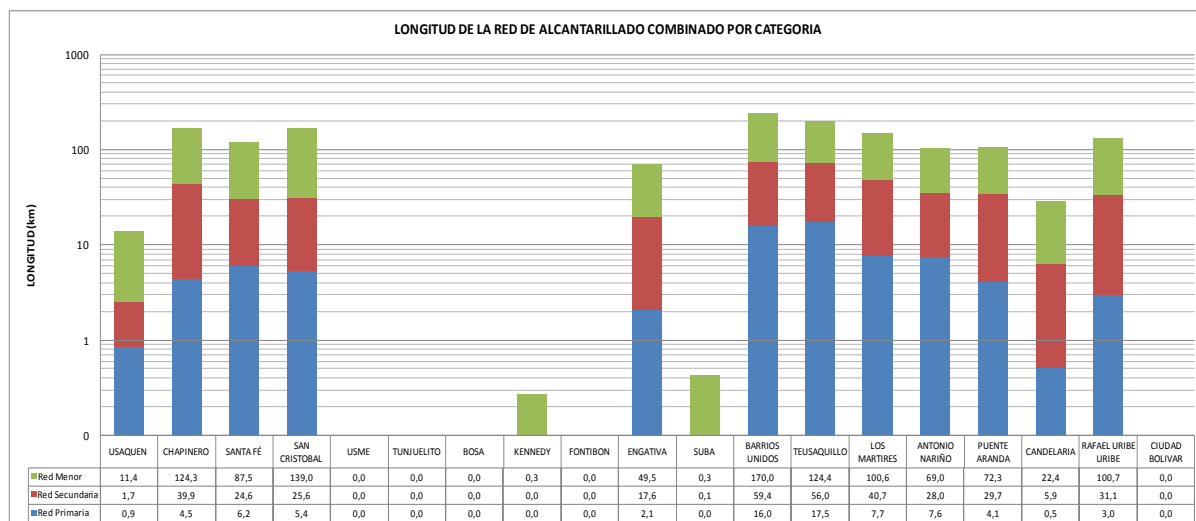


Figura 2.13. Alcantarillado combinado

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 m³, un 22% tienen volúmenes entre 10 y 500 m³, seguidos de cerca con el 20% aquellos de volúmenes de entre 5.000 y 10.000 m³, luego con el 13% los de más de 10.000m³. 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.

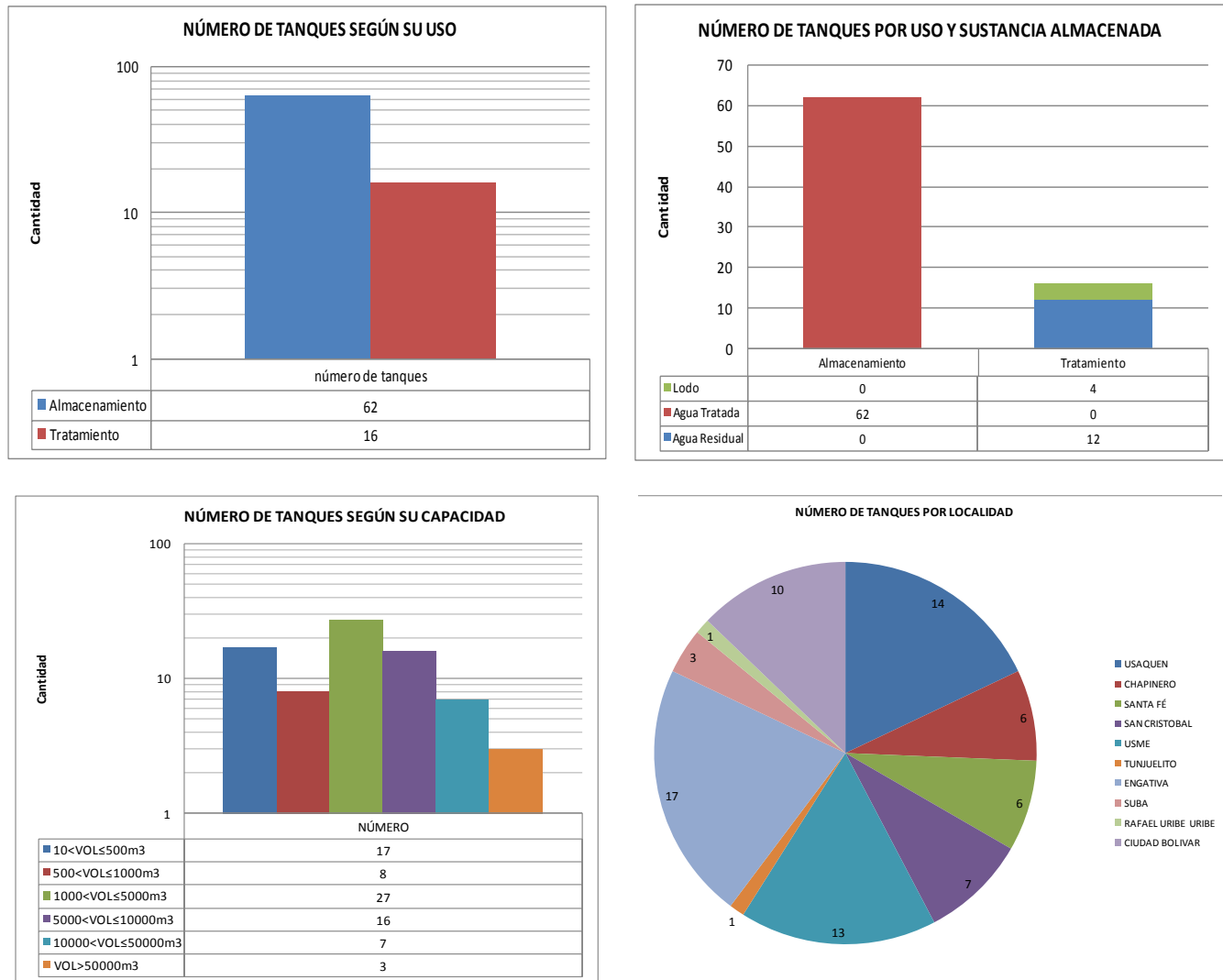


Figura 2.14. Tanques

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.

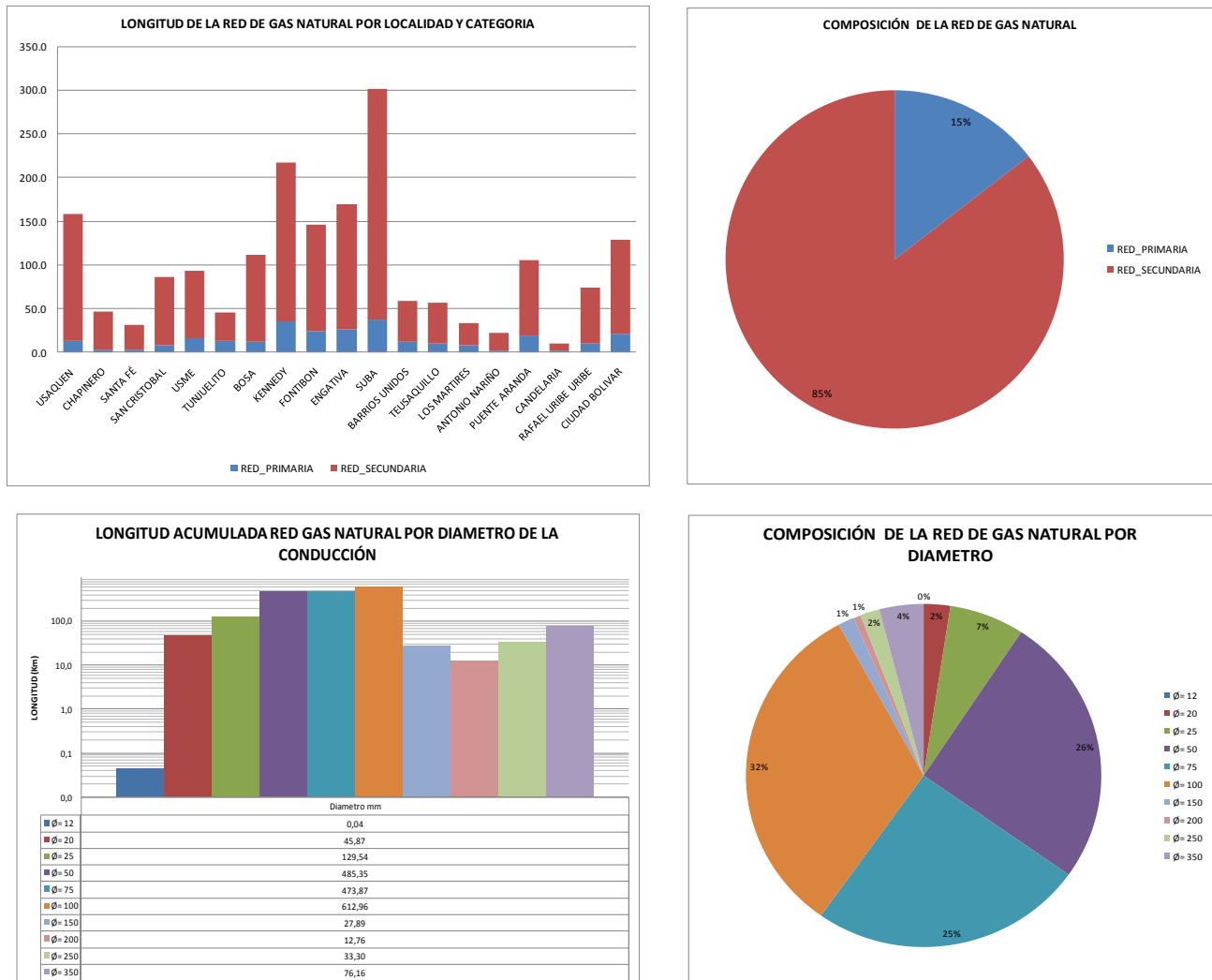


Figura 2.15. Gas natural

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.

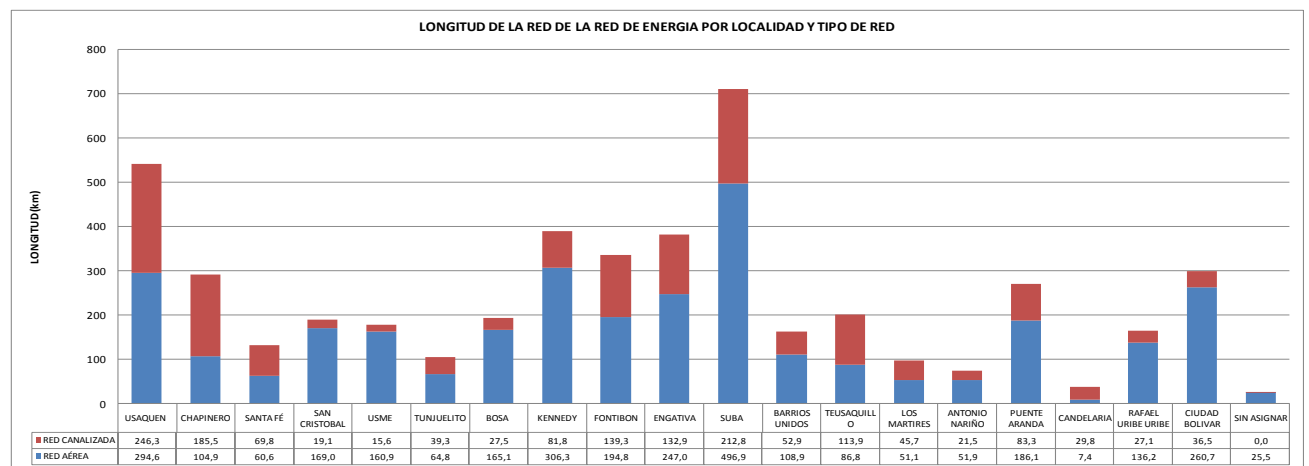
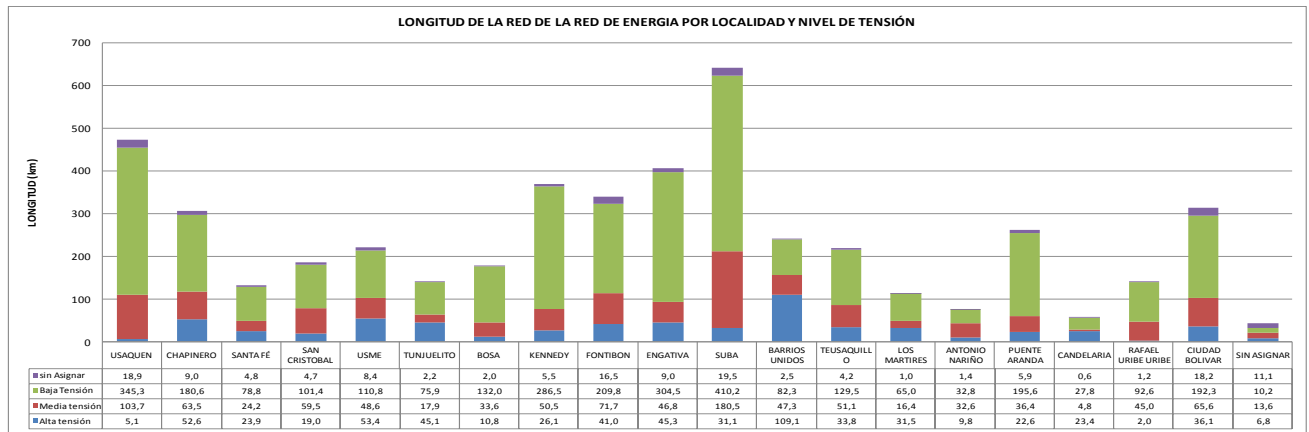
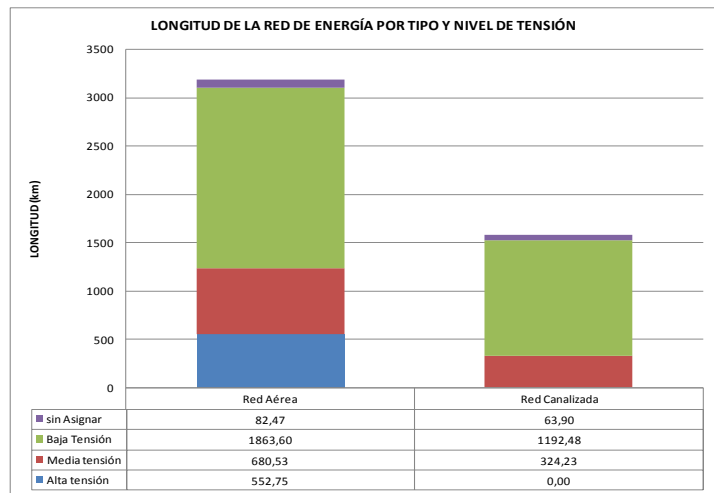
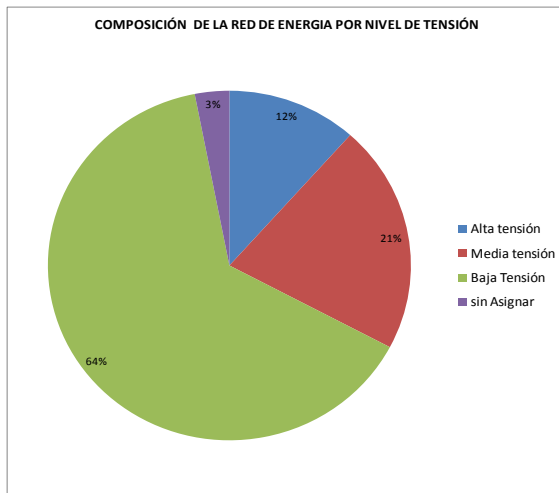


Figura 2.16. Energía eléctrica (cableados)

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.

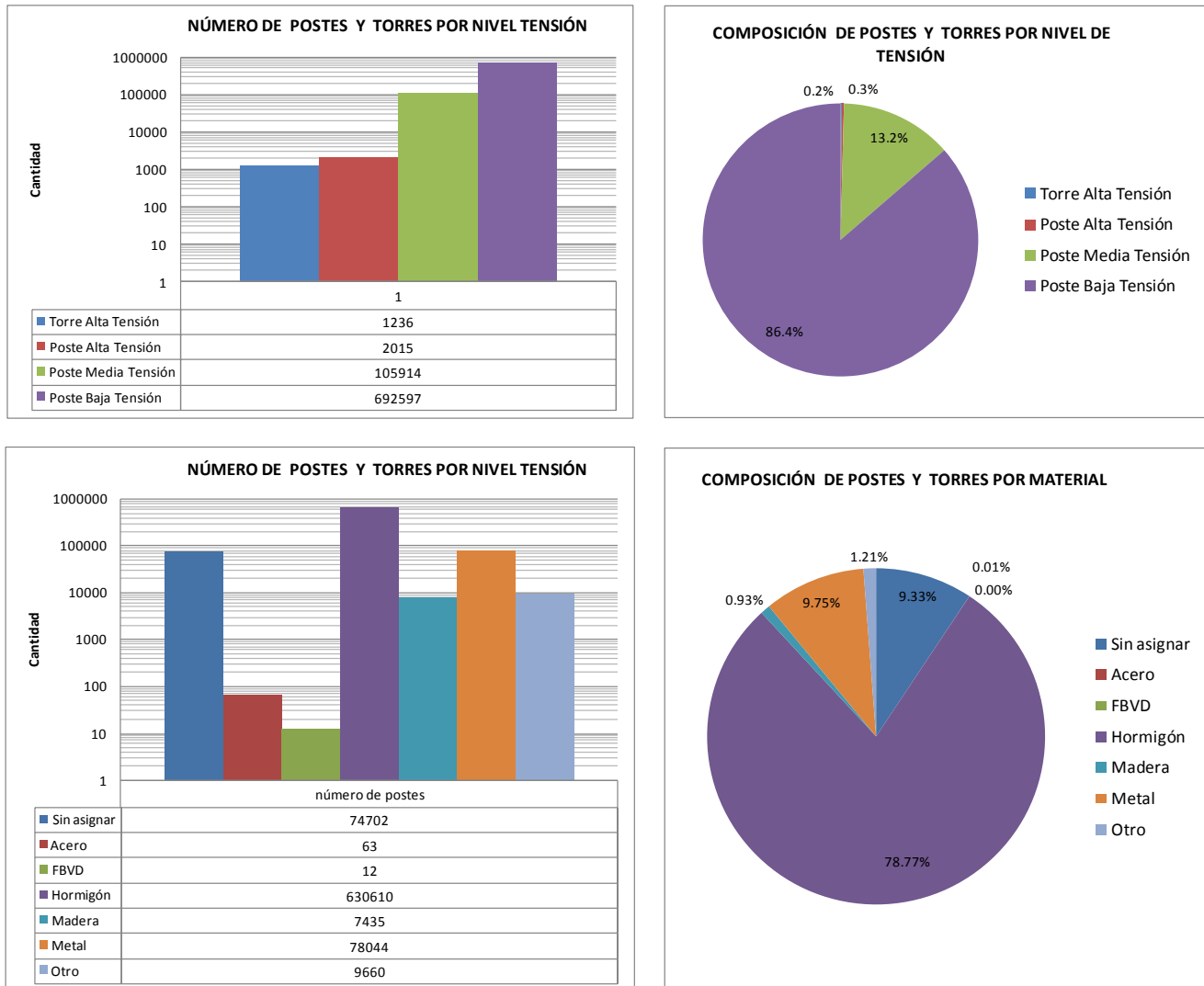


Figura 2.17. Energía eléctrica (postes y torres)

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.

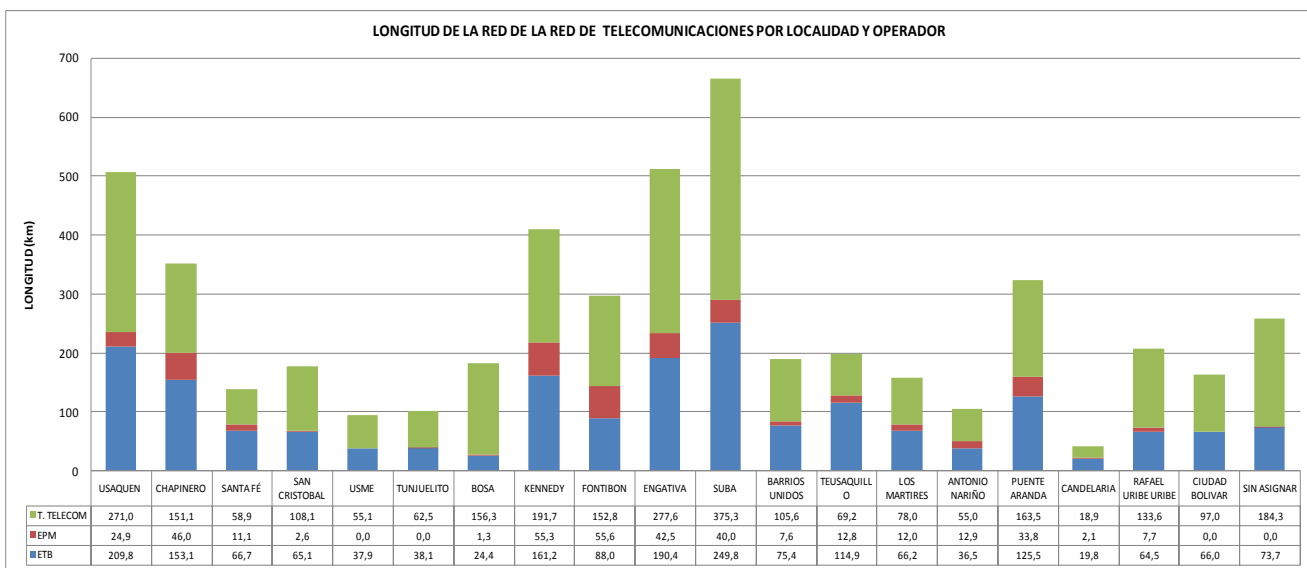
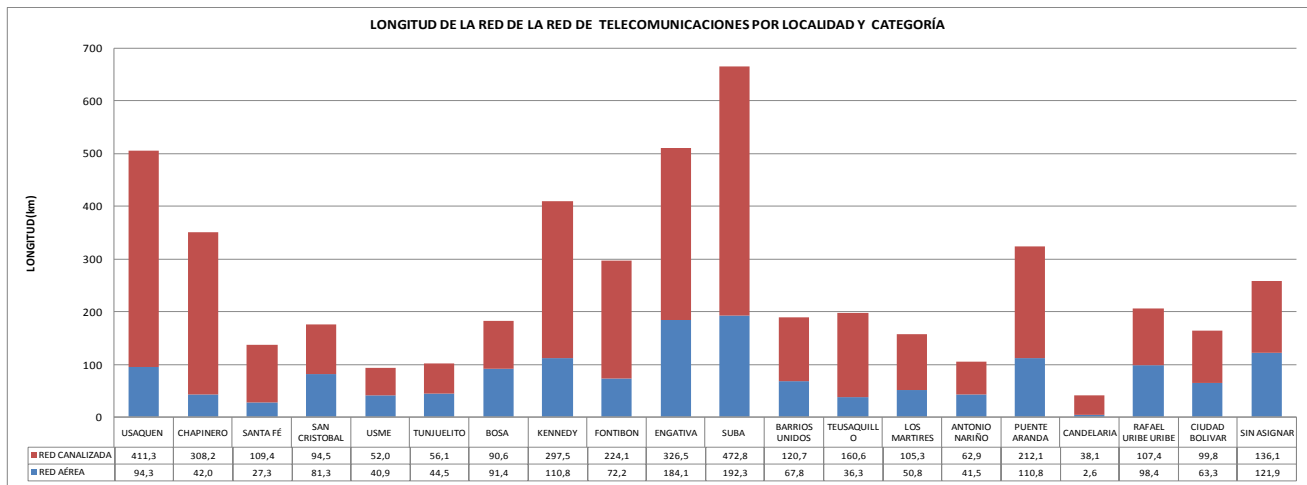
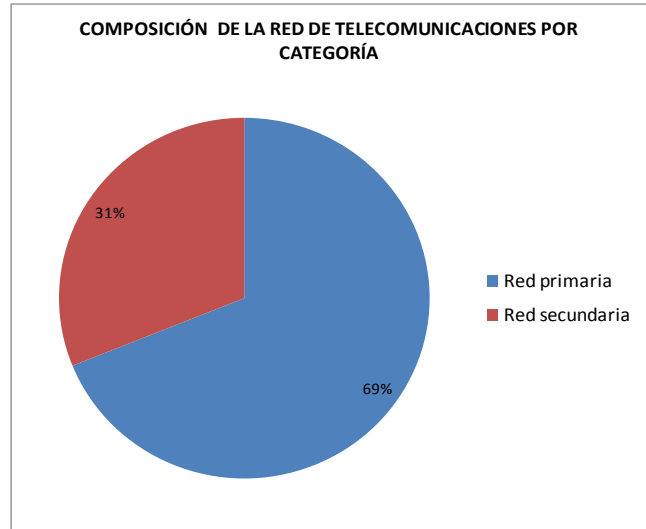
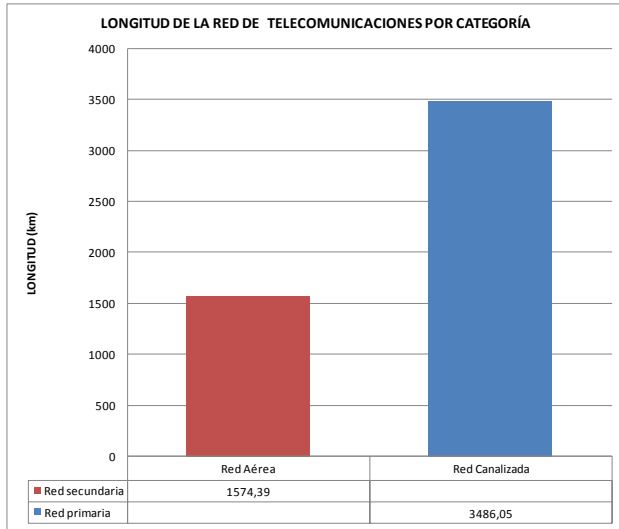


Figura 2.18. Telecomunicaciones

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.

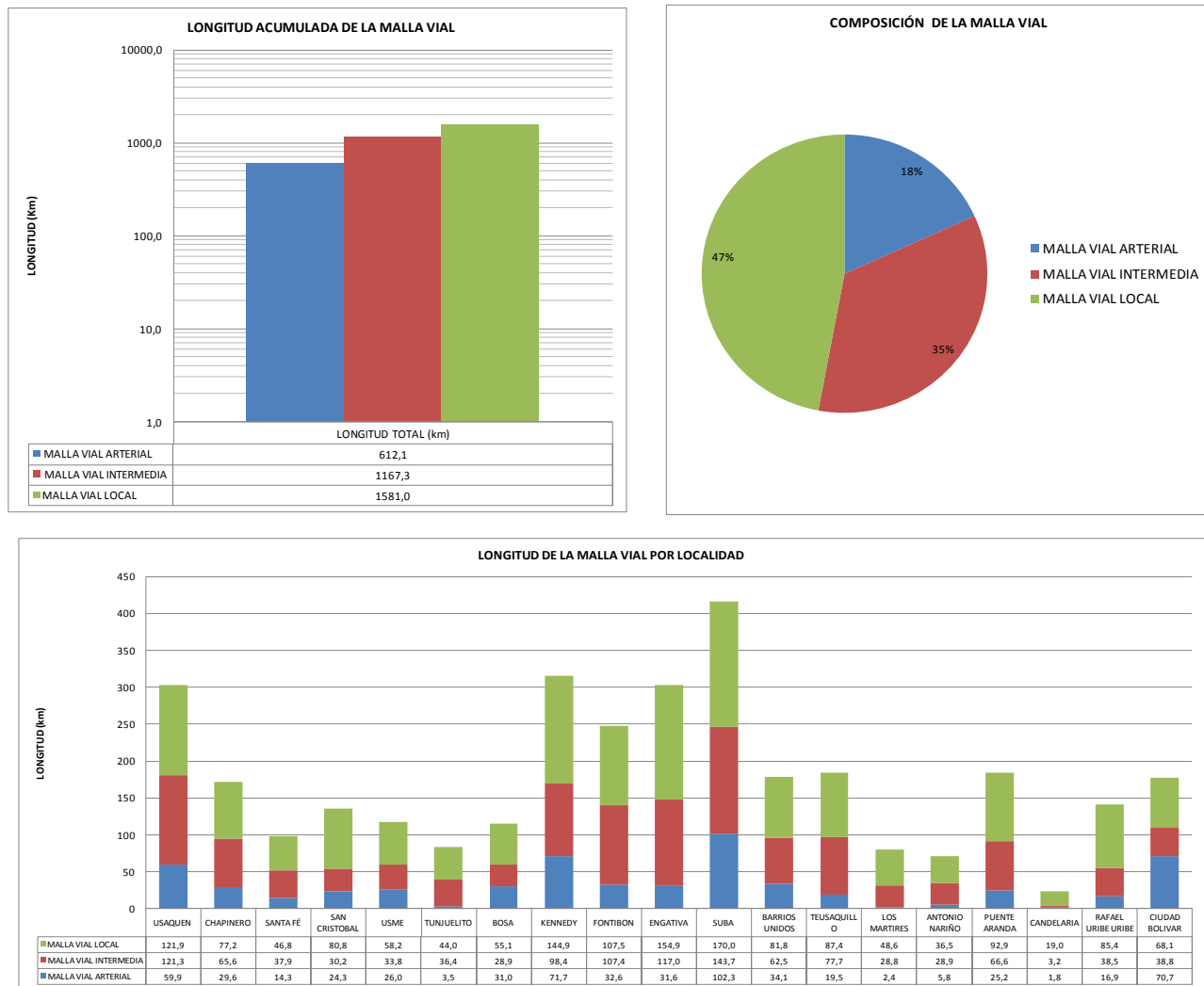


Figura 2.19. Malla vial

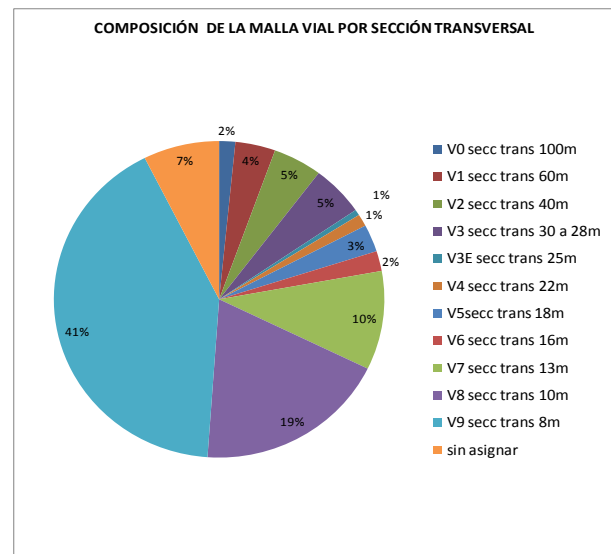
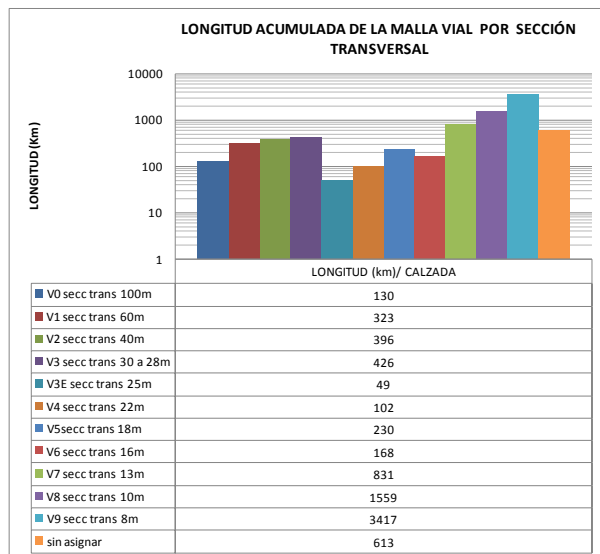
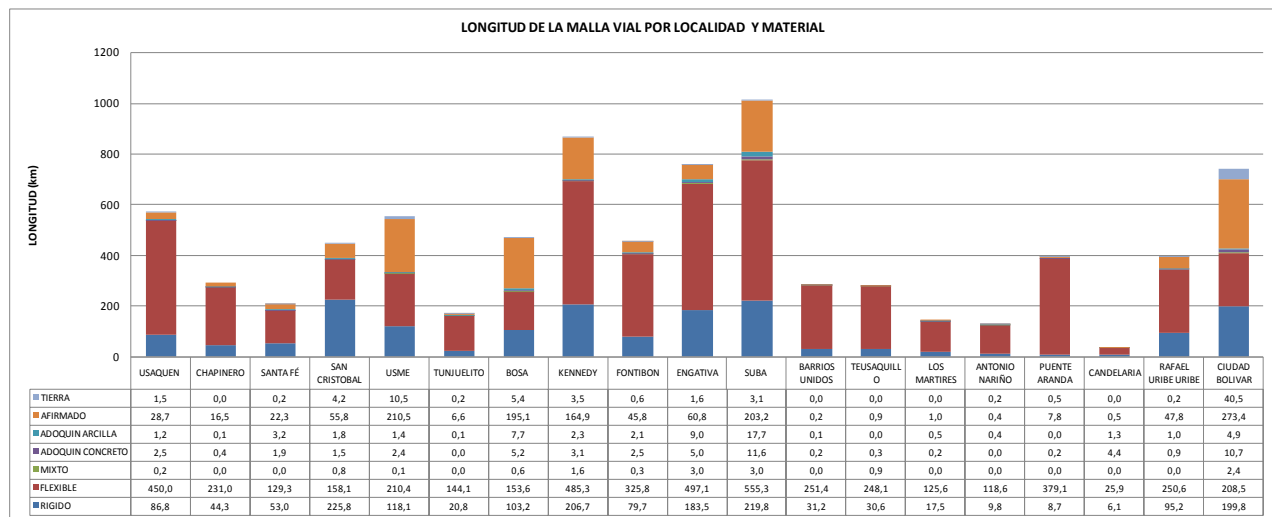
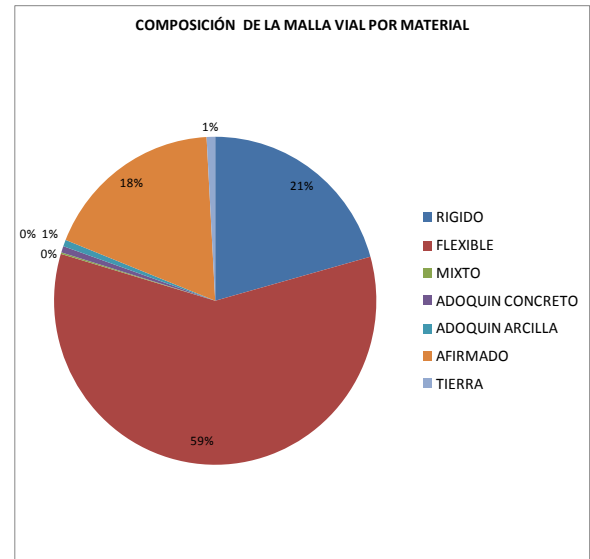
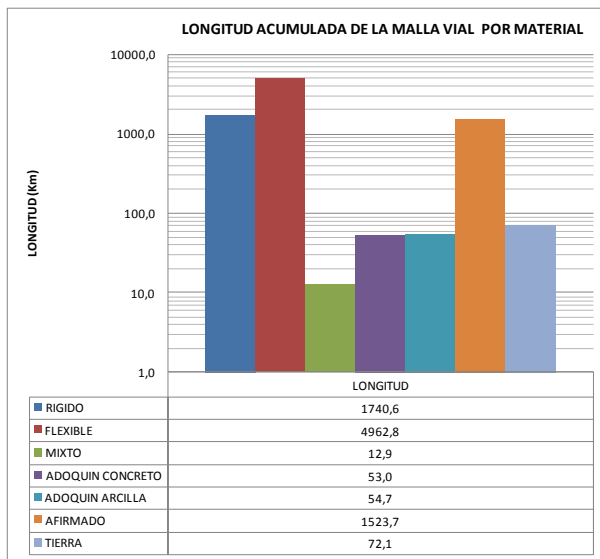


Figura 2.20. Malla vial de Bogotá por material y sección transversal

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**):

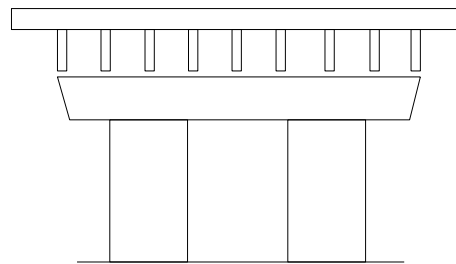


Figura 2.21. Puente vehicular tipo

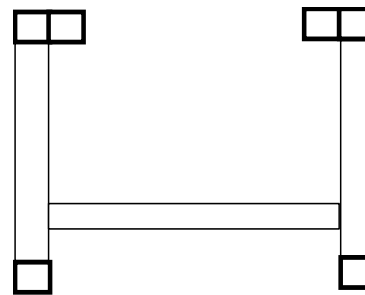


Figura 2.22. Puente peatonal tipo

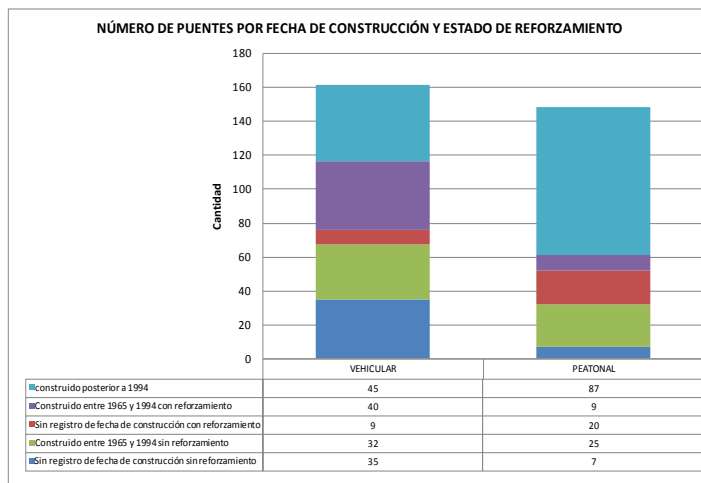
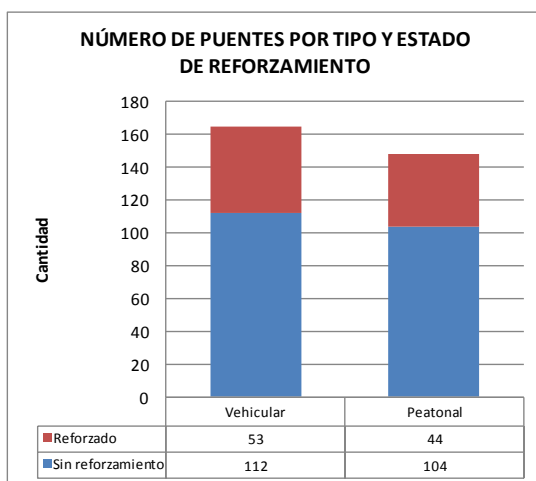


Figura 2.23. Puentes por año y reforzamiento

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 MI	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**.

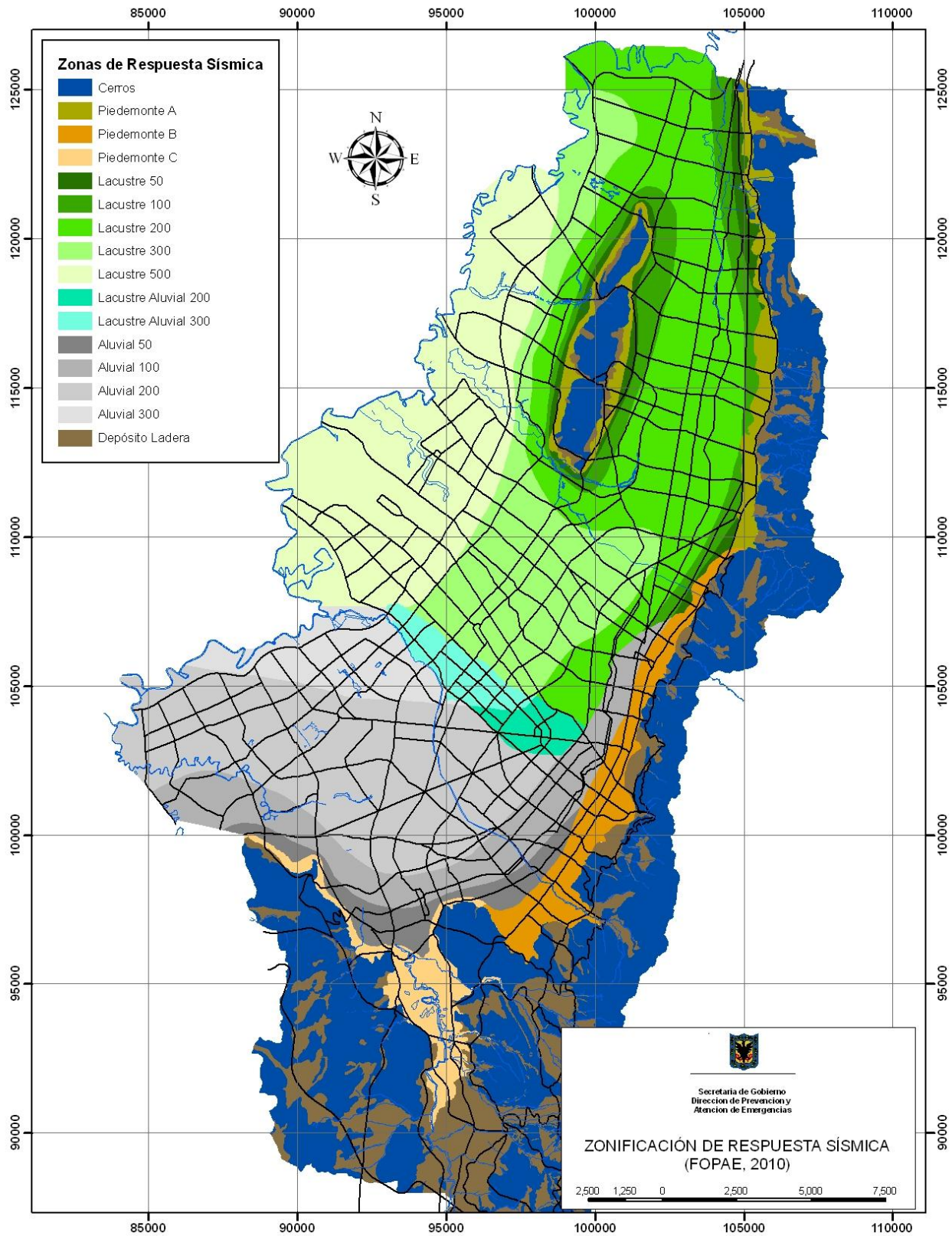


Figura 3.1. Zonas de Respuesta Sísmica de Bogotá (FOPAE, 2010)

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.

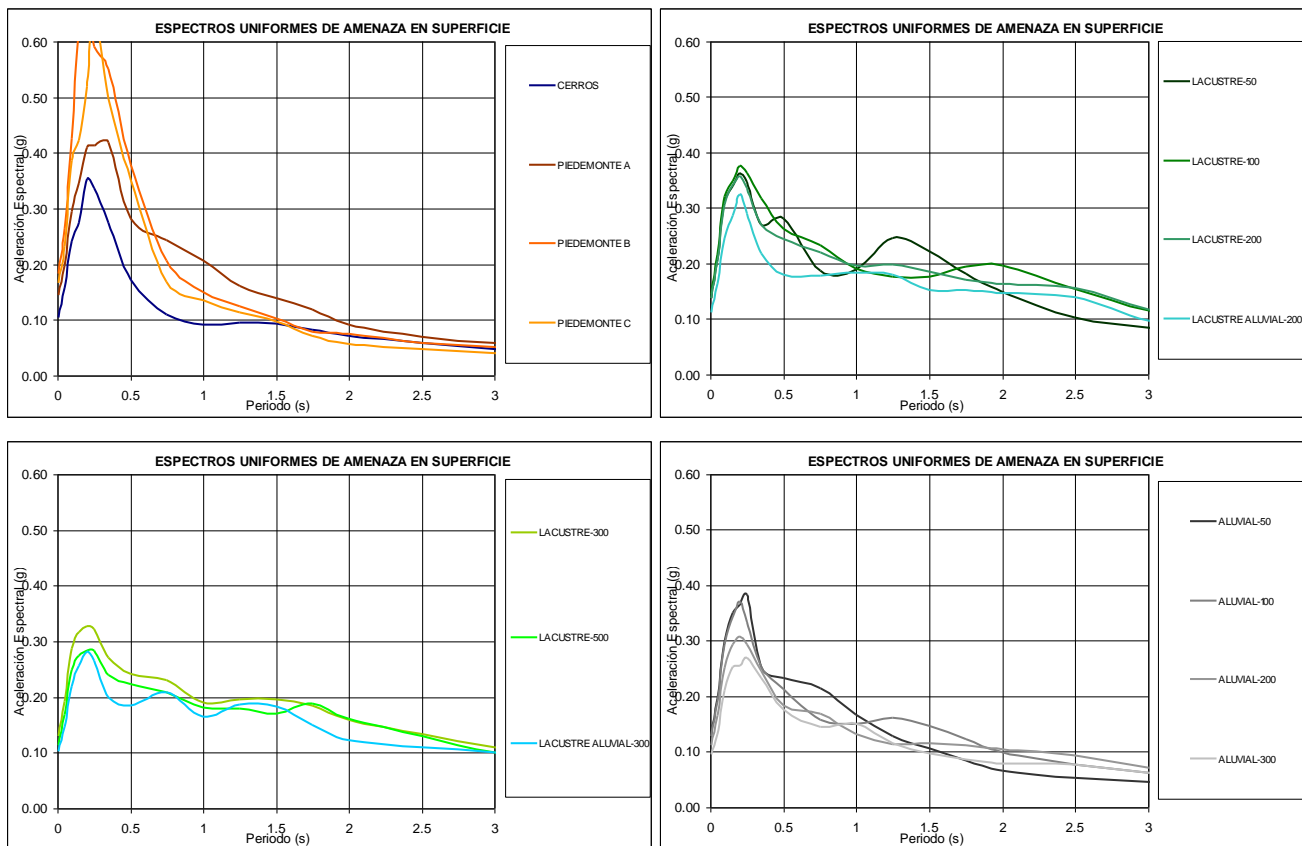


Figura 3.2. Espectros Uniformes de Amenaza en superficie para D=5% umbral de daño

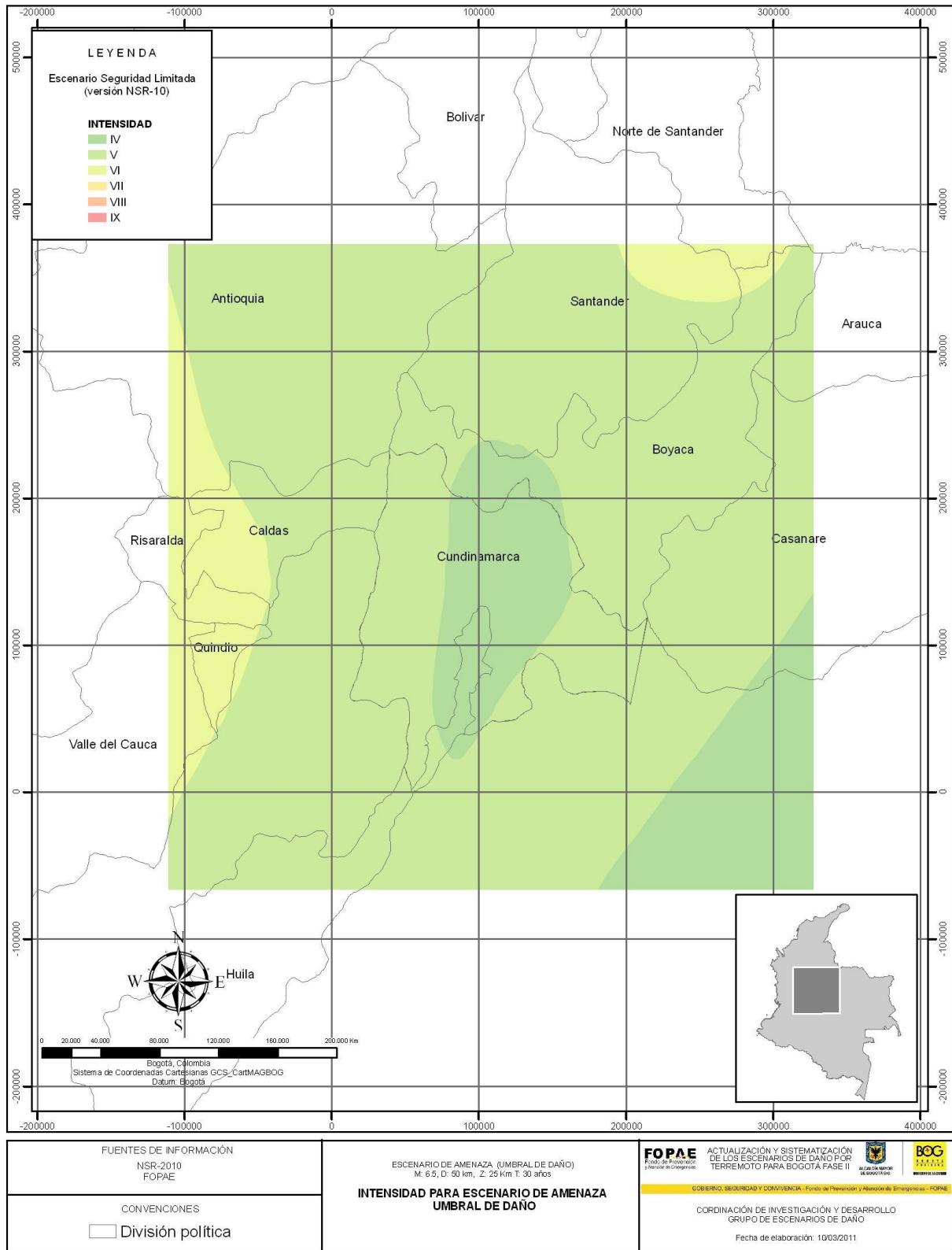


Figura 3.3. Mapa de amenaza regional escenario umbral de daño

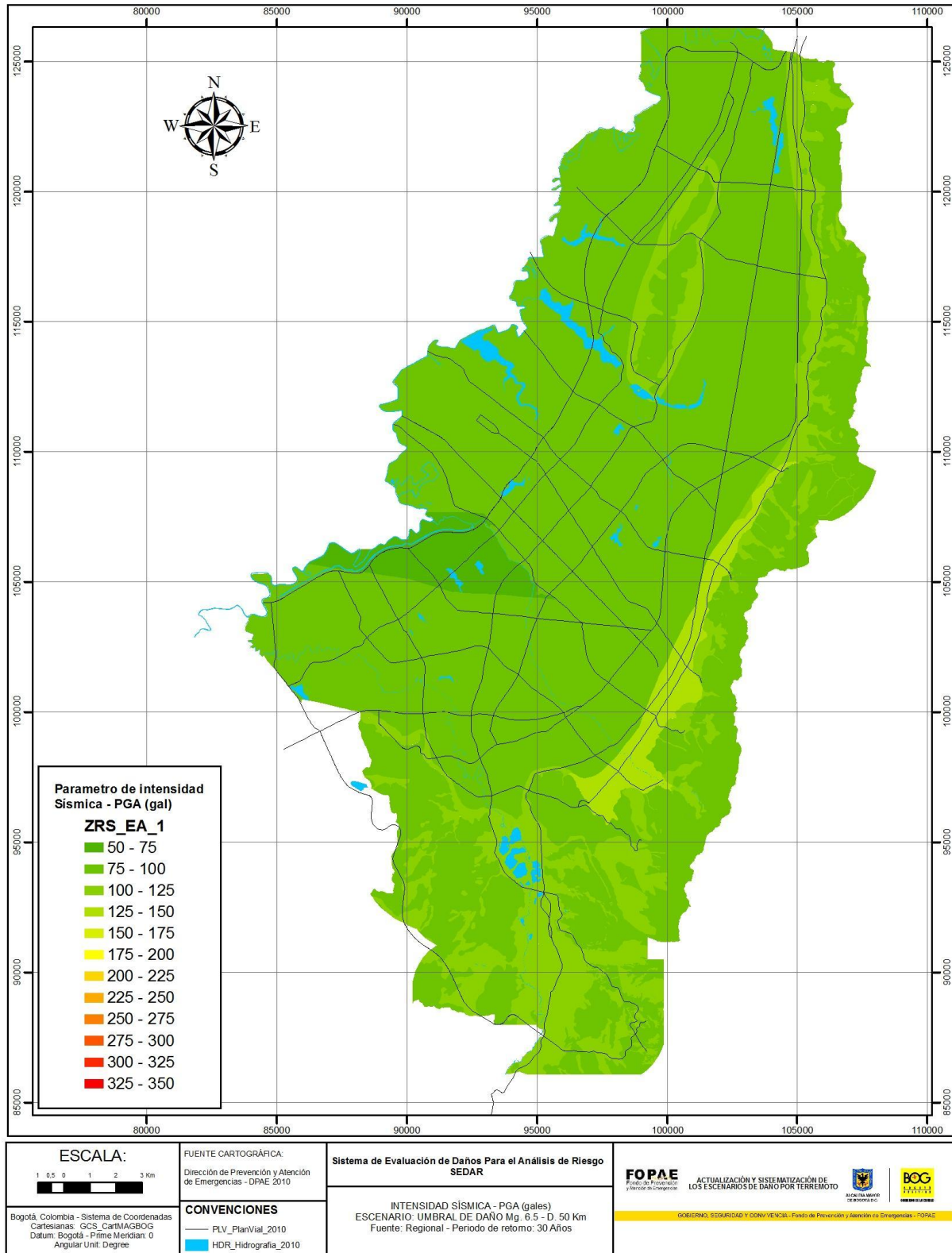


Figura 3.4. Mapa de respuesta sísmica local escenario umbral de daño

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.

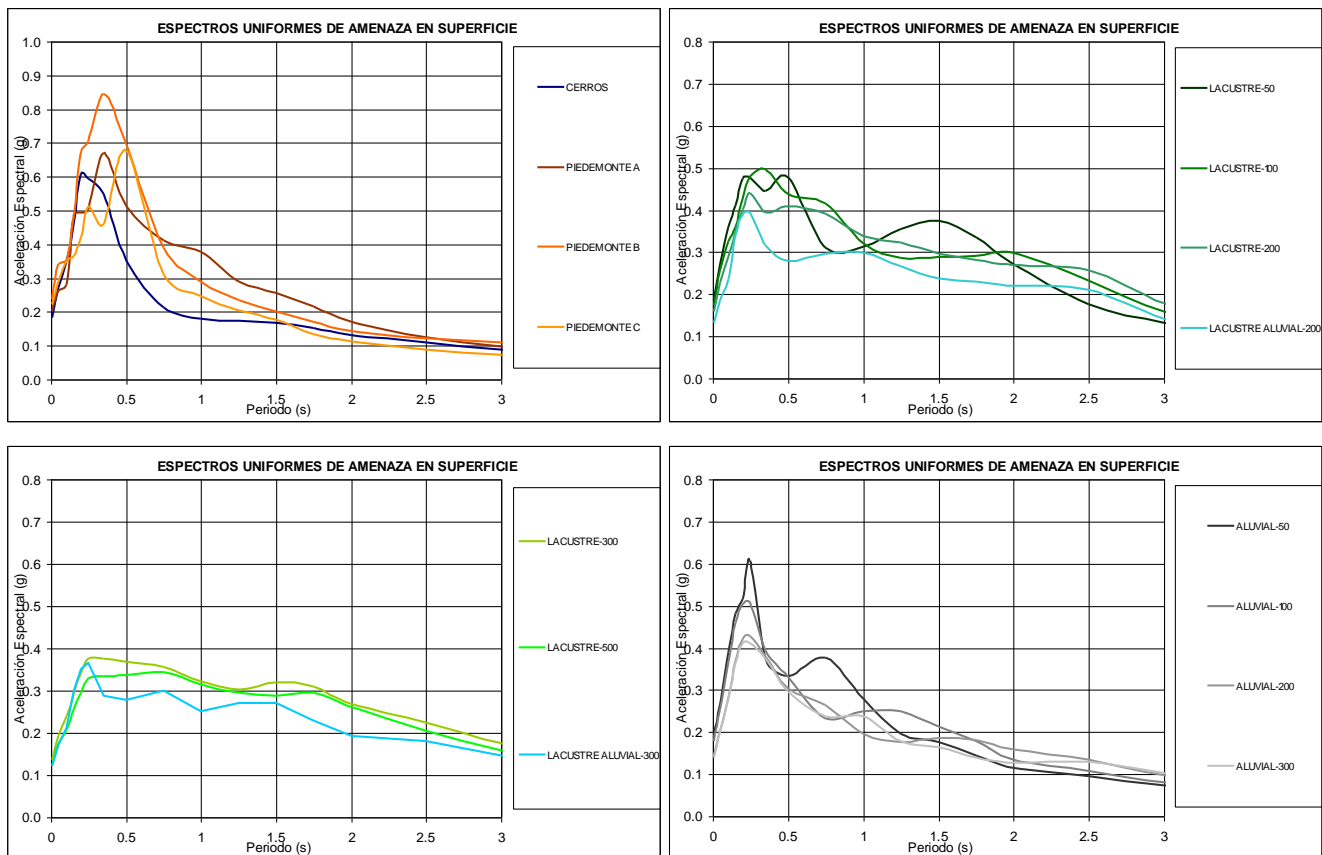


Figura 3.5. Espectros Uniformes de Amenaza en superficie para D=5% seguridad limitada

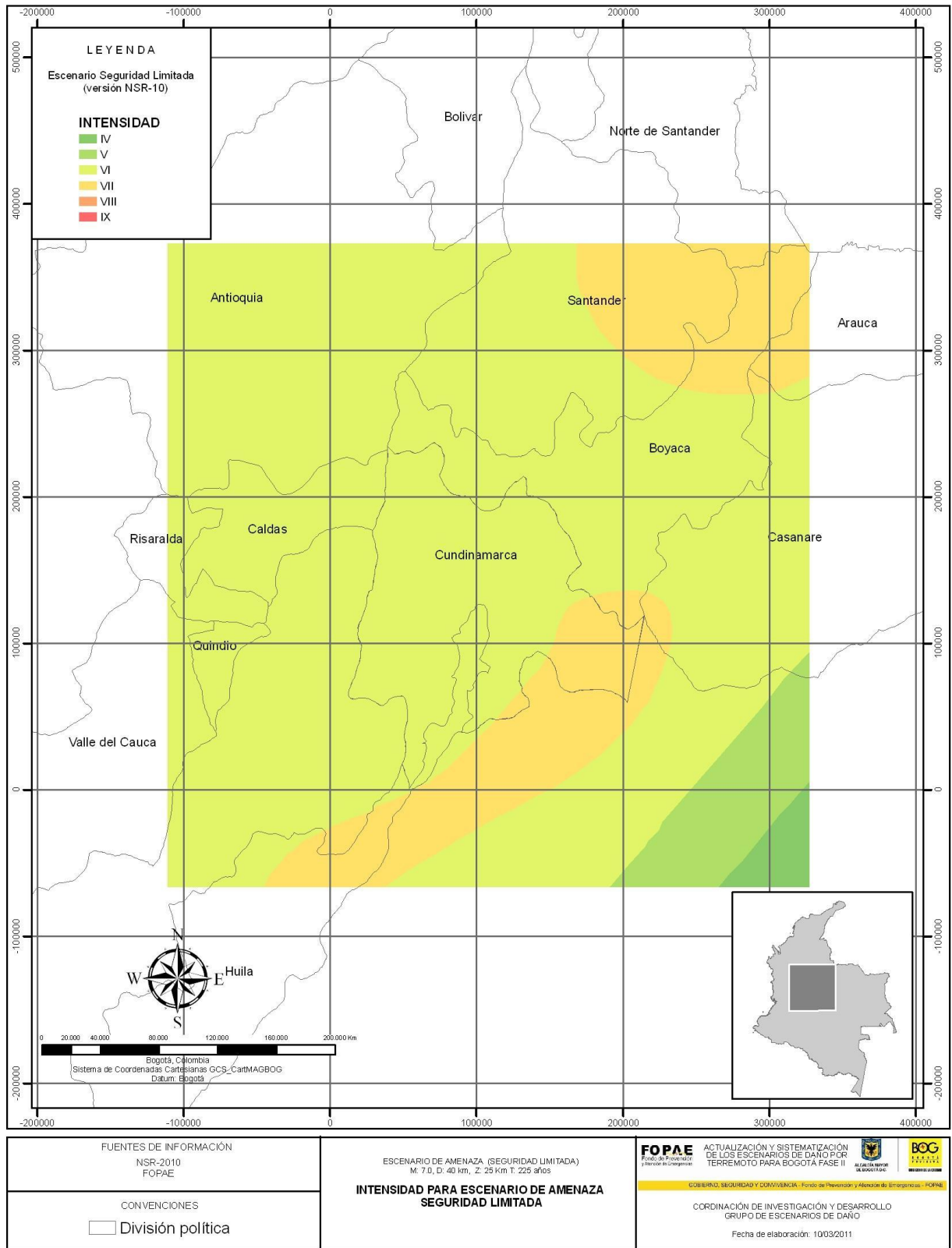


Figura 3.6. Mapa de amenaza regional escenario seguridad limitada

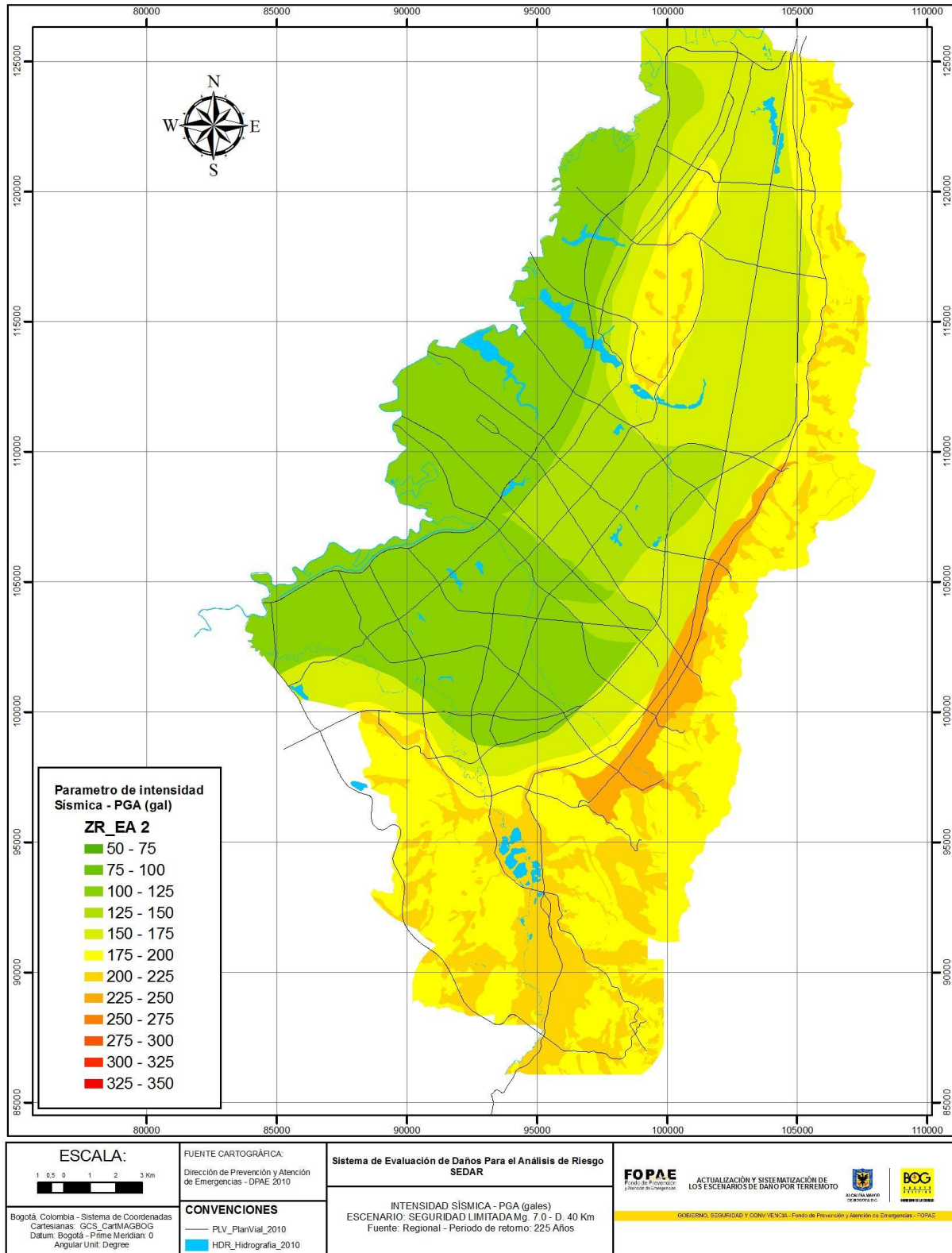


Figura 3.7. Mapa de respuesta sísmica local escenario seguridad limitada

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.

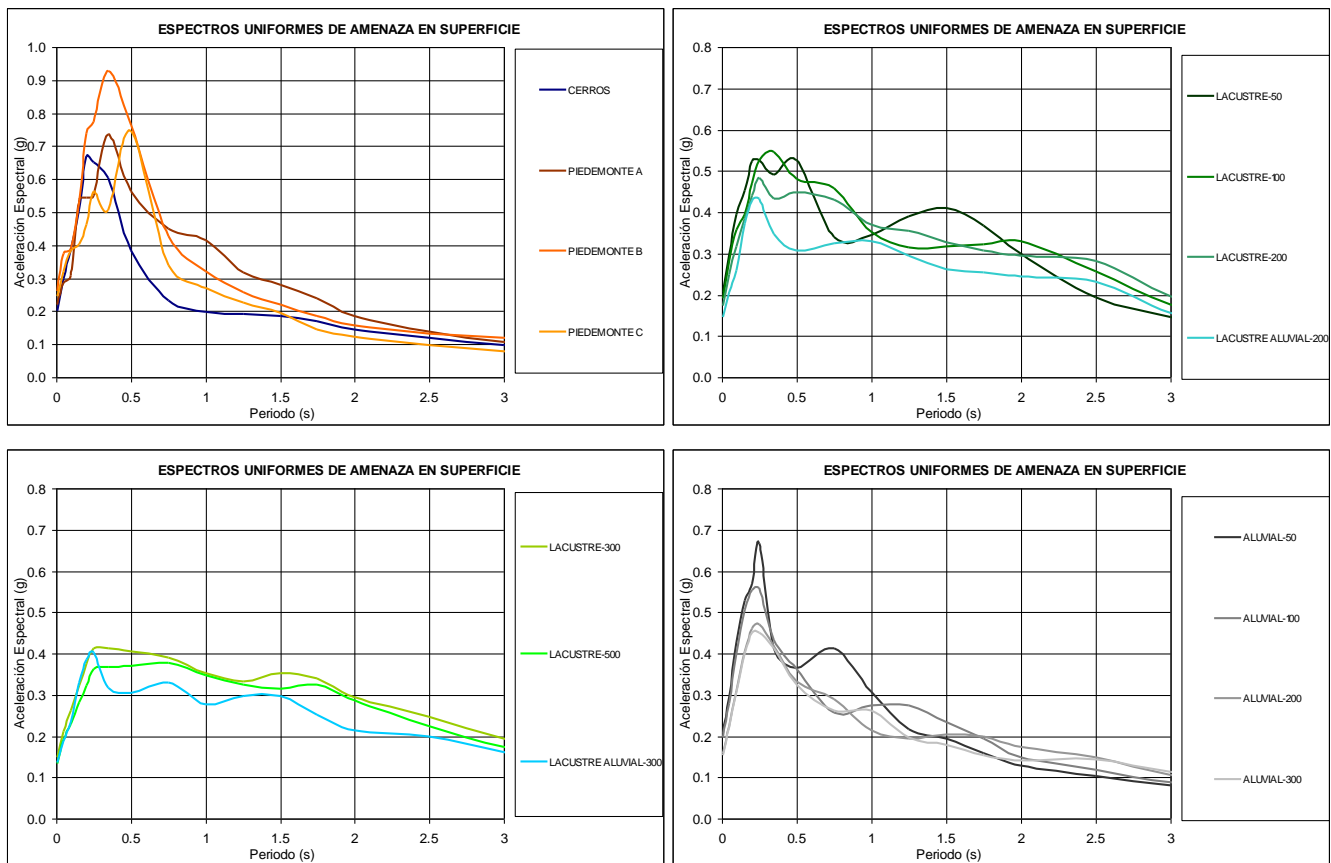


Figura 3.8. Espectros Uniformes de Amenaza en superficie para D=5% diseño

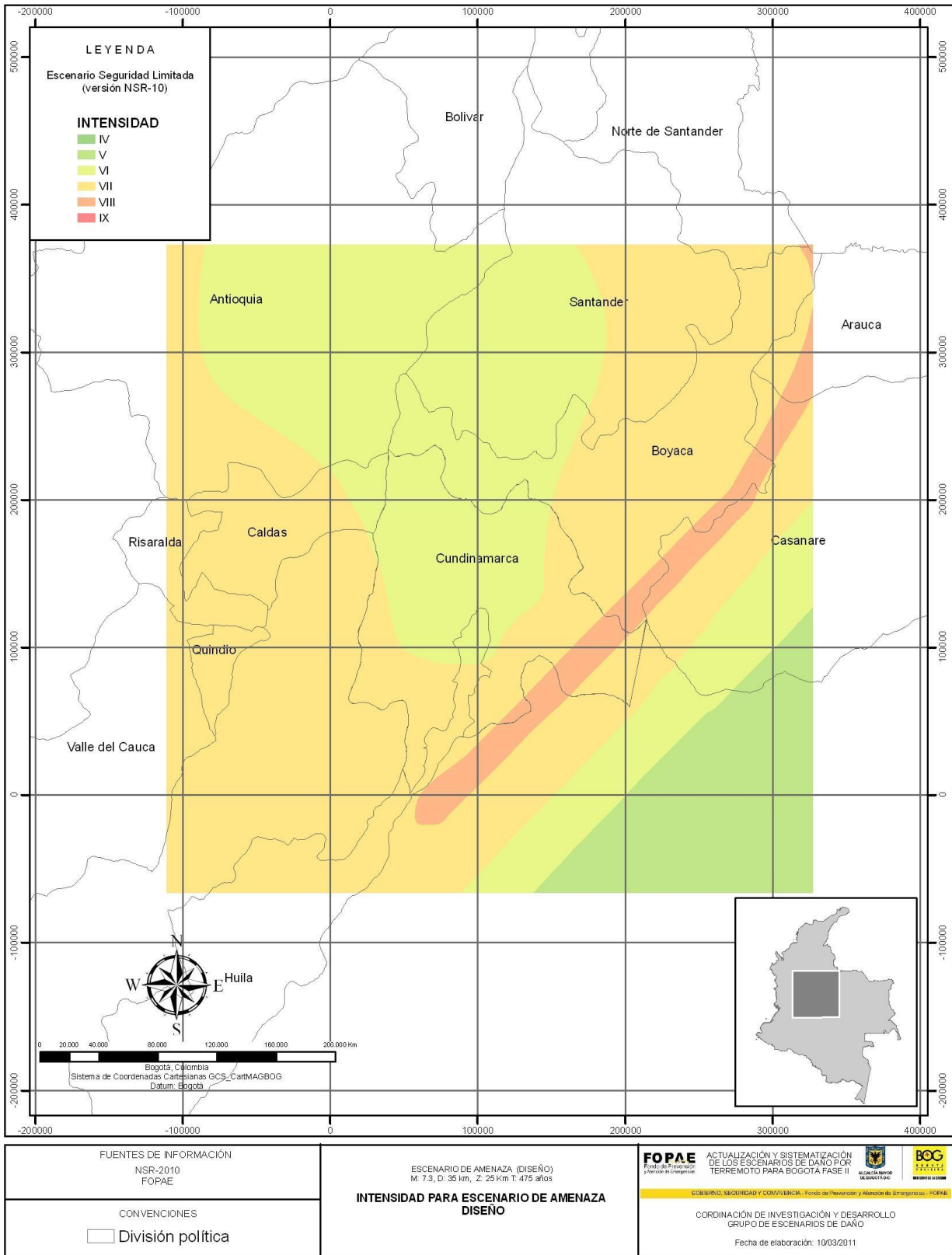


Figura 3.9. Mapa de amenaza regional escenario diseño

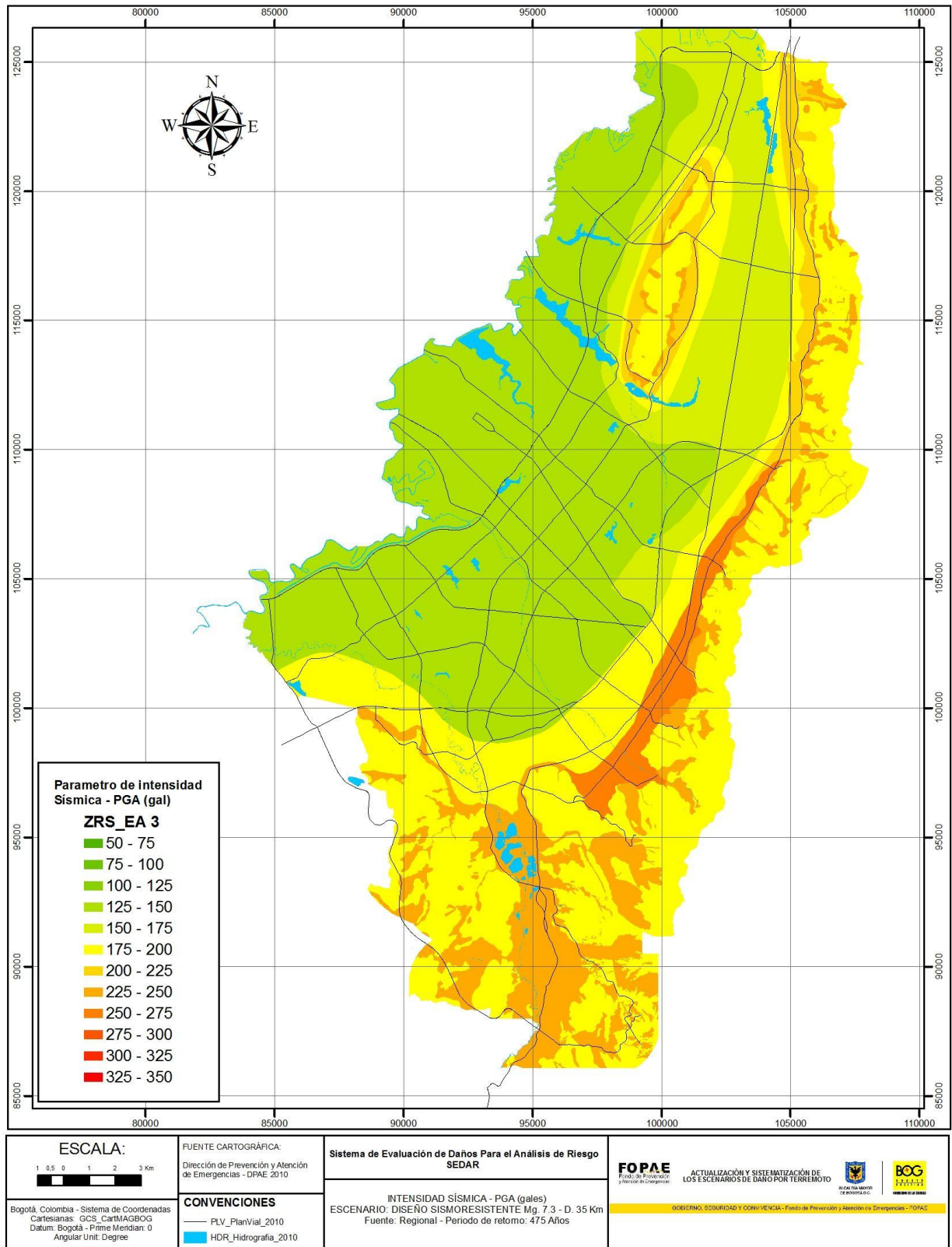


Figura 3.10. Mapa de respuesta sísmica local escenario diseño

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

El escenario de diseño especial planteado considera un sismo generado por una fuente cercana² 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.

