3.4. ZONIFICACION DE LA AMENAZA

De acuerdo con UNDRO, la amenaza natural es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente desastroso que pueda afectar un área dada, y dentro de un período de retorno específico; y se divide en tres clases: alta, moderada y baja. La amenaza puede diferenciarse por subgrupos según los diferentes fenómenos que la pueden originar. Para el caso que nos ocupa, la amenaza surge por la posibilidad de la desestabilización de una masa de deslizamiento potencial o de flujo de tierras (arrastre del material suelto por el agua de escorrentía). 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.

El mapa de amenaza se realizará 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.

3.4.1. Criterios de Evaluación de la Amenaza

Con base en la metodología descrita en el numeral 3.1, la cual permite correlacionar el factor de seguridad, la probabilidad de inestabilidad y el nivel de amenaza, se definieron las categorías presentadas en el cuadro 3.8 y en el gráfico de la figura 3.1.

Cuadro 3.8. Categorías de Amenaza

Nivel de Amenaza	Probabilidad de Inestabilidad
Alto	0.5-1.0
Medio	0.16-0.50
Bajo	0.01-0.15

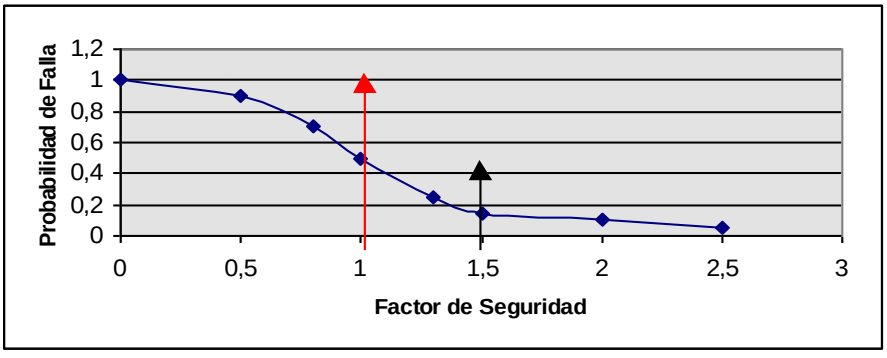
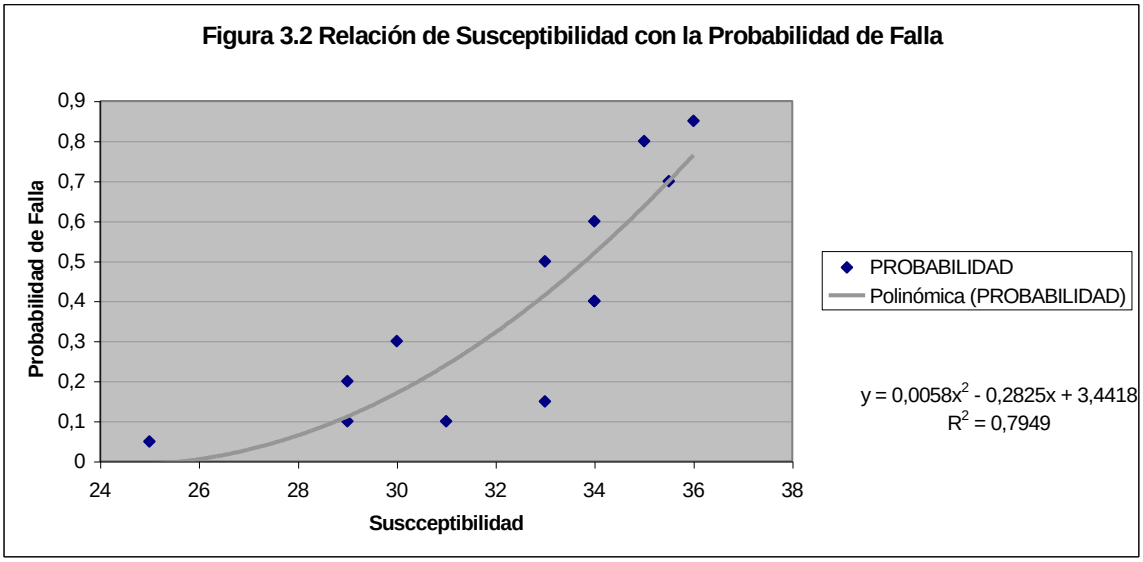


Figura 3.1 Relación entre la Probabilidad de Falla y el Factor de Seguridad (según Paducov, 1981)

Luego de obtener los valores de amenaza para los deslizamientos, se elaboró la gráfica de correlación entre la susceptibilidad a los deslizamientos de las áreas analizadas y la probabilidad de falla que se presenta en la figura 3.2. 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 realizó el calculo del factor de seguridad, pero si el de susceptibilidad. El alto valor del coeficiente de correlación –cercano a 0.90- le confiere una gran confiabilidad estadística a este análisis.

Figura 3.2 Relación de Susceptibilidad con la Probabilidad de Falla



Los resultados de susceptibilidad obtenidos para cada una de las áreas homogéneas a los FRM se presentan en el cuadro 3.9, donde con el color rojo se presentan 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 distribución espacial de la amenaza se ilustra en el mapa 8 del Anexo 3.

Dicho mapa se elaboró con base en el mapa de susceptibilidad a los procesos (mapa 7), y cada uno de los noventa (90) sectores que aparecen en el mapa mencionado fue evaluado desde el punto de vista de la amenaza que genera, y se ampliaron sus límites de acuerdo con el avance de posibles movimientos.

El período considerado para la evaluación de la amenaza por deslizamientos por sismos es de 25 a 95 años, correspondiente a la tasa de ocurrencia de un sismo cercano a Bogotá de 0.24 N/año para una magnitud de 7.0 (Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá, 1997).

El proceso de saturación por agua del terreno, originada en las fugas de las mangueras de acueducto y vertimientos, es prácticamente constante, con mayor incidencia en los períodos lluviosos y con lluvias máximas cuyo período de retorno es de 25 años, según lo considerado en el presente estudio para los cálculos de caudales máximos de escorrentía.

Partiendo de lo anterior, para el cálculo de amenaza se tomó un período de retorno de 25 años.

3.4.2. Cálculo del Factor de Seguridad y de las Distancias de Desplazamiento

Los modelos ingresados al programa son los mostrados en las figuras del anexo 6, donde también se presentan los factores de seguridad críticos, tanto estáticos como dinámicos, en el cuadro resumen.

