

Alcaldía Mayor de Santa Fe de Bogotá D.C.

*FONDO DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS*
*DPAE*

# ESTUDIOS DE ZONIFICACION DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA Y DISEÑOS DETALLADOS DE MEDIDAS DE MITIGACION PARA EL BARRIO CARACOLI, LOCALIDAD CIUDAD BOLIVAR

**CONTRATO No. CCS-616/99**

# INFORME EJECUTIVO

**Santafé de Bogotá D.C., Junio del 2000**

## CONTENIDO

**Pág.**

**INTRODUCCIÓN** **2**

**1. ACTIVIDADES DESARROLLADAS Y METODOLOGIA DE ANALISIS** **3**

**2. LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACION BASICA** **4**

2.1. TOPOGRAFIA 4
2.2. GEOLOGÍA 4
2.3. GEOMORFOLOGÍA Y PROCESOS 5
2.4. HIDROLOGIA Y CLIMA 6
2.5. FACTOR ANTROPICO 6
2.6. USO DEL SUELO Y COBERTURA 7
2.7. ESTUDIO GEOTECNICO 7

**3. EVALUACION Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR FRM** **10**

**4. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD** **14**

**5. EVALUCION Y ZONIFICACIÓN DE RIESGO** **15**

**6. ALTERNATIVAS DE MITIGACION** **25**

**CONCLUSIONES** **27**

## INTRODUCCIÓN

El barrio Caracolí ocupa una superficie aproximada de 24 hectáreas, se encuentra en el extremo sur de Ciudad Bolívar, y colinda con el Municipio de Soacha. Este barrio está localizado aproximadamente entre las carreras 45 a 48 y entre las calles 80 a 90 sur. En las planchas del IGAC L-23 y L-24, de escala 1:2000, el área de estudio se ubica entre las coordenadas N:97250 – 97650 / E:90000 – 89100, y entre las cotas 2640 a 2800.

En la figura 1 puede apreciarse la ubicación del área de estudio, la cual se encuentra densamente poblada, con aproximadamente 5.179 habitantes pertenecientes al estrato 1. El barrio se ubica topográficamente en una ladera de pendiente fuerte, con viviendas de carácter subnormal, donde la dotación de servicios públicos es muy baja.

El estudio tiene por objeto evaluar y zonificar el riesgo por remoción en masa del territorio delimitado por el Barrio Caracolí, desarrollar las labores de exploración del subsuelo, ensayos de laboratorio y análisis de estabilidad para definir las alternativas de mitigación y diseñar las obras más apropiadas, junto con su presupuesto y las especificaciones técnicas de construcción.



Figura 1. Localización del área de estudio

# 1. ACTIVIDADES DESARROLLADAS Y METODOLOGIA DE ANALISIS

Para el cumplimiento del objetivo trazado se desarrollaron las siguientes actividades:

- Obtención de la información básica necesaria en lo relativo a la geología, geomorfología, hidrología, cobertura del suelo y geotecnia.
- Preparación del inventario de procesos de remoción en masa.
- Exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio.
- Evaluación de la estabilidad de los taludes.
- Evaluación y zonificación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo,
- Elaboración del plano topográfico para cada uno de los sitios críticos que justificaban el diseño de obras de mitigación.
- Análisis de las medidas de mitigación en las zonas de riesgo.
- Diseño de obras, cálculo del presupuesto, las especificaciones técnicas de construcción.

En general, la metodología aplicada se encaminó hacia la zonificación del área del barrio en cuanto a los aspectos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, con el fin de delimitar las áreas que ofrecen mayor peligro para la población y para plantear las medidas de mitigación más apropiadas.

La amenaza se evaluó considerando la categorización de cada uno de los procesos de remoción en masa tanto actuales, como previsiblemente pueden ocurrir, incluyendo el grado de susceptibilidad natural de los terrenos a dichos procesos, y la posibilidad de su ocurrencia. En este análisis se consideraron también las incidencias de la sismicidad del área, de acuerdo al estudio de microzonificación de Bogotá.

El estudio de la vulnerabilidad se inició desde el mismo comienzo de los trabajos y tuvo como base las encuestas en todas y cada una de las viviendas que componen el barrio. Esta información se procesó, y se elaboró el mapa de vulnerabilidad, empleando un método semicuantitativo de evaluación.

El riesgo es el producto da la amenaza por la vulnerabilidad. A partir de los resultados de este producto se elaboró el mapa de riesgo y, a su vez, este mapa sirvió de base para la evaluación de las medidas de mitigación.

# 2. LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACION BASICA

## 2.1. TOPOGRAFIA

Dado que la actualización de la topografía del barrio no estaba contemplada dentro de los alcances (ni dentro del presupuesto) del estudio, para el desarrollo del presente trabajo se utilizó el plano topográfico, suministrado por la DPAE., a escala 1:1000, con curvas de nivel cada 2 metros.

Una vez revisada la topografía en lo referente a las curvas de nivel, se encontró que esta topografía corresponde a la restituida por el IGAC a escala 1:2000 en el año de 1979, y presentada en las planchas L-23 y L-24. Por lo tanto, el plano topográfico suministrado por la DPAE está desactualizado y presenta inconsistencias al reflejar accidentes topográficos que han sido modificados en los últimos años por la acción del hombre.

Desde el punto de vista planimétrico, el plano presenta la distribución de lotes, manzanas y calles proyectadas inicialmente, pero no ilustra el área construida realmente, ni la distribución actual de los lotes, observada durante inspecciones de campo efectuadas para este trabajo.

La actividad del hombre ha modificado el relieve, especialmente por ejecución de cortes y rellenos para levantar las construcciones, y para adecuar las zonas comunales, las vías de acceso, etc. La mayor intervención en dicha modificación la han tenido los drenajes naturales.

Debido a la desactualización del plano topográfico, suministrado por la DPAE, la zonificación del área por amenaza, vulnerabilidad y riesgo no corresponde a la realidad topográfica y está sujeta a los ajustes que es necesario introducirle cuando se actualice el levantamiento topográfico general de toda el área.

El levantamiento topográfico, realizado específicamente para el diseño de las obras de mitigación en sitios críticos, cubre solo el 20% del área total del barrio, y no es suficiente para los fines de la zonificación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

## 2.2. GEOLOGÍA

Geológicamente, el área se puede dividir en tres sectores bien diferenciados para la zonificación objeto del presente estudio, a saber: a) Sector Norte: Al norte de la Falla de Terreros, conformado por los materiales de la Formación Arenisca Tierna (roca y Saprolito); b) Sector Central: constituido superficialmente por un depósito Eluvial – Deluvial (Tren de la Falla de Terreros); y c) Sector Sur: En el pie de la ladera, donde se presentan depósitos coluviales y algunos afloramientos rocosos de la Formación Arenisca de Labor.

En el área se destaca la presencia de rellenos antrópicos y de suelos negros. Los últimos cubren uniformemente toda la zona, salvo en los sectores que han sido removidos mediante la actividad antrópica o mediante el proceso erosivo en las cárcavas.