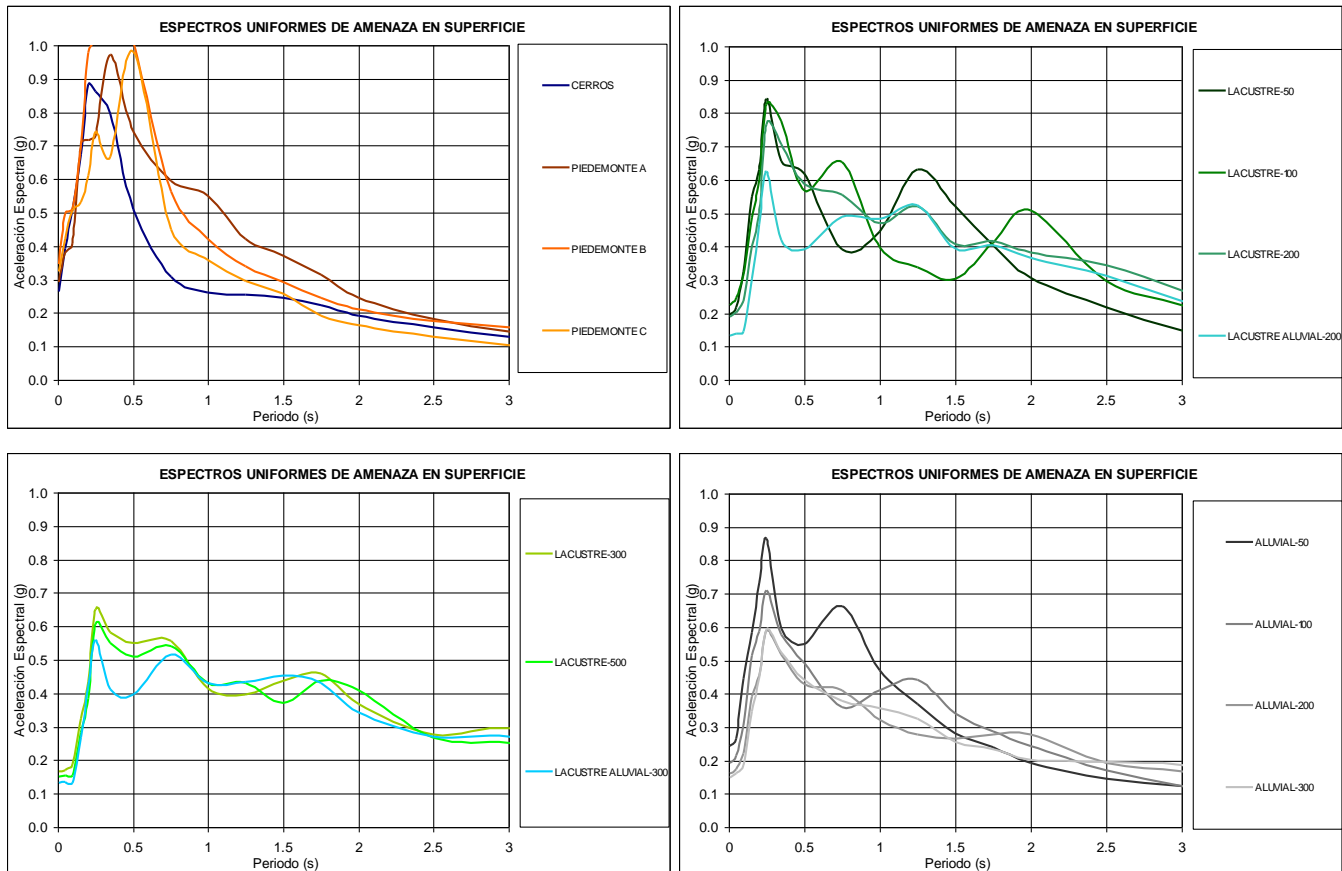


Figura 3.11. Espectros Uniformes de Amenaza en superficie para D=5% diseño especial

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.

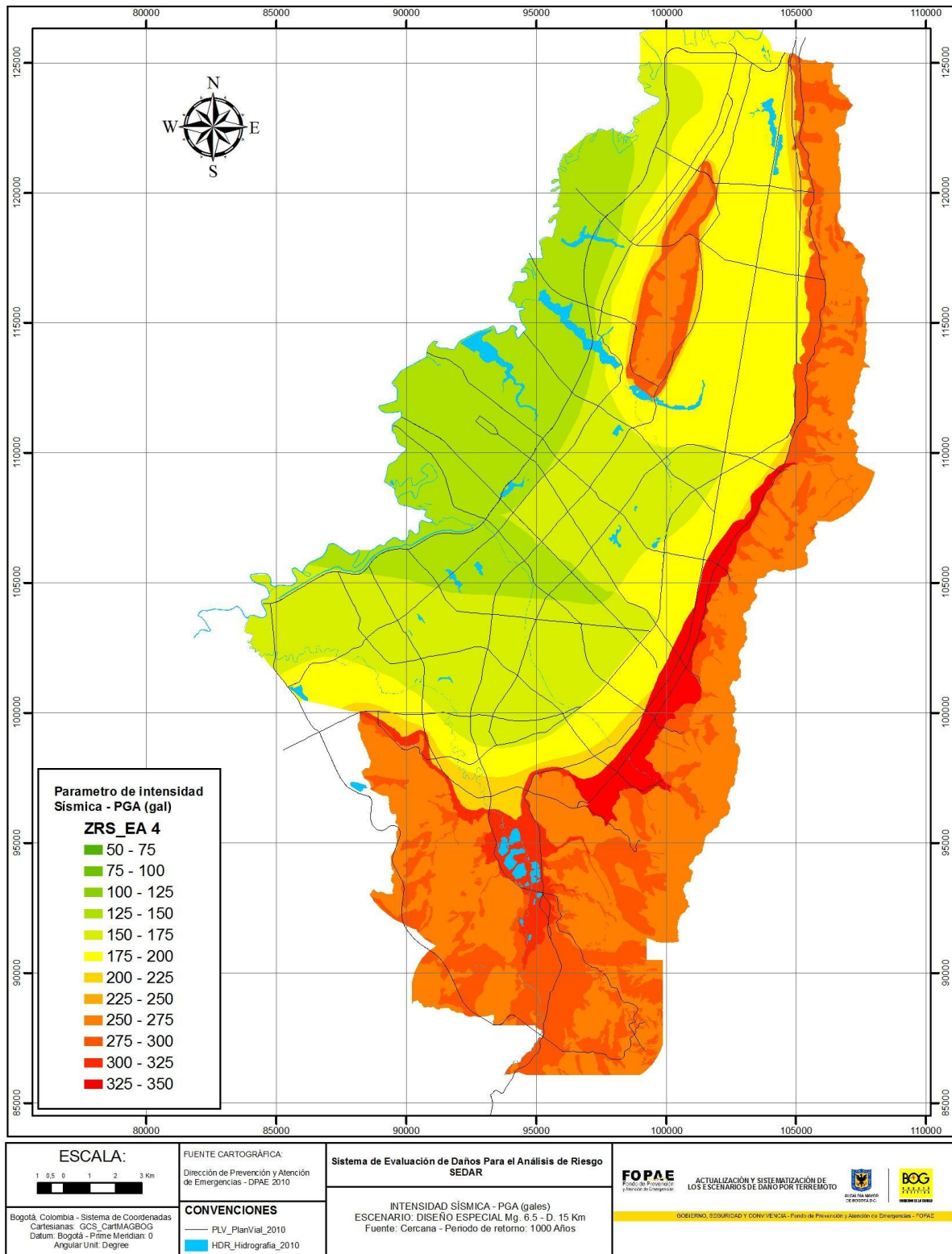


Figura 3.12. Mapa de respuesta sísmica local escenario diseño especial

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**.

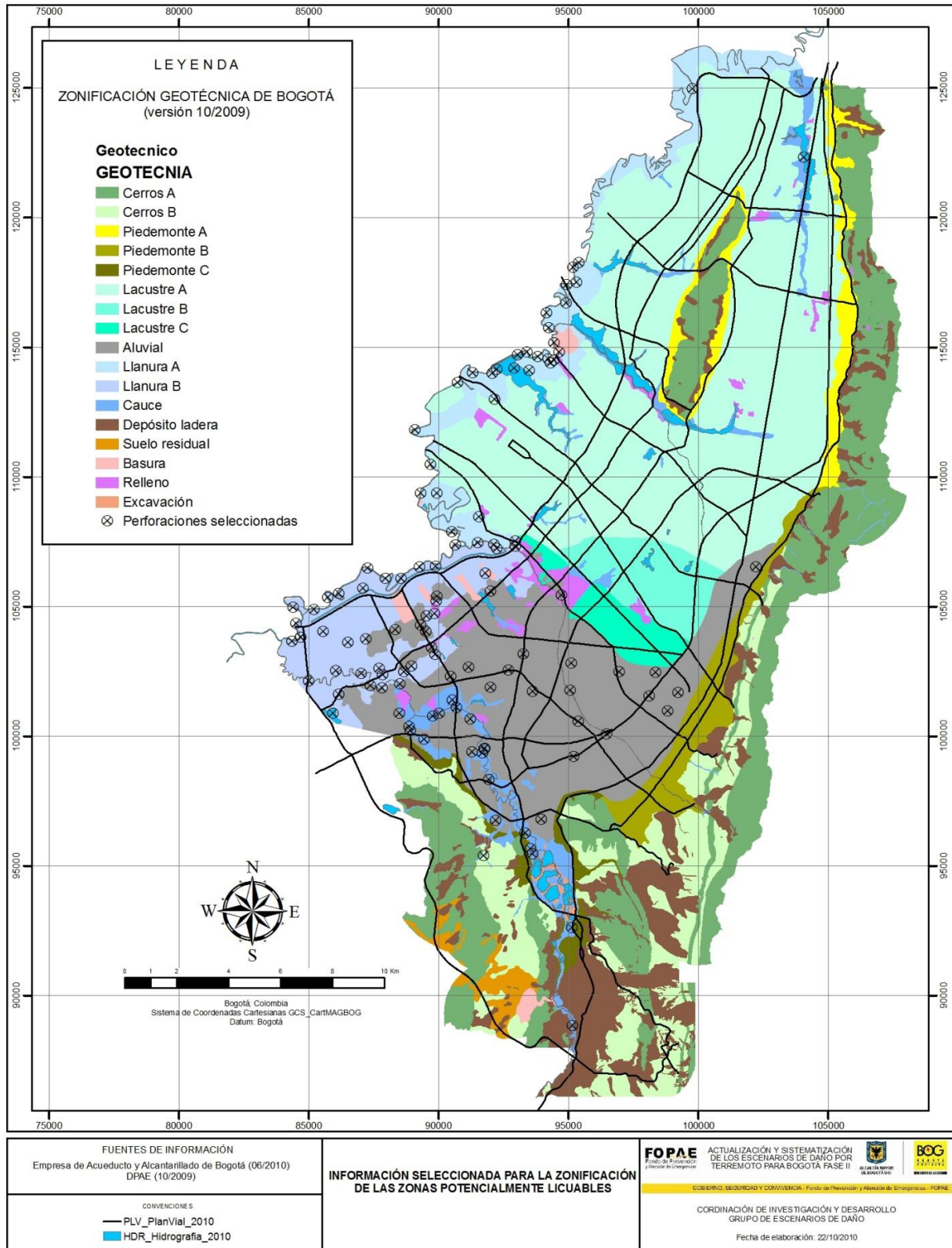


Figura 4.1. Localización de las exploraciones seleccionadas

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 seleccionados, 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 amplificadas, 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).

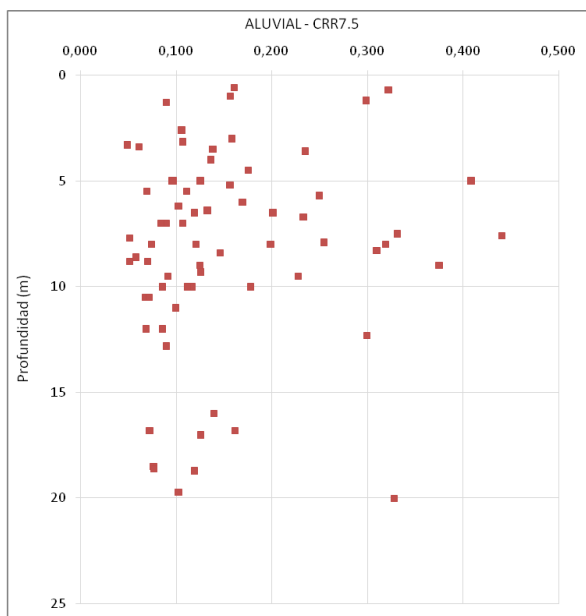


Figura 4.2. Resultados de CRR_{7.5} para la Llanura Aluvial

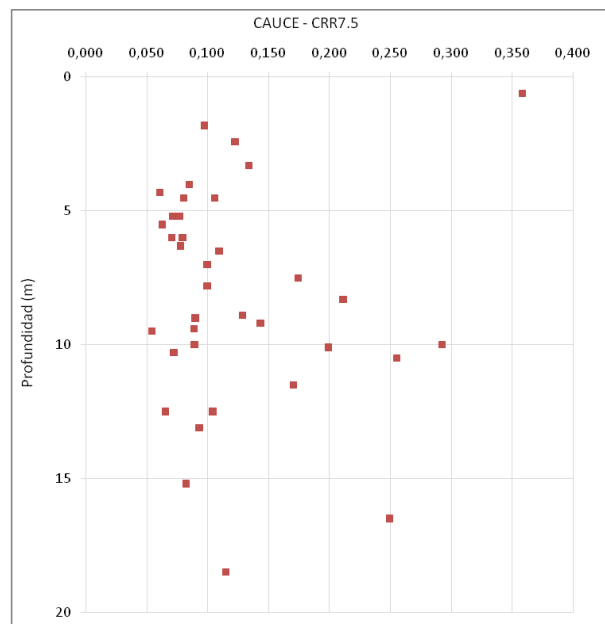


Figura 4.3. Resultados de CRR_{7.5} para la zona de Cauces

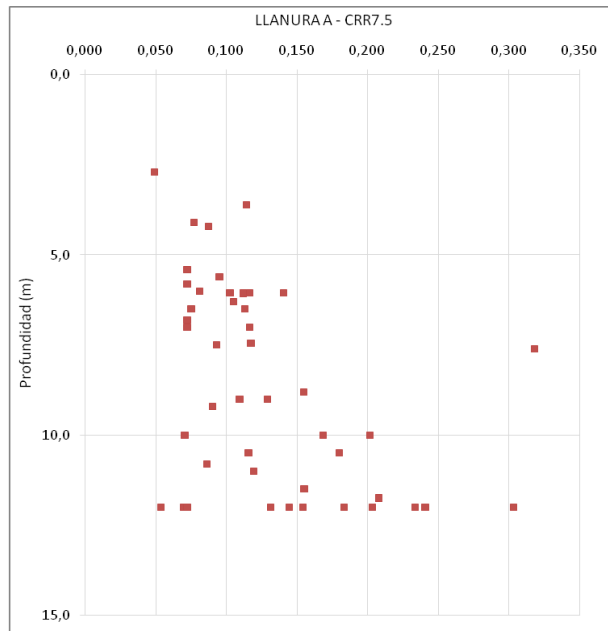


Figura 4.4. Resultados de CRR_{7.5} para la Llanura A

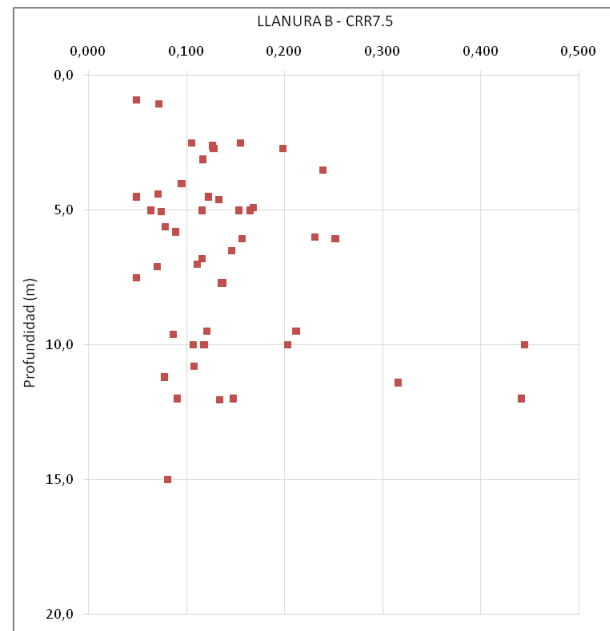


Figura 4.5. Resultados de CRR_{7.5} para la Llanura B

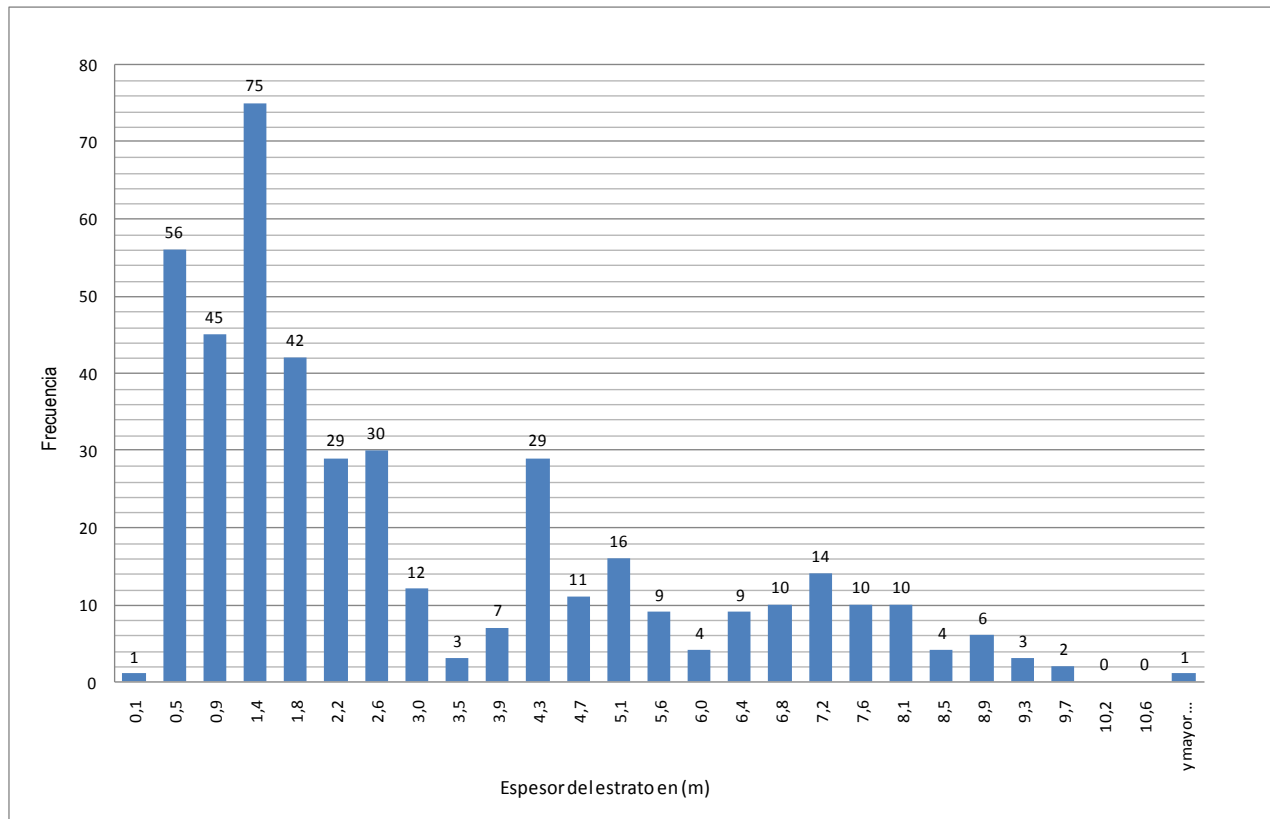


Figura 4.6. Histograma de espesores de las capas de arena de los sondeos seleccionados

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 específico.

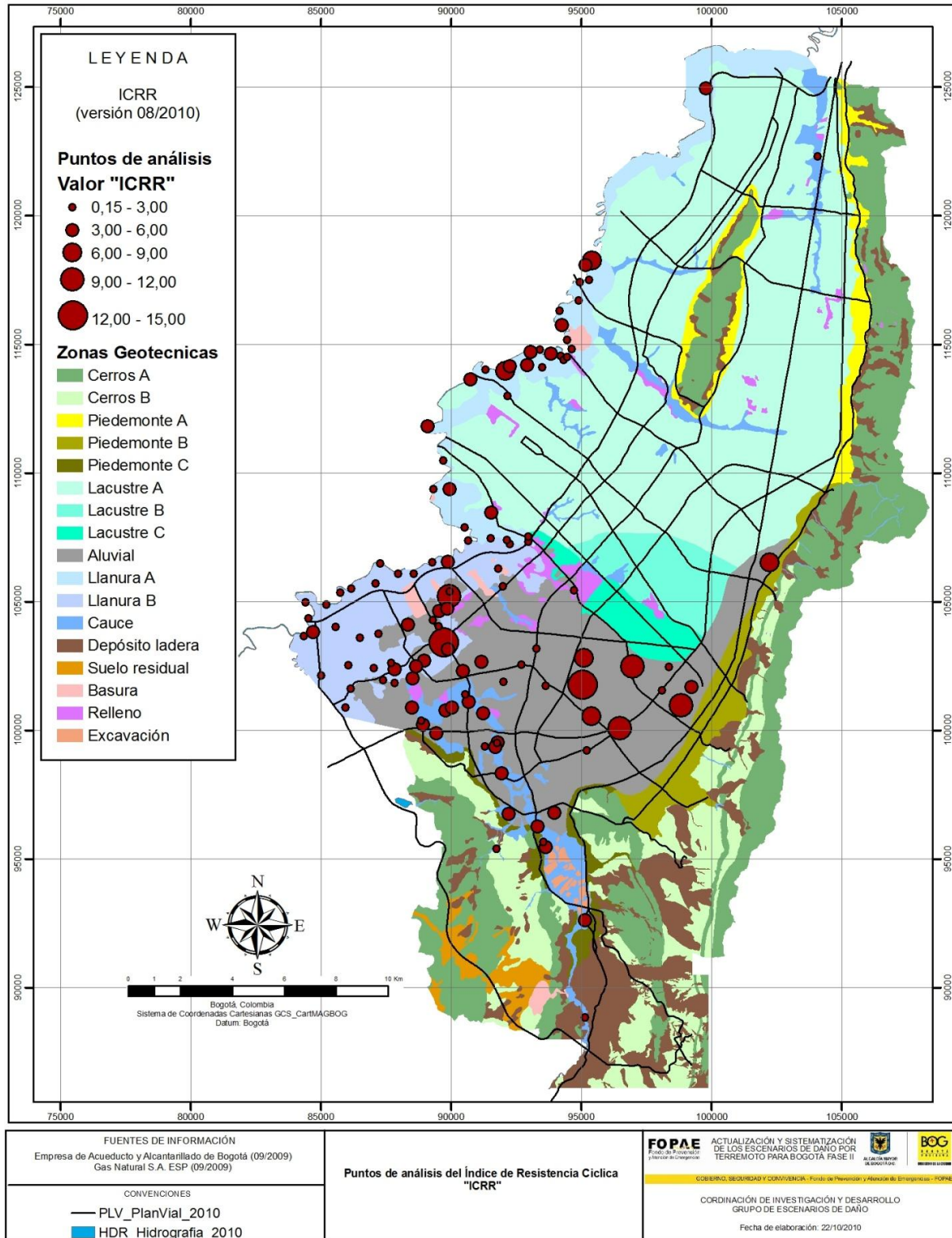


Figura 4.7. Resultados obtenidos de ICRR para algunas zonas de la ciudad de Bogotá

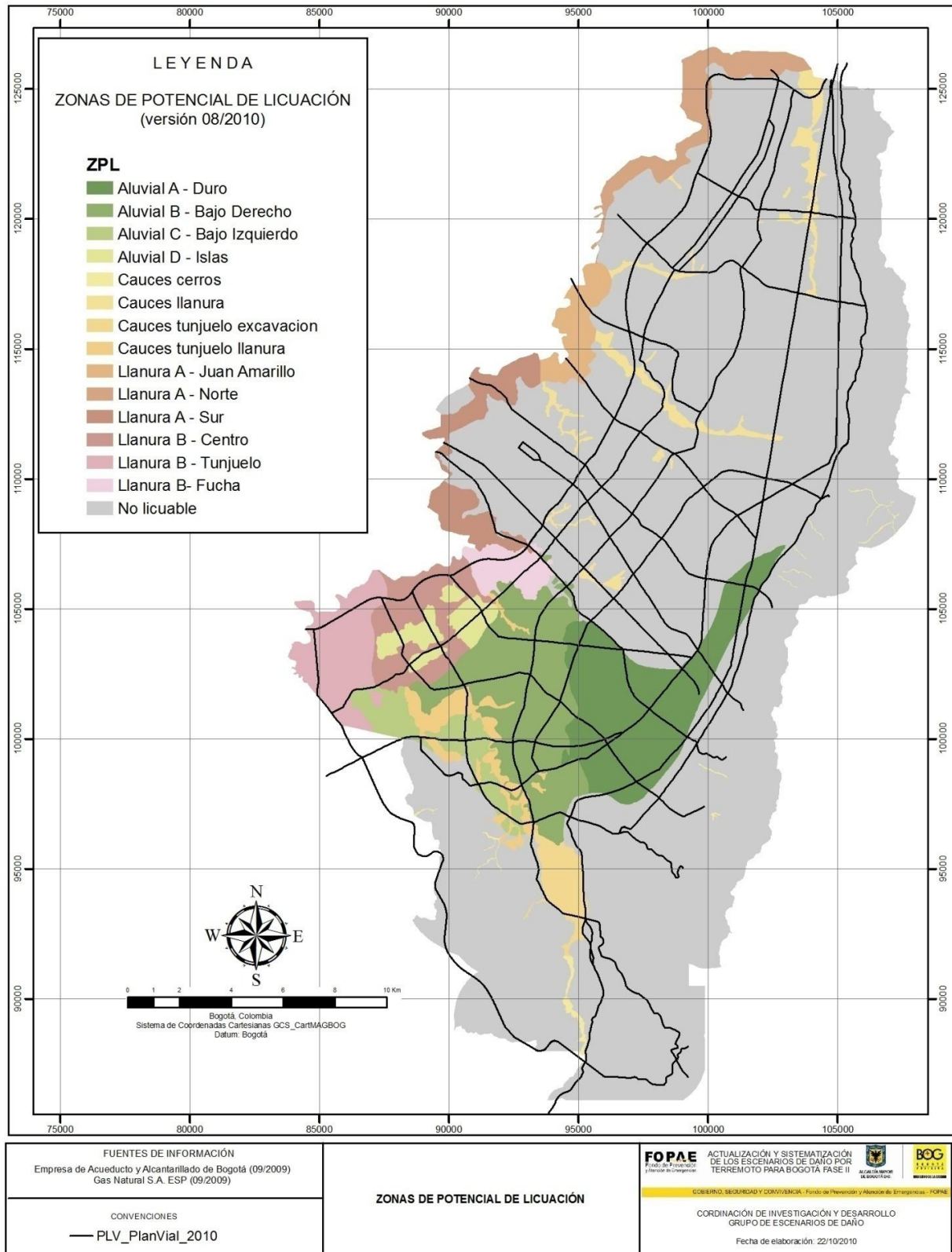


Figura 4.8. Zonas de potencial de licuación

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	$\phi(^{\circ})$	c' (KPa)	γ (kN/m ³)	Espesores (m)
Depósito Aluvial Cauces	35	20	18	10
Depósito Aluvial Conos	35	20	18	15
Depósito Aluvial Terrazas	43	25	17	15
Depósito Fluvioglacial	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 Escombros	20	2	17	15
Suelo Residual	18	10	18	10

Tabla 4.2. Parámetros de resistencia asignados

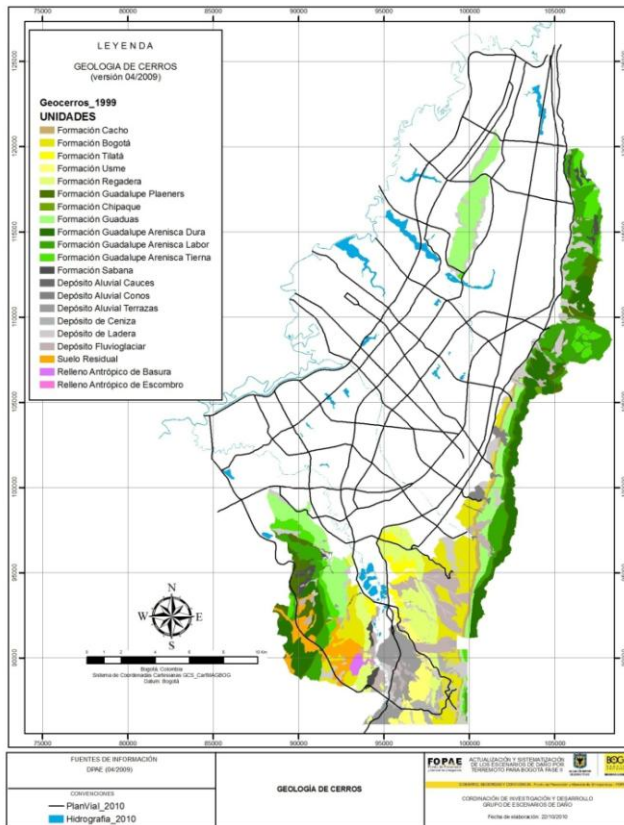


Figura 4.9. Geología de cerros

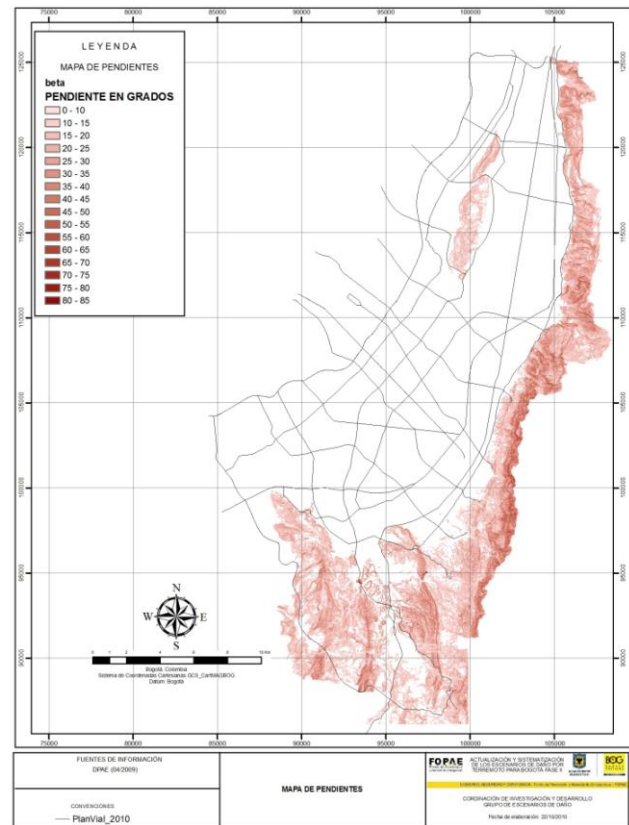


Figura 4.10. Mapa de pendientes

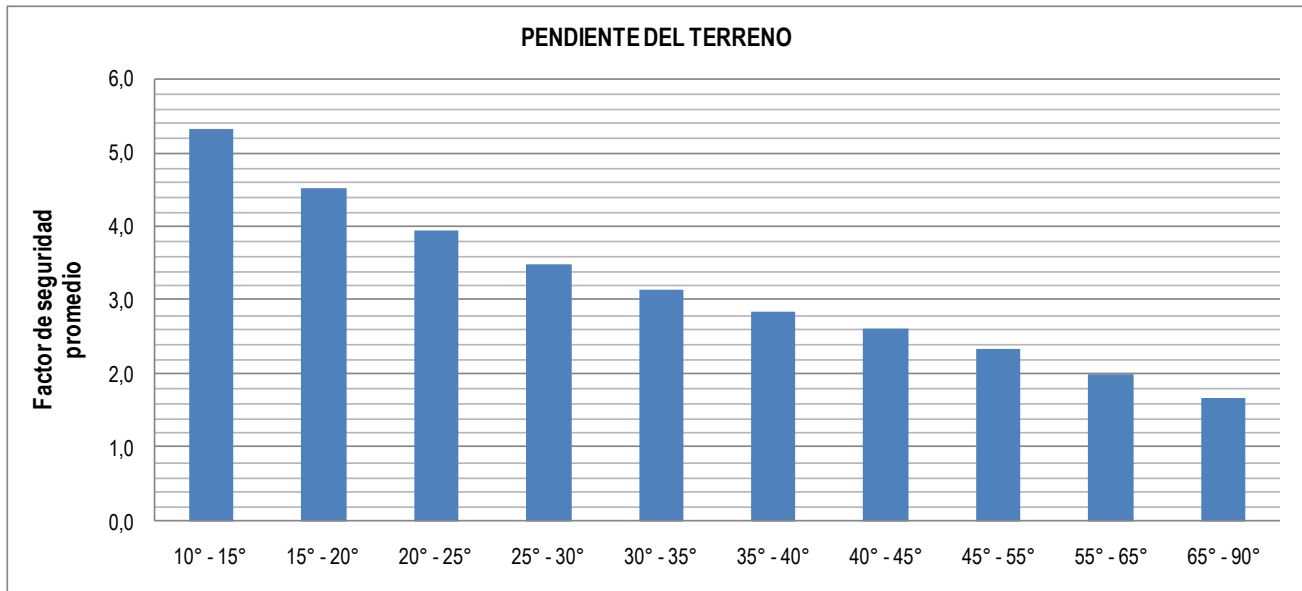


Figura 4.11. Factor de seguridad promedio contra la pendiente del terreno



Figura 4.12. Factor de seguridad por unidad geológica³

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

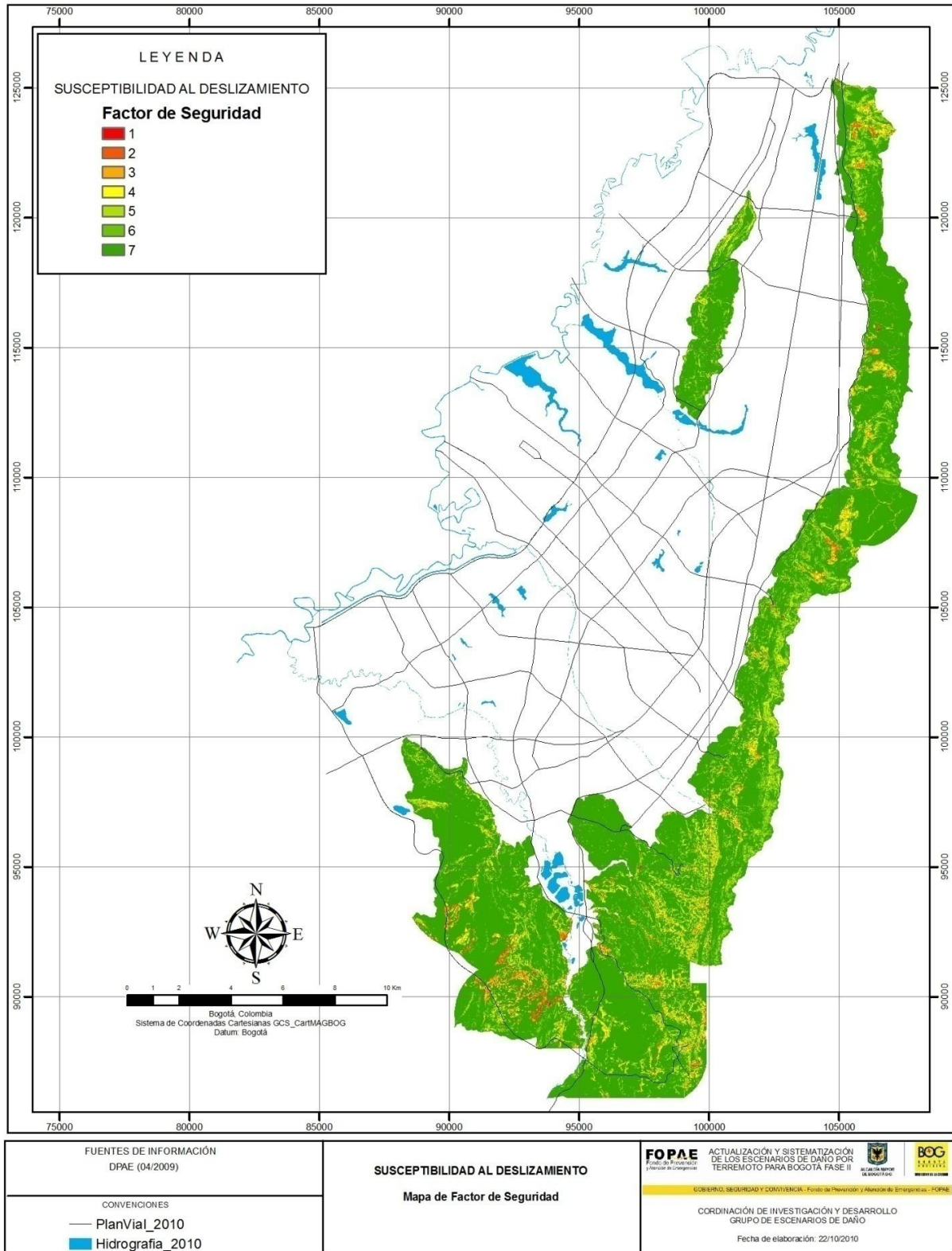


Figura 4.13. Mapa de factor de seguridad

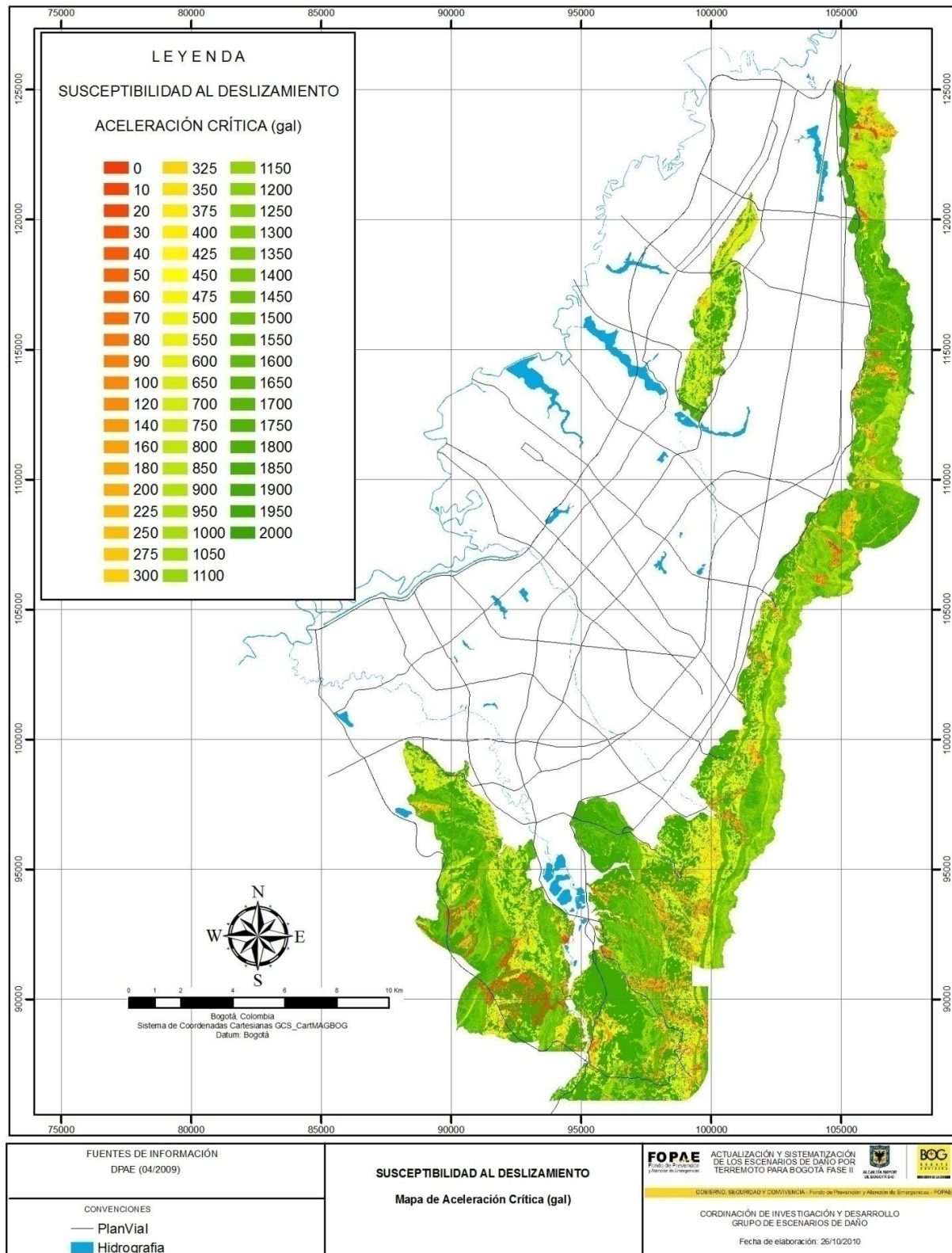


Figura 4.14. Mapa de aceleración crítica

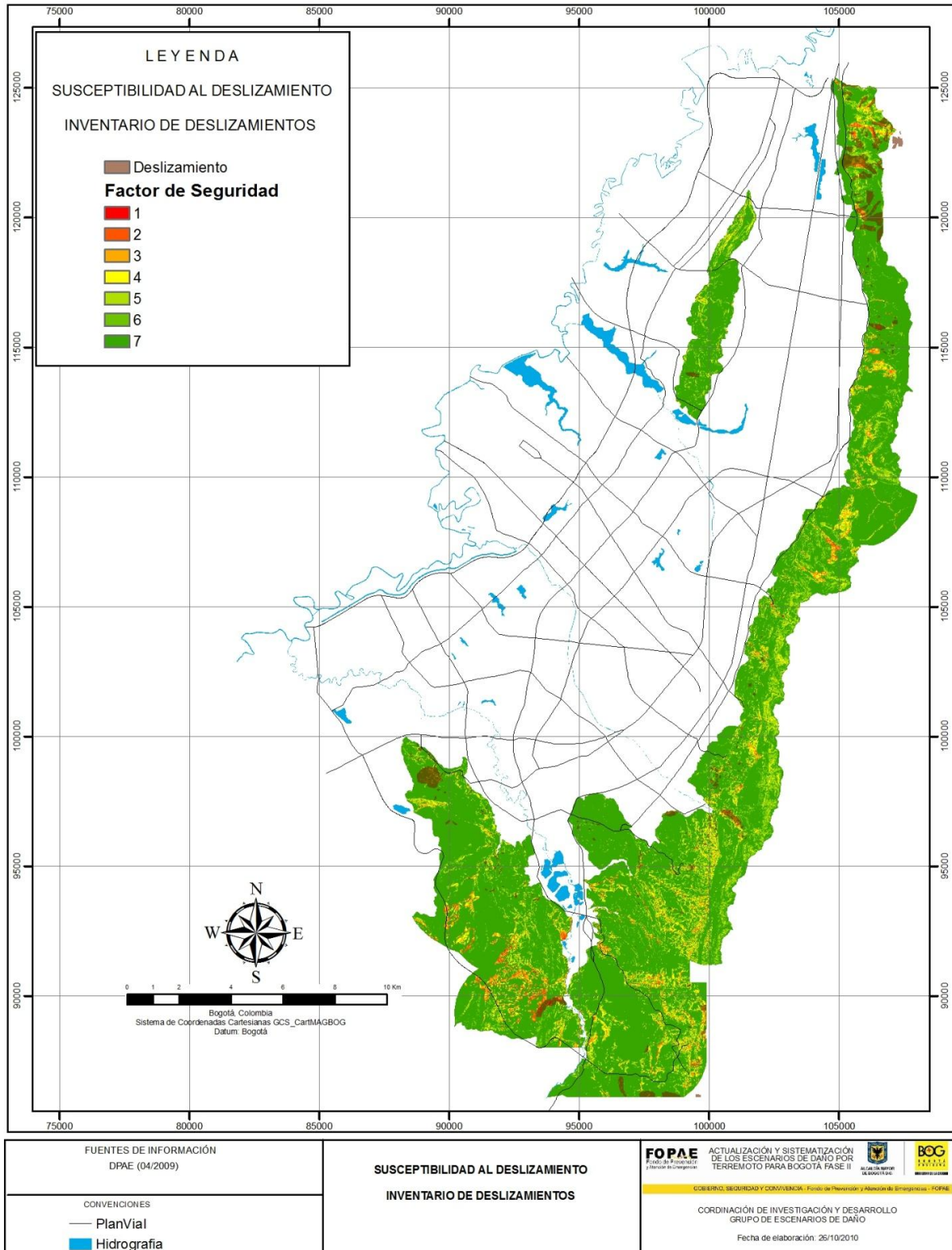


Figura 4.15. Mapa de inventario de deslizamientos contra factor de seguridad

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.

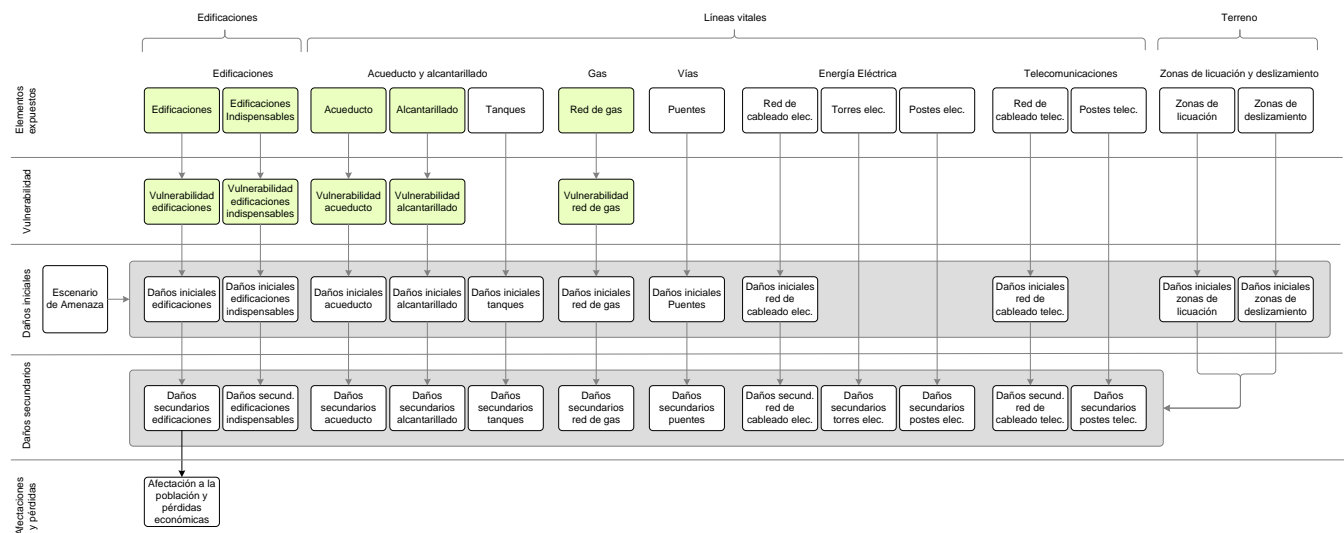


Figura 5.1. Metodología general de evaluación (Evaluación de la vulnerabilidad de edificaciones y líneas vitales)

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**.

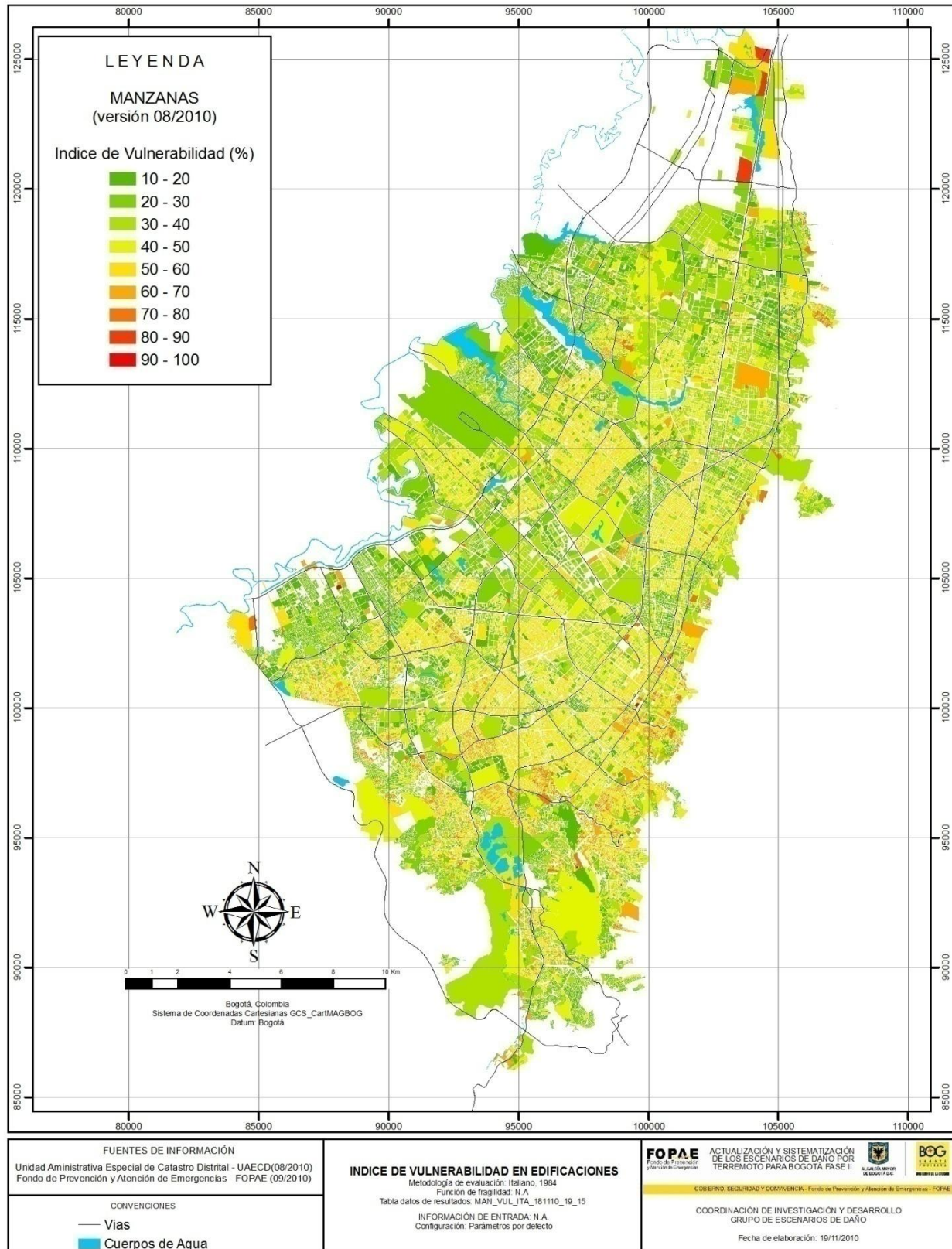
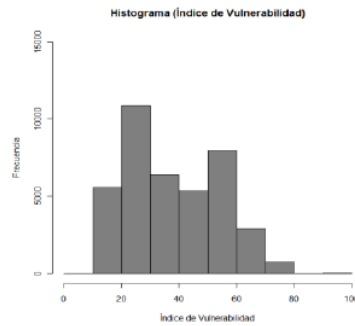


Figura 5.2. Índice de vulnerabilidad

Resumen de Resultados - Índice de Vulnerabilidad en Edificaciones

Metodología: Italiano (1984)
Curva de vulnerabilidad: N.A.
Tabla de resultados: MAN_VUL_ITA_181110_1915



Resumen de estadísticas

Media	37.91
Mediana	35.16
Desviación estándar	16.34
Varianza de la muestra	267.23
Mínimo	1.15
Máximo	100.00
No. de datos	43,225

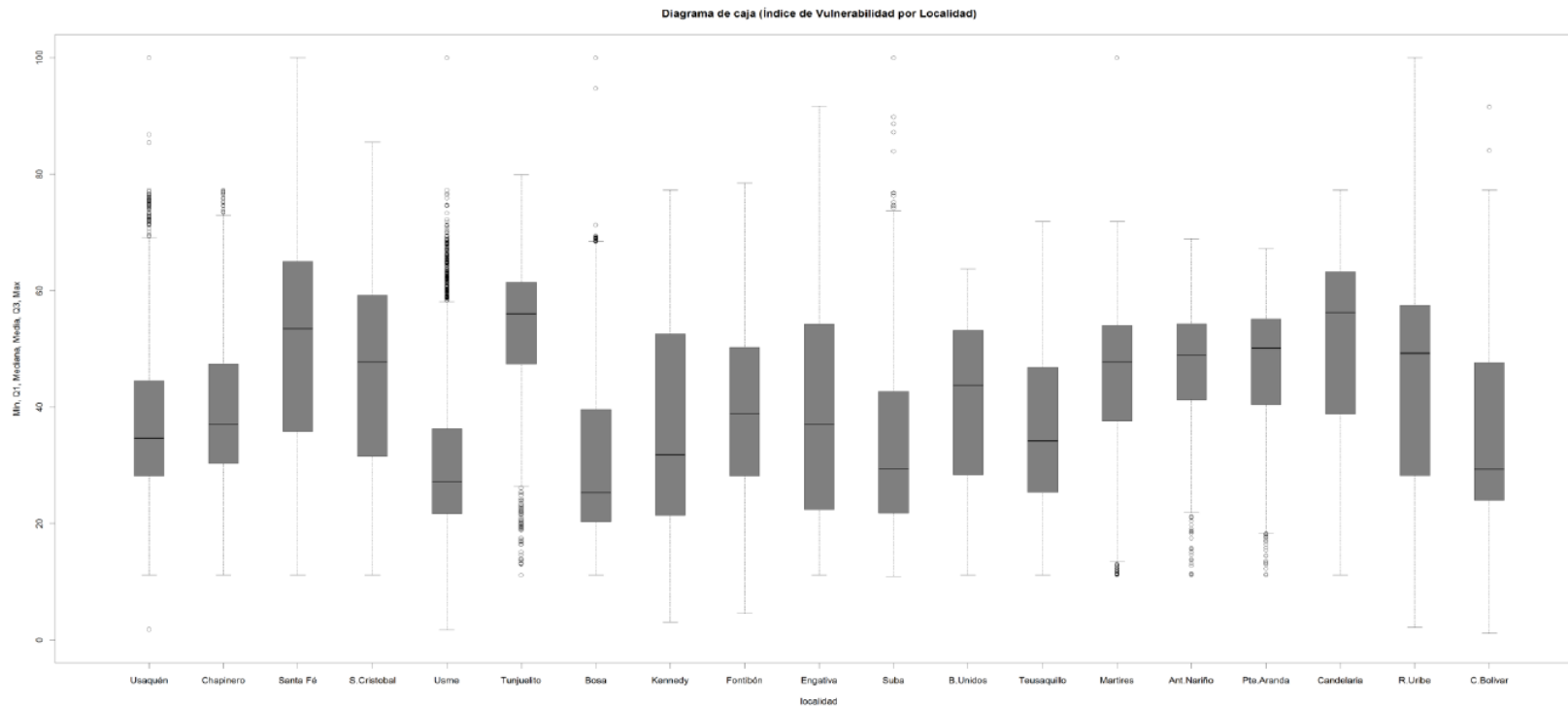
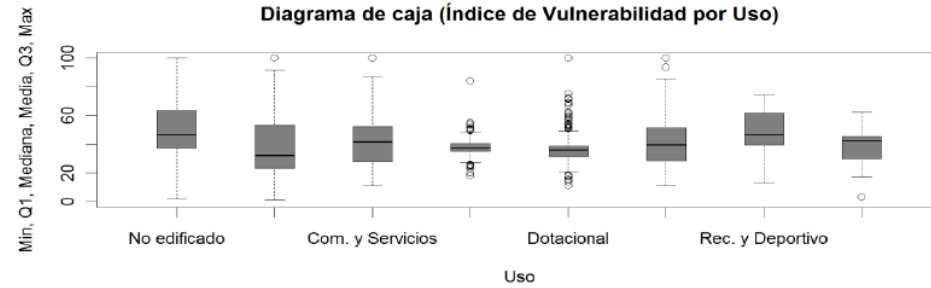


Figura 5.3. Análisis estadístico de resultados de vulnerabilidad

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.