Los valores máximos de desplazamiento de las masas en movimiento fueron definidos gráficamente utilizando el ángulo de reposo igual a " φ" residual, obtenido de los ensayos de laboratorio.

La distancia así determinada fue afectada por un coeficiente de expansión de 1.25, obteniéndose un máximo de desplazamiento de 6 m. Los límites de los sectores amenazados por el fenómeno de flujo de tierra se llevaron hasta llegar a una pendiente inferior a 10º.

3.4.3. Caracterización de las Áreas por Amenazas

Como se puede apreciar en el cuadro 3.10 y en el mapa 9, 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 la evaluación se aplicó para subsanar (en parte) las deficiencias ya mencionadas de la topografía 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) Zonas comunales 1 y 2, parte alta de las manzanas 52,53 y 54, y el área del paradero de buses. Sector I-A-4ae$_1$, constituido 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 (1,5 m/día, según la escala de movimiento establecida por VARNES, 1978). 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. Incluyen los sectores I-A-4ae$_{2, 3, 4,5}$, e involucran también los sectores I-A-1ac$_5$ y I-A-1ft$_3$. 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 la 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 14000m^3.

3) Dos sectores (II-A-4ae$_4$, y II-A-4ae$_5$) 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 tendía 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, que abarca los sectores: II-A-4ae$_9$, II-A-1ac$_{17}$, II-A-2lc$_6$ y II-A-1ft$_{13}$. Esta zona presenta, además, la amenaza por el represamiento del Zanjón La Muralla y la inundación de las áreas aledañas al mismo. 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.

- **Sectores de amenaza media:** se relacionan en el cuadro 3.10 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 la ocurrencia de una 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 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 calcularon 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.

La amenaza del área vecina al Zanjón La Muralla, delimitada por taludes conformados por la corriente en una longitud aproxima de 800m, varía de baja, en el 60% de la zona, a alta en el 15% aproximadamente (ver mapa 9). De acuerdo con el análisis realizado, calibrado con el cálculo de factor de seguridad en 6 sectores, estas laderas en general son estables en el estado estático, excepto el sector II-A2-lc_6. Este sector presenta el factor de seguridad en condiciones estáticas insaturadas de 1,2 – 1,3 y disminuye hasta 0,7 en condiciones de saturación. En condiciones dinámicas, el factor de seguridad varía de 0,6 en estado insaturado hasta 0,3 en el estado de saturación completa. Los demás sectores de amenaza alta, aledañas al Zanjón La Muralla, en caso de un sismo y saturación al mismo tiempo pueden presentar afectación de las laderas aledañas al caño en los sectores, tales como II-A1-ft_2, II-A1-ft_5, II-A1-ft_{13}, II-A1-ft_{15}, , II-D2-ed_4, II-A1-ft_5. Los tramos de la franja, que corresponden a los sectores de amenaza media (25% de la zona) principalmente están conformados por coluvión, depósitos de conos proluviales y rellenos antrópicos en cárcavas. Estas áreas tienen factor de seguridad por encima de 1,1 y por debajo del 1,5, con una probabilidad de falla por fenómenos de deslizamiento o flujo de lodo del orden de 0,16 a 0,44 para el caso dinámico saturado. Sin embargo, no es conveniente que allí se realicen excavaciones para construir casas, pues estás pueden degradar las condiciones de amenaza actual, incluso si los cortes se realicen en roca.

3.4.4. Conclusiones

- La amenaza fue evaluada sobre la topografía correspondiente al año 1979 a escala 1:1000, la cual debido a la intervención antrópica, no refleja en su totalidad la situación real del terreno. Por esto, el mapa de zonificación por amenaza tiene limitaciones y no puede reflejar la situación puntual de cada lote. Sin embargo, allí se incorporaron los sectores de mayor intervención, denominados como críticos.
- En 11 sectores, identificados como críticos por susceptibilidad del terreno a los fenómenos de remoción en masa, se realizó el levantamiento topográfico y evaluación cuantitativa de amenaza, la cual sirvió de base para establecer la ecuación que permite calcular la amenaza a partir de la susceptibilidad.
- La evaluación de la amenaza se realizó para las condiciones dinámicas en estado saturado, situación considerada como más desfavorable.
- La amenaza de la mayor parte del área se definió por medio de la susceptibilidad, empleando la ecuación empírica mencionada.
- 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, actualmente intervenidos por el hombre, en los sectores compuestos por depósitos coluviales y rellenos antrópicos.
- Como se presenta en el mapa, el 75% del área estudiada se clasificó como de amenaza baja, 15% como media y 10% como alta.
- La zonificación realizada permitió establecer las áreas criticas, para las que se recomienda implementar las obras de mitigación o el cambio de uso del suelo con reubicación de las viviendas, dependiendo del análisis de alternativas.

4. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad se define como el grado de daño, perjuicio y/o perturbación que potencialmente pueda sufrir un elemento, sometido a los efectos negativos de un fenómeno natural o artificial con una determinada magnitud.

En el presente estudio la vulnerabilidad se determinó por medio de la susceptibilidad de los elementos en función de su resistencia y grado de exposición.

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 los sectores donde se realizó el levantamiento topográfico (ver mapa 8).

4.1. PASOS ANALITICOS ESPECIFICOS

Los pasos analíticos específicos para la evaluación de la vulnerabilidad formulados para el presente estudio, son los siguientes:

- Identificación y localización de los elementos bajo amenaza.
- Definición de la susceptibilidad de los elementos.
- Definición del grado de exposición de elementos frente a la amenaza.
- Valoración y clasificación de la vulnerabilidad.

4.2. METODOLOGIA Y CRITERIOS

En primer término, teniendo en cuenta el uso residencial del área de estudio, se identificaron las viviendas expuestas mediante el reconocimiento directo, consignando la información en fichas técnicas (anexo 7).

El análisis de la vulnerabilidad se abocó con base en la estructura física de las construcciones, la localización de las mismas, y la sensibilidad de los elementos expuestos; y estableciendo los diferentes grados de afectación por su localización.

Con el reconocimiento del sector, y dada la escala del estudio, se optó por aplicar una metodología con base en matrices que permitían involucrar todos los factores tangibles de la vulnerabilidad.