La estratificación de las rocas de la Formación Arenisca Tierna buza en sentido opuesto a la pendiente del terreno, lo cual es favorable para la estabilidad geotécnica del área en general. La característica geoestructural más importante es la Falla de Terreros.

En general, las unidades litoestratigráficas presentan características de porosidad y permeabilidad relativamente altas, especialmente las Formaciones Arenisca de Labor, Arenisca Tierna y Arenisca Tierna Fracturada, las cuales permiten tanto el almacenamiento, como el flujo del agua subterránea.

## 2.3. GEOMORFOLOGÍA Y PROCESOS

La vertiente derecha del Zanjón la Muralla en la Localidad de Ciudad Bolívar donde se ubica el Barrio Caracolí objeto del presente estudio, antes de ser urbanizada presentaba un relieve quebrado a escarpado, con pendientes generalmente altas. Esta característica del relieve es muy similar al de actual, solo que el paisaje ha sido modelado por la actividad antrópica.

En el cuadro 2.1 se indican las diferentes geoformas identificadas en el área comprendida por el Barrio Caracolí y los procesos geomorfológicos correlacionados con ellos.

Cuadro 2.1. Unidades Geomorfológicas Barrio Caracolí – Ciudad Bolívar

| GEOFORMA | UNIDADES GEOFORFOLOGICAS | MATERIAL PARENTAL | CARACTERÍSTICAS DE LAS FORMAS | PROCESOS MORFODINÁMICOS |
|---|---|---|---|---|
| DENUDATIVAS (D) | LADERA ESTRUCTURAL EN CONTRAPENDIENTE (D-1) | Rocas de la Formación Arenisca Tierna y Saprolito | Relieve escarpado a quebrado, pendientes fuertes y largas, cerros con cimas redondeadas y alargadas | Caída de rocas<br>Erosión Laminar<br>Afloramiento de aguas subterráneas |
| | LADERA EROSIONAL (D-2) | Elúvio - Delúvio | Relieve con pendientes moderadas a muy inclinadas. | Erosión Laminar<br>Erosión en Surcos |
| ACUMULATIVAS (A) | VALLES EROSIONALES ESTRECHOS (A-1) | Elúvio, Delúvio, Prolúvio | Relieve de cárcavas con valles estrechos de paredes casi verticales, en su mayoría modeladas por la acción antrópica | Erosión en Cárcavas<br>Flujo de tierras<br>Reptación<br>Hundimientos |
| | PIE DE LADERAS (A-2) | Coluviones | Relieve con superficies suavemente convexas hacia la parte alta de los depósitos y con pendientes inclinadas hacia la parte baja de los mismos | Caída de bloques<br>Erosión laminar<br>Erosión en surcos |
| | VALLE ZANJON LA MURALLA (A-3) | Proluvio | Valle estrecho con pendiente longitudinal muy suave y terrazas de baja altura (< 1 m) | Flujos de tierra |
| | TERRACETAS ANTRÓPICAS (A-4) | Depósitos de Escombros | Superficies parcialmente planas, con taludes laterales de pendiente alta, hasta del 100%. | Deslizamientos<br>Erosión Laminar<br>Erosión en surcos |

En general, en el barrio Caracolí no se presentan problemas graves generados por inestabilidad del terreno, y los que hay son muy puntualizados y de poca magnitud. Estos problemas se presentan principalmente hacia los valles estrechos de ladera, en los taludes de las antiguas cárcavas, y en los rellenos sueltos que yacen sobre las mismas; y también en los taludes de corte realizados para la construcción de viviendas. Existen numerosas viviendas que evidencian asentamientos por estar construidas sobre rellenos mal conformados.

Los factores que condicionan los procesos morfodinámicos en el barrio Caracolí son los siguientes:

a) La carencia total de un manejo adecuado de aguas superficiales, tanto de lluvias como servidas, las cuales han contribuido a la saturación y erosión del terreno.
b) Vertimiento de aguas servidas, que en otras ocasiones han contribuido al reblandecimiento de los materiales, generando reptación y flujos de tierra dentro de las cárcavas.
c) El relleno de las cárcavas, mediante la depositación de escombros de excavación, que en general se ha realizado de una manera antitécnica, y por tal razón se han generado algunos procesos relacionados con deslizamientos pequeños y puntuales (derrumbes), y asentamientos de algunas viviendas.

## 2.4. HIDROLOGIA Y CLIMA

El área de estudio se encuentra en la margen derecha del cauce llamado Zanjón La Muralla, el cual hace parte de la cuenca de la Laguna de Terreros y atraviesa los barrios Jerusalén, Potosí, Caracolí y El Oasis. El sistema de drenaje del área de estudio se caracteriza por estar controlado estructural y litológicamente, y estar estrechamente relacionado con los afloramientos de aguas subterráneas. La densidad del drenaje es baja, y consta de redes subparalelas con la dirección preferencial de los cauces, que coincide con la orientación de un sistema de fallas locales asociadas a la Falla de Terreros.

La temperatura media multianual en el sector es de 14.8°C. Los valores más altos de la humedad relativa se presentan en la época lluviosa, y son del orden del 83% y los valores más bajos son del orden del 75% en los meses más secos.

La distribución temporal de la lluvia tiene un comportamiento bimodal: dos periodos de precipitación alta, presentándose el primero en los meses de abril y mayo (75-70 mm), mientras el segundo se presenta en octubre y noviembre (80 – 71 mm).

## 2.5. FACTOR ANTROPICO

Para el año 1990 el área de estudio se encontraba baldía. El inicio de la presión antrópica data desde el año de 1994, y para el año 2000 el barrio Caracolí se encuentra casi totalmente intervenido por el hombre.

La intervención antrópica sobre el área de estudio ha causado los siguientes efectos:

- Cambio del relieve natural.
- Eliminación de la cubierta vegetal en la mayor parte del área.
- Cambio del coeficiente de escorrentía y aumento del caudal de las aguas sobre el terreno.
- Aparición de nuevos fenómenos de remoción en masa.
- Disminución del área afectada por procesos erosivos y su concentración en las vías secundarias destapadas y en las partes más bajas de los drenajes naturales.
- Contaminación de la Quebrada Zanjón La Muralla y Laguna de Terreros por desechos líquidos y sólidos. Se aclara, que actualmente esta laguna se encuentra en un estado

avanzado de sedimentación y eutrofización, como consecuencia del acelerado desarrollo urbano de la microcuenca del Zanjón La Muralla.
- Conformación de nuevos depósitos, con una mayor susceptibilidad a los fenómenos de remoción en masa, denominados como antrópicos.

## 2.6. USO DEL SUELO Y COBERTURA

El uso actual de la tierra es predominantemente residencial o de uso compartido con el comercio en prácticamente todas las viviendas que se ubican sobre las calles principales. Estas últimas constituyen 247 de las 1331 edificaciones habitadas.

El barrio también cuenta con algunas zonas comunales destinadas para deportes, la plaza de mercado y el terminal de buses, que es utilizado por dos empresas.