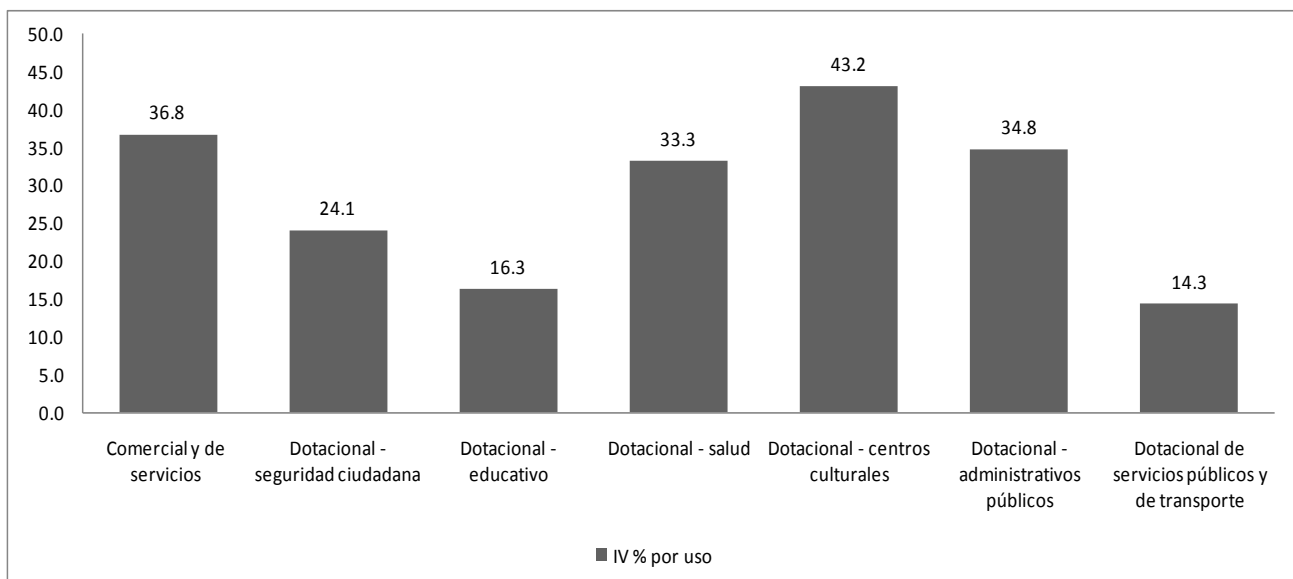


Figura 5.4. Índice de vulnerabilidad promedio en edificaciones indispensables

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 secundaria 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

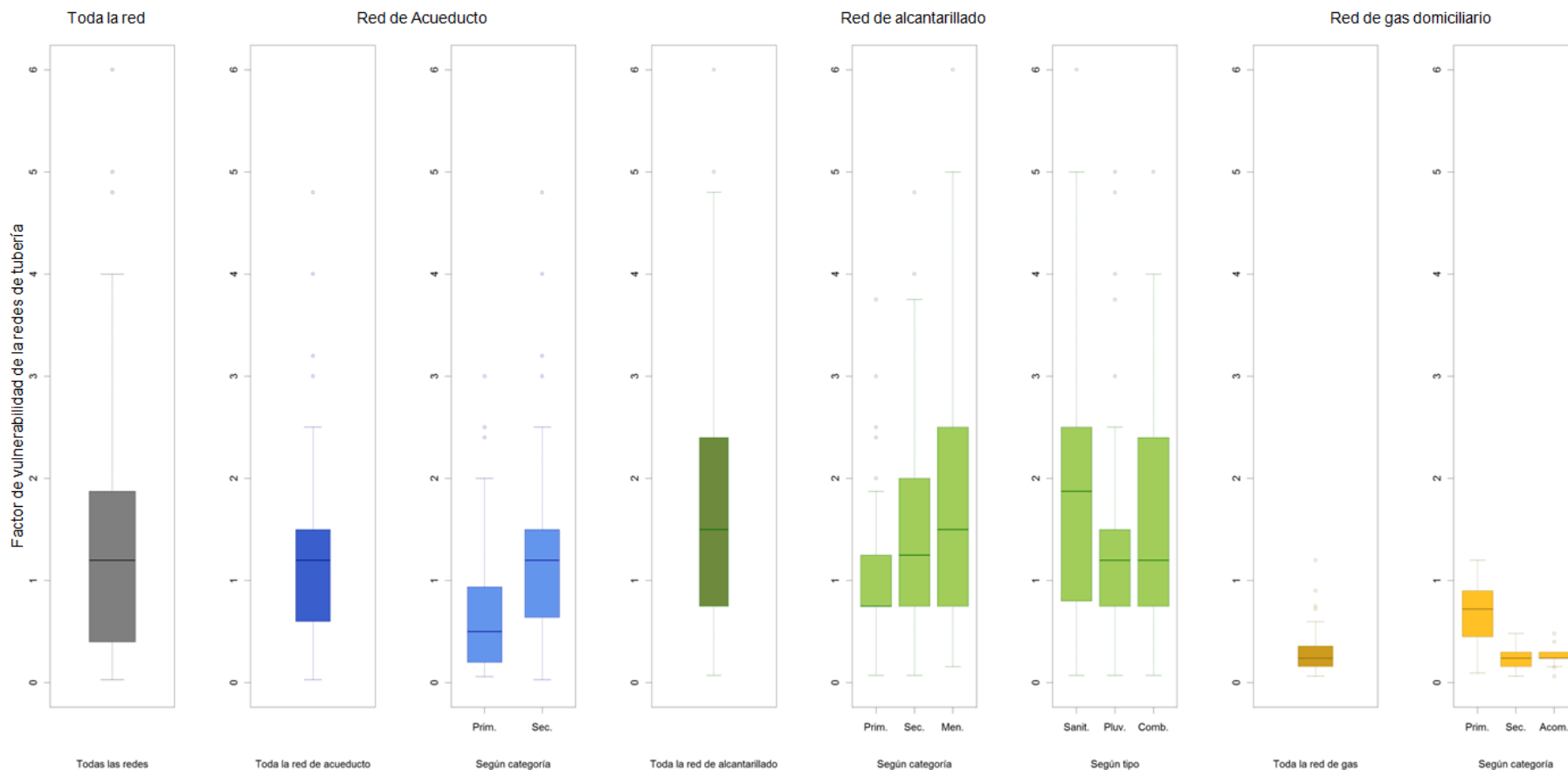


Figura 5.5. Resumen resultados de vulnerabilidad de la red de tuberías (Configuración 1)

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

No se considera efecto de licuación del terreno

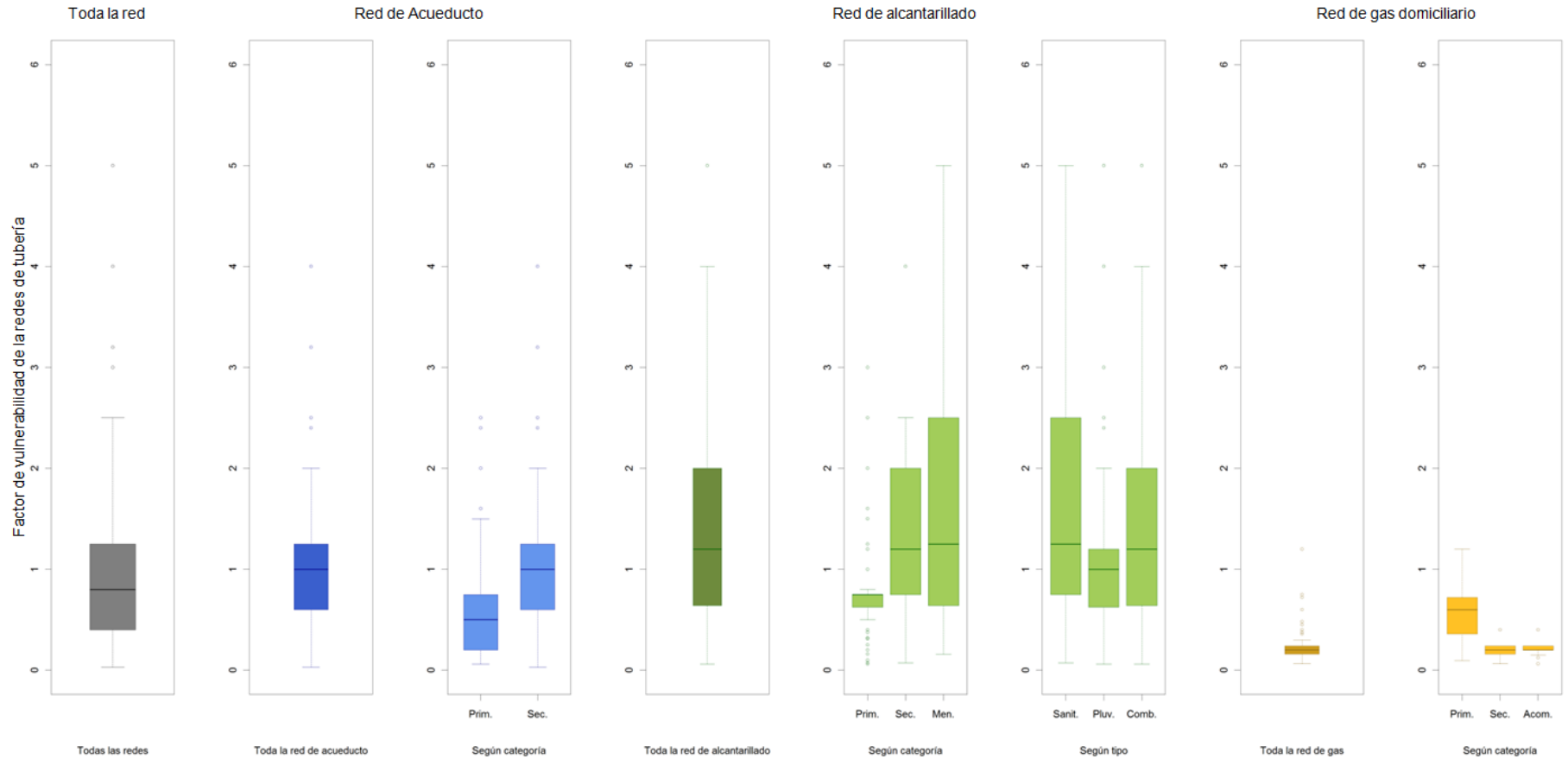


Figura 5.6. Resumen resultados de vulnerabilidad de la red de tuberías (Configuración 2 - no considera efecto de licuación del terreno)

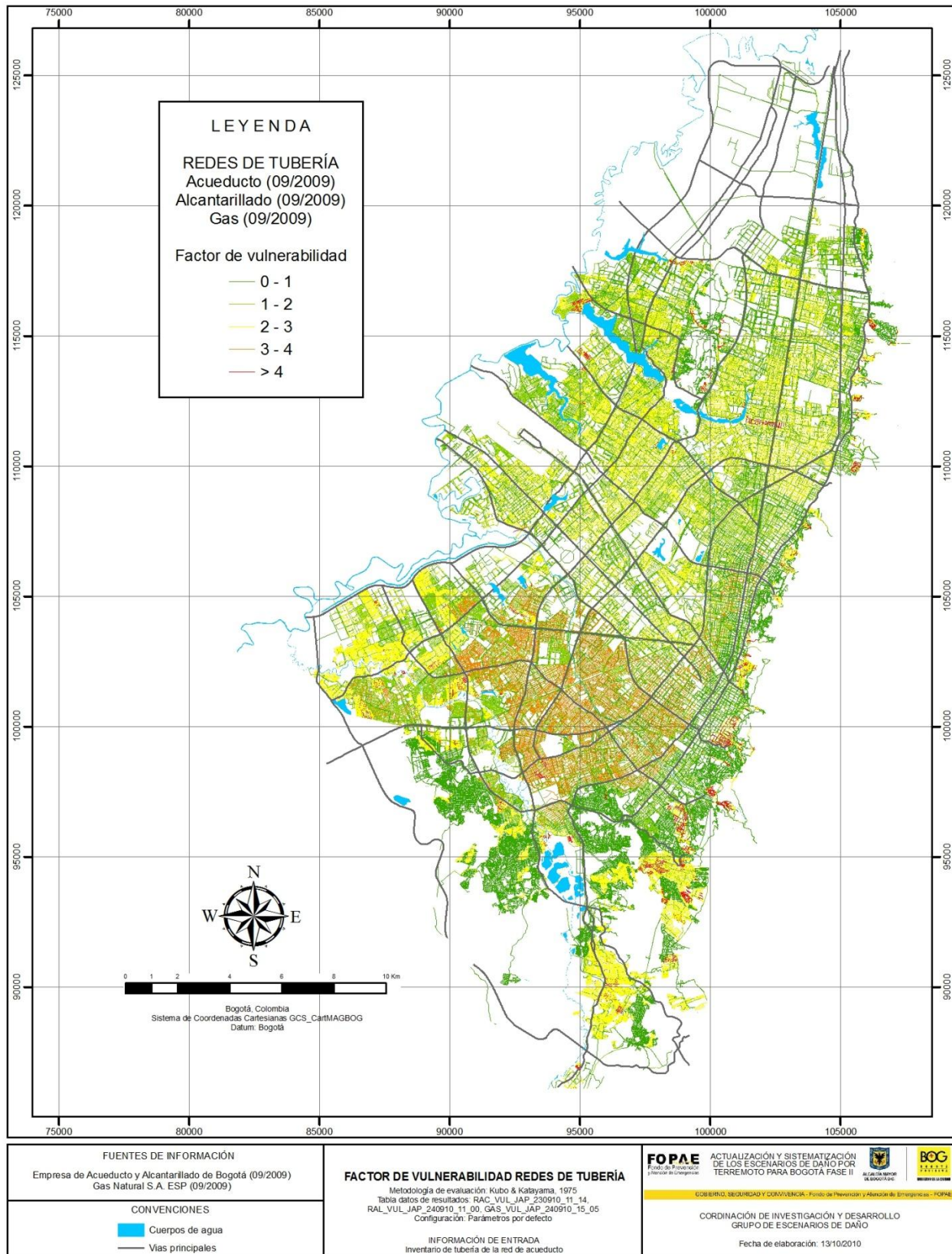


Figura 5.7. Factor de vulnerabilidad de la red de tuberías (Configuración 1)

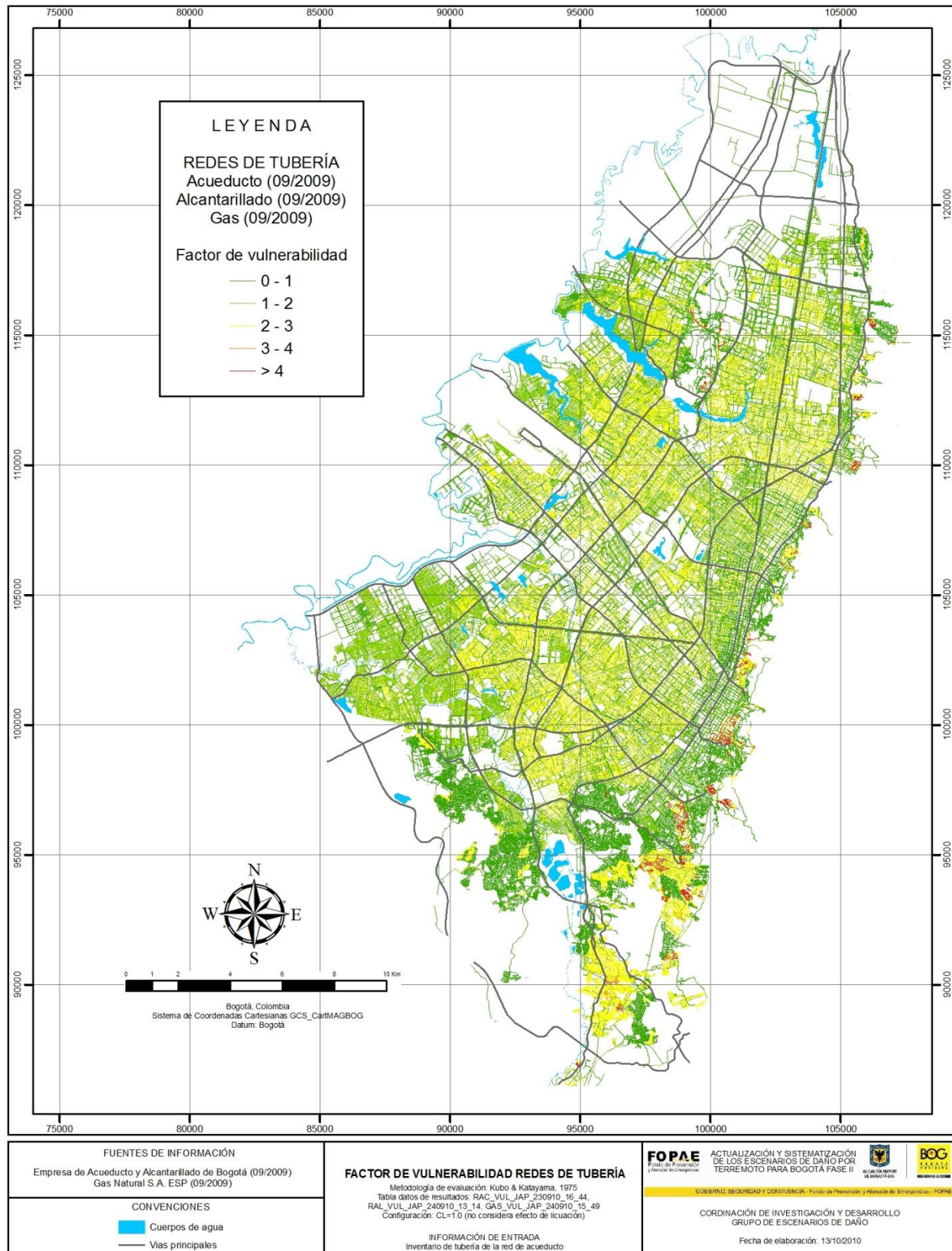


Figura 5.8. Factor de vulnerabilidad de la red de tuberías (Configuración 2)

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 -Sociogo- 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.

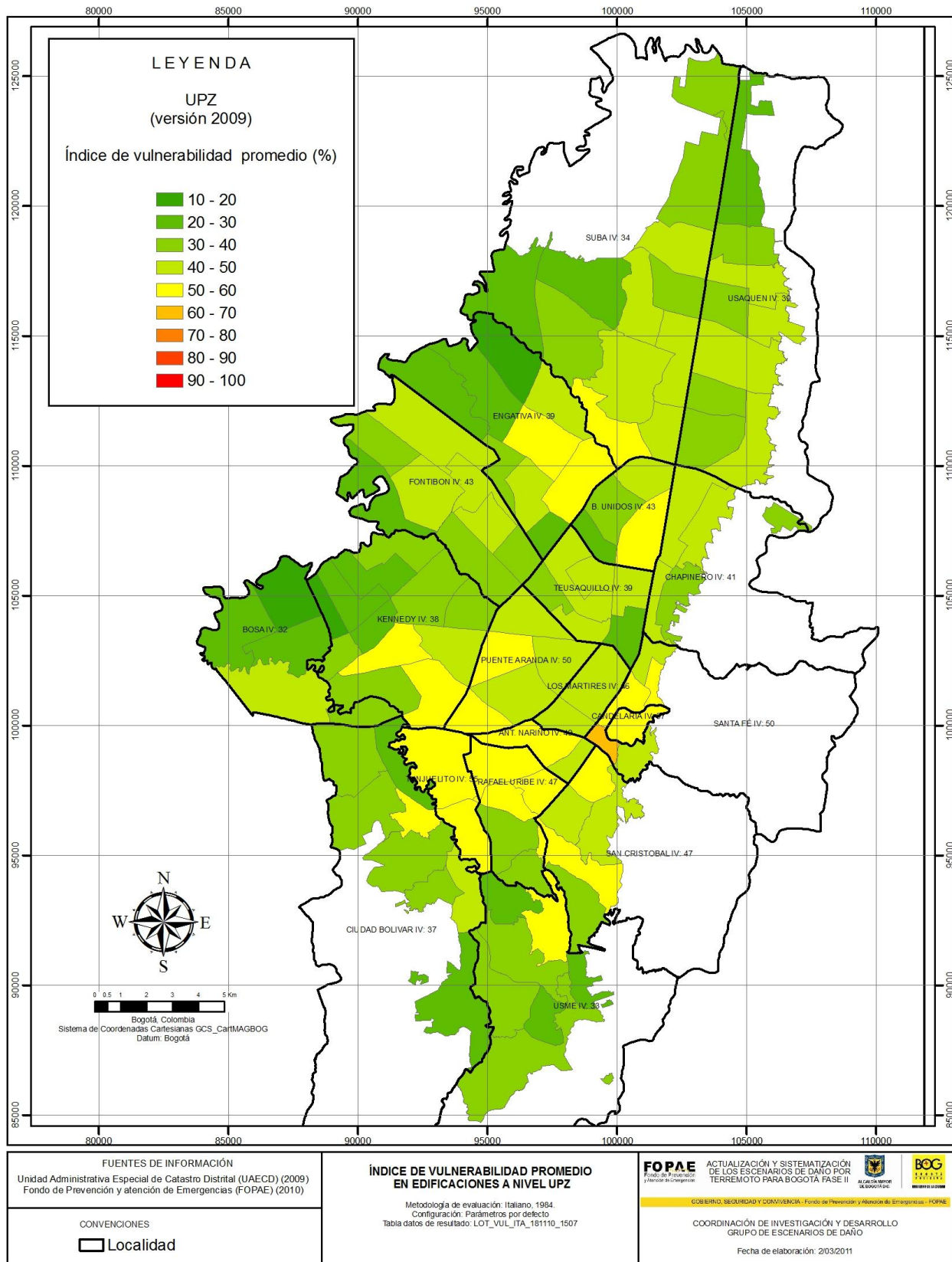


Figura 5.9. Índice de vulnerabilidad promedio a Localidad y UPZ

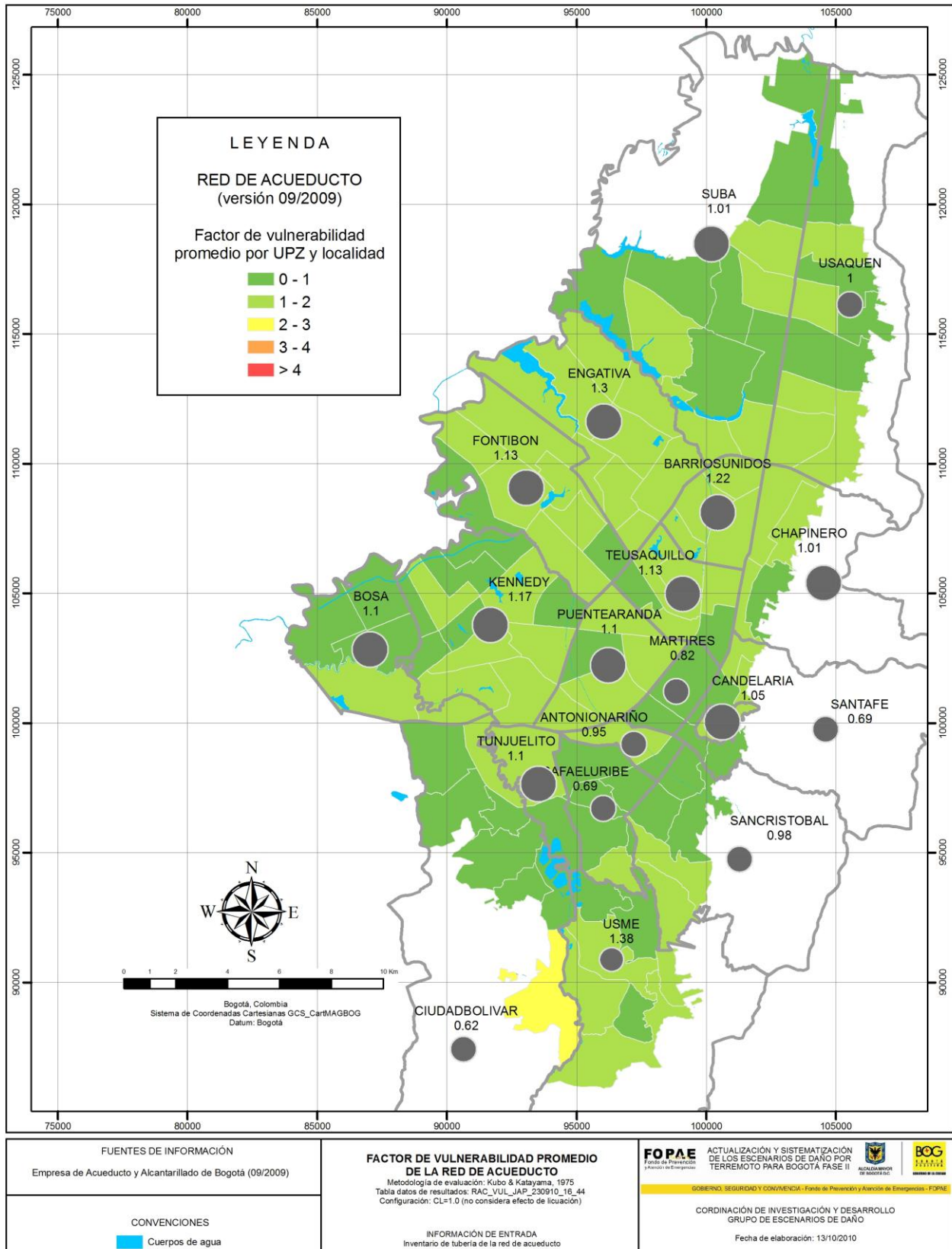


Figura 5.10. Factor de vulnerabilidad red de acueducto - Resultados por localidad (Configuración 2)

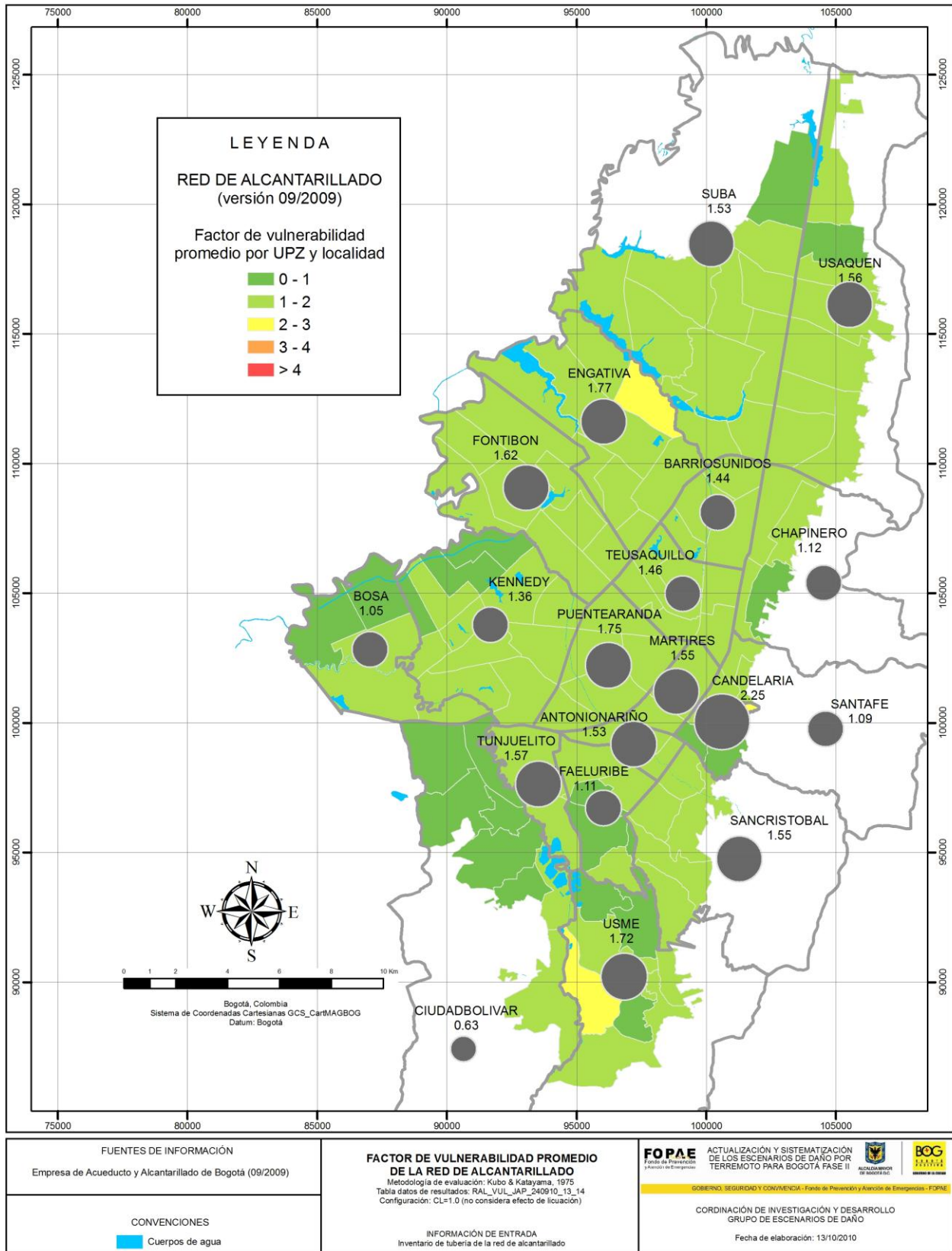


Figura 5.11. Factor de vulnerabilidad red de alcantarillado - Resultados por localidad (Configuración 2)

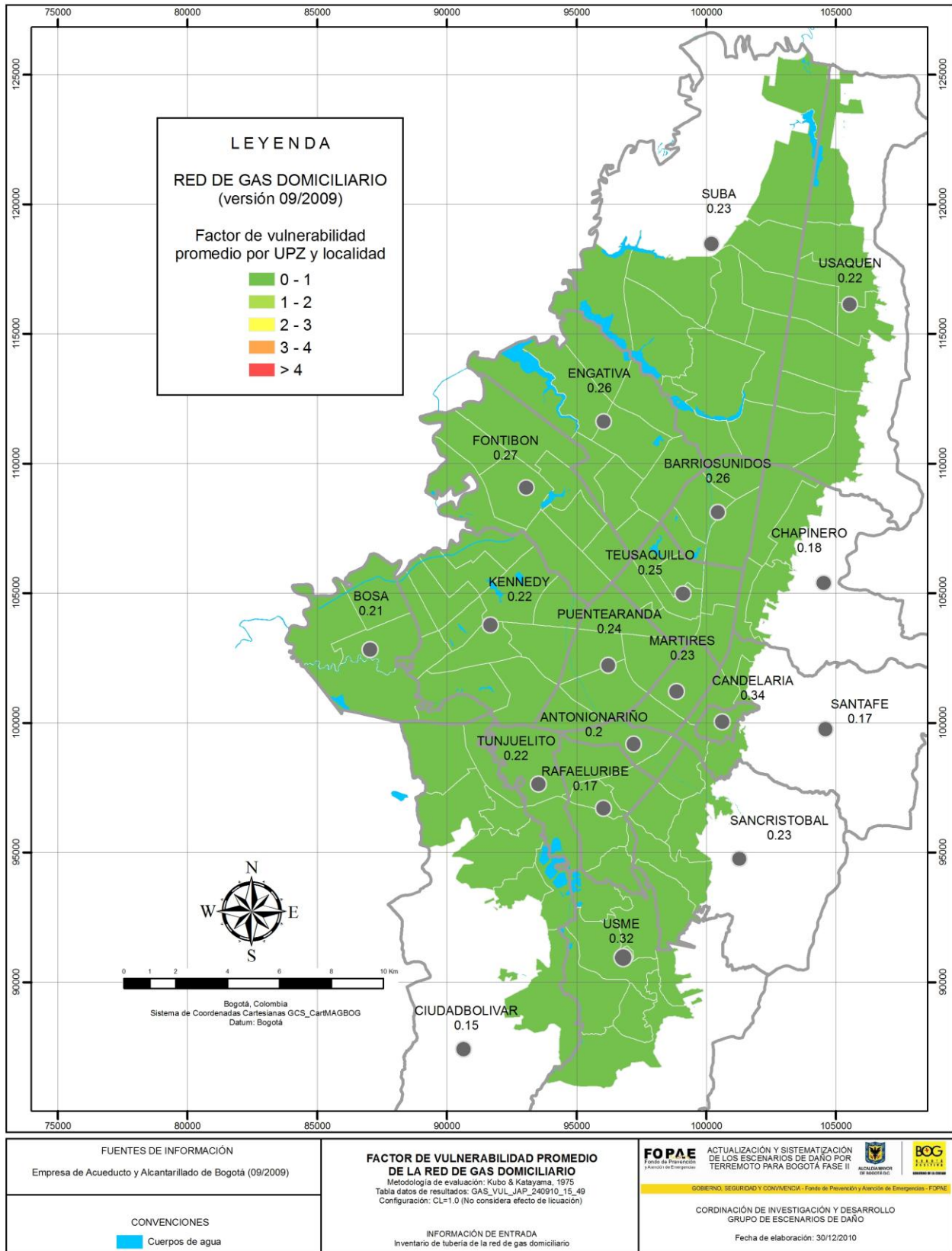


Figura 5.12. Factor de vulnerabilidad red de gas domiciliario - Resultados por localidad (Configuración 2)

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 periodos 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.

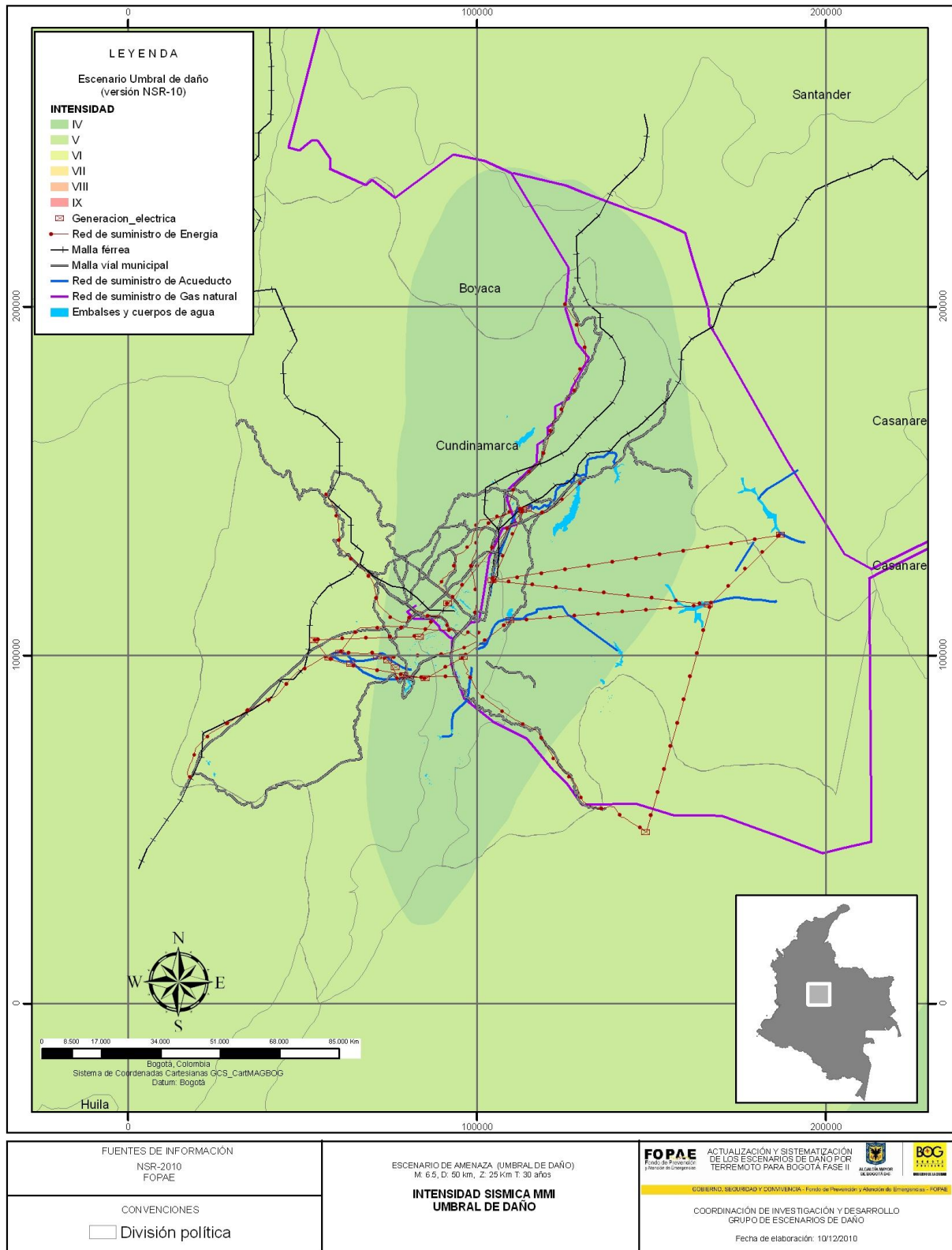


Figura 6.1. Intensidad sísmica para el escenario de Umbral de Daño

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”.

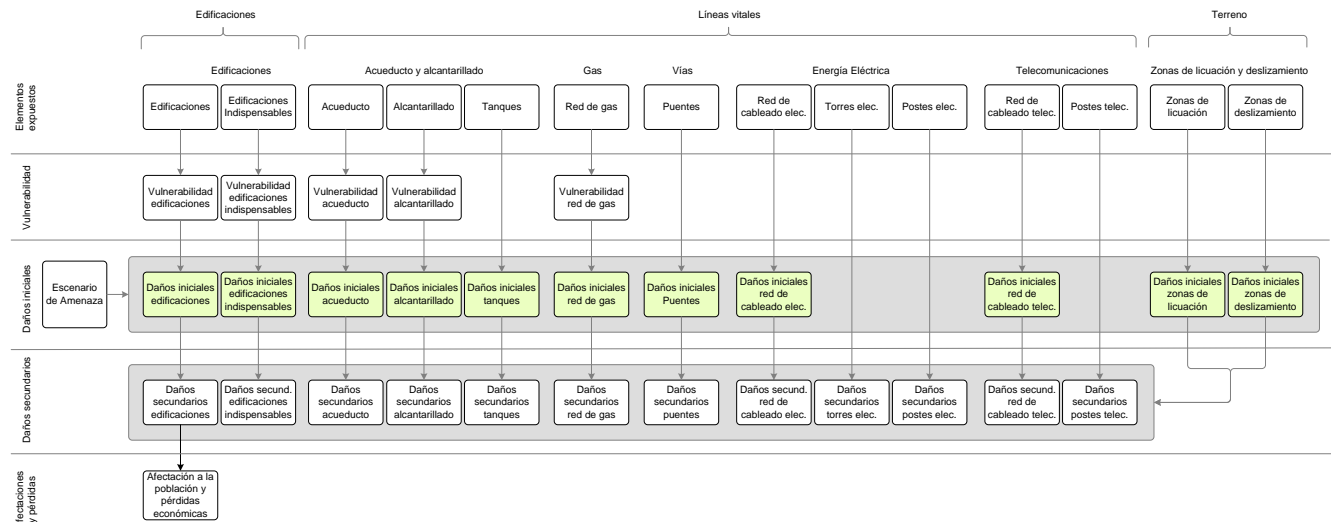


Figura 6.2. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños iniciales en edificaciones y líneas vitales)

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 DPAAE, 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.

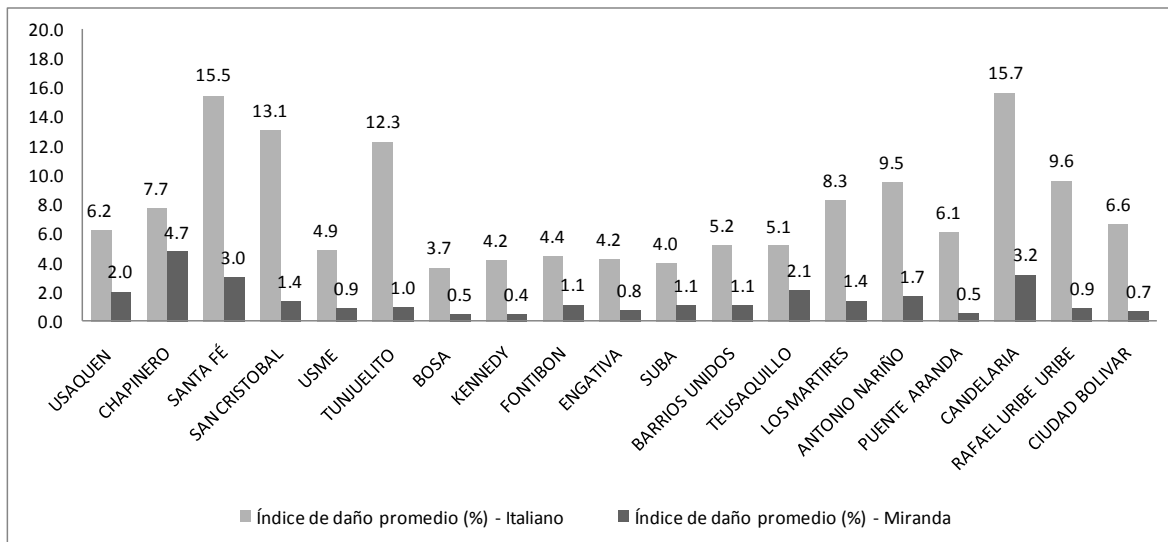


Figura 6.3. Índice de daño promedio por localidades para los métodos italiano y Miranda.

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**).

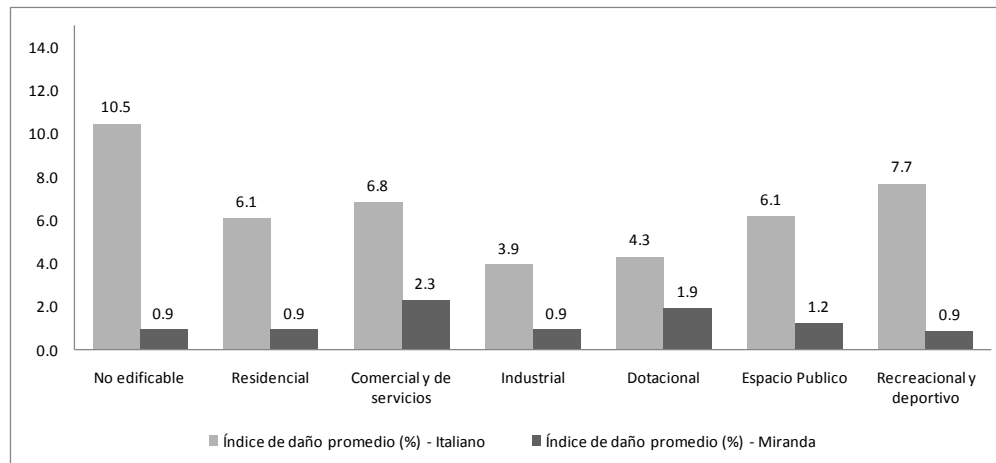


Figura 6.4. Índice de daño en edificaciones de acuerdo a su uso

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 especial 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 iniciales 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 Bomberos de Bogotá	18	0,8	0,0	7,3	1,9	0,5	0,1	1,6	0,5
Secretaría 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
Policía 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	-
Secretaría 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
Ejército 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.

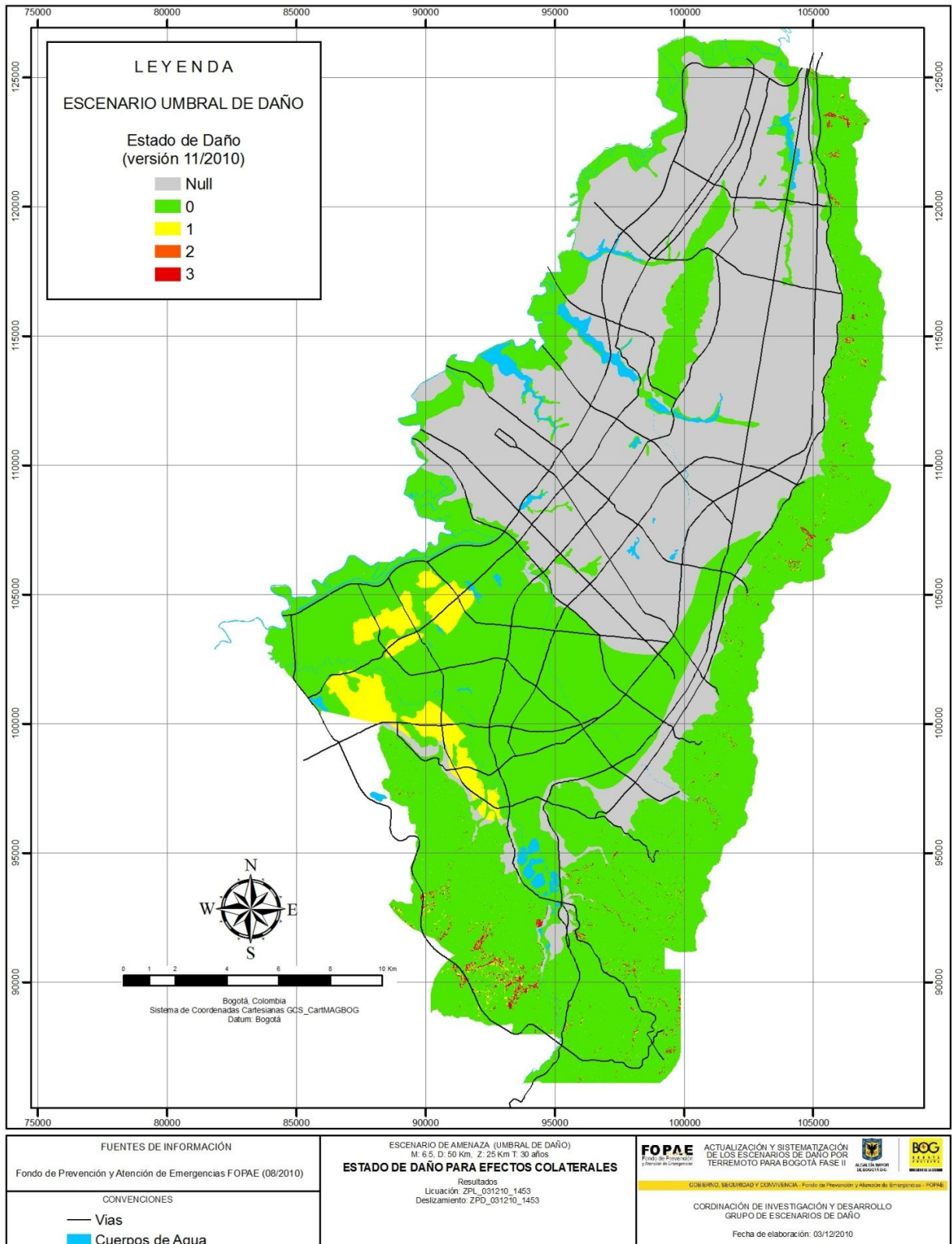


Figura 6.5. Estado de daño por licuación y deslizamiento

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.

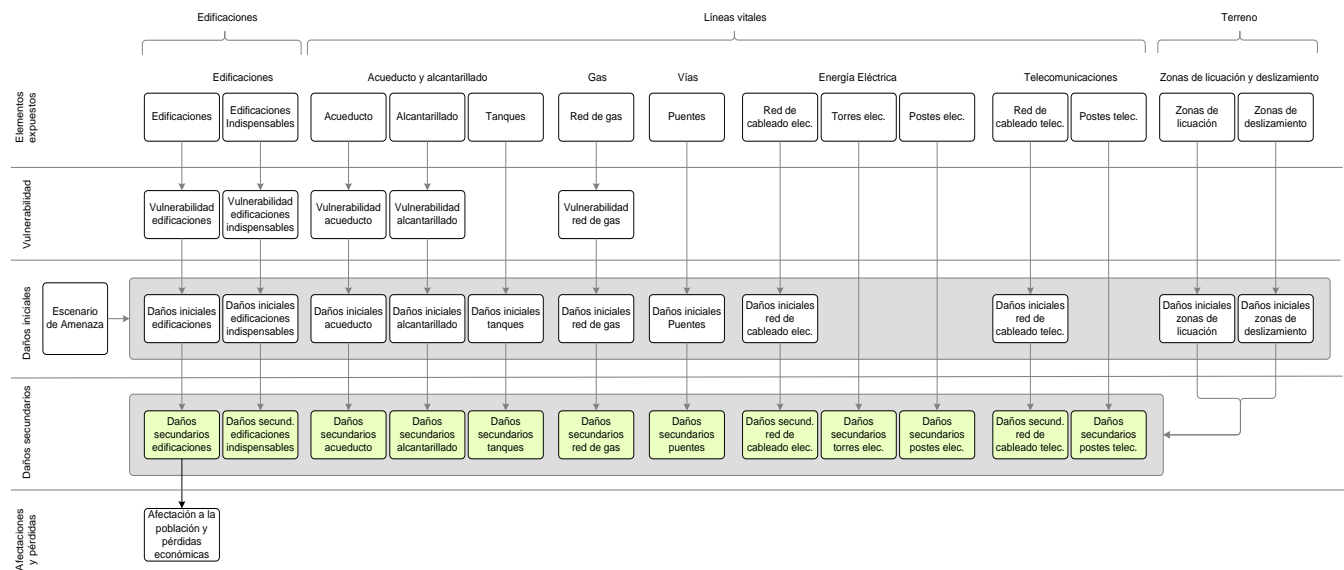


Figura 6.6. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños secundarios en edificaciones y líneas vitales)

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 iniciales 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**).

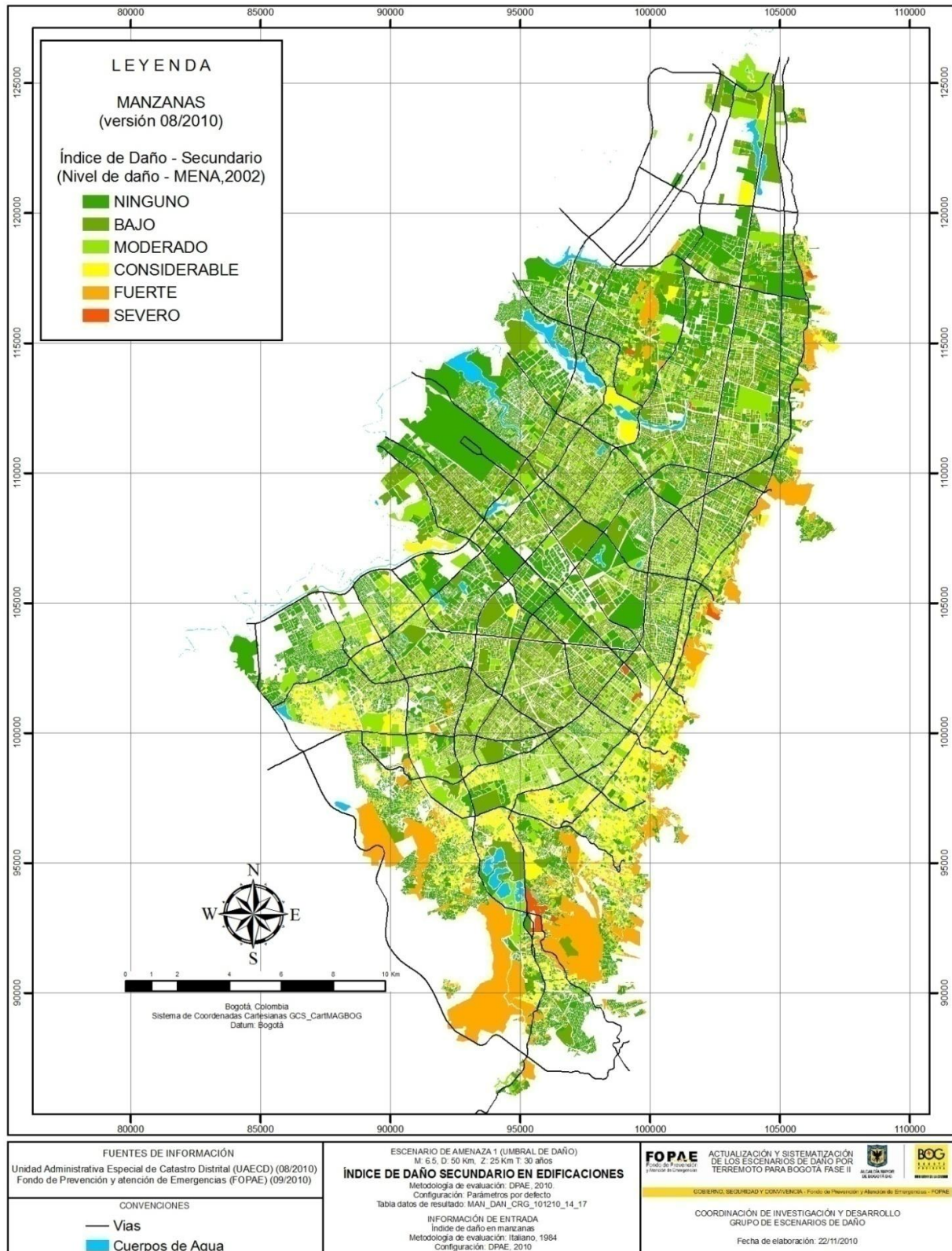


Figura 6.7. Índice de daño secundario en manzanas método italiano para escenario de umbral de daño

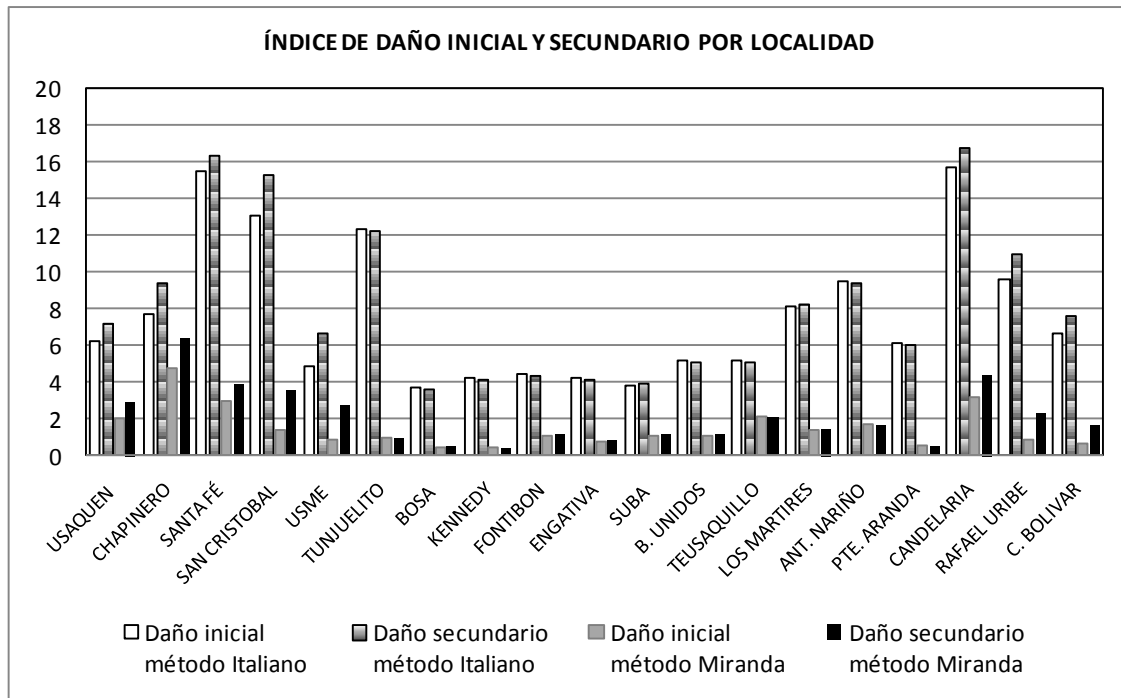


Figura 6.8 Comparación del índice de daño inicial y secundario por localidad

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 Bomberos de Bogotá	18	0,8	0,0	7,3	1,9	0,5	0,1	1,6	0,5
Secretaría 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
Policía 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	-
Secretaría 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
Ejército 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

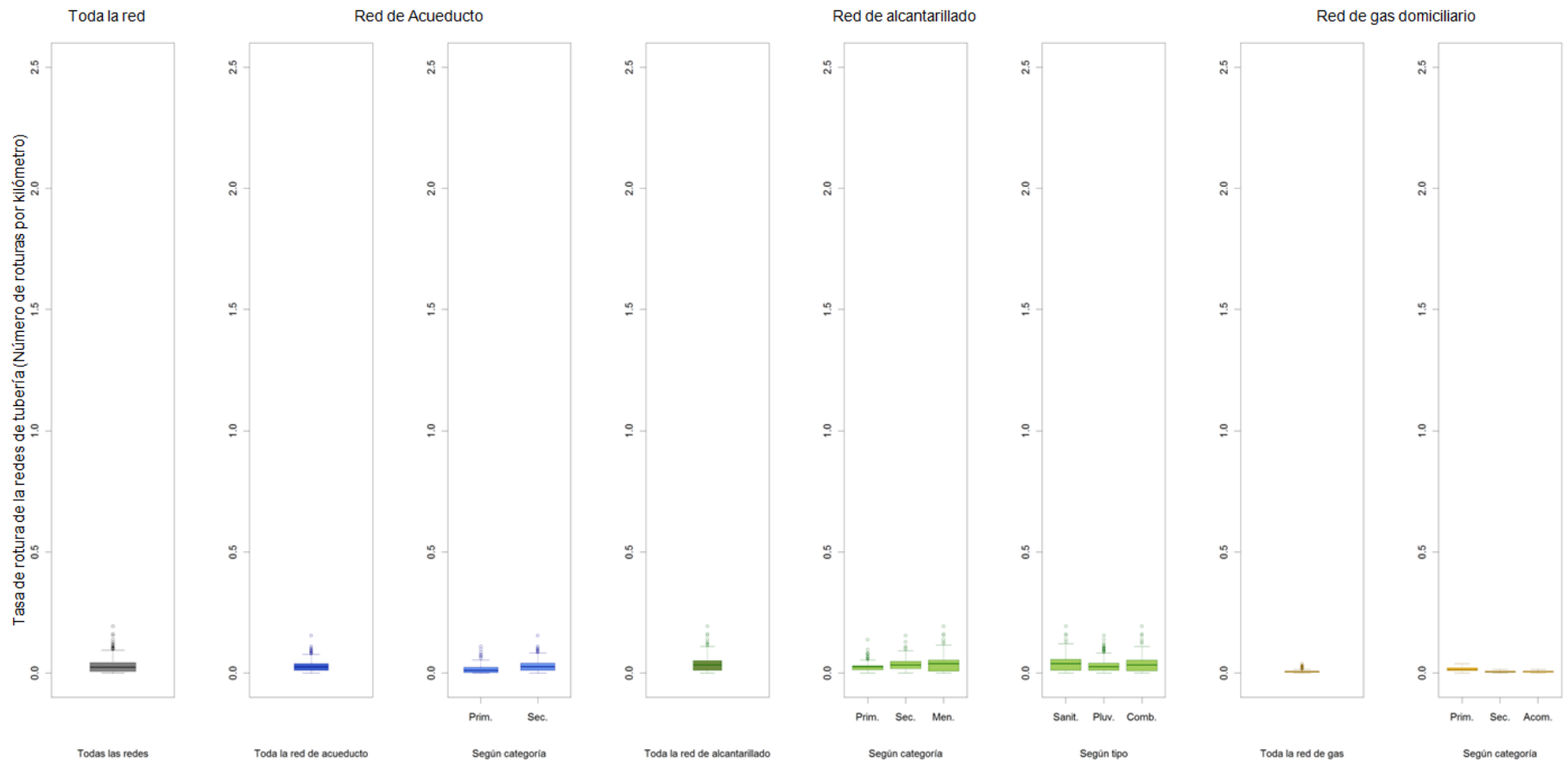


Figura 6.9. Resumen resultados de daño secundario de la red de tuberías

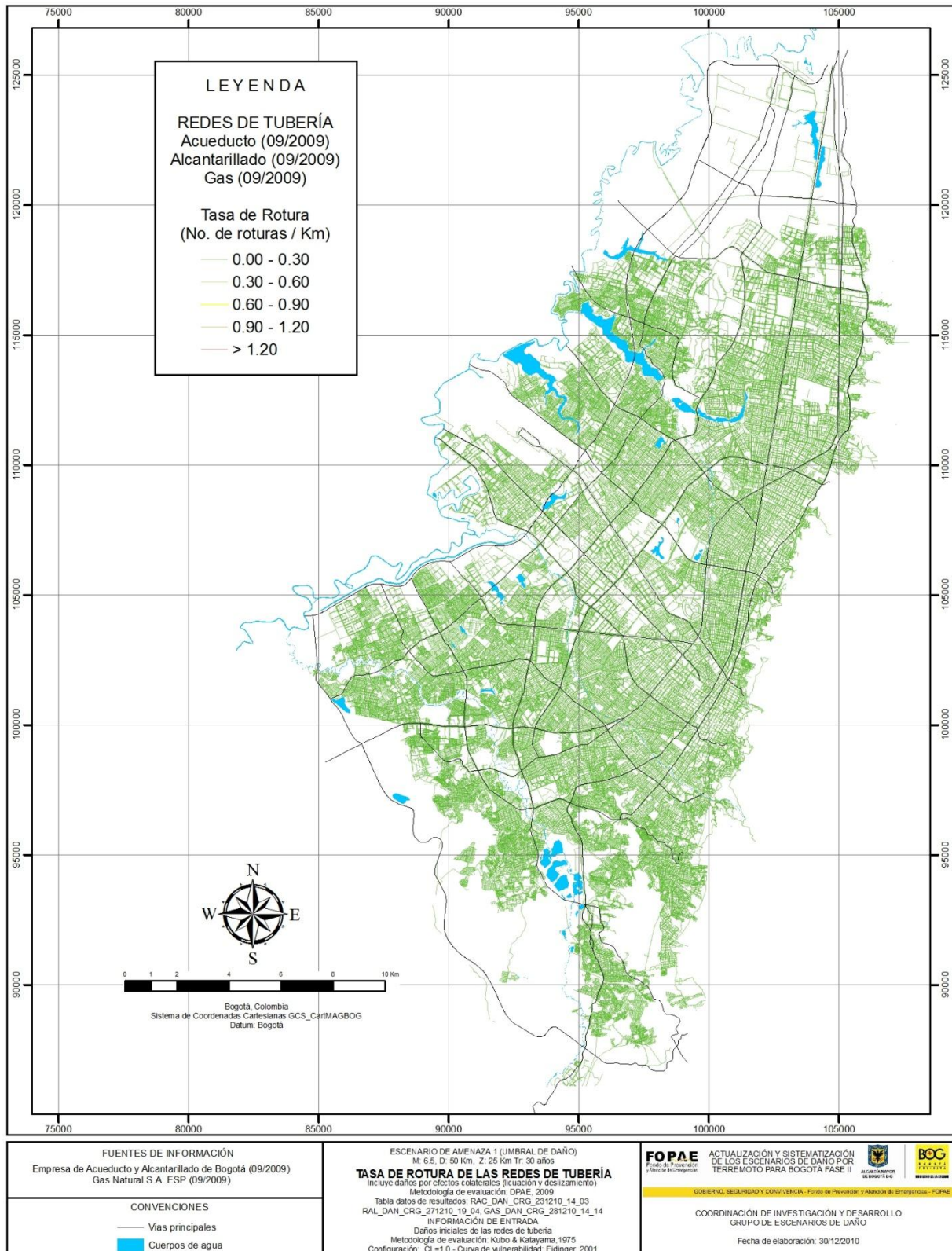


Figura 6.10. Mapa de resultados de daño secundario de la red de tuberías

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.

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

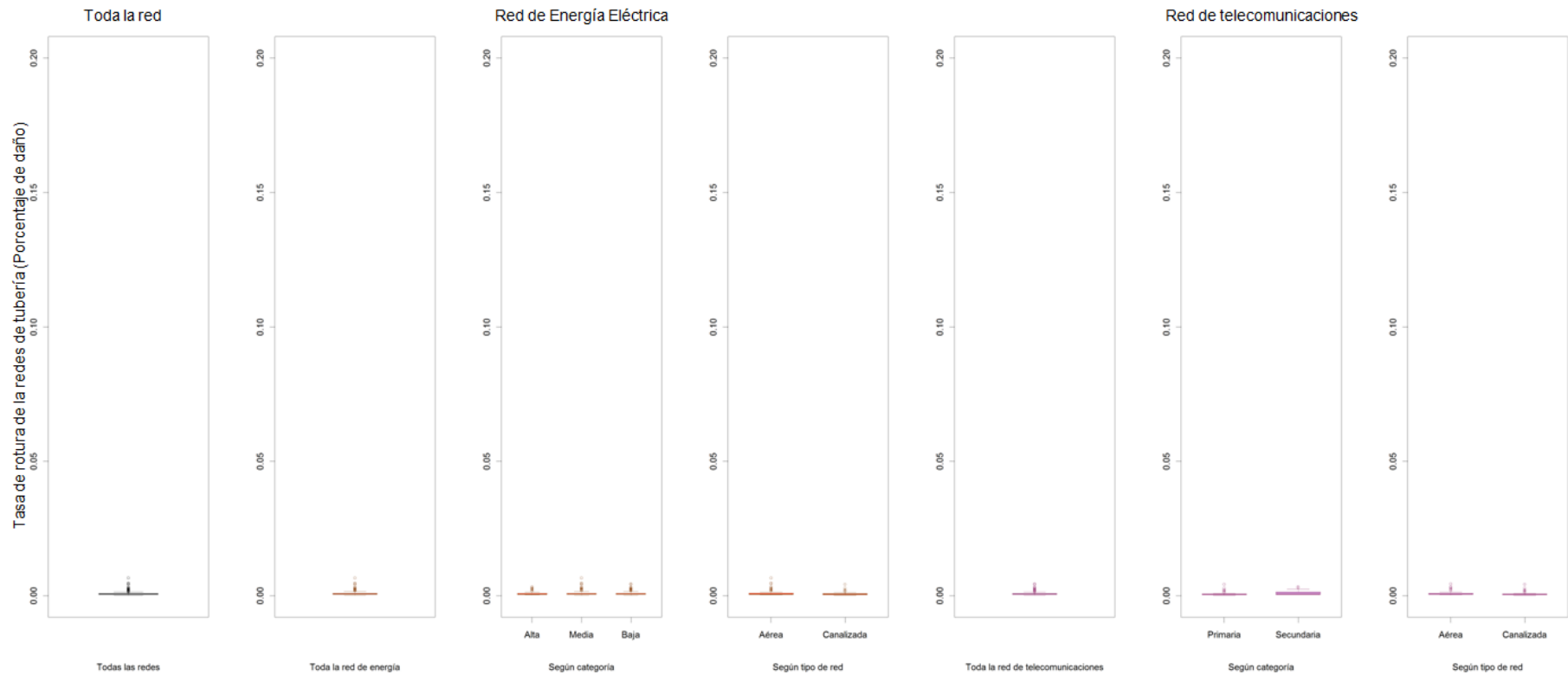


Figura 6.11. Resumen resultados de daño secundario de la red de cableado

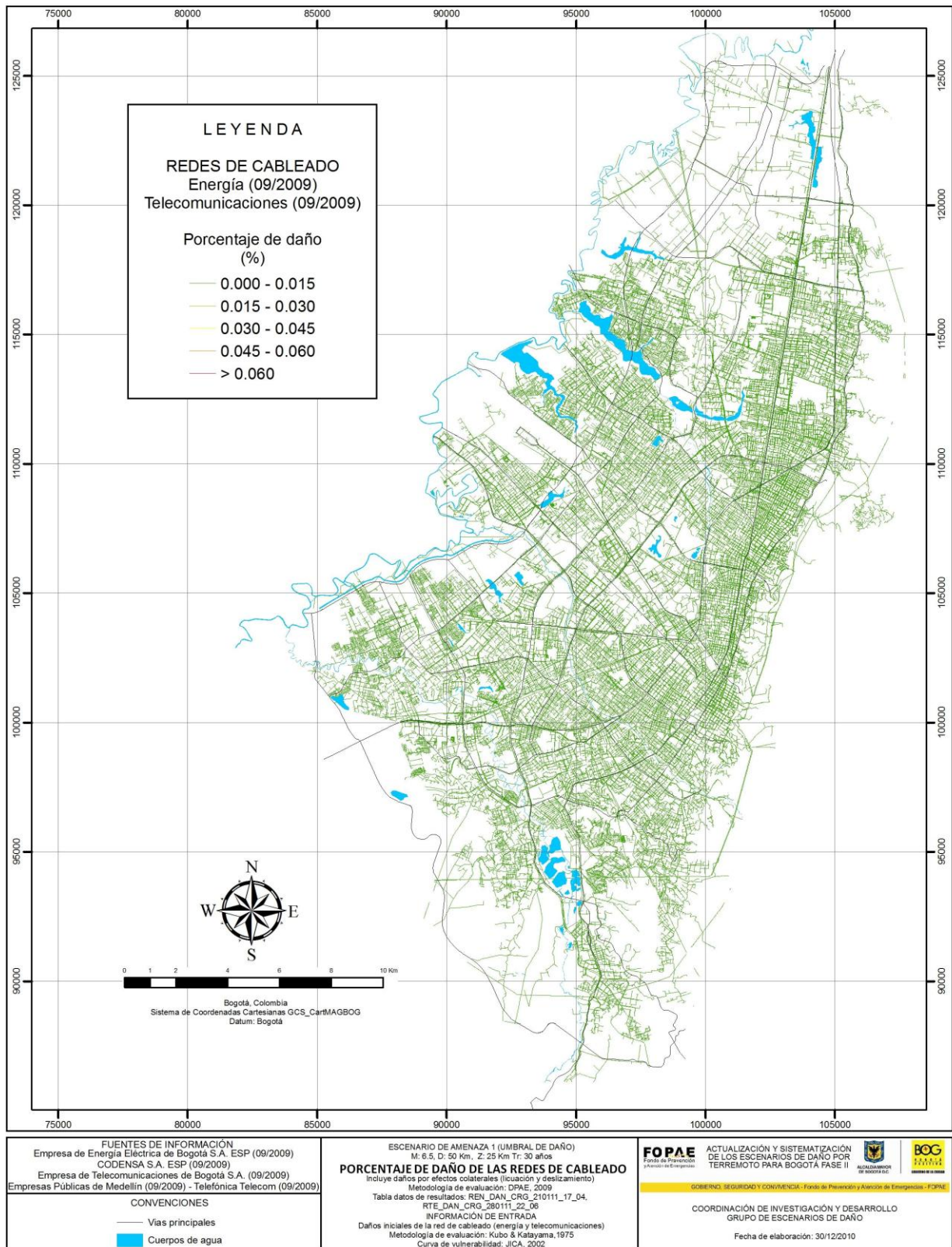


Figura 6.12. Mapa de resultados de daño secundario de la redes de cableado

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.

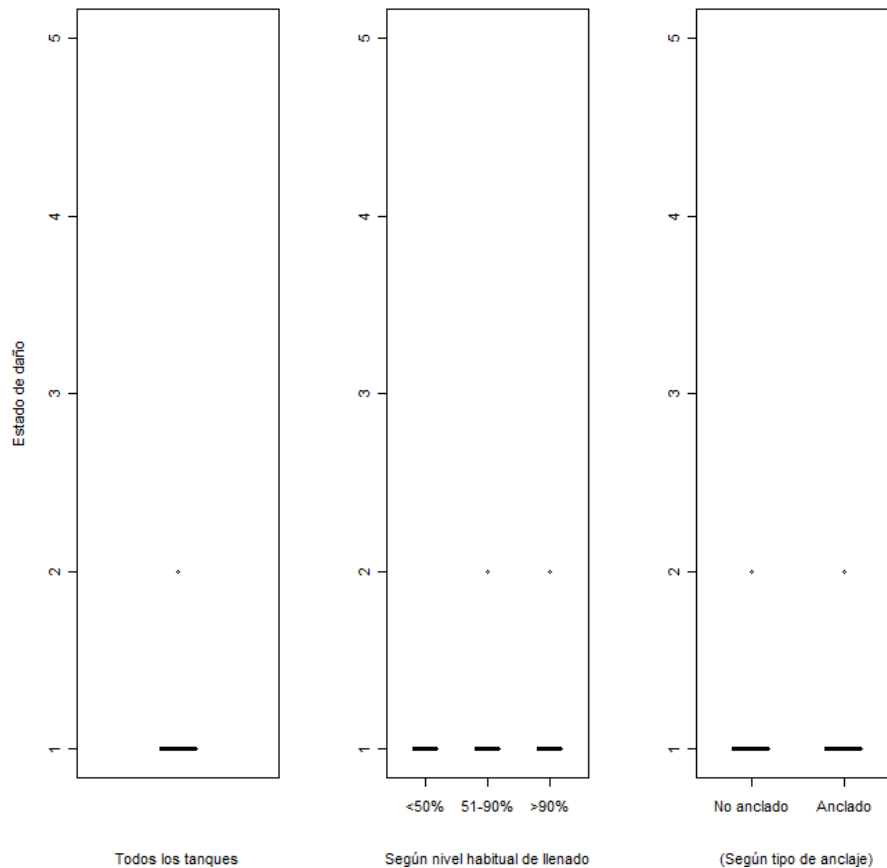


Figura 6.13. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los tanques de almacenamiento

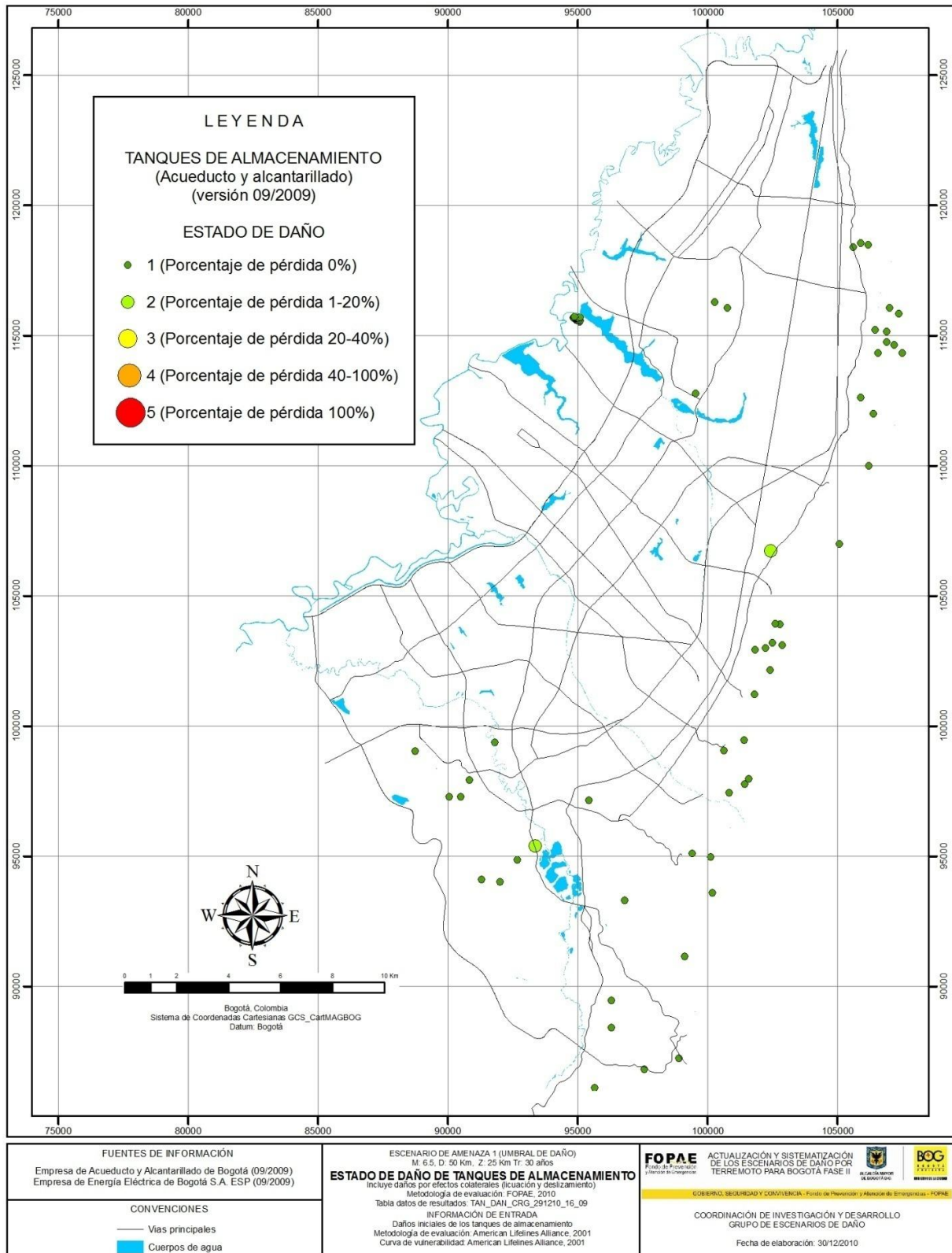


Figura 6.14. Mapa de resultados de daño secundario de los tanques de almacenamiento

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.

