

Capítulo 3
Análisis de Vulnerabilidad

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

3.1 Evaluación de Amenaza

3.1.1 Sismo

1) Evaluación de Amenaza en Colombia

En 1996 la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, la Universidad de Los Andes e INGEOMINAS elaboraron Mapas de Riesgo Sísmico para el territorio colombiano, con el fin de determinar Parámetros Colombianos para diseño de Construcciones Sismorresistentes.

El estudio de evaluación de riesgo usó la base de datos que cataloga 11,088 eventos sísmicos, y evaluó las actividades de 32 fallas sísmicas identificadas.

En forma paralela a la organización de la información histórica disponible sobre sismos, el estudio también preparó un mapa de aceleración pico efectiva con el 10% de probabilidad de excedencia en 50 años (Aa) para todo el territorio de Colombia, y el umbral de aceleración para ser usado en el diseño de instalaciones esenciales (Ad), el cual es compatible con los requisitos de los parámetros colombianos.

Como resultado, el territorio de Colombia está clasificado en nueve zonas según la máxima aceleración esperada, tal como se muestra en la Figura 3.1.1. El potencial de amenaza sísmica en el área de estudio está clasificado como nivel medio, y los valores Aa y Ad de la ciudad y los municipios se presentan en la tabla 3.1.1

Tabla 3.1.1 Aa y Ad por Ciudad/Municipio en el Área de Estudio

Municipality	Aa (g)	Ad	Hazard level zone
Bogota	0.2	0.04	Medium
Chia	0.2	0.04	Medium
Cota	0.2	0.04	Medium
La Calera	0.2	0.04	Medium
Facatativa	0.2	0.04	Medium
Funza	0.2	0.04	Medium
Madrid	0.2	0.04	Medium
Mosquera	0.2	0.04	Medium
Soacha	0.2	0.04	Medium

Fuente: Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia, AIS, 1996



Fuente: Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia, AIS, 1996

Figura 3.1.1 Clasificación de acuerdo a la Aceleración Máxima Esperada en Colombia

2) Evaluación de la Amenaza Sísmica en Cundinamarca

La gobernación de Cundinamarca e INGEOMINAS estudiaron los desastres ambientales en Cundinamarca durante el período de 1923-1997. Los eventos reportados en los principales periódicos han sido recolectados y estudiados; estos resultados se muestran en la Tabla 3.1.2. Entre los desastres ambientales, los sismos ocurrieron 68 veces, y el evento que causó mayor daño tuvo lugar en 1923.

Tabla 3.1.2 Daños a La Población debido a Desastres Ambientales en Cundinamarca

Event type	No. of event	Human damage		
		Dead	Injured	Affected
Earthquake	68	40	107	915
Inundation	248	16	18	514,931
Flood	57	82	28	5,933
Fire	46	8	1	1,550
Contamination	11	0	0	0
Landslide	121	783	33	9,719
Hurricane	20	4	13	2,001
Dries	16	0	0	0
Tempest	60	13	7	795
Total	647	946	207	535,844

Fuente: Catalogo de desastres ambientales de Cundinamarca, Gobernación de Cundinamarca, INGEOMINAS, 1997

Las víctimas y otros daños causados por los sismos ocurridos en el área de estudio se resumen en la tabla 3.1.3.

Tabla 3.1.3 Resumen de Daños Debidos a Sismos en cada Municipio

Municipality	No. Of event	Human damage			Property damage							
		Dead	Injured	Evacuated	Roads	Pub. Services	Life lines	Buildings	Farmland	Forests	Domestic animals	Others
Bogotá D.C.	29	25	102	900	2	2	2	10	1	1	0	2
Chía	2							1				
Cota												
Facatativá	1							1				
Funza												
La Calera												
Madrid												
Mosquera												
Soacha	2								2			
Total	34	25	102	900	2	2	2	12	3	1	0	2
Cundinamarca	68	40	107	915								

Fuente: Catálogo de desastres ambientales de Cundinamarca, Gobernación de Cundinamarca, INGEOMINAS, 1997

Además, la gobernación de Cundinamarca tiene un “Mapa de iso-aceleraciones”, basado en un estudio de amenaza sísmica a nivel nacional realizado por INGEOMINAS en 1996. Sin embargo, aún está por hacerse un modelo geológico de micro zonificación en Cundinamarca.

3.1.2 Deslizamientos

1) Área de Amenaza

(1) Información

El Equipo de estudio ha preparado un formato de datos para compilar los desastres por deslizamiento de tierra en los últimos cinco años, e identificar las pendientes de amenaza en el área de estudio en cuestión. El formato de datos cubre el lugar y la fecha, si está registrada, así como el tipo de desastre, las causas inherentes, la tasa de actividad, y los daños causados (víctimas humanas y daños a la propiedad, u objetos potenciales que deben ser protegidos). Incluye también las acciones tomadas después de los desastres y la evaluación de riesgo en términos de urgencia y la escala de los objetos que deben ser protegidos. Los formatos de “diagnóstico” documentados mediante la observación de campo por la DPAE fueron usados como datos básicos en Bogotá. Los artículos de los principales periódicos fueron la fuente de información para los municipios de Cundinamarca.

En forma previa a la inspección de campo, el Equipo de Estudio realizó la interpretación de fotografías aéreas tomadas en 1993, 1994, 1996, 1997, y 1998, para identificar las pendientes con mayor grado de amenaza.

Las imágenes tridimensionales satelitales tomadas en Marzo del 2001 también se usaron para estudiar los cambios geomorfológicos, la vegetación y los deslizamientos ocurridos después de 1998. Las imágenes satelitales fueron tomadas por ASTER (Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection radiometer), usando una banda visible con una resolución de 15 m sobre la superficie del suelo. Las imágenes satelitales fueron usadas para complementar la información obtenida mediante las fotografías aéreas.

La inspección de campo realizada sobre sitios típicos se llevó a cabo para verificar su situación y para revisar los datos resultantes de la interpretación de las fotografías.

(2) Evaluación

El Equipo de Estudio evaluó los riesgos potenciales en las locaciones identificadas con presencia de posibles casos de desastre por deslizamiento, con base en documentos de diagnóstico de la DPAE y en la inspección de campo.

El principal factor usado en la evaluación es la urgencia de mitigar los daños a la población mediante medidas no estructurales como la evacuación. El factor secundario es la escala de los objetos a ser protegidos, cuyo daño es difícilmente evitable mediante medidas no estructurales.

Factor principal: Urgencia por mitigar el daño:

- El desastre por deslizamiento causaría víctimas.
- El desastre causaría daños durante varios días después de ocurrido.

Factor secundario: La escala de los daños potenciales:

- Para prevención, el desastre por deslizamiento afectaría más de dos objetos.
- El desastre por deslizamiento afectaría un solo objeto a proteger, o causaría sólo daños insignificantes.

Utilizando los dos factores mencionados anteriormente, las áreas de pendientes con amenaza de deslizamiento se clasifican en los tres grados mostrados en la Tabla 3.1.4.

Tabla 3.1.4 Evaluación para la Clasificación de Pendientes Riesgosas

Urgency of evacuation	Scale of damage	Influent to multiple and large facilities	Influent to single and/or minor facilities
		a	b
Urgent	A	Aa→Grade 1	Ab→Grade 1
Dangerous in a few days after disaster	B	Ba→Grade 2	Bb→Grade 3

Las ideas básicas para la atención en el futuro se describen a continuación:

- Grado 1 (Aa, Ab): Son necesarias medidas estructurales o reubicación de los habitantes.

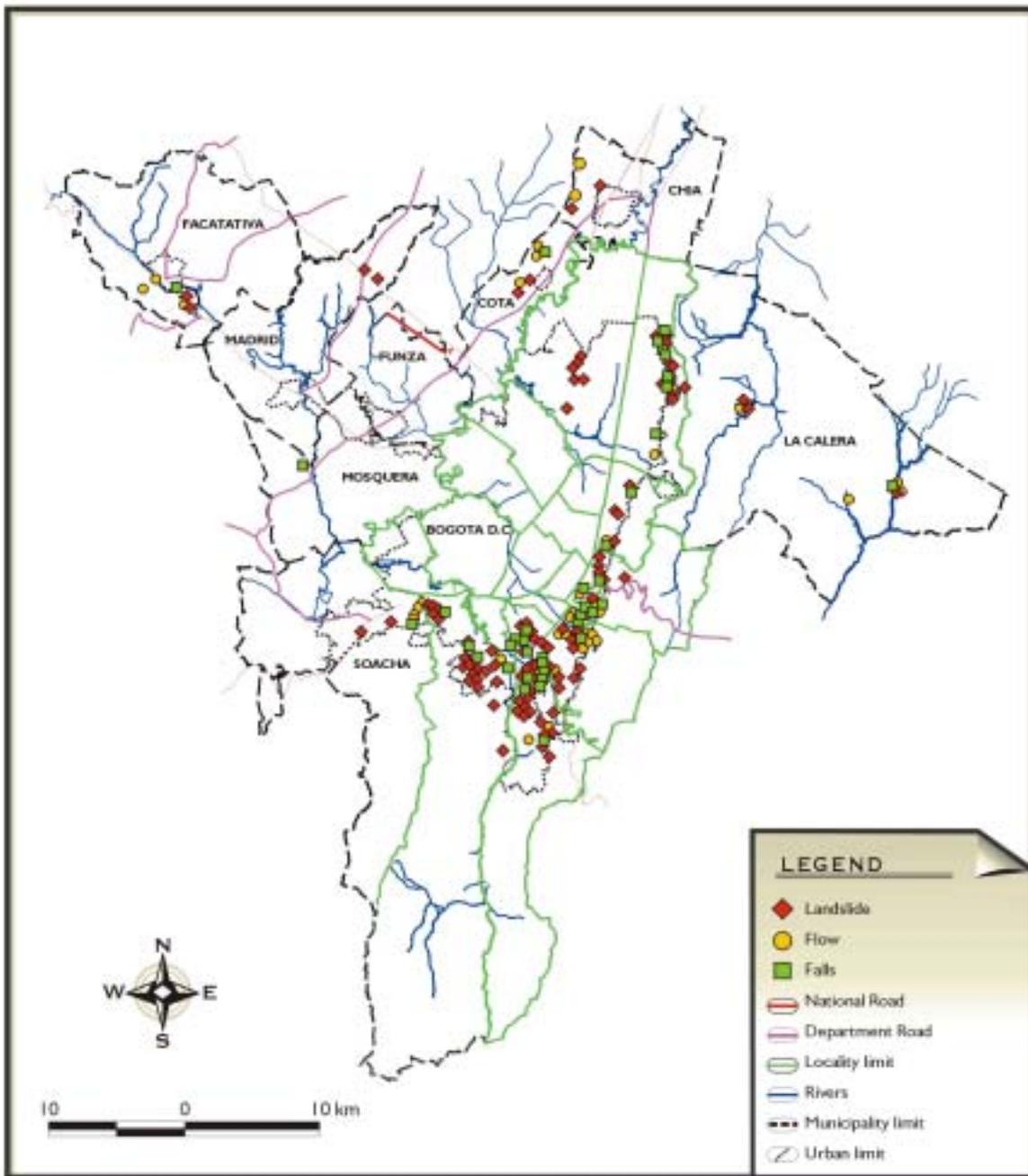
- Grade 2 (Ba): Se requerirían algunas medidas estructurales o no estructurales.
- Grade 3 (Bb): Sólo se requerirían medidas no estructurales.

2) Resultados de la Evaluación de Amenaza

La Figura 3.1.2 muestra la distribución de las pendientes con problemas potenciales de deslizamiento identificadas en este estudio, clasificadas según su tipo de amenaza. El número de taludes clasificados según el proceso para cada municipio se muestra en la Tabla 3.1.5. La Figura 3.1.3 presenta la distribución de las pendientes peligrosas clasificadas según el nivel de riesgo. El número de taludes clasificados según el riesgo para cada municipio se muestra en la Tabla 3.1.6.

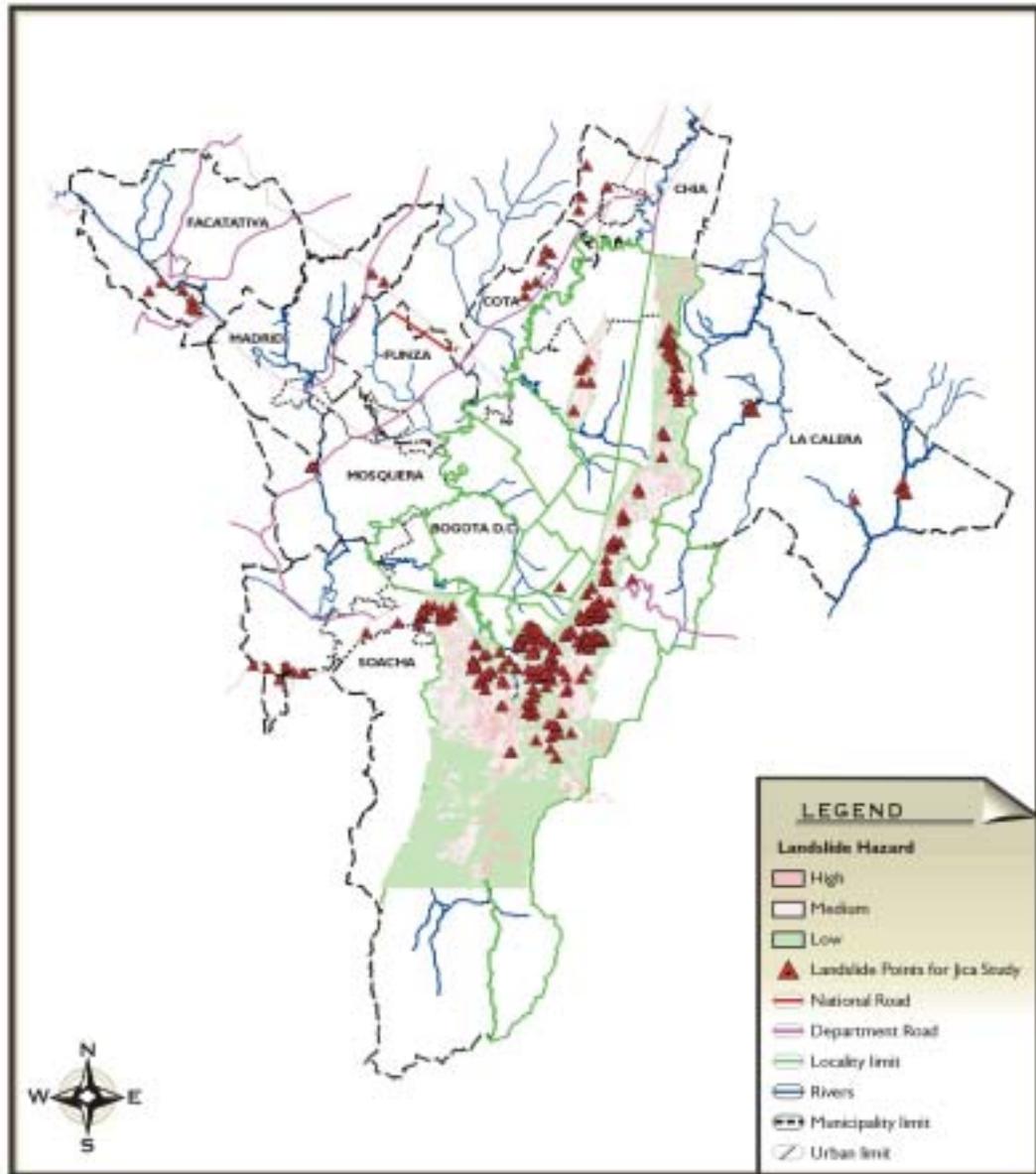
El resultado de este estudio muestra que las pendientes con amenaza de deslizamiento se concentran en las áreas donde las edificaciones de vivienda están cerca o sobre la pendiente de las laderas; dichas áreas están localizadas en la parte sur y sureste de Bogotá o en Soacha. En este sentido, muchas de estas pendientes riesgosas no deben ser consideradas necesariamente como un riesgo natural.

Algunas áreas con amenaza por caída de rocas están situadas en los taludes a lo largo de la carretera principal. La caída de rocas, en caso de ocurrir un sismo severo, haría intransitable una parte de la calzada cuando menos.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 3.1.2 Distribución de Taludes con Amenaza de Deslizamiento, Clasificados Según Tipo de Desastre



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 3.1.3 Distribución de Taludes con Amenaza de Deslizamiento, Clasificados Según Riesgo

Tabla 3.1.5 Número de Desastres en Taludes Según Proceso

Municipality	Process Type								Total	%
	Rotational landslide	Traslational landslide	Rock fall	Debris fall	Debris flow	Earth flow	Mud flow	Subsidence		
Bogota	236	47	56	6	1	21	5	0	372	87.9
Chia	2	0	0	0	1	1	0	0	4	0.9
Cota	0	0	3	0	0	3	0	0	6	1.4
Facatativa	2	0	1	0	1	2	0	1	7	1.7
Funza	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
La Calera	4	0	0	0	1	3	0	0	8	1.9
Madrid	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0.5
Mosquera	0	0	2	0	1	0	0	0	3	0.7
Soacha	3	2	8	0	3	5	0	0	21	5.0
Total	247	49	72	6	8	35	5	1	423	100.0
%	58.4	11.6	17.0	1.4	1.9	8.3	1.2	0.2	100.0	

Fuente: Equipo de Estudio JICA

Tabla 3.1.6 Número de Desastres en Taludes Según Riesgo

Municipality	Risk			Total	%
	Grade1	Grade2	Grade3		
Bogota	77	50	245	372	87.9
Chia	0	1	3	4	0.9
Cota	2	2	2	6	1.4
Facatativa	2	3	2	7	1.7
Funza	0	0	0	0	0.0
La Calera	2	2	4	8	1.9
Madrid	1	0	1	2	0.5
Mosquera	2	1	0	3	0.7
Soacha	8	9	4	21	5.0
Total	94	68	261	423	100.0
%	22.2	16.1	61.7	100.0	

Fuente: Equipo de Estudio JICA

3) Principales Resultados

En el área de estudio, el “Flujo de Tierra”, un tipo de desastre en el cual se desliza el suelo o una parte descompuesta de la base rocosa, es un fenómeno notablemente reconocido. El colapso de la base rocosa en las canteras agotadas es igualmente notable. Estos fenómenos deben diferenciarse del Deslizamiento en un sentido más estricto.

Tales tipos de taludes riesgosos están distribuidos en áreas de pendientes suaves en canteras agotadas y a lo largo del Río Blanco en La Calera. Casi todas esas pendientes con amenaza de desastre están clasificadas como “Flujo de Tierra”. Las causas básicas para la presencia de los “Flujos de Tierra” son la escasa precipitación, la meteorización profunda de la roca debida al lento movimiento emergente que permite una erosión lenta en la periferia de la cuenca de Bogotá, y la

abundante superficie de suelo orgánico cuyo espesor varía entre 1 y 2 m, debido a la formación de la Sabana.

En el lado occidental al final de la cadena montañosa que va desde Soacha hasta Facatativa, la erosión prevalece sobre la meteorización, de modo que las pendientes con una meteorización poco desarrollada constituyen la mayoría. Por lo tanto, el flujo de tierra se presenta en forma limitada.

Los desastres sobre pendientes en el futuro serán del tipo de flujo de tierra en pendientes pronunciadas, caída de rocas en el borde de las canteras abandonadas y deslizamientos en gran escala en las áreas habitadas. Los lugares de amenaza alta en cada municipio se describen a continuación.

(1) Bogotá

Los registros de deslizamientos de tierra y las áreas de amenaza de nuevos, se concentran en áreas de pendientes desarrolladas sin trabajos adecuados de estabilización, debido a la rápida expansión del área habitada. En muchos casos, el suministro de agua mediante tuberías sin la instalación del sistema de alcantarillado causó la filtración de aguas residuales y desencadenó el flujo de tierras junto con la presencia de aguas.

