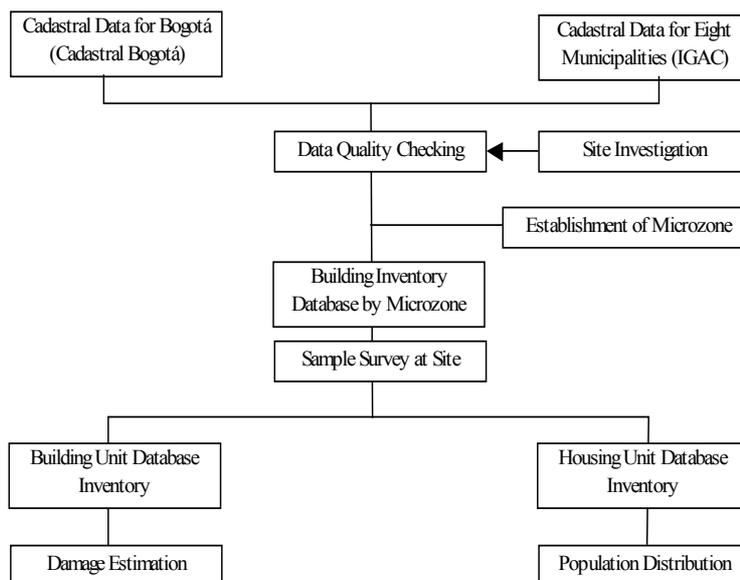


**Figura 4.2.11** Área Potencial de Licuación

**(4) Información recopilada para el estimado**

**A Información de edificaciones**

Para este estudio se preparó una base de datos con un inventario de edificaciones basada en la información catastral del 2000. La oficina del catastro de Bogotá recopila dicha información para la ciudad, mientras que el IGAC hace lo propio para Cundinamarca. La Figura 4.2.12 muestra el diagrama de flujo de la preparación de la base de datos.



**Figura 4.2.12 Proceso de Construcción de la Base de Datos de Edificaciones y Viviendas**

Los datos catastrales de la ciudad de Bogotá contienen dos tipos de información:

- Propiedad no horizontal relacionada con edificaciones normales.
- Propiedad horizontal relacionada con los edificios de mayor altura.

La información sobre la propiedad no horizontal (PNH) tiene 901,600 registros incluyendo casas, lotes y otros establecimientos. La de propiedad horizontal (PH) contiene 49,901 registros de unidades, que representan 858,464 unidades de apartamentos.

Los datos sobre la propiedad horizontal se representan así:

- Unidades y apartamentos registrados por edificio.
- Datos resumen del complejo de edificios.

Para la propiedad no horizontal se cuenta el número de casas por cada *manzana*, y el número de unidades residenciales y de edificios en cada *manzana*.

La oficina del IGAC recopila la información catastral para Cundinamarca. Sus datos incluyen propiedad horizontal y no horizontal de ocho municipios. Se realizó un análisis similar con la información de Cundinamarca.

**Tabla 4.2.8 Distribución Original de los Registros en la Base de Datos**

| Area                 | NPH records | PH records          |
|----------------------|-------------|---------------------|
| Bogotá               | 901,600     | 49,901 Representing |
|                      |             | 858,464 Represented |
| Eight Municipalities | 148,610     | 6,000               |

Para verificar la confiabilidad de la información catastral, el Equipo de Estudio realizó visitas de campo para comparar dicha información con las unidades residenciales en el sitio. El Equipo de Estudio seleccionó en forma aleatoria más de 300 ejemplos de toda el área de estudio. Esta visita encontró que la información catastral es confiable, salvo por el año de construcción y el número de pisos en Bogotá. La información de Bogotá muestra que más del 90% tiene a 1999 como año de construcción y en algunos casos un número de pisos con cifra negativa, así como cifras enormes como edificios con más de 70 pisos. Por consiguiente el Equipo de Estudio no pudo usar esta información para el análisis.