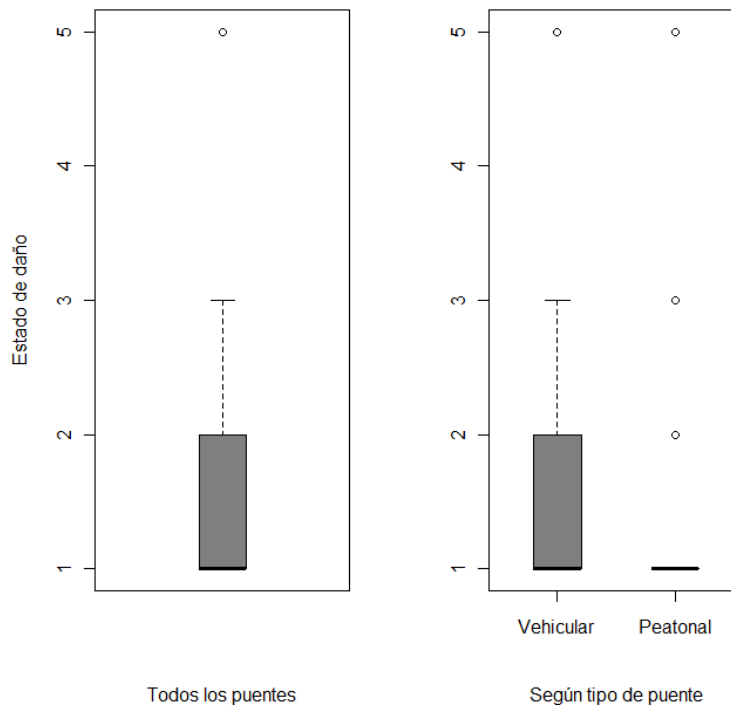


Figura 6.15. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los puentes vehiculares y peatonales

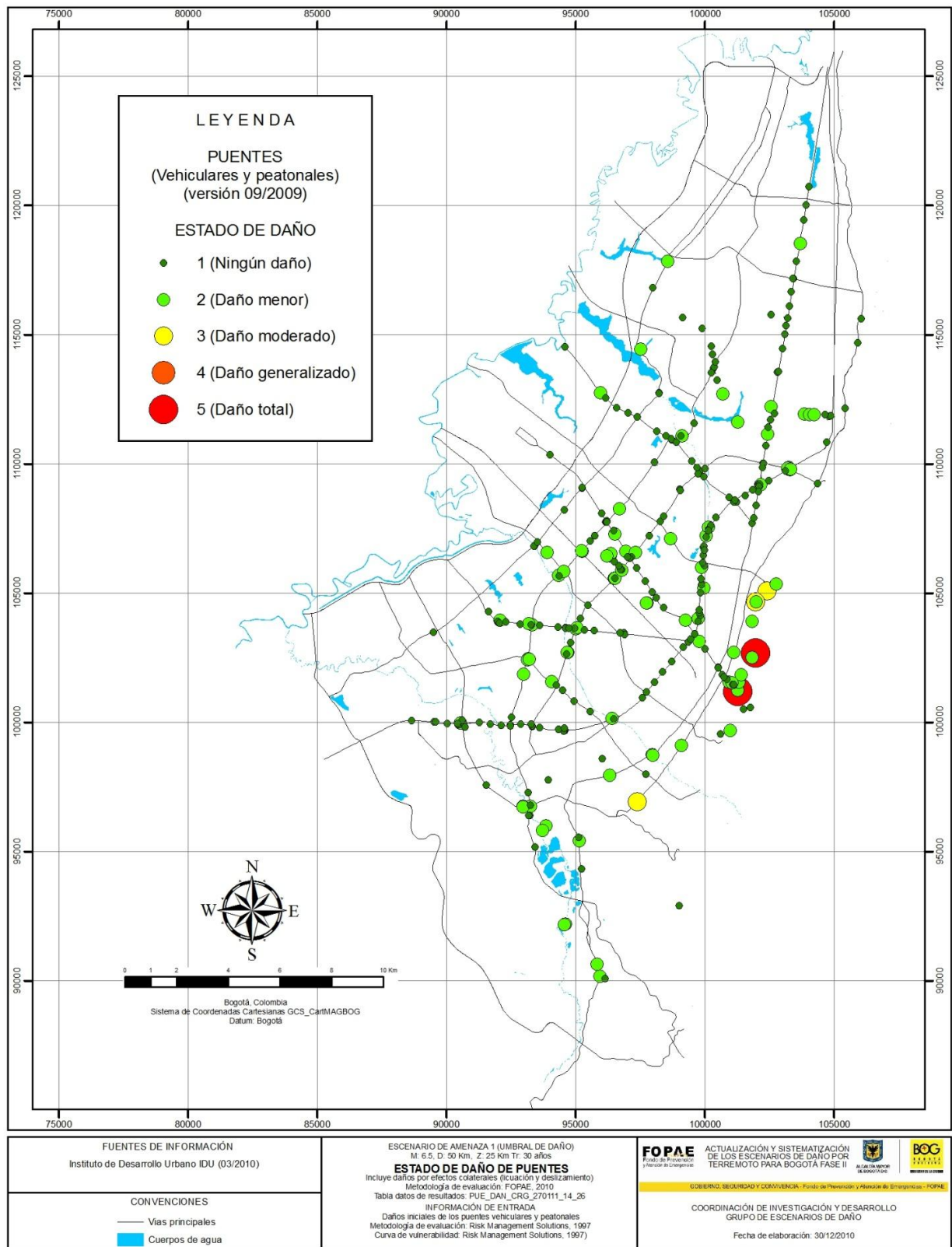


Figura 6.16. Mapa de resultados de daño secundario en puentes vehiculares y peatonales

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.

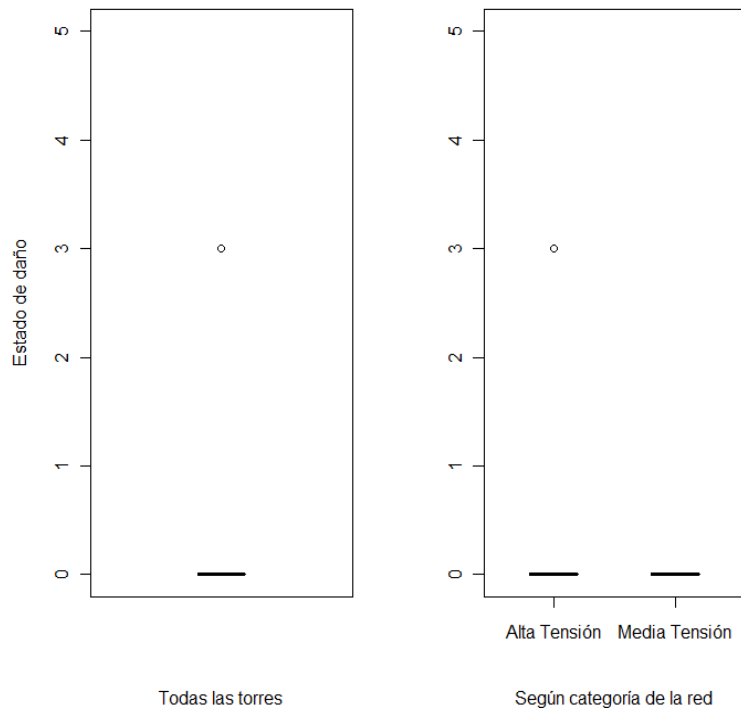


Figura 6.17. Resumen de resultados de estado de daño secundario de las torres de la red de energía eléctrica

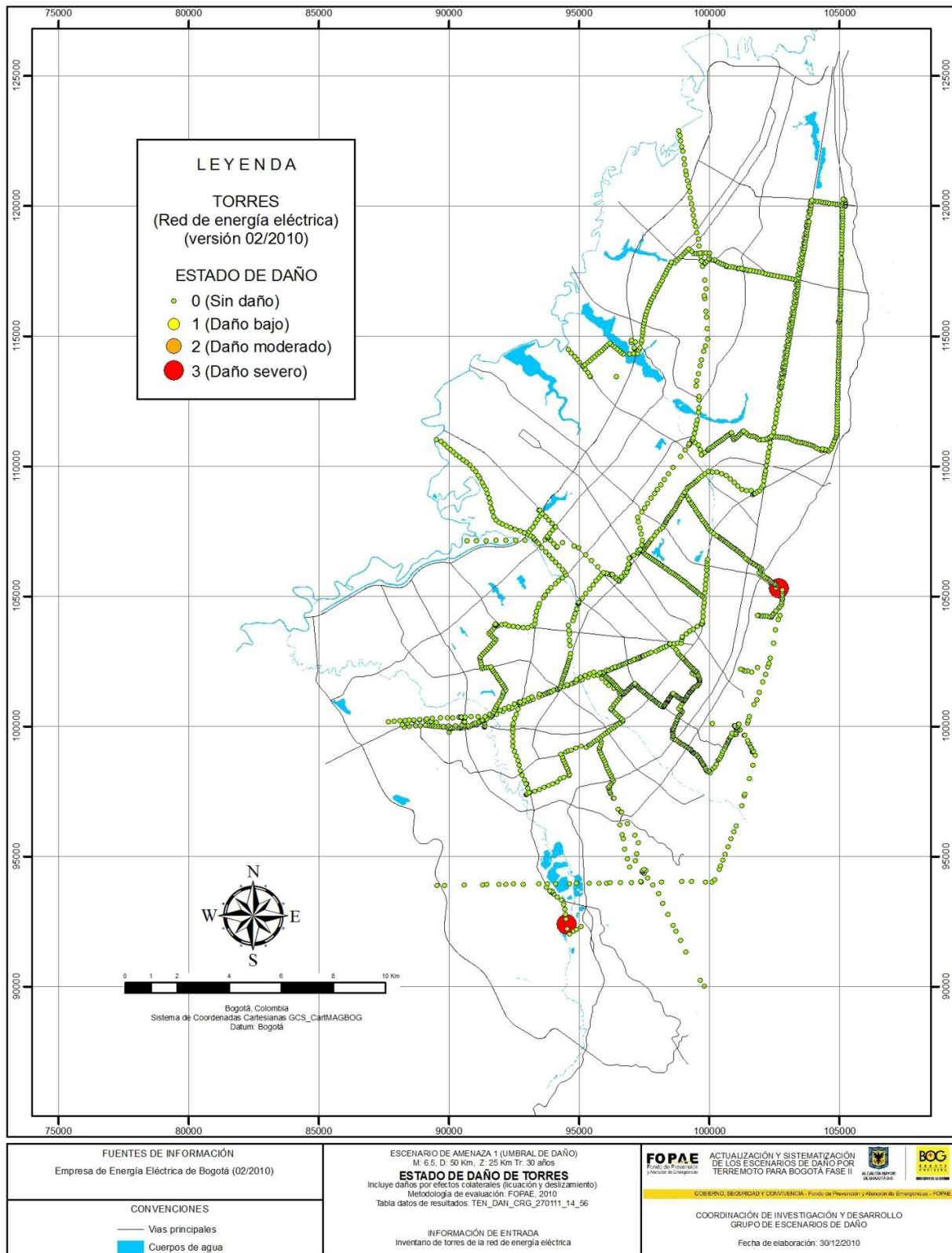


Figura 6.18. Mapa de resultados de daño secundario en torres de la red de energía eléctrica

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.

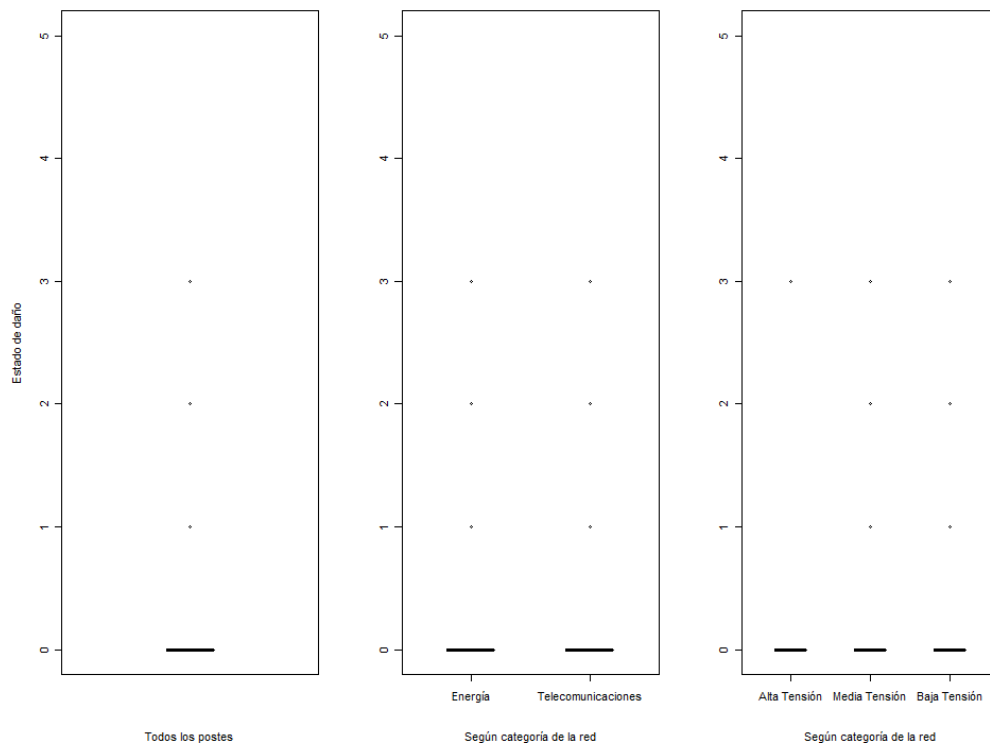


Figura 6.19. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los postes de la red de energía eléctrica y de telecomunicaciones

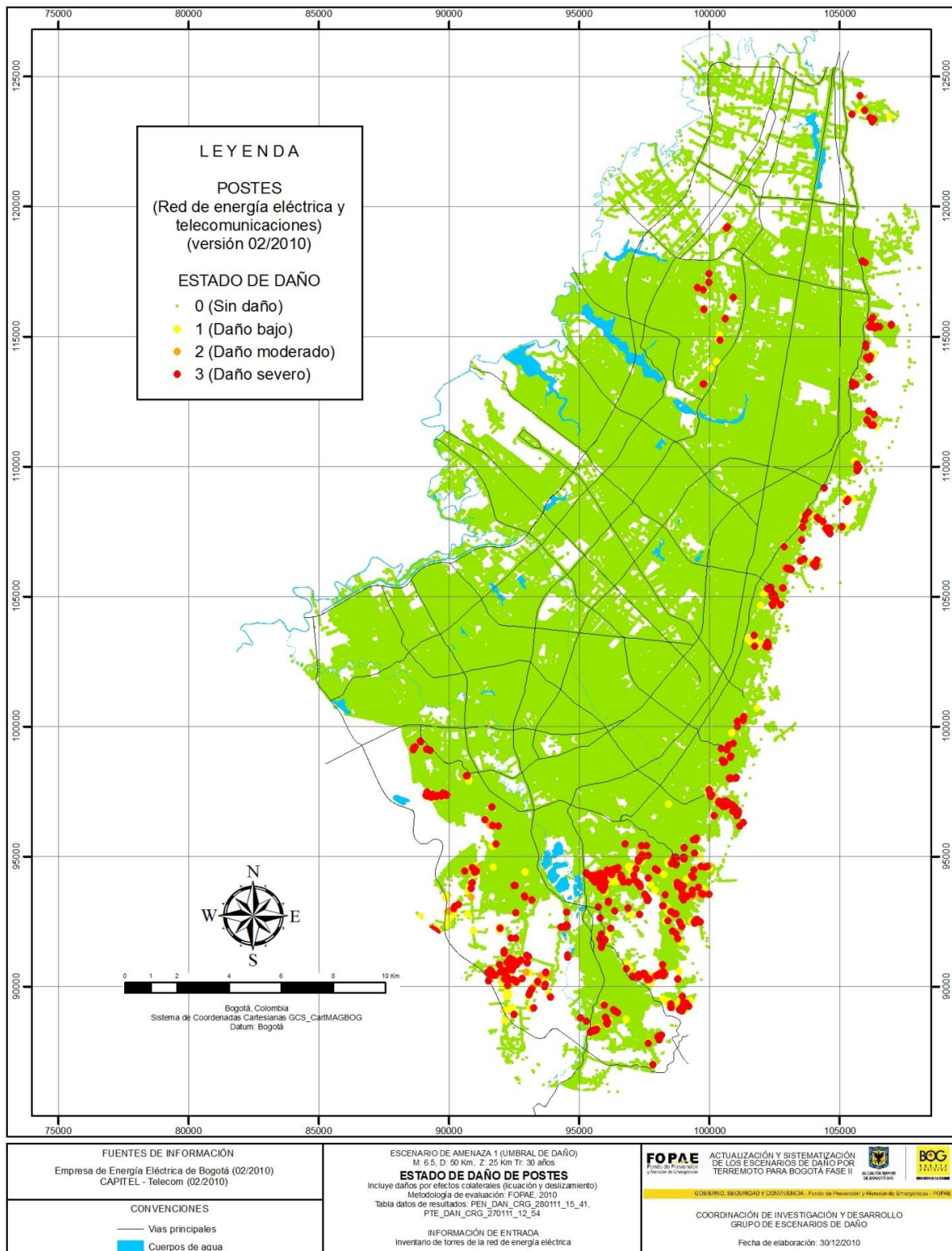


Figura 6.20. Mapa de resultados de daño secundario en los postes de la red de energía eléctrica y telecomunicaciones

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.

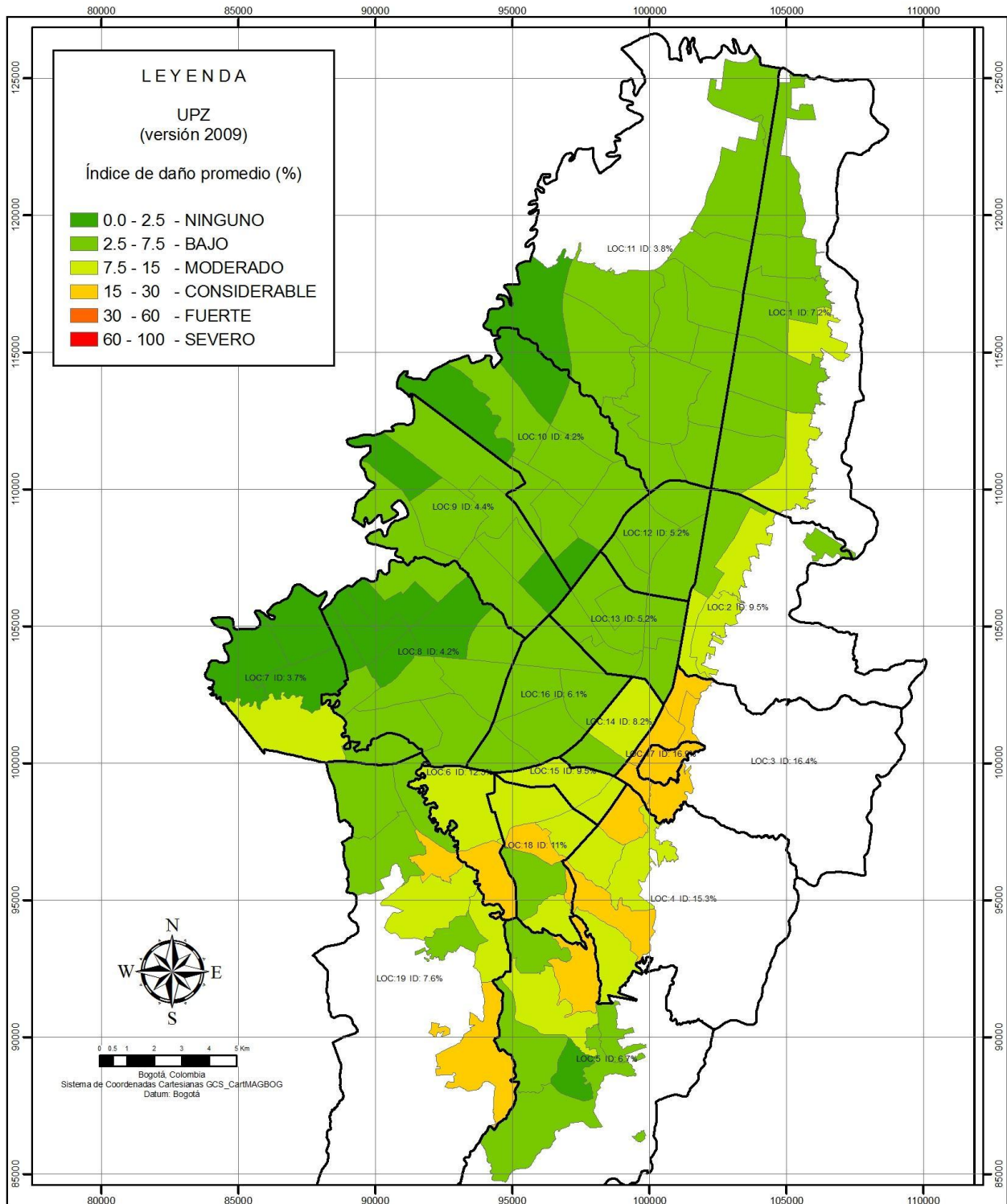
6.4.2 Líneas vitales

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).



FUENTES DE INFORMACIÓN
Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital (UAECD) (2009)
Fondo de Prevención y atención de Emergencias (FOPAE) (2010)

CONVENCIONES
□ Localidad

ESCUENARIO DE AMENAZA 1 (UMBRAL DE DAÑO)
M: 6.5, D: 50 Km, Z: 25 Km T: 30 años

ÍNDICE DE DAÑO EN EDIFICACIONES A UPZ
Metodología de evaluación: Italiano, 1984.
Configuración: Parámetros por defecto
Tabla datos de resultado: MAN_DAN_CRG_221210_2450

FOPAE ACTUALIZACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE DAÑO POR TERREMOTO PARA BOGOTÁ FASE II
Fondo de Prevención y Atención de Emergencias

GOBIERNO, SEGURIDAD Y CONVIVENCIA - Fondo de Prevención y Atención de Emergencias - FOPAE

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO GRUPO DE ESCENARIOS DE DAÑO

Fecha de elaboración: 03/03/2011

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

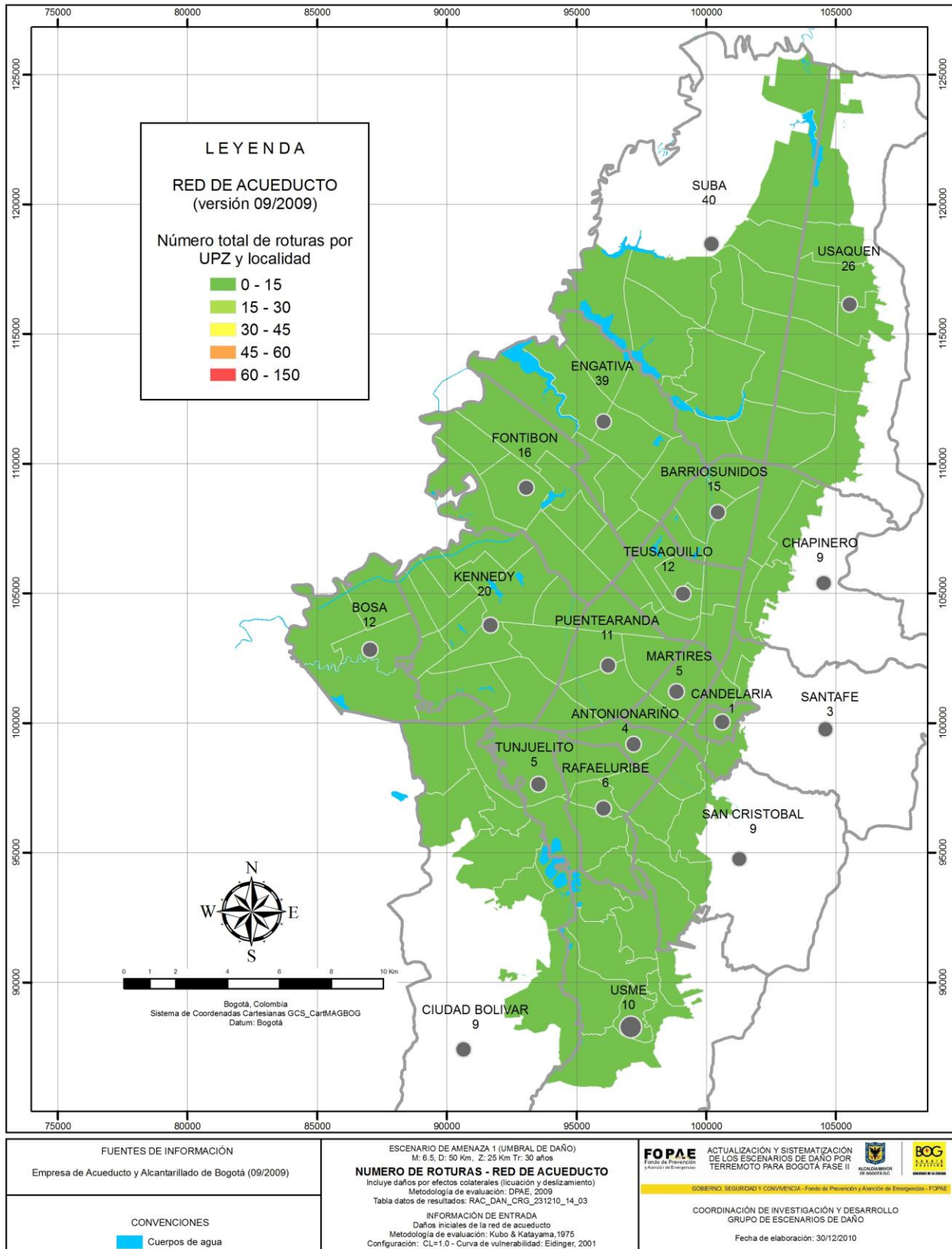


Figura 6.22. Mapa de resultados de daño secundario red de acueducto - Número total de roturas por UPZ y localidad

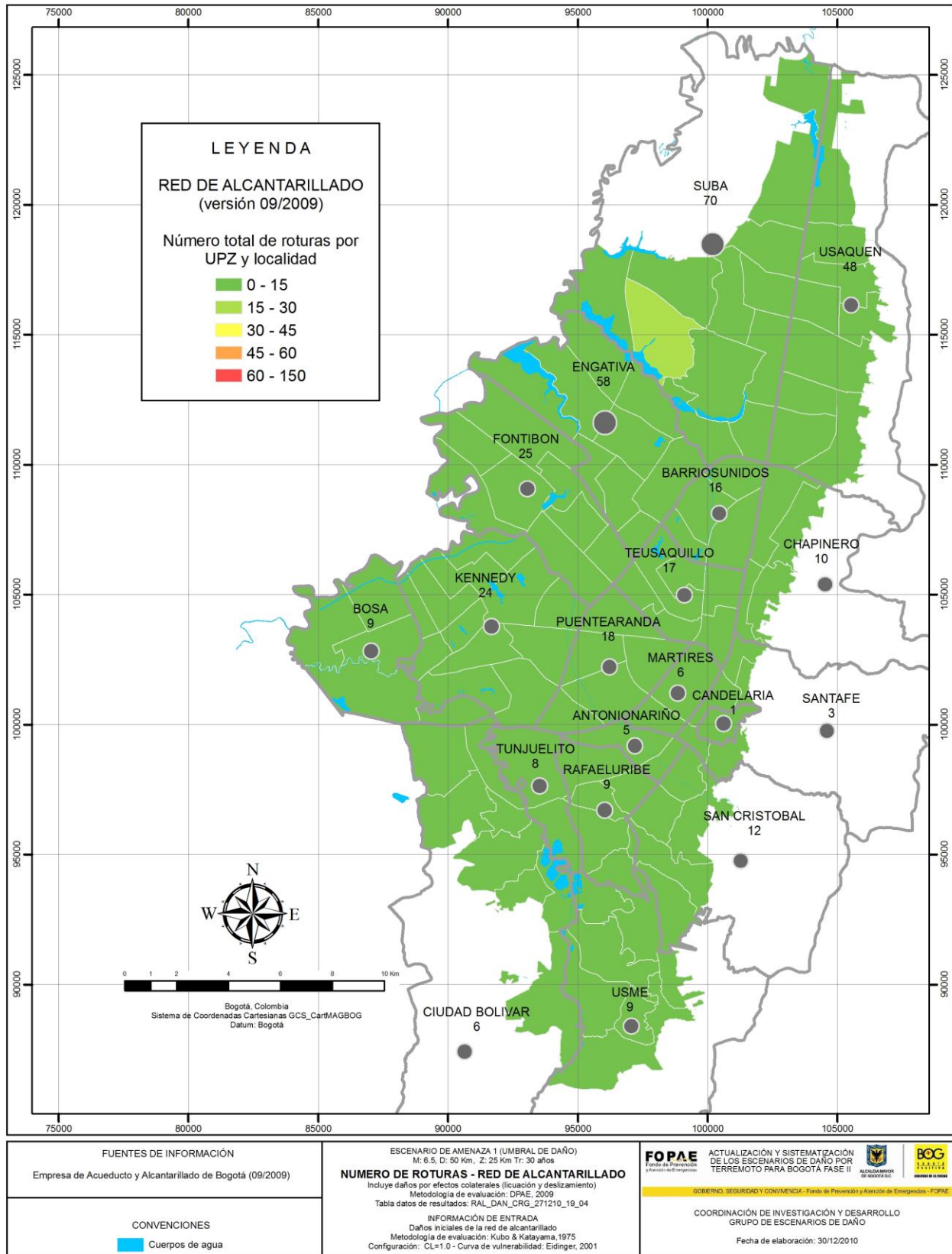


Figura 6.23. Mapa de resultados de daño secundario red de alcantarillado - Número total de roturas por UPZ y localidad

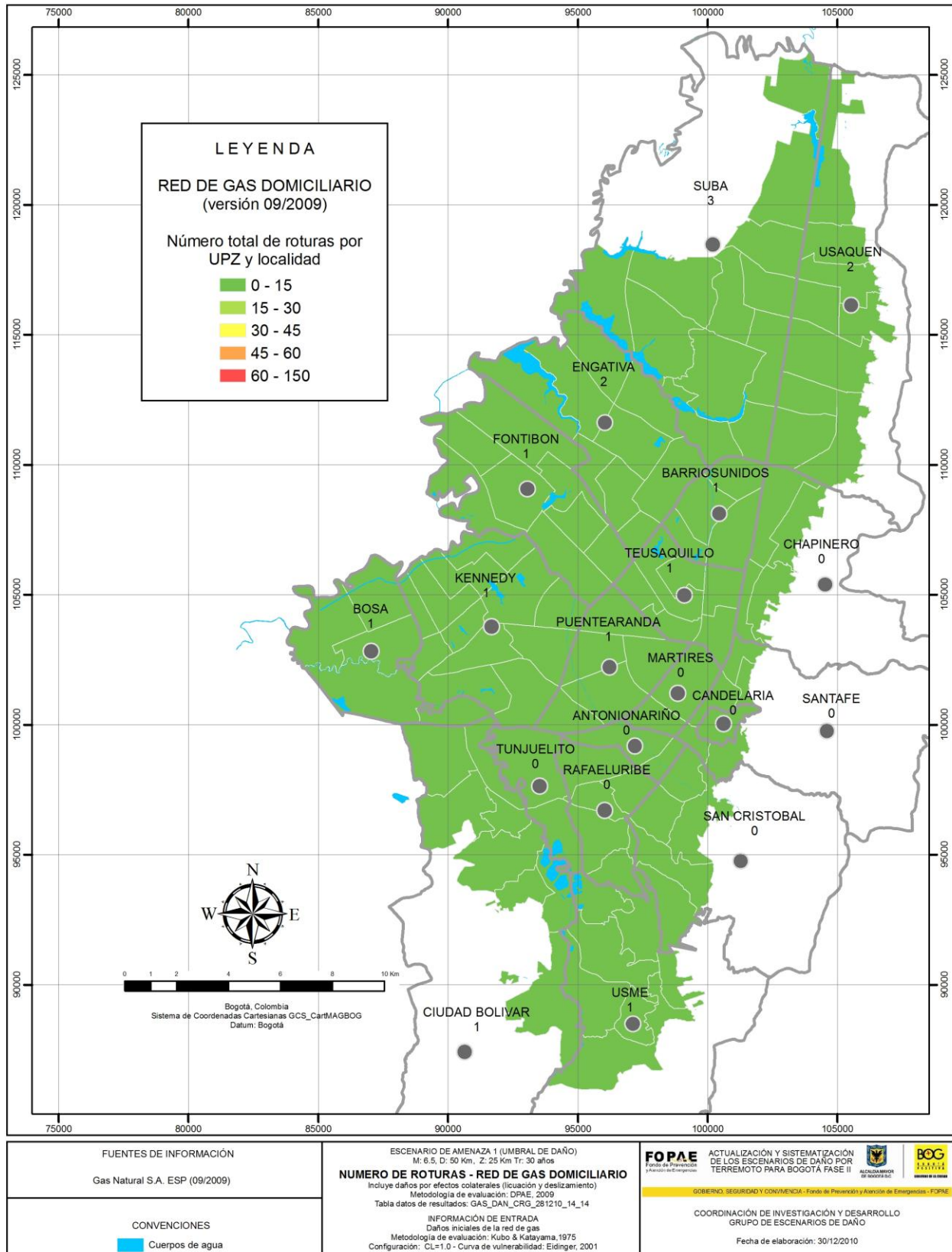


Figura 6.24. Mapa de resultados de daño secundario red de gas domiciliario - Número total de roturas por UPZ y localidad

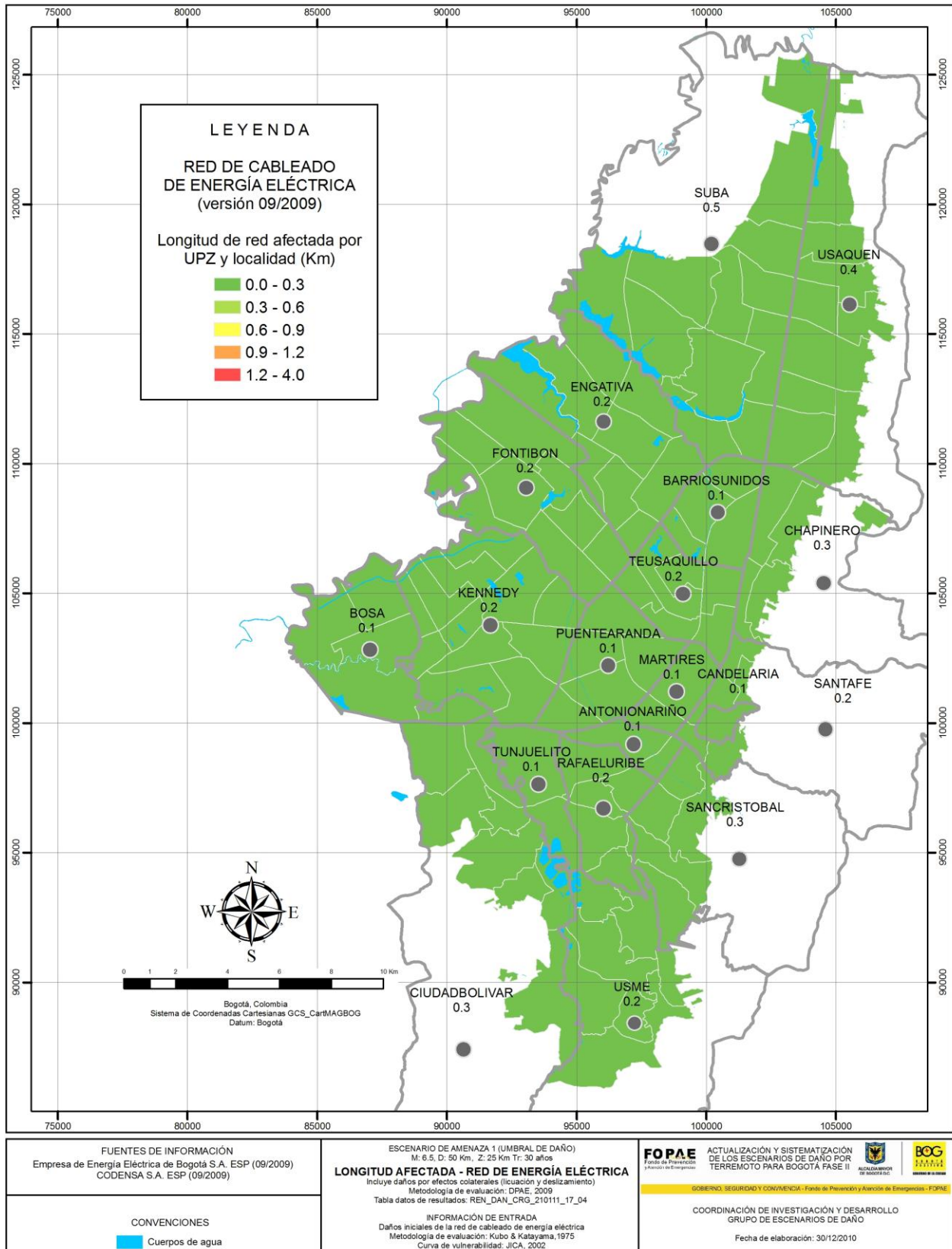


Figura 6.25. Mapa de resultados de daño secundario red de energía eléctrica - Longitud afectada por UPZ y localidad

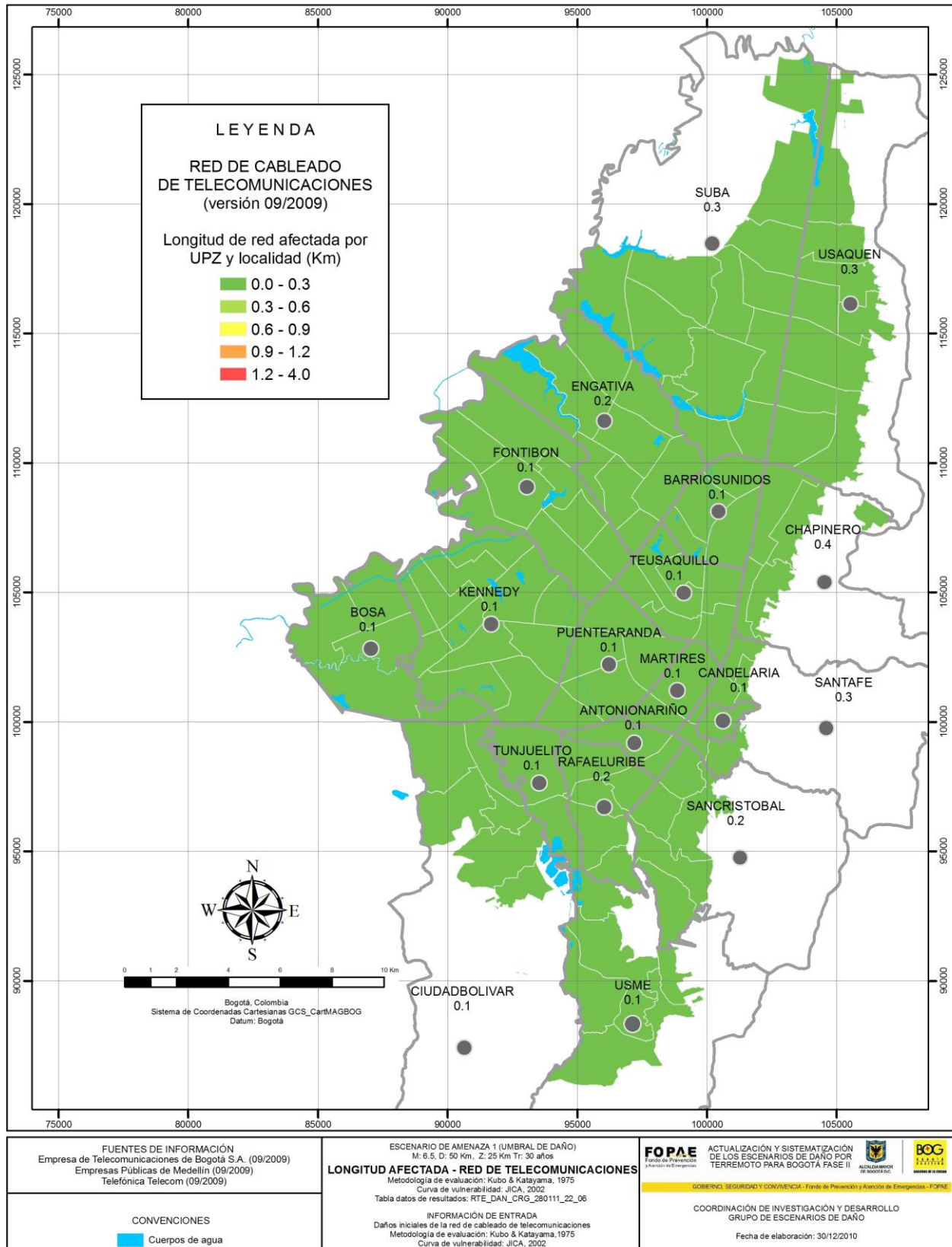


Figura 6.26. Mapa de resultados de daño secundario red de telecomunicaciones - Longitud afectada por UPZ y localidad

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.

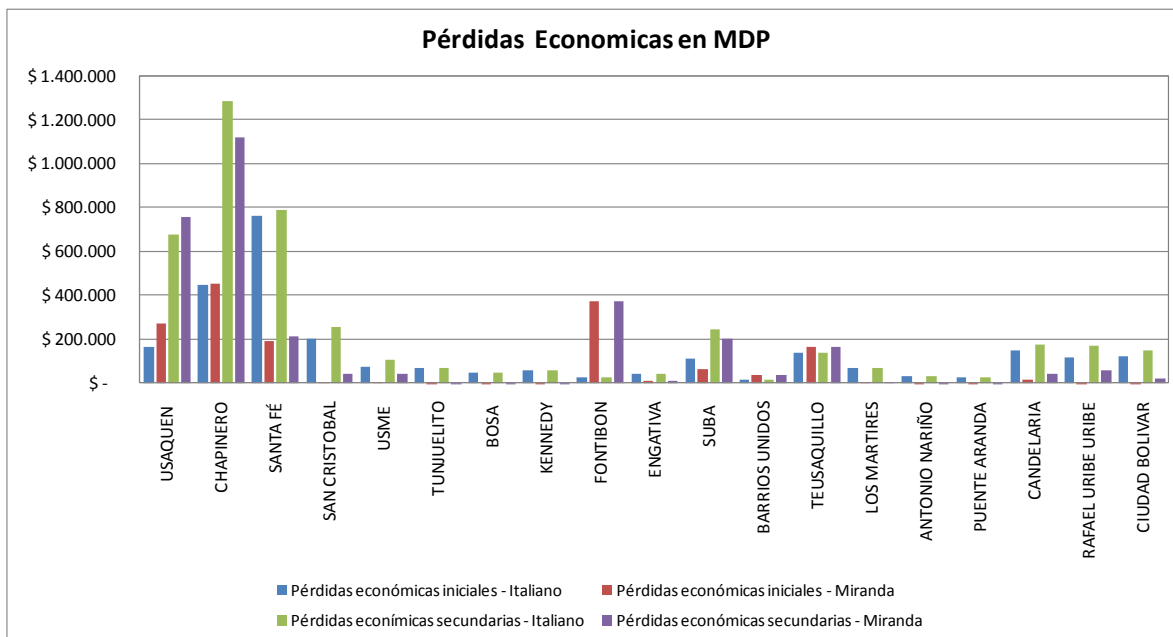


Figura 6.27. Pérdidas económicas en MDP para daños iniciales y secundarios

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 iniciales 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**).

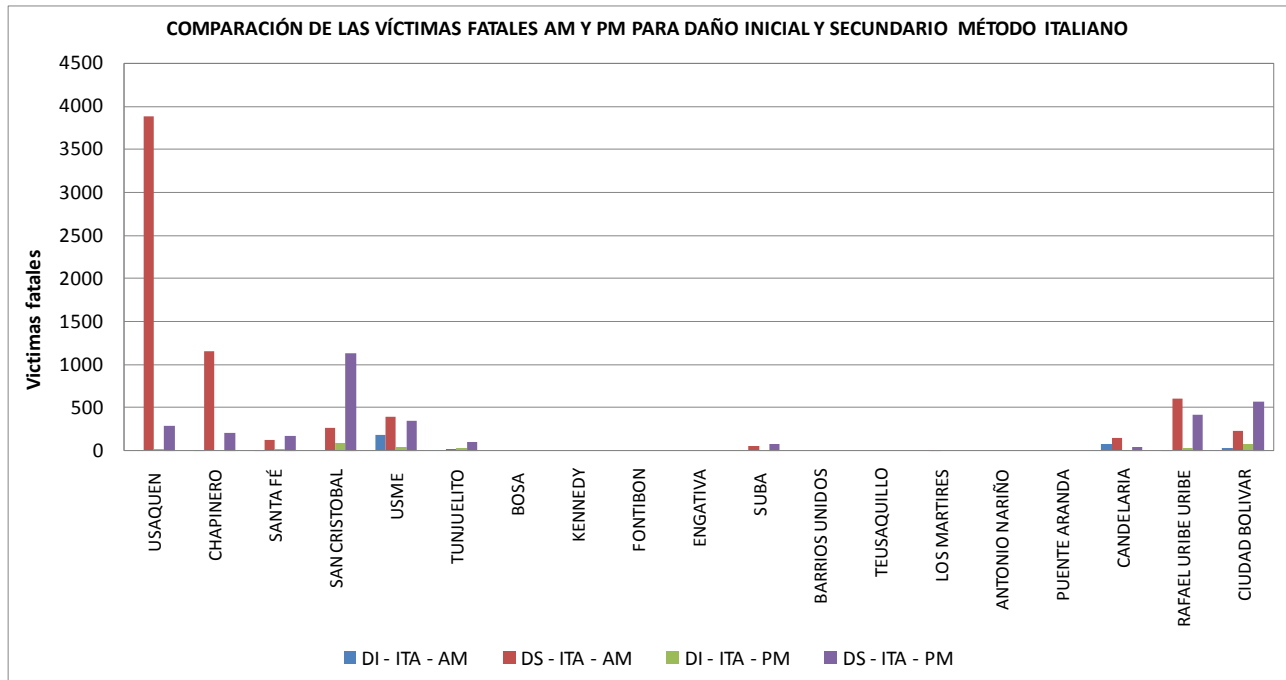


Figura 6.28. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Italiano

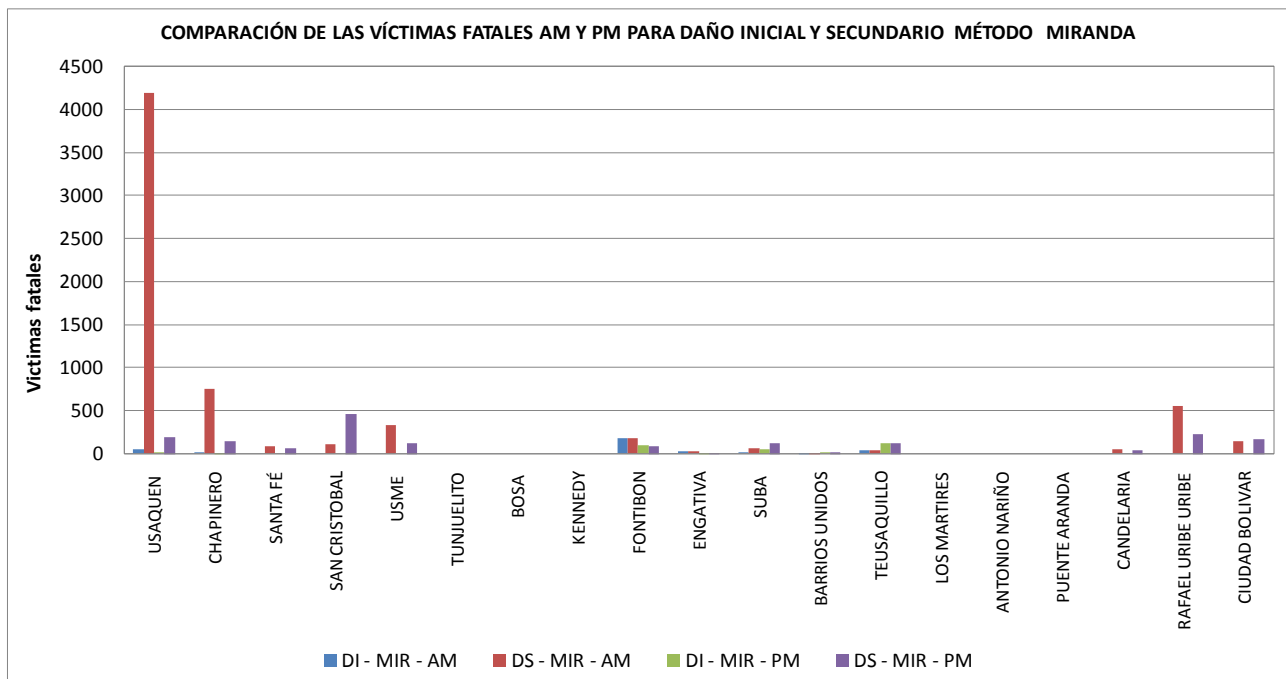


Figura 6.29. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Miranda

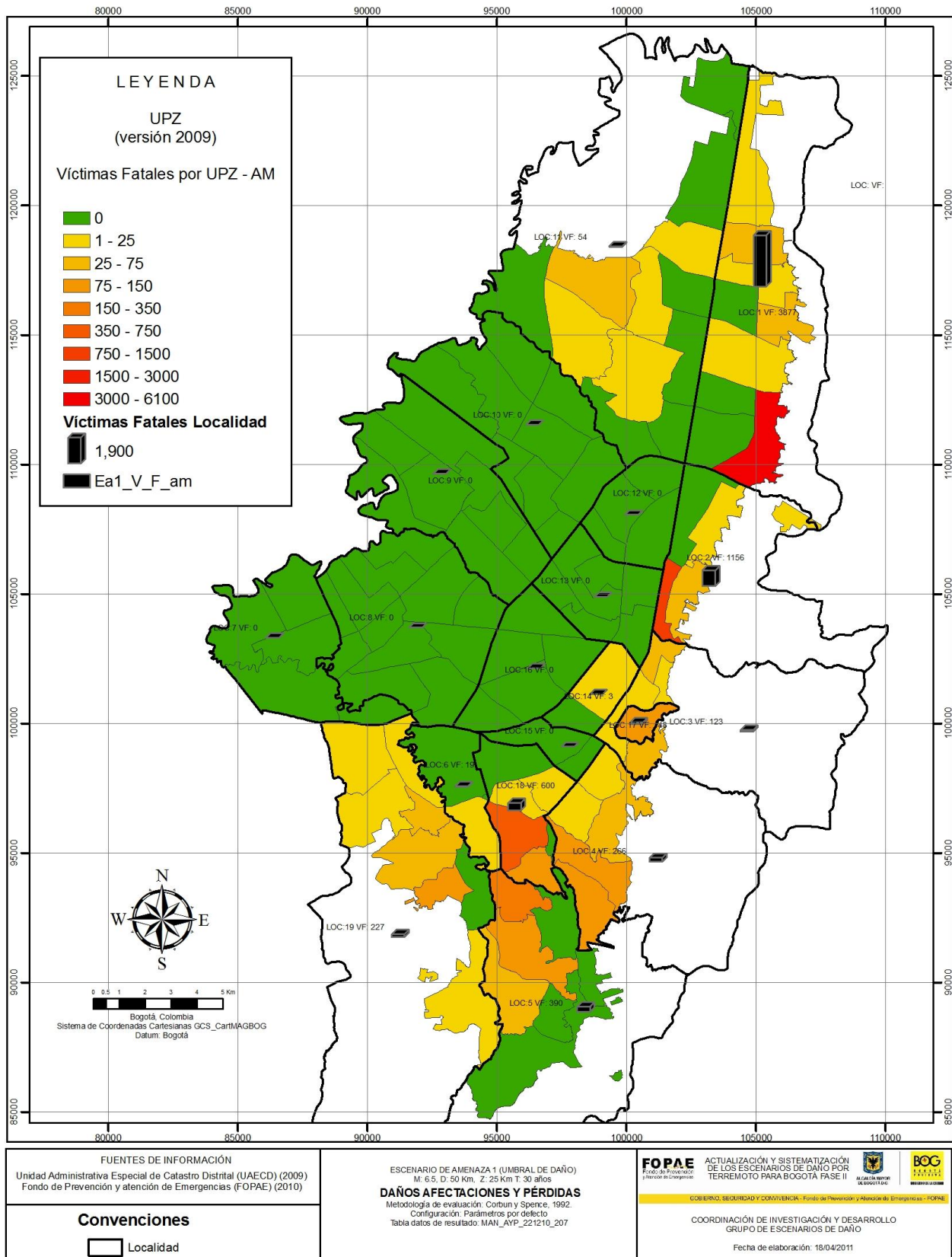


Figura 6.30. Víctimas fatales en el día

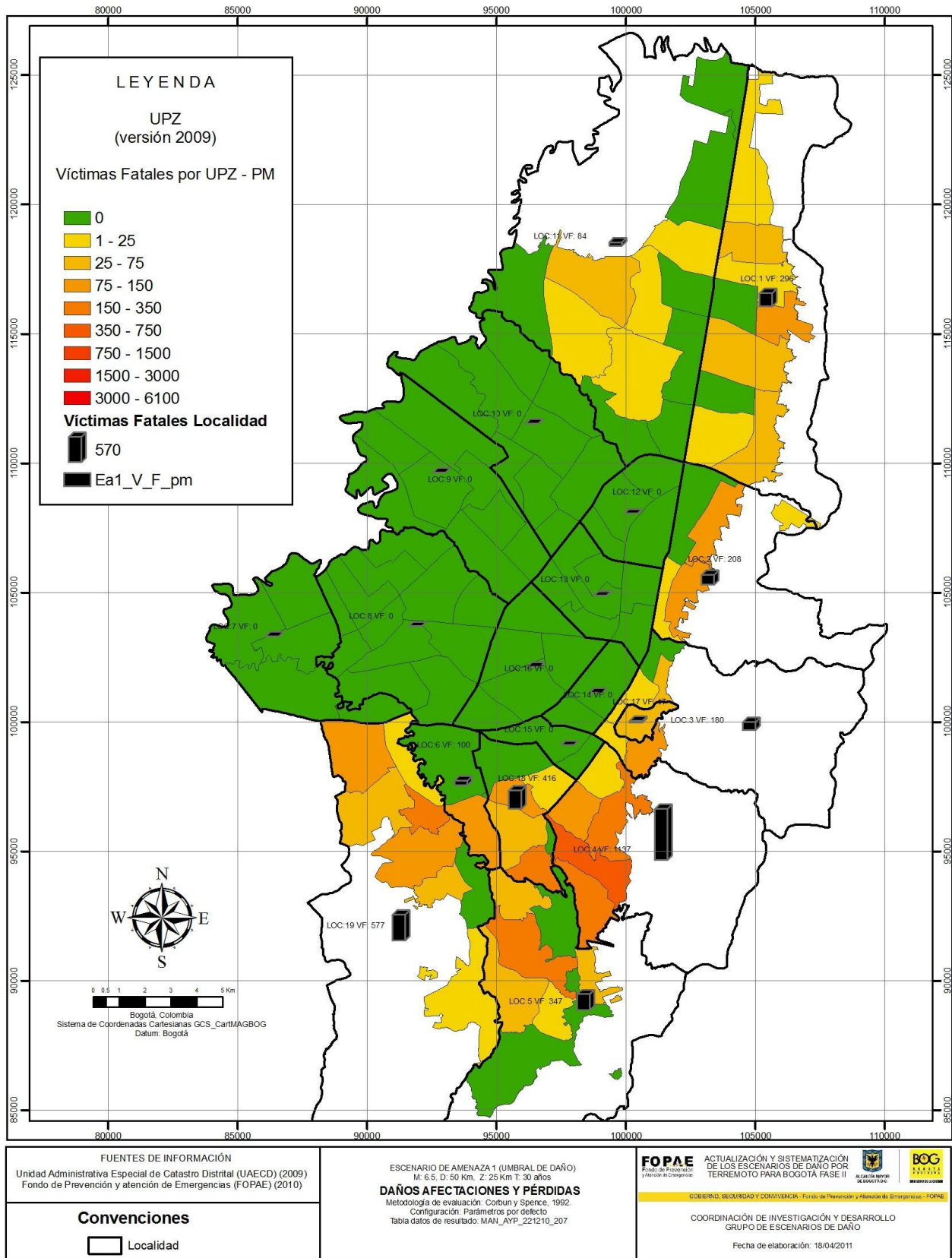


Figura 6.31. Víctimas fatales en la noche

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.

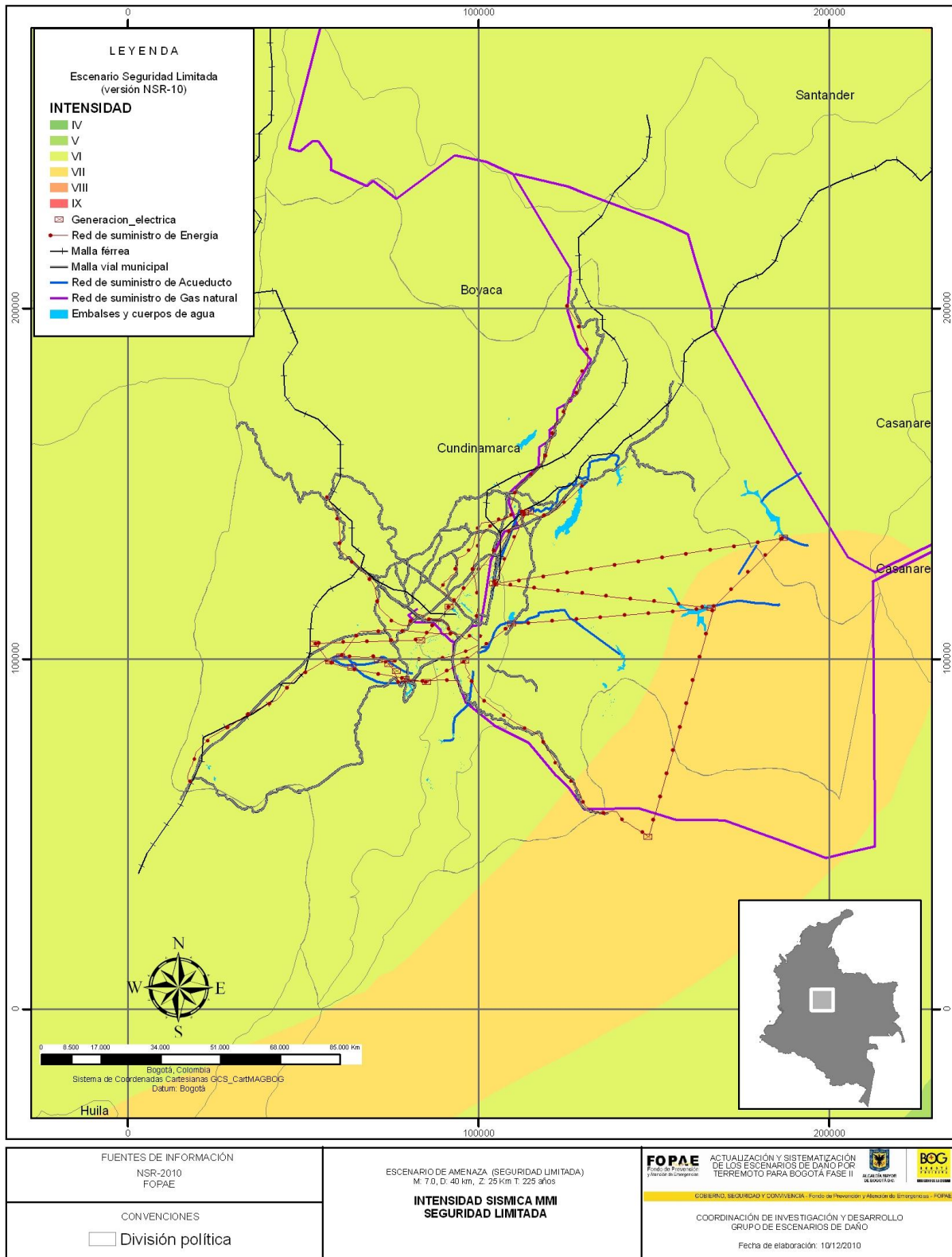


Figura 7.1. Intensidad sísmica para el escenario de Seguridad limitada

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”.

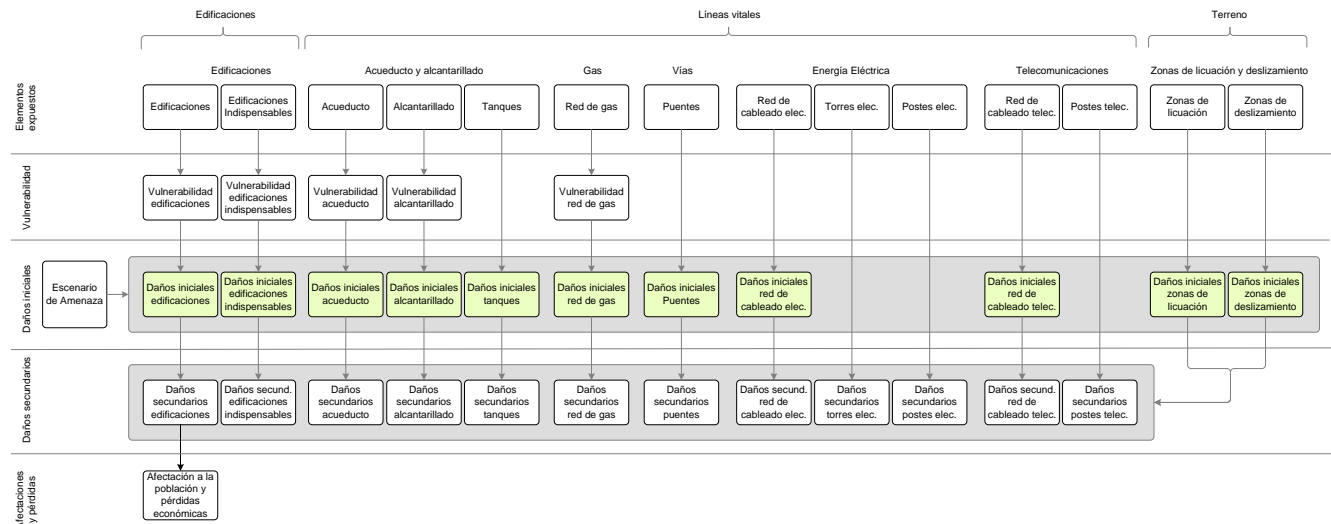


Figura 7.2. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños iniciales en edificaciones y líneas vitales)

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 DPAAE, 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.

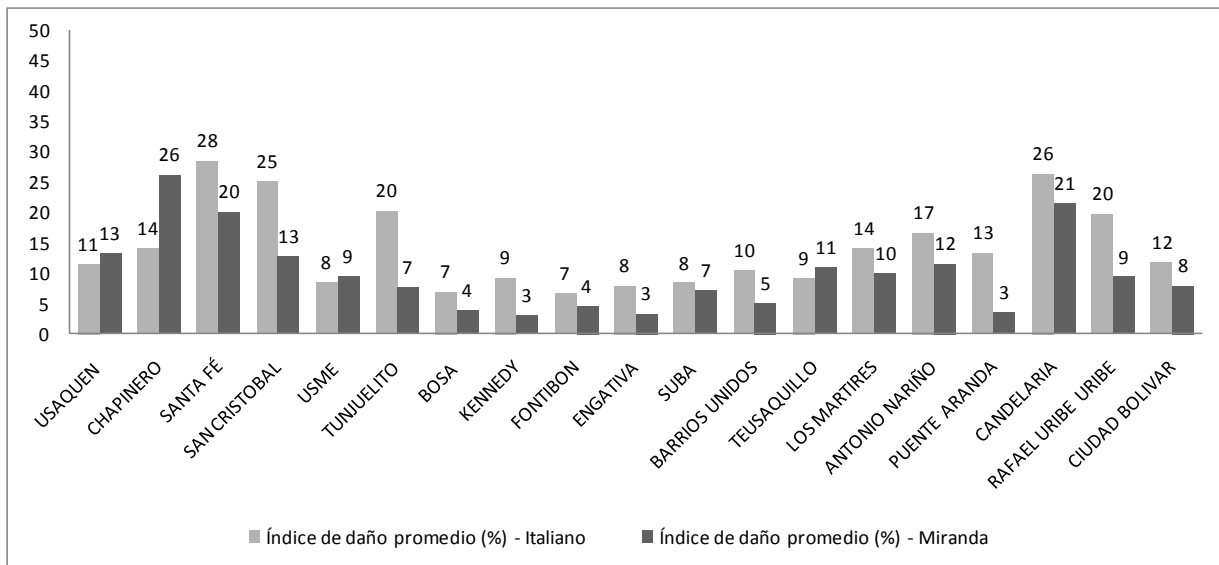


Figura 7.3. Índice de daño promedio por localidades para los métodos italiano y Miranda.

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).

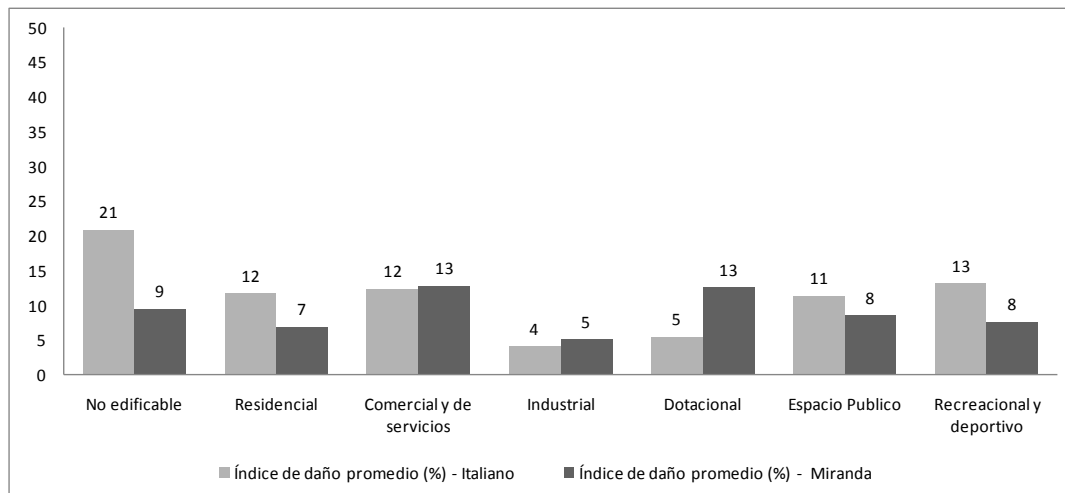


Figura 7.4. Índice de daño en edificaciones de acuerdo a su uso

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 iniciales 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 Bomberos de Bogotá	18	1,7	0,0	13,3	3,4	2,1	0,4	4,1	1,4
Secretaría 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
Policía 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	-
Secretaría 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
Ejército 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.

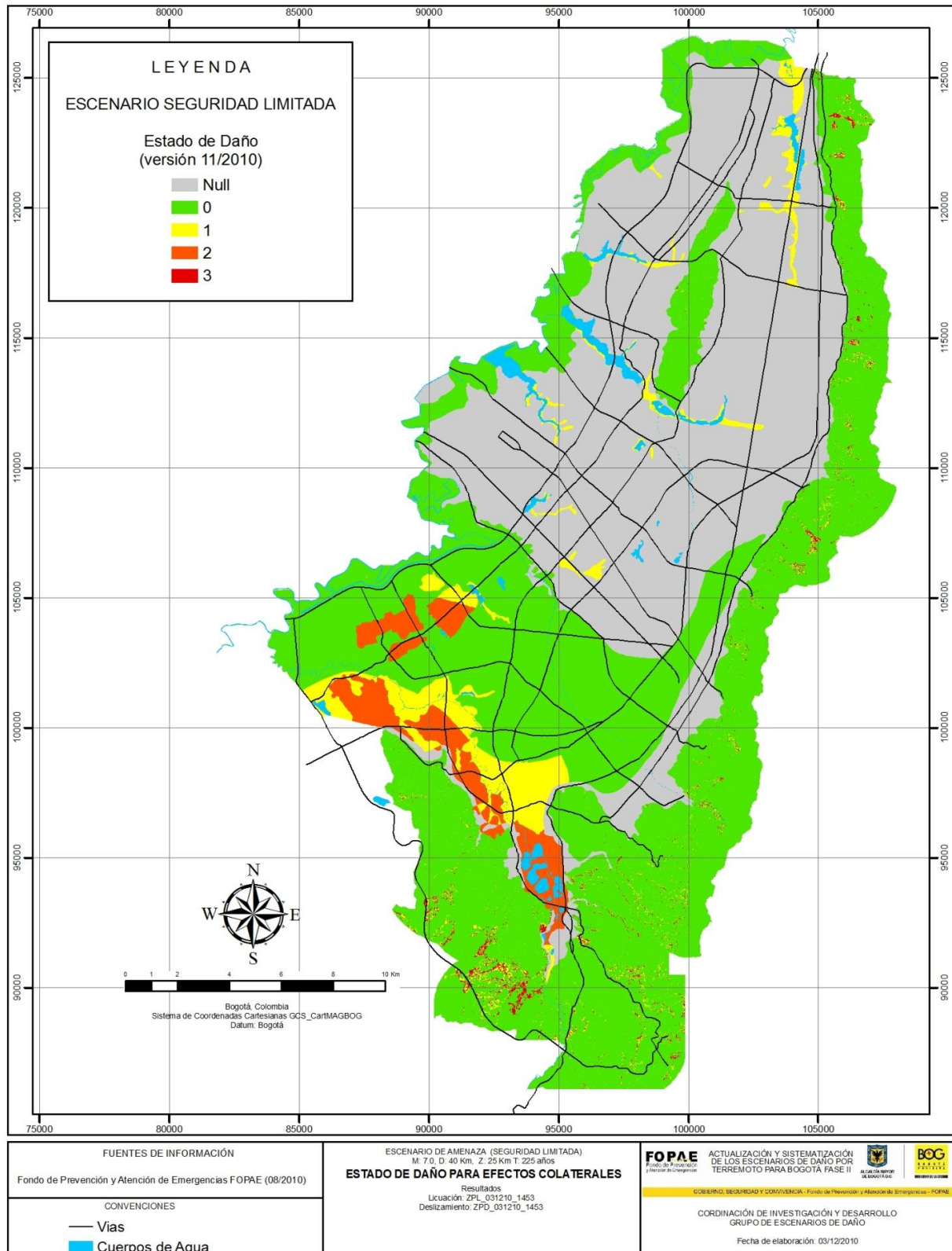


Figura 7.5. Estado de daño por licuación y deslizamiento

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.

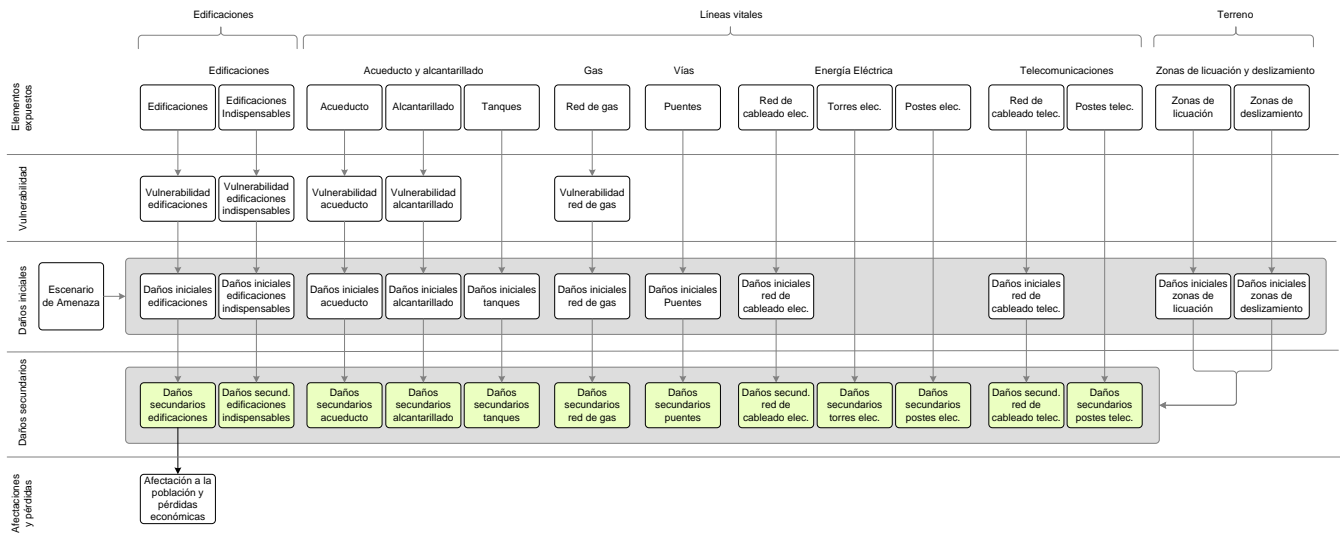


Figura 7.6. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños secundarios en edificaciones y líneas vitales)

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 iniciales 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**).