(2) Chía

Existen deslizamientos en pequeña escala sobre laderas en el costado oriental de la montaña del Majuy. Sin embargo, el registro de deslizamientos es muy limitado. En el área urbana no existen áreas con altas pendientes ni de deslizamiento potencial. Algunos taludes son inestables a lo largo del valle del Río Frío, debido a la erosión.

(3) Cota

En el área urbana no existen áreas con altas pendientes ni de deslizamiento potencial. Las áreas de amenaza por deslizamiento y caída de rocas están identificadas en el costado oriental de la montaña del Majuy, donde existen canteras en operación o abandonadas. Sin embargo, hay pocos registros de deslizamientos.

(4) Facatativá

Existen flujos de tierra en las laderas sobre ambos lados del valle cercano a Sorrento, localizadas hacia el oriente del área urbana. Se prevén grandes daños sobre las laderas de la zona norte, las cuales se encuentran densamente pobladas.

(5) Funza

No hay ninguna pendiente fuerte en el municipio.

(6) La Calera

Los flujos de tierra son ampliamente reconocidos en las laderas cercanas al sitio El Manzano a lo largo del Río Blanco. Allí se presentan deslizamientos debidos a la constante erosión causada por el flujo del río en la base de los taludes. En caso de ocurrir allí un deslizamiento este se convertiría en un flujo de detritos; el agua se represaría hasta una altura de aproximadamente 10 m, y finalmente removería el suelo que la bloquea. Por otra parte, las ruinas de los puentes destruidos a lo largo del Río Blanco indican las repetidas ocasiones en que han ocurrido dichos flujos de detritos.

En el lado occidental del área urbana, se observan sobre las pendientes cicatrices de flujos de tierra con una profundidad cercana a los 5.0 m. Estos movimientos son prominentes en las áreas donde el suelo ha sido removido o las laderas cortadas.

En la parte montañosa occidental del municipio, un río con una cuenca relativamente amplia fluye adentrándose en el área urbana. Repetidas inundaciones se han sucedido en el área de parqueo de los edificios de apartamentos cercanos a la confluencia de los flujos.

(7) Madrid

No hay presencia de deslizamiento en el área urbana, pero existen algunas zonas donde hay caída de rocas que, en caso de sismo, causarían interferencia en el tráfico sobre la carretera que atraviesa la montaña del Majuy, en la parte norte del municipio.

(8) Mosquera

No hay ninguna pendiente alta en el área urbana, pero existen algunos taludes con riesgo de caída de rocas en la parte sur del municipio, donde existen edificaciones residenciales entre las canteras abandonadas.

(9) Soacha

Se observa caída de rocas de 1 m de diámetro en la ladera a lo largo de la carretera que va desde Soacha a Granada. Posiblemente ocurrirán allí en el futuro caídas de rocas, debido al buzamiento estructural de la roca. Una calzada de la carretera quedaría probablemente bloqueada en caso de un sismo severo.

También se observan condiciones similares en la pendiente a lo largo de la carretera Soacha – Santandercito, en El Charquito.

En la parte sur occidental del área urbana hay una elevada posibilidad de caída de rocas, sobre una zona de construcciones de vivienda densamente poblada, cerca de la cantera abandonada en El Altico.

Un gran deslizamiento ocurrió en Enero del 2000 en el talud derecho aguas abajo del lago Terreos. El área es actualmente estable gracias a un contra-terraplén. Sin embargo es posible que se deslice nuevamente debido a la falta de un sistema de drenaje.

En Pavimentos Roka, se presento un deslizamiento circular desde la cresta del declive de la cantera abandonada, y algunas casas resultaron dañadas. El área aún se encuentra en estado de alto riesgo, pues las casas se concentran en la parte superior del declive.

3.1.3 Inundación

1) Aspectos Hidrológicos

(1) Lluvia

En esta área hay dos temporadas lluviosas, de Abril a Junio y de Octubre a Noviembre. La cantidad de precipitación anual varía desde menos de 500 mm hasta más de 1,500 mm.

De entre varias estaciones pluviométricas, considerando la distribución y el período de observación, se escogieron diez estaciones de la EAAB para realizar el análisis de las características de las lluvias (para localización, ver Figura 3.1.4). En cuanto al análisis, se recogieron los datos de la precipitación de lluvia diaria.

Tabla 3.1.7 Precipitación diaria Probable en el Área de Estudio

Unidades: mm

	5-year	10-year	50-year	100-year
Cerro de Suba	49	55	69	75
Fontibon	45	52	68	75
Bosa Barreno No.2	40	46	60	66
Usaquen-Santa Ana	65	75	99	109
San Luis	66	78	103	114
San Francisco-Salitre	67	78	100	110
Vitelma	56	64	82	90
El Delirio	56	63	78	84
Bocagrande-Salitre	49	55	69	75
San Rafael	56	64	82	90

Fuente: Estudio JICA

La Tabla 3.1.8 muestra la relación entre duración y precipitación de acuerdo a la probabilidad.

Tabla 3.1.8 Relación entre duración y lluvia

unidad: mm

	Suba			Juan Amarillo		
	1 hour	3 hours	6 hours	1 hour	3 hours	6 hours
10-year	45.7	54.1	54.7	29	45	52
50-year	60.2	72.3	73.1	-	-	-
100-year	64.2	76.6	77.3	39	52	67

Fuente: EAAB, DPAE

Puesto que la tabla fue preparada como resultado de combinar diferentes fuentes de datos, pueden hallarse algunas discrepancias. Los casos de estas discrepancias no pudieron ser confirmados en este estudio, porque los reportes presentaban sólo los resultados del análisis y no presentaban o no mencionaban los datos originales y el método empleado en su proceso.

Los resultados del análisis muestran que la cantidad de precipitación diaria es casi la misma que la de 6 horas. De acuerdo con este hecho, se supone que la duración de la precipitación sería corta, y usualmente menor de 6 horas.

(2) Análisis de escorrentía

Hay varios medidores del nivel del agua a lo largo del río Bogotá, y los caudales del río se han calculado utilizando una curva de “nivel de agua – caudal”. Durante el estudio en Colombia, se hicieron esfuerzos para obtener los registros del nivel del agua, pero estos resultaron ser fútiles.

Se han realizado varios análisis de flujo para el río Bogotá. El último estudio es el denominado “*Estudios Hidráulicos, Geotécnicos y Topográficos para Definir el Nivel de los Jarillones y Obras Requeridas para Mitigar el Riesgo de Inundación del Río Bogotá, en el Tramo Alicachín Humedal la Conejera*”, llevado a cabo por la EAAB. Las simulaciones de flujo en este estudio fueron realizadas usando el mismo modelo empleado en el estudio anterior en 1985, con las siguientes condiciones:

Tabla 3.1.9 Resumen de Condiciones para el Análisis de Flujo de Caudal (Estudio EAAB)

Item	Conditions
Rainfall Pattern	TORCA FUSAL
River Section	Conejera – Juan Amarillo Juan Amarillo – Fucha Fucha – Tunjuelo Tunjuelo – Arlcachin
Return Period	5-year 10-year 25-year 50-year 100-year
Rio Fucha Retention Pond	With retention pond Without retention pond

Fuente: Estudio EAAB

Los resultados de las simulaciones del estudio de la EAAB se muestran en la Tabla 3.1.10.

Tabla 3.1.10 Caudales de Escorrentía Simulados para el Río Bogotá (Estudio EAAB)

	TORCA				FUSAL with Regulation pond				FUSAL without Regulation pond			
	5	10	50	100	5	10	50	100	5	10	50	100
Return Period	5	10	50	100	5	10	50	100	5	10	50	100
Conejera – Juan Amarillo	62	70	90	99	43	49	62	67	45	51	64	69
Juan Amarillo – Fucha	83	97	133	148	71	83	114	128	76	91	122	136
Fucha – Tunjuelo	110	123	160	175	121	135	173	189	171	189	227	243
Tunjuelo – Alicachin	140	152	186	201	166	193	259	287	190	220	287	315

Fuente: Estudio EAAB

Los caudales de los tres tributarios se calcularon como parte del estudio de zonificación de riesgo de inundación llevado a cabo por la DPAAE; sin embargo, no hay ninguna información sobre el caudal de los tributarios de el costado occidental del Río Bogotá, porque el estudio hidrológico no fue efectuado en esta zona.

En todos los estudios realizados sobre los tres tributarios, se han aplicado las HEC para el cálculo de los flujos de inundación, y al revisar el reporte del estudio puede deducirse que el análisis fue llevado a cabo en forma apropiada,.

La Figura 3.1.5 muestra la distribución de caudales de inundación por área de drenaje para el sistema del Río Bogotá en el área de estudio. La figura se preparó combinando la abundante información obtenida de los reportes preparados por la EAAB y la DPAAE, pues no existen análisis hidrológicos ni de caudales enfocados a la totalidad del sistema del Río Bogotá.

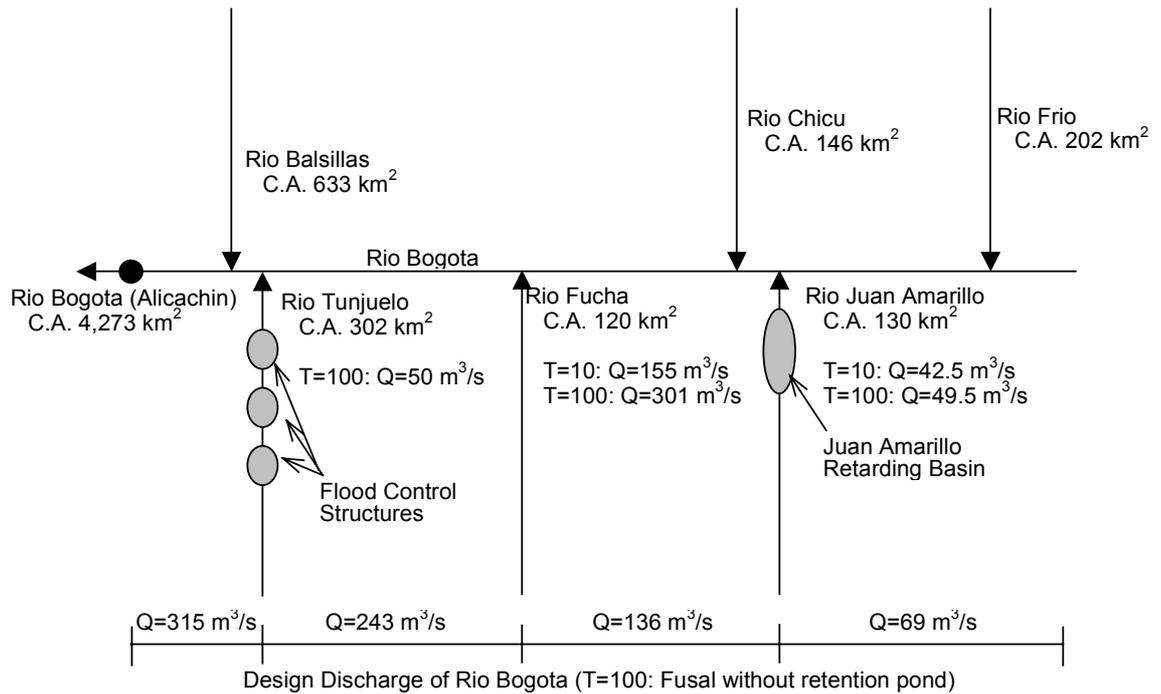


Figura 3.1.5 Distribución de los Caudales de Inundación por áreas de Drenaje (Sistema Río Bogotá)

2) Daño por Inundación

(1) General

A fin de calcular el daño por inundación, es necesario realizar la inspección de las condiciones de inundación (profundidad, duración, frecuencia, etc.) y la inspección de las propiedades (valor de las edificaciones habitacionales/comerciales, valor de cada vivienda/establecimiento comercial de acuerdo a su posición sobre el suelo, etc.). Sin embargo, puesto que esta clase de trabajos de inspección no fueron incluidos en este estudio, es imposible calcular el daño por inundación en términos monetarios. Por consiguiente, el daño por inundación en el área de estudio se mostrará usando el número de habitantes/viviendas familiares en el área de inundación, teniendo en cuenta la frecuencia de las inundaciones. Estos cálculos se han hecho usando la base de datos en SIG preparada por este Estudio.

(2) Áreas afectadas por inundación

Las áreas afectadas según la zona de riesgo se muestran en la siguiente tabla. El área total de inundación de 6,760 ha representa el 18% del área urbana de la ciudad de Bogotá, (37,964 ha), calculo hecho a partir de la base de datos del Equipo de Estudio.

Tabla 3.1.11 Áreas Potencialmente Afectadas por Inundación (Ciudad de Bogotá)

	Inundated Area (ha)
High Risk Zone	2,300
Medium Risk Zone	3,500
Low Risk Zone	960
Total	6,760

Fuente: Estudio JICA

Las áreas potencialmente afectadas por inundación para cada municipio en Cundinamarca se muestran en la Tabla 3.1.12. Las áreas fueron calculadas usando el mapa de inundación proporcionado por los municipios. Dado que los mapas no incluyen una clasificación de riesgo de las zonas, sólo fue posible calcular el total del área afectada.

Tabla 3.1.12 Áreas Afectadas por Inundación (Municipios de Cundinamarca)

Name of the City	Inundated Area (ha)	Ratio of Affected Area (%)
Chia	520	6.5
Cota	920	17.2
Facatativa	210	1.3
Funza* ¹	80	1.1
La Calera	1,320	4.2
Madrid	-	-
Mosquera* ¹	20	0.2
Soacha	980 * ²	5.3

Fuente: Estudio JICA

*¹: Municipios que no tienen sus propios datos para Inundaciones en el POT. Datos obtenidos del riesgo de inundación de los municipios vecinos.

*²: Las cifras para el municipio de Soacha incluyen el área afectada por falla en el dique de la represa de Terreros.

(3) Población y viviendas afectadas por inundación

La población y las viviendas afectadas según la zona de riesgo se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 3.1.13 Población y Viviendas Afectadas por Inundación (Ciudad de Bogotá)

	Affected Household	Affected Population
High Risk Zone	16,200	84,400
Medium Risk Zone	46,900	284,100
Low Risk Zone	20,800	128,300
Total	83,900	496,800

Fuente: Estudio JICA

Las cifras para la población y viviendas afectadas por inundación para cada municipio de Cundinamarca se muestran en la Tabla 3.1.14.

Tabla 3.1.14 Población y Viviendas Afectadas por Inundación (Municipios de Cundinamarca)

Name of the City	Affected Household	Affected Population	Ratio of Affected Population
La Calera	120	440	1.9
Chia	860	3,140	4.8
Cota	410	1,610	10.7
Funza	10	40	0.1
Facatativa	2,450	16,520	18.3
Madrid	-	-	-
Mosquera	5	20	0.0
Soacha	12,160 *	96,660 *	17.6

Fuente: Estudio JICA

*: Las cifras para el municipio de Soacha incluyen el área afectada por falla en el dique de la represa de Terreros.

3) Mapa de Riesgo de Inundación Existente

(1) Ciudad de Bogotá

A. Mapa de riesgo de inundación existente

El Mapa de riesgo por inundación existente fue preparado por la DPAE en el 2000, con base en los estudios de Zonificación de Riesgo de Inundación que fueron llevados a cabo desde 1999 hasta el 2000 para todas las posibles áreas de inundación de la ciudad de Bogotá.

Los estudios incluyen análisis de riesgo, efectuados con base en los análisis de amenaza, vulnerabilidad y prevención. Sin embargo el mapa de riesgo por inundación preparado por el POT de Bogotá sólo muestra las áreas de riesgo de inundación para aquellas probables en períodos de retorno de 100 años y 10 años en las actuales condiciones de uso de la tierra y del río.

De acuerdo con el mapa de riesgo de inundación, las áreas a lo largo del Río Bogotá, Río Tunjuelo y Río Juan Amarillo se identifican como las áreas de riesgo de inundación.

B. Evaluación del mapa de riesgo de inundación existente

Con base en la revisión de los estudios de zonificación para zonas con riesgo de inundación, de la topografía, y de las observaciones hechas en campo, es posible que el mapa muestre las áreas de amenaza por inundación.

(2) Otros municipio

A. Mapa de riesgo de inundación existente

Algunos municipios han incluido mapas amenaza por inundación en su POT, preparados con base en los registros de inundaciones del pasado, aunque no se han estudiado sus condiciones hidrológicas/hidráulicas. Las posibles áreas de inundación en el pasado podrían ser determinadas de acuerdo a los aspectos hidrológicos e hidráulicos.

B. Evaluación del mapa de riesgo de inundación existente

Los mapas de riesgo de inundación existentes han sido preparados con base en inundaciones pasadas, pero no se ha efectuado una evaluación hidrológica / hidráulica. Por consiguiente, los mapas de riesgo de inundación existentes sólo muestran las áreas inundadas en el pasado; se hace necesaria una evaluación en el futuro.

3.1.4 Instalaciones Industriales

1) Ciudad de Bogotá

- Las compañías pequeñas y micro compañías no conocen una administración dirigida a la prevención y el control del riesgo tecnológico, incluyendo los conceptos de actividades básicas de prevención que deben ser patrocinadas por los administradores de riesgos profesionales, las ARP.
- Las compañías pequeñas y micro compañías tienen dificultades para responder a los requerimientos relacionados con el manejo ambiental y la seguridad industrial, debido a que no tienen ni el personal ni los conocimientos adecuados.
- Existe una despreocupación conceptual y técnica en lo referente a la prevención del riesgo tecnológico, así como a la amenaza de sismos. Muchas compañías no tienen una adecuada metodología de identificación de peligros y evaluación de riesgos, que facilitaría el establecer prioridades en las medidas de prevención y control, y permitiría calcular las posibles consecuencias en caso de un accidente peligroso. Esta situación implica que las entidades de respuesta a emergencias, tanto internas como externas, son inefectivas en el control de dichos accidentes a pesar de los esquemas generalizados incluidos en los actuales planes de respuesta ante emergencias.
- La preparación de los planes de emergencia no incluye estrategias preventivas ni de minimización del impacto ambiental, durante y después de un accidente grave.
- Otros aspectos deficientes en cuanto a su administración son los relacionados con la información y manejo de las operaciones preventivas así como de las sustancias químicas usadas en las compañías, debido a que solo una minoría obtuvo un puntaje aceptable en tales aspectos, coincidiendo generalmente esta minoría con las compañías internacionales más grandes. Sin embargo, ni siquiera estas compañías internacionales tienen suficientes medidas para contrarrestar las amenazas sísmicas (Ver detalles en el Apéndice 3).
- La DPAE tiene la responsabilidad de mitigar y prevenir los desastres industriales; sin embargo, solo unos pocos miembros se ocupan de tales asuntos. Ésta es una de las vulnerabilidades más conspicuas de la prevención de desastres en las Instalaciones industriales de la ciudad de Bogotá. En cuanto a los problemas ambientales, el DAMA tiene miembros apropiados.

2) Ocho Municipios

Con el fin de averiguar las vulnerabilidades de los municipios, la información recolectada fue analizada en términos del nivel de preparación para manejar una emergencia, preparación para un sismo, y riesgo de la comunidad.

(1) Nivel de preparación para manejar una emergencia

El nivel de preparación de los municipios para manejar una emergencia se muestra en la Tabla 3.1.15, seguido de una breve descripción.