El esquema metodológico general se presenta en la figura 4.1.

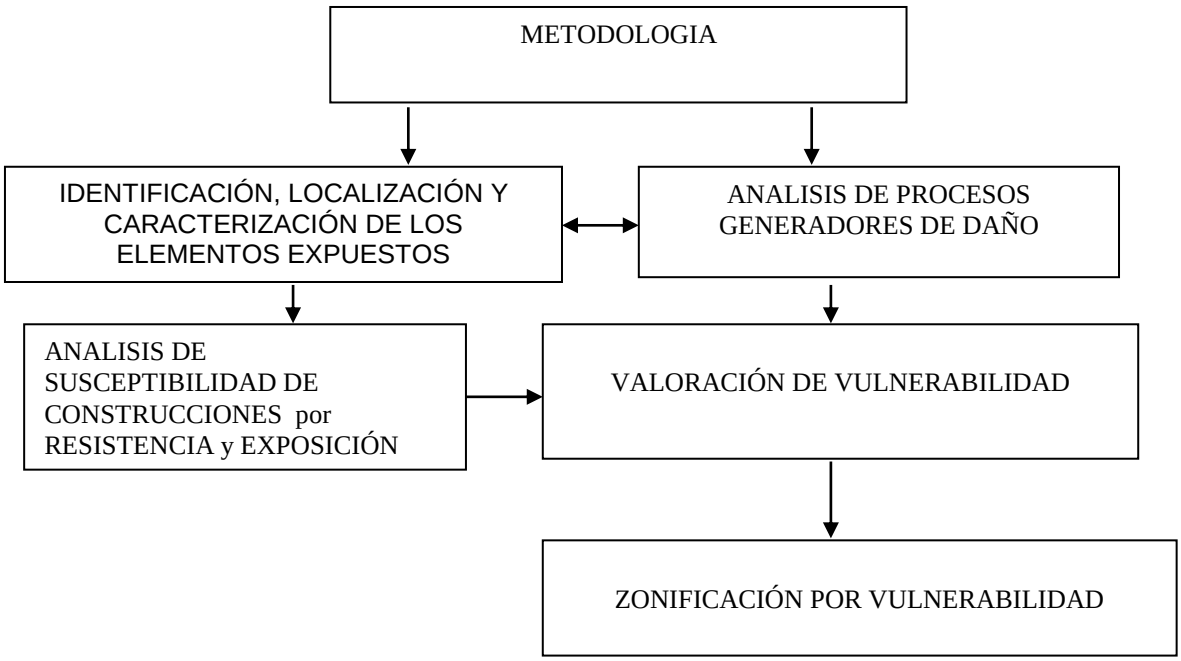


Figura 4.1. Esquema metodológico general.

4.3 IDENTIFICACION DE LOS ELEMENTOS

Para la evaluación de la vulnerabilidad se requiere la identificación de los elementos que se encuentran dentro del área de influencia del fenómeno. Para este estudio se utilizaron tres grandes grupos de elementos, así: Corporales, Estructurales y Funcionales, los cuales fueron clasificados de acuerdo a la escala del estudio.

Se realizaron inspecciones en las viviendas para establecer la conformación de los elementos en riesgo, así como también se elaboró un inventario físico para poder analizar los elementos estructurales y la tipología de los elementos funcionales. Los resultados de estas inspecciones se plasmaron en las fichas del anexo 7.

Con el soporte de las encuestas y del inventario físico se definieron los elementos cuya clasificación se da a continuación:

- **Elementos Corporales**: Para la clasificación de estos se consideró la actividad diaria de la población, teniendo en cuenta la temporalidad de los residentes en sus viviendas y estimando posibles escenarios para la

ocurrencia de un evento, (Diurno o Nocturno). Durante el período diurno las personas que laboran y estudian no se encuentran en las viviendas y durante la noche se supuso que las personas están ubicadas en sus viviendas.

A través de las encuestas, se estableció una población total nocturna de 5179 habitantes y diurna de 4494 habitantes (ver numeral 2.6.5.), lo que permitió establecer que el evento nocturno sería el más crítico, por que la población residente es mayor y está más expuesta. Por esta razón, la evaluación consideró únicamente a los elementos corporales ubicados al interior de las construcciones. Por esto, el grado de perjuicio por los procesos generadores de daños esta supeditado al daño que podrían sufrir las estructuras.

- **Elementos estructurales**: Como elementos estructurales se encontraron los siguientes: edificaciones, vías de transporte y peatonales, y redes (aéreas) eléctricas. En la práctica no existen las redes telefónicas, ni las de acueducto y alcantarillado. El agua se suministra a las viviendas en forma totalmente rudimentaria por medio de mangueras y, en la mayoría de los casos, el vertimiento de las aguas residuales se hace sobre las calles.

Vías: se llega al sector del estudio a través de una vía principal pavimentada (Transversal 50 Sur), de donde se desprenden las carreras 47^{a}Sur y 47^{b}Sur, ambas sin pavimentar. Perpendiculares a estas vías existen 27 calles y/o caminos peatonales.

Las vías no han tenido un diseño, tratamiento, ni manejo técnico, y se encuentran en un estado natural; y las aguas lluvias, junto con las de los vertimientos, saturan y erosionan el terreno permanentemente.

Red eléctrica: está cuenta con postes de distribución de energía en concreto instalados por la empresa CODENSA S.A. sobre las calles, y distribuidos uniformemente a distancias de 30 m. Las redes son radiadas desde estos postes. Hay algunos postes provisionales localizados en las edificaciones para sus acometidas, las cuales están sujetas a los eventos que puedan ocurrir en las construcciones.

Debido a las características de los tipos de vías y redes, para la evaluación de la vulnerabilidad solo se tuvieron en cuenta las edificaciones, considerando que el costo de las redes se encuentra incluido dentro del de las casas y lotes.