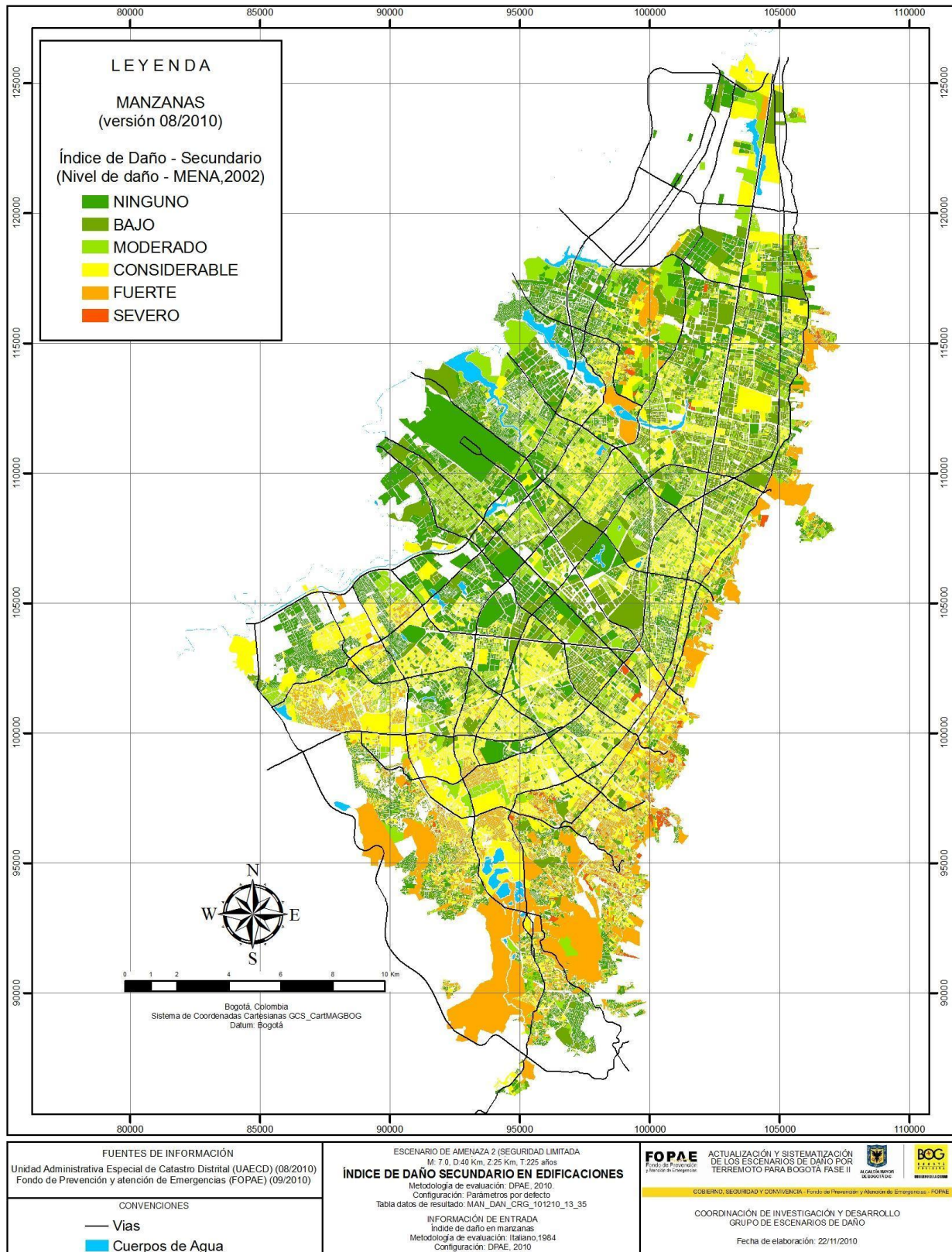


Figura 7.7. Índice de daño secundario en manzanas método italiano para escenario de seguridad limitada

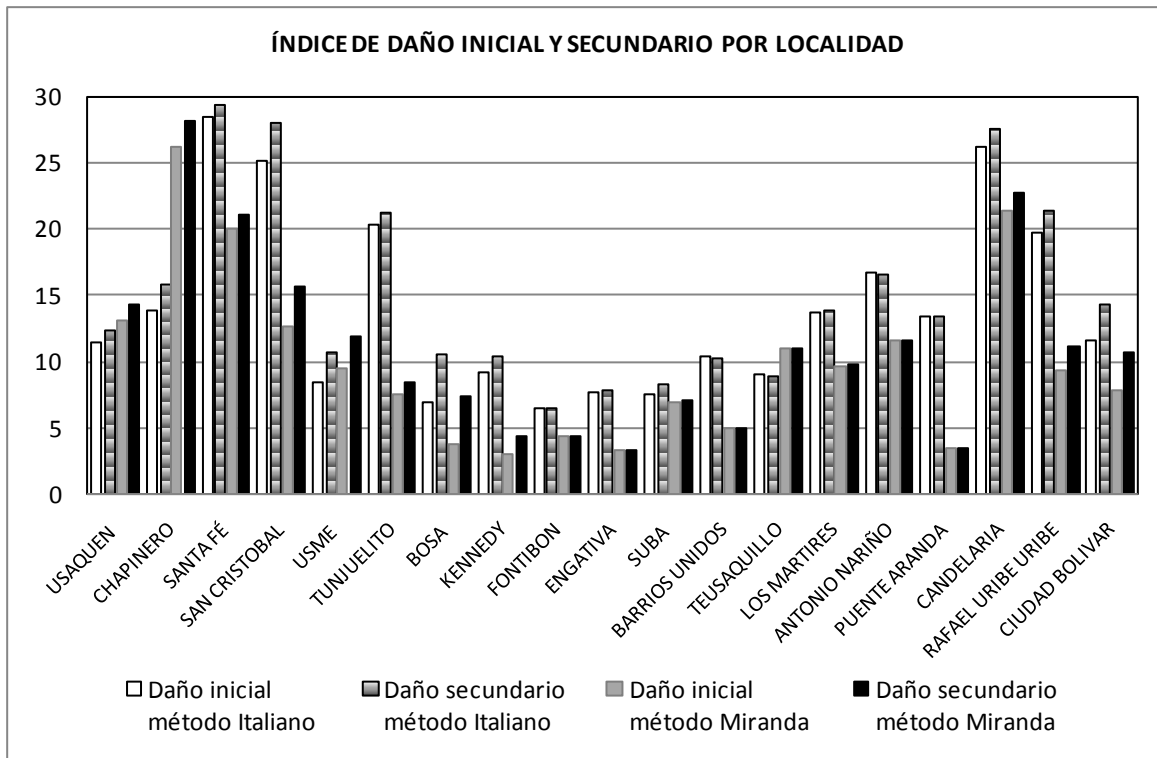


Figura 7.8. Comparación del índice de daño inicial y secundario por localidad

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 secretaria 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 Bomberos de Bogotá	18	1,9	0,0	13,3	3,4	5,6	0,4	39,0	11,0
Secretaría 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
Policía 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	-
Secretaría 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
Ejército 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 Eiding (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

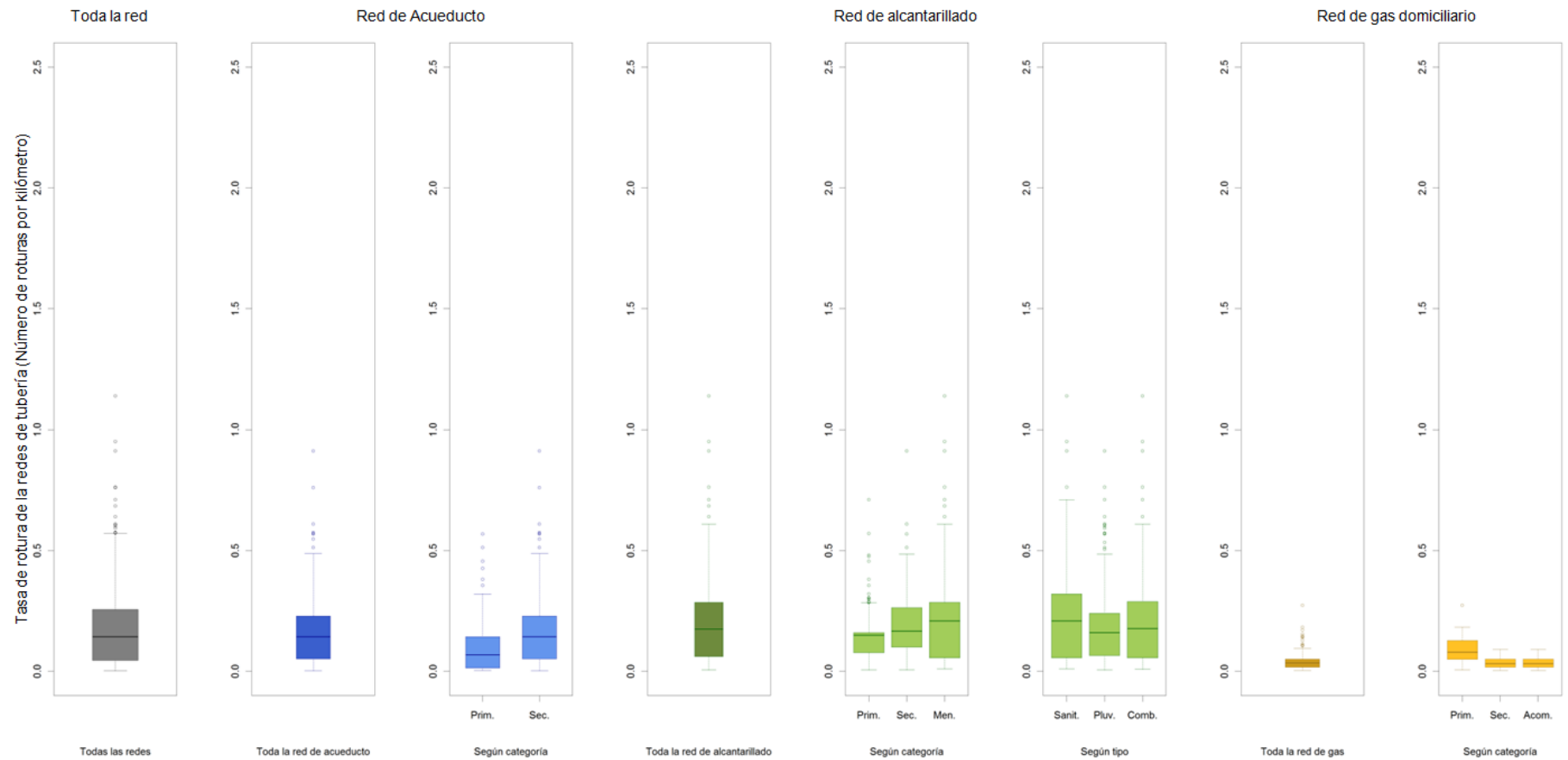


Figura 7.9. Resumen resultados de daño secundario de la red de tuberías

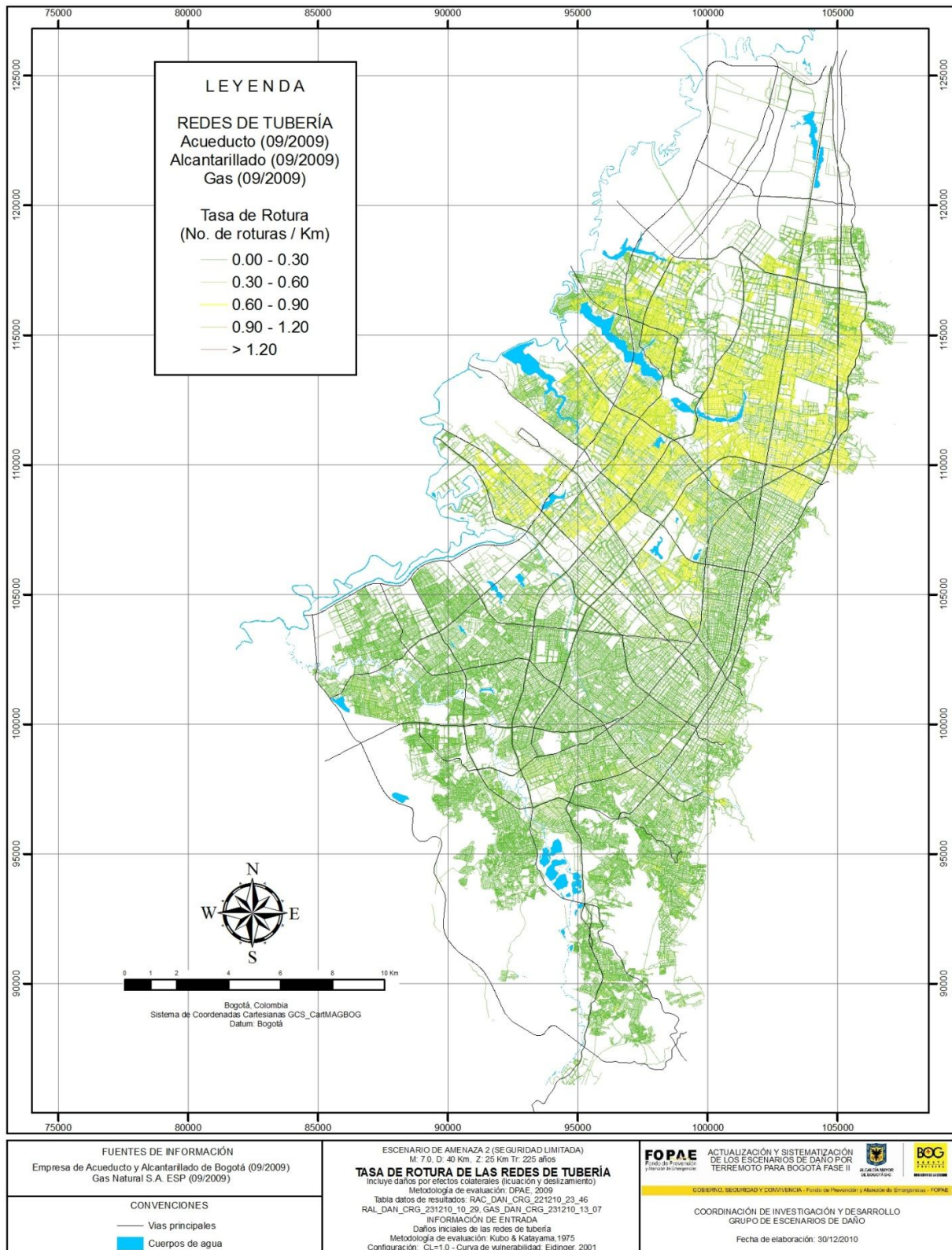


Figura 7.10. Mapa de resultados de daño secundario de la red de tuberías

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.

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

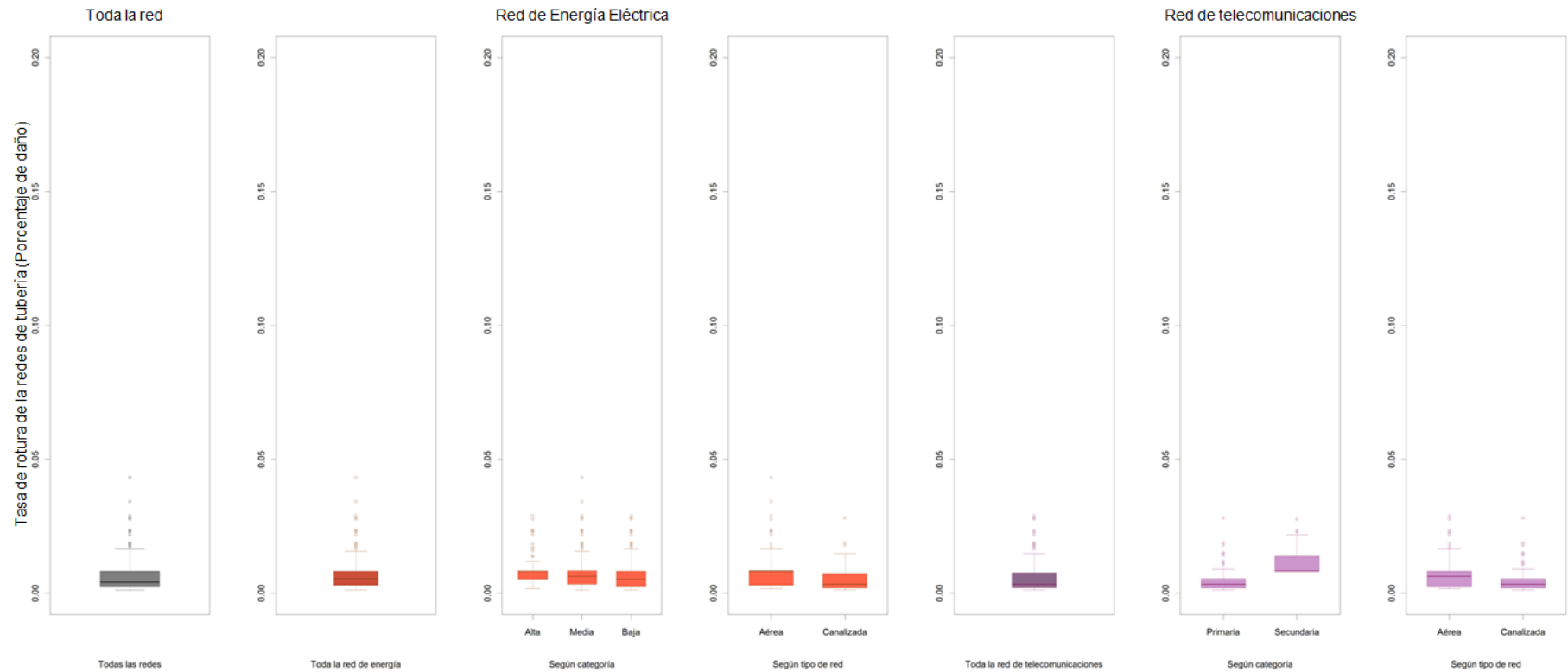


Figura 7.11. Resumen resultados de daño secundario de la red de cableado

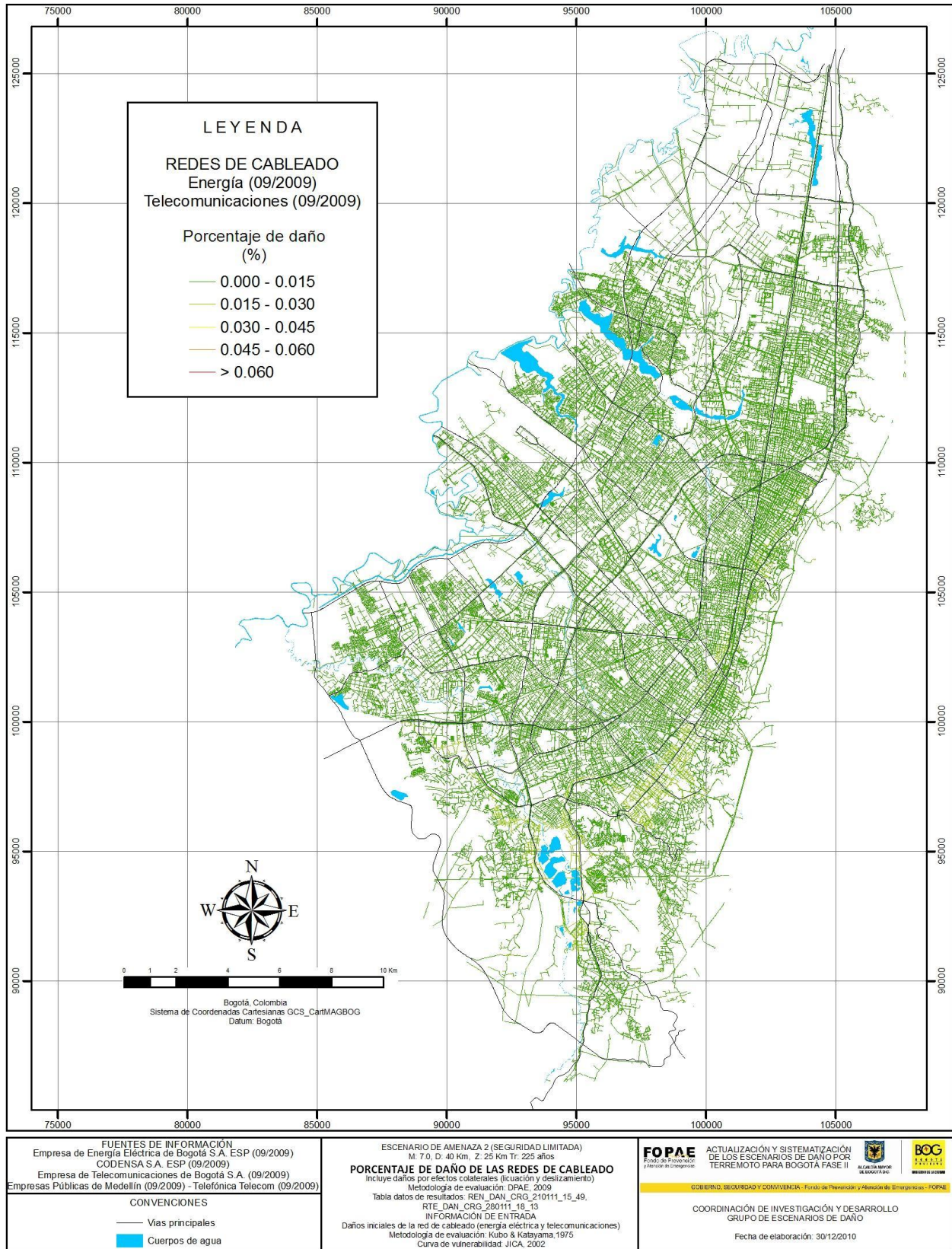


Figura 7.12. Mapa de resultados de daño secundario de la redes de cableado

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.

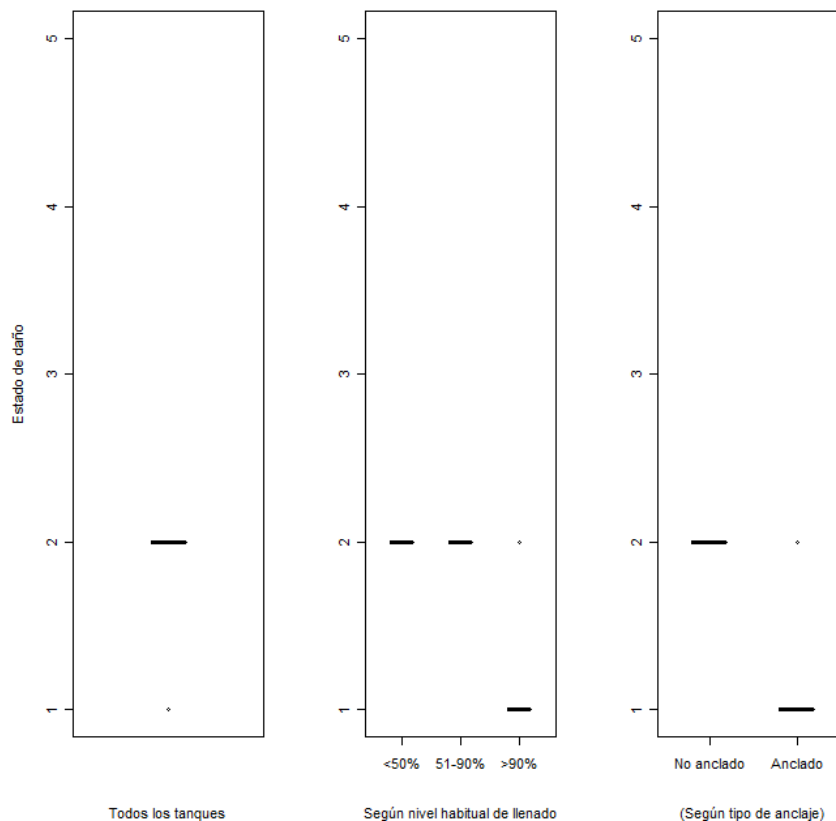


Figura 7.13. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los tanques de almacenamiento

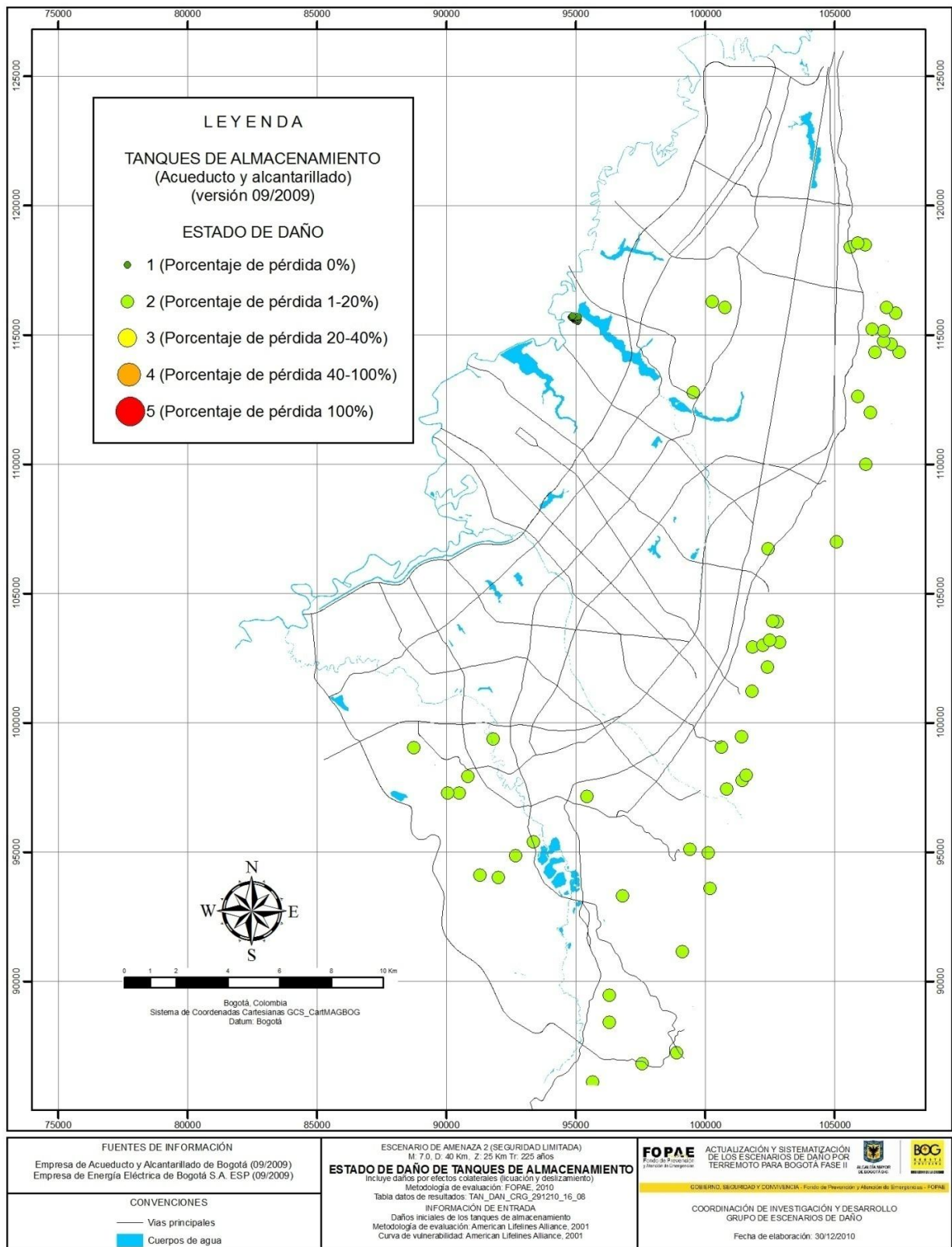


Figura 7.14. Mapa de resultados de daño secundario de los tanques de almacenamiento

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.

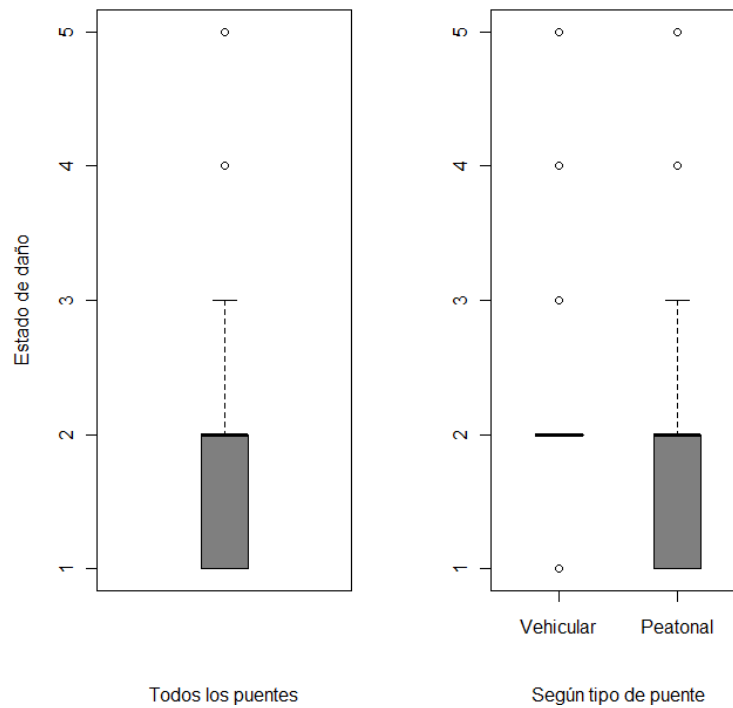


Figura 7.15. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los puentes vehiculares y peatonales

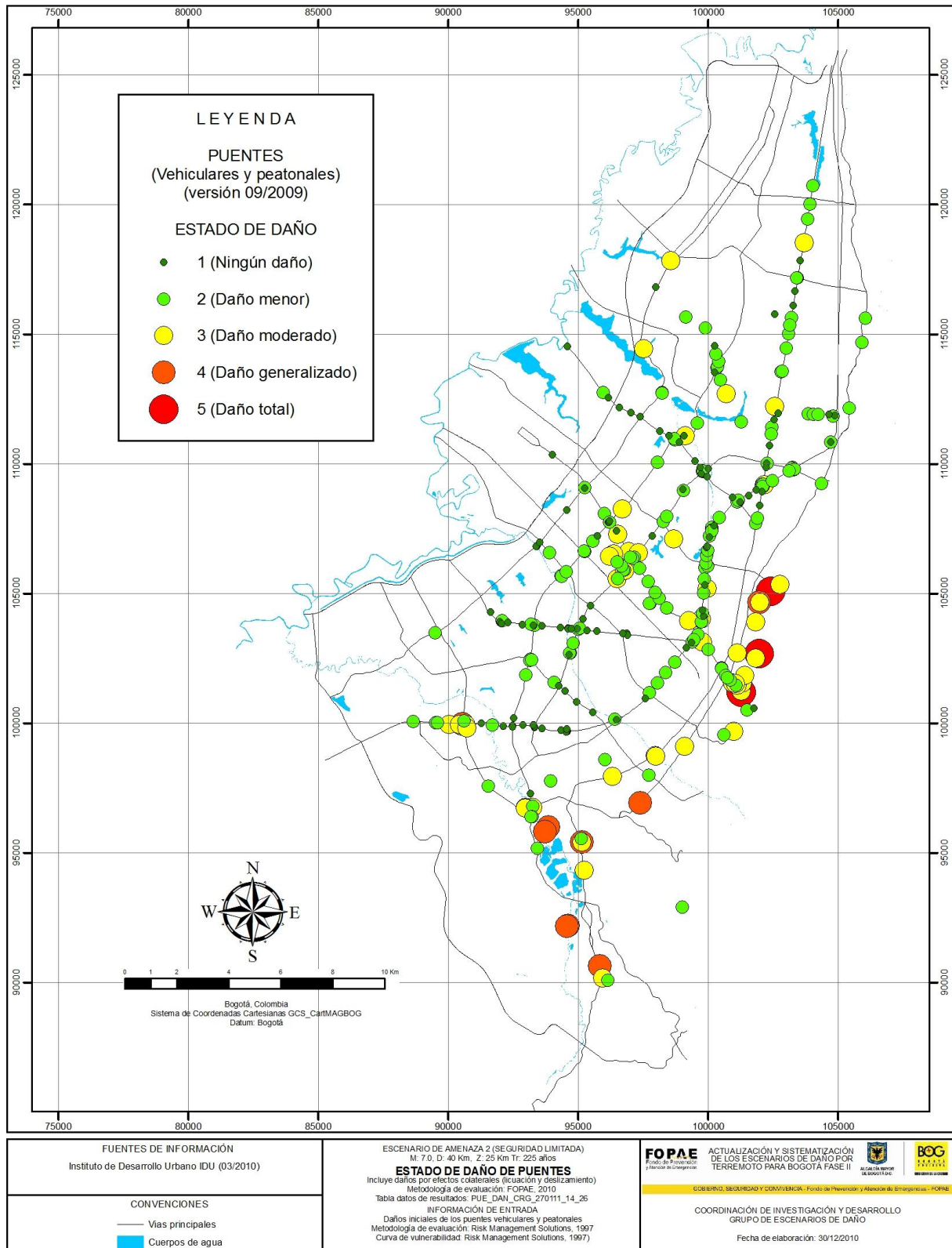


Figura 7.16. Mapa de resultados de daño secundario en puentes vehiculares y peatonales

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.

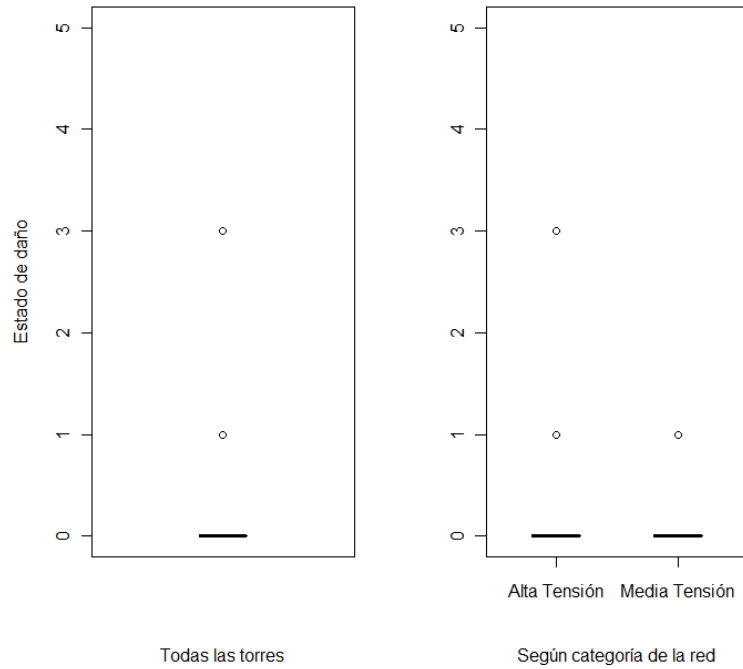


Figura 7.17. Resumen de resultados de estado de daño secundario de las torres de la red de energía eléctrica

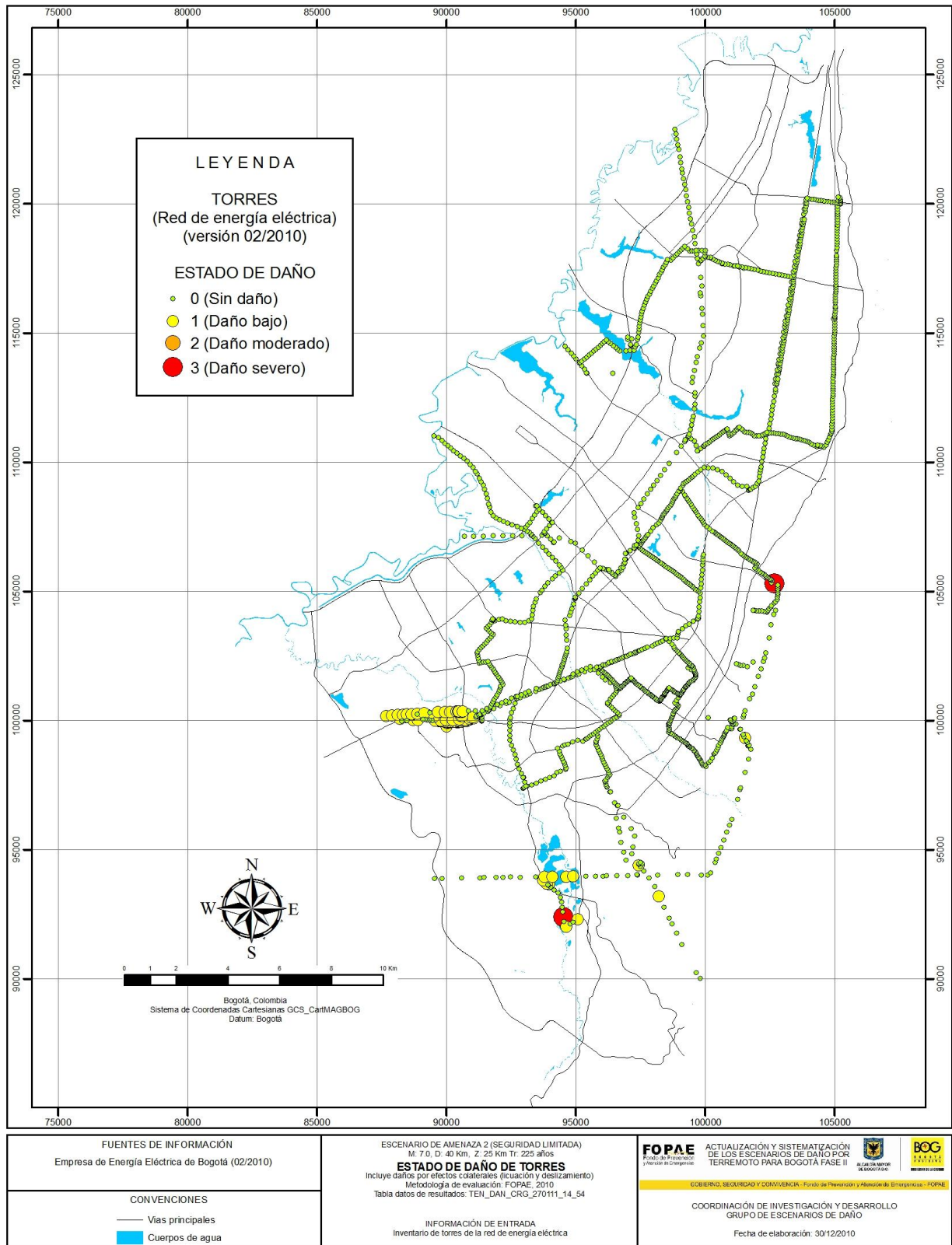


Figura 7.18. Mapa de resultados de daño secundario en torres de la red de energía eléctrica

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.

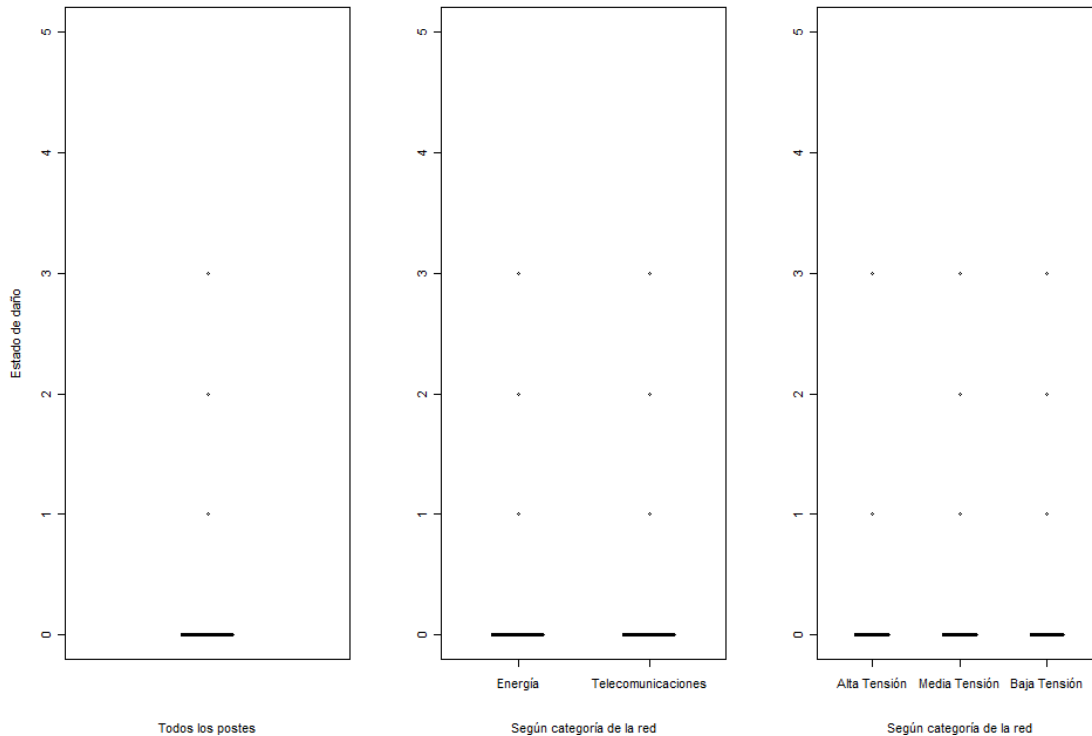


Figura 7.19. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los postes de la red de energía eléctrica y de telecomunicaciones

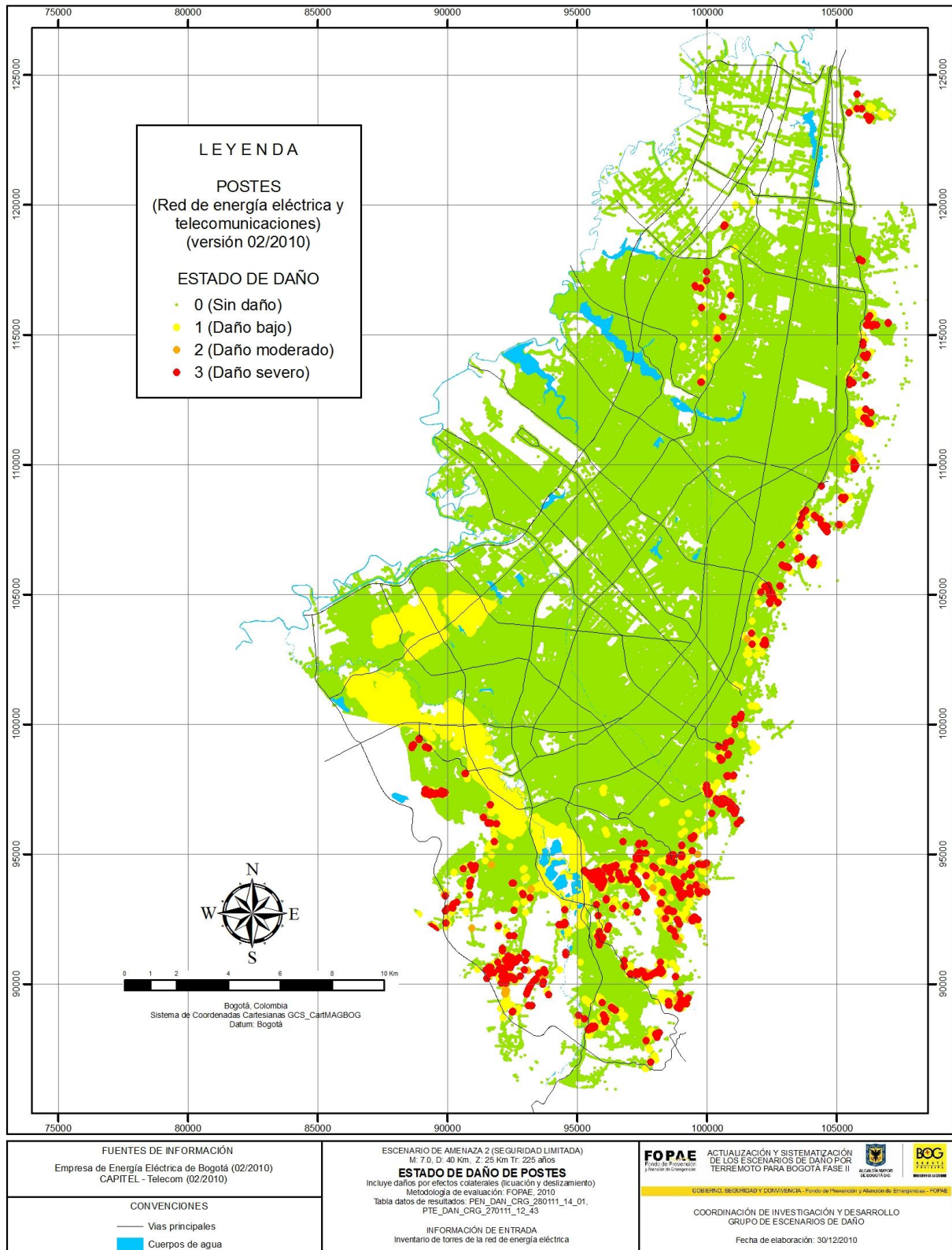


Figura 7.20. Mapa de resultados de daño secundario en los postes de la red de energía eléctrica y telecomunicaciones

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).

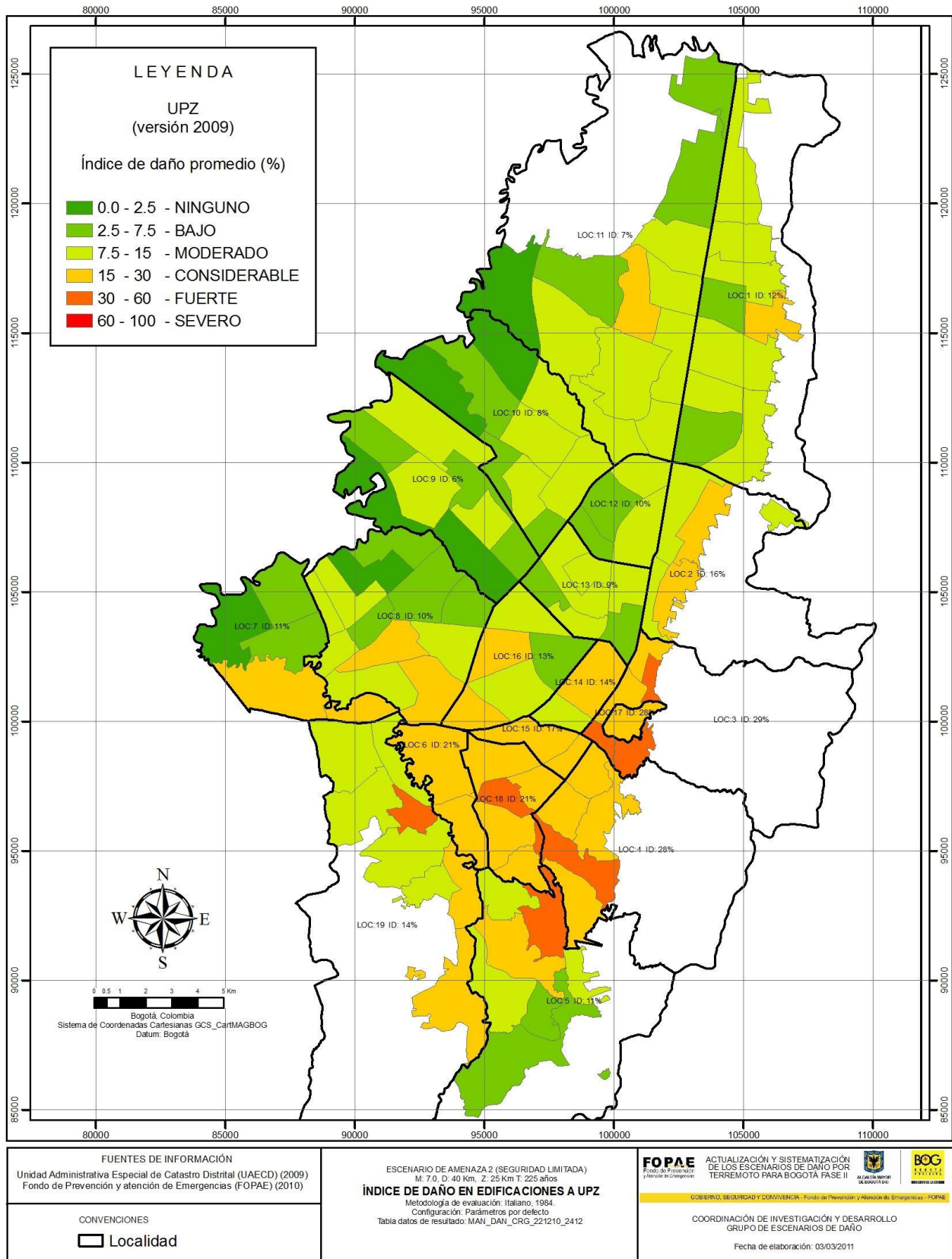


Figura 7.21. Índice de daño secundario promedio a Localidad y UPZ

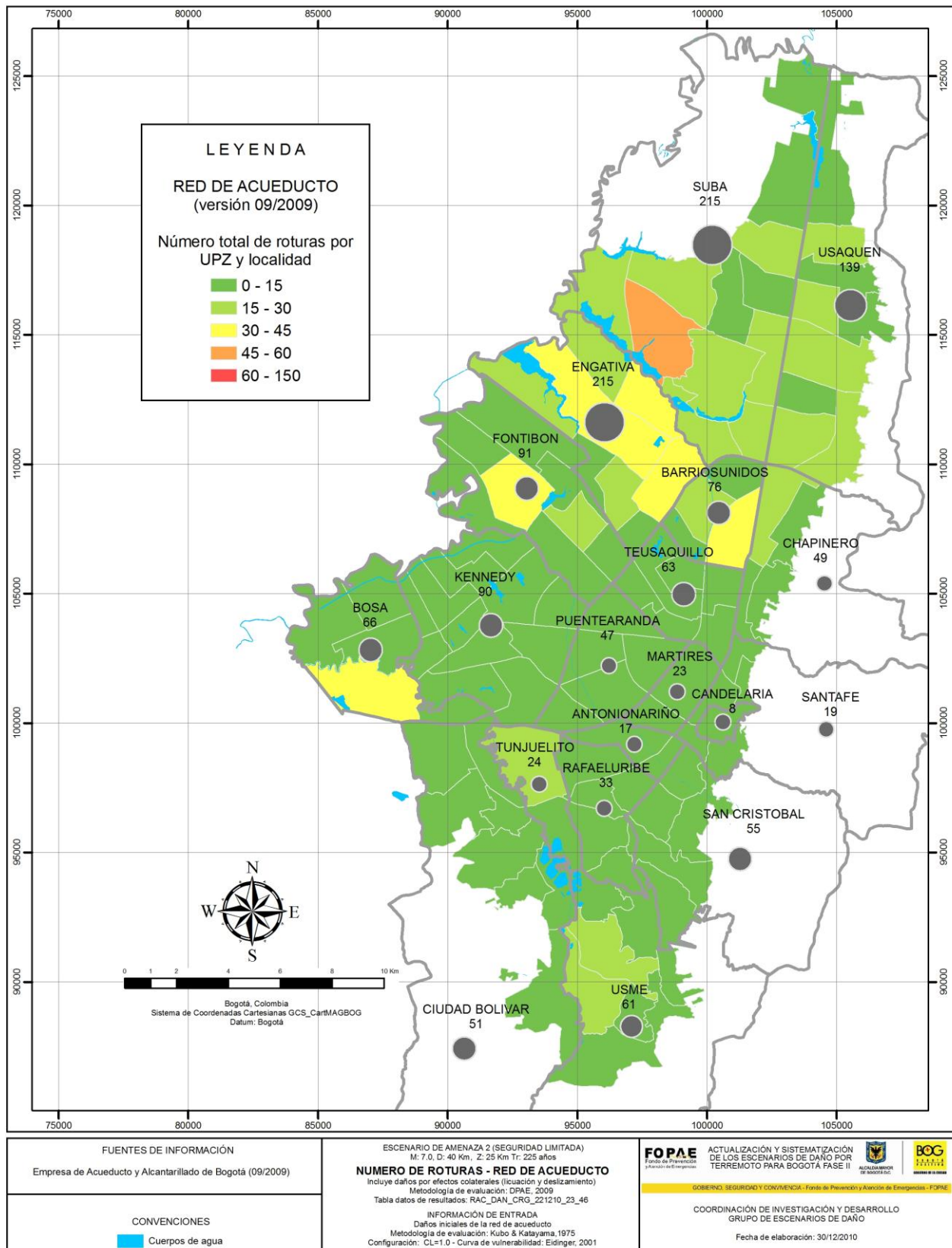


Figura 7.22. Mapa de resultados de daño secundario red de acueducto - Número total de roturas por UPZ y localidad

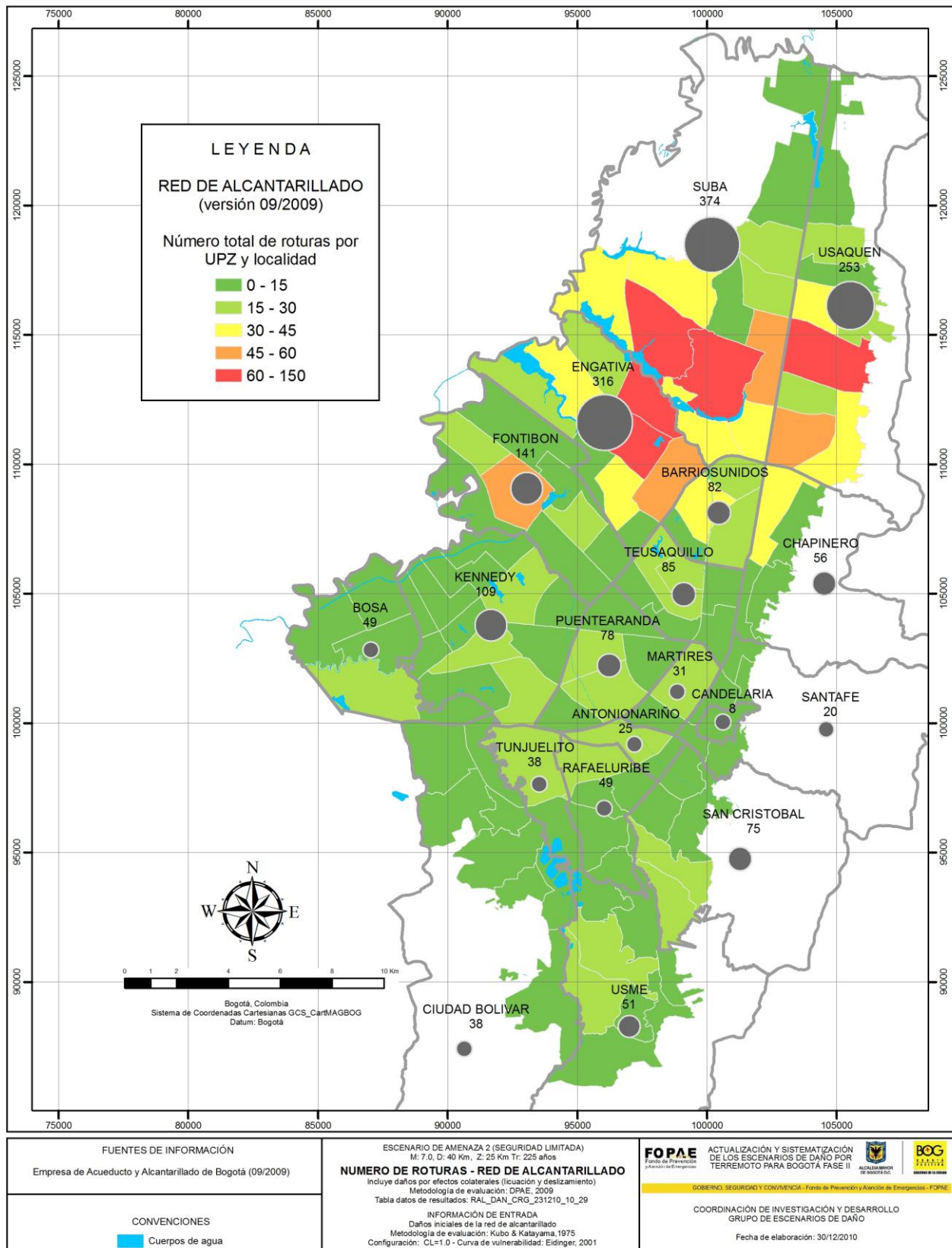


Figura 7.23. Mapa de resultados de daño secundario red de alcantarillado - Número total de roturas por UPZ y localidad

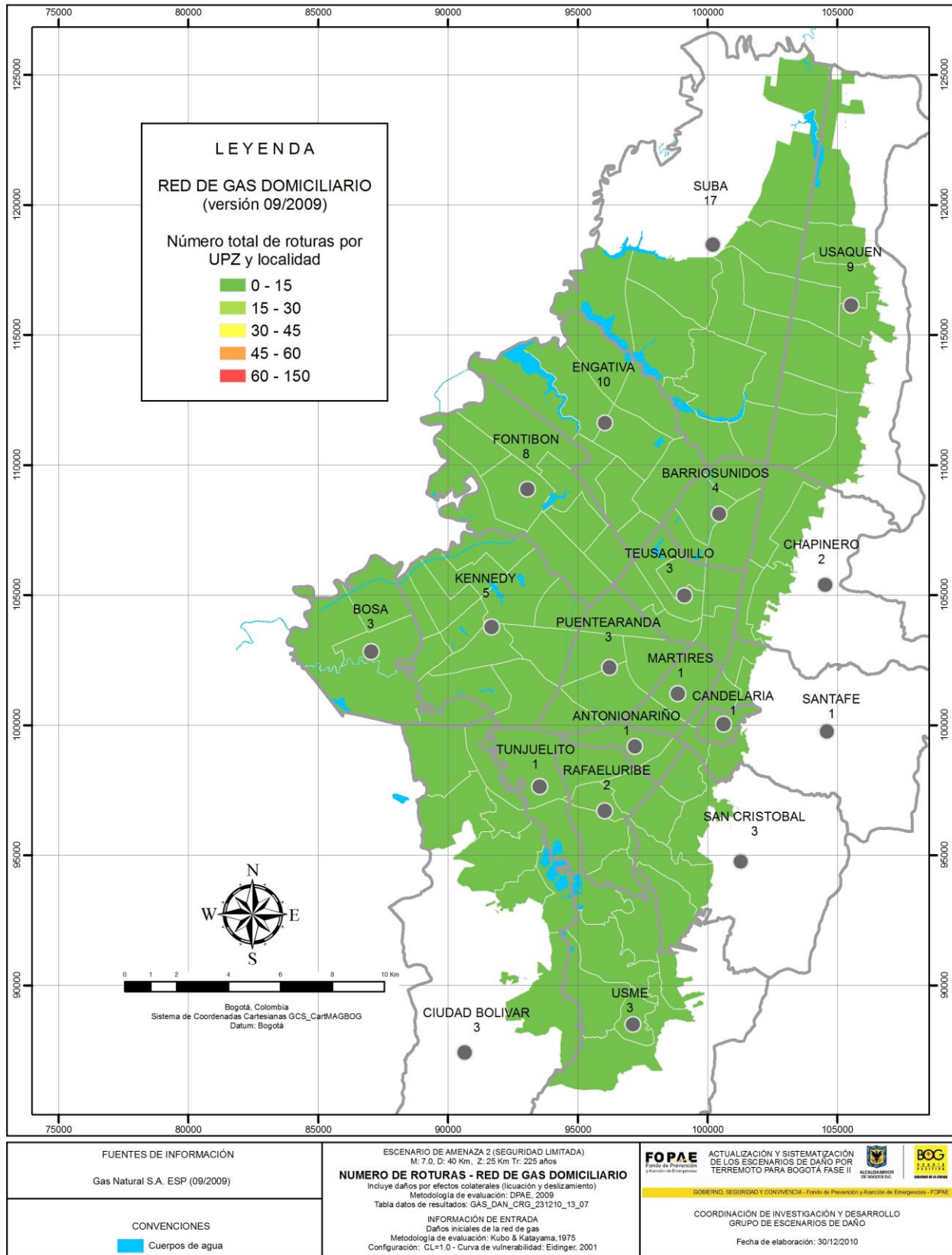


Figura 7.24. Mapa de resultados de daño secundario red de gas - Número total de roturas por UPZ y localidad

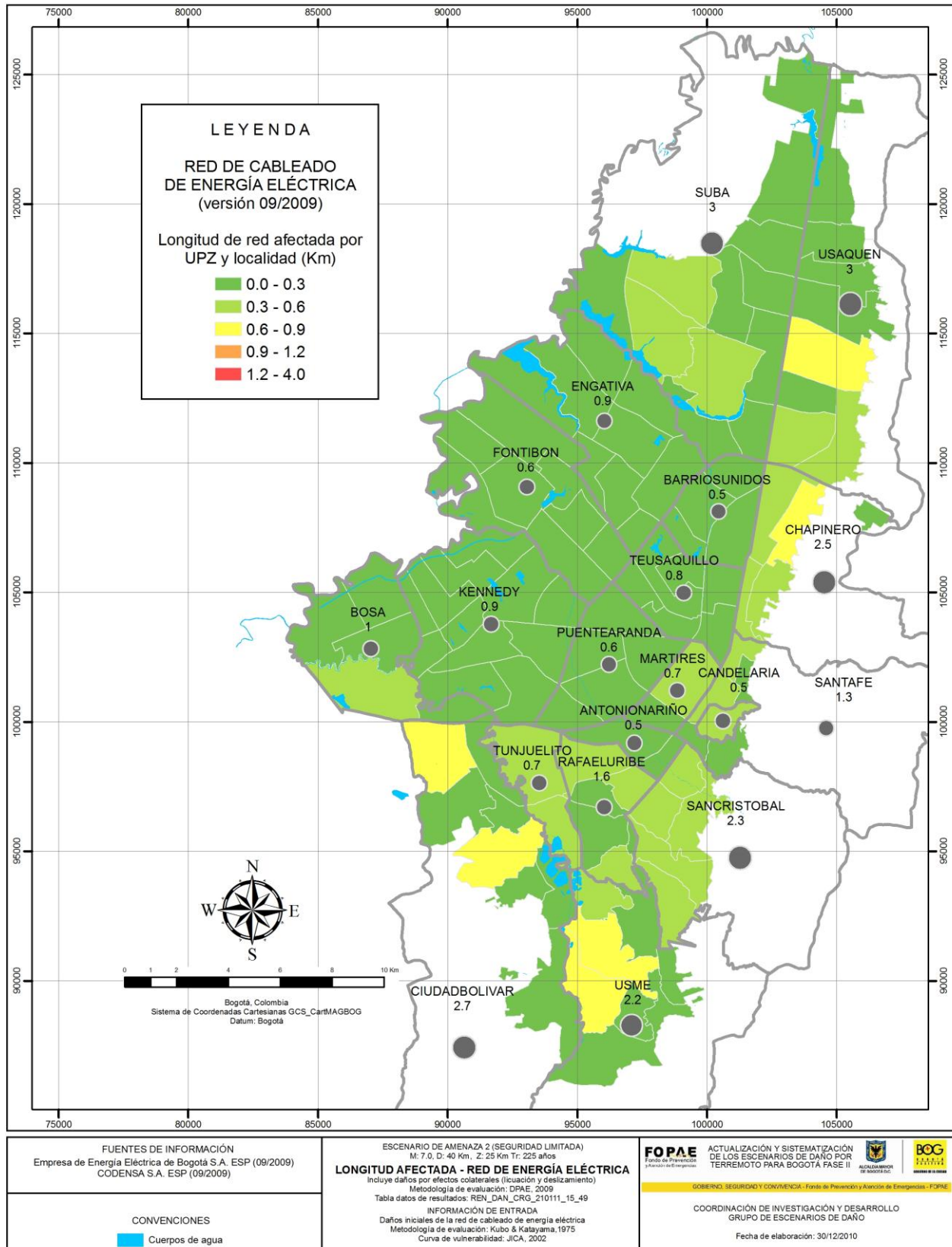


Figura 7.25. Mapa de resultados de daño secundario red de energía eléctrica - Longitud afectada por UPZ y localidad

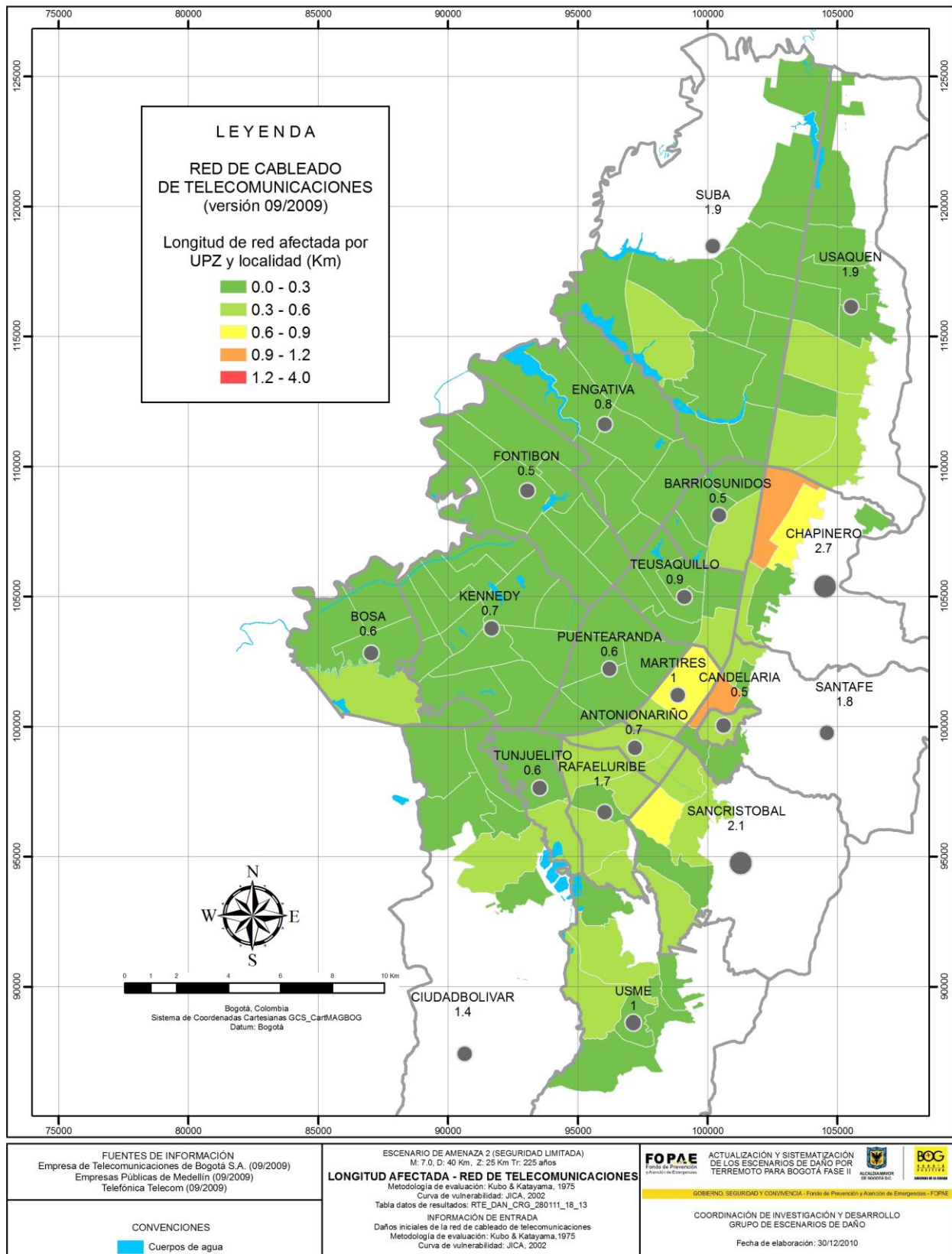


Figura 7.26. Mapa de resultados de daño secundario red de telecomunicaciones - Longitud afectada por UPZ y localidad

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 serían, 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.