Tabla 3.1.15 Nivel de Preparación para Manejar una Emergencia en Ocho Municipios

Municipality	Good (%)	Regular (%)	Poor (%)
Chía	0	13	87
Cota	3	31	66
Facativá	4	41	55
Funza	0	26	74
La Calera	0	14	86
Madrid	4	38	58
Mosquera	7	60	33
Soacha	7	18	75

Fuente: Estudio de Prevención de Desastres Industriales en el Área Metropolitana de Bogotá (2001), por el CCS

- Chía: En general, la mayoría de las empresas están equipadas para combatir incendios, pero carecen de equipos y planes para controlar fugas y derrames, y el 100% tenía un nivel “deficiente” o “pobre” de preparación para emergencias, siendo “Pobre la calificación más abundante.
- Cota: En general, la mayoría de las empresas están equipadas para combatir incendios, pero carecen de equipos y planes para controlar fugas y derrames. Su nivel de preparación para emergencias está catalogado entre “deficiente” y “pobre” en un 97%, siendo predominante la primera calificación con un 66%.
- Facativá: En general, la mayoría de las empresas están equipadas para combatir incendios, pero carecen de equipos y planes para controlar fugas y derrames, y el nivel de preparación para emergencias está calificado en el 96% de los casos entre “deficiente” y “malo”.
- Funza: En general, la mayoría de las empresas están equipadas para combatir incendios, pero carecen de equipos y planes para controlar adecuadamente fugas y derrames y el nivel de preparación para emergencias está en el 100% de los casos calificado entre “deficiente” y “pobre”, predominando la última calificación con un 64%.
- La Calera: En general, la mayoría de las empresas están equipadas para combatir incendios, pero carecen de equipos y planes para controlar adecuadamente fugas y derrames y el nivel de preparación para emergencias está en el 100% de los casos calificado entre “deficiente” y “pobre”, predominando la última calificación.

- Madrid: En general, la mayoría de las empresas están equipadas para combatir incendios, pero carecen de equipos y planes para controlar adecuadamente fugas y derrames y el nivel de preparación para emergencias está en el 96% de los casos calificado entre “deficiente” y “pobre”, predominando la última calificación con un 58%. Un 4% tiene un nivel satisfactorio en este aspecto.
- Soacha: Los eventos de mayor importancia son los incendios, seguidos por los derrames. En general, la mayoría de las empresas están equipadas para combatir incendios, pero carecen de equipos y planes para controlar adecuadamente fugas y derrames.

(2) Preparación para sismos

La preparación para sismos se muestra en la Tabla 3.1.16.

Los resultados no son tan confiables, puesto que muchos de los encuestados no tienen conocimiento del tema, y no había otra fuente de información. Sin embargo, está claro que no existe ninguna regulación para el diseño antisísmico de las instalaciones industriales, y ni siquiera las compañías internacionales más grandes prestan atención a las amenazas sísmicas.

Tabla 3.1.16 Preparación para Sismos

Municipality	None (%)	Deficient (%)	Acceptable (%)
Chía	74	20	6
Cota	31	48	21
Facatativa	38	48	14
Funza	47	29	24
La Calera	86	14	0
Madrid	51	33	16
Mosquera	27	73	0
Soacha	62	36	2

Fuente: Estudio de Prevención de Desastres Industriales en el Área Metropolitana de Bogotá (2001), por la CSS

(3) Riesgo para la comunidad

Se ha llevado a cabo la evaluación y el análisis de variables, tipo de amenazas, nivel de preparación para la atención de emergencias y la distancia de la comunidad, y los resultados son presentados en la Tabla 3.1.17.

Tabla 3.1.17 Resultados del Análisis de Riesgo para la Comunidad

Municipality	High Risk Company		Medium Risk Company	
	Number	(%)	Number	(%)
Chía	1	2	41	89
Cota	0	0	11	38
Facatativa	7	24	15	52
Funza	10	13	48	63
La Calera	1	7	13	93
Madrid	16	36	20	44
Mosquera	3	20	6	40
Soacha	18	15	79	67

Fuente: Estudio de Prevención de Desastres Industriales en el Área Metropolitana de Bogotá (2001), por la CCS

- Chía: Sólo un productor de alimentos representa un elevado riesgo para la comunidad, debido a la cantidad y la naturaleza de las sustancias que maneja, al bajo nivel de preparación para emergencias y a su cercanía física a la comunidad.
- Cota: Seis compañías representan una amenaza importante para la comunidad debido a la cantidad y a la naturaleza de las sustancias que manejan. Pero, a diferencia de lo que sucede en otros municipios, en Cota no hay sistemas identificados como representantes de riesgo elevado para la comunidad, básicamente porque la comunidad está alejada de los establecimientos industriales.
- Facatativá: Doce compañías representan una amenaza importante para la comunidad, debido a la cantidad y a la naturaleza de las sustancias con las cuales trabajan. Sin embargo, solo siete de estas empresas tienen un elevado nivel de riesgo para la comunidad debido a la deficiente preparación para emergencias y a su cercanía a la comunidad. Este grupo incluye, como se mencionó anteriormente, expendios al por mayor de GLP y otros sistemas, cuatro del sector industrial, y uno del sector comercial, del tipo de estaciones de servicio de gasolina.
- Funza: Doce compañías representan una amenaza importante para la comunidad, debido a la cantidad y a la naturaleza de las sustancias utilizadas.; la mayoría representa un elevado riesgo para la comunidad, dada la falta de preparación para emergencias y la cercanía a la comunidad. Este grupo incluye expendios al detal de GLP y otras fuentes de gases industriales comprimidos. Por consiguiente, las sustancias que con mayor frecuencia aparecen como una amenaza importante son el GLP y el acetileno, más aún teniendo en cuenta que las fugas y explosiones tienen una mayor preponderancia en la lista de eventos, por encima de los derrames.
- La Calera: Sólo la estación de servicio representa una amenaza importante para la comunidad, debido a la cantidad de gasolina allí almacenada. Sin embargo, no se han presentado accidentes que involucren dicho combustible (ni siquiera durante los terremotos en Japón), ya que la gasolina se almacena en tanques subterráneos. Las compañías restantes

están clasificadas como amenazas menores, y presentan un nivel medio de riesgo para la comunidad.

- Madrid: Veintiún compañías representan una amenaza importante para la comunidad, debido a la cantidad y a la naturaleza de las sustancias que manejan. El 36% de ellas representan un elevado nivel de riesgo para la comunidad debido a la deficiente preparación para emergencias y a la cercanía a la comunidad.
- Mosquera: Siete compañías representan una amenaza importante para la comunidad, debido a la cantidad y a la naturaleza de las sustancias que manejan, no obstante, menos de la mitad representa un elevado nivel de riesgo para la comunidad, ya que las demás están situadas lejos de ésta.
- Soacha: En la muestra tomada en Soacha hay dieciocho empresas que implican un elevado nivel de riesgo para la comunidad, dado que el volumen y el carácter de las sustancias empleadas indican que el riesgo de accidentes podría ser alto. De acuerdo con las respuestas de las encuestas, estas empresas no están preparadas o están pobremente preparadas para reaccionar ante los posibles accidentes identificados: no tienen sistemas adecuados para mitigar el daño causado por sismos, o carecen de ellos por completo. En una emergencia, la comunidad podría sufrir serios daños ya que está situada cerca a las instalaciones de dichas empresas.

3) Sistema de Transporte de Materiales Riesgosos

Hay una gran cantidad de emergencias debidas a sustancias químicas que son transportadas a lo largo de las diferentes carreteras que conectan las ciudades del país y que atraviesan los diferentes municipios, tal como ya se mencionó. Es importante anotar que, en el momento, no existen en Colombia regulaciones para controlar el transporte de este tipo de materiales, presentándose situaciones como las que se mencionan a continuación:

- Transporte en vehículos que no cumplen con los parámetros de seguridad referentes al diseño del vehículo y de la unidad de transporte (contenedor).
- El conductor carece del conocimiento mínimo del peligro implicado por el producto químico transportado.
- Varias sustancias químicas son transportadas en el mismo vehículo, ignorando la incompatibilidad entre los materiales.
- Los mecanismos de respuesta a las emergencias, cuando existen, son limitados y, en la mayoría de los casos, los transportadores no reaccionan adecuadamente.
- Para algunas compañías transportadoras, el interés se limita usualmente a la entrega inmediata del material, ignorando muchas veces el peligro representado por las sustancias químicas transportadas.

- La mayoría de los vehículos no está marcada con los rótulos establecidos por la norma ICONTEC NTC 1692 (basada en el Sistema de Clasificación Internacional de las Naciones Unidas), lo cual es obligatorio. Esta norma establece el uso de rótulos que identifican la peligrosidad de la sustancia transportada, como Líquido Inflamable, Corrosivo, Gas inflamable, etc.

4) Sistema de Prevención de Desastre

- Carencia de suficiente fuerza laboral de la DPAE y la OPAD para dar prioridad a sus planes de acción y desarrollar estrategias más efectivas en lo referente al control tecnológico y a la prevención.
- Carencia de coordinación inter-institucional entre las entidades de respuesta ante emergencias (Cuerpo de Bomberos, Defensa Civil, Cruz Roja). Este aspecto crítico es el resultado de la falta de una estrecha relación de trabajo entre dichas entidades, influenciada por actitudes de protagonismo que emergen cuando se requiere la acción.
- No existen procedimientos operativos específicos y unificados en el sector industrial y en las entidades de respuesta ante emergencias, que puedan ser empleados para enfrentar incendios, fugas y explosiones que involucren sustancias peligrosas. En el caso de los derrames, existe el PNC (Plan Nacional de Contingencia).
- No existen equipos, o son insuficientes, para el control y protección del personal de las entidades de respuesta ante emergencias (Cuerpo de Bomberos, Defensa Civil, Cruz Roja), que puedan asistirlos en caso de accidentes.

3.2 Análisis de Vulnerabilidad

3.2.1 Vulnerabilidad Física

1) Edificaciones

(1) Regulaciones para el diseño y construcción de edificaciones sismo-resistentes

A. Revisión histórica de las normas sísmicas colombianas

La generación de las normas sísmicas colombianas fue revisado por el equipo de estudio JICA y resumido como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 3.2.1 Resumen Histórico de las Normas para la Construcción en Colombia

Year	No. of Law or Decree	
		--- Before 1984, No regulation for earthquake resistant design and construction
1983	National Law 11	Announcement of the first law for earthquake resistant design and construction (Due to Popayán earthquake (March 31, 1983))
1984	National Decree 1400	Issue of the first regulation for earthquake resistant design Almost dead copies regulations of the United States' regulations (The related decrees of Law 11, 1983)
1995	City Agreement 20	Introduction of micro-zoning* (Due to enforcement of National Law)
1997	National Law 400	Establishment of own regulations of Colombia (According to recommendation of IAEE**)
1998	National Decree 33	Covering almost all the items in relation to building design and construction (Progress of work by AIS)
1999	National Decree 34	Modification of Decree 33 (Progress of work by AIS)
2000	National Decree 2809	Repair, Reinforcement and Rehabilitations of Buildings (Due to lack of regulations)
2001	City Decree 74	Renewal of micro-zoning identification

* Únicamente para la Ciudad de Bogotá

** IAEE: International Association of Earthquake Engineering

*** AIS: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica

a) Ley 11 de 1983 y Decreto 1400 de 1984

Es de notar que las normas para la construcción en la República de Colombia fueron establecidas por primera vez en 1984, después del terremoto de Popayán de 1983. Este terremoto ocurrió el 31 de marzo en la región sur-oriental de Colombia, con una profundidad focal de 10 Kilómetros y una magnitud de 5.5, causando 241 muertes y 1,500 heridos en la ciudad de Popayán y sus poblaciones circundantes. Hasta ese momento, todas las edificaciones de la República de Colombia eran diseñadas y construidas sin restricción legal alguna con respecto a su capacidad sísmica, aún cuando las edificaciones fuesen demasiado altas para resistir adecuadamente la fuerza de un terremoto. Únicamente los ingenieros civiles utilizaban el código estadounidense para edificaciones (UBC: Uniform Building Code) como guía general para el diseño y

construcción, y el código SEAOC (SEAOC: Structural Engineers Association of California) como guía para un diseño sismo-resistente.

Al final de 1983, fue anunciada la Ley de Construcciones Sismo-Resistentes (Ley 11 de 1983) y fue emitido el Decreto respectivo (*Decreto 1400 de 1984: Código Colombiano de Construcciones Sismo-Resistentes*). En concordancia con lo anterior, después de 1984 fueron emitidas regulaciones para la construcción, tales como la ley de reforzamiento de construcciones.

b) NSR 98

Como las regulaciones mencionadas anteriormente eran prácticamente copias obsoletas de las normas estadounidenses, y dado que la Asociación Internacional de Ingenieros Sísmicos (IAEE) recomendó enfáticamente a los países miembros el establecimiento de sus propias normas, los miembros de la Asociación Colombiana de Ingenieros Sísmicos (AIS), encabezada por el profesor Sarria de la Universidad de Los Andes, se han esforzado desde 1993 por revisar y actualizar dichas normas. Como consecuencia, en 1997, fue instaurada la ley nacional para el diseño y construcción de edificaciones sismo-resistentes, seguida por varios decretos emitidos en 1998, 1999 y 2000 respectivamente. El último de los decretos plantea la Reparación, Refuerzo y Rehabilitación de las edificaciones. Esta ley y sus subsiguientes decretos han sido compilados por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) en dos volúmenes publicados como NSR-98 (*Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente*). El NSR-98 está compuesto por la Ley 400 de 1997, seguida por los Decretos 33 de 1998, 34 de 1999 y 2809 de 2000 respectivamente.

Entre esta ley y sus decretos, el Decreto 33 es el más importante y cubre casi todos los aspectos en relación con el diseño y construcción de edificaciones; este decreto está constituido por los siguientes capítulos*:

- Requisitos generales para el diseño y construcción sismo-resistentes (124).
- Cargas (42).
- Estructuras en concreto (228).
- Estructuras en mampostería (68).
- Viviendas con 1-2 pisos (18).
- Estructuras metálicas (380).
- Construcciones en madera (60).
- Estudios geotécnicos (56).
- Supervisión técnica (14).
- Requisitos para la protección contra el fuego en edificaciones (12).
- Requisitos complementarios tales como la carga de viento (34).

* Los números entre () indican el número de páginas.

c) Estudio de microzonificación

En el marco de trabajo de estas leyes y decretos nacionales, se recomendó que las ciudades más grandes y con más de 100,000 habitantes en Colombia, emitan sus propios decretos para el diseño y la construcción, basándose en estudios de microzonificación. En consecuencia, la ciudad de Bogotá emitió varios decretos bajo el mando del alcalde mayor.

Por ejemplo, en 1995, el código de Construcción para la ciudad de Bogotá fue emitido a través del Acuerdo 20 de 1995. El último decreto del Alcalde Mayor fue emitido en enero 30 de 2001, (Decreto 074); a través de éste, se modificó parcialmente el código de Construcción para la ciudad de Bogotá, y la microzonificación sísmica fue tenida en cuenta por primera vez. En este decreto, la ciudad de Bogotá fue dividida en 10 micro-zonas: 1A, 1B, 2A, 2B, 2C, 3A, 3B, 4, 5A y 5B, y también se identifican los espectros de diseño para aplicar en la Ciudad de Bogotá.

B. Situación actual de las normas

El estado de las regulaciones para la construcción en Colombia y su organización se ilustran en la Figura 3.2.1.

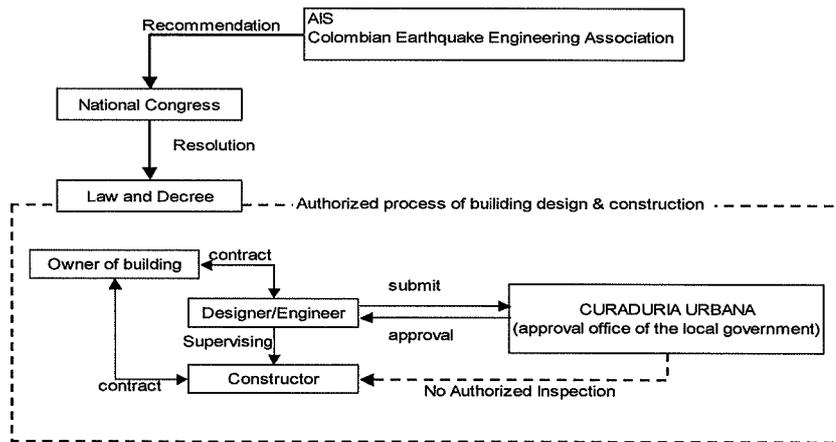


Figura 3.2.1 Condición de las Normas para Construcción y su Organización

A través de la breve revisión que el Equipo de Investigación realizó sobre las leyes y los decretos anteriores, se encontró que las guías que regulan el diseño y la construcción sísmo-resistentes en Colombia y en la ciudad de Bogotá, son hasta cierto punto satisfactorias. Los ítems y el contenido de las regulaciones cubren casi todos los factores que actualmente se tienen en cuenta en Estados Unidos y en Japón. Por ejemplo, en el decreto se formula el concepto de Interacción Suelo-Estructura, lo cual requiere de diseñadores e ingenieros con un conocimiento y experiencia bastante especializados.

C. Discusión sobre las normas para la construcción

a) Estructuras en mampostería

La definición de las estructuras en mampostería debería ser revisada y complementada con cuidadosa atención. Por ejemplo, el grosor mínimo de una pared en mampostería que está determinado en el decreto (aprox.100mm), debería ser reconsiderado, ya que, con un grosor de 100 mm de ladrillo, la resistencia contra sismos de una construcción en mampostería no puede ser garantizada debido al aumento de las fuerzas del sismo causado por la considerable rigidez de la estructura. En Japón está prohibida la mampostería no reforzada y el grosor mínimo de una pared en mampostería es de 15 cm para una unidad de vivienda de un piso.

b) Proceso de inspección

Con respecto a la inspección durante y después de un trabajo de construcción, hay que decir que no hay un proceso legislado y/o autorizado. Aunque previo a la construcción de una edificación los diseñadores/ingenieros en Colombia deben presentar todos los documentos de la construcción a la CURADURIA URBANA para su aprobación, la inspección a cargo de instituciones de autoridad durante y después de la construcción no es obligatoria. Tanto en los Estados Unidos como en Japón, es obligatoria la inspección del lugar de la obra a cargo de una institución autorizada, para garantizar la calidad de la edificación. Por consiguiente, el establecimiento de un proceso de inspección, como el cumplimiento cabal del decreto, deberían ser un asunto de alta prioridad.

c) Prevención para la construcción informal

También es reprobable el hecho de que trabajadores inexpertos y sin un sentido del cumplimiento de la ley, han estado construyendo informalmente durante largos períodos, aún después de 1984. Este fenómeno puede atribuirse a la falta de un proceso sistemático para la erradicación de la construcción informal, debido a la falta de normatividad al respecto y de mecanismos para hacer cumplir la ley. La mayoría de las edificaciones informales no son sismo-resistentes y causan daños tremendos a los residentes y a las propiedades cuando se presentan eventos sísmicos.

d) Reforzamiento

El reforzamiento sísmico es también un asunto urgente. Desde un punto de vista práctico, aunque las regulaciones mencionadas anteriormente describan los ítems necesarios para el diseño, no proveen una metodología práctica para aplicar un reforzamiento a las edificaciones existentes. Como los ingenieros civiles japoneses han desarrollado suficientes conocimientos y tecnología al respecto, basados en la experiencia acumulada de varios terremotos y en las subsiguientes investigaciones, es posible transmitir estos conocimientos, técnicas y recomendaciones con respecto a los materiales de construcción más adecuados a la República de Colombia.