En el cuadro 2.2 se resumen los resultados de la cobertura de la zona en las 80 manzanas que han sido encuestadas:

Cuadro 2.2. Cobertura del Barrio Caracolí

| Tipo de Construcción | Número de lotes | % | Costo aprox. Por unidad Millones de $ | Area, $m^2$ |
|---|---|---|---|---|
| Lote Vacío | 1.012 | 43.19 | 1.0 | 77.108,45 |
| Mampostería Confinada | 233 | 9.9 | 10 a 20 | 17.166,76 |
| Mampostería Semi-confinada | 364 | 15.5 | 4 a 10 | 25.729,29 |
| Tugurio | 619 | 26.4 | 1.5 | 43.244,71 |
| Prefabricado | 101 | 4.3 | 2.0 | 7.149,75 |
| Zona Verde | 4 | 0.17 | - | 284.30 |
| Caño | 10 | 0.42 | - | 680.24 |
| Total de predios | 2.343 | 100 | - | 171.363,51 |

## 2.7. ESTUDIO GEOTECNICO

Los objetivos del estudio geotécnico fueron la definición del modelo y de los parámetros de cálculo para la evaluación de la estabilidad de las áreas críticas frente a los fenómenos de remoción en masa (FRM).

La caracterización geotécnica del área se efectuó a partir de la información obtenida durante la exploración geológica y geotécnica. Con base en la exploración geotécnica y los ensayos in-situ y de laboratorio, se elaboró el mapa de zonificación y el cuadro 2.3 de caracterización geomecánica de las áreas homogéneas, en el cual se definieron los parámetros para los cálculos de estabilidad.

Con los parámetros geotécnicos se realizaron análisis de estabilidad de taludes en cada una de las áreas potencialmente inestables, seleccionando las secciones típicas de cada área, así:

| | |
|---|---|
| a) Zona paradero | Sección F- F’ |
| b) Zona del Colegio | Sección L - L’ |
| c) Manzana 69 | Sección J – J’ |
| d) Cárcava principal | Sección B - B’ en la parte inferior |
| | Sección C - C’ en la parte superior oeste |
| | Sección D - D’ en la parte superior este |
| | Sección E - E’ en la parte central |
| e) Manzanas 30 y 77 | Secciones H - H’ y I – I’ |
| f) Manzana 80 | Sección G - G’ |

En los cálculos se consideraron tres factores detonantes de los procesos de desestabilización de los taludes en el área de estudio: la actividad antrópica, la pluviosidad y la sismicidad.

**Actividad Antrópica:** En términos generales, el mal manejo de las aguas lluvias y residuales continua siendo el factor detonante principal para el desarrollo de los procesos de erosión, deslizamientos y flujos de tierras. Las aguas de vertimiento contribuyen principalmente al cambio de los valores de “c” y “$\varphi$” de los materiales porque contribuyen a su saturación y a su contaminación con materia orgánica y por microorganismos.

**Pluviosidad:** Los análisis de los antecedentes del comportamiento en el Barrio Caracolí de las áreas de deslizamientos potenciales durante un período de 6 años (incluyendo el periodo del presente estudio), con base principalmente en los testimonios de los vecinos y en las fotos áreas de diferentes épocas, han demostrado que las lluvias han tenido una incidencia notoria en la inestabilidad de los rellenos antrópicos utilizados en las vías y viviendas. Para el presente estudio, la influencia de la precipitación se tuvo en cuenta por medio de la disminución de los parámetros de “c” y “$\varphi$” (ensayo en estado saturado), y con el incremento del nivel freático, hasta el punto de considerar los materiales como totalmente saturados. El proceso de saturación por agua del terreno tiene mayor incidencia en los períodos lluviosos, y con lluvias máximas cuyo período de retorno es de 25 años.

**Sismicidad:** De acuerdo a la microzonificación sísmica de Bogotá, el área de estudio pertenece a una zona de riesgo intermedio, con una magnitud máxima esperada de 7.0, y con una aceleración horizontal de 0.30 g. El período considerado para la evaluación de la amenaza por deslizamientos por sismos fue de 25 a 95 años, correspondiente a la tasa de ocurrencia de un sismo cercano a Bogotá de 0.24 N/año. Esta magnitud se califica como fuerte, porque provoca daños graves en las construcciones y, en muchos casos, deslizamientos en las laderas; y también origina modificaciones de los caudales de los manantiales y de otras fuentes hídricas, y en el nivel freático.

Teniendo en cuenta lo anterior, en cada talud se consideraron las siguientes condiciones:

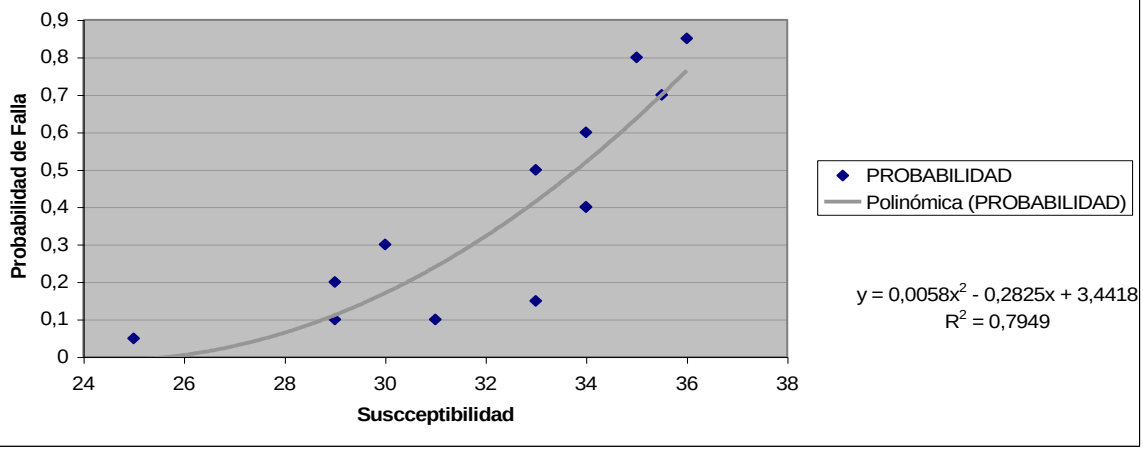
- Talud no seco, condición estática y dinámica (con sismo).
- Talud saturado, condición estática y dinámica.

Los cálculos se realizaron utilizando el programa PCSTABL 5, el cual permite obtener resultados para diferentes condiciones del terreno analizado. Se consideraron como aceptables factores de seguridad superiores a 1.5 para la condición estática y superiores a 1.1 para la condición dinámica. Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 2.4.

## 3. EVALUACION Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR FRM

La evaluación de la amenaza se realizó utilizando la ecuación empírica de correlación entre la probabilidad de falla y la susceptibilidad de áreas homogéneas al desarrollo de los FRM, obteniendo de esta forma el valor de la amenaza en términos probabilísticos.

**Figura 2 Relación de Susceptibilidad con la Probabilidad de Falla**




Esta correlación se elaboró para el Factor de Seguridad crítico, obtenido para el caso de la ocurrencia de un sismo en condiciones de saturación total del suelo, y que sirvió de base para la definición de la amenaza en los sectores donde no se calculó el factor de seguridad, pero sí el de susceptibilidad. Los resultados obtenidos para cada una de las áreas homogéneas a los FRM se presentan en el cuadro 3.1, donde con el color rojo se indican los valores obtenidos directamente por medio de los cálculos de probabilidades de falla, y en negro los valores calculados por medio de la ecuación de correlación con la susceptibilidad.