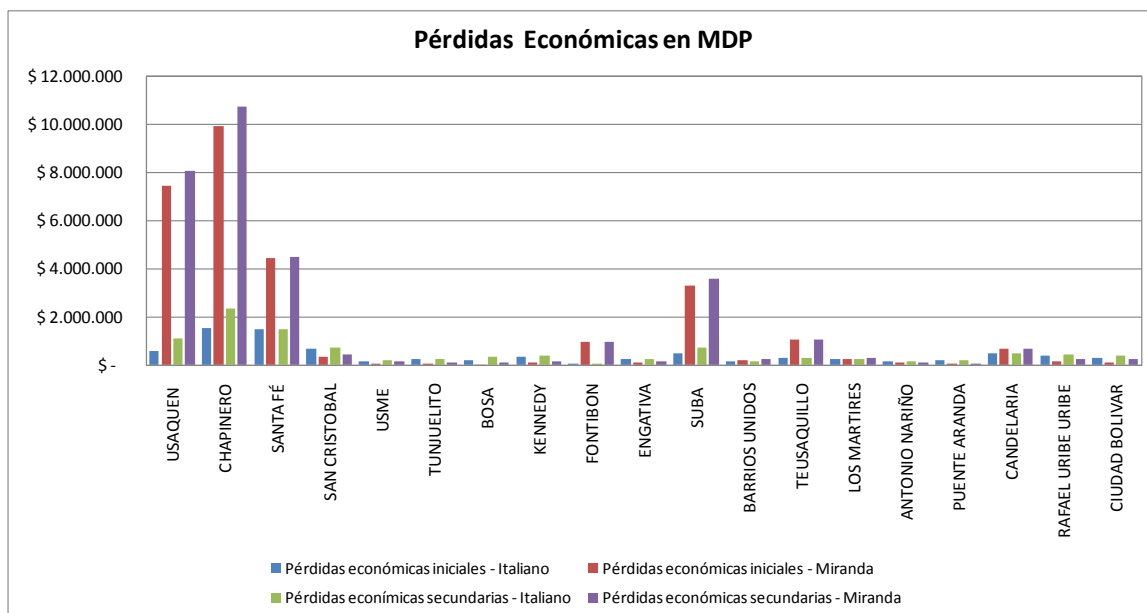


Figura 7.27. Pérdidas económicas en MDP

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 iniciales 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**)

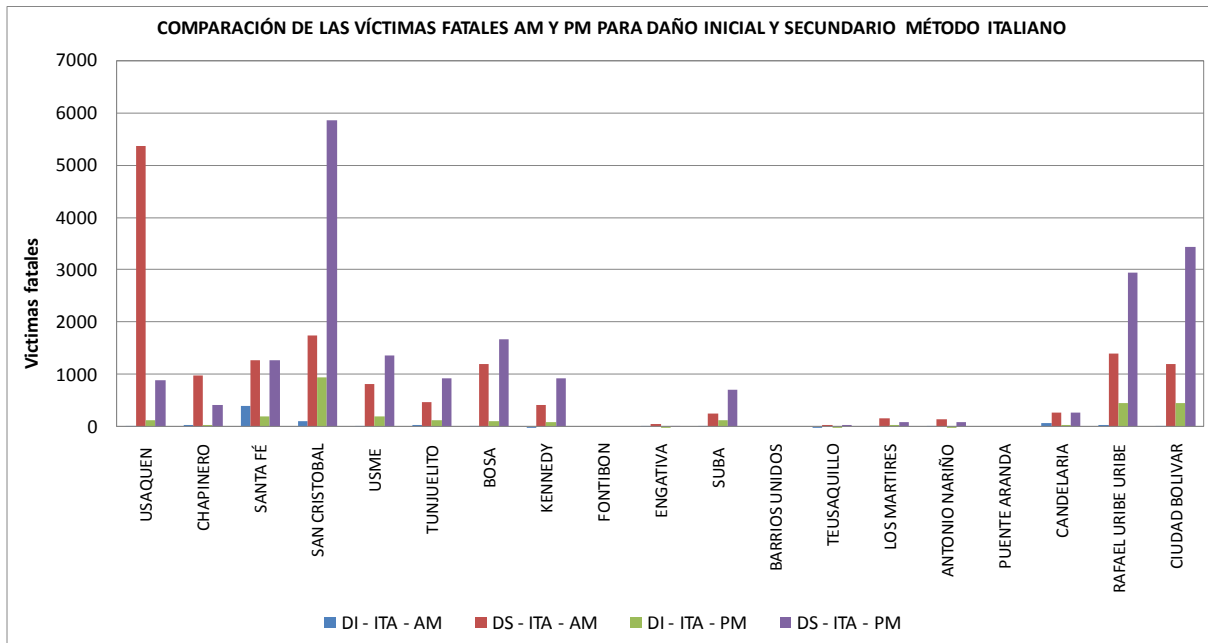


Figura 7.28. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Italiano

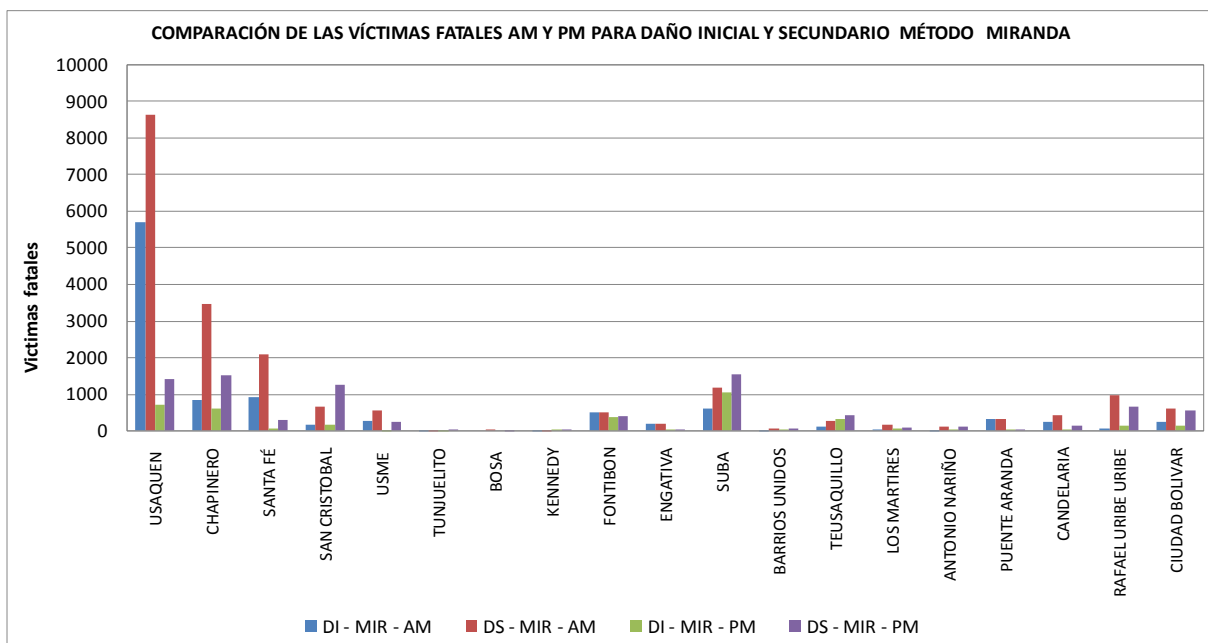
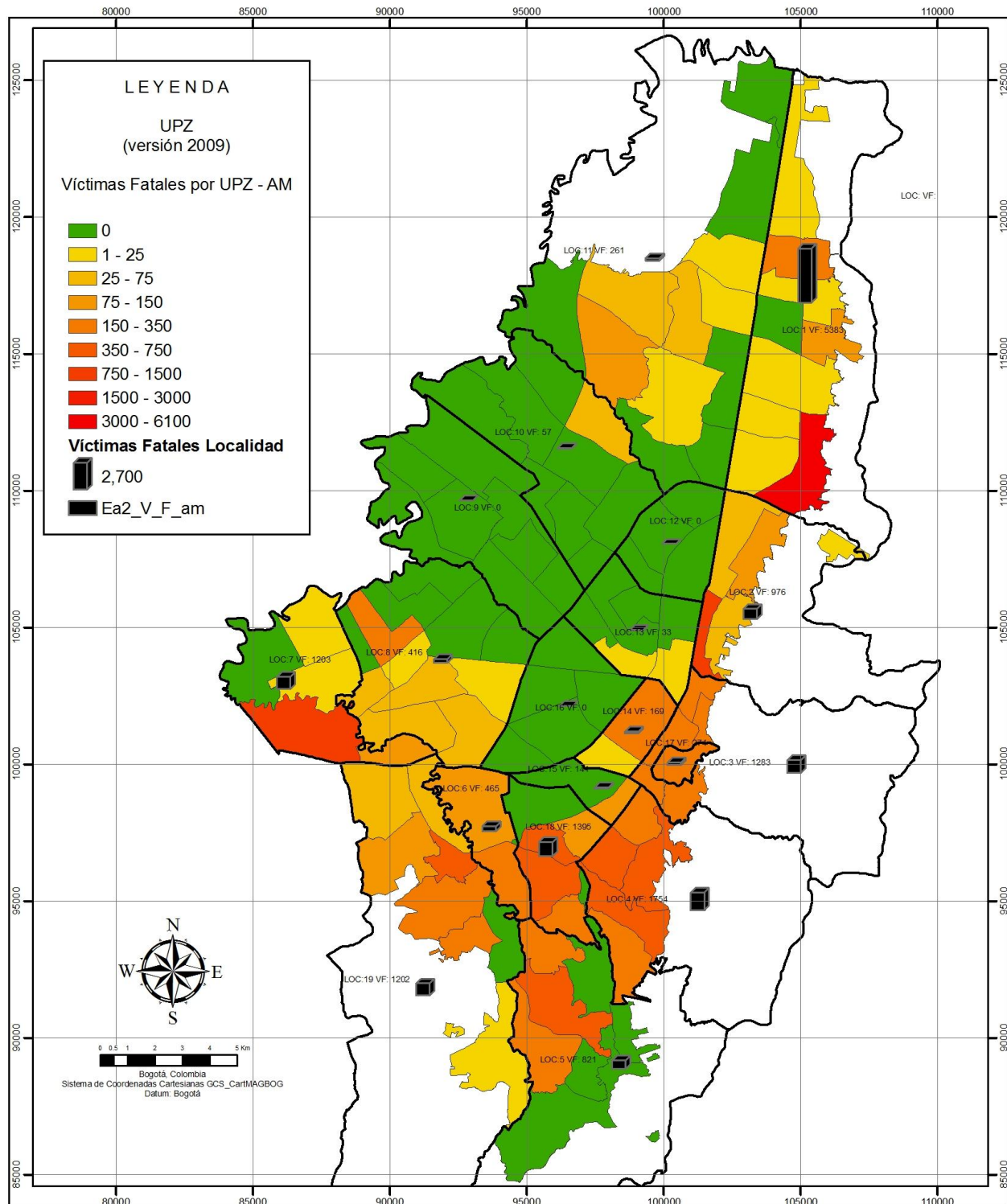


Figura 7.29. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Miranda



LEYENDA

UPZ (versión 2009)

Víctimas Fatales por UPZ - AM

- 0
- 1 - 25
- 25 - 75
- 75 - 150
- 150 - 350
- 350 - 750
- 750 - 1500
- 1500 - 3000
- 3000 - 6100

Víctimas Fatales Localidad

- 2,700
- Ea2_V_F_am

Compass rose and scale bar (0-5 Km).
Bogotá, Colombia
Sistema de Coordenadas Cartesianas GCS_CartMAGBOG
Datum: Bogotá

FUENTES DE INFORMACIÓN
Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital (UAECD) (2009)
Fondo de Prevención y atención de Emergencias (FOPAE) (2010)

Convenciones
Localidad

ESCUENARIO DE AMENAZA 2 (SEGURIDAD LIMITADA)
M. 7.0, D: 40 Km, Z: 25 Km T: 225 años

DAÑOS AFECTACIONES Y PÉRDIDAS
Metodología de evaluación: Corbin y Spence, 1992.
Configuración: Parámetros por defecto
Tabla datos de resultado: MAN_AYP_221210_143

FOPAE ACTUALIZACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE DAÑO POR TERREMOTO PARA BOGOTÁ FASE II

GOBIERNO, SEGURIDAD Y CONVIVENCIA - Fondo de Prevención y Atención de Emergencias - FOPAE

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO GRUPO DE ESCENARIOS DE DAÑO

Fecha de elaboración: 18/04/2011

Figura 7.30. Víctimas fatales en el día

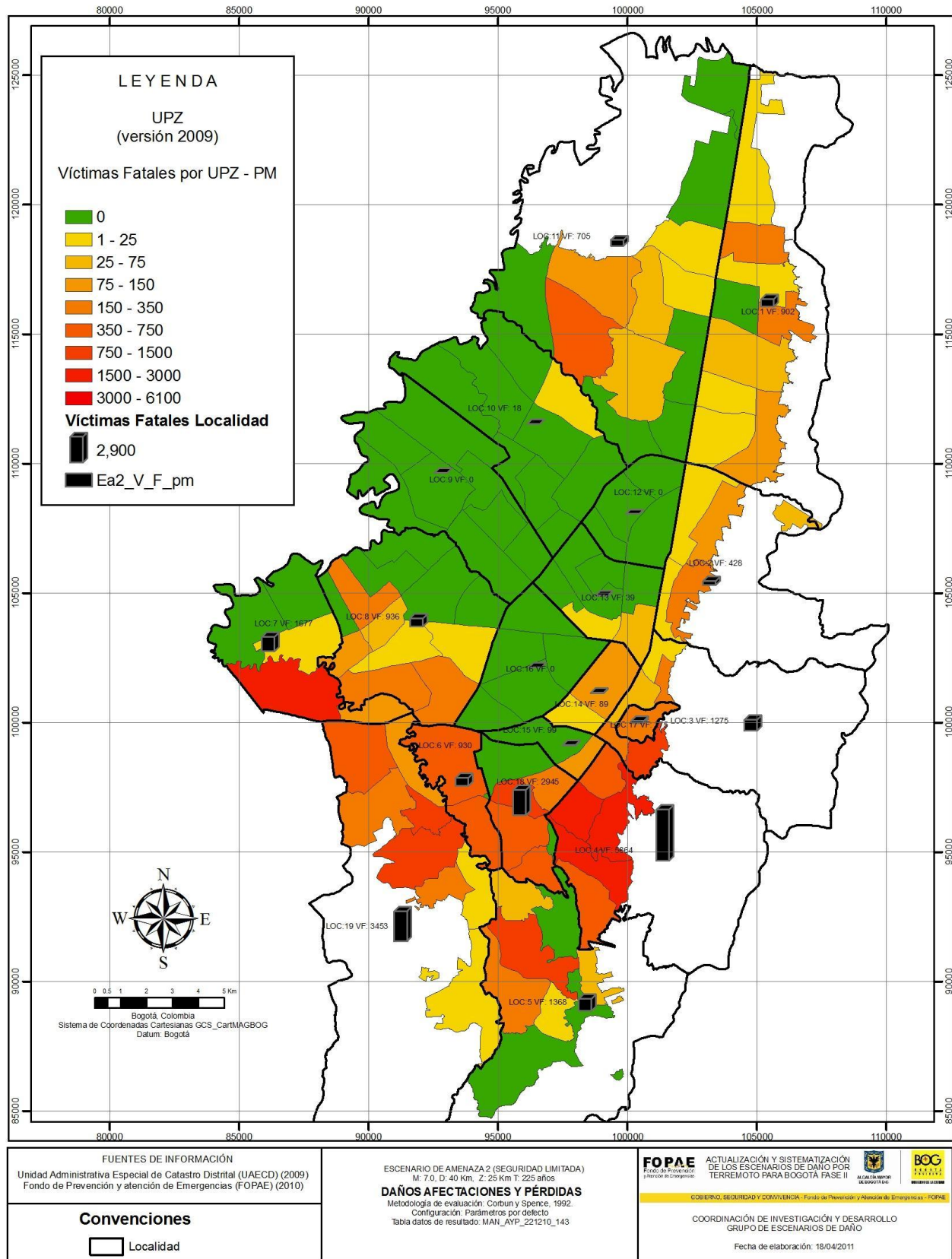


Figura 7.31. Víctimas fatales en la noche

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.

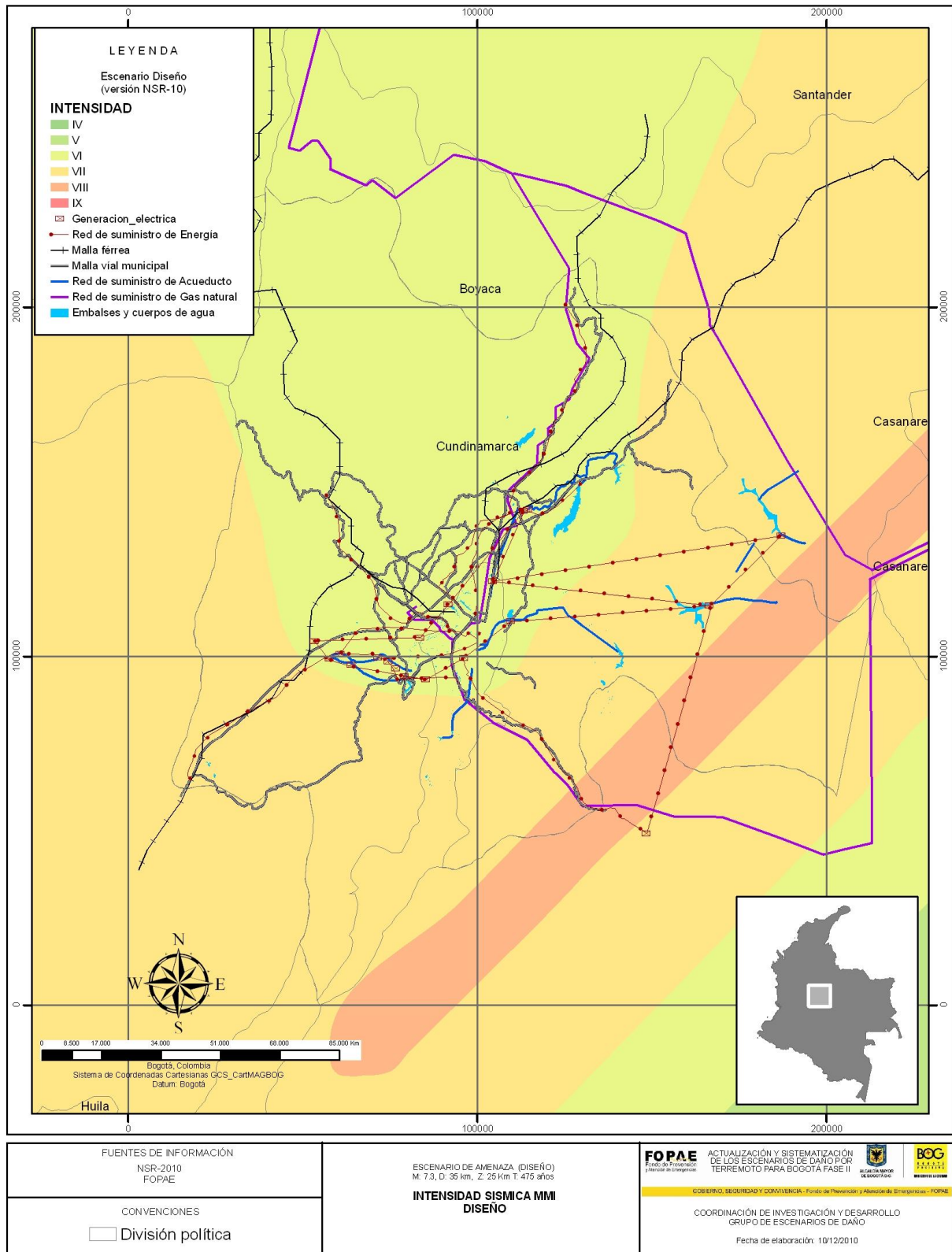


Figura 8.1. Intensidad sísmica para el escenario de Diseño

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”.

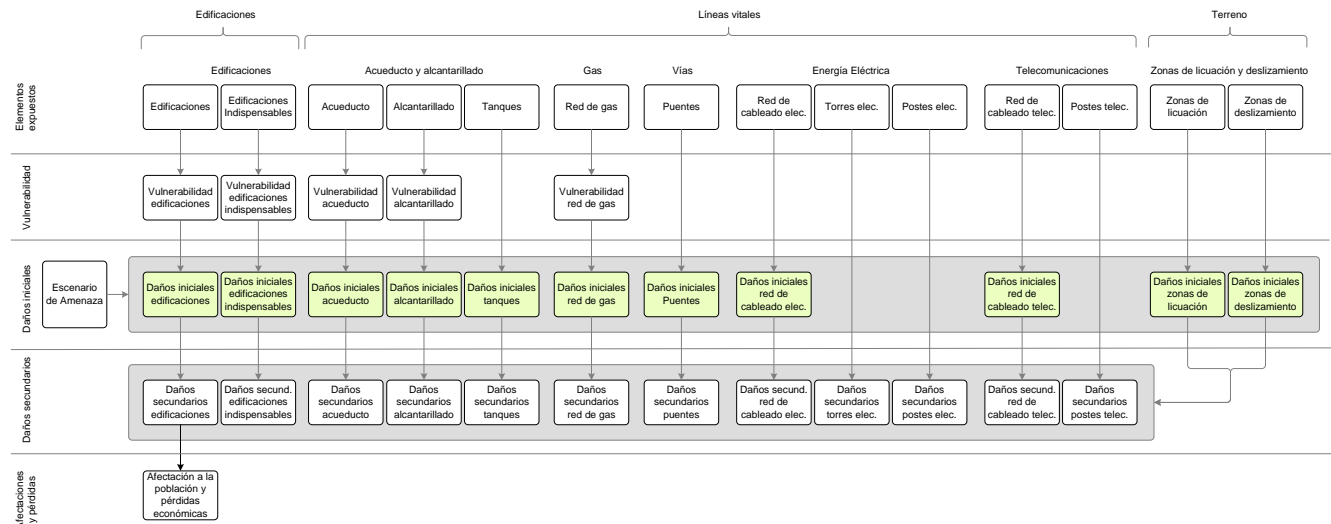


Figura 8.2. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños iniciales en edificaciones y líneas vitales)

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.

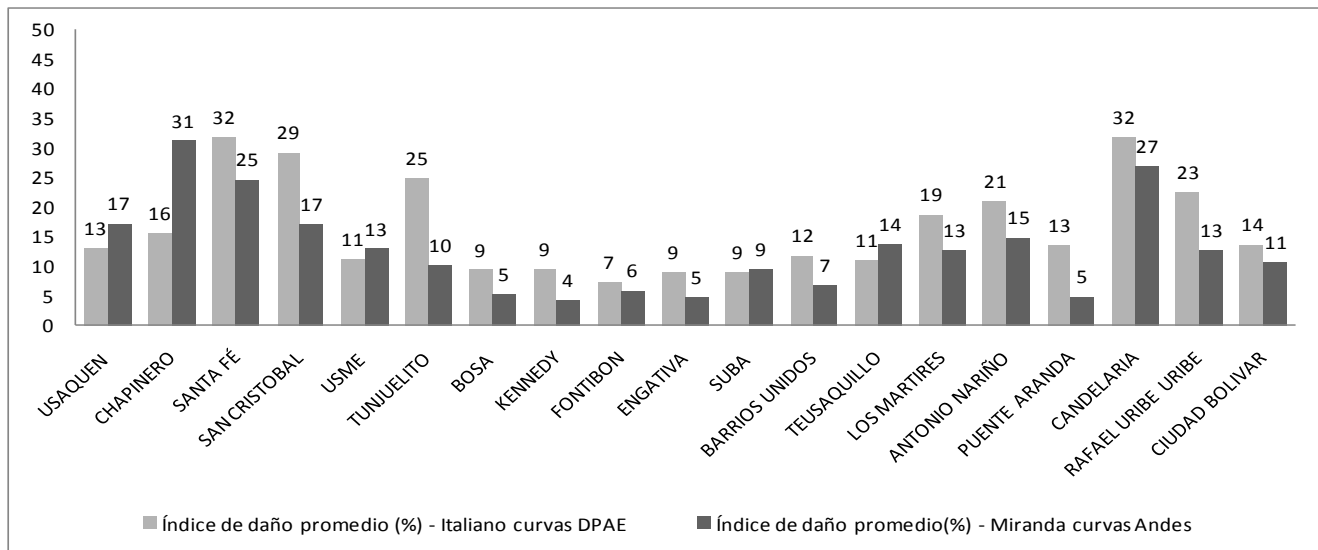


Figura 8.3. Índice de daño promedio por localidades para los métodos italiano y Miranda.

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**).

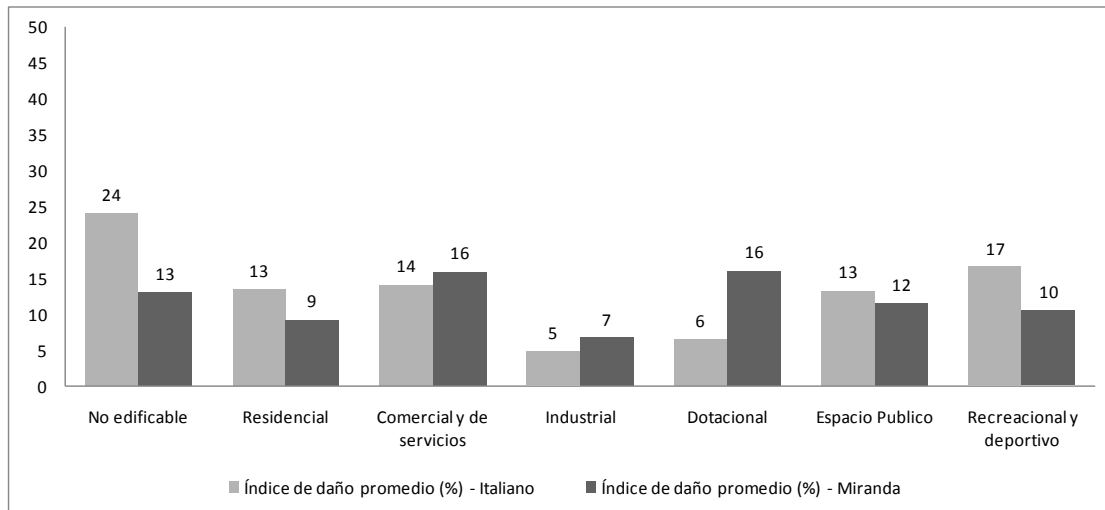


Figura 8.4. Índice de daño en edificaciones de acuerdo a su uso

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 iniciales 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 Bomberos de Bogotá	18	2,4	0,0	19,4	4,8	2,4	0,4	5,3	1,6
Secretaría 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
Policía 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	-
Secretaría 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
Ejército 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.

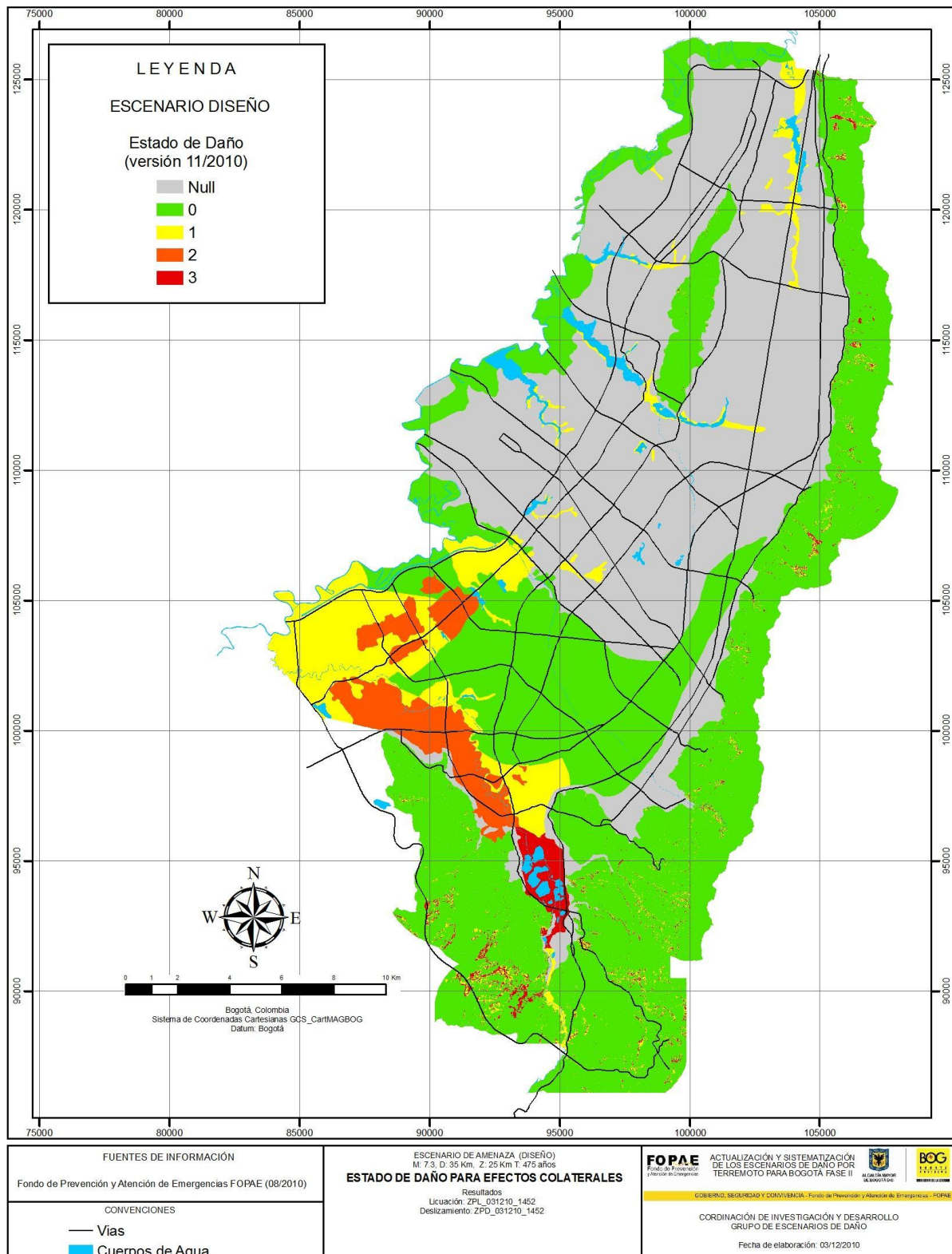


Figura 8.5. Estado de daño por licuación y deslizamiento

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.

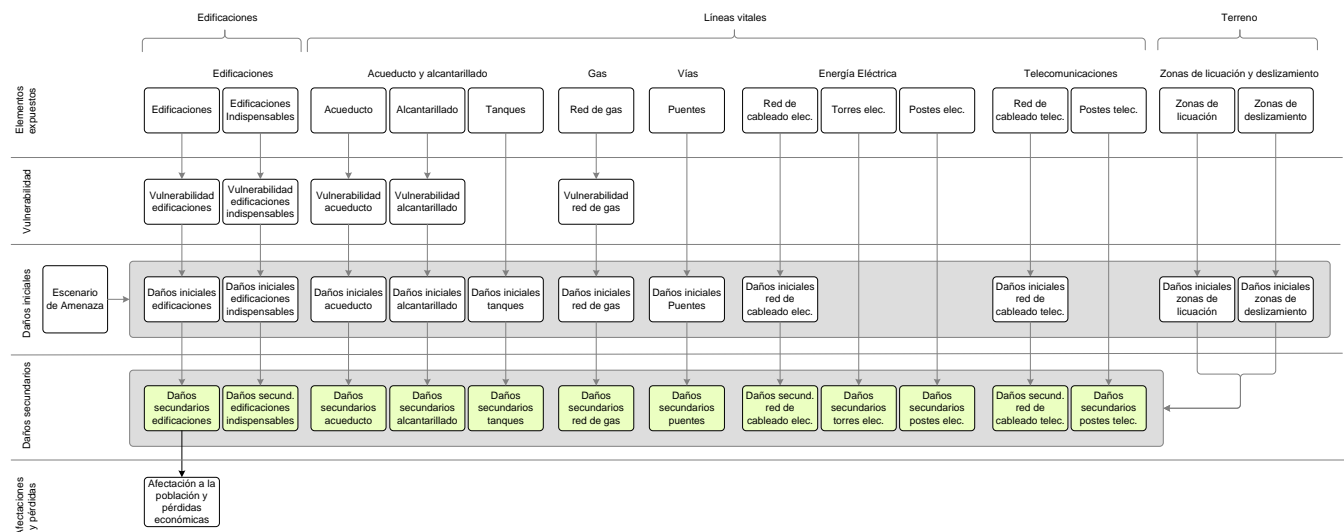


Figura 8.6. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños secundarios en edificaciones y líneas vitales)

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 iniciales 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**).

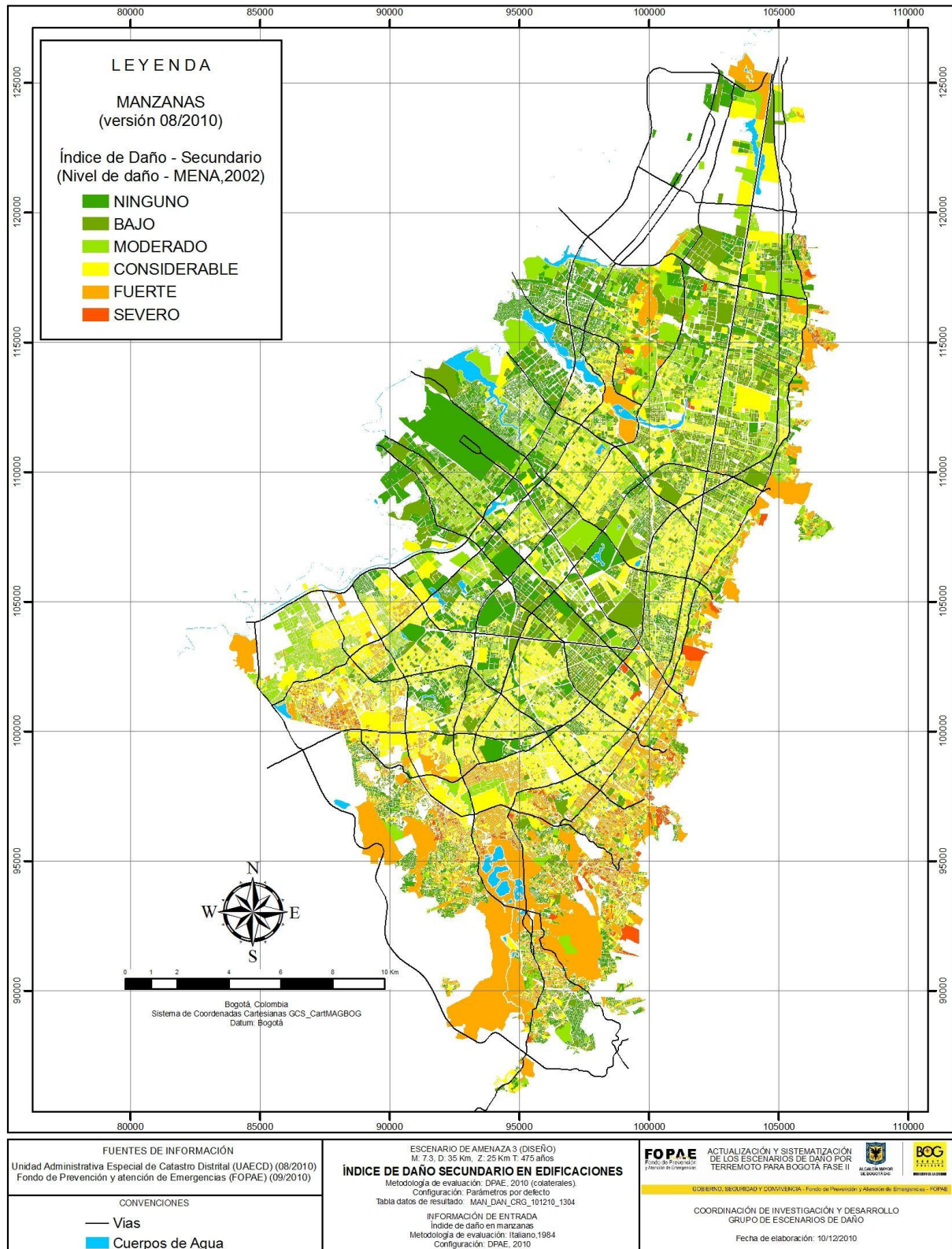


Figura 8.7. Índice de daño secundario en manzanas método italiano para escenario de diseño

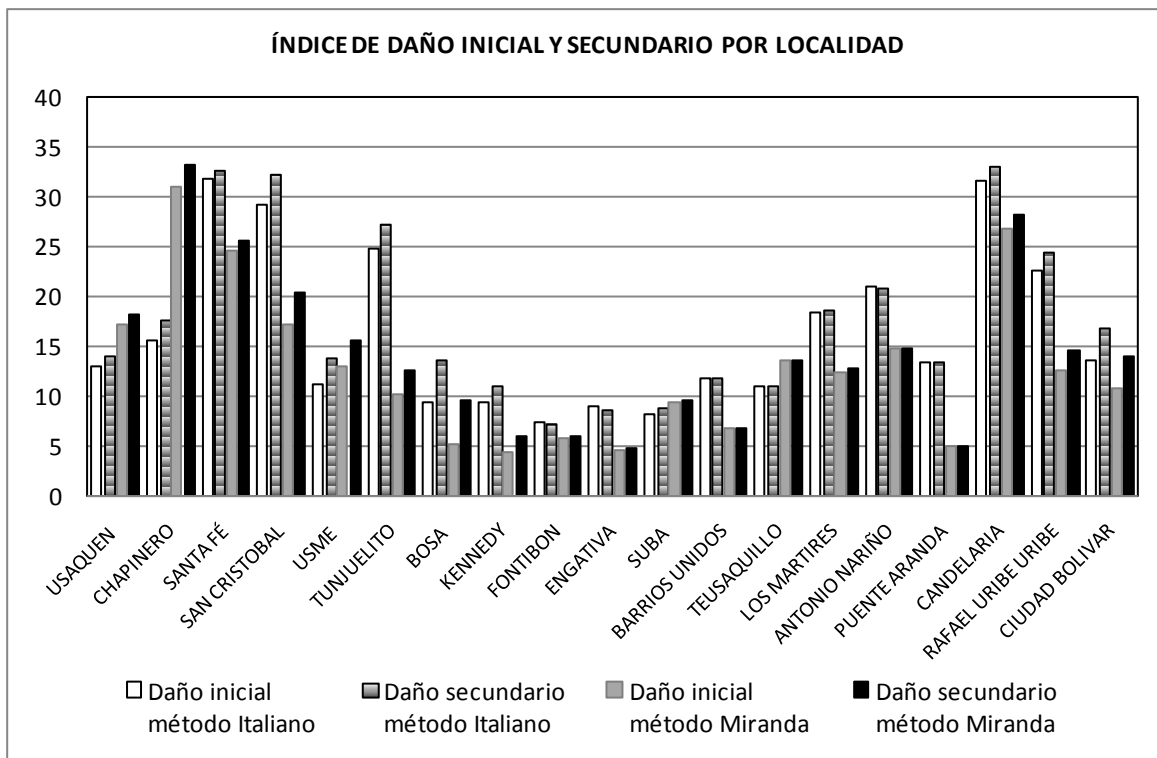


Figura 8.8. Comparación del índice de daño inicial y secundario por localidad

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 secretaria 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 Bomberos de Bogotá	18	2,8	0,0	19,4	4,8	6,3	0,4	39,0	11,7
Secretaría 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
Policía 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	-
Secretaría 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
Ejército 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 Eiding (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: Eiding, 2001

Corrección por efectos colaterales (licuación y deslizamiento): FOPAE, 2010

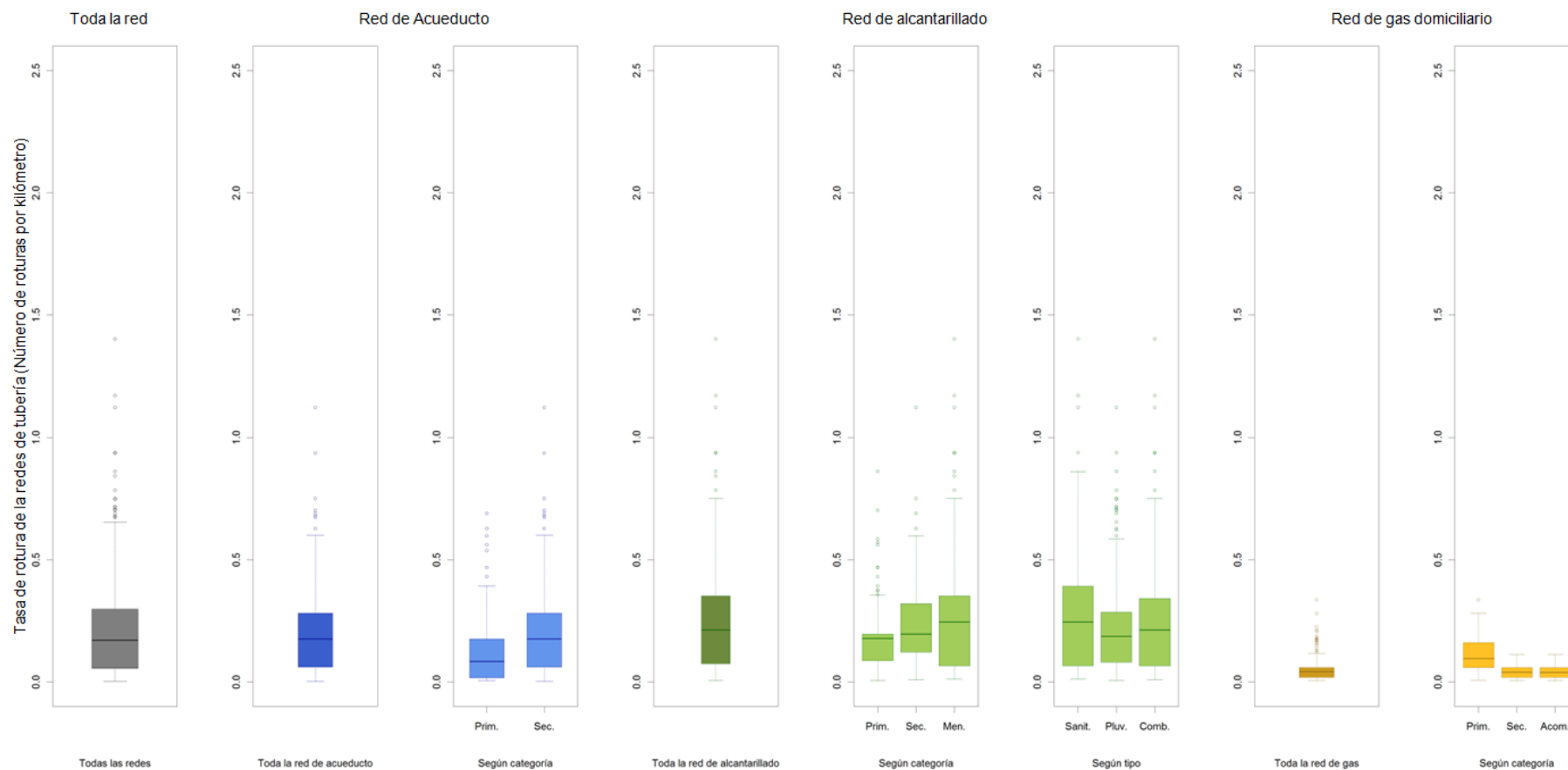


Figura 8.9. Resumen resultados de daño secundario de la red de tuberías

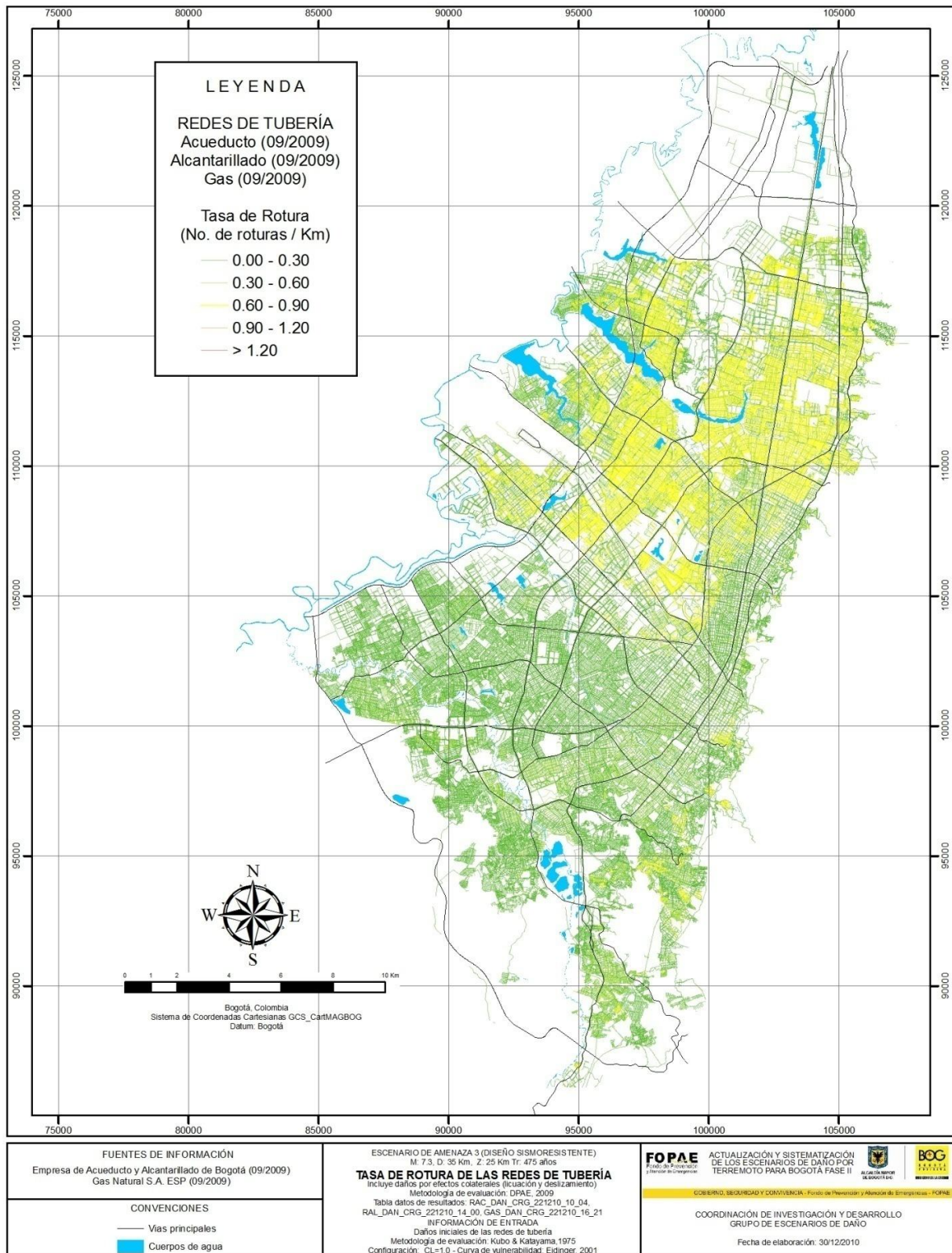


Figura 8.10. Mapa de resultados de daño secundario de la red de tuberías

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 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 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

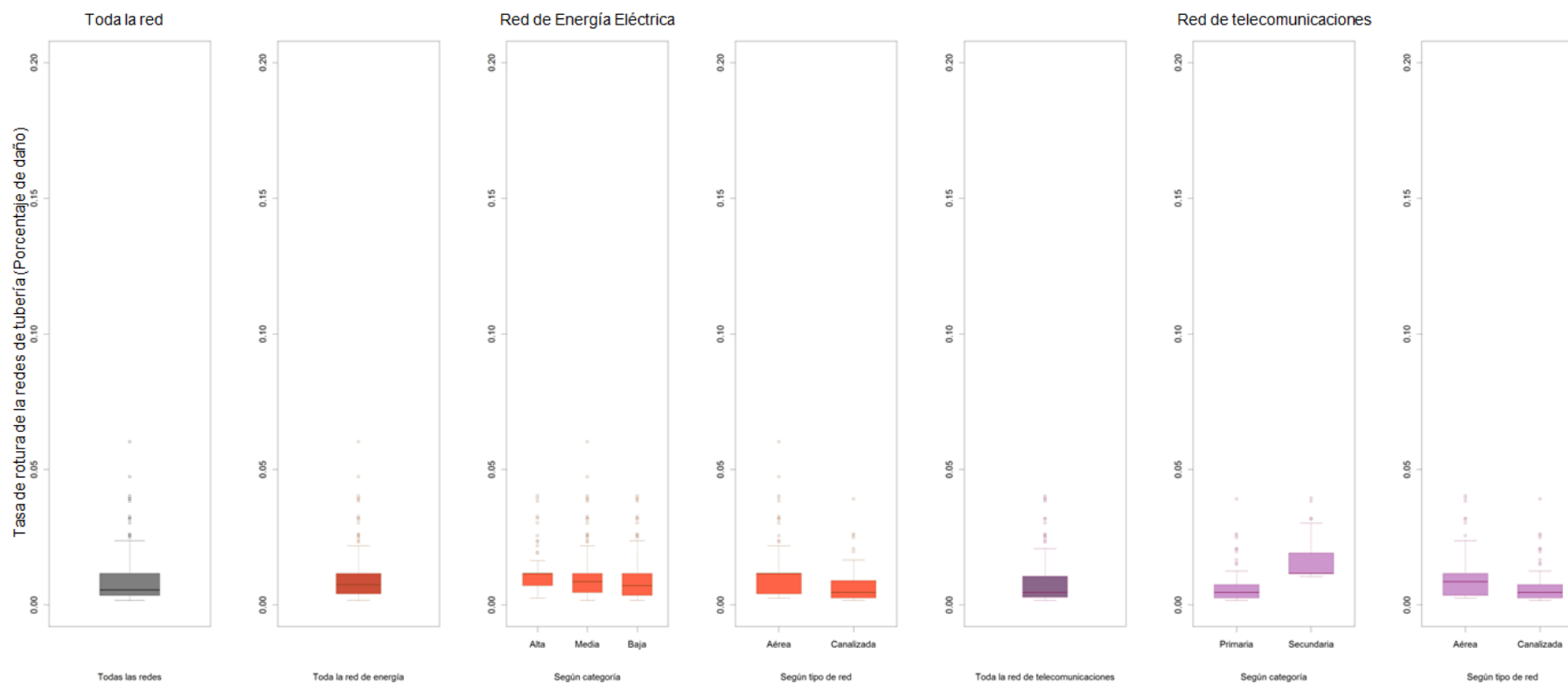


Figura 8.11. Resumen resultados de daño secundario de la red de cableado

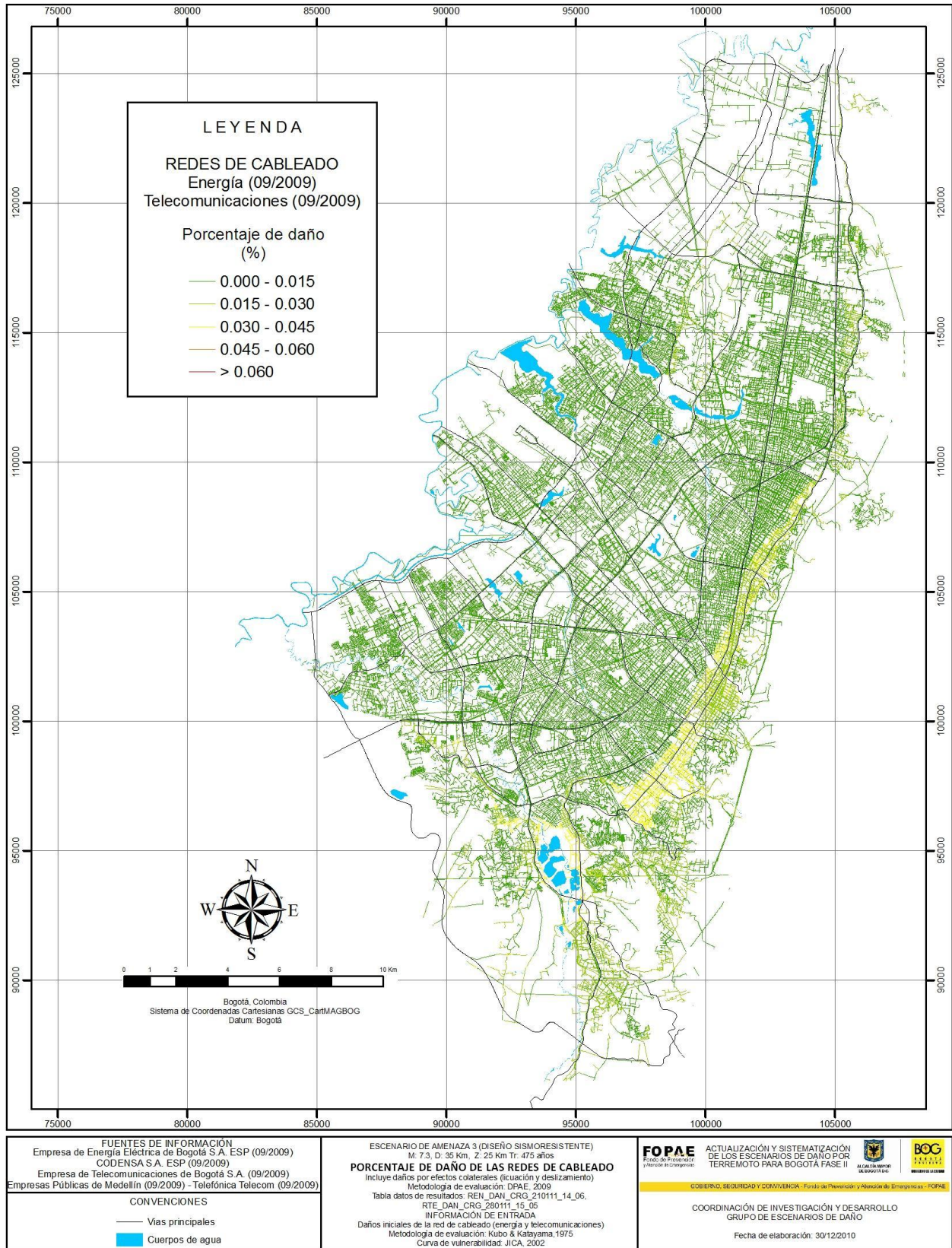


Figura 8.12. Mapa de resultados de daño secundario de la redes de cableado

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.

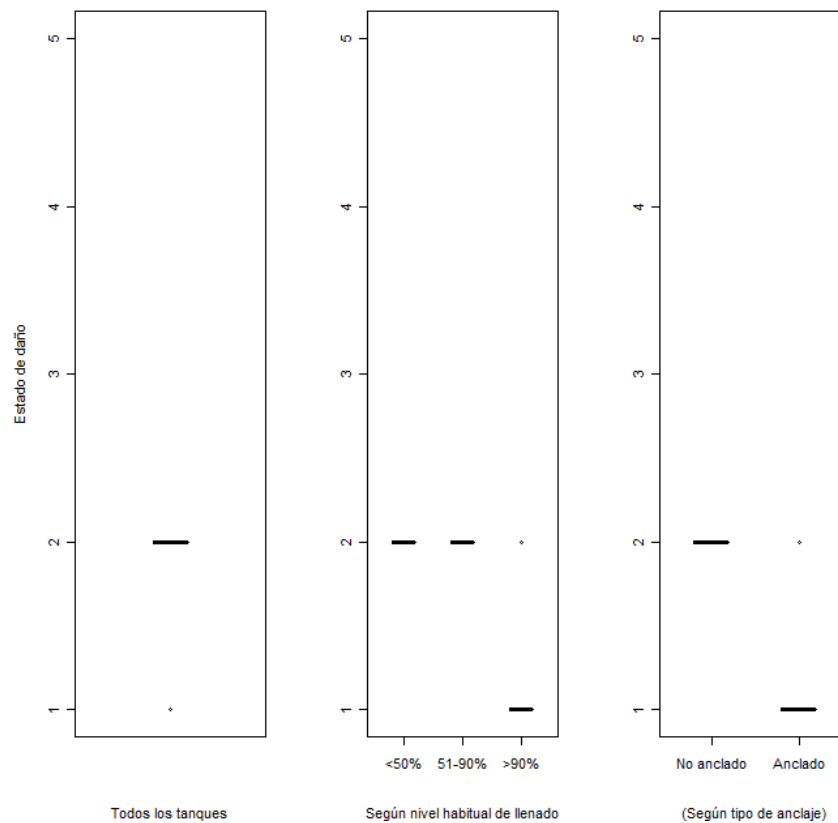


Figura 8.13. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los tanques de almacenamiento

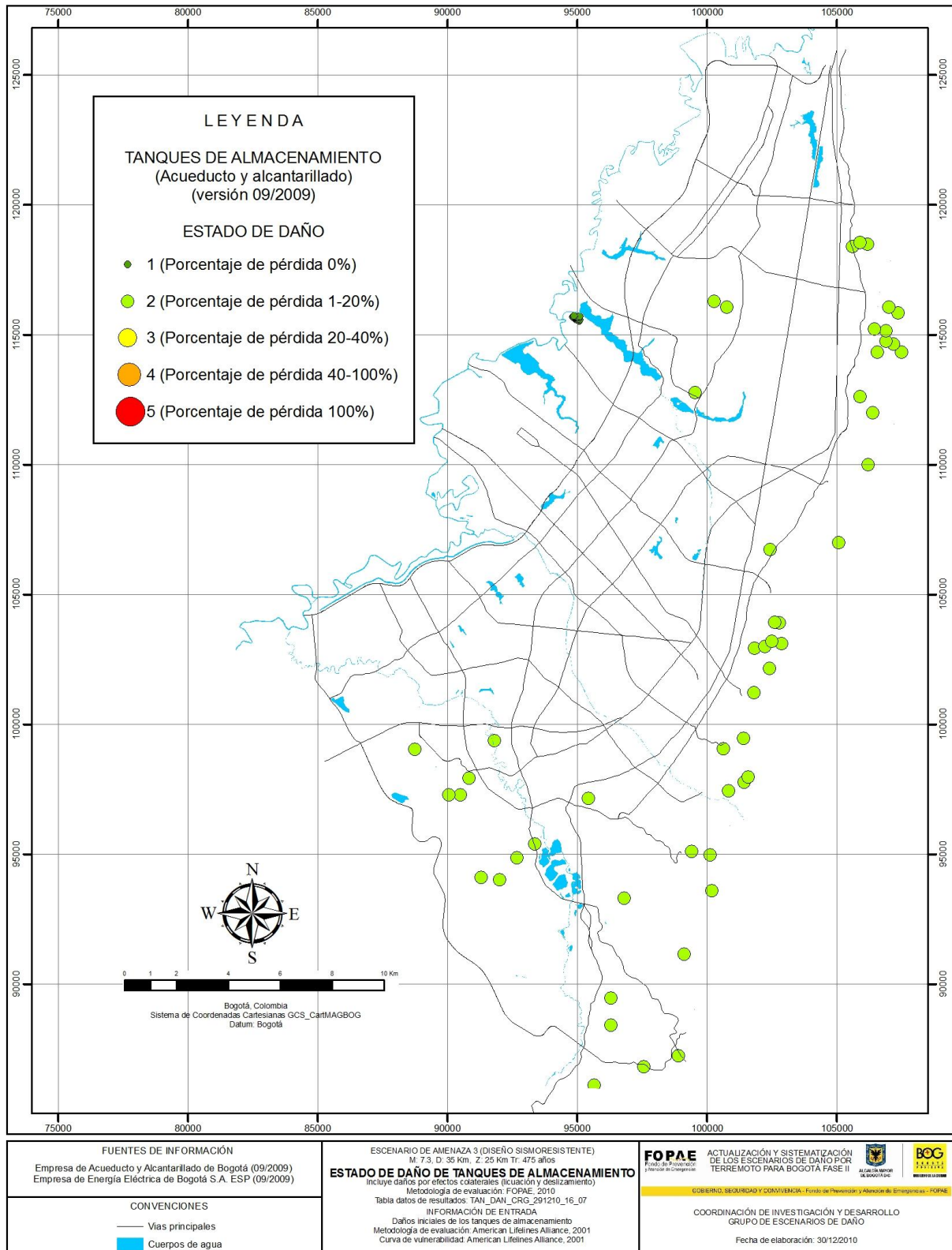


Figura 8.14. Mapa de resultados de daño secundario de los tanques de almacenamiento

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.

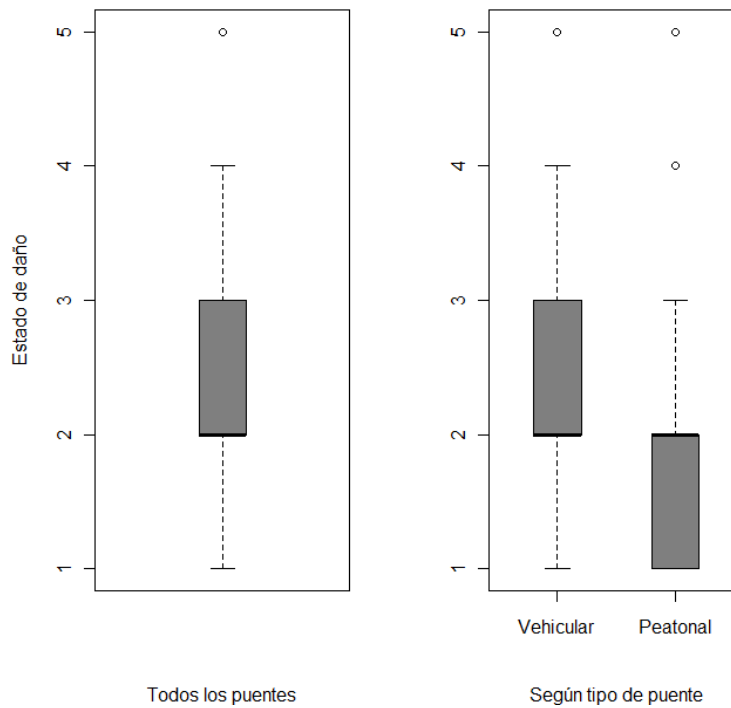


Figura 8.15. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los puentes vehiculares y peatonales

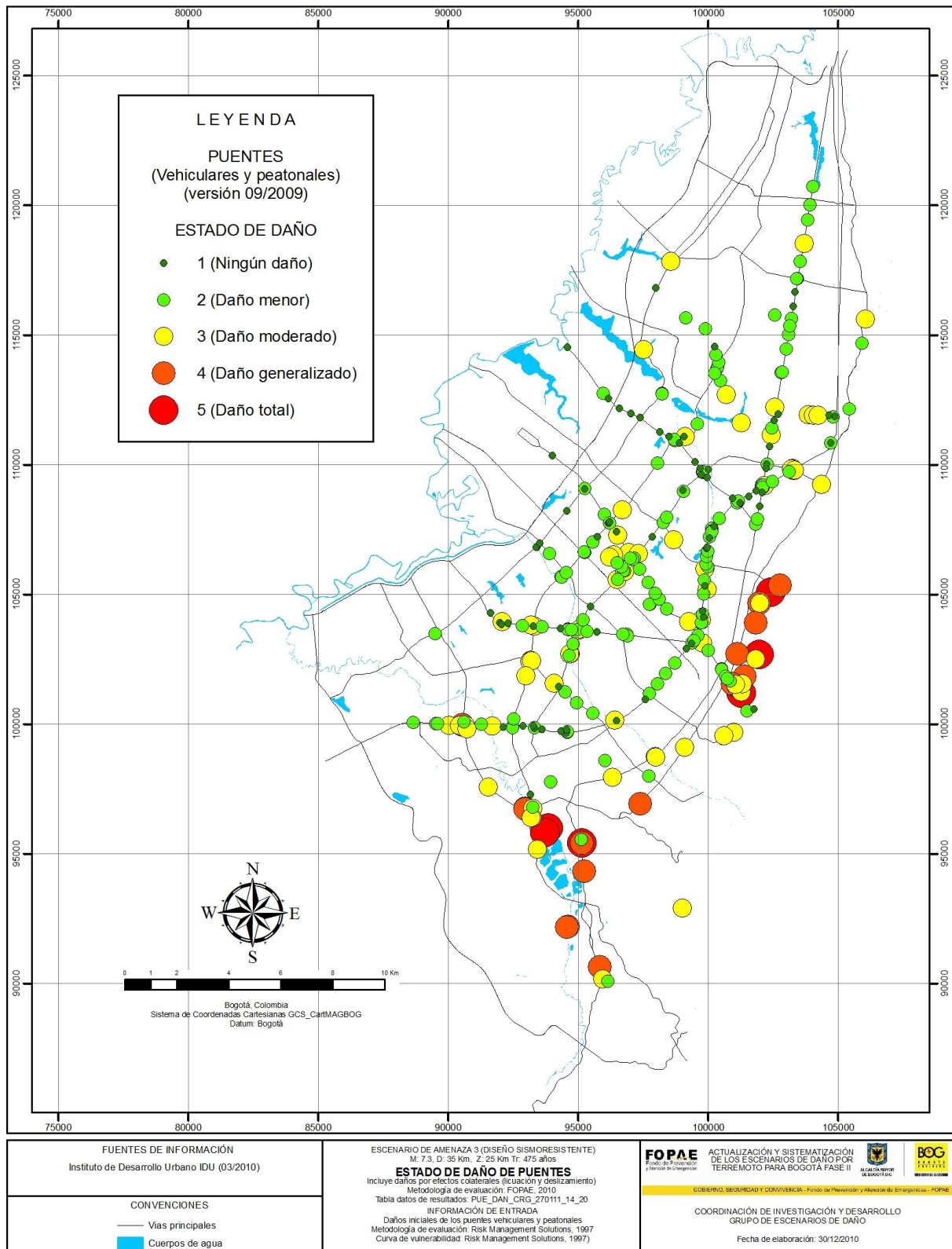


Figura 8.16. Mapa de resultados de daño secundario en puentes vehiculares y peatonales

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.

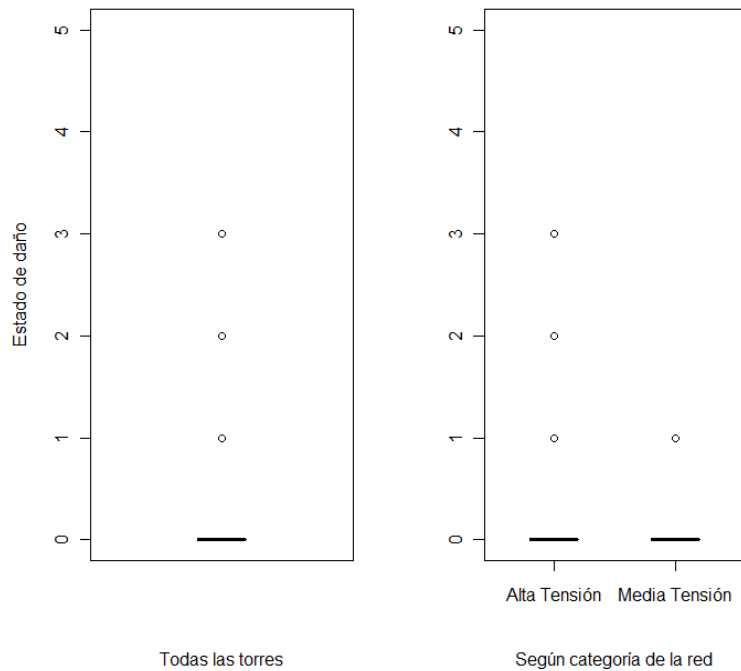


Figura 8.17. Resumen de resultados de estado de daño secundario de las torres de la red de energía eléctrica

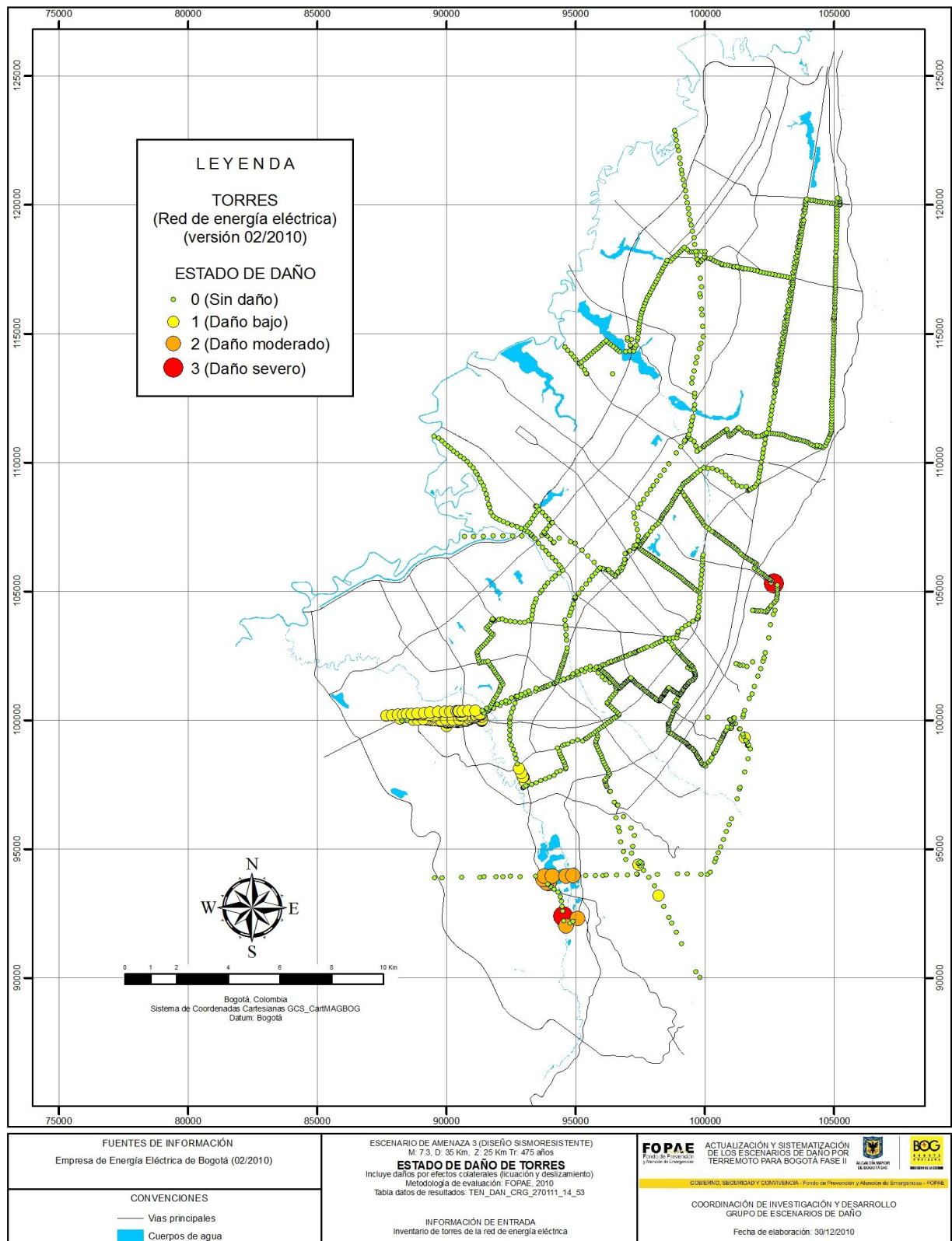


Figura 8.18. Mapa de resultados de daño secundario en torres de la red de energía eléctrica

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.