(2) Vulnerabilidad de edificaciones importantes/esenciales existentes

A. Investigación diagnóstica de edificaciones importantes/esenciales existentes realizada por el Equipo de Investigación

a) Objetivos de la investigación de diagnóstico

El Equipo de Investigación estudió varias edificaciones importantes/esenciales existentes en la ciudad de Bogotá y en sus ocho municipios con su contra parte de la DPAE. Los objetivos de esta investigación fueron: 1) Verificar la condición actual de las edificaciones públicas importantes/esenciales existentes y 2) evaluar el posible desempeño sísmico de estas edificaciones, ya que se presupone que juegan un papel importante en el momento de un terremoto.

b) Método de investigación

Se puede hacer un diagnóstico perfecto del desempeño sísmico de edificaciones existentes, con la combinación de muchos resultados experimentales y computacionales y las experiencias y juicios profesionales, como se muestra en la Figura 3.2.2.

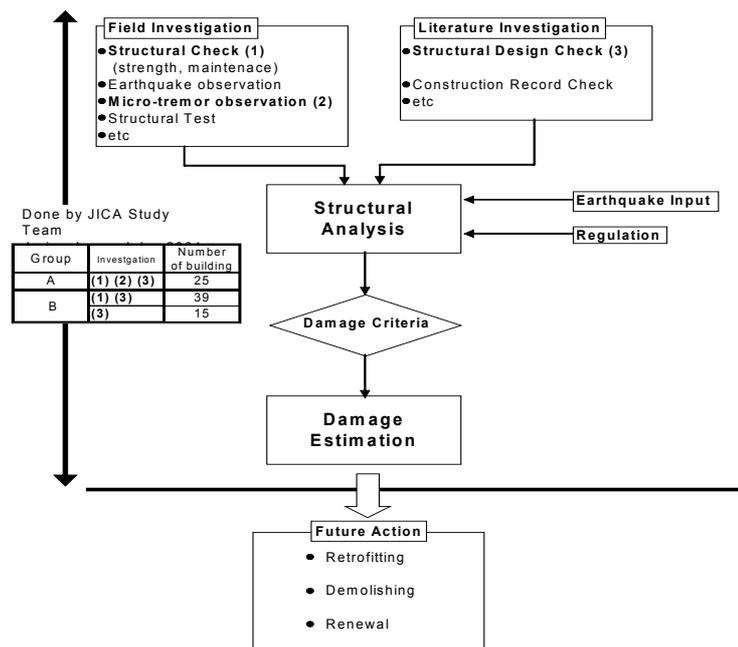


Figura 3.2.2 Diagrama de Flujo para el Diagnóstico de las Edificaciones Existentes y los Alcances del Equipo JICA

Durante esta fase del estudio, se realizó una investigación de campo con micro-terremotos y un chequeo del diseño estructural, a cargo de dos grupos (Grupo A y Grupo B), como se ilustra en la figura. El Grupo A visitó 25 edificaciones y el Grupo B visitó y estudió 54 en total. (Remitirse al Reporte Técnico).

c) Medición de micro-vibración sísmica

El objetivo de la medición de micro-vibración sísmica es el de obtener el período predominante de la edificación. El período predominante está cercanamente relacionado con la vibración de la edificación, no sólo en condiciones normales, sino también en caso de un terremoto. Este período está calculado como el período pico del espectro de poder obtenido y procesado después de la medición de micro-vibración sísmica.

B. Resultados de la investigación de diagnóstico en edificaciones existentes

La investigación de diagnóstico fue llevada a cabo desde mediados de mayo hasta principios de junio de 2001. Los resultados de la investigación, con un total de 79 edificaciones, se resumen en la siguiente Tabla 3.2.2.

Tabla 3.2.2 Resumen de la Investigación de Diagnóstico a Cargo del Equipo JICA

	Type	Location		Diagnosis				Sum
		Bogotá	Cundinamarca	Minor damage	Middle damage	Severe damage	Unknown	
Group A (Micro-tremor)	Housing	1				1		1
	Transport	1		1				1
	Government	7	3	2	2	6		10
	Medical	4	1		1	4		5
	Police	2			1	1		2
	School	4	2	1	1	3	1	6
	Sub-total	19	6	4	5	15	1	25
Group B	Church		2			2		2
	Commercial	2		1		1		2
	Transport	9				9		9
	Government	14	4	3	7	8		18
	Medical	8	1	1		8		9
	Police	5			1	4		5
	School	3	5	1	1	6		8
	Military	1			1			1
Sub-total	42	12	6	10	38	0	54	
TOTAL	Housing	1				1		1
	Church		2			2		2
	Commercial	2		1		1		2
	Transport	10		1		9		10
	Medical	21	7	5	9	14		28
	Government	12	2	1	1	12		14
	Police	7			2	5		7
	School	7	7	2	2	9	1	14
	Military	1			1			1
	Total	61	18	10	15	53	1	79

Fuente: Equipo de Investigación JICA

C. Hallazgos y evaluación de resultados de la investigación

A partir de esta investigación, se obtuvieron varios hallazgos con respecto a la vulnerabilidad de las edificaciones existentes. Casi todas las edificaciones visitadas y estudiadas en este trabajo, fueron diseñadas y construidas antes de 1984; en consecuencia, se encontró que sus estructuras no tenían suficiente resistencia o flexibilidad para aguantar fuerzas horizontales, lo cual podría causar daños serios en caso de un temblor moderado, con una Aceleración Pico del Suelo (PGA) mayor a 0.1g. A continuación se mencionarán otros resultados:

- En general, las estructuras en mampostería pueden catalogarse en tres tipos. Una de ellas es la mampostería no-reforzada, en la que los materiales de construcción como el adobe, la piedra o el ladrillo se apilan con mezcla y/o barro, sin varillas de acero como refuerzo. Las otras dos son marcos de mampostería confinados, en los que, o bien se utilizan marcos de concreto reforzados compuestos por columnas y/o vigas junto con materiales para la construcción de paredes, o muros de mampostería reforzados en los que los ladrillos se conectan entre sí con varillas de acero de refuerzo. Debido al alto costo de las varillas de acero y a la dificultad de conseguirlas en el momento de su construcción, muchas de las edificaciones antiguas en mampostería tienen estructuras no reforzadas y son muy vulnerables aún a las mínimas fuerzas horizontales de temblores de menos de 0.1g en PGA.
- De acuerdo con el alcance de este estudio, muchas edificaciones de estructuras en concreto están compuestas por columnas relativamente pequeñas en comparación con las costumbres japonesas. El tamaño de las varillas de acero de refuerzo también es pequeño en comparación con los parámetros japoneses. Por ejemplo, una de las edificaciones tiene columnas con una sección de 30 x 30 centímetros para una luz de 7 metros. Aparentemente la resistencia del concreto también es muy baja debido al deterioro y a la falta de control de calidad en el momento de la construcción.
- La mayoría de las estructuras de concreto no tiene vigas, pero tienen una placa aligeradas con casetón u otro relleno. El grosor de la placa está entre 15 y 40 centímetros, lo cual causa la pérdida de integridad estructural cuando se somete a fuerzas horizontales. Debido al reducido tamaño de las columnas, generalmente se dificulta el uso de varillas de acero de refuerzo en elementos horizontales como las placas o las cerchas para obtener un amarre rígido entre las columnas. Como resultado, es de esperarse que algunas partes de las lozas presenten fallas por corte cuando se presente un sismo.
- Por otra parte, es frecuente que el ladrillo o el concreto se utilicen como elementos no-estructurales en las paredes divisorias interiores y/o en la pared de fachada, generando el peso muerto de la edificación. Más aún, como estos elementos no-estructurales están adheridos a las columnas estructurales, el potencial de pandeo de las columnas se pierde, y puede producir una falla de corte en las columnas en el evento de un terremoto. La

ausencia de varillas de acero de refuerzo transversales acelerará la falla de corte y el colapso de las columnas.

- Los períodos de vibración medidos en 25 edificaciones se muestran en la Figura 3.2.3

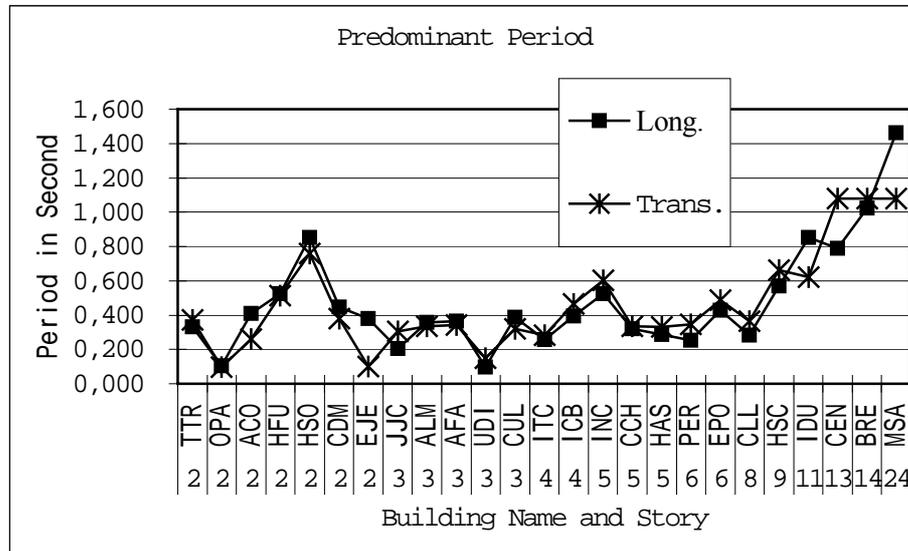


Figura 3.2.3 Período Predominante

A partir de esta figura se puede señalar que 1) No hay tendencias generales para los períodos predominantes en edificaciones bajas, de menos de 10 pisos y 2), los períodos predominantes de las edificaciones altas, de más de 10 pisos son proporcionales al número de niveles.

- Los períodos medidos en las edificaciones bajas mencionados anteriormente, son mayormente atribuidos a las condiciones del suelo local, mientras los de las edificaciones más altas se atribuyen a las características estructurales propias. Lo anterior se debe a que las edificaciones bajas no filtran las características de vibración del suelo a causa de su corta altura estructural.
- Exceptuando a algunas pocas edificaciones, casi todas las que se estudiaron aquí necesitan trabajos de reforzamiento, considerando la importancia de su funcionamiento y la seriedad del daño posible y al número de personas usuarias de cada edificación. El reforzamiento debe ser realizado urgentemente, no sólo en elementos estructurales sino también en elementos no-estructurales y en equipos mecánicos.
- El mayor problema en relación con la calidad de la construcción, es la construcción de estructuras sin ingeniería que se presentan con más frecuencia en los estratos bajos, lo cual dificulta la categorización estructural.

(3) Vulnerabilidades de las edificaciones existentes

A. Daños a las edificaciones en el terremoto de Quindío

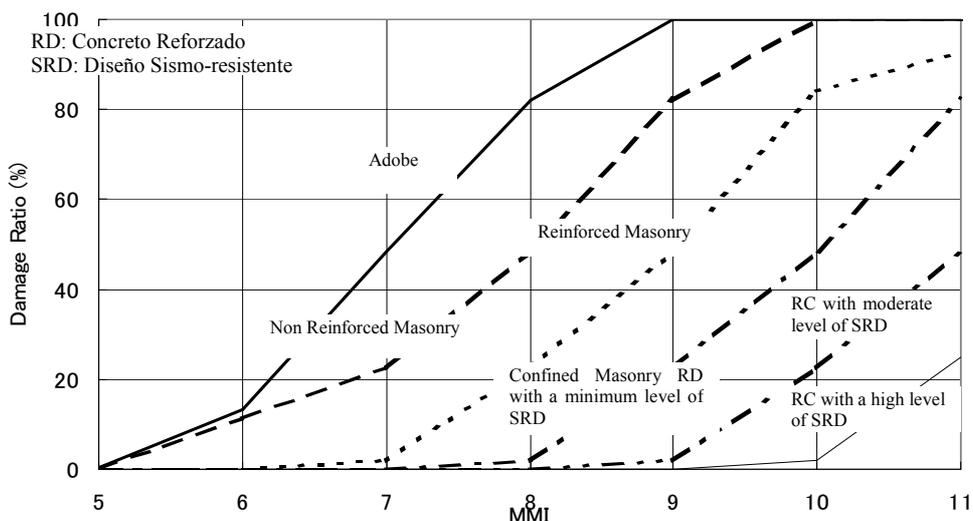
En el terremoto de Quindío, en Enero 25 de 1999, el reporte de la Universidad de los Andes sobre daños en edificaciones afirmó que “se comprobó cuán peligroso es para una ciudad contar con un inventario de edificaciones frágiles hechas con ladrillos y mampostería no-reforzada y de estructuras de concreto reforzadas con dimensiones inadecuadas, y refuerzos de acero que no cumplen con los parámetros sismo-resistentes mínimos” y que “los beneficios de diseñar y construir estructuras usando los parámetros sismo-resistentes, de acuerdo con el estado del arte y del conocimiento, fueron comprobados, significando no sólo la protección de la vida, sino también del patrimonio de los ciudadanos.”

Por otra parte, la Universidad del Quindío e INGEOMINAS también publicaron el reporte de daños, en el que la relación entre el daño a las edificaciones y la intensidad del terremoto se presenta como se ilustra en la Figura 3.2.4.

Utilizando estas relaciones, el Equipo de Investigación obtuvo la vulnerabilidad de las edificaciones en la ciudad de Armenia en el momento del terremoto de Quindío, en la forma de una función de daño o curva de fragilidad, como se aprecia en la Figura 3.2.5.

VULNERABILITY DESCRIPTION	A Constructions in diverse materials without mortar			B Constructions in diverse materials with mortar			C Structures in reinforced concrete without SRD			D Constructions with reinforced concrete and several levels of seismic resistant designs			E			F		
	0-10	10-50	50-100	0-10	10-50	50-100	0-10	10-50	50-100	0-10	10-50	50-100	0-10	10-50	50-100	0-10	10-50	50-100
KIND OF CONSTRUCTION	Adobe, bahareque, tapia pisada and others			Non reinforced masonry, blocks of stone			Reinforced masonry, with concrete plates			Confined masonry, RD with a minimum level of SRD, metallic structures and wooden constructions			Reinforced concrete (RC) with moderate level of SRD			Reinforced concrete (RC) with a high level of seismic resistant design		
PORCENTAJE (%)																		
DAMAGE																		
1. LIGHT. Small on few walls. Fall of stucco. Fissures at the adage between the structure and dividing wells	V	VI	VI	VI	VI	VI												
2. MODERATE. Small fissures con many walls. Fissures on columns and girders. Fall of stucco.	VI	VI	VI	VI	VII	VII	VIII	VIII	VIII	IX	IX	IX	IX	X	X	X	XI	XI
3. SERIOUS. Wide and widespread fissures on many walls. Fall of tiles. Detachment of concrete places. Fissures on girders	VI	VII	VII	VII	VIII	VIII	VIII	IX	IX	IX	IX	IX	X	X	X	XI	XI	XI
4. SEVERE. Serious damages on walls. Partial damage of the structure. Damages on columns nodes. Deviation on columns. The reinforce is exposed.	VII	VIII	VIII	VIII	IX	IX	IX	IX	IX	IX	IX	IX	XI	XI	XI	XI	XI	XI
5. DESTRUCTION. Almost total collapse of the structure.	VII	IX	X	IX	X	XI	IX	XI	XI	XI	XI	XI	XI	XI	XI	XI	XI	XI
RD:	Reinforced Concrete																	
SRD:	Seismic Resistant Design																	
EXPLANATORY NOTE:	Each intensity and its representative colors results from the combination of the damage percentage and the neighborhood vulnerability																	

Figura 3.2.4 Relación de Daños en las Edificaciones & la Intensidad Sísmica en la Ciudad de Armenia



(Fuente: Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Bogotá por INGEOMINAS & Universidad de Los Andes)

Figura 3.2.5 Daño en Edificaciones Según Resultados de Estudio Anterior

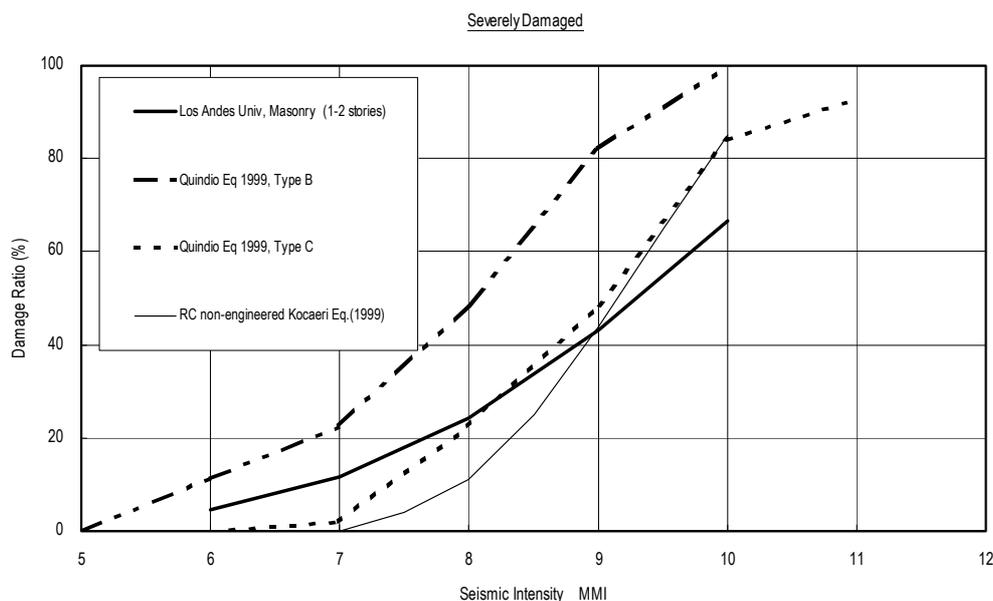
B. Comparación de las funciones de daño

Como se mencionó anteriormente, INGEOMINAS y la Universidad de los Andes condujeron el Estudio de microzonificación desde 1993 hasta 1997. En su evaluación de daño estimado en las edificaciones, la función de daño se asumió de acuerdo con la definición de Consejo de Tecnología Aplicada (ATC) y la vulnerabilidad de las edificaciones se categorizó en 7 tipos, principalmente por unidades residenciales. En la figura siguiente se compara esta función de daño para las estructuras en mampostería, con aquella que se obtuvo del terremoto de Quindío. La función de daño que se obtuvo del terremoto de Turquía³⁻²⁻¹. Estas son mostradas en la Figura 3.2.6.

En esta figura, la intensidad del terremoto se expresa a través de la escala de Intensidad de Mercalli Modificada. Si la intensidad del terremoto se expresa por Aceleración Pico del Suelo (PGA) en lugar de MMI, la relación entre MMI y PGA que se ilustra a continuación es usada principalmente, en donde G es la aceleración de gravedad (9.8 metros/segundo/cuadrado):

$$\text{Log (PGA)}=0.3\text{MMI} + 00.4$$

³⁻²⁻¹ (Kocaeri, agosto 17 de1999).



(A: Adobe B: Mampostería No-reforzada C: Mampostería Reforzada, Otros: Concreto)

Figura 3.2.6 Comparación de Funciones de Daño para Estructuras en Mampostería

2) Infraestructura

La información sobre la vulnerabilidad de la infraestructura es muy importante para la preparación en aspectos de prevención de desastres y el plan de mitigación. En esta sección se hará el análisis de vulnerabilidad de la infraestructura.

(1) Sistema vial

Los siguientes problemas y aspectos han sido identificados desde el punto de vista de la vulnerabilidad física relacionada con el sistema vial.

A. Red incompleta de vías principales

a) Bogotá D.C.

La red de vías principales en Bogotá D.C. está conformada en general por un patrón de anillos y redes de vías radiales. Sin embargo, hay enlaces faltantes fuera del área circunscrita por el anillo vial de la Avenida Boyacá. El área de enlaces faltantes comprende a Suba, Engativá, Fontibón y Bosa. Las vías de acceso y las vías principales son elementos importantes es la preparación para la prevención de desastres en relación con la seguridad de las rutas de evacuación y transporte de material de abastecimiento en emergencias. Las vías principales deberían estar conectadas de acuerdo con la clasificación o jerarquía de las calles y conformadas con enlaces globales, teniendo en cuenta los operativos de transporte y la seguridad de la circulación vehicular. Los

enlaces faltantes generan la necesidad de mejorar esta debilidad a través de la construcción de nuevas vías principales. La Tabla 3.2.3 muestra el estado incompleto de la red principal.