El Equipo de Estudio encontró que hay muy pocos edificios sin datos para la estructura. Este hecho se corrigió con base en la información por *manzana*.

A continuación se indica el número de edificaciones en cada localidad y municipio:

**Tabla 4.2.9 Resumen de los Edificios en el Área de Estudio**

| Area                 | Number of Buildings |
|----------------------|---------------------|
| Bogotá               | 752,063             |
| Eight Municipalities | 127,561             |
| <b>Total</b>         | <b>879,624</b>      |

**B. Datos poblacionales**

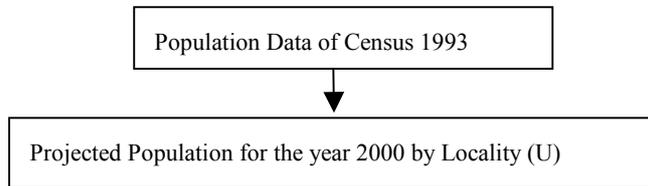
La distribución de la población para Bogotá y los otros municipios se hizo en forma separada según la disponibilidad de información en cada área.

La información para Bogotá se establece con base en la proyección de la población por localidad para el año 2000. Esto se hace en tres etapas.

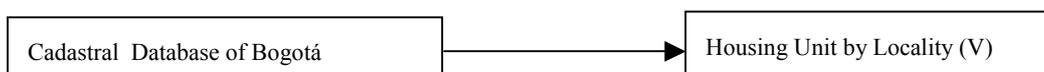
- Proyección de la población: el departamento de planeación de Bogotá utilizó el censo de 1993 por localidad de Bogotá para proyectar la población al año 2000. Esa información se usa en el presente estudio.
- Estimado de viviendas: las unidades de vivienda por microzonas se estimaron usando la información catastral de Bogotá. Estos datos fueron posteriormente agrupados para cada localidad en Bogotá.
- Distribución de la población por microzonas: una vez determinadas las unidades de vivienda para cada localidad se estableció el número de residentes en cada unidad para cada localidad.

Este factor se usó para determinar la población en cada microzona. A continuación se muestra el proceso en forma esquemática.

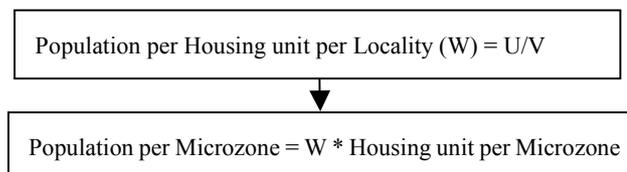
1. Population Projection



2. Housing Units Estimation



3. Population Estimation by Microzone



**Figura 4.2.13 Procedimiento para Proyectar la Información Poblacional**

Se obtuvo la información del DANE para las áreas rurales y urbanas de los ocho municipios. Para cada microzona se estimaron las unidades de vivienda con base en la información catastral del IGAC. La totalidad de la población se distribuyó en estas microzonas basados en el número de residentes viviendo en cada unidad residencial, siendo este un factor previamente estimado para cada municipio.

Con base en el anterior método, se obtuvo la siguiente población:

**Tabla 4.2.10 Resumen de la Población**

| Area                 | Population       |
|----------------------|------------------|
| Bogotá               | 6,378,928        |
| Eight Municipalities | 606,581          |
| <b>Total</b>         | <b>6,985,509</b> |

**C. Establecimiento de microzonas**

El sistema de microzonificación se estableció en el área de estudio observando dos factores:

- La posibilidad de obtener información adicional de la división espacial existente, y
- El comportamiento homogéneo de un evento sísmico.