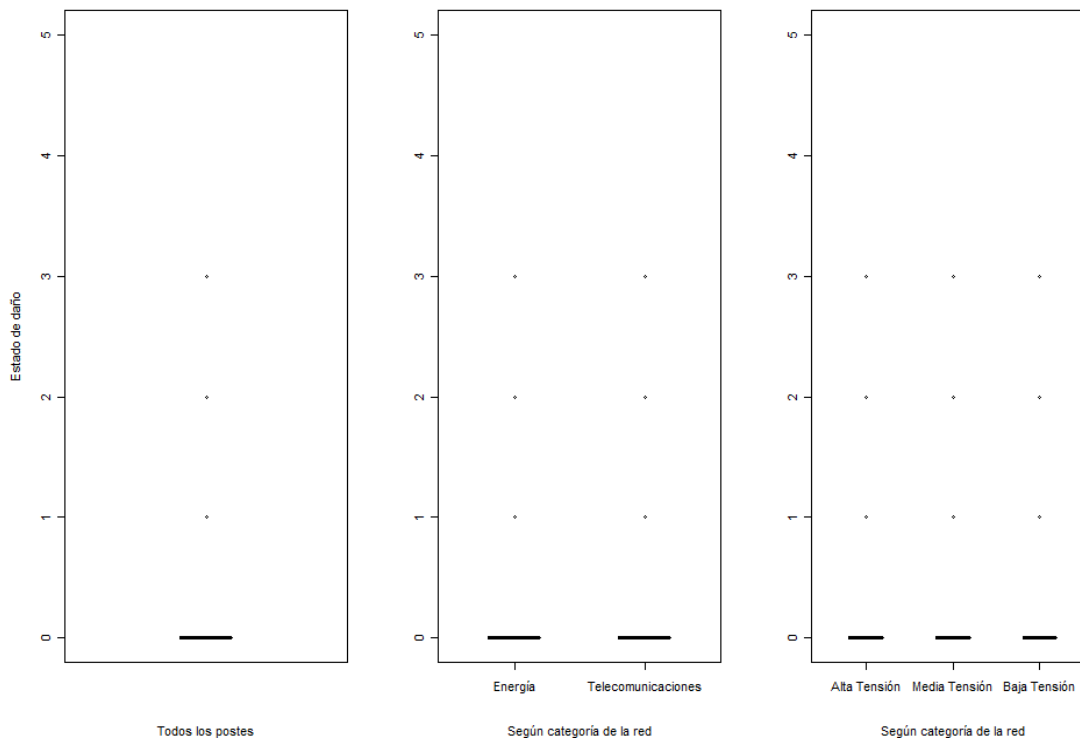


Figura 8.19. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los postes de la red de energía eléctrica y de telecomunicaciones

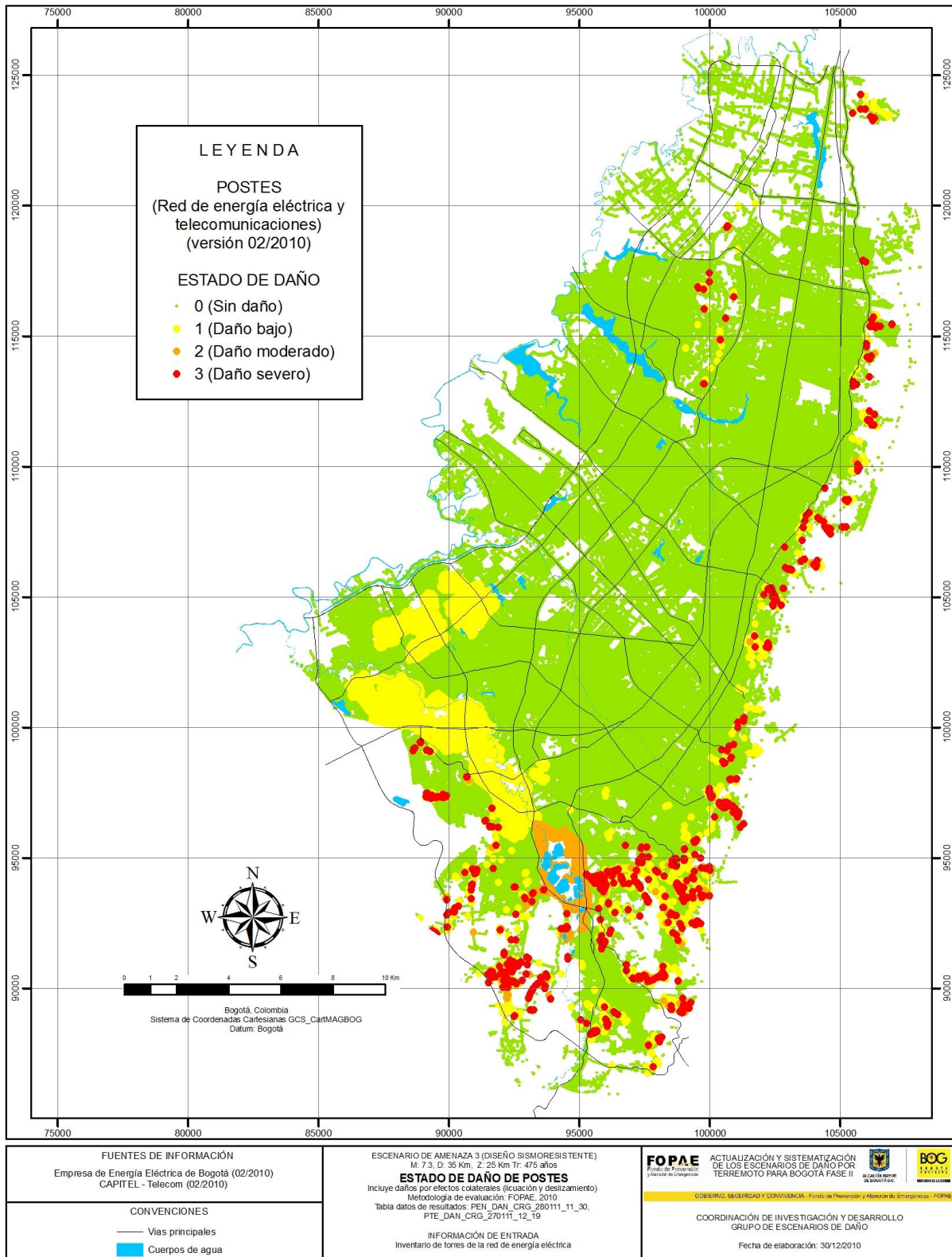


Figura 8.20. Mapa de resultados de daño secundario en los postes de la red de energía eléctrica y telecomunicaciones

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)

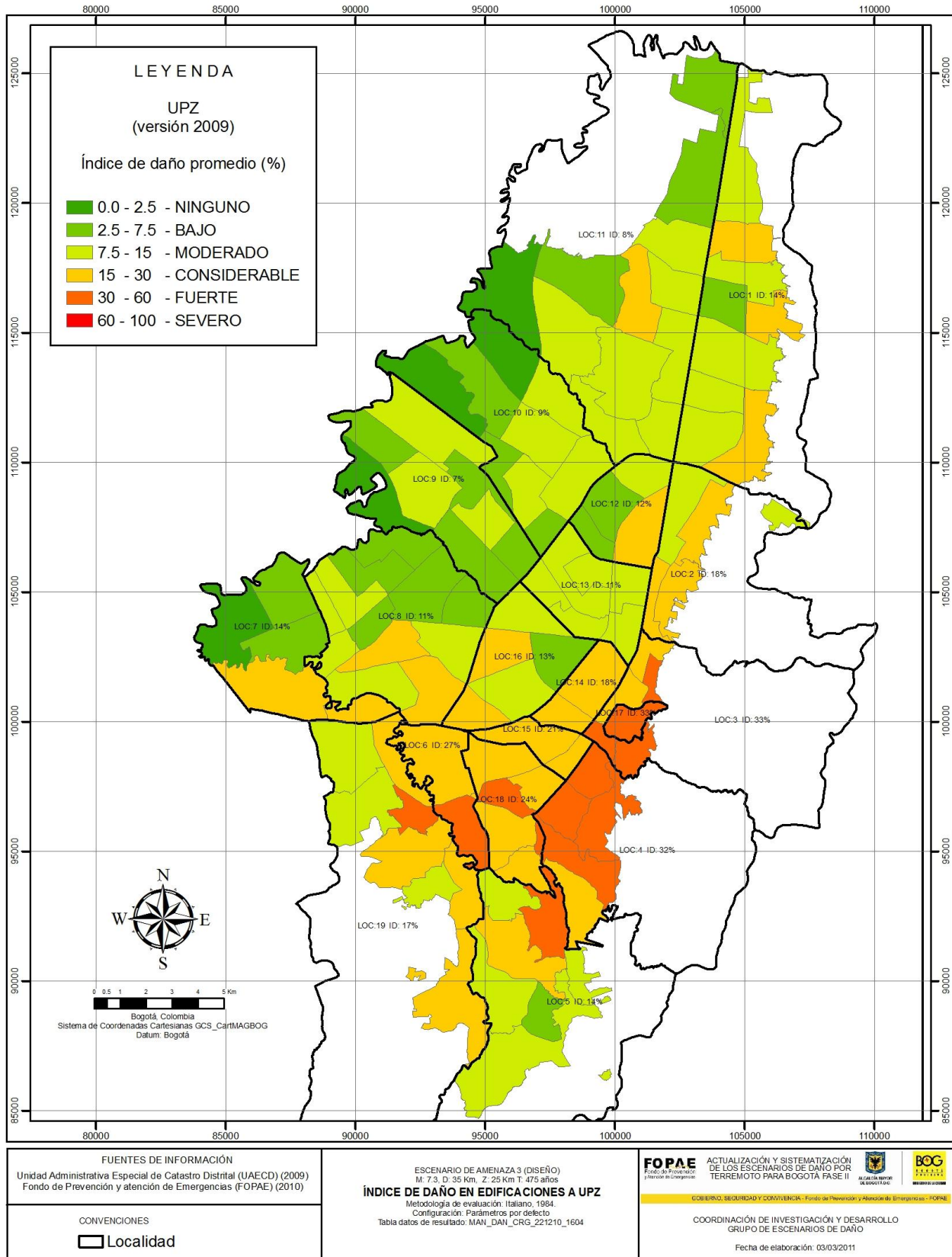


Figura 8.21. Índice de daño secundario promedio a Localidad y UPZ

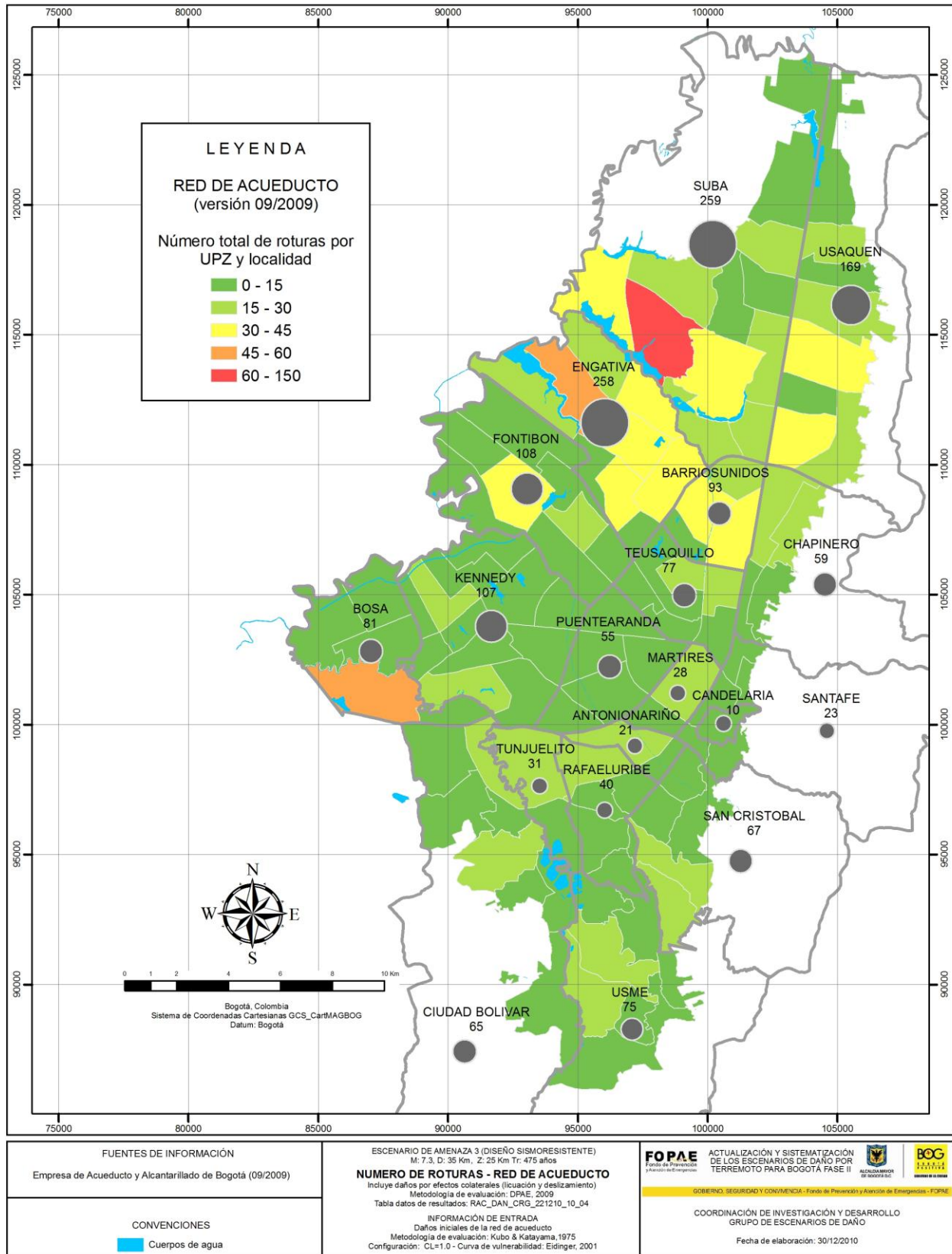


Figura 8.22. Mapa de resultados de daño secundario red de acueducto - Número total de roturas por UPZ y localidad

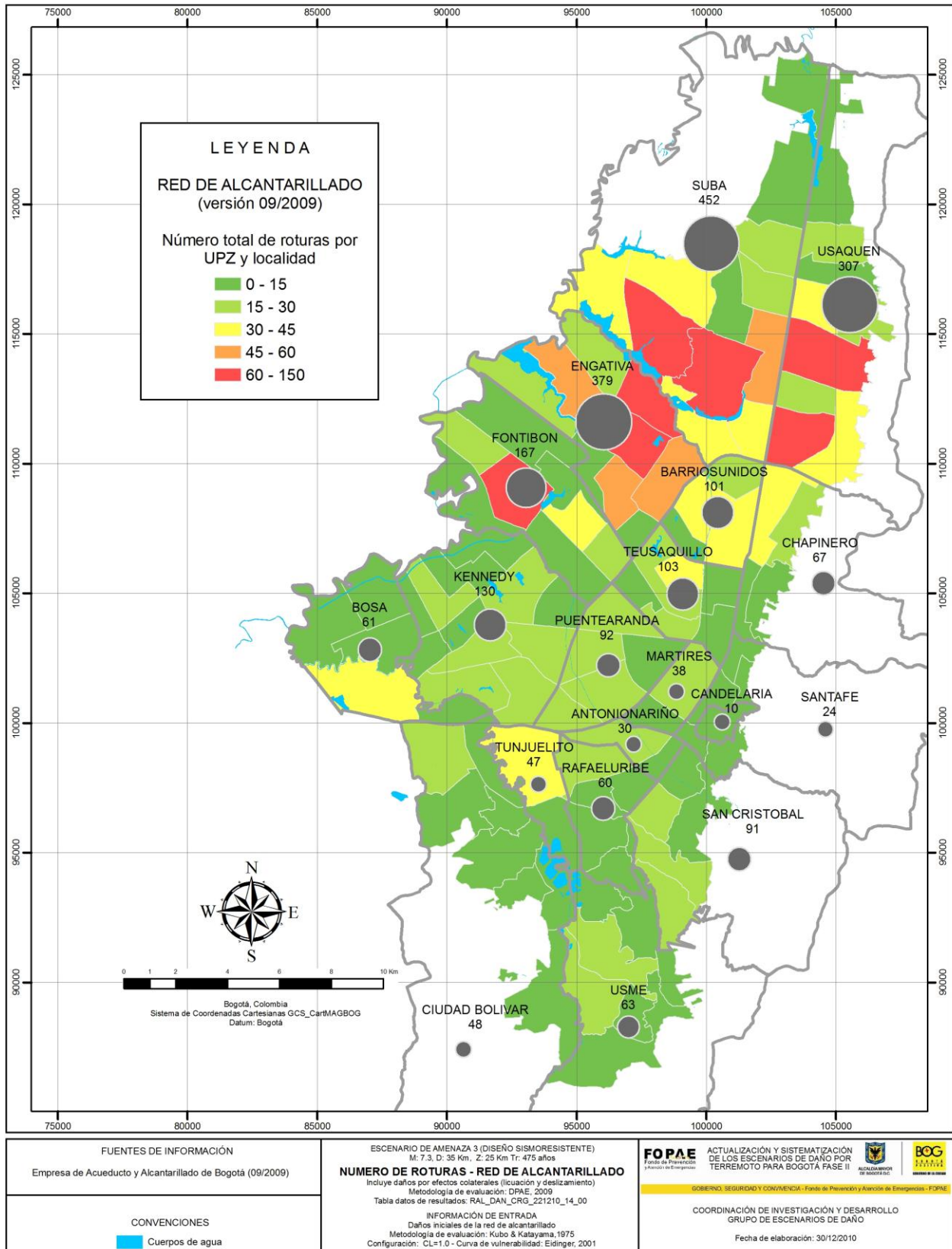


Figura 8.23. Mapa de resultados de daño secundario red de alcantarillado - Número total de roturas por UPZ y localidad

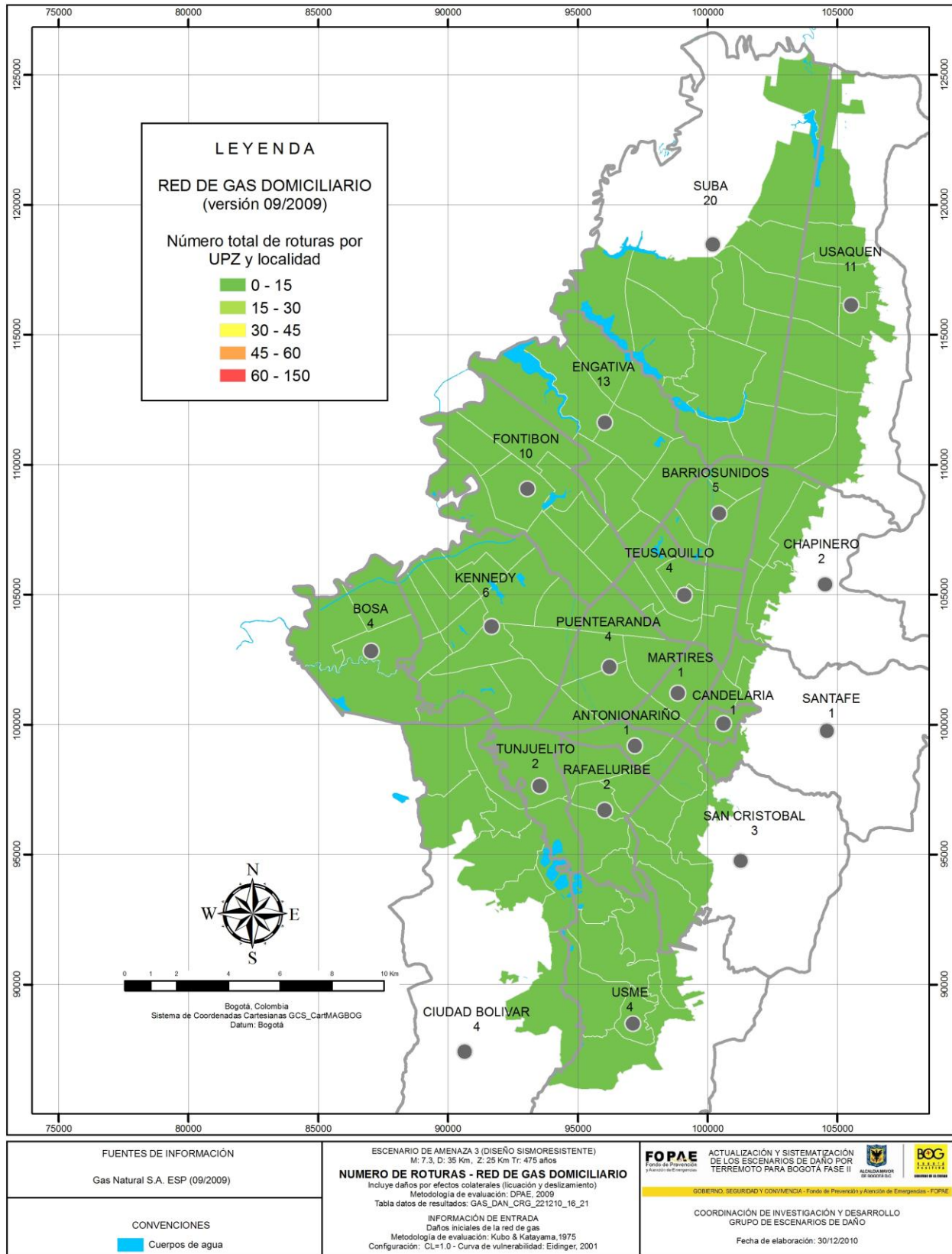
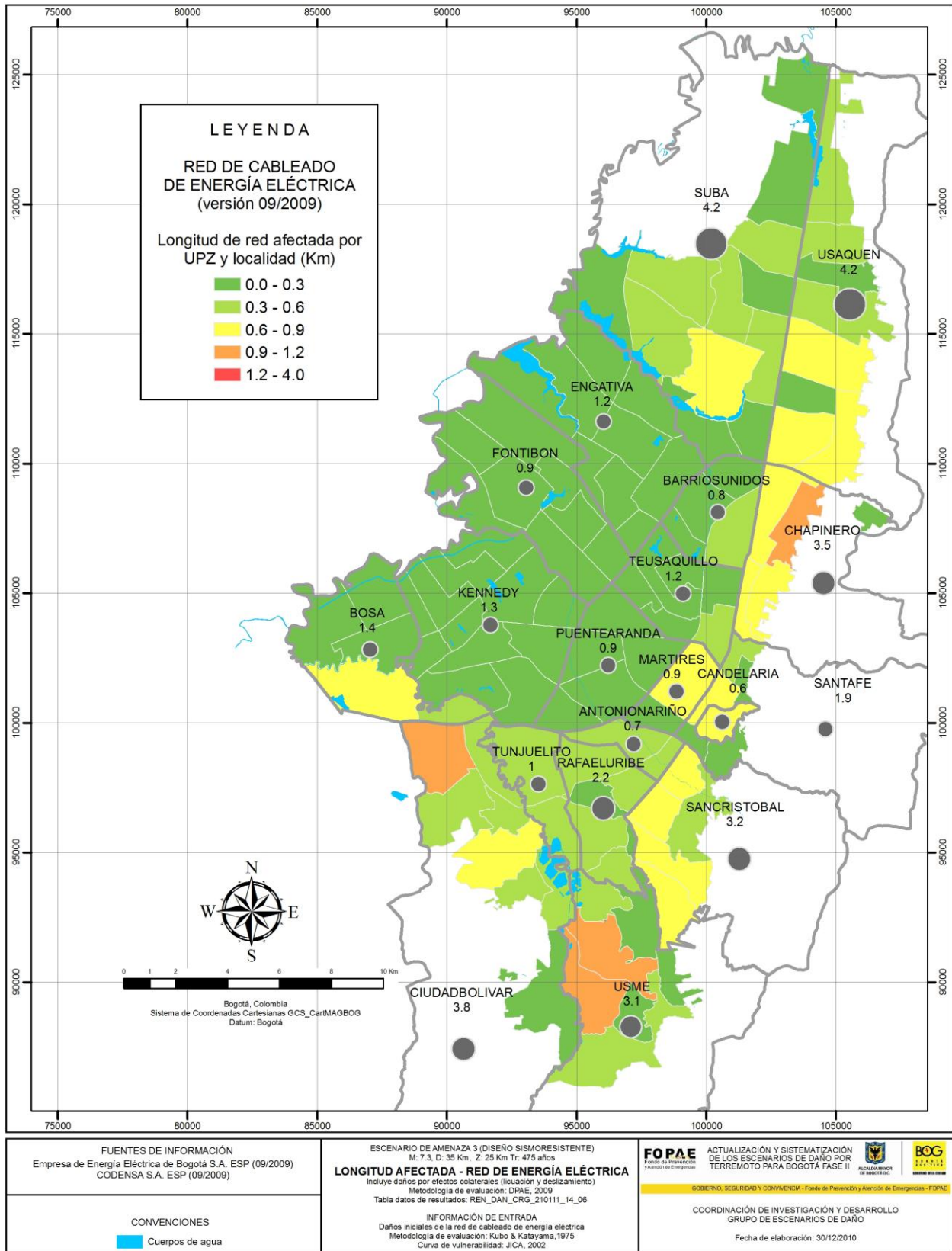


Figura 8.24. Mapa de resultados de daño secundario red de gas - Número total de roturas por UPZ y localidad



FUENTES DE INFORMACIÓN
Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá S.A. ESP (09/2009)
CODENSA S.A. ESP (09/2009)

CONVENCIONES
Cuerpos de agua

ESCENARIO DE AMENAZA 3 (DISEÑO SISMORRESISTENTE)
M: 7.3, D: 35 Km, Z: 25 Km Tr: 475 años
LONGITUD AFECTADA - RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA
Incluye daños por efectos colaterales (licuación y deslizamiento)
Metodología de evaluación: DPAE, 2009
Tabla datos de resultados: REN_DAN_CRG_210111_14_06
INFORMACIÓN DE ENTRADA
Daños iniciales de la red de cableado de energía eléctrica
Metodología de evaluación: Kubo & Katayama, 1975
Curva de vulnerabilidad: JICA, 2002

FOPAE Fondo de Prevención y Atención Emergencias
ACTUALIZACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE DAÑO POR TERREMOTO PARA BOGOTÁ FASE II
GOBIERNO, SEGURIDAD Y CONVIVENCIA: Fondo de Prevención y Atención de Emergencias - FOPAE
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO GRUPO DE ESCENARIOS DE DAÑO
Fecha de elaboración: 30/12/2010

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

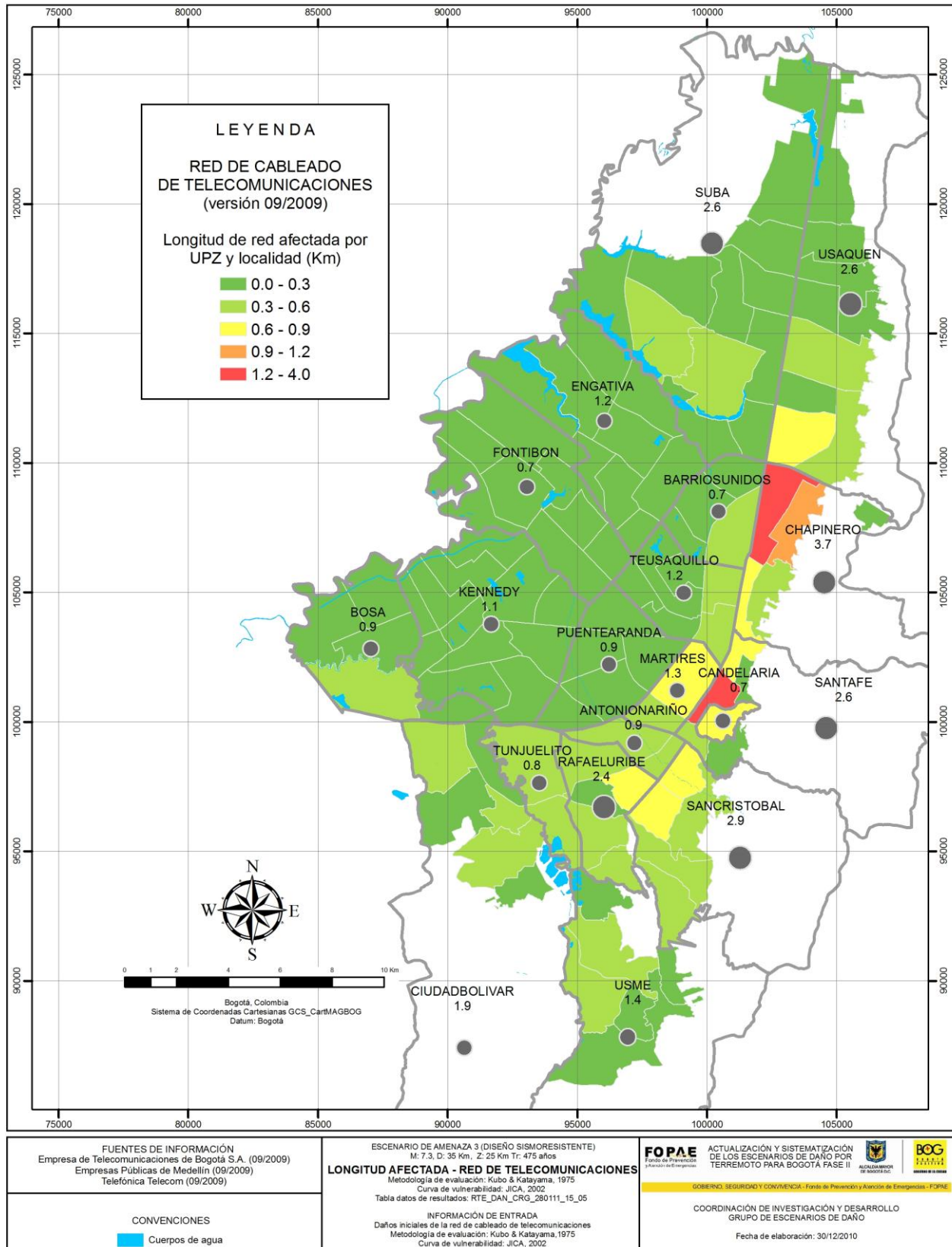


Figura 8.26. Mapa de resultados de daño secundario red de telecomunicaciones - Longitud afectada por UPZ y localidad

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 serían, 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.

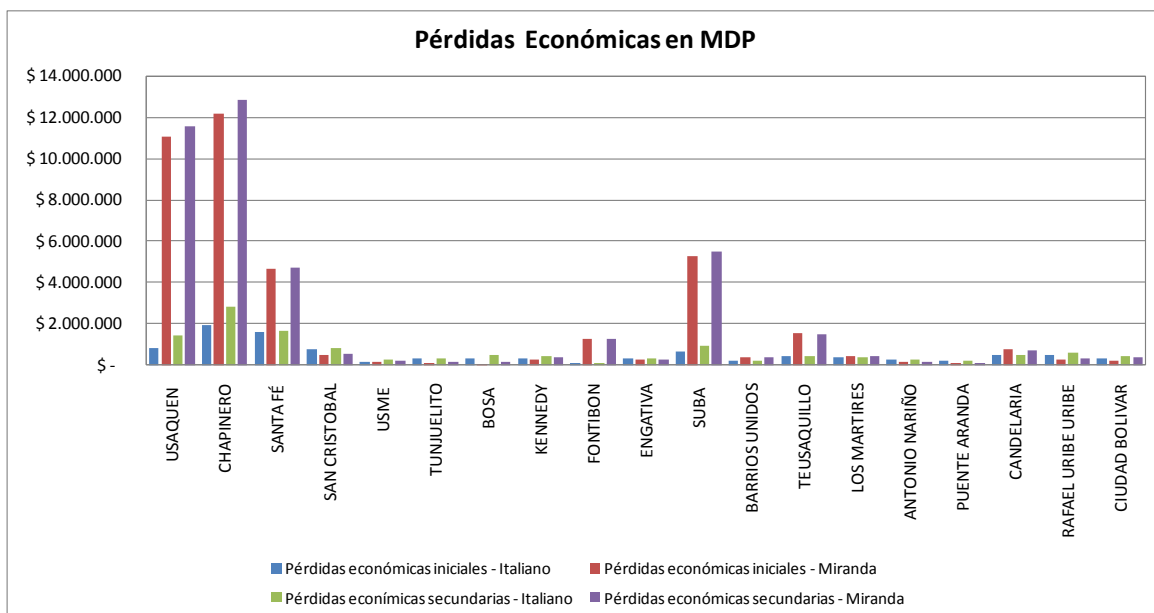


Figura 8.27. Pérdidas económicas en MDP

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 iniciales 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**).

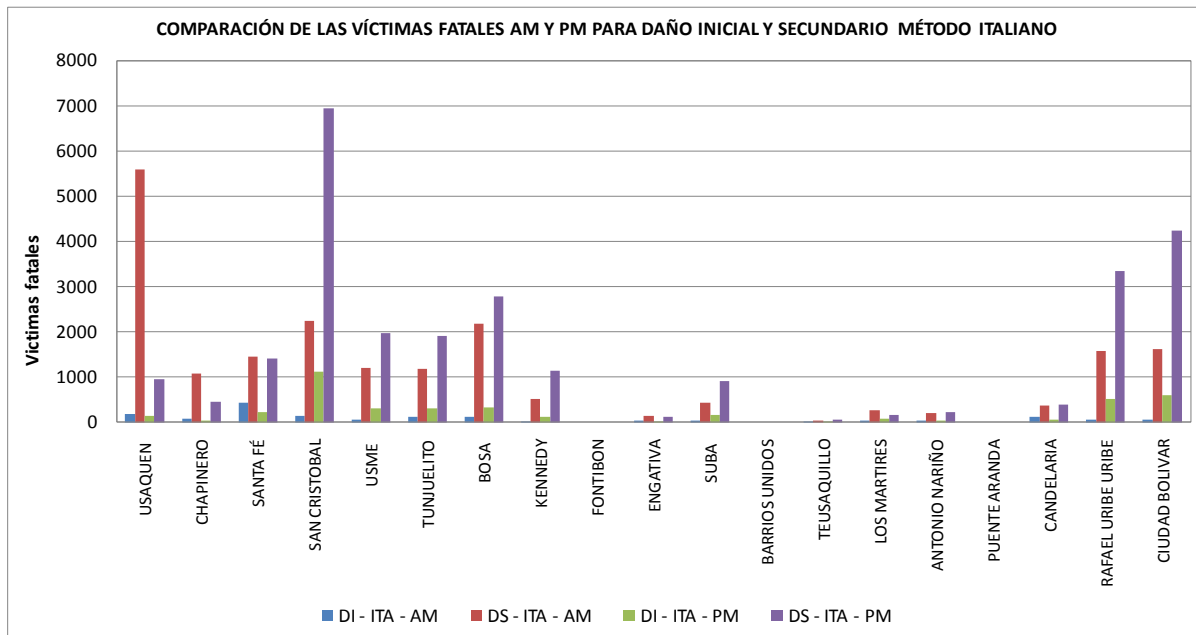


Figura 8.28. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Italiano

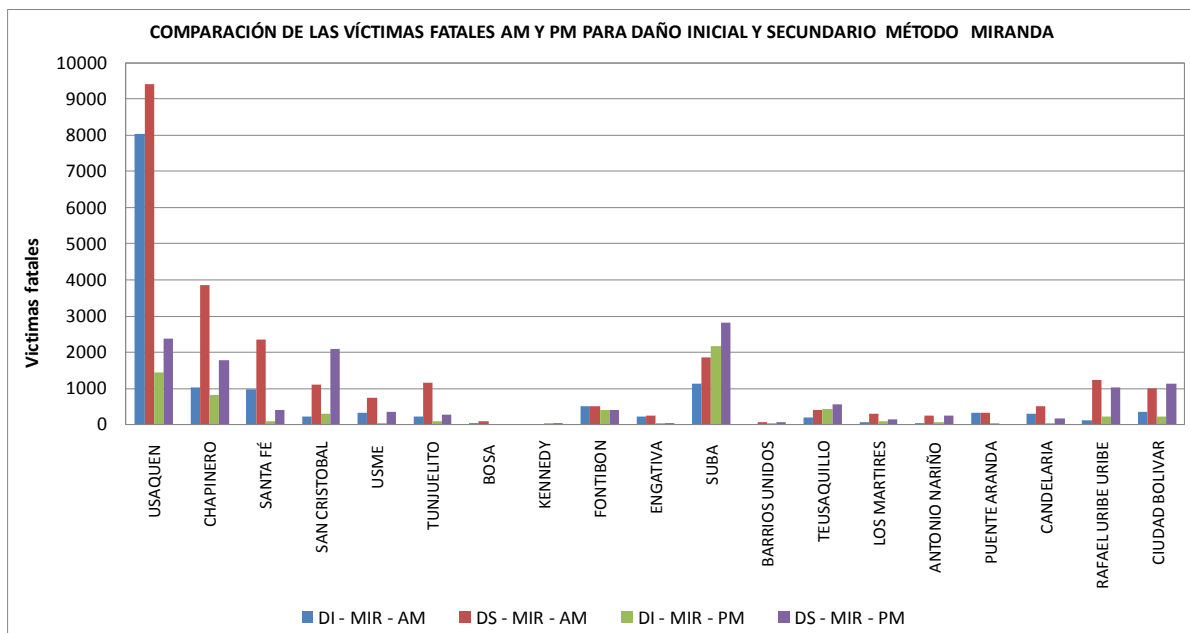
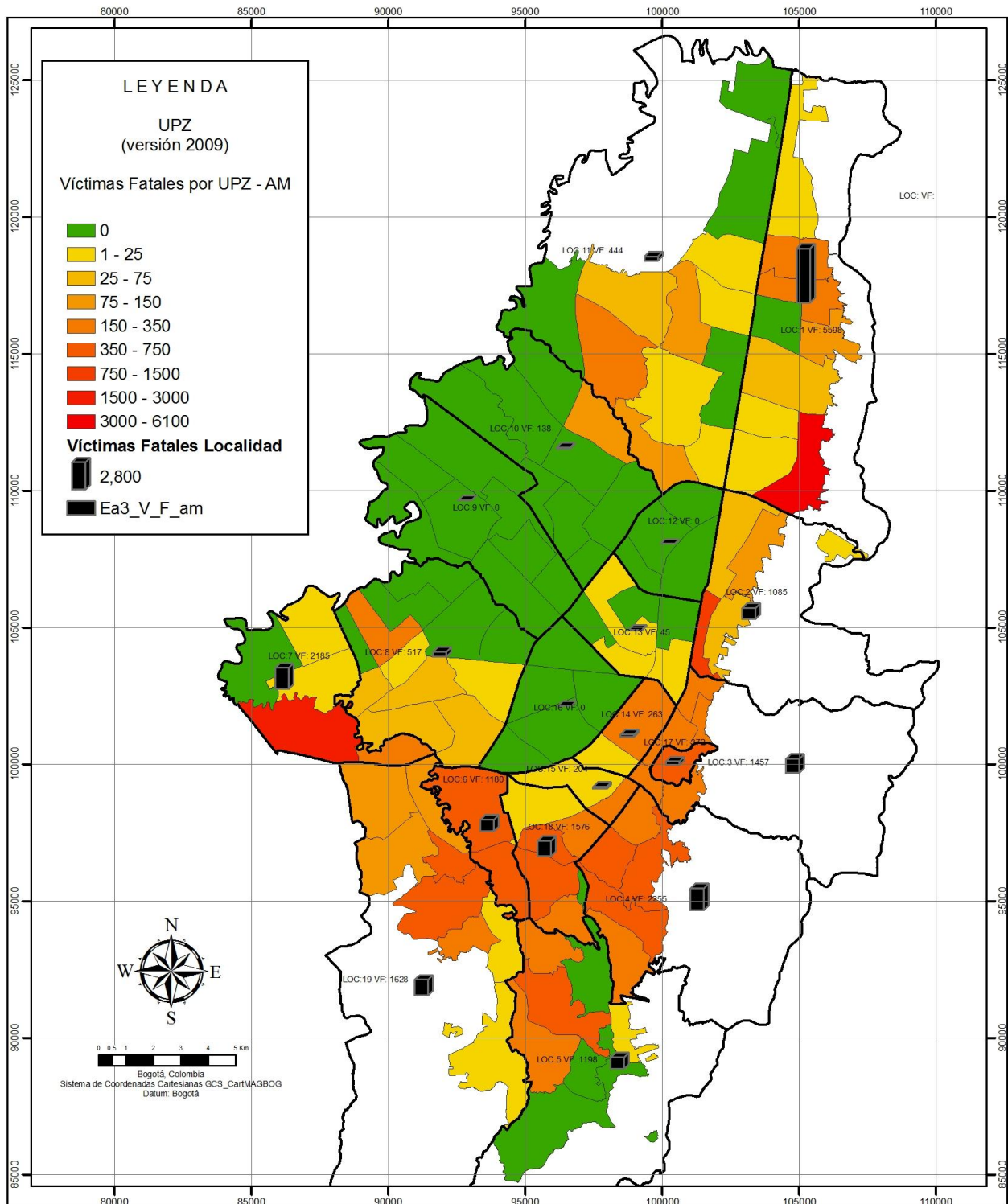


Figura 8.29. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Miranda



<p>FUENTES DE INFORMACIÓN</p> <p>Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital (UAECD) (2009) Fondo de Prevención y atención de Emergencias (FOPAE) (2010)</p>	<p>ESCENARIO DE AMENAZA 3 (DISEÑO) M: 7.3, D: 35 Km, Z: 25 Km T: 475 años</p> <p>DAÑOS AFECTACIONES Y PÉRDIDAS</p> <p>Metodología de evaluación: Corburn y Spence, 1992. Configuración: Parámetros por defecto Tabla datos de resultado: MAN_AYP_221210_124</p>	<p>FOPAE ACTUALIZACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE DAÑO POR TERREMOTO PARA BOGOTÁ FASE II</p> <p>GOBIERNO, SEGURIDAD Y CONVIVENCIA: Fondo de Prevención y Atención de Emergencias - FOPAE</p>
<p>Convenciones</p> <p>Localidad</p>	<p>COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO GRUPO DE ESCENARIOS DE DAÑO</p> <p>Fecha de elaboración: 18/04/2011</p>	

Figura 8.30. Víctimas fatales en el día

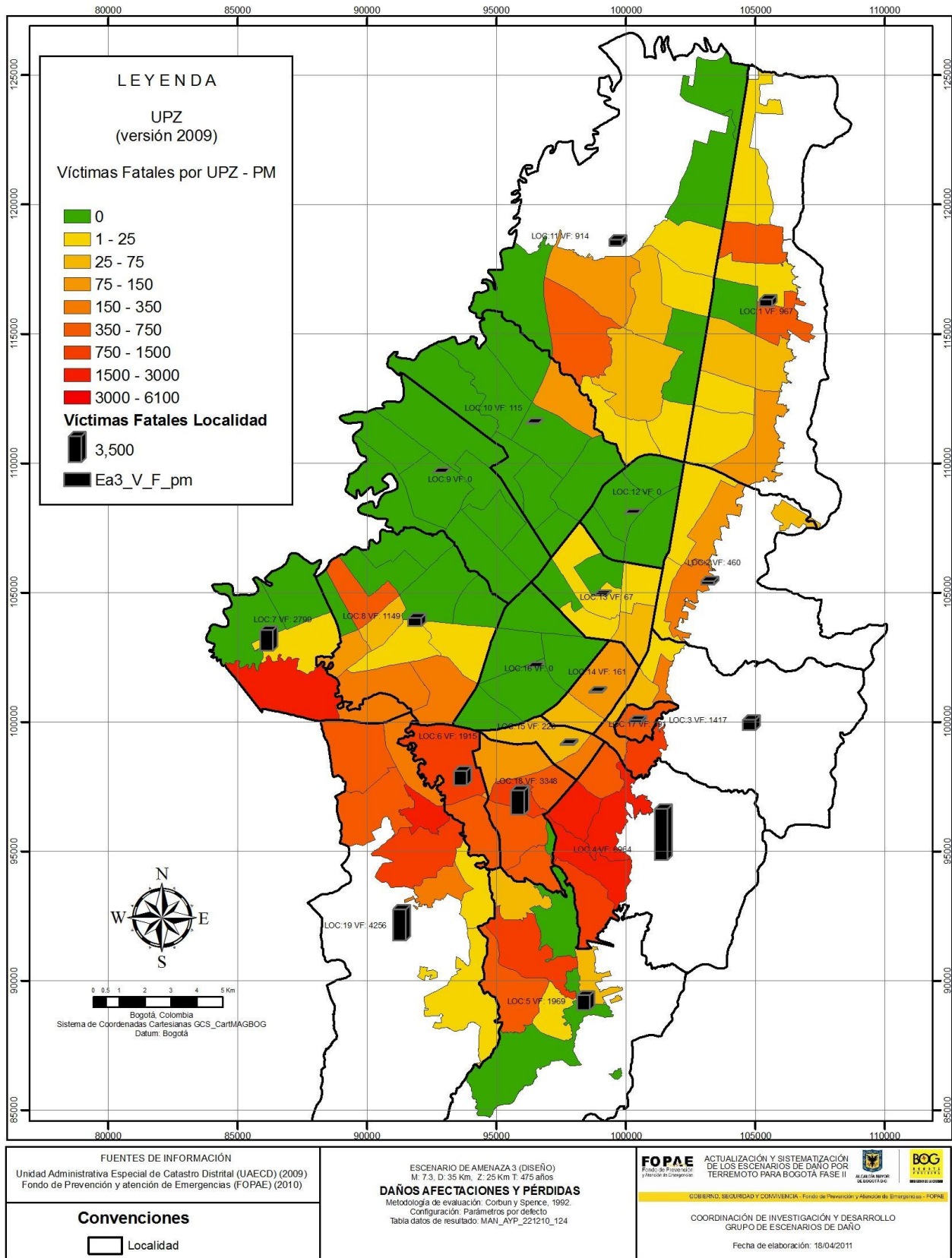


Figura 8.31. Víctimas fatales en la noche

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”.

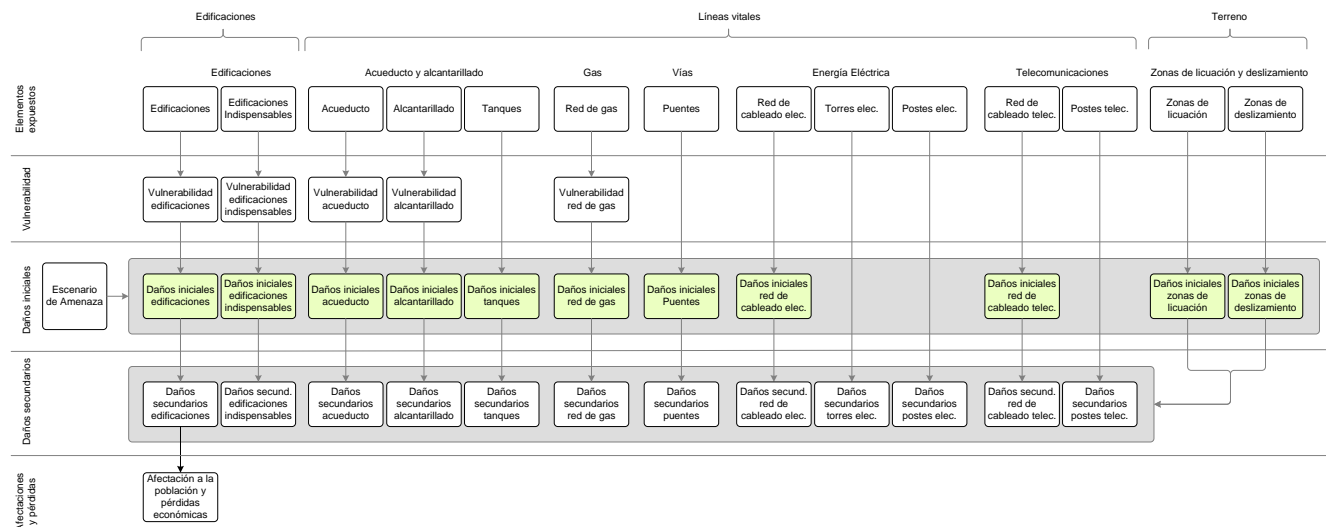


Figura 9.1. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños iniciales en edificaciones y líneas vitales)

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.

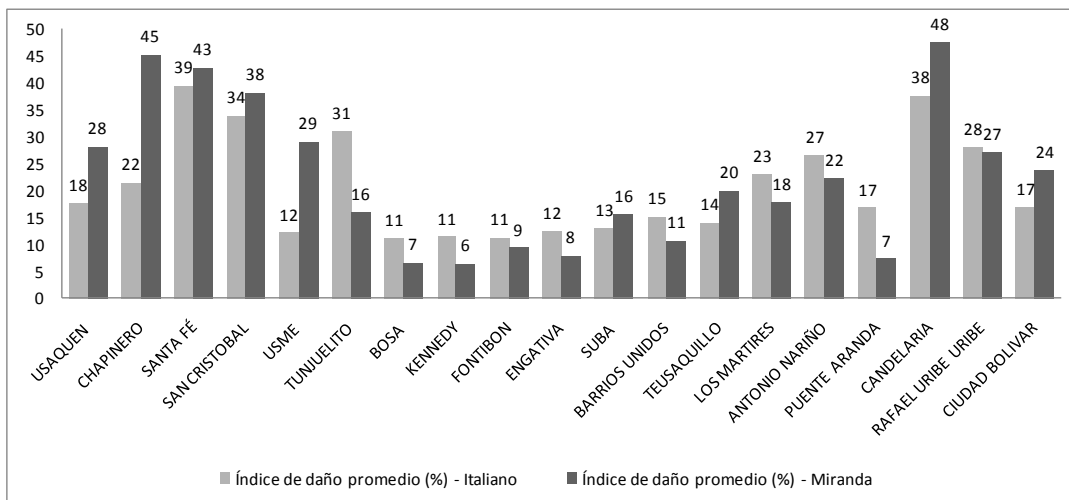


Figura 9.2. Índice de daño promedio por localidades para los métodos italiano y Miranda.

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).

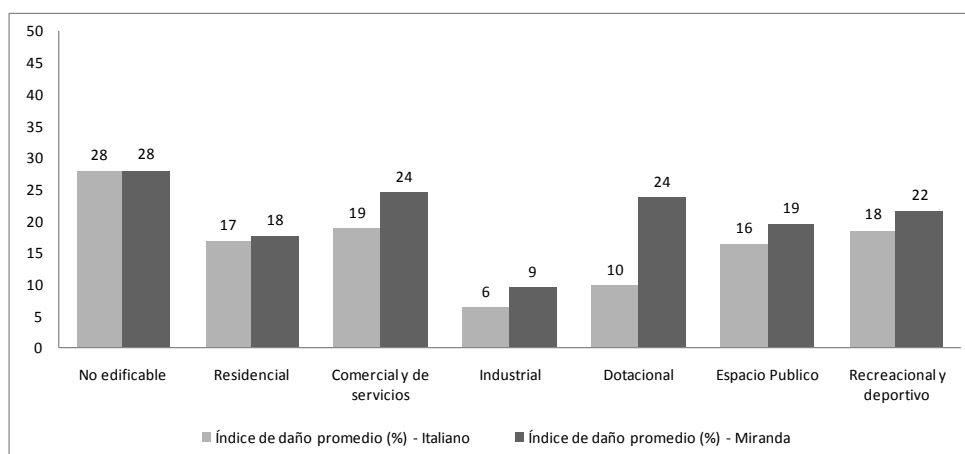


Figura 9.3. Índice de daño en edificaciones de acuerdo a su uso

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 iniciales 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 Bomberos de Bogotá	18	2,8	0,0	19,4	5,1	3,5	0,5	8,8	2,9
Secretaría 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
Policía 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	-
Secretaría 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
Ejército 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 iniciales 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.

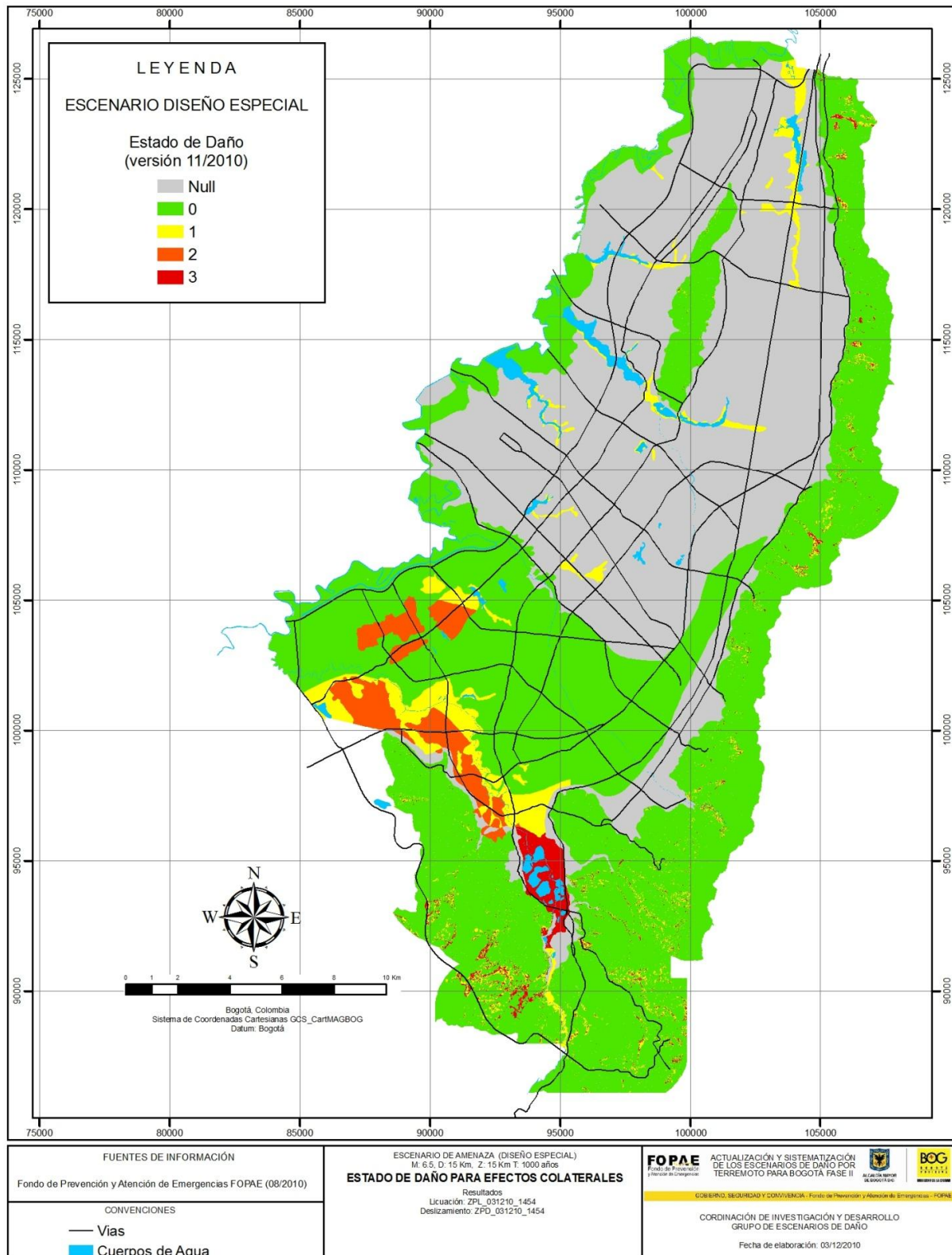


Figura 9.4. Estado de daño por licuación y deslizamiento

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.

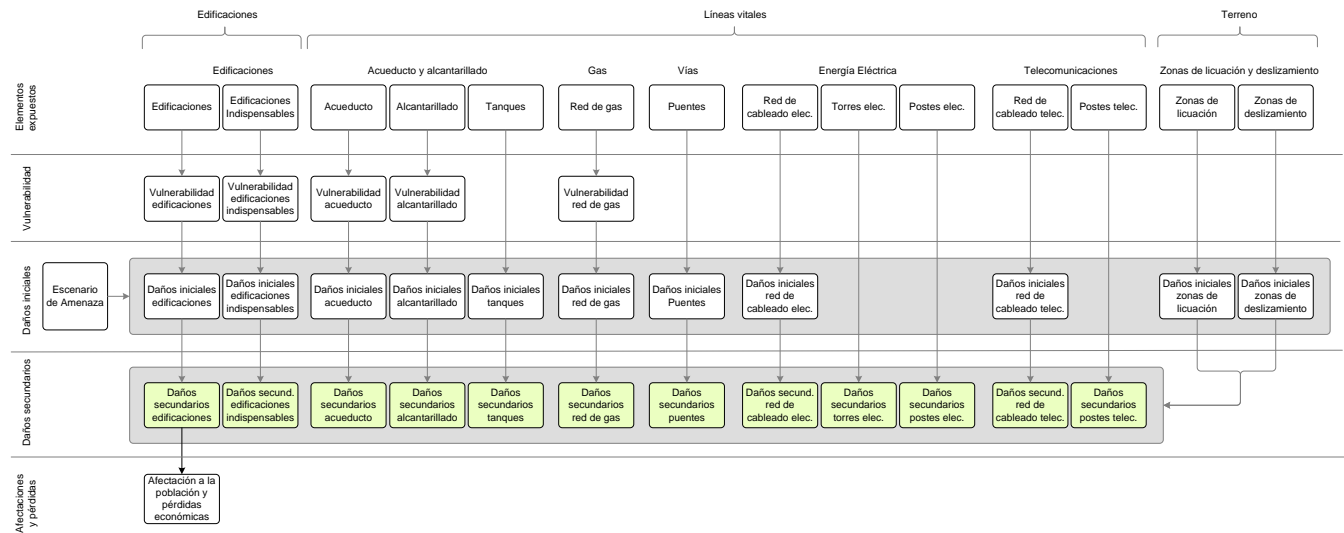


Figura 9.5. Metodología general de evaluación (Evaluación de daños secundarios en edificaciones y líneas vitales)

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 iniciales 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.

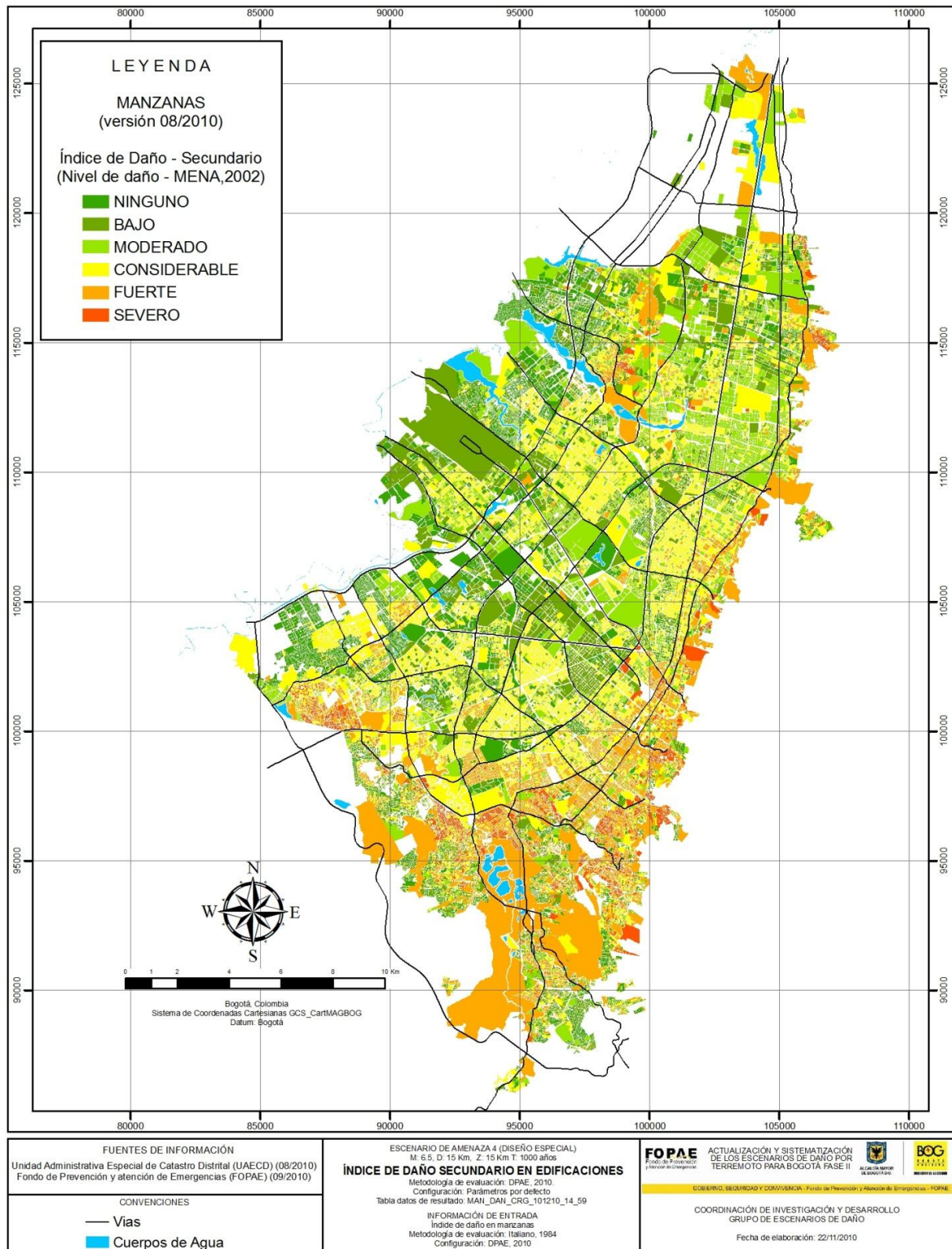


Figura 9.6. Índice de daño secundario en manzanas método italiano para escenario de diseño especial

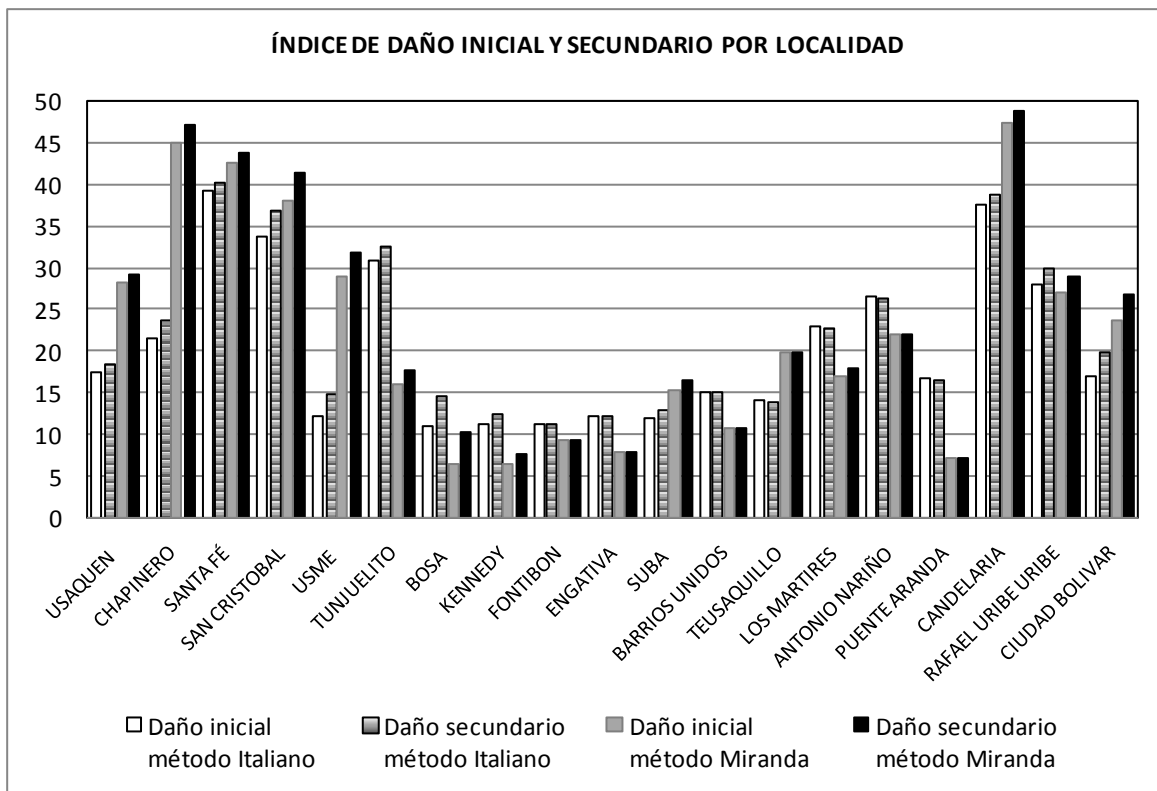


Figura 9.7. Comparación del índice de daño inicial y secundario por localidad

9.3.1.2 Edificaciones Indispensables

Particularmente se encuentra que para daño secundario los sectores de Ejército, 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 Bomberos de Bogotá	18	3,2	0,0	19,4	5,0	8,0	0,5	45,5	13,5
Secretaría 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	-
Secretaría 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
Ejército 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 Eiding (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.

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

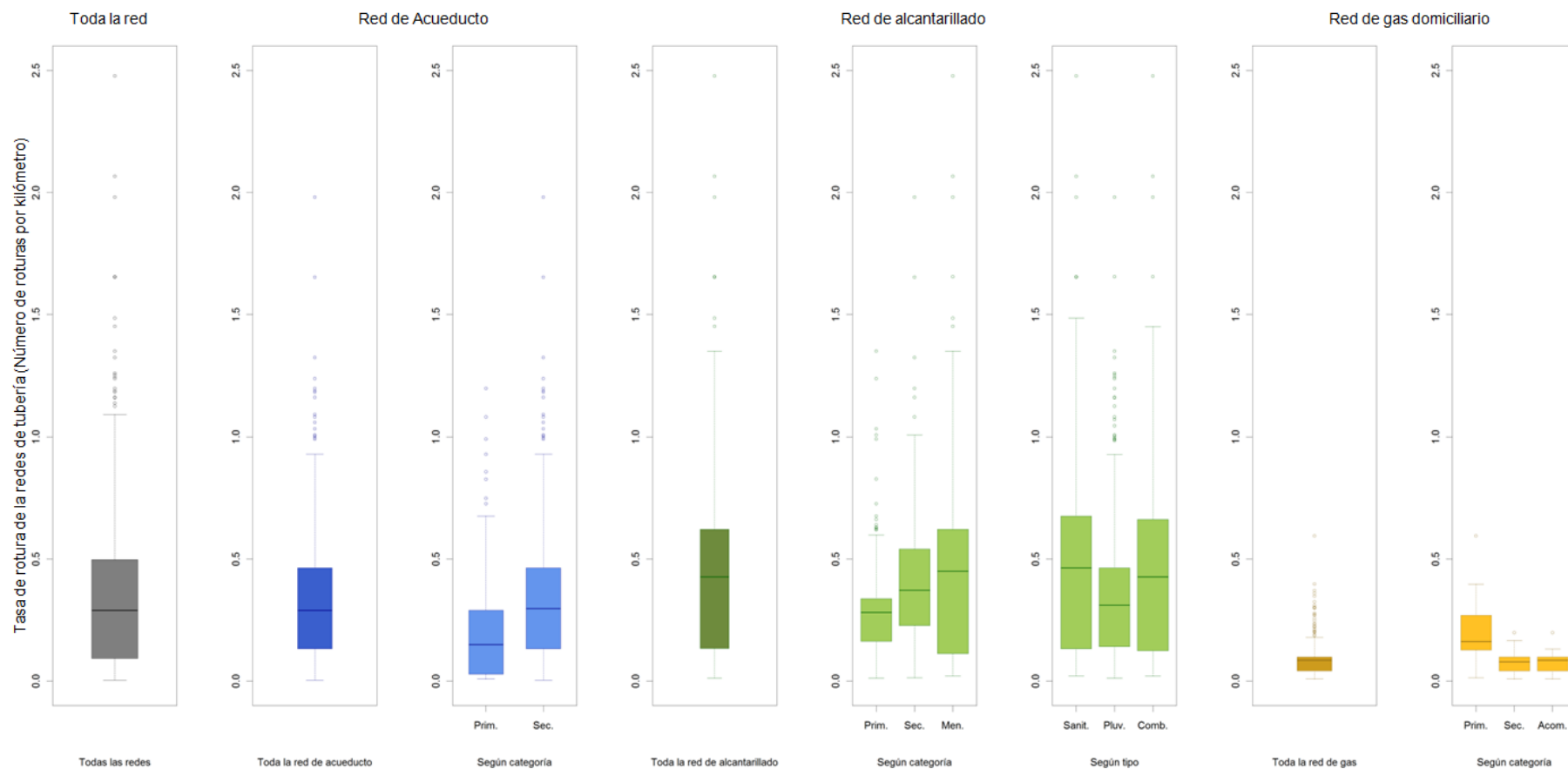


Figura 9.8. Resumen resultados de daño secundario de la red de tuberías

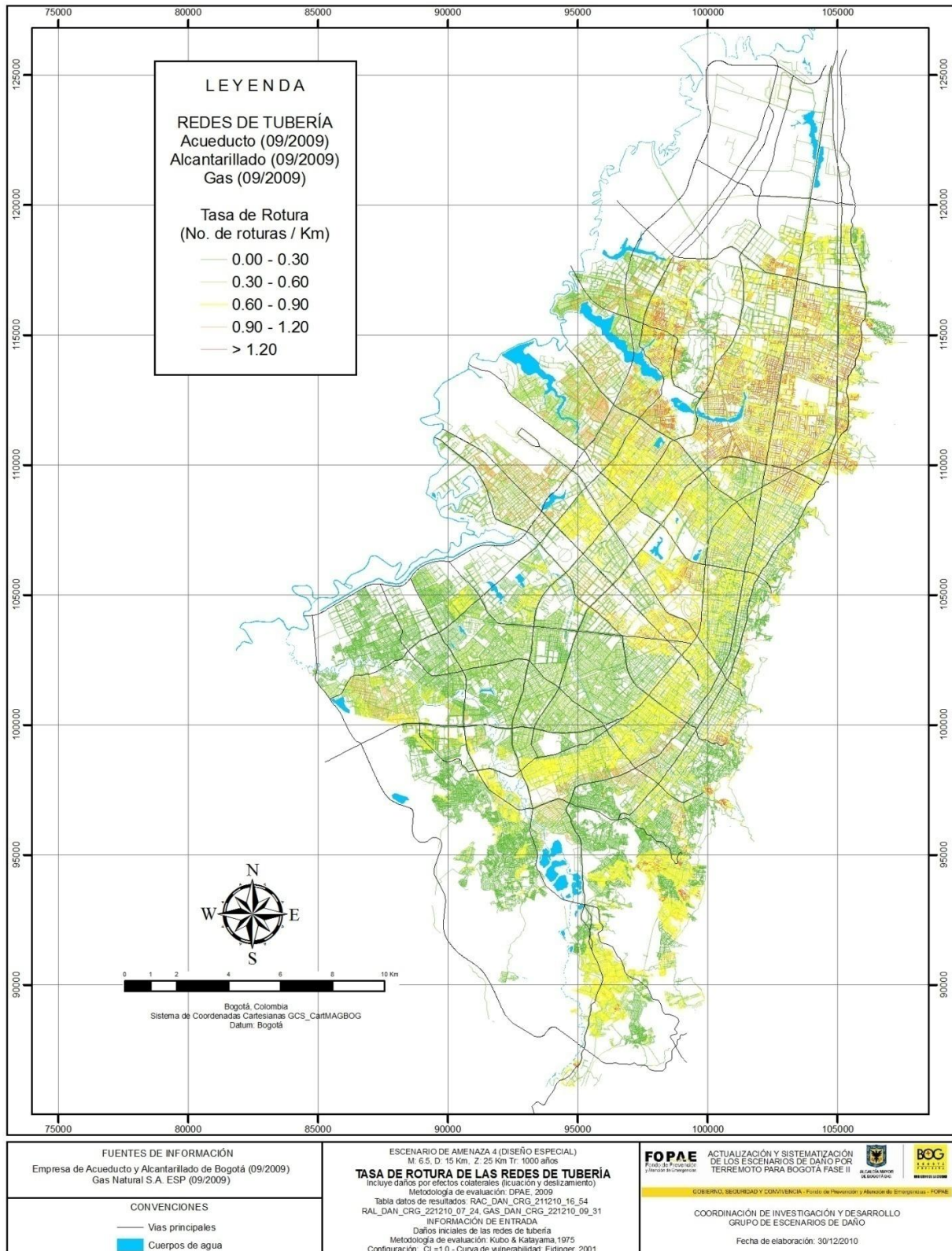


Figura 9.9. Mapa de resultados de daño secundario de la red de tuberías

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 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 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

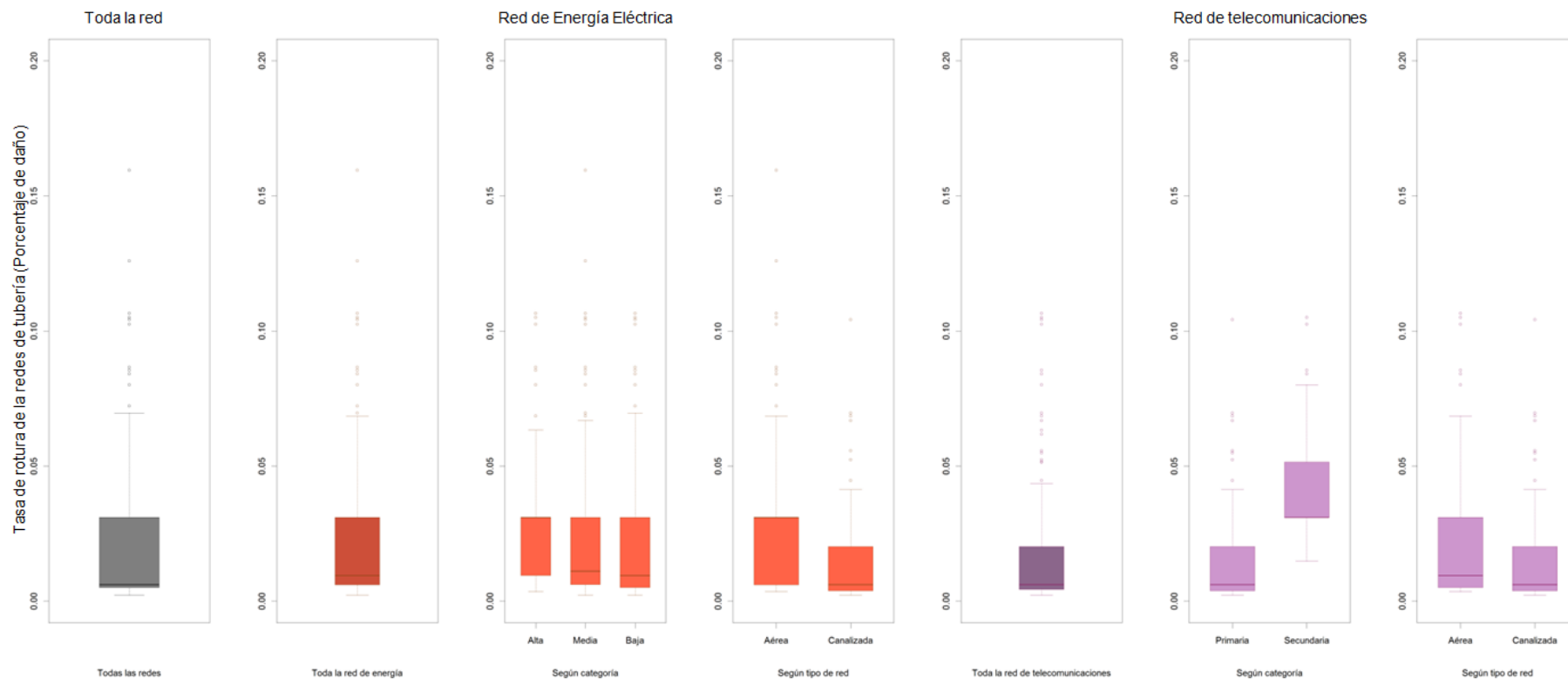


Figura 9.10. Resumen resultados de daño secundario de la red de cableado

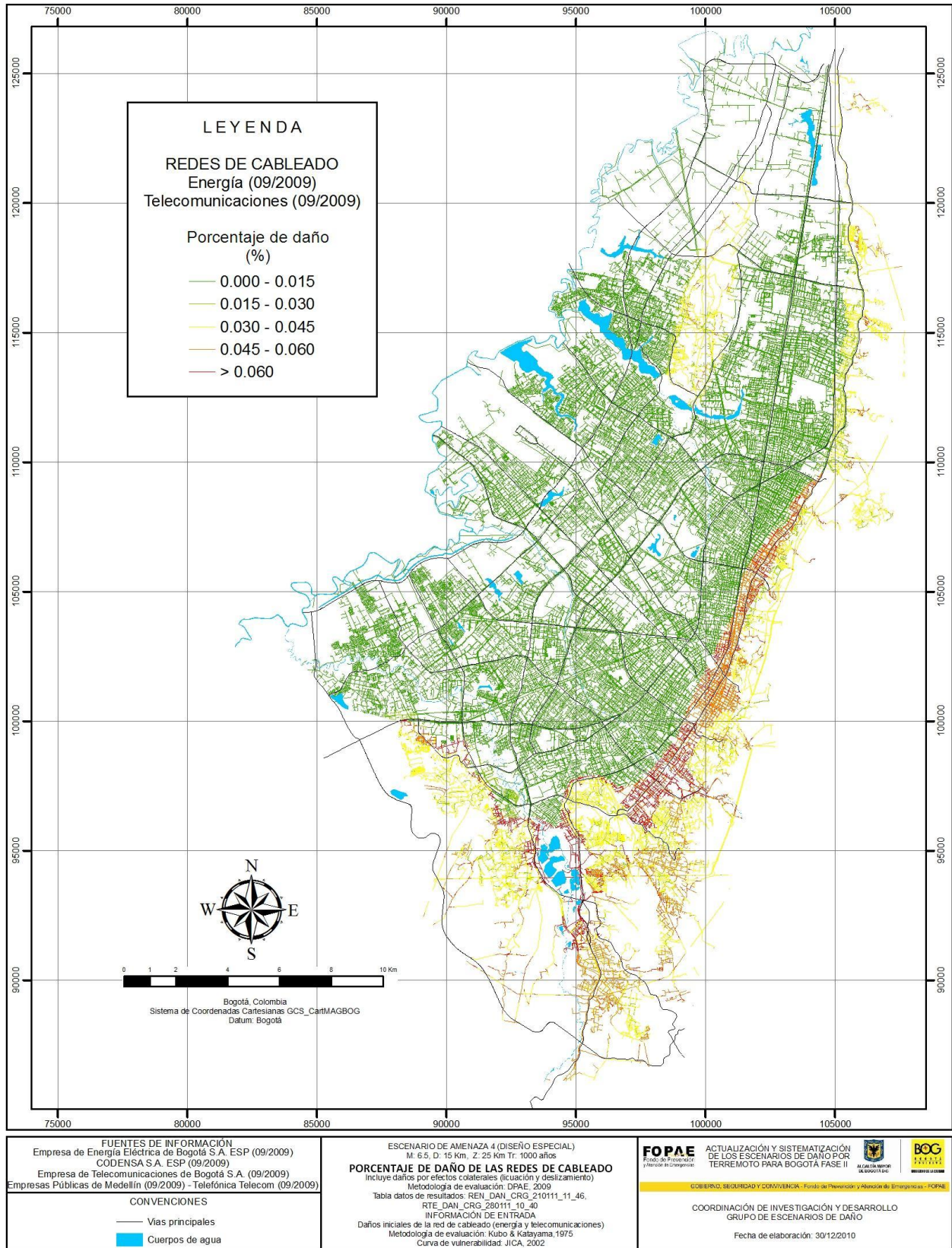


Figura 9.11. Mapa de resultados de daño secundario de la redes de cableado

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.