La mayor parte del área estudiada presenta un grado bajo de amenaza (75% del área), un grado medio de amenaza en un 15% del área, y tan solo el 10% del área total resultó con una amenaza alta por FRM. Una vez más, vale la pena enfatizar que la evaluación de amenaza se determinó para la situación extrema, es decir para condiciones la simultaneidad de una saturación total del suelo y la ocurrencia de un sismo de cierta magnitud, situación que tiene una probabilidad de concurrencia muy baja, inferior al 8%. Dicho criterio de evaluación se aplicó para subsanar (en parte) las deficiencias ya mencionadas del plano topográfico disponible para el área de estudio.

A continuación se describen los diferentes sectores delimitados según su grado de amenaza.

**Sectores de amenaza alta:** Se agrupan en 5 zonas, constituidas principalmente por rellenos antrópicos, y que corresponden a:

1) Area del paradero de buses, constituida por rellenos antrópicos bastante heterogéneos. En el caso de la ocurrencia simultánea de un sismo de cierta magnitud y con el subsuelo totalmente saturado, pueden presentarse deslizamientos. La probabilidad de una inestabilidad, considerando ambos fenómenos como simultáneos, fue calculada en 0.80 (80%). Por la característica de los suelos involucrados, se estima que los deslizamientos evidenciarían una velocidad rápida y el volumen del material desplazado podría variar entre 400 y 6000 $m^3$.

2) Parte superior de la cárcava principal, manzanas 16, 17 y 18, vía de acceso (KR47B), y la parte alta de las manzanas 36, 37 y 38. Esta zona está conformada principalmente por rellenos antrópicos dispuestos dentro de la cárcava. Es un área con una mayor probabilidad de inestabilidad (hasta 0,90) debido al tipo de material, las altas pendientes del terreno y el aporte permanente de las aguas de vertimiento de las viviendas. Es una zona que se encuentra en un estado límite de equilibrio aún en situación estática saturada. Pueden presentarse dos tipos de fenómenos: deslizamientos y flujos de tierra. Se estima que la velocidad de movimiento sería rápida e involucraría masas cuyo volumen podría variar entre 12000 y 14000$m^3$.

3) Dos sectores de características similares, que constituyen los terraplenes de la segunda vía principal de acceso (KR47A). Tienen una probabilidad de falla por deslizamiento de 0,60 en el caso dinámico y saturado, situación que tendría cierta factibilidad de presentarse, pues el drenaje del terraplén no es suficiente y se presenta estancamiento del agua en el talud norte del mismo. Por la naturaleza y la mala calidad de los materiales que conforman los terraplenes, se estima que la falla sería rápida y que el volumen del material removido podría ser del orden de 120-900 $m^3$.

4) Parte inferior del Barrio Caracolí, ubicada en su extremo sur-oriental. La probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento o flujo de tierra es de 0,66-0,95 en el estado dinámico saturado, y aún en las condiciones estáticas saturadas estos sectores pueden presentar inestabilidades. Se estiman movimientos rápidos, con volúmenes de 240 a 8037 $m^3$.

5) Parte superior de la manzana 30, en un sitio donde actualmente se bota material de desecho en condiciones antitécnicas.

**Sectores de amenaza media:** se relacionan en el cuadro 3.1 y están conformados principalmente por rellenos antrópicos en cárcavas sobre las pendientes más inclinadas, y ubicadas en su mayoría en la parte más baja del barrio. La probabilidad de ocurrencia de inestabilidad por fenómenos de deslizamiento o flujo de tierras es del orden de 0.16 a 0.44 para el caso dinámico saturado. En las condiciones anteriores, todos estos sectores tienen factores de seguridad por encima de 1,1 y por debajo de 1,5. En caso de producirse un sismo de cierta magnitud, se estima que el desplazamiento del material inestable sería rápido, debido a las propiedades físico – mecánicas de los materiales que conforman dichos sectores.

**Sectores de amenaza baja:** corresponden al 75% del área de estudio. Tienen valores máximos de probabilidades de falla por deslizamientos locales de 0.13. Esta zona está conformada principalmente por rocas de las Formaciones Arenisca Labor y Tierna, por depósitos Eluvio – deluviales y, en menor proporción, por coluviones y rellenos antrópicos de las vías de acceso. Para algunos de estos sectores se obtuvieron resultados de los factores de seguridad superiores a 2.0. Sin embargo, pueden presentarse inestabilidades locales en estas áreas, principalmente debido al mal manejo de las aguas lluvias en los sitios de cortes de taludes y de rellenos conformados para la construcción de viviendas. Los deslizamientos serían de carácter rápido, tal como se observó en el caso que se presentó en la manzana 8 lote 19, y de pequeño volumen, aunque suficiente para afectar las viviendas tipo tugurio construidas en las pendientes altas.

# 4. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Para asignar los valores de la vulnerabilidad, expresada en términos del grado de pérdida del conjunto de un elemento o conjunto de elementos bajo amenaza, que se materializó por medio de una escala de 0 (ningún daño) a 1 (pérdida total), se planteó una correlación lineal entre la susceptibilidad total y la vulnerabilidad.

Tal como se puede apreciar en el cuadro 4.1, inicialmente la valoración de la vulnerabilidad se realizó para cada uno de los sectores homogéneos por susceptibilidad a los FRM. Luego, se evaluó individualmente la vulnerabilidad física de cada una de las viviendas que se encuentran en las zonas de amenaza alta. Para ambas evaluaciones se ha considerando lo siguiente:

- El porcentaje de cada uno de los tipos de vivienda presentes en el sector;
- La susceptibilidad unitaria correspondiente al tipo de la vivienda, según el cuadro 4.1;
- La velocidad de desplazamiento lenta, moderada o rápida de la masa de falla potencial;
- Presión lateral <1/3 de la superficie expuesta para flujos de tierra y deslizamientos en materiales eluvio-deluviales; entre 1/3 y 2/3 para rellenos antrópicos en cárcavas; y >2/3 para rellenos de excavación y coluviones, excepto en algunos sitios;
- El volumen de la masa se calculó de acuerdo al área del sector y al espesor promedio de los materiales que podrían estar involucrados en la falla.
- Los lotes vacíos no tienen calificación de vulnerabilidad, dado que no hay elementos estructurales para experimentar daños. En el mapa de zonificación de vulnerabilidad a los lotes vacíos se les asigno el valor (color) promedio calculado para el sector.

En general las viviendas del barrio son de cuatro tipos: tugurio, prefabricada, mampostería inconfinada, y mampostería confinada con vigas y columnas.

Las construcciones tuguriales, construidas principalmente de madera y lata, son muy vulnerables a los desprendimientos provenientes de la parte alta, dado que cualquier material que ruede penetra fácilmente a la vivienda, pues no encuentra mayor oposición. Sin embargo, esta tipología de construcción se comporta bien ante movimientos lentos del terreno, pues su gran flexibilidad le permite acomodarse sin que se note en su estructura. Inclusive ante una eventual destrucción de la vivienda, las lesiones a los habitantes son limitadas debido a que los elementos que componen la estructura son livianos.