Para el análisis de los elementos estructurales se partió de un esquema de loteo presentado a Planeación Distrital por la Junta de Acción Comunal, en el cual se identifican 2343 predios y cuya distribución ya se presentó (cuadro 2.8 del numeral 2.6.4 y el mapa Nº5 - Uso y Cobertura). Todas las viviendas han sido erigidas y por autoconstrucción, no cumplen con las normas de urbanismo, tampoco son sismoresistentes. El 39% de los predios construidos han sufrido algún tipo de afectación. Para tipificar las viviendas se utilizó el criterio de Leone (1996), modificado de acuerdo a los tipos de viviendas existentes en el Barrio

Caracolí e interpretado en términos de los valores de susceptibilidad, de acuerdo con los criterios establecidos en el cuadro 4.1:

Descripción	Tipo	Susceptibilidad
Lote Vacío	LV	0
Tugurios (Ranchos)	T	25
Casas Prefabricadas	P	20
Casas en Mampostería Semi-confinada	MSC	16
Casas en Mampostería Confinada	MC	9

Los sitios donde no había viviendas a la fecha de la encuesta (desde el 1 al 11 de Febrero de 2000) se les asignó la categoría de lote vacío. Estos sitios no se tuvieron en cuenta en la evaluación de la susceptibilidad por resistencia, es decir se les asigno el valor 0.

- **Elementos Funcionales**: Están constituidos por establecimientos tales como: los educativos, Plaza de mercado, Paradero de Buses y Busetas, e Iglesias, los cuales fueron descritos en el numeral 2.6.3. Estos elementos no se tuvieron en cuenta para la elaboración del mapa de vulnerabilidad, por encontrarse fuera del alcance del estudio contratado.

4.4. DETERMINACION DE LA SUSCEPTIBILIDAD

La determinación de la susceptibilidad de los elementos se efectuó en función de su resistencia y de su exposición a las amenazas.

Para el análisis de las posibles afectaciones de las edificaciones se consideraron cinco factores (cimentación, estructura, muros, suelo de fundación y techo) que determinan la susceptibilidad por la resistencia de cada una de ellas (ver cuadro 4.1).

La susceptibilidad por exposición se evaluó de acuerdo a los criterios presentados en el cuadro 4.2, teniendo en cuenta tres tipos de solicitaciones; y, además, se tuvieron en cuenta el mapa de amenaza y la ubicación de predios (ver planos 5 y 8). De acuerdo a los criterios presentados, se evaluó la susceptibilidad de las estructuras en general a cualquier evento, cuyos resultados se presentan en el cuadro 4.3.

Cuadro 4.1. Parámetros de Evaluación de la Susceptibilidad de los Elementos por su Resistencia.

SUSCEPTILIBIDAD	CIMENTACION	ESTRUCTURA	MUROS	TIPO DE SUELO DE CIMENTACIÓN	TECHO
1	Zapatas, viga de amarre	Pórtico con Tabique	Bloque de cemento	Roca	Placa de concreto reforzado
2	Ciclópeo viga de amarre	Columnas confinadas	Bloque de cerámica	Eluvión	Placa de concreto
3	Viga de amarre	Mampostería artesanal	Bloque de escoria	Coluvión	Asbesto
4	Concreto ciclópeo	Prefabricados	Calicanto	Horizonte neme	Zinc
5	No hay	Tugurio	Zinc	Relleno antrópico	Lona, plástico

CALIFICACIÓN: de 1 a 5				
MAXIMA	25		ALTO	de 17 a 25
			MEDIO	de 11 a 16
MINIMA	5		BAJO	de 5 a 10

Cuadro 4.2. Criterios de evaluación de la Susceptibilidad de los Elementos por Exposición.

EVENTO	SUSCEPTIBILIDAD	SOLICITACIÓN		
DESLIZAMIENTO Y/O FLUJO DE TIERRA		VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO	PRESION LATERAL	VOLUMEN
	1	Lenta (<1,5m/mes)	SC<1/3SE	100 -200 m3
	3	Moderada (1,5m/dia-,5m/mes)	1/3SE>SC>2/3SE	200 -1000 m3
	5	Rápida (>1,5m/día)	SC>2/3SE	>1000 m3

SC - Superficie de contacto (altura de acumulación de material)

SE - Superficie expuesta (altura de la edificación)

SUSCEPTIBILIDAD		
ALTA	de 12 a 15	MAX = 15
MEDIA	de 7 a 11	
BAJA	de 3 a 6	MIN = 3

La susceptibilidad total se obtuvo mediante la suma de la susceptibilidad por resistencia y exposición. Los valores obtenidos que se presentan en el cuadro 4.3, varían entre 0 y 40, clasificándose la susceptibilidad en la siguiente forma:

De	8 a 18	baja	daño leve
De	19 a 29	media	daño mediano
De	30 a 40	alta	pérdida total

Así, las susceptibilidades totales de los elementos con valores superiores a 30 se les asignó una vulnerabilidad de 1. La representación gráfica de la distribución espacial de la vulnerabilidad de las estructuras se presenta en el mapa 10 del anexo 3.

4.5. VALORACION Y CLASIFICACION DE LA VULNERABILIDAD

Tal como se puede apreciar en el cuadro 4.3, 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 (ver cuadros 4.4, 4.5 y 4.6). Para ambas evaluaciones se ha considerando lo siguiente:

- el porcentaje de cada uno de los tipos de vivienda presente 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 el 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 experimentar daño. En el mapa de zonificación de vulnerabilidad a los lotes vacíos se les asigno el valor (color) promedio calculado para el sector.

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 concretó por medio de una escala de 0 (ningún daño) a 1 (pérdida total), se planteó una correlación lineal entre susceptibilidad total y vulnerabilidad (ver figura 4.2.).

En este planteamiento se consideró que si el 50% de la construcción sufría algún daño, se consideraría como una pérdida total. Este 50% corresponde a una susceptibilidad de 30 y a una vulnerabilidad de 1.

4.6. EVALUACION SOBRE RESISTENCIA DE EDIFICACIONES

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, pues cualquier material que ruede fácilmente penetra a la vivienda, pues no encuentra mayor oposición. Sin embargo, esta tipología de construcción se comporta bien ante los movimientos lentos del terreno, pues su gran flexibilidad le permite acomodarse sin que se note en su estructura. Incluso ante una eventual destrucción de la vivienda, los daños a los habitantes son limitados debido a que los elementos que componen la estructura son livianos.

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

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 presentan grietas en las paredes.

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

En cuestión de estabilidad individual de cada casa el problema no está en el tipo de construcción sino en la forma como se hace la plataforma y se cimienta.

La plataforma que está totalmente en corte es la más segura. La que se encuentra parcialmente en corte y terraplén es inestable, siendo más grave el problema cuando la pendiente es pronunciada.