Con base en lo anterior se estableció el sistema de microzonificación así:

**Tabla 4.2.11 Resumen del Sistema de Microzonificación**

| Area                 | Rural            | Urban  |
|----------------------|------------------|--|
| Bogotá               | Village Boundary | Cadastral Barrio   |
| Eight Municipalities | Village Boundary | Urbanized area of IGAC cadastral data divided in DANE Sector |

A continuación se indican el número de microzonas en el área de estudio:

**Tabla 4.2.12 Resumen del Número de Microzonas**

| Area                 | Number of Microzones |
|----------------------|----------------------|
| Bogotá               | 950                  |
| Eight Municipalities | 110                  |
| <b>Total</b>         | <b>1,060</b>         |

Para cada microzona se distribuyó la información recopilada y se creó una base de datos para las mismas. Las bases de datos se usan como una unidad de análisis.

### 3) Estimado de Daño

#### (1) Edificios

##### A. Información recopilada

Se estableció una base de datos de edificaciones basada en la información catastral del 2000. Las estructuras principales de los edificios se clasifican en varios tipos como adobe, piedra, madera, bahareque, prefabricado, mampostería y concreto. Localmente se llama bahareque a aquellas construcciones con mezcla de adobe y madera. Prefabricado significa elementos estructurales fabricados de paneles delgados de concreto; el espesor del panel es de unos 10 cm, y por consiguiente la confiabilidad estructural es casi igual a la de la estructura en adobe. La mampostería es una estructura con paredes de ladrillo de barro y hay dos tipos: no reforzada y confinada o reforzada. La no reforzada sólo tiene mortero y/o lodo como adhesivo para los ladrillos sin barras de acero reforzado. La mampostería confinada se refiere tanto a las estructuras con paredes de ladrillo y barras de acero reforzado y las estructuras con marcos delgados de concreto reforzado. Las estructuras en concreto se clasifican en dos: estructuras con 3 pisos o menos y las de más de 4 pisos.

La base de datos contiene diferente información para propósitos de cobrar el impuesto predial. Este estudio utilizó la siguiente información para estimar el daño a las edificaciones:

- Tipo de edificio.
- Número de pisos.
- Estrato.

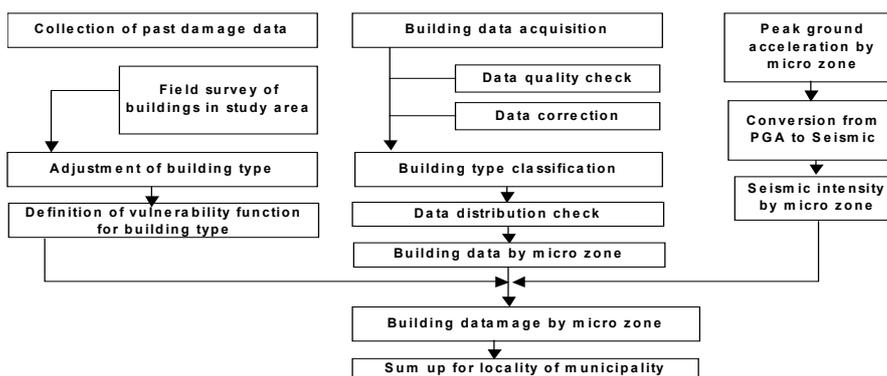
Las características de los edificios en el área de estudio se pueden resumir así:

- El informe catastral indica que el número total de edificaciones en la ciudad de Bogotá es de aproximadamente 752 mil, mientras que los edificios en mampostería son aproximadamente 666 mil ocupando 88% del total. En los ocho municipios, el número total de edificaciones es de aproximadamente 128 mil y de ellos alrededor de 111 mil son de mampostería, lo que representa aproximadamente 88% del Área de Estudio.
- Las estructuras en mampostería se usan principalmente como viviendas residenciales a diferentes escalas, tales como unidades de casas y edificios. Otros edificios públicos como hospitales, colegios, hoteles, oficinas y otras instalaciones también han adoptado las estructuras en mampostería. Entre dichos edificios, especialmente los más viejos, el tipo de mampostería no reforzada ocupa un gran porcentaje.
- Otros tipos estructurales como adobe, piedra, madera y prefabricado, conforman colectivamente sólo el 6% mientras que las estructuras en concreto ocupan aproximadamente el 6% de todos los tipos de edificaciones. Las estructuras en concreto se usaron para los grandes edificios gubernamentales y oficinas privadas. Son estructuras masivas o muy delgadas y altas ubicadas sobretodo en el centro de la ciudad de Bogotá.
- Existen tantas construcciones sin estudios de ingeniería en el área de estudio que la vulnerabilidad de los mismo aumenta en forma significativa. En los estratos 1 y 2 en particular, la relación de este tipo de edificaciones es muy importante; los elementos estructurales no están correctamente ubicados como resultado de mano de obra no profesional.

**B. Métodos y procedimientos**

Procedimiento

La Figura 4.2.14 muestra el procedimiento utilizado en la evaluación de daños en edificaciones.



**Figura 4.2.14 Diagrama de Flujo para el Estimado de Daños a las Edificaciones**

Función de daño para edificios colapsados

Para establecer una función de daño para un estudio de riesgo sísmico en un área dada, es deseable poder estudiar daños similares por terremotos en un área similar, si los hay. Para este tipo de estudio es importante incorporar en el análisis de riesgo el tipo de edificación y la situación social en un área similar.

En el caso del terremoto del Quindío, la pérdida monetaria, definida como el costo de reparación por valor del edificio, se calcula para cada intensidad sísmica de acuerdo con ATC-13. La Tabla 4.2.13 especifica cada condición de daño y factor de daño según ATC-13.

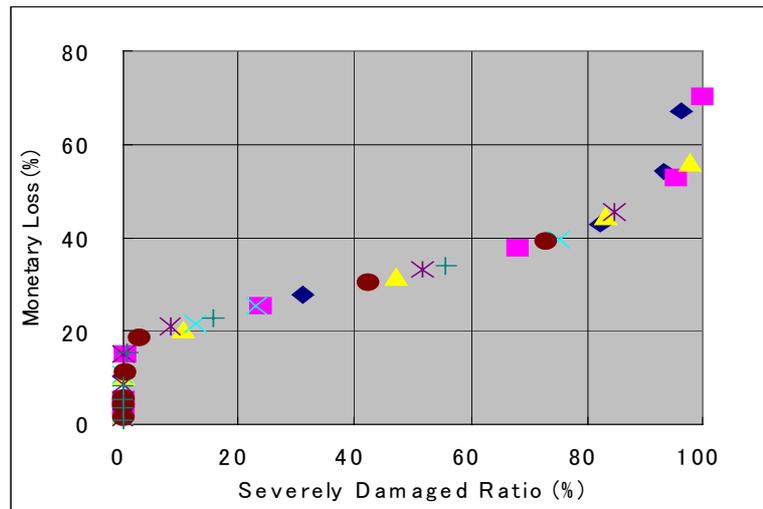
**Tabla 4.2.13 Estado del Daño y Factor de Daño Central en la Pérdida Monetaria**

| Damage State | Central Damage Factor |
|--------------|-----------------------|
| Light        | 2.5%                  |
| Moderate     | 20%                   |
| Serious      | 45%                   |
| Severe       | 80%                   |
| Destructive  | 100%                  |