Las viviendas prefabricadas son poco resistentes al empuje sobre sus paredes, y pueden acomodarse al terreno en caso de movimientos pequeños; y aunque en sus paredes no se noten grietas, estas son muy visibles en sus pisos.

Las viviendas con mampostería inconfinada son muy débiles a los empujes laterales y pueden destruirse fácilmente. En la misma forma, estas viviendas son muy débiles a los sismos. En caso de cualquier movimiento, se presentarían grietas en las paredes.

La mampostería confinada es la estructura más resistente y puede acomodarse a pequeños movimientos del terreno, aunque se pueden manifestar agrietamientos en las paredes de ladrillo. En algunos casos, se nota que cuando la casa tiene desplazamientos, estos se realizan en todo su conjunto, sin que se manifieste en agrietamientos de la estructura. Pueden resistir empujes laterales limitados y su respuesta al sismo se considera buena.

El problema de estabilidad de cada casa no está en el tipo de construcción, sino en la forma como se construye su plataforma y se cimienta.

Con relación a la cimentación, ésta es más segura si se encuentra sobre terreno firme. Esto se logra por medio de plataformas conformadas completamente en corte, o profundizando el cimiento hasta que encuentre terreno firme.

## 5. EVALUCION Y ZONIFICACIÓN DE RIESGO

El análisis se efectuó teniendo en cuenta el interés de la DPAE de conocer el riesgo para cada una de las viviendas en el área de amenaza alta, y también con el fin de determinar la relación beneficio/costo de las posibles medidas de mitigación o, en casos extremos, de la reubicación de las viviendas y la modificación del uso actual del suelo para las áreas donde el riesgo no es mitigable.

Para el presente estudio el riesgo se evaluó tanto para las edificaciones, como para cada uno de los sectores homogéneos analizados a través del Indice de Riesgo Nominal (IRN), el cual es el producto de la probabilidad de falla (Pf) por la vulnerabilidad de las edificaciones presentes.

Este Indice de Riesgo Nominal evalúa en forma independiente la magnitud (de 0 a 1) de las posibles pérdidas al nivel de áreas homogéneas y para cada una de las viviendas, y su resultado desemboca en que el riesgo represente el posible porcentaje de daño y no las perdidas económicas, ya que esto último pondría en desventaja a los habitantes de menores recursos económicos.

Para este trabajo se utilizó la siguiente clasificación para el IRN esperado para 25 años:

| | |
|---|---|
| Alto | =>0.625 |
| Medio | 0.376 - 0.624 |
| Bajo | < 0.376 |

Según la evaluación realizada, la mayor parte del Barrio Caracolí presenta un riesgo bajo.

La evaluación individual de las edificaciones en los sectores de amenaza alta arrojó los siguientes resultados:

**Área de parqueadero:** Según la evaluación general, presentada en el cuadro 5.1, se caracteriza por un IRN de magnitud media con la consideración del sismo y de saturación total, y que permite su uso urbanístico con restricciones. El riesgo puede ser disminuido con la construcción del sistema de alcantarillado y de manejo adecuado de las aguas lluvias. En la parte baja del sector existen 22 edificaciones en riesgo alto, que requieren la construcción de obras de mitigación. Estas viviendas son habitadas por 77 habitantes de noche y 59 de día (ver cuadro 5.2).

**Cárcava Principal:** En esta área todas las construcciones existentes se encuentran en situación de riesgo (27 en alto y 3 en medio) por deslizamientos y/o flujo de tierras bajo condiciones sísmicas y de saturación total (ver cuadro 5.3). Estas viviendas se encuentran habitadas por 82 personas de día y 112 de noche. De acuerdo con lo anterior, se requieren obras de mitigación que pueden beneficiar a muchas más personas de las que específicamente viven en esta zona.

**Manzana 69:** Según la evaluación general presentada en el cuadro 5.1, se caracteriza por un IRN de magnitud media con la consideración del sismo y de saturación total, al igual que la mayoría de las edificaciones evaluadas individualmente. Solo dos casas en mampostería semi-confinada presentan riesgo bajo. Este sector esta habitado por 45 personas de día y 72 de noche. La parte baja del sector se encuentra en los límites de la zona de protección ambiental del Zanjón La Muralla, y por lo tanto es recomendable la evacuación de las viviendas próximas al Zanjón. Además, el riesgo del área puede ser disminuido con la construcción de redes de alcantarillado y acueducto.

**Manzanas 78, 79 y 80:** Sector con un IRN total medio, dentro de cual existen 12 viviendas de tipo tugurio y una en mampostería confinada, todos con un riesgo individual alto. Este sector está habitado por 45 personas de día y 53 de noche. Debido a la magnitud del área amenazada, el riesgo no es mitigable. Por lo tanto, se recomienda la evacuación de esta zona.

En los demás sectores de amenaza alta no existen viviendas, razón por el cual no se realizó la evaluación de vulnerabilidad y riesgo individual, y se adoptaron los valores obtenidos para el sector en general.

Por medio del censo de viviendas se obtuvieron los costos de las edificaciones y lotes, que fueron suministrados por los propietarios, o estimados por el encuestador. Dentro de estos se incluyeron el costo de las redes eléctricas y vías.

Los costos esperados por daños en cada uno de los sectores se calcularon como el producto del IRN de áreas de viviendas afectadas por el costo del área (ver cuadro 5.1). De igual manera, se definió el costo esperado individualmente para cada una de las edificaciones existentes dentro de las áreas de amenaza alta, que se presentan en los cuadros 5.2, 5.3 y 5.4. Los valores obtenidos por sectores e individualmente se utilizaron para la evaluación de la relación beneficio /costo de las medidas de prevención para la disminución del riesgo esperado.

El costo total de daño esperado de los elementos estructurales para el periodo de recurrencia de 25 años se estimó en SEISCIENTOS CUARENTA Y UN MILLONES DE PESOS ($641.000.000) M/CTE.