Las viviendas que se encuentran completamente en relleno pueden tener dos problemas: si la pendiente del terreno donde se coloca el relleno es pequeña la vivienda puede sufrir asentamientos si el relleno no está bien compactado. Si la pendiente del terreno original es muy pronunciada las probabilidades de falla son

grandes, pues el aporte de agua puede saturar el relleno y hacer fallar el terreno por el contacto terreno firme – relleno.

En cuestión de cimentación esta es más segura si se encuentra sobre terreno firme. Esto se logra en plataformas hechas completamente en corte o profundizando el cimiento hasta que encuentre terreno firme. En el barrio hay de todos los casos, sin que se pueda establecer cual es el caso predominante. Parece que la cantidad de casos se reparte por igual en todos los grupos.

Sin embargo, es necesario hacer notar que la mampostería confinada es muy poca y que buena parte de las viviendas están en terreno mixto corte – terraplén, situación que hace pensar que dada la estructura en caso de sismo muchas serían las casas averiadas antes de que se presenten movimientos en masa.

4.7. CONCLUSIONES

- La evaluación de vulnerabilidad se realizó teniendo en cuenta el mapa de uso de suelo, el cual, tal como se mencionó anteriormente, tiene limitaciones con respecto a la ubicación real de las viviendas, y el mapa de zonificación de amenaza, también con limitaciones de tipo topográfico. Por este motivo, la zonificación por vulnerabilidad no fue posible hacerla individualmente por cada vivienda, sino sectorialmente. Únicamente se realizó zonificación individual en las áreas críticas, donde hubo levantamiento topográfico. Dadas las diferencias cartográficas, es lógico que el resultado no es el mejor y las discusiones no se hacen esperar, pues los conceptos subjetivos priman sobre las realidades del objeto.

- La vulnerabilidad de las edificaciones se evaluó teniendo en cuenta su resistencia y exposición frente a algún fenómeno amenazante.

- La mayor parte del barrio tiene vulnerabilidad media, caracterizada principalmente por la presencia de construcciones de tipo tugurio, los cuales tienen una resistencia muy baja, pero con ubicación espacial favorable por estar construidos en lomos, donde la estabilidad del terreno en general es buena.

- Para mejorar la vulnerabilidad de las edificaciones se recomienda realizar por parte de FOPAE campañas con cartillas y talleres de capacitación sobre los métodos de construcción de viviendas en ladera y mejoramiento de su calidad de acuerdo con el nuevo código de construcciones sismoresistentes (NSR-98). Es evidente, que la mayor resistencia frente a los fenómenos de remoción en masa la tienen las construcciones en mampostería confinada con cimientos en terreno firme (no relleno).

5. EVALUCION Y ZONIFICACIÓN DE RIESGO

5.1. METODOLOGIA Y CRITERIOS

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

Para el presente estudios 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, que evalúa la magnitud (de 0 a1) de las posibles pérdidas en forma independiente al nivel de áreas homogéneas y para cada una de las viviendas, garantiza que finalmente el riesgo represente el posible porcentaje de daño y no las perdidas económicas, ya que esto último coloca en desventaja a los habitantes de menos recursos económicos.

5.2. PASOS ANALITICOS ESPECIFICOS

Los pasos analíticos específicos para la evaluación del riesgo fueron los siguientes:

- Análisis de las condiciones pertinentes para la clasificación del grado de riesgo de cada elemento amenazado.

- Realización de la zonificación del área por riesgo.

5.3. ANALISIS DE LAS CONDICIONES DE RIESGO

El análisis de riesgo se realizó en toda el área de estudio, para cada uno de los sectores definidos en el mapa de susceptibilidad de las áreas al desarrollo de los procesos desestabilizantes y para cada una de las viviendas ubicadas en los sectores de amenaza alta.

Se establecieron dos escenarios de riesgo: diurno y nocturno, según lo expuesto anteriormente para los elementos corporales en el numeral 4.3, indicando el número de las personas afectadas.

Los resultados de la evaluación del riesgo para toda el área se presentan en el cuadro 5.1, y para cada una de las edificaciones en los cuadros 5.2, 5.3 y 5.4. Con estos resultados se elaboró el mapa de zonificación por riesgo (mapa 11).

Para este trabajo se utilizó la siguiente clasificación para el índice de riesgo global 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 (sector I-A-4-ae$_1$): Según la evaluación general, presentada en el cuadro 5.1, se caracteriza por el Indice de Riesgo Nominal (IRN) medio en condiciones sísmicas y de saturación total, que permite su uso urbanístico con restricciones. El riesgo puede ser disminuido con la construcción del sistema de alcantarillado y de manejo adecuado de aguas lluvias. En la parte baja del sector existen 20 edificaciones en riesgo alto, que requieren construcción de obras de mitigación. Estas viviendas son habitadas por 59 habitantes de noche y 50 de día (ver cuadro 5.2).

Cárcava Principal: Forman parte de esta área los sectores: I-A-1ac$_5$ con el IRN total alto; I-A-4ae$_2$ y I-A-1ft$_3$ con el IRN medio; I-A-4ae$_4$ y I-A-4ae$_3$ con IRN bajo. El último sector se encuentra loteado, pero sin construcciones. En esta área todas las construcciones existentes se encuentran en el riesgo (32 en alto y 3 en medio) por deslizamientos y/o flujo de tierras en condiciones sísmicas y de saturación total (ver cuadro 5.3). Estas viviendas se encuentran habitadas por 100 personas de día y 139 de noche. Además, el sector I-A-4ae$_4$ esta cruzado por la vía principal de acceso al barrio. De acuerdo con lo anterior, se requieren obras de mitigación que pueden beneficiar a muchísimo más personas de los que viven en esta zona.

Manzana 69 (sector II-A-4ae$_{10}$): Según la evaluación general, presentada en el cuadro 5.1, se caracteriza por el Indice de Riesgo Nominal (IRN) medio en condiciones sísmicas 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 46 personas de día y 73 de noche. La parte baja del sector se encuentra en límites de la zona de protección ambiental del Zanjón La Muralla, 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: Están ubicadas en el área de influencia del sector II-A-2lc$_6$, con IRN total medio, dentro de cual existen 11 viviendas de tipo tugurio y 4 en mampostería confinada que tienen riesgo individual alto a medio. 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 evacuación de esta zona.