Tabla 3.2.3 Enlaces Faltantes en las Vías Principales por Áreas

District	Missing Links of Principal Road		
	Name of Rd.	Section of Ring Rd.	Section of Radial Rd.
Suba	Av. Boyaca	1. Av. San Jose-Boundary of BGT	-
	Av. Ciudad de Cali	2. Av. San Jose-Boundary of BGT	-
		3. Autopista Medellin-Av. La Conejera	-
	Av. Longitudinal de Occidente	4. Autopista Medellin-Boundary of BGT	-
	Av. Elpolo	-	5. Av. Boyaca-Boundary of BGT
	Av. Guaymaral	-	6. Av. Longitudinal de Occidente-Boundary of BGT
	Transversal de Suba	-	7. Av. Longitudinal de Occidente-Boundary of BGT
Engativá & Fontibón	Av. Longitudinal de Occidente	8. Av. Jose Celestino Mutis-Av. Centenario	-
Bosa	Av. Longitudinal de Occidente	9. Av. Centenario-Boundary of BGT	-
	Av. Ciudad de Cali	10. Av. Diagonal 43 Sur-Boundary of BGT	-
	Av. Ciudad de Villavicencio	11. Av. Primero de Mayo-Autopista del Sur	-
	Av. de las Americas	-	12. Av. Ciudad de Cali-Boundary of BGT
	Av. Primero de Mayo	-	13. Av. Ciudad de Cali-Boundary of BGT

b) Ocho Municipios

La red vial del área urbana en los ocho municipios de Cundinamarca es compleja y precaria. Además, el mantenimiento de las calles existentes es pobre, especialmente en cuanto a la pavimentación y los sistemas de drenaje. El resumen de la vulnerabilidad física de la red vial de los ocho municipios se ilustra en la Tabla 3.2.4.

Tabla 3.2.4 Vulnerabilidad Física de la Red Vial de los Ocho Municipios

Physical Vulnerability	Eight municipalities							
	La Calera	Chia	Cota	Funza	Facatativa	Madrid	Mosquera	Soacha
1. Road network is poor.	0							
2. Road network is immaturity.							0	
3. Road network is complex.								0
4. Role of principal road is unclear.		0	0			0		
5. Major gateway is insufficient in number.	0		0	0	0			
6. Major principal road is insufficient in number.			0	0			0	0
7. Major distributor as ring road is not formed.	0		0		0		0	

B. Capacidad insuficiente de las vías principales más importantes

a) Bogotá D.C.

La red de vías principales en Bogotá D.C. está comprendida por vías de tipo V-0 de 12 carriles, tipo V-1 de 10-6 carriles, tipo V-2 de 6 carriles y tipo V-3 de 6-4 carriles. Las mayor parte de las vías principales tiene más de 6 carriles; sin embargo, también hay vías principales de 4 carriles. La red de vías principales debería estar conformada por avenidas de 6 carriles, indicando una capacidad de diseño de aproximadamente 6,000 PCU por sentido. Además, las 6 vías de acceso desde otros municipios deberían promoverse y ser ampliadas a vías de más de 6 carriles cada una. Las siguientes vías de acceso y vías principales tienen un número insuficiente de carriles:

Tabla 3.2.5 Vías Principales de Bogotá, con Capacidad Insuficiente

Type of Roads	Name of Roads
Gateway:	La Calera Rd. (Los Patios-La Calera-Briceño Rd.)
	Avenida Villavicencio Rd.
Principal Road:	Avenida Suba Rd
	Avenida Cota Rd
	Avenida 68 Rd.
	Avenida Luis Carlos Galán
	Avenida 13 Rd.
	Avenida 11, 15, 19 Rd.

b) Ocho Municipios

El número de carriles en las vías principales de los ocho municipios está en un intervalo entre 2 y 4 carriles, de vía con separador. En general, estas vías principales en el área urbana de cada municipio son un número insuficiente, especialmente en los municipios de Cota, Funza, Mosquera y Soacha.

C. Insuficientes vías alternas a las vías de acceso principales

a) Bogotá D.C.

Con el propósito de asegurar una ruta de evacuación y entrada del material de abastecimiento para emergencias en la ciudad de Bogotá, es importante establecer una ruta alterna a las vías de acceso principales. Hay seis vías principales de acceso a la ciudad de Bogotá, dos de ellas desde el Norte del País. No obstante, la capacidad de la vía a la Calera es insuficiente para que funcione como vía alterna a la Autopista del Norte. Entretanto, las vías de acceso desde el Occidente de Colombia son tres: la Autopista Medellín, la Avenida Centenario y la Autopista Sur. La ruta alterna a la vía de acceso desde el Sur de Colombia es difícil de encontrar. Como resultado del estudio, se encontró que las siguientes vías de acceso tienen vías alternas insuficientes:

Tabla 3.2.6 Insuficientes Vías Alternas a las Principales Vías de Acceso en Bogotá

Gateway from Northern Colombia:	Autopista Norte Rd.-Tunja/Cucuta/Venezuela
Gateway from Western Colombia:	Autopista Sur Rd.-Armenia/Cali
Gateway from Southern Colombia:	Avenida Villavicencio Rd.-Villavicencio

b) Ocho Municipios

Las vías inter-municipales son las mismas vías principales de acceso a cada municipio. Las siguientes vías inter-municipales tienen rutas alternas de acceso insuficientes. Es necesario reducir esta debilidad a través de la protección de la vulnerabilidad física del sistema vial.

- Vía inter-municipal Avenida Centenario, entre los municipios de Facatativá y Mosquera.
- Vía inter-municipal de Cundinamarca, entre los municipios de Mosquera y Chía.

D. Carencia de un plan de contingencia en el sistema vial

El plan de contingencia en el sistema vial de Bogotá D.C. no fue preparado por el IDU. Con respecto a las vías de escala departamental y a las vías municipales, el plan no fue considerado por el departamento de Cundinamarca ni por cada uno de los municipios. Por consiguiente, es altamente recomendable que se diseñe un plan de contingencia lo más pronto posible.

(2) Sistema de puentes

Los siguientes aspectos y problemáticas se han identificado desde el punto de vista de la vulnerabilidad física con respecto al sistema de puentes.

A. Código de diseño de puentes

a) Puentes vehiculares

Antes de 1971, los efectos sísmicos no se consideraban importantes en los cálculos y el diseño estructurales. Las fuerzas horizontales eran tenidas en cuenta dependiendo del criterio individual de cada diseñador, con referencia a los parámetros generales dados por la AASHTO.

Se pensaba que las fuerzas horizontales debían estar en función del desplazamiento estructural de los elementos y la fuerza horizontal se determinaba con base en un desplazamiento establecido. La estimación de la fuerza horizontal se estableció sin tener en cuenta coeficientes sísmicos que dependen de la condición geotécnica del terreno de la obra.

Tabla 3.2.7 Evaluación Cronológica de los Códigos Usados para el Diseño Sísmico de Puentes

Period	Code	General Considerations	Liquefaction
Before 1971	AASHTO	Coefficients that depended on the type of soil were applied as a percentage of the dead load to obtain the horizontal force.	Liquefaction was not considered in code.
1972 to 1977	AASHTO	It was supposed a relative horizontal displacement of "1" on infrastructure elements such as piles and the forces that produces. It was calculated in this way. This force was considered as the force caused by the seismic movement.	Liquefaction was not considered in code.
1977 to 1995	AASHTO	At this time AASHTO already considered two methods for seismic assessment; the first one was the static equivalent force, second method was the dynamic spectral response, specially for complex structures.	Liquefaction was considered in code. The liquefaction potential area was not identified by officially.
1995 to at the day (2001)	Colombian Seismic Design Code for Bridges (CCP94) and Seismic microzoning of Bogotá 97.	Different methods of Seismic assessment are considered depending on the structural layout of the bridge, its importance and specially on its location within the hazard seismic zones. At the beginning of this period, the seismic movements were considered according to the Colombian Code for bridges. But since May of 2000, IDU demands that the bridges located in Bogotá should be designed and checked using the Seismic Microzoning study for the city. On last March (2001), by law, it is obligatory to use of the microzoning study. The results of the study should be applied to all kind of structures to build or repair in Bogotá.	Liquefaction is considered in the design code. The liquefaction potential area was identified in microzoning in Bogota 97.

La AASHTO propone métodos de evaluación de las fuerzas sísmicas basada en los terremotos ocurridos en los Estados Unidos. Estos métodos y recomendaciones comenzaron a aplicarse en Colombia en 1977, hasta el establecimiento del Código Colombiano de Puentes en 1995.

Los métodos propuestos por la AASHTO en esa época contemplaban las fuerzas estáticas equivalentes para estructuras con elementos de rigidez similar y aquellos correspondientes a la respuesta espectral dinámica para estructuras complejas e irregulares. El ultimo método cobra cierta importancia con la creación de programas de computador para estructuras, en los que la respuesta espectral dinámica ya estaba contemplada.

A partir de 1995, con la aparición del Código Sísmico Colombiano de Puentes, la necesidad de un estudio sísmico sobre los puentes se vuelve una preocupación mayor y se comenzó a clasificar las estructuras de acuerdo a su importancia y al coeficiente de aceleración del terreno. Se introduce una categoría certera del comportamiento sísmico para definir el procedimiento sísmico que se debe utilizar. Los procedimientos son los siguientes: análisis sísmico simplificado, método espectral en el modo fundamental, método espectral con varios modos de vibración, método de respuesta contra el tiempo con familias de aceleración.

Con el estudio de microzonificación sísmica en Bogotá, se establecieron diferentes espectros de aceleración área por área en la ciudad. Actualmente, la microzonificación debe ser considerada en todas las estructuras que se diseñan o reparan en Bogotá.

b) Puentes peatonales

No hay un código específico para el diseño de puentes peatonales en Colombia. En consecuencia, el código de diseño de puentes vehiculares se adopta, junto con las recomendaciones para puentes peatonales de la AASHTO.

B. Investigaciones sobre puentes

La información de las investigaciones sobre puentes fue recolectada por el equipo de investigación de JICA. La Tabla 3.2.8 muestra el número de puentes investigados en el área de estudio.

Tabla 3.2.8 Número de Puentes Investigados en el Área de Estudio

Organization	Bogotá		Eight municipalities	
	Vehicular	Pedestrian (Flyover)	Vehicular	Pedestrian
	IDU		INVIAS	Municipalities and concession
Total number of bridges	177	134	17	19
Visuale inspection bridge	122	134	17	0
Were re-calculated bridge	44	58	0	0
Replaced or reinforcement bridge	42	58	0	0
Replaced or reinforced bridge	16	33	0	0

Fuente: Equipo de Investigación JICA, 2001

a) Puentes vehiculares en Bogotá

70 de los puentes vehiculares elevados y 52 puentes vehiculares sobre ríos fueron estudiados por el IDU en 1998. Esta investigación consistió en dos pasos; el primero fue una inspección visual, que filtró los puentes que debían ser recalculados, y el segundo consistió en el recálculo de dichos puentes. Los puentes que tenían algún problema están en las listas de refuerzo o de reemplazo.

Las siguientes son anotaciones sobre esta investigación:

- La investigación no abarcó todos los puentes vehiculares. Se inspeccionó visualmente el 70% de los puentes y de ellos un 25% está recalculado.
- La inspección visual no tuvo en cuenta los aspectos sísmicos.
- Los recálculos fueron apropiados, ya que tuvieron en cuenta el último código de diseño y utilizaron la aceleración de diseño del estudio por micro zonas del 97.

Recalcular la estructura de los puentes vehiculares toma demasiado tiempo y es más difícil que en los puentes peatonales. Sin embargo, el recálculo es importante con el objeto de aclarar las zonas

donde se necesitan modificaciones o para aclarar si se requiere o no la reparación o reconstrucción del puente.

Recomendaciones

- Se recomienda un diagnóstico sísmico para la prioridad del recálculo.
- Se recomienda el establecimiento de un diagnóstico sísmico visual simple. Sería útil modificar e implementar el esquema de diagnóstico sísmico Japonés.

Puentes peatonales en Bogotá

Todos los puentes peatonales en la ciudad de Bogotá fueron investigados por el IDU en 1998. La sismo-resistencia de todos los puentes fue recalculada de acuerdo con la aceleración del suelo propuesta por el estudio por micro zonas de 1998. Actualmente está llevándose a cabo un plan de refuerzo y reemplazo de puentes peatonales en la ciudad. La Figura 3.2.7 ilustra la situación actual de los puentes peatonales de acuerdo con los resultados de la investigación de 1998.

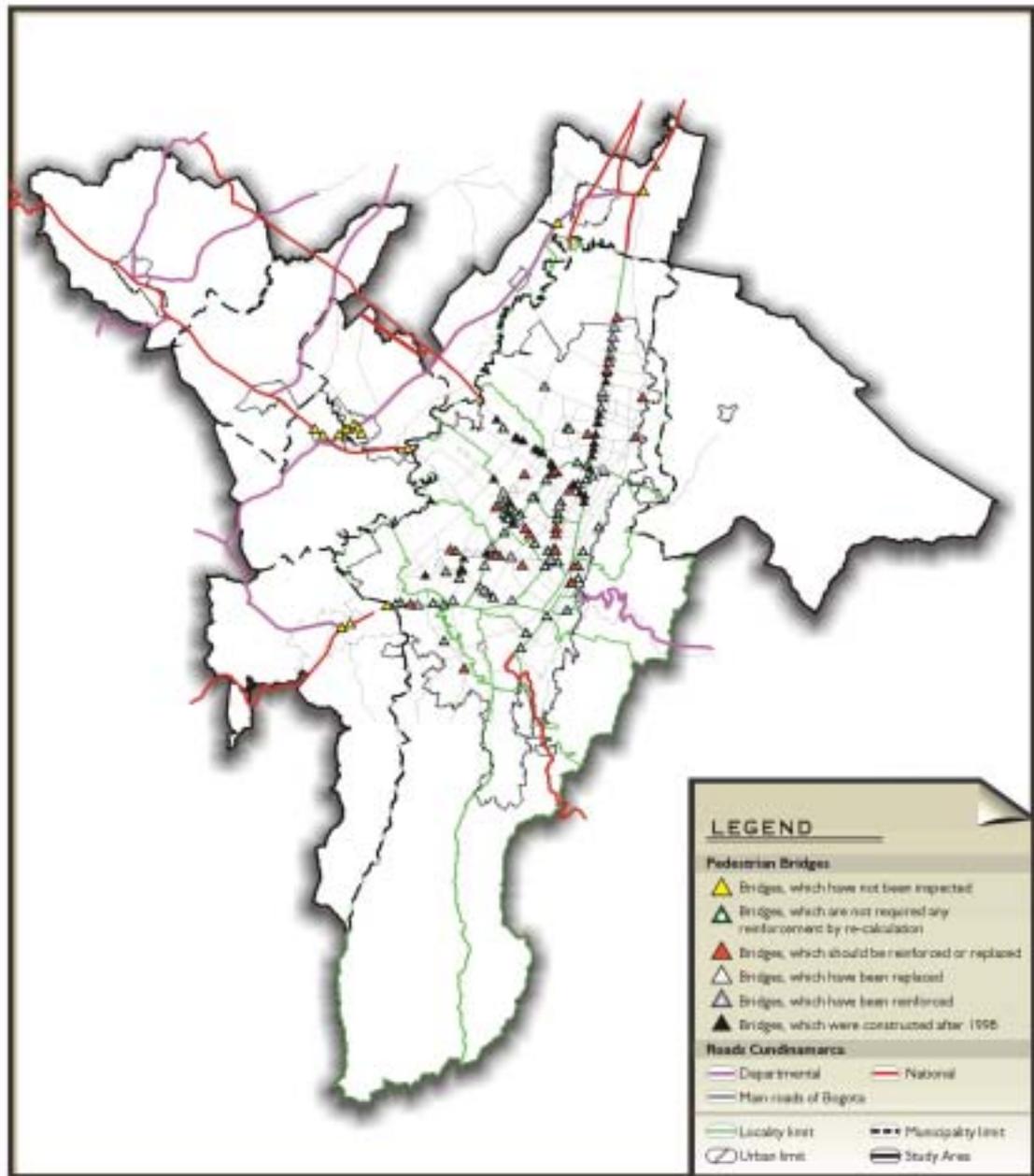


Figura 3.2.7 Situación de los Puentes Peatonales Según la Investigación del IDU en 1998

La investigación es apropiada para una súper estructura. No obstante, información detallada sobre la cimentación y el potencial de licuación no estaba disponible durante la inspección. En consecuencia, el IDU tiene el propósito de investigar la cimentación de todos los puentes peatonales.

El equipo de investigación de la JICA recomienda que el factor licuación se incluya en la investigación sobre la cimentación de los puentes que se encuentran en áreas con potencial de dicho fenómeno.

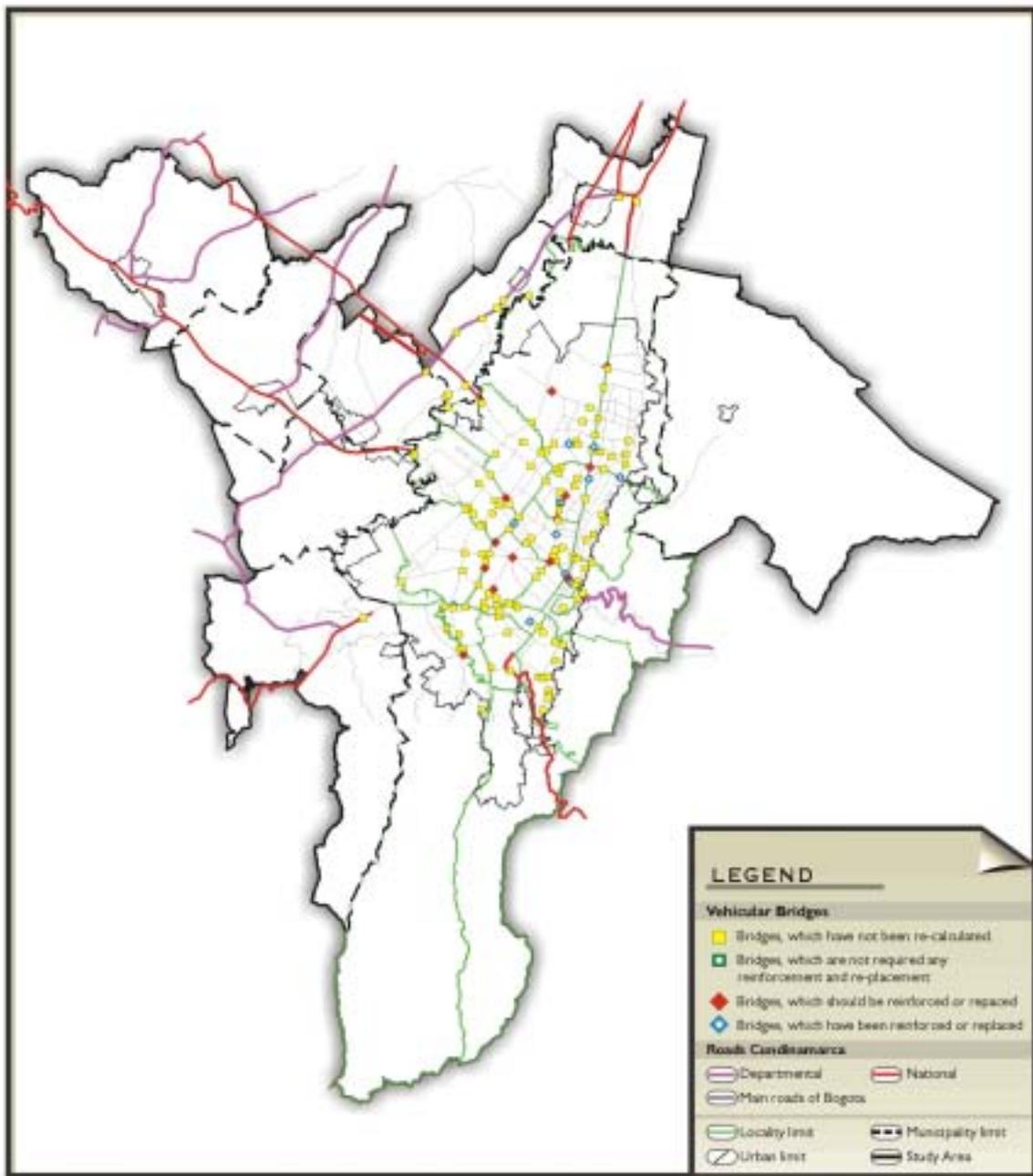


Figura 3.2.8 Situación de los Puentes Vehiculares Según la Investigación del IDU en 1998

C. Puentes vehiculares en los ocho municipios

Los puentes vehiculares de los ocho municipios pasan sobre ríos, exceptuando los pasos elevados en Chía. Estos puentes son relativamente nuevos y en consecuencia su confiabilidad es medianamente alta.