Fuente: ATC-13

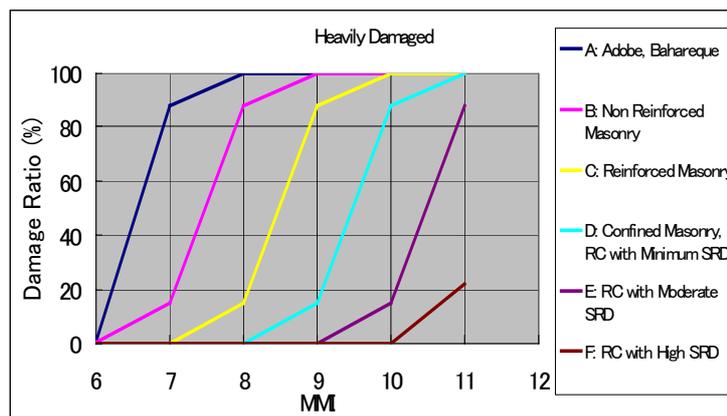
En general, la edificación dañada se demuele con una pérdida monetaria de más del 50%. Empíricamente dichos edificios tienen daños a nivel de piso de más del 50% y son considerados extremadamente inseguros y no se pueden usar ni siquiera como abrigo de emergencia. Por ejemplo, el gobierno Turco recomendó demoler las edificaciones dañadas con una pérdida monetaria que excedió el 40% después del terremoto Kocaeli en 1999.

Por consiguiente, este estudio define como “edificios con daños severos” aquellos con un estado de daño considerado más que “Grave”; ejemplo, aquellos que deben ser demolidos en lugar de reparados. La pérdida monetaria según se define en ATC-13 y el daño físico se pueden convertir como se indica en la Figura 4.2.15. La Figura 4.2.16 muestra la “relación de daño severo” versus la intensidad sísmica en la edificación.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

**Figura 4.2.15 Relación entre Mampostería y Tasa de Daño Severo**



Fuente: Equipo de Estudio JICA

**Figura 4.2.16 Estructuras con Daño Severo en el Terremoto del Quindío Referidas en la Figura 3.2.4**

La Tabla 4.2.14 muestra la clasificación de las edificaciones usada para este estudio.

**Tabla 4.2.14 Clasificación de Edificaciones Usada para este Estudio**

| Type | Structure Type                               | Estrato     |
|------|--|-------------|
| 1    | Wood, Prefabricated                          | 1,2,3,4,5,6 |
| 2    | Masonry                                      | 1,2         |
| 3    | Masonry                                      | 3,4         |
| 4    | Masonry                                      | 5,6         |
| 5    | Reinforced Concrete Frame less than 3 floors | 1,2,3,4,5,6 |
| 6    | Reinforced Concrete Frame more than 4 floors | 1,2,3,4,5,6 |

Fuente: Equipo de Estudio JICA

Todos los tipos estructurales en la información catastral deben corresponder a los tipos estructurales indicados en la Figura 4.2.16 y son brevemente explicados a continuación.

Madera

El tipo 1 debe corresponder al tipo A en el caso del terremoto del Quindío mostrado en la Figura 4.2.16.

Mampostería

Los tipos 2, 3 y 4 deben corresponder al tipo B, C y D en la Figura 4.2.16.

Durante las visitas de campo de las edificaciones en Bogotá, se observó que en la información catastral las estructuras con marco de concreto reforzado de baja calidad fueron clasificadas como estructuras en mampostería, mientras que las estructuras en mampostería no fueron clasificadas como estructuras con marcos de acero reforzado. Por consiguiente, se presupone que los tipos 2, 3 y 4 también deben incluir las estructuras con marcos de acero reforzado de baja calidad.

La Tabla 4.2.15 muestra la correspondiente contribución de cada tipo de mampostería de acuerdo con las observaciones realizadas en Bogotá por el Equipo de Estudio. Es de resaltar que la discordancia en la calidad sísmica de las edificaciones se debe a la diferencia en *estrato*.