En los demás sectores de amenaza alta no existe 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.

El área aledaña al Zanjón La Muralla presenta un riesgo bajo, excepto en algunos predios ubicados en la parte baja de las Manzanas 79 y 69 con riesgo alto y medio respectivamente, donde se recomienda reubicar las viviendas.

5.4. CONCLUSIONES

- El mapa de zonificación de riesgo, se elaboró con base en los mapas de amenaza y vulnerabilidad con las limitaciones cartográficas ya conocidas. Por lo anterior, la evaluación de riesgo se realizó sectorialmente en la mayor parte del área estudiada, de acuerdo con los valores promedios de la amenaza y vulnerabilidad. Solo en los sectores con topografía actualizada se efectuó el análisis individual de cada una de las edificaciones, información que se incorporó en el mapa de zonificación de riesgo general.

- El riesgo, determinado como producto de la amenaza por vulnerabilidad, resultó ser bajo para la mayor parte del barrio.

- La zonificación realizada permitió visualizar las áreas criticas, para las que se realizó el diseño detallado de obras de mitigación o se recomendó el cambio de uso del suelo con reubicación de las viviendas.

- La evaluación de las edificaciones y otras zonas desembocó en que las siguientes áreas son de alto riesgo: el área del paradero de buses, la cárcava principal, las manzanas 78, 79 y 80

- Las obras y medidas de mitigación se proponen en aquellas áreas que las requieren.

5.5. EVALUACION DE LOS COSTOS ESPERADOS

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 este precio se incluyó 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 Indice de Riesgo Nominal de área de vivienda afectada (**IRN**) 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 evaluación del beneficio /costo de las medidas de prevención para la disminución del riesgo esperado.

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

En este valor no se incluyen las probables pérdidas humanas, las cuales no son posibles de calcular en términos de dinero.

6. ALTERNATIVAS DE MITIGACION

6.1. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

En las áreas definidas como de mayor riesgo es necesario proyectar obras de estabilización. En algunos sitios, donde las obras de estabilización no son viables por razones de costos o dificultad constructiva, resulta como prioritaria la solución de no construir en el terreno o reubicar las casas que allí existen.

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

En las fichas siguientes se pueden apreciar las características de las alternativas planteadas para cada una de las zonas seleccionadas.

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

Con el fin de hacer la evaluación económica se tomaron las cantidades de obra de cada alternativa calculándolas directamente de los esquemas elaborados. Además, los precios unitarios se seleccionaron tomando como base algunos proyectos de construcción elaborados en la Localidad de Simón Bolívar y Soacha en tiempos recientes, con los ajustes correspondientes a 30 de Junio del 2000.

Si se tiene en cuenta que el principal problema que aqueja al barrio está relacionado con la ausencia de manejo adecuado de aguas de consumo y residuales, en los planteamientos que se hacen de alternativas no se contemplan sistemas de manejo de aguas, pues esta es una labor que corresponde proyectar y ejecutar a la EAAB.

En algunas zonas no es posible plantear varias alternativas, pues surge como obvia una solución única. Tal como es el caso de los terraplenes de las vías que lógicamente requieren de tratamiento prioritario.

Es de anotar, que no se tiene conocimiento sobre las direcciones de las viviendas, sino los números de lotes, y los propietarios se niegan a dar sus nombres, por el temor a la reubicación. En el libro de la junta de acción comunal no están consignados todos los nombres de propietarios de las viviendas, pues es una organización voluntaria. La ubicación de las viviendas a reubicar se indica en los planos de diseño.

ALTERNATIVAS DE MITIGACION

Zona: Paradero

Estabilidad: El área es estable incluso para la condición de sismo. En la condición de sismo con material saturado el FS no cumple pues solo llega a 0.7, pero esa situación es muy remota de presentarse. Debido a la poca compactación del relleno y proceso erosivo que se presenta, el borde del talud en la calle 47B sufre asentamientos, los cuales generaron agrietamientos de una vivienda y corrimiento de otra.

Objeto de las obras: Mitigar el fenómeno de desprendimiento de materiales de los taludes, los cuales caen principalmente en época de lluvias. Este problema se presenta en los taludes de material de relleno sin compactar, colocado en proximidades a la calle 47B.

Alternativa 1 (ver Figura 6.1)

· Perfilar el talud, dándole inclinación 1.5:1. El trabajo se realiza en las áreas libres proximas a la calle 47B. Sobre el talud se coloca cespedón para protegerlo.

· Se reubican 4 viviendas.

Costos, $

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	TOTAL
1	Localización y replanteo	m^2	650	1,004	$652,600
2	Excavación	m^3	1070	9,480	$10,143,600
3	Empradización	m^2	600	4,000	$2,400,000
4	Canales interceptores	ml	37	35,000	$1,295,000
5	Reubicación viviendas	UN	4	11,000,000	$44,000,000
				TOTAL	**$58,491,200**

Ventajas: Se protegen los taludes contra la erosión y se evita la caída de piedras a las casas de abajo.

Desventajas: No se puede construir en las áreas tratadas.

Alternativa 2 (ver Figura 6.2)

· Construcción de terrazas horizontales con gaviones, de 3 m de altura.

· Se reubican 4 viviendas.

Costos $

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	TOTAL
1	Localización y replanteo	m^2	440	1,004	$441,760
2	Excavación	m^3	1070	9,480	$10,143,600
3	Relleno con material seleccionado	m^3	230	14,000	$3,220,000
4	Muro en gaviones	m^3	470	80,000	$37,600,000
5	Empradización	m^2	400	4,000	$1,600,000
6	Canales interceptores	ml	36	35,000	$1,260,000
7	Reubicación viviendas	UN	4	11,000,000	$44,000,000
				TOTAL	**$98,265,360**

Ventajas:

· El terreno puede ser utilizable para algunas viviendas.

Desventajas:

· Las viviendas pueden sufrir asentamientos.

· Dada la poca compactación del suelo, los gaviones pueden sobrecargar el terreno y causar problemas a las casas próximas de abajo.

· En las viviendas construidas, si no manejan el agua, se puede ablandar el relleno y los gaviones pueden ceder.