Por otra parte, algunos puentes sobre ríos son muy antiguos y su sismo-resistencia puede ponerse en duda.

D. Puentes peatonales en los ocho municipios

Las estructuras de la mayoría de puentes peatonales en los ocho municipios son de viga simple.

Aparentemente, el riesgo de destrucción es alto debido a que el pilar es delgado.

Aparentemente, el riesgo de colapso es alto debido a que el apoyo de las vigas sobre las columnas es muy angosto.

No obstante, como la viga es una estructura de marco liviano, es relativamente fácil remover la viga colapsada después de un terremoto.

(3) Sistema Ferroviario

Desde el punto de vista de la vulnerabilidad física del sistema ferroviario, se han identificado los siguientes aspectos y problemas:

- Deterioro del sistema ferroviario,
- Capacidad de transporte deficiente, y
- Sistema de operaciones deficiente.

3.2.2 Vulnerabilidad Social y Económica

1) General

La urbanización es un fenómeno inevitable en todos los países. A medida que la economía va creciendo, la gente tiende a vivir en zonas urbanas. Las áreas urbanizadas proveen mejores condiciones de vivienda y oportunidades de trabajo para la gente. Las actividades económicas en las áreas urbanas se han diversificado, los sectores industriales y de servicios han crecido y se han convertido en puntos de enlace con otras áreas del mismo país y también con otros países.

Dentro del área urbana, el sistema de transporte se ha desarrollado para movilizar a la gente del lugar de vivienda al lugar de trabajo y viceversa. La red de información y comunicación también se ha desarrollado para soportar las industrias. Sin embargo, la expansión de la ciudad no ha considerado los riesgos de la urbanización. El área urbana plantea riesgos asociados con la naturaleza de su expansión. Como consecuencia, debería reconocerse que el área urbana en sí misma, constituye o genera riesgos de desastres naturales.

En esta sección, se analiza la vulnerabilidad del área urbana según tres aspectos: social, económico y ambiental. Estos ítems están interrelacionados para formular vulnerabilidades sintetizadas en el área urbana.

2) Vulnerabilidad Social

(1) Definición

La medición de la vulnerabilidad social está aún en desarrollo. La atención se ha centrado en categorías especiales de los grupos vulnerables: subsistencias bajo riesgo, percepción del riesgo, presencia de instituciones locales y nivel de pobreza³⁻²⁻². En este estudio, la vulnerabilidad social se define usando diversas variables de clase social y población, lo que incluye la expansión de la población urbana, composición por edad y densidad.

(2) Clase social

Se hace referencia a la sección 2.2.3 de este reporte. En cuanto al nivel de pobreza de las comunidades, la clasificación por estratos es un indicador confiable del área de estudio. Colombia ha establecido una clasificación socio económica por estrato, basada en las características del área residencial y en la tarifa de los servicios públicos como la electricidad, el sistema de acueducto y alcantarillado; esta clasificación por estratos ha determinado la tarifa del servicio telefónico. El estrato bajo tiene una estructura de tarifas bajas de servicios públicos, basada en las regulaciones del gobierno local, mientras el estrato alto tiene que pagar tarifas más altas que ayuden a cubrir a los estratos bajos. En consecuencia, el *estrato* puede ser utilizado como un lineamiento general para la clasificación social en Colombia. El estrato bajo corresponde a una comunidad con ingresos bajos, lo que indica que es una comunidad socialmente vulnerable.

La vulnerabilidad social se define por un nivel de organización pobre. Una de las escalas para definir el nivel de pobreza fue desarrollada por la Misión Social, Departamento Nacional de Planeación y se llama *Sistema de Selección de Beneficiarios para Programas Sociales* (SISBEN). El SISBEN se diseñó para definirle al gobierno local un grupo objetivo para las inversiones sociales, correspondiente a los grupos de población más pobres y vulnerables. El DAPD se llevó a cabo en diciembre del año 2000 y muestra los resultados de la encuesta. El SISBEN clasifica la población según seis grupos socioeconómicos, basado en los resultados de la encuesta. Según la clasificación del SISBEN, los niveles 1 y 2 corresponden a pobreza. Los resultados muestran que más del 25% de la población encuestada está clasificada en los niveles 1 y 2. La participación del SISBEN en los estratos 1 y 2 es de un 29%.

³⁻²⁻² Carter, W. Nick (1991) Disaster Management A Disaster Manager's Handbook, Asian Development Bank

A. Nivel 1

Corresponde a familias que están en condiciones extremas de pobreza; esto significa que son familias con dos o más necesidades básicas insatisfechas. Los resultados de la encuesta indican que las localidades de Ciudad Bolívar y de Usme, tienen el mayor porcentaje de población en nivel 1.

B. Nivel 2

En el nivel 2, se encuentran las familias con una necesidad básica insatisfecha. A partir de los resultados de la encuesta, se afirma que las localidades con más población de nivel 2 del SISBEN son Ciudad Bolívar, Usme, Suba, Kennedy y San Cristóbal.

La Tabla 3.2.9 muestra la distribución de la población en estado de pobreza definida por el SISBEN.

Tabla 3.2.9 Resumen de Población en Estado de Pobreza Según el SISBEN

Locality	Population	%	Population	%	Population	%
	Level 1	Level 1	Level 2	Level 2	Level 3	Level 3
Usaquén	4,871	4.23	32,096	4.37	61,080	4.10
Chapinero	1,755	1.53	6,699	0.91	10,064	0.68
Santa fe	6,111	5.31	38,022	5.18	58,404	3.92
San Cristobal	7,125	6.19	56,792	7.74	114,960	7.72
Usme	20,017	17.40	96,593	13.16	143,306	9.63
Tunjuelito	901	0.78	22,289	3.04	69,433	4.66
Bosa	6,716	5.84	74,327	10.12	155,153	10.42
Kennedy	7,741	6.73	56,089	7.64	146,818	9.86
Fontibón	841	0.73	13,164	1.79	51,759	3.48
Engativá	1,841	1.60	34,052	4.64	120,023	8.06
Suba	5,018	4.36	65,782	8.96	150,281	10.10
Barrios Unidos	1,301	1.13	8,319	1.13	32,405	2.18
Teusaquillo	67	0.06	526	0.07	1,511	0.10
Los Mártires	1,356	1.18	10,471	1.43	21,905	1.47
Antonio Nariño	275	0.24	4,501	0.61	14,475	0.97
Puente Aranda	1,589	1.38	8,326	1.13	25,770	1.73
La Candelaria	522	0.45	5,855	0.80	9,092	0.61
Rafael Uribe	5,624	4.89	47,838	6.52	95,592	6.42
Ciudad Bolívar	38,444	33.42	152,038	20.71	206,428	13.87
Sumapaz	2,903	2.52	337	0.05	118	0.01
Total	115,018	99.97	734,116	100.00	1488,577	100.00

Fuente: Información para el Plan Local 2001

La tabla muestra que el nivel 1 está concentrado en la localidad de Ciudad Bolívar, seguida por Usme. En Ciudad Bolívar, la población en niveles 1 y 2 excede el 50% del total de la población. Esto significa que estas localidades, con mayor concentración de población de niveles 1 y 2, son áreas de alta vulnerabilidad.

(2) Población

A. Urbanización

El área urbana ha experimentado un incremento rápido de la población, que ha generado muchos problemas urbanos que involucran el transporte, la vivienda, los servicios públicos, etcétera. A medida que la población urbana ha aumentado, la articulación de la comunidad se ha hecho débil. Después de un desastre, la organización de la comunidad juega un rol muy importante. El asunto social que es más importante, es la formulación del nivel de organización de la comunidad para el manejo de desastres. Experiencias pasadas muestran que la capacidad operativa de búsqueda y rescate que tenga la comunidad, puede salvar muchas vidas.

La ciudad de Bogotá experimentó un rápido incremento de la población urbana durante los años sesenta y el promedio anual de incremento de la población ha sobrepasado el 7%. La razón de este incremento es natural, y está asociada con la disminución de la tasa de mortalidad infantil. En cuanto al incremento social, puede explicarse por la migración de desplazados por la violencia, aunque las razones económicas son también uno de los factores esenciales para la migración, como sucede en otros países. La población de Bogotá era de 660 mil habitantes en 1951 y aumentó a más de 2.8 millones en 1973. Esto representa un incremento de la población de más de cuatro veces su número en 22 años. Desde entonces, la ciudad de Bogotá, así como los municipios adyacentes de Cundinamarca, han experimentado un crecimiento de la población. La participación de la población de Bogotá en la población nacional, llegó al 16.1% en 1993. Según una estimación del DPAD, la población de la ciudad de Bogotá aumentará en 130.000 habitantes cada año.

B. Composición de la población

La composición de la población es otro de los asuntos de importancia. La estructura de edad del área de estudio muestra que los niños y la población de adultos mayores pueden constituir alto riesgo en un desastre. Es importante identificar el personal en alto riesgo.

Tabla 3.2.10 Distribución Poblacional en Alto Riesgo

Locality	0 - 4 years	% total Bogota	55 years and more	% total Bogota	Total Population in Risk	Total Population Locality	% total Bogota
USAQUEN	45,191	6.53	43,136	6.94	88,327	421,320	6.60
% population of locality	10.73		10.24		21		
CHAPINERO	7,700	1.11	18,736	3.02	26,436	122,991	1.93
% population of locality	6.26		15.23		21		
SANTAFE	10,836	1.57	11,262	1.81	22,098	107,044	1.68
% population of locality	10.12		10.52		21		
SAN CRISTOBAL	53,676	7.76	42,173	6.79	95,849	455,028	7.13
% population of locality	11.8		9.27		21		
USME	33,103	4.78	15,182	2.44	48,285	244,270	3.83
% population of locality	13.55		6.22		20		
TUNJUELITO	21,530	3.11	18,697	3.01	40,227	204,367	3.20
% population of locality	10.53		9.15		20		
BOSA	52,330	7.56	23,054	3.71	75,384	410,099	6.43
% population of locality	12.76		5.62		18		
KENNEDY	97,903	14.15	93,457	15.04	191,360	912,781	14.31
% population of locality	10.73		10.24		21		
FONTIBON	29,898	4.32	28,540	4.59	58,438	278,746	4.37
% population of locality	10.73		10.24		21		
ENGATIVA	80,343	11.61	76,695	12.35	157,038	749,068	11.74
% population of locality	10.73		10.24		21		
SUBA	75,780	10.95	72,341	11.64	148,121	706,528	11.08
% population of locality	10.73		10.24		21		
BARRIOS UNIDOS	12,870	1.86	26,068	4.20	38,938	176,552	2.77
% population of locality	7.29		14.77		22		
TEUSAQUILLO	7,225	1.04	20,173	3.25	27,398	126,125	1.98
% population of locality	5.73		15.99		22		
LOS MARTIRES	7,761	1.12	11,683	1.88	19,444	95,541	1.50
% population of locality	8.12		12.23		20		
ANTONIO NARIÑO	8,441	1.22	11,815	1.90	20,256	98,355	1.54
% population of locality	8.58		12.01		21		
PUENTE ARANDA	24,914	3.60	30,494	4.91	55,408	282,491	4.43
% population of locality	8.82		10.79		20		
LA CANDELARIA	2,336	0.34	3,511	0.57	5,847	27,450	0.43
% population of locality	8.51		12.79		21		
RAFAEL URIBE	41,254	5.96	39,379	6.34	80,633	384,623	6.03
% population of locality	10.73		10.24		21		
CIUDAD BOLIVAR	78,853	11.39	34,641	5.58	113,494	575,549	9.02
% population of locality	13.7		6.02		20		
TOTAL BOGOTA	692,120	100.00	621,234	100.00	1,313,354	6,378,928	100.00
% population of Bogotá	10.85		9.74		21		

Fuente: Información para el Plan Local 2001

La población en alto riesgo se encuentra distribuida en toda la ciudad de Bogotá, representando un índice aproximado del 20%. No está claro en cuál de las localidades hay más población en alto riesgo.

C. Densidad

La Tabla 3.2.11 muestra que el promedio de densidad poblacional en los estratos 2 y 3 es de más de 400 personas/ha, mientras que en los estratos 5 y 6 es de aproximadamente 100 personas/ha. Los Estratos 1 y 2 son cuatro veces más poblados que los estratos 5 y 6. Hay aproximadamente

300 personas/ha en el estrato 1. La comunidad de estrato bajo es socialmente vulnerable, debido a sus bajos ingresos y a la alta densidad poblacional.

Tabla 3.2.11 Distribución de la Población por Estrato

LOCALITY		ESTRATO						TOTAL	
		Not Classify	1	2	3	4	5		6
1. USAQUEN	Area (Ha)	900.70	60.39	228.20	342.13	354.36	277.88	382.27	2,545.93
	Population	9,521	11,395	37,943	108,639	96,290	53,950	69,535	387,271
	Density	10.57	188.67	166.27	317.54	271.73	194.15	181.90	152.11
2. CHAPINERO	Area (Ha)	101.63	33.84	146.74	53.48	155.38	96.65	301.05	888.77
	Population	1,587	5,680	10,638	9,899	32,759	14,007	48,422	122,991
	Density	15.62	167.83	72.49	185.10	210.83	144.93	160.84	138.38
3. SANTA FE	Area (Ha)	71.41	13.53	167.77	130.40	8.69	0.93		392.75
	Population	1,349	3,389	72,690	26,213	3,393	11		107,044
	Density	18.89	250.45	433.26	201.01	390.19	11.84		272.55
4. SAN CRISTOBAL	Area (Ha)	99.02	71.51	586.07	153.48				910.08
	Population	4,370	34,029	341,107	66,030				445,535
	Density	44.13	475.84	582.02	430.22				489.56
5. USME	Area (Ha)	163.98	365.35	216.86					746.20
	Population	2,074	58,929	161,912					222,915
	Density	12.65	161.29	746.62					298.73
6. TUNJUELITO	Area (Ha)	226.75	3.71	231.60	128.45				590.51
	Population	2,745	26	130,014	71,582				204,367
	Density	12.11	6.92	561.37	557.29				346.09
7. BOSA	Area (Ha)	214.00	142.93	734.49	29.47				1,120.89
	Population	1,588	2,749	286,655	20,707				311,698
	Density	7.42	19.23	390.28	702.61				278.08
8. KENNEDY	Area (Ha)	651.33	22.28	564.46	846.48	20.29			2,104.83
	Population	5,935	12,905	327,347	486,060	7,790			840,036
	Density	9.11	579.34	579.93	574.21	383.98			399.10
9. FONTIBON	Area (Ha)	830.94		305.39	398.87	137.16			1,672.36
	Population	2,555		17,509	180,677	40,631			241,372
	Density	3.07		57.33	452.97	296.24			144.33
10. ENGATIVA	Area (Ha)	637.18	10.27	359.91	1082.64	89.76			2,179.76
	Population	8,386	4,351	75,276	596,039	27,988			712,040
	Density	13.16	423.65	209.15	550.54	311.80			326.66
11. SUBA	Area (Ha)	709.27	8.67	829.18	587.84	357.11	675.08	395.79	3,562.92
	Population	6,243	1,788	216,349	223,336	79,140	96,887	10,926	634,669
	Density	8.80	206.35	260.92	379.93	221.62	143.52	27.61	178.13
12. BARRIOS UNIDOS	Area (Ha)	241.73	0.06	21.62	296.40	222.58	22.41		804.80
	Population	2,207			112,634	57,744	3,966		176,552
	Density	9.13			380.00	259.43	176.99		219.37
13. TEUSAQUILLO	Area (Ha)	479.24		14.50	93.99	367.37	21.72		976.82
	Population	613		18	22,291	95,299	7,905		126,125
	Density	1.28		1.25	237.15	259.41	364.00		129.12
14. LOS MARTIRES	Area (Ha)	84.93		19.92	316.97	10.55			432.37
	Population	510		5,185	85,405	4,441			95,541
	Density	6.01		260.33	269.44	420.93			220.97
15. ANTONIO NARINO	Area (Ha)	59.50		8.47	252.42				320.39
	Population	98		7,833	90,424				98,355
	Density	1.64		925.14	358.23				306.98
16. PUENTE ARANDA	Area (Ha)	464.83	0.20	10.15	640.90				1,116.07
	Population	2,283	171	709	279,329				282,491
	Density	4.91	839.49	69.83	435.84				253.11
17. LA CANDELARIA	Area (Ha)	41.00		49.07	33.47				123.54
	Population	980		18,190	8,280				27,450
	Density	23.89		370.72	247.37				222.19
18. RAFAEL URIBE U	Area (Ha)	68.10	36.25	224.18	364.15				692.67
	Population	3,628	18,578	166,078	194,517				382,801
	Density	53.27	512.55	740.84	534.17				552.65
19. CIUDAD BOLIVAR	Area (Ha)	143.39	561.42	272.62	56.82				1,034.25
	Population	5,395	231,771	239,081	21,929				498,177
	Density	37.63	412.83	876.96	385.98				481.68
TOTAL	Area (Ha)	6,188.93	1,330.41	4,991.20	5,808.36	1,723.23	1,094.66	1,079.11	22,215.92
	Population	62,065	385,759	2,114,533	2,603,991	445,473	176,725	128,883	5,917,430
	Percentage	1.05	6.52	35.73	44.01	7.53	2.99	2.18	100.00
	Density	10.03	289.96	423.65	448.32	258.51	161.44	119.43	266.36

Note: 1) The area classified as non-residential areas such as factory, commercial and parks.

Source : DAPD. Subdirección de Desarrollo Humano y Progreso Social

Es evidente que el área del sur de Bogotá tiene una densidad poblacional mayor al resto de la ciudad, con más de 400 personas/ha y las localidades más densamente pobladas incluyen a San Cristóbal, Rafael Uribe y Ciudad Bolívar. A pesar del estrato, estas localidades presentan una alta densidad poblacional, además de un alto incremento de la población en los últimos cinco años.

En consecuencia, las anteriores localidades pueden extender sus áreas residenciales y éstas áreas pueden convertirse en zonas de alto riesgo debido a los bajos precios de la tierra.

3) Vulnerabilidad económica

(1) Definición

La vulnerabilidad económica mide los potenciales de pérdidas económicas o de bienes y procesos. Está centrada en evaluar el potencial de pérdida directa como el daño o destrucción de infraestructura física o social y su costo de reposición. El potencial de pérdida indirecta incluye el impacto de pérdidas en la producción, el empleo, los servicios públicos y las actividades generadoras de ingresos y ganancias. La pérdida secundaria está determinada por las epidemias, la inflación, la desigualdad de ingresos y por áreas periféricas aisladas³⁻²⁻².