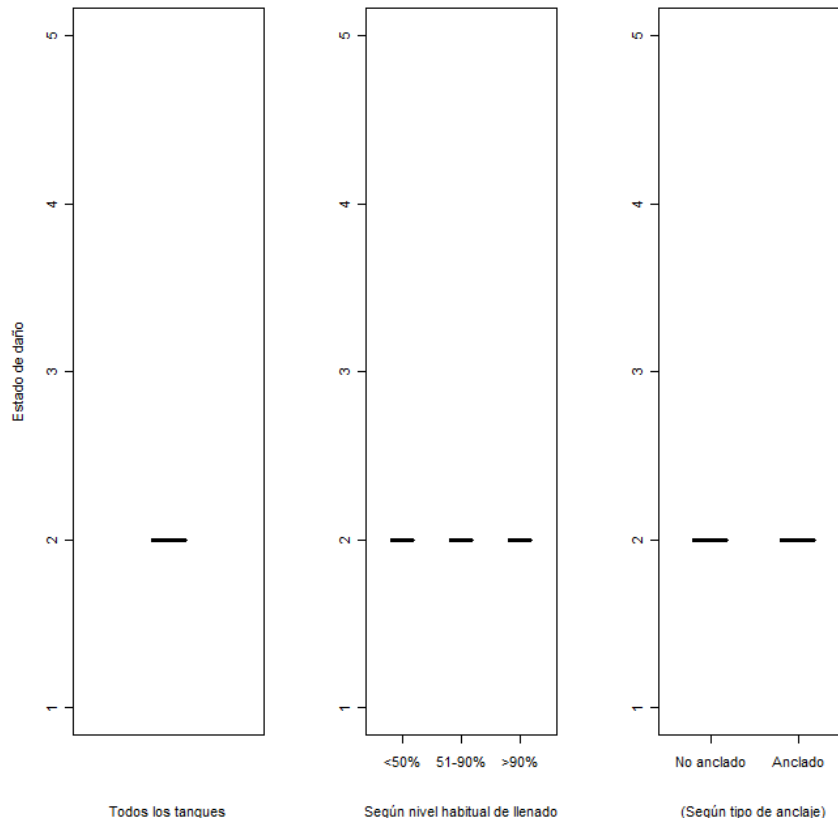


Figura 9.12. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los tanques de almacenamiento

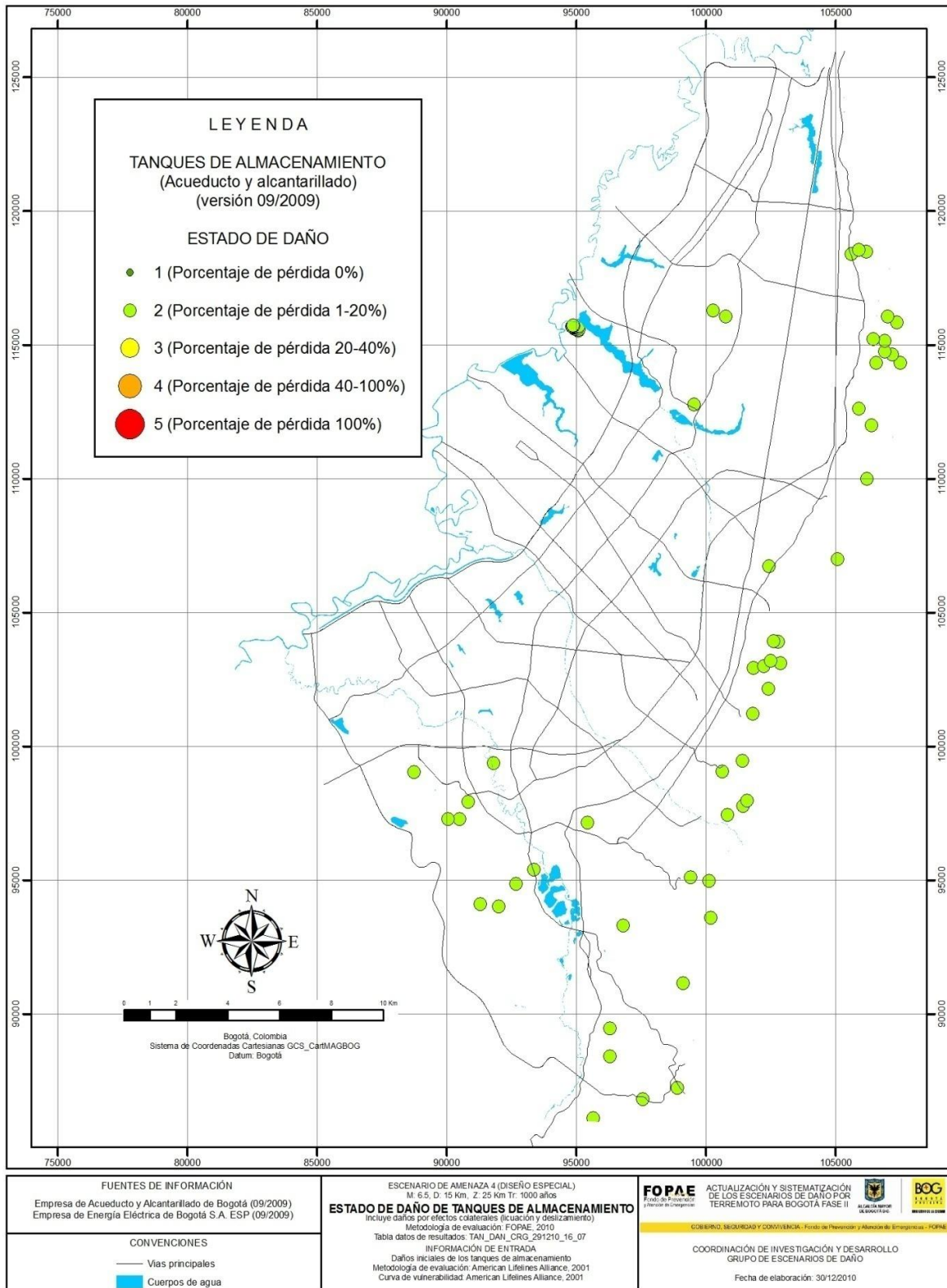


Figura 9.13. Mapa de resultados de daño secundario de los tanques de almacenamiento

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.

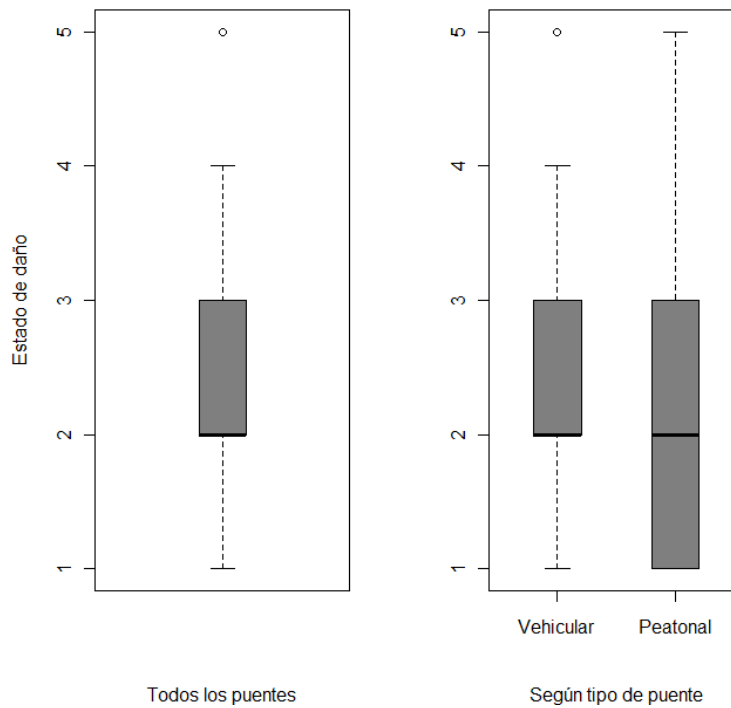


Figura 9.14. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los puentes vehiculares y peatonales

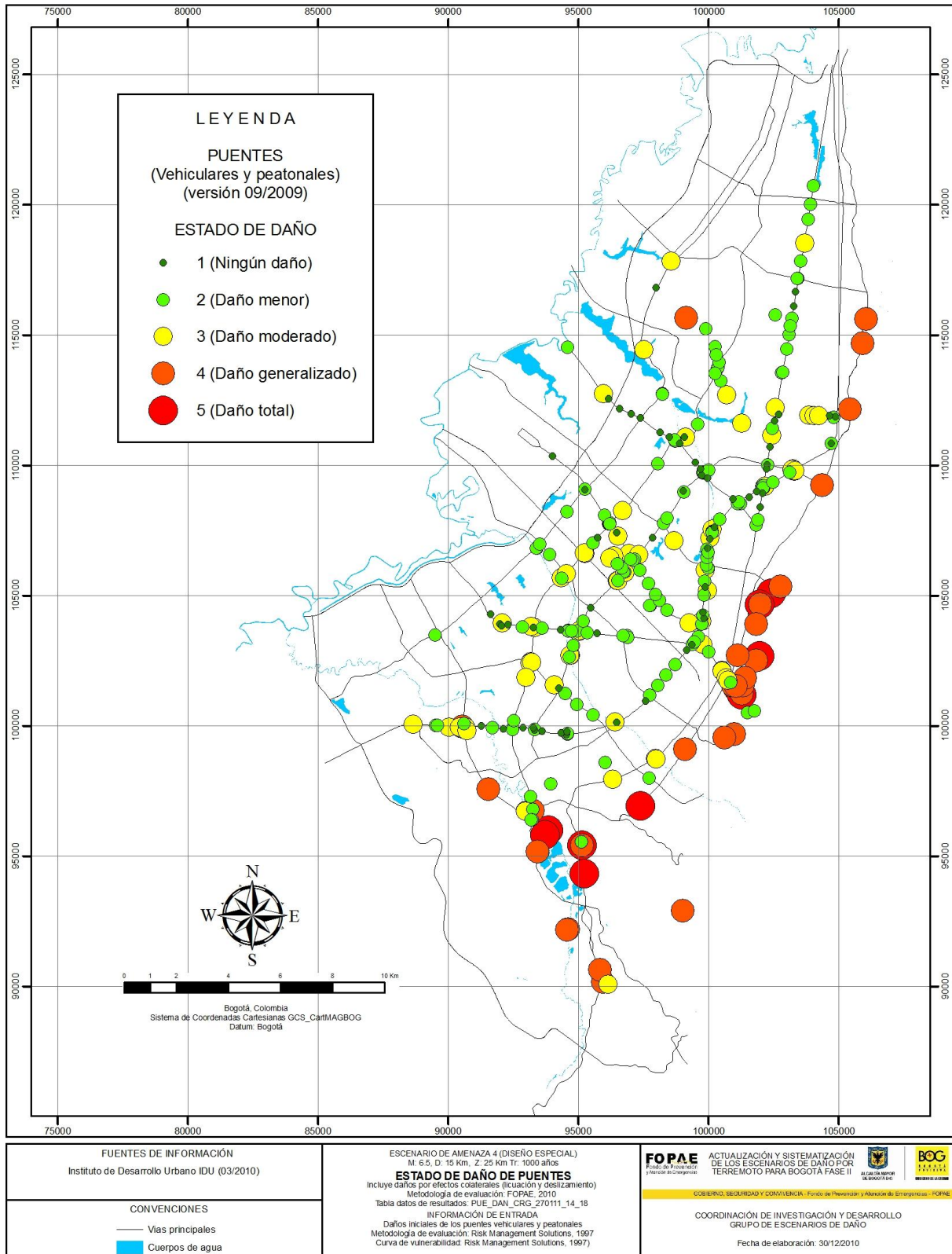


Figura 9.15. Mapa de resultados de daño secundario en puentes vehiculares y peatonales

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.

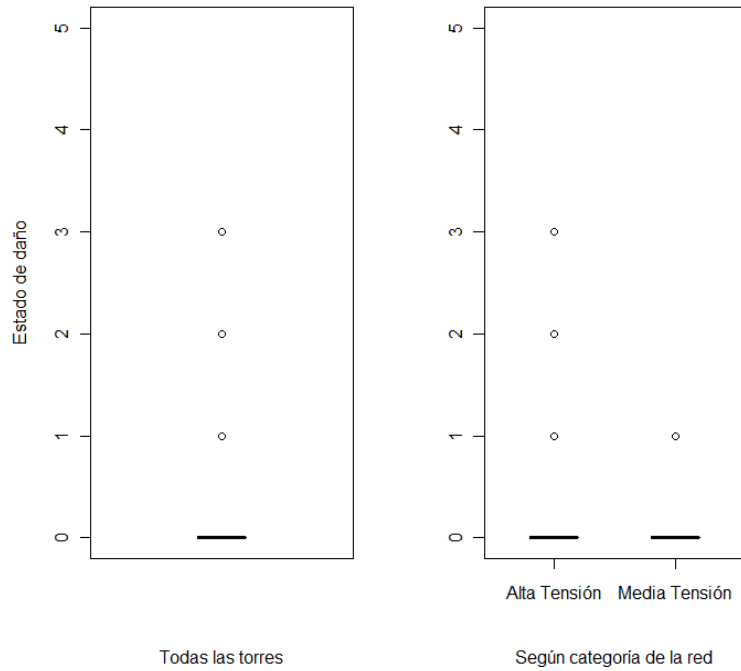


Figura 9.16. Resumen de resultados de estado de daño secundario de las torres de la red de energía eléctrica

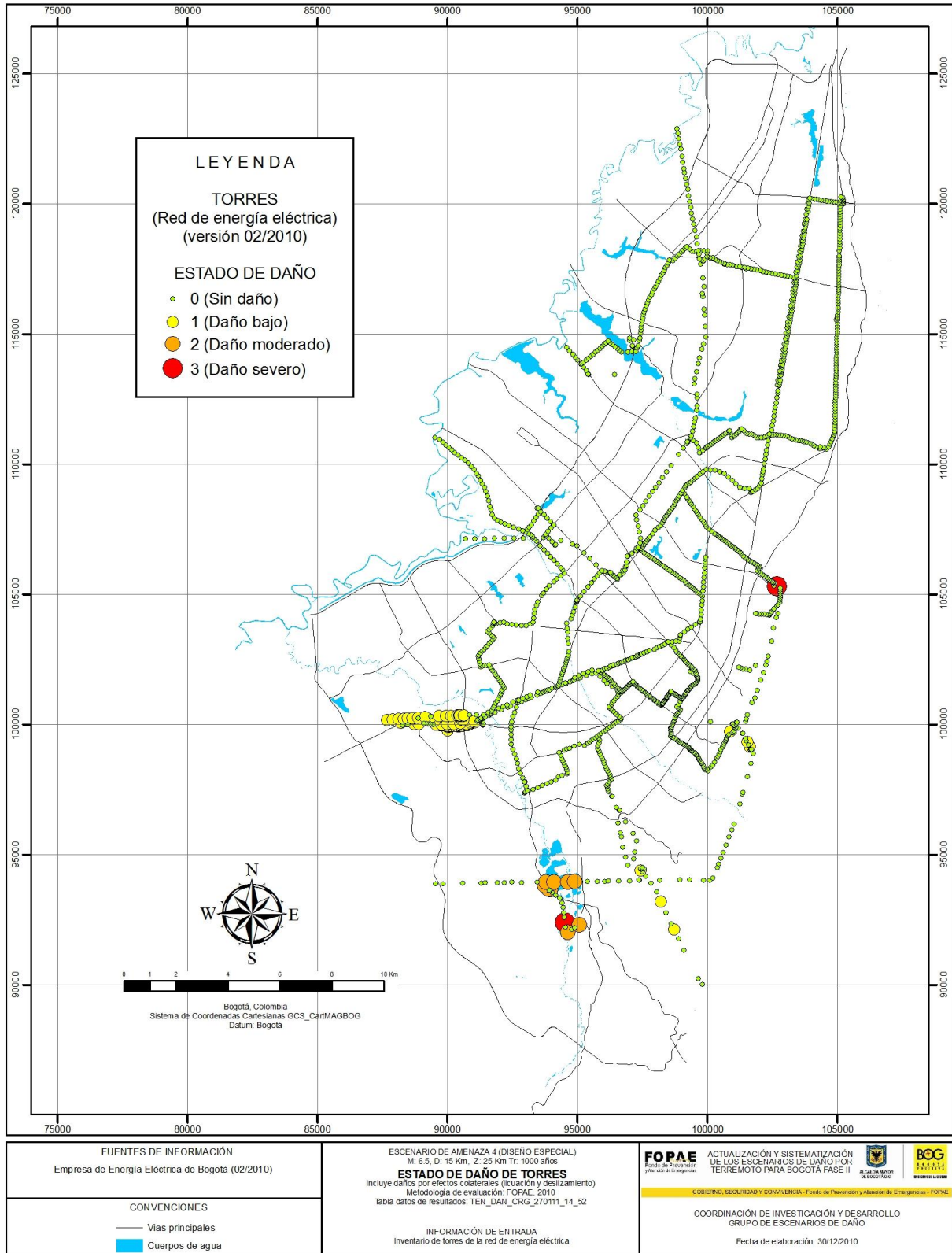


Figura 9.17. Mapa de resultados de daño secundario en torres de la red de energía eléctrica

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.

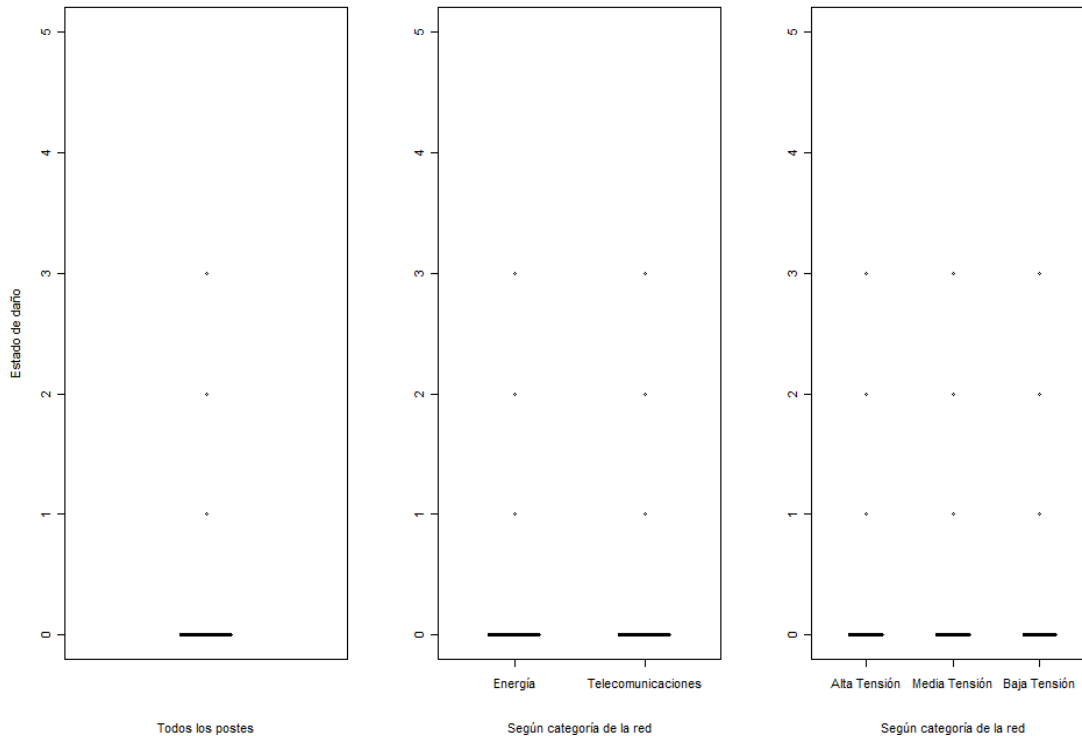


Figura 9.18. Resumen de resultados de estado de daño secundario de los postes de la red de energía eléctrica y de telecomunicaciones

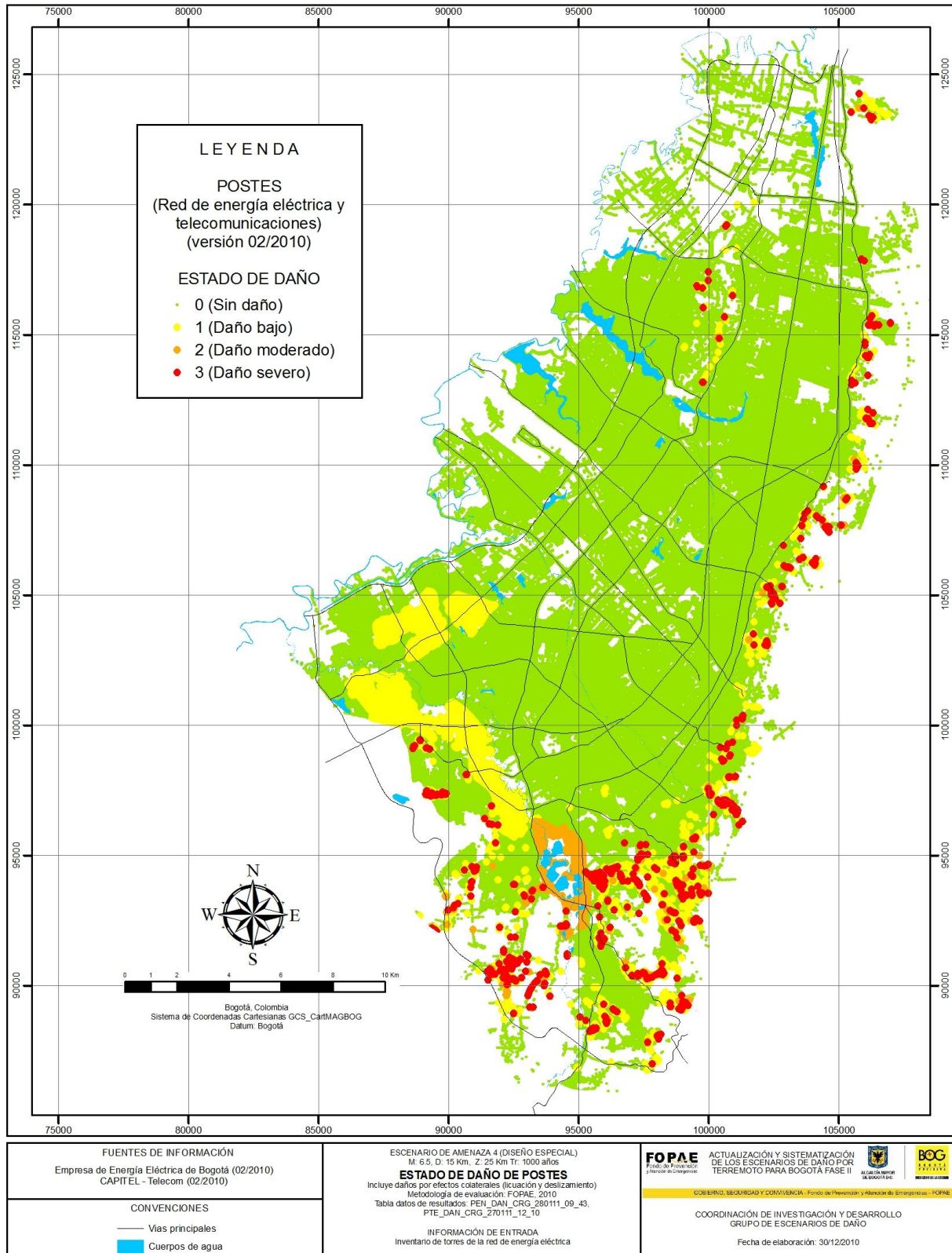


Figura 9.19. Mapa de resultados de daño secundario en los postes de la red de energía eléctrica y telecomunicaciones

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).

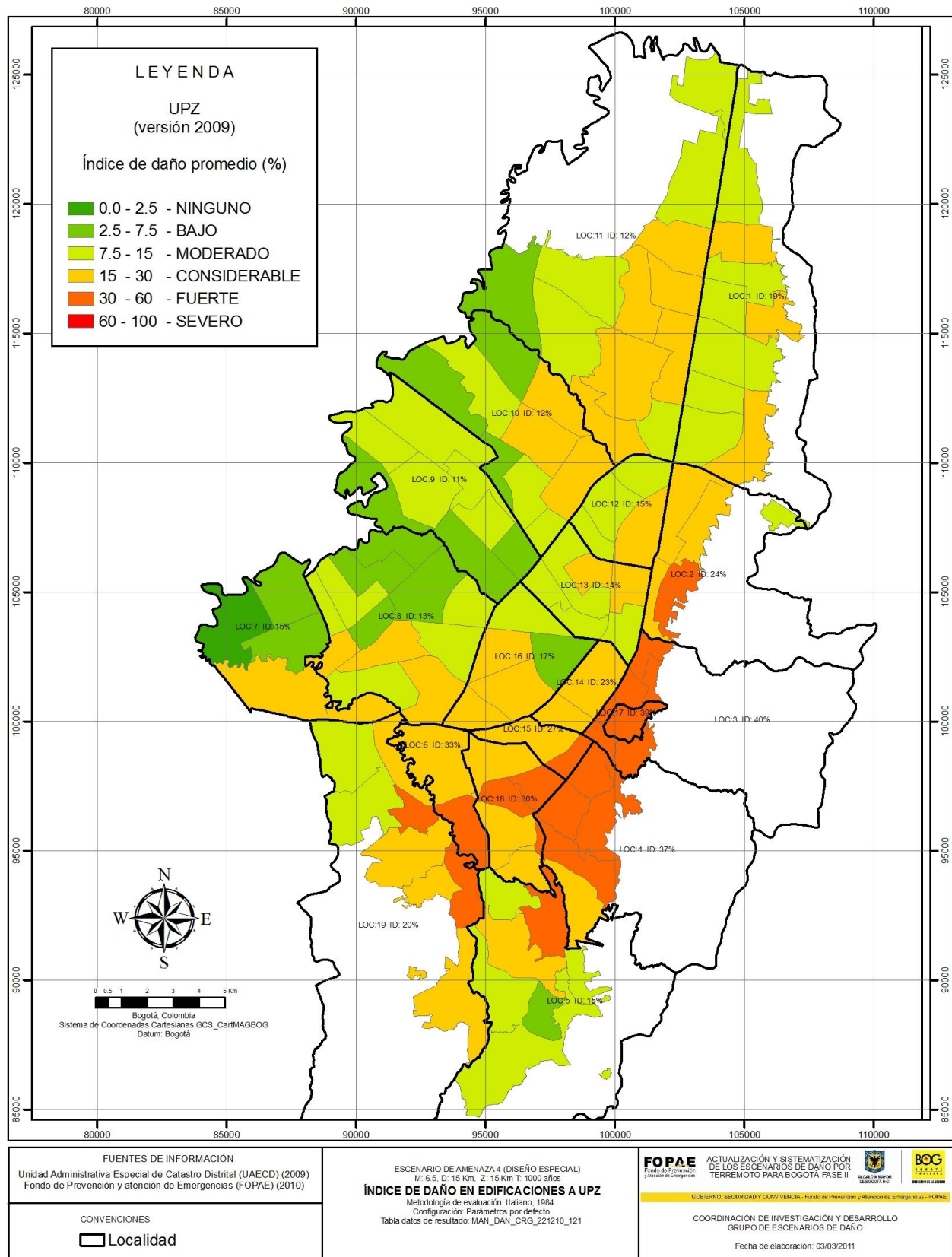
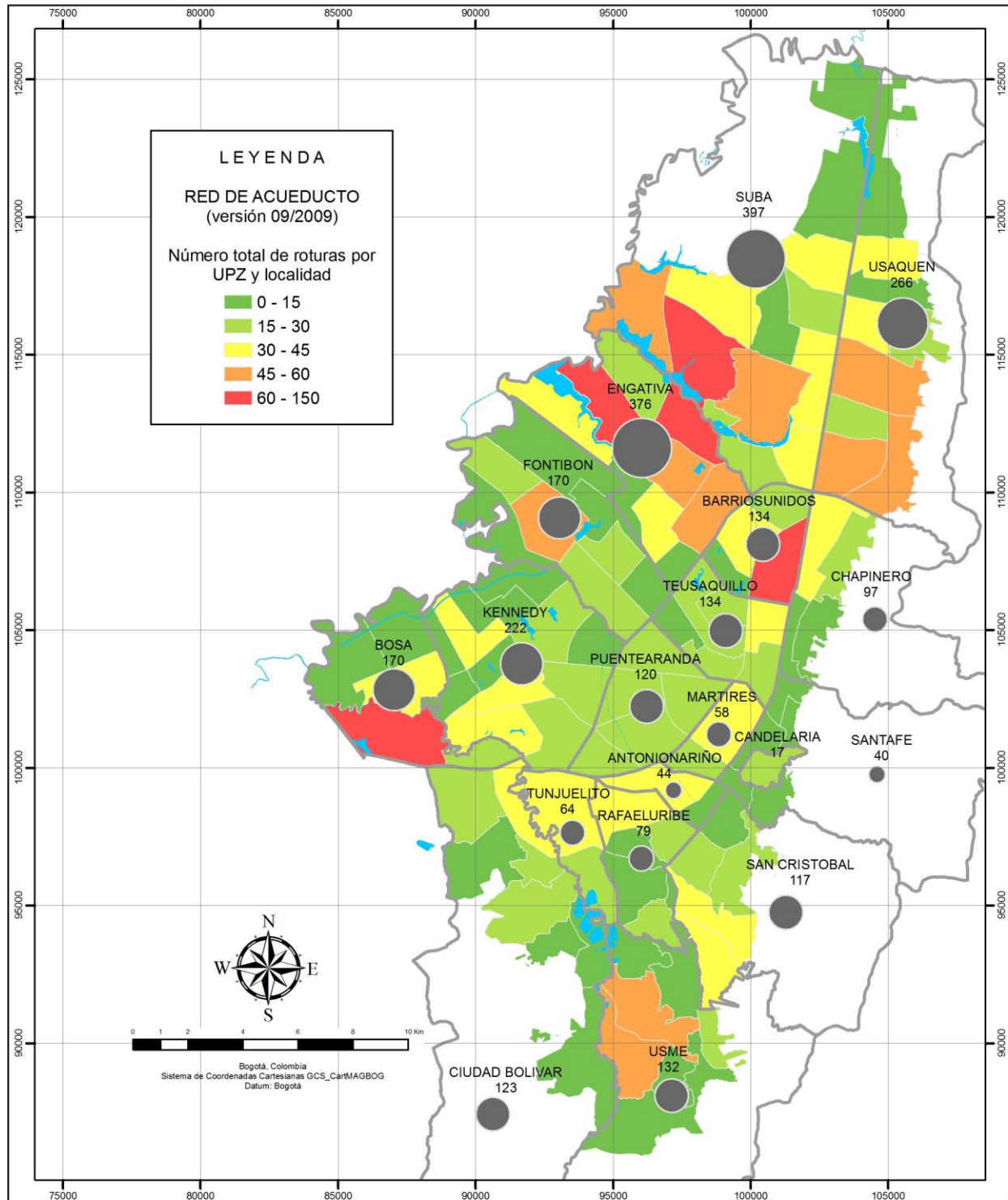


Figura 9.20. Índice de daño secundario promedio a Localidad y UPZ



<p>FUENTES DE INFORMACIÓN</p> <p>Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (09/2009)</p>	<p>ESCUENARIO DE AMENAZA 4 (DISEÑO ESPECIAL) M: 6.5, D: 15 Km, Z: 25 Km Tr: 1000 años</p> <p>NUMERO DE ROTURAS - RED DE ACUEDUCTO Incluye daños por efectos colaterales (licuación y deslizamiento) Metodología de evaluación: DPAE, 2009 Tabla datos de resultados: RAC_DAN_CRG_211210_16_54</p> <p>INFORMACIÓN DE ENTRADA Daños iniciales de la red de acueducto Metodología de evaluación: Kubo & Kitayama, 1975 Configuración: CL=1.0 - Curva de vulnerabilidad: Eidinger, 2001</p>	<p>FOPAE Fondo de Prevención y Atención Emergencias</p> <p>ACTUALIZACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE DAÑO POR TERREMOTO PARA BOGOTÁ FASE II</p> <p>GOBIERNO, SEGURIDAD Y CONVIVENCIA - Fondo de Prevención y Atención de Emergencias - FOPAE</p> <p>COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO GRUPO DE ESCENARIOS DE DAÑO</p> <p>Fecha de elaboración: 30/12/2010</p>
<p>CONVENCIONES</p> <p> Cuerpos de agua</p>		

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

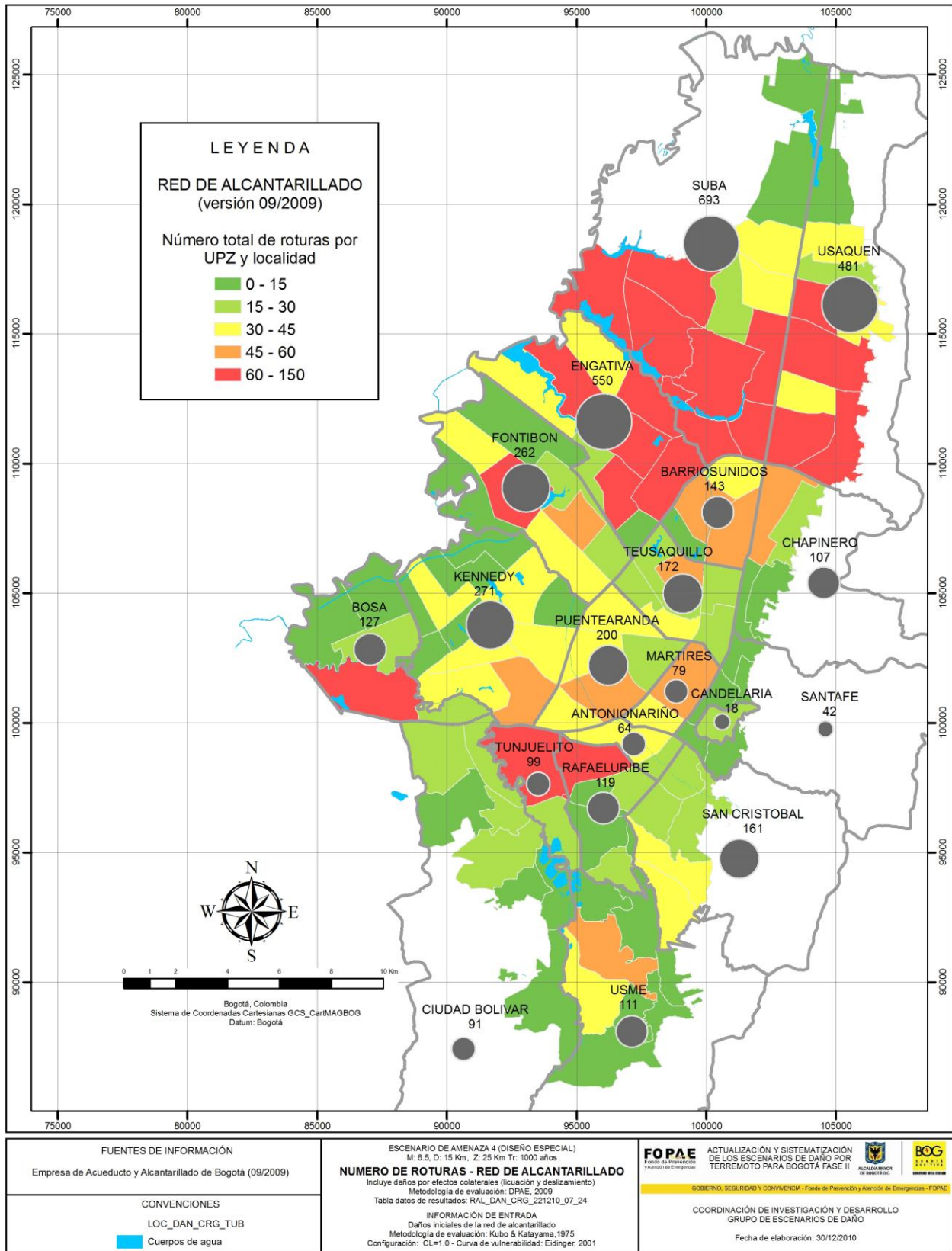


Figura 9.22. Resultados daño secundario red de alcantarillado - Número total de roturas por UPZ y localidad

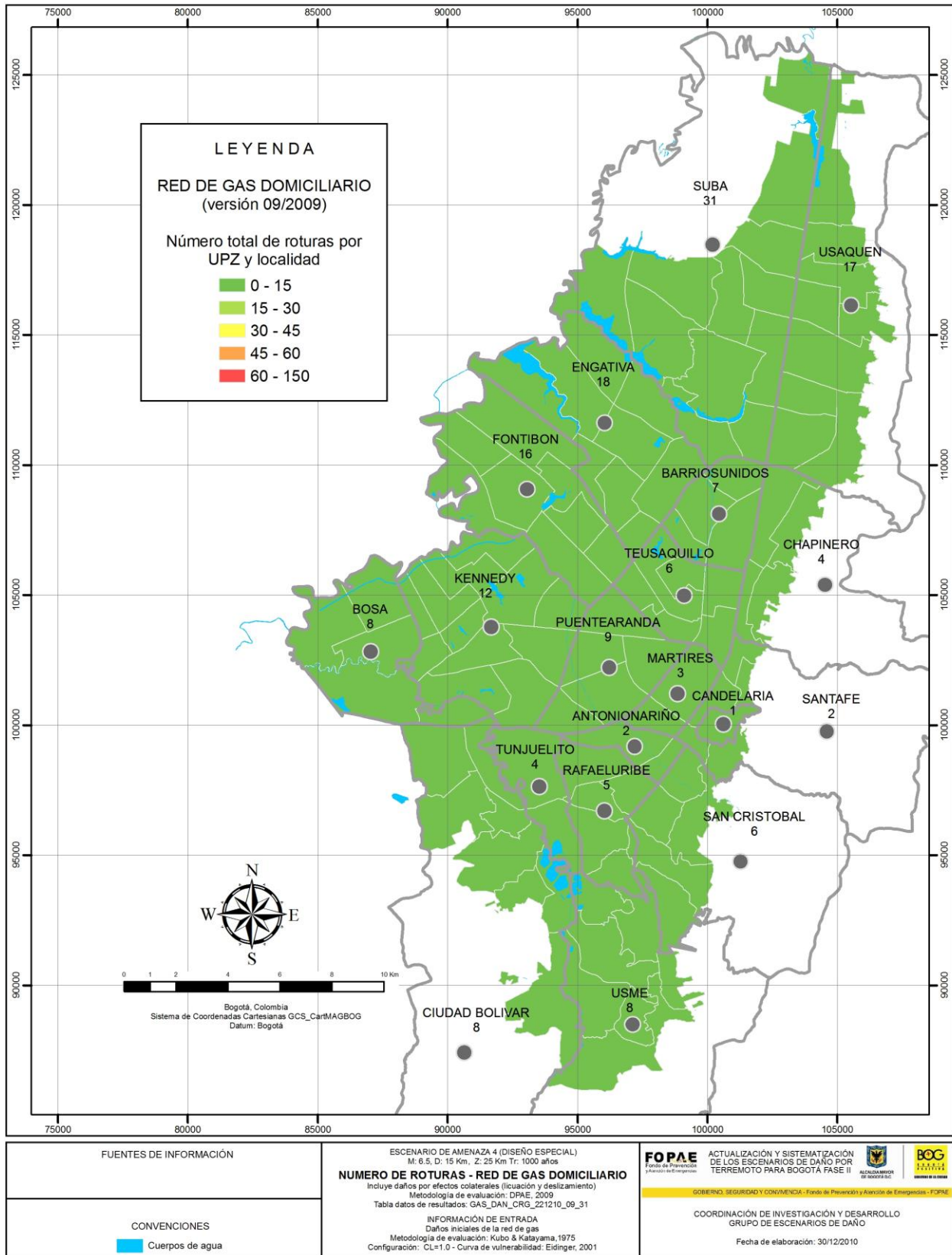


Figura 9.23. Resultados daño secundario red de gas domiciliario - Número total de roturas por UPZ y localidad

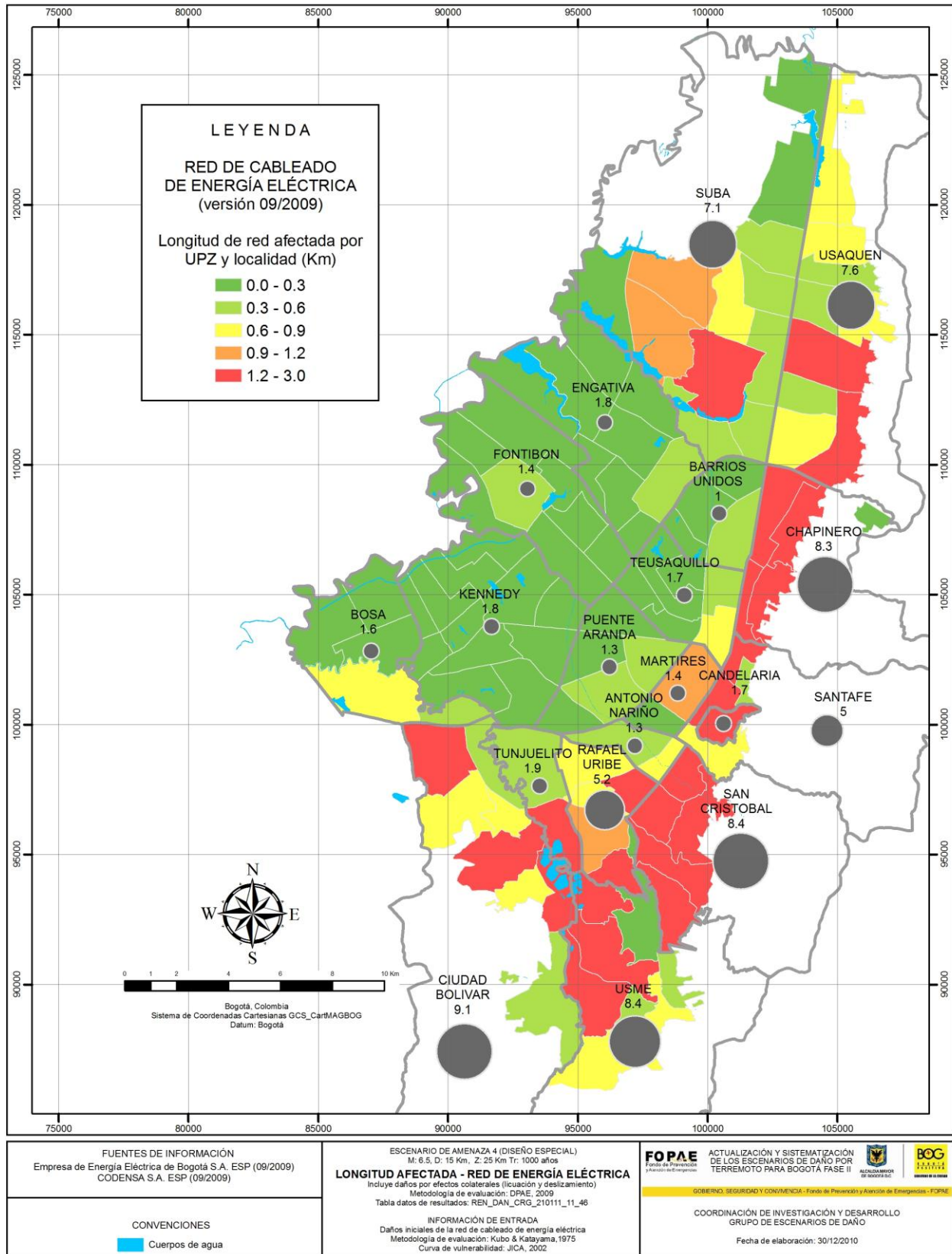


Figura 9.24. Resultados daño secundario red de energía eléctrica - Longitud afectada por UPZ y localidad

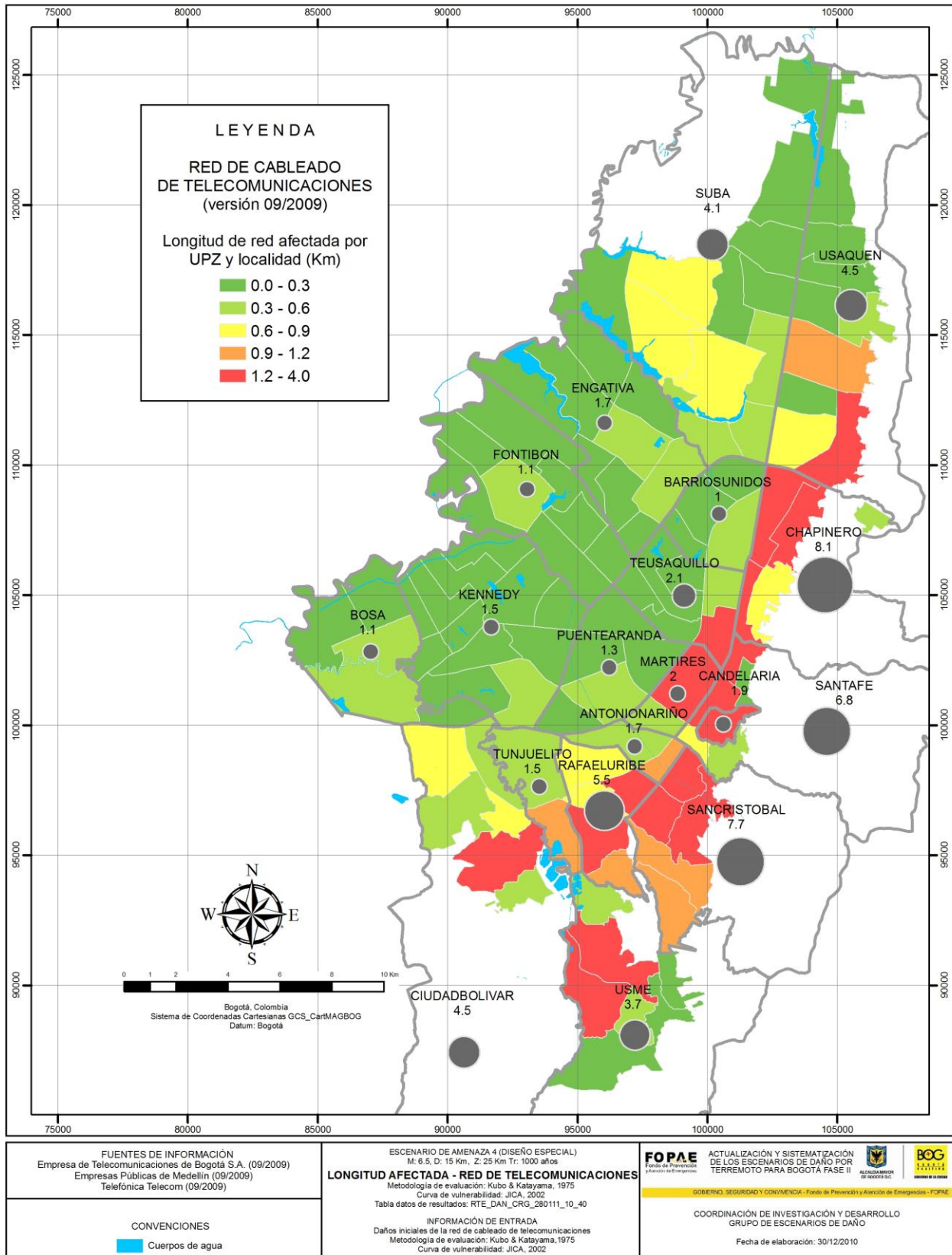


Figura 9.25. Resultados daño secundario red de telecomunicaciones - Longitud afectada por UPZ y localidad

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 serían 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). Especialmente 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.

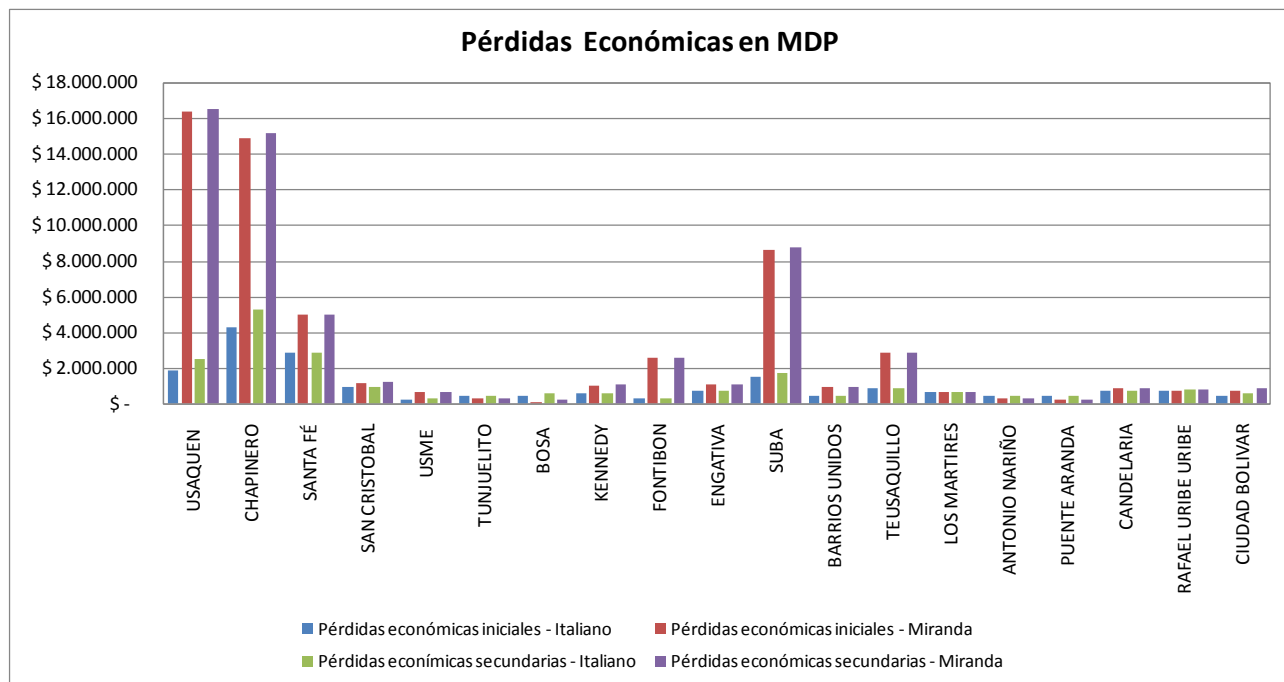


Figura 9.26. Pérdidas económicas en MDP para daños iniciales y secundarios

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 iniciales 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**).

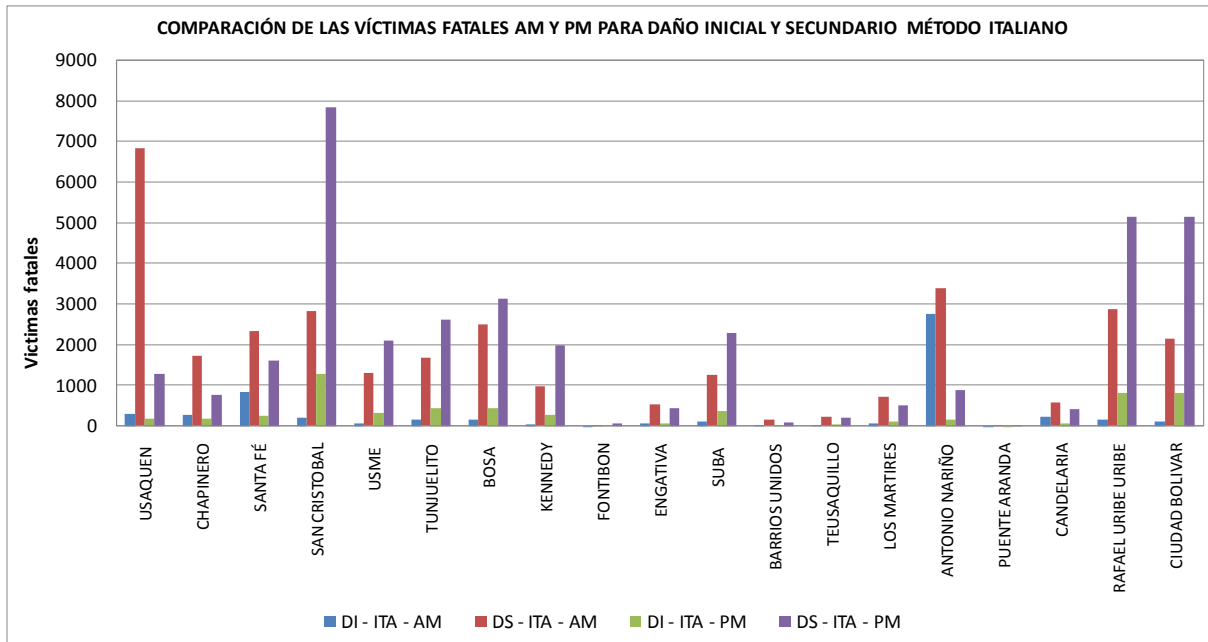


Figura 9.27. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Italiano

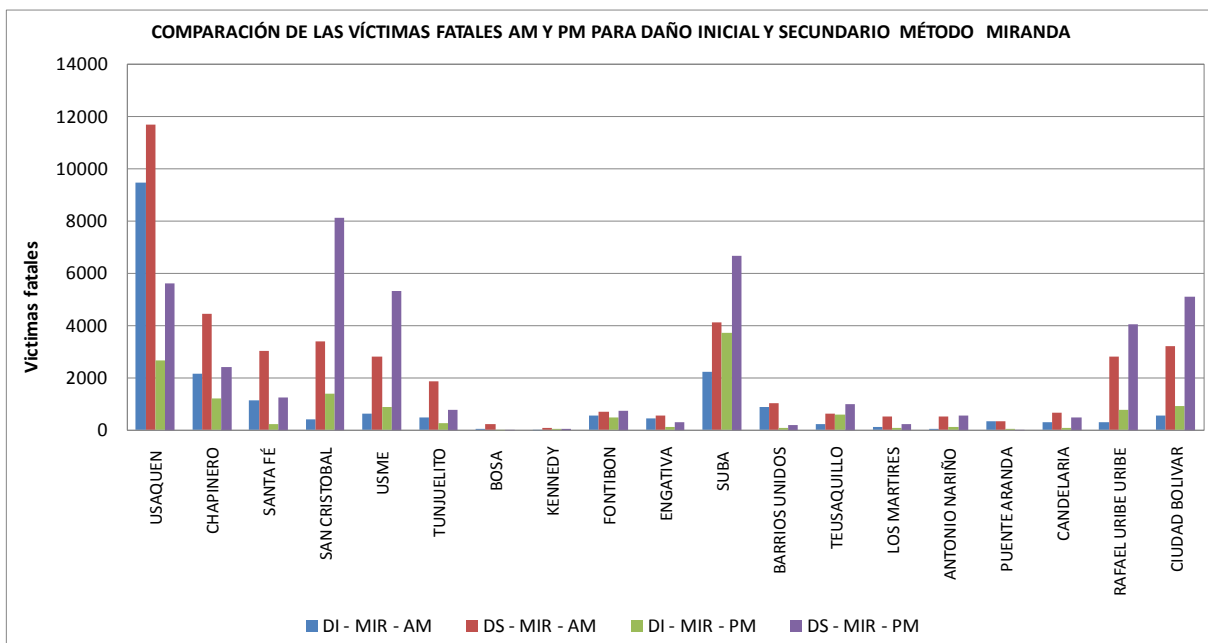
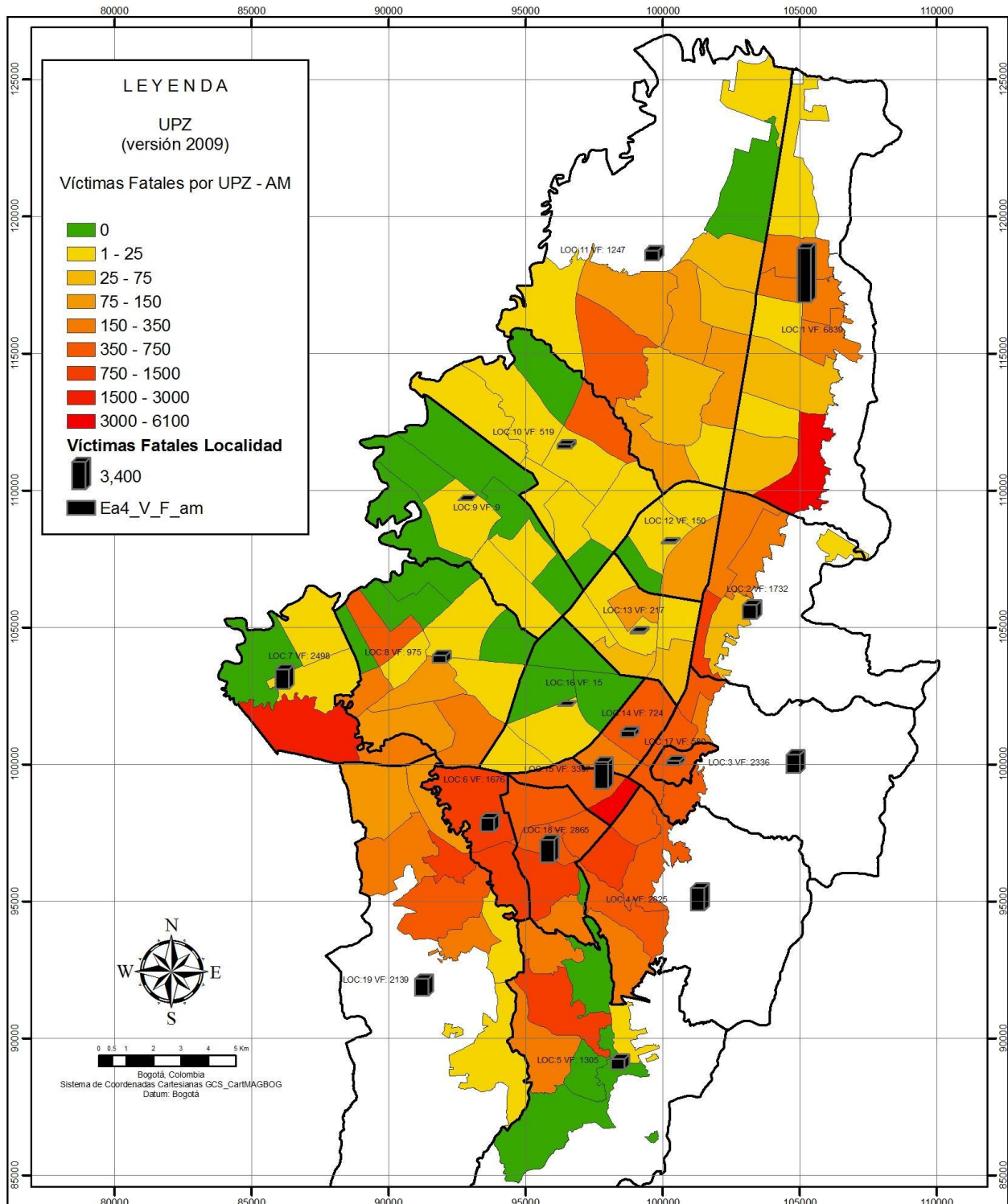


Figura 9.28. Comparación de víctimas fatales por daño inicial y secundario método Miranda



<p>FUENTES DE INFORMACIÓN</p> <p>Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital (UAECD) (2009) Fondo de Prevención y atención de Emergencias (FOPAE) (2010)</p>	<p>ESCUENARIO DE AMENAZA 4 (DISEÑO ESPECIAL) M: 6.5, D: 15 Km, Z: 15 Km T: 1000 años</p> <p>DAÑOS AFECTACIONES Y PÉRDIDAS</p> <p>Metodología de evaluación: Corbun y Spence, 1992 Configuración: Parámetros por defecto Tabla datos de resultado: MAN_AYP_221210_211</p>	<p>FOPAE ACTUALIZACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE DAÑO POR TERREMOTO PARA BOGOTÁ FASE II</p> <p>GOBIERNO, SEGURIDAD Y CONVIVENCIA - Fondo de Prevención y Atención de Emergencias - FOPAE</p>
<p>Convenciones</p> <p>Localidad</p>	<p>COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO GRUPO DE ESCENARIOS DE DAÑO</p> <p>Fecha de elaboración: 18/04/2011</p>	

Figura 9.29. Víctimas fatales en el día

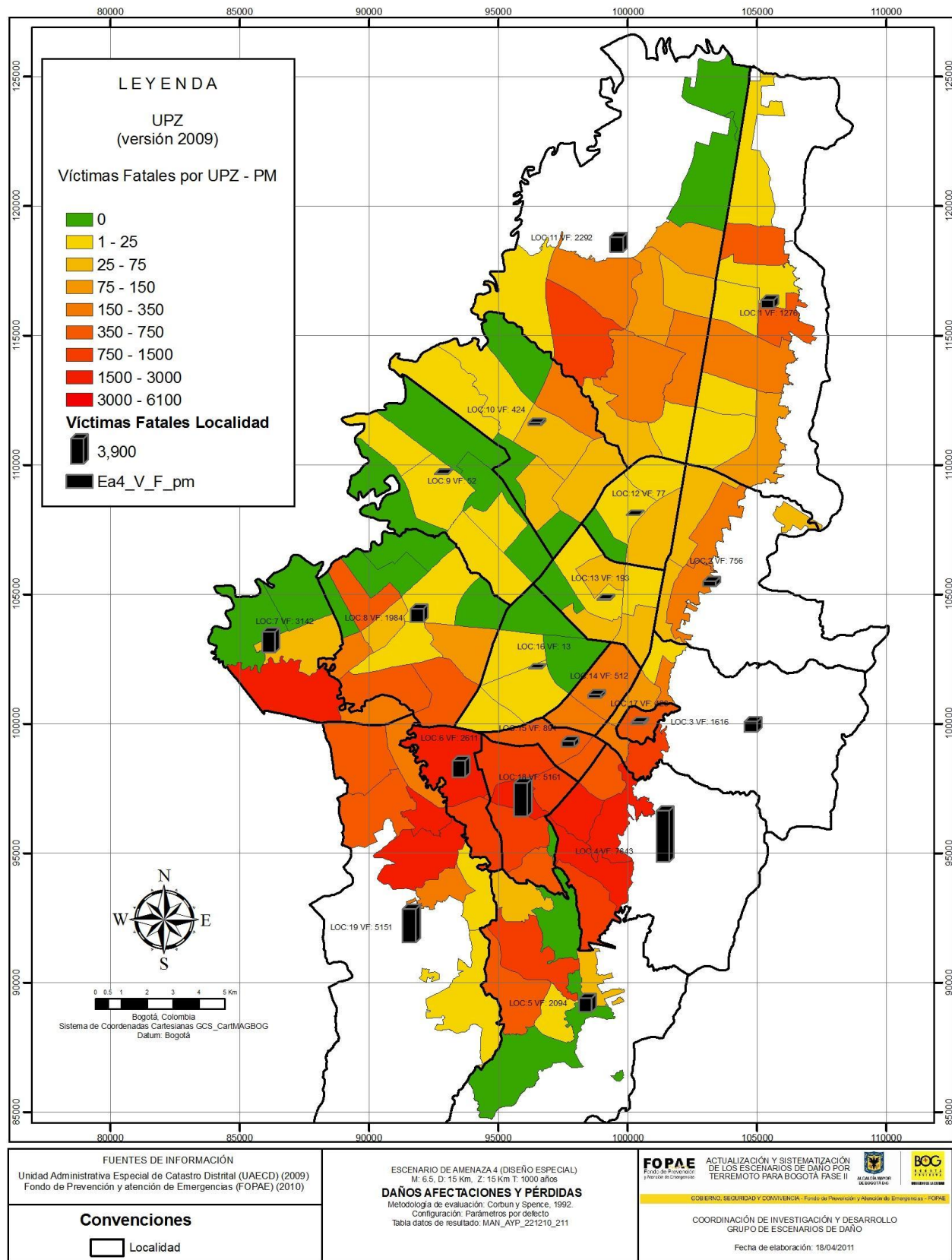


Figura 9.30. Víctimas fatales en la noche

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 recopiló 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 MI	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 \geq 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 \geq 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 \geq 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 \geq 2	No	2	2	11	11
Daño Telecomunicaciones	Km	3.29	21.91	30.52	61.87
Daño Postes DS \geq 2	No	56	62	234	226
Daño Puentes DS \geq 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 transferencia 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 Earthquake on the Seattle Fault. Earthquake Engineering Research Institute and the Washington Military Department Emergency Management Division. USA.

FOPAE. (2010). Zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño de sismorresistente 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, Gyaquil-Ecuador, Antofagasta-Chile, Skopje-FYROM, Izmir-Turkey, Addis Ababa-Ethiopia, Tachkent-Uzbekistan, 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.