ALTERNATIVAS DE MITIGACION

Zona: Colegio

Estabilidad: El área actualmente es teóricamente estable para todas las condiciones, incluyendo el sismo. Sin embargo la calle 47A tiene un terraplén sostenido lateralmente con unas bolsas de suelo. Dada la ausencia de manejo de aguas, el talud lateral puede erosionarse y afectar dos viviendas. Además, una vivienda está sobre terraplén poco compactado, el cual también es objeto de erosión superficial y asentamiento que pueden inestabilizarlo posteriormente. Las inestabilidades que ocurran en los terraplenes de la vía y de la casa afectarán las viviendas que se ubican hacia abajo.

Objeto de las obras: Prevenir la posibilidad de inestabilización de los taludes por efecto de la erosión.

Alternativa 1 (ver Figura 6.3) Reconformación del terraplén de la vía y la vivienda con tierra armada.

· La vivienda podrá construirse luego sobre la tierra armada.

· En la vía es necesario excavar para colocar el muro de tierra armada.

· Se requiere la evacuación de tres viviendas. Luego de construidas las obras las áreas pueden ser ocupadas para vivienda.

Costos $

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	TOTAL
1	Localización y replanteo	m^2	125	1,004	$125,500
2	Excavación	m^3	180	9,480	$1,706,400
3	Relleno con material seleccionado	m^3	113	14,000	$1,582,000
4	Tierra armada	m^3	300	20,000	$6,000,000
5	Empradización	ml	100	4,000	$400,000
6	Canal interceptor	ml	14	35,000	$490,000
7	Reubicación viviendas	UN	1	1,500,000	$1,500,000
				TOTAL	**$11,803,900**

Ventajas:

· Se reconstruyen los terraplenes para que no se inestabilicen por actividad de la erosión.

· Se reutiliza el terreno.

Desventajas:

· Se interrumpe la vía mientras se ejecutan las obras.

· Mientras no haya acueducto y alcantarillado los terraplenes quedan expuestos a su saturación.

· La vivienda sobre el terraplén puede fisurarse por defectos de compactación que queden en el terraplén.

Alternativa 2 (ver Figura 6.4) Reconformación del talud de la vía con gaviones y relleno.

· No se podrá utilizar el terreno para construir viviendas.

· Se requiere la evacuación de tres viviendas.

Costos $

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	TOTAL
1	Localización y replanteo	m^2	125	1,004	$125,500
2	Excavación mecánica cargue y retiro	m^3	50	9,480	$474,000
3	Relleno con material seleccionado	m^3	55	14,000	$770,000
4	Gaviones H 3 m	m^3	102	70,000	$7,140,000
5	Empradización	m^2	130	4,000	$520,000
6	Canal interceptor	ml	14	35,000	$490,000
7	Reubicación viviendas	UN	3	1,500,000	$4,500,000
				TOTAL	**$14,019,500**

Ventajas:

· No se interrumpe el tráfico por la vía

Desventajas:

· No se puede reutilizar el terreno.

ALTERNATIVAS DE MITIGACION

Zona: Manzana 69

Estabilidad: El área es estable incluso para los casos con sismo. Sin embargo, localmente hay allí dos casas construidas en la parte superior de un talud vertical construido para la plataforma de otra vivienda de la parte baja. Aunque el FS para el caso de sismo en terreno saturado es apenas de 1.0, esta situación es de ocurrencia muy remota, pues la proximidad al escarpe del Zanjón La Muralla y la calidad arenosa del material, no permiten la acumulación de agua en el terreno. Eso se comprobó en el apique excavado.

Objeto de las obras: Evitar que las dos viviendas de la parte superior se caigan sobre la vivienda inferior, por falla del talud como consecuencia del aporte de agua de las casas.

Alternativa Unica (ver Figura 6.5)

· Tender el talud con inclinación 1.5:1 para que este quede estable. Empradizar y arborizar.

· Es necesario evacuar las dos viviendas de la parte superior.

Costos $

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	TOTAL
1	Localización y replanteo	m^2	72	1,004	$72,288
2	Excavación, cargue y retiro	m^3	200	9,480	$1,896,000
3	Empradización	m^2	72	4,000	$288,000
4	Reubicación viviendas	UN	2	1,500,000	$3,000,000
				TOTAL	**$5,256,288**

Ventajas: Es una solución sencilla y económica.

Desventajas:

· Reubicación de dos viviendas.

· No se puede reutilizar el terreno para vivienda.

ALTERNATIVAS DE MITIGACION

Zona: Cárcava principal parte inferior

Estabilidad: La parte débil es el terraplén de la calle 47A, el cual fue reconstruido despues de haber fallado.

Altenativa Unica (ver Figura 6.6)

Construir el terraplén con taludes apropiados y tubo suficiente para dar paso al agua y lodos que arrastra la quebrada. Obras de entrada y salida del tubo. Empradización y arborización de taludes.

Costos $

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	TOTAL
1	Localización y replanteo	m^2	345	1,004	$346,380
2	Excavación mecánica cargue y retiro	m^3	108	9,480	$1,023,840
3	Relleno en recebo	m^3	247	26,610	$6,572,670
4	Empradización	m^2	208	4,000	$832,000
5	Tubería ϕ 1.20 m en concreto	ml	22	230,000	$5,060,000
6	Estructura entrada	UN	1	550,000	$550,000
7	Estructura salida en gaviones	UN	1	380,000	$380,000
8	Gaviones H:3 m	m^3	130	80,000	$10,400,000
				TOTAL	**$25,164,890**

Ventajas:

· Se garantiza la continuidad de la calle 47A

Desventajas:

· Se interrumpe el paso por la vía mientras se construye el terraplén.

ALTERNATIVAS DE MITIGACION

Zona: Cárcava principal parte central

Estabilidad: El punto débil es el terraplén de la calle 47B, el cual tiene la posibilidad de saturarse y fallar.

Objeto de las obras: Asegurar la continuidad de la vía en este sitio, mediante la construcción adecuada del terraplén.

Alternativa Unica (ver Figura 6.7)

Conformar el terraplén adecuadamente, con los taludes apropiados, utilizando el relleno existente, pues dado el alto tráfico, el material está aceptablemente compactado. Colocación de alcantarilla para evitar la saturación. Obras de entrada y salida. Empradización y arborización.