**Tabla 4.2.15 Contribución de los Tipos Estructurales para la Clasificación de la Mampostería**

|        | B   | C   | D   |
|--------|-----|-----|-----|
| Type 2 | 80% | 20% | 0%  |
| Type 3 | 40% | 50% | 10% |
| Type 4 | 20% | 40% | 40% |

Marcos de Concreto Reforzado

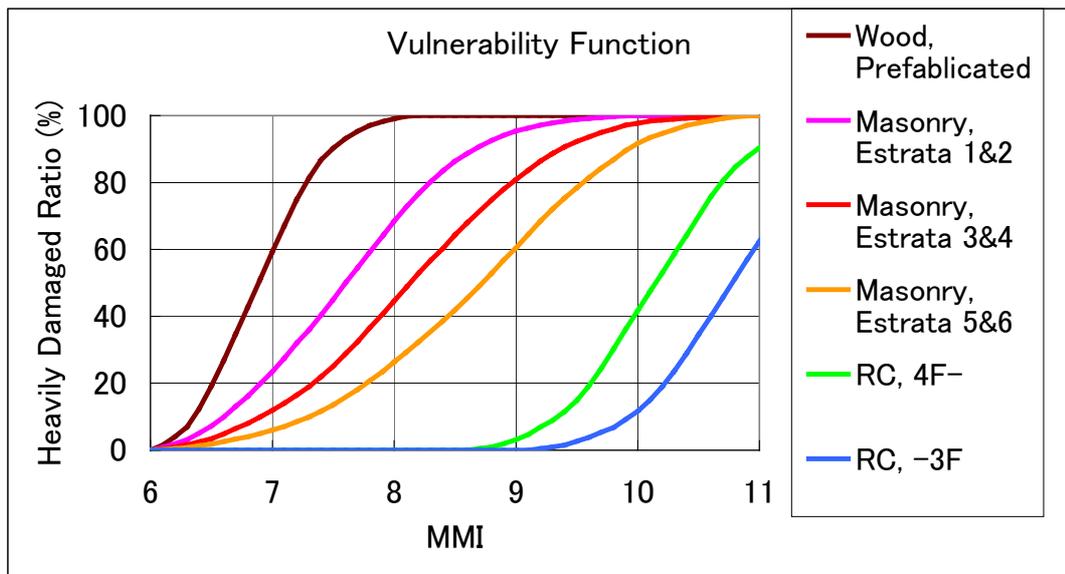
Entre las edificaciones con daños severos para todos los tipos de estructuras en el terremoto del Quindío en 1999, el 84% tenía menos de tres pisos, mientras que los edificios con más de 10 pisos tienen un porcentaje del 0.4%. Aunque en estas estadísticas se desconoce la relación de edificios con marcos de concreto reforzado, la relación de daño para los tipos E y F en la Figura 4.2.16 mostraría los daños en edificios más bajos.

La relación de daño para el tipo F, según lo indica la Figura 4.2.16, es casi la misma que para este tipo de estructuras en general en California. Sin embargo, habría menos edificios en áreas afectadas con la misma calidad que en California. Por lo tanto, se usa el tipo E para establecer la función estándar de daño.

En los datos catastrales, el edificio de concreto reforzado se clasifica en dos: 3 pisos y más y menos de 3 pisos. En general, los edificios con más pisos sufren más daño. La función de daño para el tipo E indica una relación de daño promedio para este tipo de estructuras. La función de

daño para el tipo F se define de forma tal que la relación de daño es 30% mayor en promedio, ya que la diferencia en la relación de daño entre E y F es del 20% en MMI X y del 60% en MMI XI.

La función de daño definida para cada MMI es un valor discreto que finalmente se corrige como se muestra en la Figura 4.2.17, ya que la relación de daño debe variar continuamente de acuerdo con la intensidad sísmica que también varía continuamente.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

**Figura 4.2.17 Relación Propuesta de Edificaciones con Daños Severos**

**C. Resultado del estimativo**

Como se muestra en la siguiente tabla y figura, la relación de colapso de edificaciones enteras está entre un 45% y un 48% en caso de un terremoto cercano o a distancia media, intervalo mayor que los resultados del estudio anterior. La resultados es muestra en Tabla 4.2.16 y Figura 4.2.18(1), 4.2.18(2).