En este estudio, se calculó la pérdida económica de bienes raíces como edificios, puentes y líneas de servicios públicos. En el caso del comercio y la industria, las pérdidas económicas directas serían edificaciones, maquinaria, reservas y productos; aún así, hay limitaciones para estimar estas pérdidas, exceptuando los bienes raíces. Es difícil estimar las pérdidas secundarias.

(2) Pérdida económica

Las actividades económicas han progresado en las áreas urbanas. La concentración de actividades económicas beneficia a todo el sector comercial, ya que el área urbana ha podido proveer productos y servicios a bajos precios. Usualmente, el área urbana importa alimentos y productos agropecuarios de las áreas externas y exporta bienes y servicios industriales. Estos son los vínculos económicos que se han desarrollado entre las áreas urbanas y rurales.

La ciudad de Bogotá es el centro económico de Colombia y produjo más del 23% del Producto Interno Bruto (PIB) en 1998. Dada la ubicación geográfica de la ciudad de Bogotá, ésta depende de las fuentes externas para la producción de energía, la importación de productos agropecuarios y de artículos de consumo básico. Las estadísticas muestran que la ciudad de Bogotá produce artículos de alto valor agregado, bienes y servicios.

El daño por desastre en el sector económico de la ciudad de Bogotá, generaría conmoción económica en el país. Este daño económico sería de gran influencia negativa para las actividades económicas de todo el país, porque ya se han establecido vínculos económicos entre Bogotá y otras regiones. El daño económico se extendería aún más en la demora de la recuperación de las actividades económicas. Como consecuencia, un daño por desastre en el sector económico no sólo afectaría a Bogotá, sino a todas las actividades económicas en el país.

³⁻²⁻² Carlos Eduardo Velez, Elkin Castaño y Ruthanne Deutsch (1998), An Economic Interpretation of Colombia's SISBEN: A Composite Welfare Index Derived from the Optimal Scaling Algorithm
Carter, W Nick (1991) Disaster Management: A Disaster Manager's Handbook, Asian Development Bank, Manila, Philippines

(3) Estimación de las pérdidas económicas directas

A. Edificaciones

Para poder estimar las pérdidas económicas, el daño a las edificaciones puede calcularse partiendo de una estimación o función de daño sobre las construcciones. Se estima un porcentaje de afectación del 100% del valor del edificio para edificaciones severamente averiadas o completamente destruidas.

El valor del edificio se deriva de su valor catastral, cuyo propósito es la cobranza del impuesto predial y representa el valor real de la edificación. De esta manera, el valor catastral se utilizó para la estimación.

B. Infraestructura

El valor de los puentes y de las infraestructuras vitales es estimado a través de los costos de construcción. En el área de estudio, el costo del reemplazo de estas estructuras se deriva del valor real de los costos de construcción.

C. Resultados

Los resultados de las estimaciones se muestran en el Capítulo 4 de este reporte.

4) Vulnerabilidad Ambiental

(1) Definición

La vulnerabilidad ambiental puede clasificarse en aspectos naturales y aspectos sociales. Todavía está desarrollándose una metodología general para la medición de la vulnerabilidad ambiental. En este estudio, los riesgos ambientales pueden clasificarse dentro de tres categorías:

- Condiciones Naturales.
- Localización de áreas industriales para desastres relacionados con este sector, y
- Manejo de residuos.

(2) Condiciones naturales

El área urbana se ha desarrollado en una zona relativamente plana por las facilidades de construcción que presenta este tipo de terreno. Este tipo de zonas usualmente se componen de un sedimento de río, y depósitos lacustres o marinos. En muchas áreas urbanas puede observarse una zona de suelos blandos.

El área de estudio se encuentra ubicada dentro de una zona de suelos blandos. La composición de arcilla lacustre en la parte central de la planicie está sobre los 500 metros de profundidad. Este estudio encontró que aproximadamente un 25% del área de estudio está clasificado como área blanda de sedimento lacustre y un 4% del terreno se ubica dentro de la categoría de área de suelos arenosos, en los que se pueden presentar problemas de licuación. Por otra parte, el área del borde

montañoso presenta un alto riesgo de amplificación de la intensidad sísmica, lo cual involucra aproximadamente un 13% del área de estudio.

(3) Área industrial

La distribución de las plantas industriales muestra que ocho localidades tienen un 78% del total de dichas plantas. Estas ocho localidades son Puente Aranda, Fontibón, Kennedy, Engativá, Barrios Unidos, Usaquén, Los Mártires y Suba. Estas localidades enfrentan gran potencial de escapes, derrames, fuego y explosión. Puente Aranda tiene un 23% de las plantas industriales y un alto potencial de desastre. Las plantas industriales están ubicadas en el área designada, pero estas zonas se han desarrollado desde entonces. El uso de los terrenos ha cambiado y se ha desarrollado un uso mixto industrial y residencial. Actualmente, las plantas industriales están mezcladas con las áreas residenciales y los desastres ocurridos han tenido gran impacto tanto en ámbitos sociales como naturales.

(4) Manejo de desechos

Después de un sismo, el botadero de escombros constituiría un problema y el lugar para depositar estos restos debería determinarse antes del desastre. Después del terremoto del Quindío, la cantidad de escombros fue de 1.8 millones de m³ para una población de 280 mil, según reportó la alcaldía de Armenia. Si esta proporción se aplica a la ciudad de Bogotá, la cantidad de escombros sería de 41 millones de m³. En consecuencia, se puede predecir que un sismo sería de gran impacto negativo sobre el ambiente en el área de estudio.

3.3 Análisis de Riesgo Regional

3.3.1 General

Para proponer los planes de prevención de desastres, es importante conocer los tipos de riesgo que hay en cada región. Según esta idea, se hace necesario un análisis de riesgo regional.

El objetivo de este análisis es determinar el riesgo regional según el tipo de desastre. Estos resultados tienen dos propósitos:

- Clasificación de riesgo para cada localidad y municipio.
- Selección prioritaria de UPZ para sismos.

3.3.2 Método de Análisis

1) General

Se analizará cuatro tipos de desastres: sismos, deslizamientos, inundaciones y los debidas a instalaciones industriales. Como resultado, habrá dos elementos principales: un mapa de grado de riesgo regional y un mapa de distribución prioritaria por UPZ.

El análisis se hizo en tres pasos, como se ilustra en la Figura 3.3.2.1. En el primer paso, se analizó el riesgo según los componentes de cada uno de los desastres, con una escala de 1 a 5. En el segundo paso, se analizó el riesgo integrado de cada desastre, también con una escala de 1 a 5. En el tercer paso, se analizó el grado de riesgo para cada UPZ. No obstante, en esta sección se hace el análisis hasta el segundo paso, mientras que el tercero se discutirá más adelante, en la sección 5.2.2.

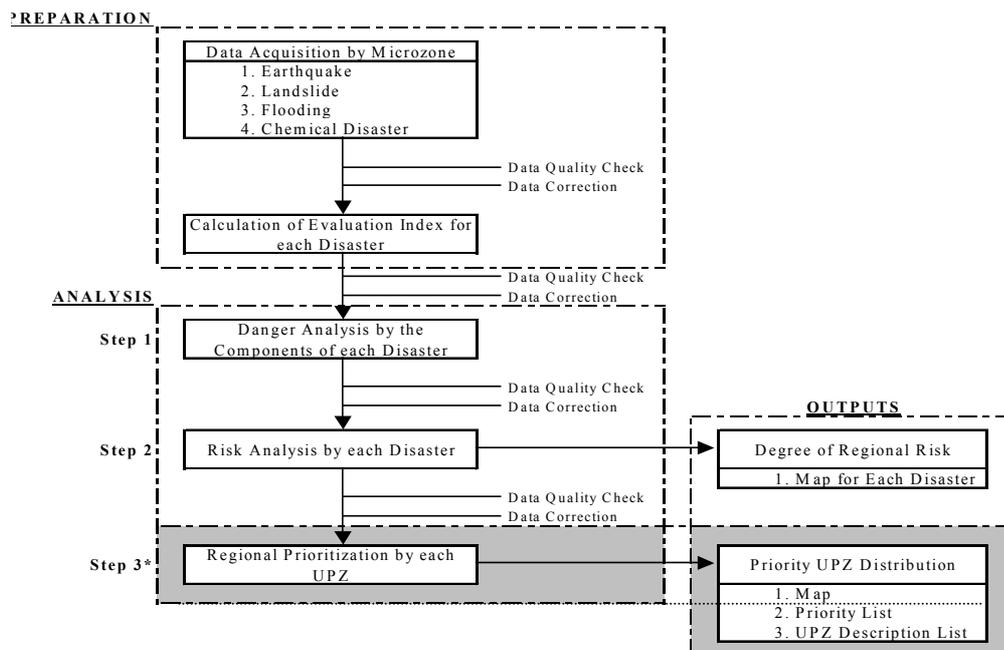


Figura 3.3.1 Diagrama de Flujo del Análisis de Riesgo Regional

Para el análisis en esta sección, la microzonificación se utilizó como un parámetro general y básicamente se consideró la zona urbanizada. El área rural fue excluida porque su población es baja y de esta forma el riesgo no es alto.

La Tabla 3.3.1 muestra los métodos para analizar el grado de riesgo regional para todos los tipos de desastre y en la última sección se explica su significado para el análisis.

2) Sismos

Para el análisis de riesgo regional en cuanto a sismos, se aplicó el modelo de distancia media a la falla Guayuriba porque como resultado del presente estudio, se consideró que con este modelo la estimación de daño era la más severa.

Para el análisis, se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

Para el primer paso, se utilizaron tres variables para la clasificación de riesgo según los componentes de cada desastre. Las tres variables son:

- Grado de riesgo para edificaciones.
- Grado de riesgo de víctimas humanas y,
- Grado de riesgo en evacuación.

La variable usada en el riesgo para edificaciones es el resultado de la estimación de daño sobre el percentil de edificaciones severamente averiados. En el contexto del análisis de vulnerabilidad en el daño a edificaciones, se consideraron varios aspectos tales como el tipo de estructura de la edificación, materiales utilizados como el adobe, piedra, madera, bareque, losas prefabricadas, mampostería y concreto, junto con el número de pisos y el estrato.

La variable utilizada para evaluar el grado de víctimas humanas es la densidad poblacional de cada microzona.

El grado de peligro por evacuación, el cual indica la dificultad para la evacuación en caso de emergencia, fue calculado para el tercer índice. En este, se calculó el porcentaje de espacio abierto con respecto al área total por microzona. El espacio abierto está definido como el correspondiente a las vías y los parques públicos, y el espacio sin ningún desarrollo no está incluido.

Tabla 3.3.1 Métodos para la Clasificación del Grado de Riesgo Regional

Degree of Risk	Items	Index	Descriptions	Points
Earthquake	Building Damage	Heavily damaged building damage ratio	Results from the damage estimation.	0 < 20% to 1 20 < 40% to 2 40 < 60% to 3 60 < 80% to 4 80 < 100% to 5
	Human Casualty	Population density	Population Density of each microzone.	0 < 150 to 1 150 < 300 to 2 300 < 450 to 3 450 < 600 to 4 600 < up to 5
	Evacuation	Rate of open space	Open space ratio (Open space + Road space)/Total area of microzone)	80 < 100% to 1 60 < 80% to 2 40 < 60% to 3 20 < 40% to 4 0 < 20% to 5
Landslide	Building Damage	Percent of the risk area out of the total area of the microzone.	Physical Degree of Danger = (Danger Area ha (km ²)) / Total Area in the Microzone	0 < 20 to 1 20 < 40 to 2 40 < 60 to 3 60 < 80 to 4 80 < 100 to 5
Flood	Building Damage	Percentage of the building located in the flooding risk area.	Degree of Danger for Buildings = (Area of H in unit×2) + (Area of M in unit×1.5) + (Area of L in unit×1.2))/Total Area of Unit×100	0 < 40 to 1 40 < 80 to 2 80 < 120 to 3 60 < 80 to 4 80 < 100 to 5
	Human Casualty	Number of people living in suffering from the disaster.	1) No. of Possible Affected Population in Unit = (Population Density of the unit× ha (km ²) of dangerous area in unit × probability) 2) Degree of Danger for Human Casualties = No. of Possible Affected Population / Total Population in the Unit	0 < 2 to 1 2 < 4 to 2 4 < 6 to 3 6 < 8 to 4 8 < 10 to 5
Fire	Fire Breakout ratio	Rate of fire break out for the industrial facilities	Result of the fire break out rate of damage estimation for an earthquake	0 < 0.2 to 1 0.2 < 0.4 to 2 0.4 < 0.6 to 3 0.6 < 0.8 to 4 0.8 < 1.0 to 5

3) Deslizamientos

Para el análisis de riesgo regional de deslizamientos, se usó el mapa de amenaza por deslizamiento de la DPAAE. El área de amenaza alta se consideró como la zona física de alto riesgo. Además, los datos derivados de este estudio sobre puntos de alto riesgo de deslizamientos fueron integrados en las consideraciones para establecer una prioridad regional.

Para el análisis también puede hacerse referencia a la Tabla 3.3.1 en lo concerniente a los procedimientos y a la descripción detallada de los cálculos. Para el primer paso, en la

clasificación de riesgo solo se utilizó la clasificación por grado de riesgo de edificación. Primero, se calculó la relación de área clasificada como peligrosa con el área total de la microzona. A continuación, se evaluaron los puntos de deslizamientos como áreas de riesgo y se sobrepusieron con las áreas de riesgo calculadas, para así obtener la clasificación final.

4) Inundaciones

Para el análisis de riesgo regional de inundación en la Ciudad de Bogotá y algunos de los municipios de Cundinamarca, se usaron mapas de amenaza ya existentes.

Para el análisis, puede hacerse referencia a la Tabla 3.3.1 con el fin de obtener detalles de los métodos y descripciones. En el primer paso se usaron dos variables para este evento, las cuales son:

- grado de peligro para las edificaciones, y
- grado de peligro para víctimas humanas.

Para el grado de peligro en edificaciones, por microzonas se calculó el porcentaje de edificaciones localizadas en áreas en riesgo de inundación. Dentro de este cálculo, las áreas de inundación fueron clasificadas como de riesgo alto, medio y bajo, y sopesadas dentro de cada microzona, y a continuación se dividió por el área total de cada microzona.

Para calcular el grado de peligro para víctimas humanas, se utilizó el número de personas que tienen la posibilidad o la probabilidad de sufrir por el desastre en la micro-zona. Este índice se calculó a través de dos pasos; el primer paso fue el cálculo del número de personas que posiblemente se verían afectadas en la microzona. Esto incluye la densidad poblacional, el área de peligro y el periodo de retorno de la inundación. A continuación se calculó el grado de peligro a víctimas humanas. En este, el número de población potencialmente afectada fue dividido por la población total en cada microzona.

5) Fuego en Instalaciones Industriales

Para el análisis de riesgo industrial regional, se utilizó el resultado de puntos de riesgo de inicio, que fue calculado por el equipo de estudio para las instalaciones industriales. El modelo de distancia media a la falla Guayuriba se aplicó también, debido a que la estimación de daño con este modelo se considera la más severa.

El resultado se aplicó al mapa de grado de riesgo por industrias, en el que el riesgo más alto se identifica con el color más oscuro.

3.3.3 Resultados

A continuación, se hace un breve recuento de los resultados para cada uno de los desastres. El Apéndice 3.3.1 es el indicador a grosso modo del mapa de grado de riesgo. Este puede consultarse junto con los mapas de grado de riesgo regional por sismo, deslizamiento, inundación e industria

aquí y posteriormente. No obstante, el resultado del nivel de riesgo es únicamente la comparación relativa dentro del área de estudio; como consecuencia, no significa que el área de bajo riesgo sea segura.

A. Sismo

Para este evento, los resultados de los pasos uno y dos se presentan de la siguiente forma:

- Paso 1: Clasificación de riesgo según los componentes de cada desastre.
- Paso 2: Clasificación de riesgo según cada desastre.

En relación con los resultados del primer paso, la evaluación de víctimas humanas y la evacuación se presentan en los apéndices 3.3.2, 3.3.3., y 3.3.4. Estos mapas ilustran el nivel de riesgo de cada micro-zona según cada uno de los índices. En cuanto al grado de riesgo para las edificaciones, las zonas con posibilidad de colapso de edificaciones están distribuidas en toda el área metropolitana de Bogotá. Sin embargo, el puntaje más alto de riesgo de colapso (5) está principalmente distribuido en las zonas sur de Bogotá y Cota.

Con respecto al grado de riesgo para víctimas humanas, de accidente humano, es evidente que las áreas de mayor densidad poblacional o las áreas de alto riesgo (puntuadas con 4 y 5), están concentradas en las zonas sur de Bogotá y Soacha. Hay también varias áreas de alta densidad en la zona nor-occidental.

En cuanto al grado de riesgo por evacuación, las áreas de alto riesgo están distribuidas en la zona de más al sur, en la zona norte excluyendo las áreas de protección ambiental y en la zona oriental que está cerca de los cerros.

El resultado del grado de riesgo se muestra en la Figura 3.3.2, en la que las áreas de alto riesgo (grado 5) se encuentran distribuidas al sur, las de alto riesgo (4) al sur y algunas en el norte y en los municipios de Soacha, Facatativá y Cota.

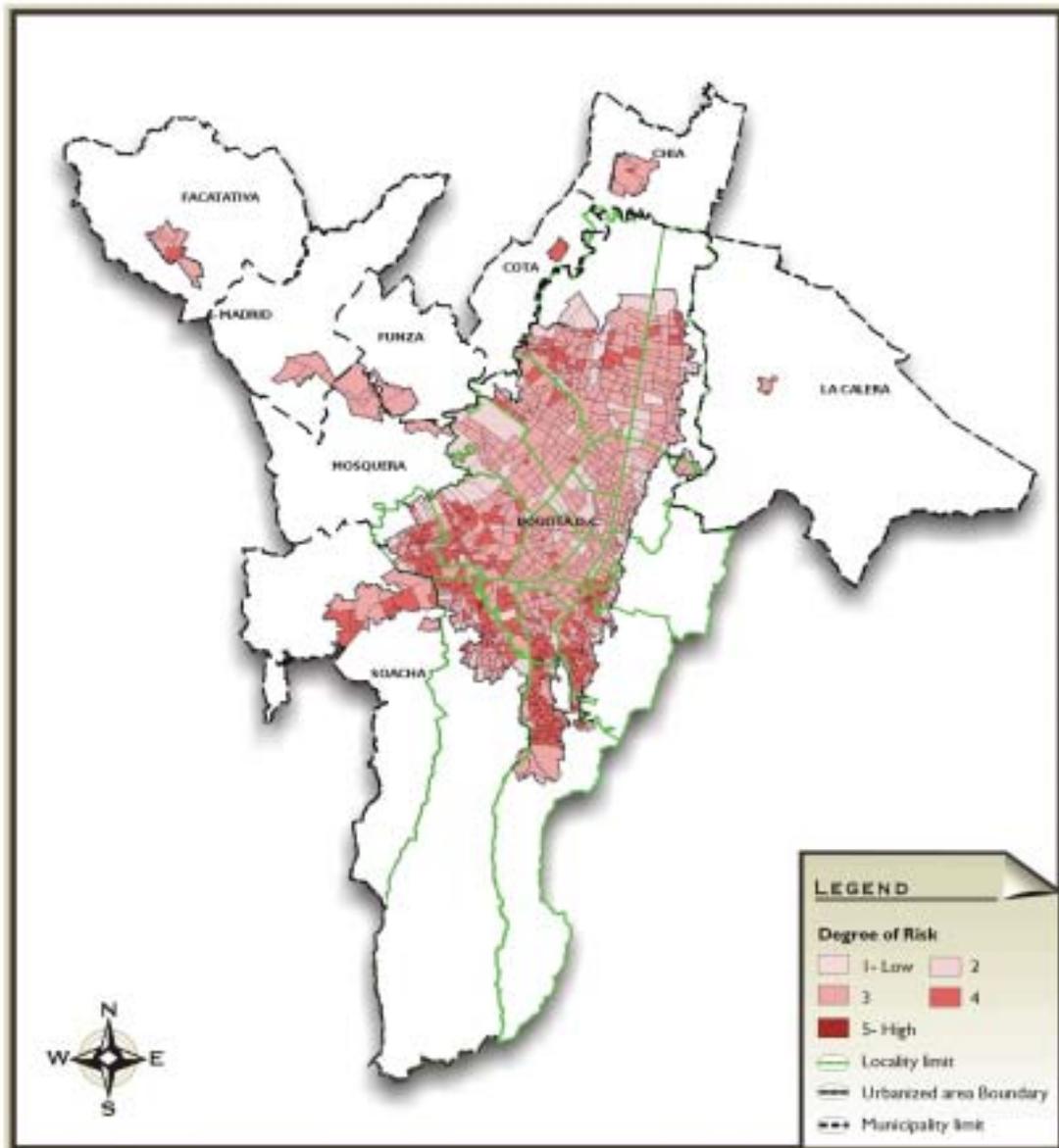


Figura 3.3.2 Grado de Riesgo Regional por Sismo

B. Deslizamiento de Tierra

La figura 3.3.3 muestra los resultados de este análisis. La microzona que incluye la mayor áreas en alto riesgo, debe considerarse para tomar medidas para deslizamiento. Además, los puntos seleccionados como de alto riesgo en este estudio están sobrepuestos con información adicional, lo cual indica que en estas regiones se deben tomar medidas con respecto a los deslizamientos. Aunque los puntos de alto riesgo de deslizamientos que se evaluaron están homogéneamente distribuidos en localidades de alto riesgo, el estudio muestra que hay mayor concentración de estos puntos al sur de Bogotá.