**Cuadro 5.2. Riesgo de elementos estructurales a los FRM. Area de Parqueadero.**

| SECTOR | MANZANA | LOTE | TIPOLOGIA | NUMERO DE HABITANTES | | VULNERABILIDAD | | AMENAZA | | RIESGO | | COSTO ESPERADO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | DÍA | NOCHE | | | | | | | |
| I-A-4-ae$_1$ | 1 | 2 | MC | 2 | 0 | 0,53 | bajo | 0,5 | medio | 0,26 | bajo | $1.056.000 |
| | 2 | 1 | MC | 1 | 0 | 0,53 | bajo | 0,5 | medio | 0,26 | bajo | $1.056.000 |
| | 52 | 18 | P | 0 | 0 | 1 | alto | 0,8 | alto | 0,80 | alto | $1.600.000 |
| | | 20 | T | 8 | 5 | 1 | alto | 0,8 | alto | 0,80 | alto | $1.200.000 |
| | | 21 | P | 5 | 7 | 1 | alto | 0,8 | alto | 0,80 | alto | $1.600.000 |
| | | 22 | T | 4 | 4 | 1 | alto | 0,8 | alto | 0,80 | alto | $1.200.000 |
| | | 23 | MSC | 0 | 0 | 0,96 | medio | 0,8 | alto | 0,77 | alto | $2.296.800 |
| | | 24 | MSC | 4 | 4 | 0,96 | medio | 0,8 | alto | 0,77 | alto | $2.296.800 |
| | | 30 | MC | 3 | 5 | 0,83 | medio | 0,8 | alto | 0,66 | alto | $2.640.000 |
| | 53 | 18 | T | 3 | 6 | 1 | alto | 0,8 | alto | 0,80 | alto | $1.200.000 |
| | | 20 | P | 3 | 5 | 1 | alto | 0,8 | alto | 0,80 | alto | $1.600.000 |
| | | 22 | MSC | 5 | 5 | 0,96 | medio | 0,8 | alto | 0,77 | alto | $2.296.800 |
| | | 24 | MSC | 0 | 0 | 0,96 | medio | 0,8 | alto | 0,77 | alto | $2.296.800 |
| | | 30 | P | 3 | 4 | 1 | alto | 0,8 | alto | 0,80 | alto | $1.600.000 |
| | 54 | 19 | T | 0 | 0 | 1 | alto | 0,8 | alto | 0,80 | alto | $800.000 |
| | | 22 | MSC | 2 | 5 | 0,96 | medio | 0,8 | alto | 0,77 | alto | $2.296.800 |
| | | 23 | MSC | 0 | 0 | 0,86 | medio | 0,8 | alto | 0,69 | alto | $2.059.200 |
| | | 24 | MC | 0 | 0 | 0,79 | medio | 0,8 | alto | 0,63 | alto | $2.534.400 |
| | | 25 | T | 0 | 3 | 1 | alto | 0,8 | alto | 0,80 | alto | $1.200.000 |
| | | 26 | MSC | 4 | 4 | 0,96 | medio | 0,8 | alto | 0,77 | alto | $2.296.800 |
| | | 27 | MC | 5 | 6 | 0,73 | medio | 0,8 | alto | 0,58 | medio | $2.323.200 |
| | | 28 | T | 1 | 2 | 1 | alto | 0,8 | alto | 0,80 | alto | $1.200.000 |
| | | 30 | MSC | 3 | 0 | 0,83 | medio | 0,8 | alto | 0,66 | alto | $1.980.000 |
| **Totales** | | | | 56 | 65 | | | | | | | $40.629.600 |

T - Tugurio

P - Prefabricado

MC - Mamposteria confinada

MSC - Mamposteria Semiconfinada

**Cuadro 5.3 Riesgo de elementos estructurales por FRM. Area de parte superior y media de la carcava principal.**

| SECTOR | MANZANA | LOTE | TIPOLOGIA | NUMERO DE HABITANTES | | VULNERABILIDAD | | AMENAZA | | RIESGO | | COSTO ESPERADO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | DÍA | NOCHE | | | | | | | |
| I-A4-ae2 | 16 | 35 | T | 2 | 6 | 1 | alto | 0,66 | alto | 0,66 | alto | $990.000 |
| | | 38 | T | 0 | 2 | 1 | alto | 0,66 | alto | 0,66 | alto | $990.000 |
| | | 40 | T | 0 | 4 | 1 | alto | 0,66 | alto | 0,66 | alto | $990.000 |
| | | 42 | T | 5 | 10 | 1 | alto | 0,66 | alto | 0,66 | alto | $990.000 |
| | | 43 | MC | 8 | 8 | 0,89 | medio | 0,66 | alto | 0,588 | medio | $2.352.240 |
| I-A1-ft3 | 17 | 9 | MC | 2 | 2 | 0,89 | medio | 0,9 | alto | 0,80 | alto | $3.207.600 |
| | | 13 | T | 2 | 6 | 1 | alto | 0,9 | alto | 0,90 | alto | $1.350.000 |
| | | 15 | MSC | 4 | 6 | 0,96 | medio | 0,9 | alto | 0,86 | alto | $2.583.900 |
| | | 17 | MSC | 0 | 0 | 1 | alto | 0,9 | alto | 0,90 | alto | $2.700.000 |
| | | 19 | MSC | 2 | 3 | 0,96 | medio | 0,9 | alto | 0,86 | alto | $2.583.900 |
| | | 27 | MSC | 2 | 2 | 0,96 | medio | 0,9 | alto | 0,86 | alto | $2.583.900 |
| | | 29 | MSC | 3 | 3 | 0,96 | medio | 0,9 | alto | 0,86 | alto | $2.583.900 |
| | | 30 | T | 3 | 4 | 1 | alto | 0,9 | alto | 0,90 | alto | $1.350.000 |
| | | 31 | T | 3 | 5 | 1 | alto | 0,9 | alto | 0,90 | alto | $1.350.000 |
| | | 32 | MSC | 3 | 3 | 0,96 | medio | 0,9 | alto | 0,86 | alto | $2.583.900 |
| | | 33 | MSC | 4 | 5 | 0,96 | medio | 0,9 | alto | 0,86 | alto | $2.583.900 |
| | | 35 | T | 0 | 0 | 1 | alto | 0,9 | alto | 0,90 | alto | $1.350.000 |
| I-A-1-ac5 | 18 | 1 | MC | 4 | 4 | 0,79 | medio | 0,9 | alto | 0,71 | alto | $2.851.200 |
| | | 2 | MC | 7 | 7 | 0,79 | medio | 0,9 | alto | 0,71 | alto | $2.851.200 |
| | | 3 | MSC | 0 | 0 | 0,86 | medio | 0,9 | alto | 0,77 | alto | $2.316.600 |
| | | 4 | MC | 2 | 5 | 0,79 | medio | 0,9 | alto | 0,71 | alto | $2.851.200 |
| | | 5 | T | 6 | 6 | 1 | alto | 0,9 | alto | 0,90 | alto | $1.350.000 |
| | | 7 | T | 6 | 6 | 1 | alto | 0,9 | alto | 0,90 | alto | $1.350.000 |
| | | 10 | MC | 1 | 5 | 0,79 | medio | 0,9 | alto | 0,71 | alto | $2.851.200 |
| | | 12 | T | 6 | 7 | 1 | alto | 0,9 | alto | 0,90 | alto | $1.350.000 |
| | | 14 | MSC | 4 | 6 | 0,86 | medio | 0,9 | alto | 0,77 | alto | $2.316.600 |
| | | 16 | MSC | 6 | 8 | 0,86 | medio | 0,9 | alto | 0,77 | alto | $2.316.600 |
| | | 18 | T | 0 | 0 | 1 | alto | 0,9 | alto | 0,90 | alto | $1.350.000 |
| I-A4-ae4 | 37 | 23 | T | 0 | 0 | 1 | alto | 0,7 | alto | 0,7 | alto | $1.050.000 |
| | 36 | 23 | MSC | 2 | 3 | 0,96 | medio | 0,7 | alto | 0,670 | alto | $2.009.700 |
| | | 28 | T | 0 | 0 | 1 | alto | 0,7 | alto | 0,700 | alto | $1.050.000 |
| | | 30 | MC | 6 | 6 | 0,79 | medio | 0,7 | alto | 0,554 | medio | $11.088.000 |
| | 35 | 28 | T | 7 | 7 | 1 | alto | 0,7 | alto | 0,700 | alto | $1.050.000 |
| | | 29 | P | 0 | 0 | 1 | alto | 0,7 | alto | 0,700 | alto | $1.400.000 |
| | | 30 | MSC | 0 | 0 | 0,86 | medio | 0,7 | alto | 0,601 | medio | $1.801.800 |
| | | **TOTAL** | | **100** | **139** | | | | | | | $76.327.340 |

T - Tugurio MC - Mamposteria confinada

P - Prefabricado MSC - Mamposteria Semiconfinada

Cuadro 5.4. Riesgo de elementos estructurales a los FRM. Area de Manzanas 69, 78, 79 y 80.

| AREA | SECTOR | MANZANA | LOTE | TIPOLOGIA | NUMERO DE HABITANTES | | VULNERABILIDAD | | AMENAZA | | RIESGO | | COSTO ESPERADO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | DÍA | NOCHE | | | | | | | |
| Manzanas 69, 67, 73, 35, 75, 76 | II-A-4-ae$_{10}$ | 69 | 31 | MSC | 5 | 7 | 0,76 | medio | 0,4 | medio | 0,30 | bajo | $910.800 |
| | | | 32 | T | 2 | 4 | 1 | alto | 0,4 | medio | 0,40 | medio | $600.000 |
| | | | 33 | MSC | 8 | 16 | 0,83 | medio | 0,4 | medio | 0,33 | bajo | $990.000 |
| | | | 34 | T | 1 | 3 | 1 | alto | 0,4 | medio | 0,40 | medio | $600.000 |
| | | | 35 | T | 8 | 16 | 1 | alto | 0,4 | medio | 0,40 | medio | $600.000 |
| | | | 36 | T | 5 | 6 | 1 | alto | 0,4 | medio | 0,40 | medio | $600.000 |
| | | | 37 | T | 12 | 15 | 1 | alto | 0,4 | medio | 0,40 | medio | $600.000 |
| | | | 38 | T | 5 | 6 | 1 | alto | 0,4 | medio | 0,40 | medio | $600.000 |
| | TOTAL | | | | 46 | 73 | | | | | | | $5.500.800 |
| Manzanas 78, 79 y 80 | II-A$_2$-Ic$_6$ | 78 | 9 | M.C. | 2 | 2 | 0,63 | medio | 0,85 | alto | 0,53 | medio | $2.131.800 |
| | | | 14 | T | 3 | 4 | 1 | alto | 0,85 | alto | 0,85 | alto | $1.275.000 |
| | | 79 | 8 | M.C. | 2 | 4 | 0,63 | medio | 0,85 | alto | 0,53 | medio | $2.131.800 |
| | | | 11 | M.C. | 5 | 7 | 0,63 | medio | 0,85 | alto | 0,53 | medio | $2.131.800 |
| | | | 14 | MC | 0 | 0 | 0,76 | medio | 0,85 | alto | 0,65 | alto | $2.580.600 |
| | | | 15 | T | 4 | 5 | 1 | alto | 0,85 | alto | 0,85 | alto | $1.275.000 |
| | | | 16 | T | 3 | 4 | 1 | alto | 0,85 | alto | 0,85 | alto | $1.275.000 |
| | | | 17 | T | 2 | 1 | 1 | alto | 0,85 | alto | 0,85 | alto | $1.275.000 |
| | | | 19 | T | 2 | 2 | 1 | alto | 0,85 | alto | 0,85 | alto | $1.275.000 |
| | | | 27 | T | 3 | 2 | 0,83 | medio | 0,85 | alto | 0,70 | alto | $1.051.875 |
| | | | 28 | T | 2 | 3 | 1 | alto | 0,85 | alto | 0,85 | alto | $1.275.000 |
| | | | 29 | T | 4 | 4 | 1 | alto | 0,85 | alto | 0,85 | alto | $1.275.000 |
| | II-D-ed$_4$ | | 30 | T | 3 | 4 | 1 | alto | 0,85 | alto | 0,85 | alto | $1.275.000 |
| | | | 31 | T | 3 | 4 | 1 | alto | 0,85 | alto | 0,85 | alto | $1.275.000 |
| | II-A$_1$-ft$_{15}$ | 80 | 15 | T | 7 | 7 | 1 | alto | 0,85 | alto | 0,85 | alto | $1.275.000 |
| | TOTAL | | | | 45 | 53 | | | | | | | $22.777.875 |

T - Tugurio MC - Mamposteria confinada

P - Prefabricado MSC - Mamposteria Semiconfinada

## 6. ALTERNATIVAS DE MITIGACION

Las obras planteadas constan principalmente de excavaciones, rellenos, muros de gaviones o concreto, tuberías, empradización y arborización.

Desde el punto de vista técnico, las alternativas planteadas son aptas para estabilizar el terreno en los sitios donde se plantean las obras, y resultan con factores de seguridad que son apropiados, tal como se pude apreciar en el cuadro 6.1.

Cuadro 6.1. Comparación de alternativas de mitigación

| ZONA (CORTE) | FACTORES DE SEGURIDAD | | | | BENEFICIO/COSTO DE OBRAS* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | FS[1] SIN OBRAS | FS[2] CON OBRAS | | | COSTO ESPERADO $ | COSTO OBRAS * | B/C |
| | | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | | | |
| Paradero (F-F) | 0,70 | 1,10 | 1,20 | | 22,99 | 34,49 | 0,67 |
| Colegio (L-L) | 1,10 | 1,80 | 1,60 | | 2,59 | 14,80 | 0,18 |
| Manzana 69 (J-J) | 1,10 | | | | 0,73 | 5,26 | 0,14 |
| Carcava principal parte inferior (B-B) | 1,00 | 1,20 | | | 1,69 | 29,16 | 0,06 |
| Cárcava principal parte central (E-E) | 0,80 | 1,10 | | | 7,76 | 57,16 | 0,14 |
| Cárcava principal parte superior (C-C) | 0,60 | 1,50 | 1,30 | 1,20 | 48,04 | 91,28 | 0,53 |
| Manzana 76 (H-H) | 0,70 | 1,50 | | | 3,00 | 14,54 | 0,21 |
| Manzana 80 (G-G) | 0,40 | | | | 59,00 | 86,60 | 0,68 |
| [1] FACTOR DE SEGURIDAD CONDICIONES: SATURADA Y DINAMICAS (H:0,309 - V:0,159)<br>[2] FACTOR DE SEGURIDAD CONDICIONES: SECA Y DINAMICAS (H:0,309 - V:0,159) | | | | | * CORRESPONDE A LA ALTERNATIVA MAS ECONOMICA | | |

*Nota: Costos en millones de pesos.*

Dado que los costos de los lotes y de las viviendas son muy bajos, los costos esperados resultaron bajos, encontrándose en todos los casos que la relación Beneficio/Costo es inferior a 1.0; o sea que, desde un punto de vista estrictamente técnico y de parámetros mensurables, no existe ninguna justificación para adelantar las obras planteadas en este estudio. Sinembargo, dicha justificación es válida si se consideran los factores no mensurables tales como costos públicos y sociales, y el hecho de que los costos de reubicación de los habitantes bajo riesgos peligrosos podrían ser significativamente más elevados; y es más clara si ocurre realmente una situación catastrófica.