C. Inundación

La Figura 3.3.3 muestra el resultado del análisis de riesgo de inundación. En esta figura es evidente que toda el área adyacente al Río Bogotá tiene que ser tenida en cuenta dentro de las medidas preventivas de inundación; no obstante, la zona nor-occidental mostró el más alto riesgo dentro del análisis.

D. Instalaciones Industriales

La Figura 3.3.4 ilustra el resultado de la distribución del riesgo industrial. Es evidente que el área de riesgo industrial está concentrada en las diferentes zonas industriales.

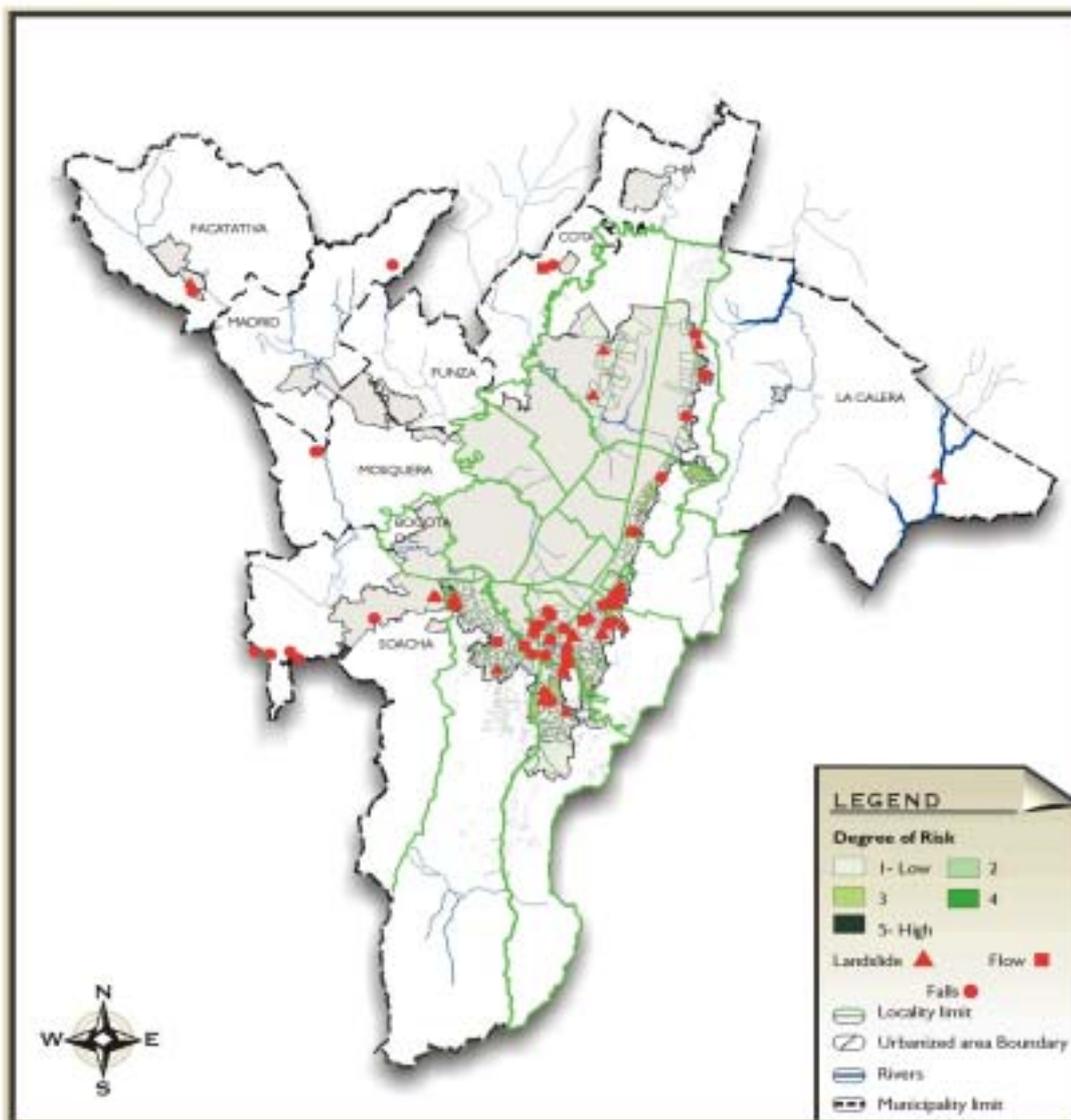


Figura 3.3.3 Grado de Riesgo Regional por Deslizamientos

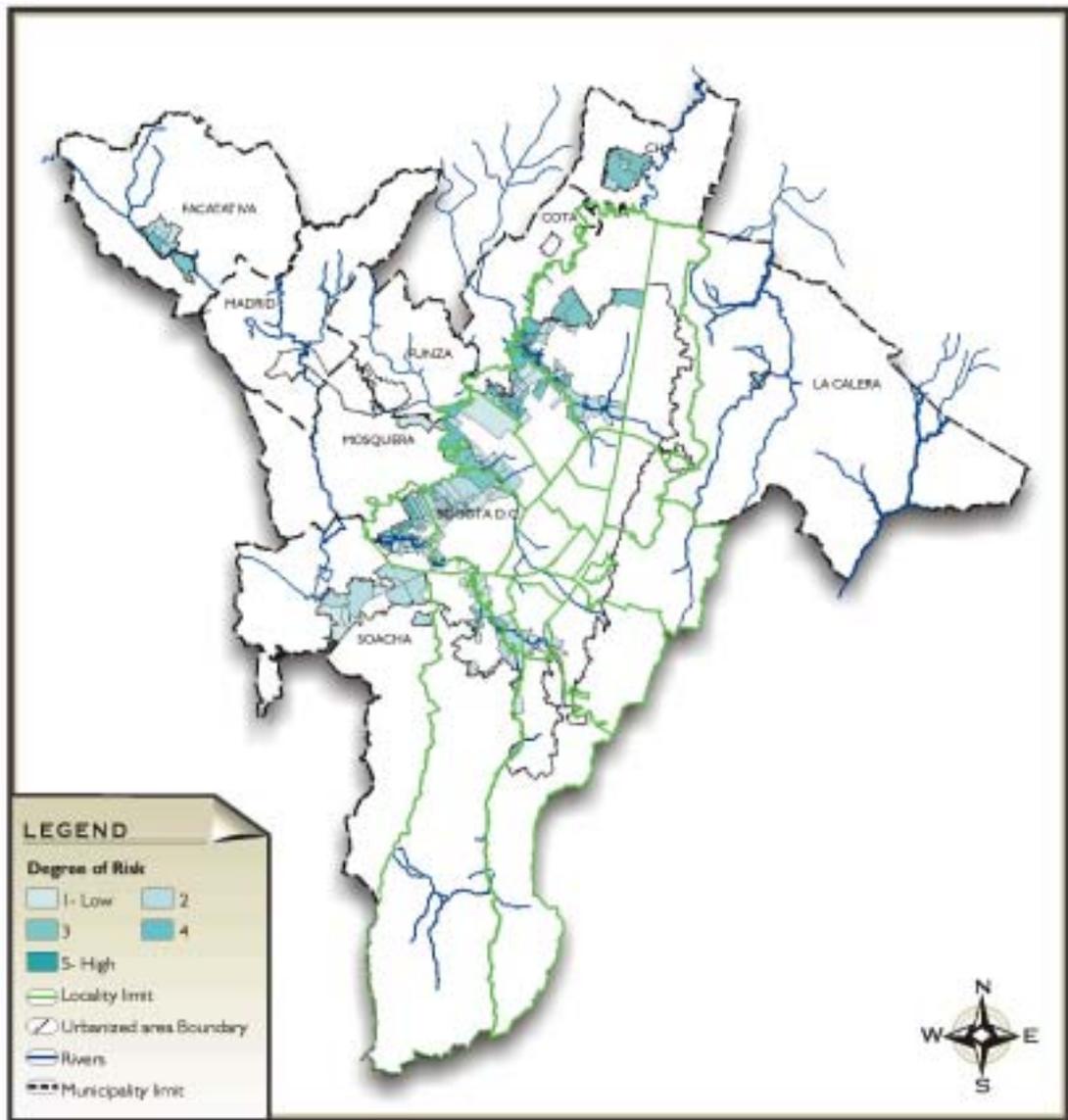


Figura 3.3.4 Grado de Riesgo Regional por Inundaciones

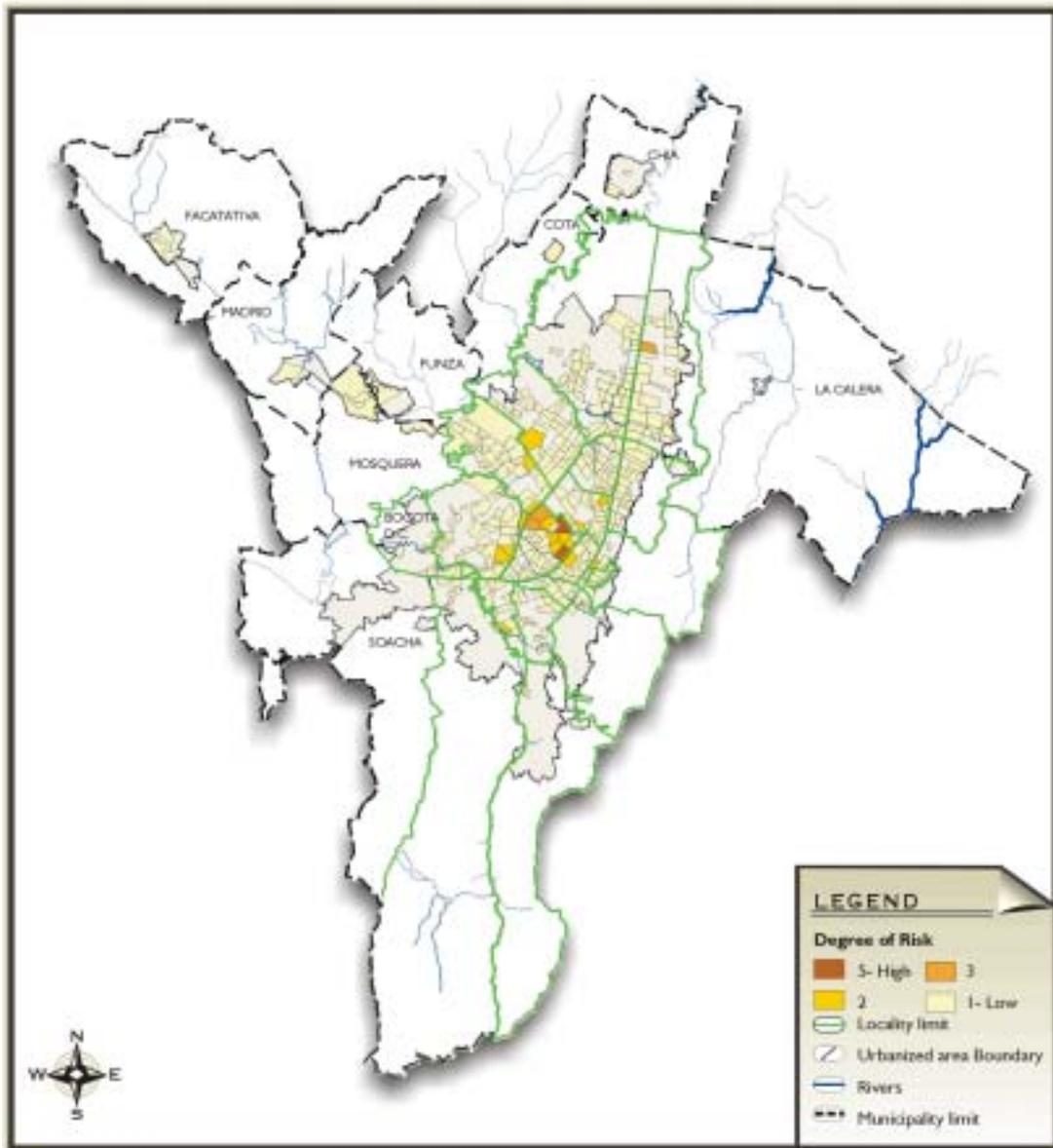


Figura 3.3.5 Grado de Riesgo Regional Debido a la Presencia de Instalaciones Industriales

3.3.4 Evaluación Regional

La Tabla 3.3.2 muestra el resultado de la evaluación regional según los tipos de riesgo.

1) Criterios de Evaluación

El equipo de investigación llevó a cabo una evaluación regional según los tipos de riesgo. Los criterios para esta evaluación se fueron los siguientes:

- Área de Alto Riesgo: Incluye los rangos 4 y 5.
- Área de Riesgo Medio: Incluye el rango 3.
- Área de Bajo Riesgo: Incluye los rangos 2 y 1.

Debe anotarse que el mapa de clasificación regional muestra los riesgos correspondientes a las localidades del área de estudio y no establece una comparación entre los tipos de desastre.

Tabla 3.3.2 Resultado de la Evaluación Regional Según Tipo de Riesgo

Locality	High Risk Area*				Evaluation	
	Earthquake	Landslide	Flood	Industry	Disaster Type	Risk Type
1. Usaquén			-		Earthquake, Landslide, Industry	F
2. Chapinero			-	-	Earthquake, Landslide	B
3. Santa Fe			-	-	Earthquake, Landslide	B
4. San Cristobal			-	-	Earthquake, Landslide	B
5. Usme			-	-	Earthquake, Landslide	B
6. Tunjuelito				-	Earthquake, Landslide, Flood	E
7. Bosa		-		-	Earthquake, Flood	C
8. Kennedy		-		-	Earthquake, Flood	C
9. Fontibon		-		-	Earthquake, Flood	C
10. Engativa		-		-	Earthquake, Flood	C
11. Suba				-	Earthquake, Landslide, Flood	E
12. Barrios Unidos		-	-	-	Earthquake	A
13. Teusaquillo		-	-	-	Earthquake	A
14. Martires		-	-	-	Earthquake	A
15. Antonio Narino		-	-	-	Earthquake	A
16. Puente Aranda		-	-		Earthquake, Industry	D
17. La Candelaria			-	-	Earthquake, Landslide	B
18. Rafael Uribe			-	-	Earthquake, Landslide	B
19. Ciudad Boliver				-	Earthquake, Landslide, Flood	E
20. La Calera		-		-	Earthquake, Flood	C
21. Chia		-		-	Earthquake, Flood	C
22. Cota		-		-	Earthquake, Flood	C
23. Funza		-	-	-	Earthquake	A
24. Facatativa				-	Earthquake, Landslide, Flood	E
25. Madrid		-	-	-	Earthquake	A
26. Mosquera		-	-		Earthquake	A
27. Soacha				-	Earthquake, Landslide, Flood	E

Note: High Risk Locality Medium Risk Locality

Los tipos de desastre pueden agruparse en seis clases, desde tipo A hasta tipo F. El tipo A es la única categoría dentro de un sólo desastre; los otros tipos agrupan más de un desastre. En la Tabla 3.3.3 se clasifican los riesgos de desastre para las localidades y los municipios dentro de los diferentes tipos.

Tabla 3.3.3 Tipos Clasificados y su Descripción

Singular Risk Types	
Type A	Earthquake
Multiple Risk Types	
Type B	Earthquake and Landslide
Type C	Earthquake and Flood
Type D	Earthquake and Industry
Type E	Earthquake, Industry and Flood
Type F	Earthquake, Landslide, and Industry

Con base en esta clasificación, el terreno urbano de 19 localidades de la ciudad de Bogotá y los ocho municipios de Cundinamarca, de distribuyeron de la siguiente manera:

- Tipo A: Barrios Unidos, Teusaquillo, Mártires, Antonio Nariño, Funza, Madrid, Mosquera.
- Tipo B: Chapinero, Santa Fe, San Cristobal, Usme, La Candelaria, Rafael Uribe.
- Tipo C: Bosa, Kennedy, Fontibón, Engativá, La Calera, Chía, Cota.
- Tipo D: Puente Aranda.
- Tipo E: Tunjuelito, Suba, Ciudad Bolívar, Facatativa, Soacha.
- Tipo F: Usaquén.

Figura 3.3.5 describe la distribución de clases de riesgos por área.

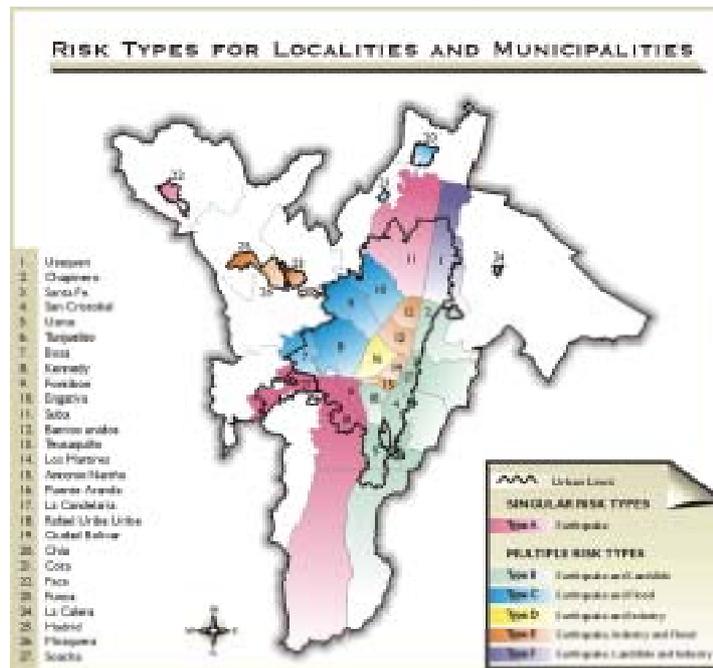


Figura 3.3.6 Distribución de Clases de Riesgos por Área