Enseguida se evalúan las alternativas de cada zona, tratando de considerar más el servicio que la obra presta a la comunidad que su relación Benefisio/Costo.

- **Zona paradero:** La alternativa más viable es regular el talud y adaptar el área como zona verde, la cual contribuye en algo a constituir zonas verdes en un barrio donde estas se encuentran ausentes.
- **Zona Colegio:** En esta zona, donde las obras son para solucionar en forma directa el problema de tres viviendas, el costo de las obras es muy grande en comparación con el beneficio. Si aquí se manejaran adecuadamente las aguas domésticas y de escorrentía, las obras no serían necesarias.
- **Manzana 69:** Los movimientos de tierra que se plantean son para solucionar un problema muy puntual. Si no se ejecutan las obras, se afectarían tres viviendas. Resulta más económico evacuar esas tres viviendas, siendo esta la medida más apropiada.
- **Cárcava principal parte inferior:** Es evidente que el costo de construir el terraplén es mucho más alto que las afectaciones probables si no se hace la obra. La obra desempeña ante todo un servicio social para darle continuidad a la carrera 47A. Actualmente el terraplén existe, pues fue reconstruido, pero con muy malas especificaciones. Es necesario construir el terraplén adecuadamente.
- **Cárcava principal parte central:** La obra de conformar adecuadamente el terraplén es costosa en comparación con las afectaciones que se causarían sino se hace el trabajo. Sin embargo, y dado que la vía es vital para el barrio, cualquier problema en el terraplén afectaría el acceso, no solo al barrio, sino a las áreas vecinas de Soacha.
- **Cárcava principal parte superior:** Este es el sitio de mayor riesgo en todo el barrio. Se plantean tres alternativas, pero resulta más económica la de descargar parcialmente el talud, entubar el caño y cubrir el talud con empradizado.
- **Manzana 76:** En esta área, hacia la parte baja no se requieren obras, pero en la vía principal (carrera 47B), donde existe una escombrera permanente, es necesario conformar bien el área para que no continúen botando más material y resulten luego construyendo casas sobre ese material flojo.
- **Manzana 80:** Al volumen de la parte inferior, constituido por coluvión, no es posible darle completa estabilidad con obras a costos racionales. Dado que el área está muy poco poblada, resulta como más atractiva la solución de no permitir la urbanización de esta zona, y evacuar las viviendas que están ahí construidas. Esta área es apropiada para constituir una zona verde con árboles y empradizado.

La alternativa de diseño para cada zona se seleccionó por aspectos técnico - económicos, buscando que la obra o medida a implementarse cumpla con la función técnica de mitigar el riesgo con la seguridad requerida y, al mismo tiempo, tenga los costos mínimos posibles.

# CONCLUSIONES

- Se cumplió con el propósito del estudio de llegar a una zonificación de riesgos por movimientos en masa en el Barrio Caracolí y medidas de mitigación de estos riesgos, lo mismo que la elaboración de los diseños detallados de las obras.
- El mapa de amenaza se realizó en la plancha del IGAC 1979, incorporando resultados obtenidos de los análisis de estabilidad realizados en las zonas levantadas topográficamente. En concordancia con esto, INGEMETRICA efectuó las zonificaciones sobre las planchas IGAC con grandes inconvenientes, pues la topografía levantada en las zonas críticas no encaja en el mapa IGAC, obviamente porque los procedimientos de elaboración del uno y del otro son diferentes. Esto quedó como una colcha de retazos, donde la zonificación no concuerda aparentemente con la realidad.
- La amenaza se analizó desde un principio para todos los FRM, a través de cálculo de estabilidad en las áreas donde existe el levantamiento topográfico y la susceptibilidad para las demás.
- En la calificación de la susceptibilidad no se tuvo el factor antrópico, porque la variable, denominada como la susceptibilidad, comprende la predisposición intrínseca del medio al desarrollo de los fenómenos de remoción en masa. La valoración de la influencia del factor antrópico sobre el medio natural puede y debe cuantificarse en un estudio de evaluación del impacto ambiental, cuyos resultados pueden integrarse al estudio de evaluación de riesgos inducidos por el factor antrópico, que tiene gran importancia en la zona. El presente contrato no incluye la evaluación cuantitativa del impacto que ha generado el hombre, sino de zonificación de riesgos por fenómenos naturales, donde el factor antrópico es uno de los factores detonantes, que se tuvo en cuenta en los cálculos de estabilidad de taludes.
- En términos generales, el Barrio Caracolí no presenta problemas graves de amenazas, pero sí existen algunos casos de amenazas puntuales hacia los valles estrechos de ladera, en los taludes de las antiguas cárcavas, y en los rellenos y cortes hechos para la construcción de las viviendas. Las lluvias de alguna intensidad han tenido una cierta incidencia en las amenazas, lo mismo que las aguas no controladas y/o encausadas por la carencia de un sistema de acueducto y alcantarillado. La mayor parte del área (75%) evidencia un bajo grado de amenaza, y solo un 10% resultó tener una amenaza alta.
- Por más que se quiera, en el presente estudio la vulnerabilidad no fue posible hacerla individualmente por vivienda sino por zonas para tratar de conciliar el reconocimiento in-situ, el plano IGAC y el plano de loteo desactualizado, excepto para las zonas de amenaza alta, levantados topográficamente.
- La mayor parte del barrio evidencia un grado de riesgo bajo. La evaluación de las edificaciones y otras zonas desembocó en que las siguientes áreas son de alto riesgo: el área del paradero, la cárcava principal, las manzanas 69, 78, 79, 80. Las obras y medidas de mitigación se proponen en aquellas de dichas áreas que las requieren.
- Dado que este barrio está clasificado como de estrato 1, con una notable carencia de servicios – especialmente de acueducto y alcantarillado, con vías en mal estado – y con edificaciones de bajo costo a tuguriales, los costos individuales esperados por los fenómenos de remoción en masa resultaron muy reducidos. Por otra parte, las obras y medidas de mitigación de los riesgos por cada área, aún con las alternativas de costo mínimo, siempre desembocan en valores más altos que los costos esperados; o sea, que todas las relaciones beneficio/costo fueron menores de 1,0.

- Así, y desde un punto de vista netamente técnico (de parámetros cuantificables), no se pueden justificar individualmente las obras y medidas propuestas en este estudio. Pero dicha justificación parecería evidente si se consideran factores no mensurables tales como los costos políticos y sociales, y el hecho de que los costos de reubicación de los habitantes bajo riesgos peligrosos podrían ser significativamente más elevados, y más todavía si realmente ocurre una situación catastrófica. En este último caso la relación beneficio/costo tendría un valor superior a 1,0.