Costos $

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	TOTAL
1	Localización y replanteo	m^2	750	1,004	$753,000
2	Relleno en recebo	m^3	1610	26,610	$42,842,100
3	Empradización	m^2	650	4,000	$2,600,000
4	Tubería ϕ 1m en concreto	ml	30	190,000	$5,700,000
5	Camara entrada	UN	1	550,000	$550,000
6	Estructura salida	UN	1	420,000	$420,000
7	Revestimiento talud con piedra pegada	m^2	20	14,500	$290,000
				TOTAL	**$53,155,100**

Ventajas:

· Garantizar la continuidad de la calle 47A, la cual es principal para este barrio y los de Soacha.

Desventajas:

· No se detectan.

ALTERNATIVAS DE MITIGACION

Zona: Cárcava principal, parte superior

Estabilidad: El sitio es inestable con posibilidades de fallar con superficie circular aún en estado seco. El principal factor de inestabilidad es el caño.

Objeto de las obras: Asegurar la estabilidad de la ladera, llevándola a niveles de seguridad adecuados incluso en el caso de sismo.

Alternativa 1: Excavación en el material de relleno depositado, construyendo taludes 1.5:1 con dos bermas intermedias. En la parte superior se dejará el ancho de la vía de 8 m como mínimo. En la cárcava se instalará una tubería de alcantarillado con sus cámaras de caída y se tapará, conformándose el mismo talud de los laterales. La tubería tendrá sus obras de entrada y salida. El material de excavación será evacuado del área. El talud se protegerá con cespedón y se arborizará. (ver Figura 6.8)

· Es necesario reubicar las dos casas que se encuentran en la parte superior.

· Mientras se hacen las obras es necesario reubicar temporalmente 3 viviendas de la parte inferior.

· La obra se realizará con retroexcavadora, de tal manera que a medida que se excave es necesario evacuar el material.

Costos $

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	TOTAL
1	Localización y replanteo	m^2	2507	1,004	$2,517,028
2	Excavación mecánica cargue y retiro	m^3	11100	9,480	$105,228,000
3	Relleno con material seleccionado	m^3	561	14,000	$7,854,000
4	Empradización	m^2	1900	4,000	$7,600,000
5	Tubería ϕ 30" en concreto	ml	30	170,000	$5,100,000
6	Camara entrada en concreto	UN	1	550,000	$550,000
7	Camara de caída H máx	UN	5	580,000	$2,900,000
8	Estructura de salida en concreto	UN	1	420,000	$420,000
9	Revestimiento en piedra pegada	m^2	35	14,500	$507,500
10	Canal interceptores	ml	125	35,000	$4,375,000
11	Reubicación viviendas	UN	2	2,000,000	$4,000,000
				TOTAL	**$141,051,528**

Ventajas:

· Se estabiliza el talud y se elimina la acción socavadora de la quebrada.

· Se elimina la posibilidad de asentamientos de viviendas en la parte alta.

Desventajas:

· Es necesario evacuar viviendas

· No se puede utilizar el terreno para vivienda.

ALTERNATIVAS DE MITIGACION

Zona: Cárcava principal, parte superior

Estabilidad: El sitio es inestable con posibilidades de fallar con superficie circular aún en estado seco. El principal factor de inestabilidad es el caño.

Objeto de las obras: Asegurar la estabilidad de la ladera, llevándola a niveles de seguridad adecuados incluso en el caso de sismo.

Alternativa 2: Muro de concreto reforzado con contrafuertes y anclado a la roca con pernos de ϕ 1". En la cárcava se colocará un canal escalonado, revestido con piedra pegada. En la parte superior se colocará en la vía una alcantarilla con sus cabezales de entrada y salida, dejando un ancho de 8m. Los taludes del caño se conformarán con pendientes 1.5:1, Toda el área se empradizará y se arborizará. (ver Figura 6.9)

· Es necesario reubicar las dos casas de la parte superior.

Costos $

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	TOTAL
1	Localización y replanteo	m^2	1053	1,004	$1,057,212
2	Excavación mecánica cargue y retiro	m^3	542	9,480	$5,138,160
3	Empradización	m^2	900	4,000	$3,600,000
4	Tubería ϕ 30" en concreto	ml	8	170,000	$1,360,000
5	Camara entrada	UN	1	550,000	$550,000
6	Estructura salida en gaviones	UN	1	380,000	$380,000
7	Canal revestido en pieda pegada	m^2	90	14,500	$1,305,000
8	Revestimiento en piedra pegada	m^2	20	14,500	$290,000
9	Muro concreto H 2-4 m	m^3	86	500,000	$43,000,000
10	Anclajes ϕ 1"	ml	380	70,000	$26,600,000
11	Gaviones H. 3 m	m^3	50	80,000	$4,000,000
12	Reubicación viviendas	UN	2	2,000,000	$4,000,000
				TOTAL	**$91,280,372**

Ventajas:

· Se estabiliza el talud y se elimina la acción socavadora de la quebrada.

· Se elimina la posibilidad de asentamientos de viviendas en la parte alta.

Desventajas:

· Es necesario evacuar viviendas

· Queda abierto el canal con la consiguiente degradación posterior por los desechos que boten.

ALTERNATIVAS DE MITIGACION

Zona: Cárcava principal, parte superior

Estabilidad: El sitio es inestable con posibilidades de fallar con superficie circular aún en estado seco. El principal factor de inestabilidad es el caño.

Objeto de las obras: Asegurar la estabilidad de la ladera, llevándola a niveles de seguridad adecuados incluso en el caso de sismo.

Alternativa 3: Descargar el talud en la parte superior, excavando con inclinación 1.5:1 hasta más o menos la mitad de la ladera, donde quedará una plataforma. El caño es necesario entubarlo y taparlo, llevando el relleno hasta las cotas de corte. (ver Figura 6.10).

· Es necesario reubicar las dos casas que se encuentran en la parte superior.

Costos

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	TOTAL
1	Localización y replanteo	m^2	2500	1,000	$2,500,000
2	Excavación	m^3	5000	9,480	$47,400,000
3	Empradización	m^2	1900	4,000	$7,600,000
4	Relleno	m^3	560	14,000	$7,840,000
5	Tubería ϕ 30" en concreto	ml	30	170,000	$5,100,000
6	Pozos	UN	2	600,000	$1,200,000
7	Gaviones	m^3	15	80,000	$1,200,000
8	Cunetas	ml	30	35,000	$1,050,000
9	Estructura de salida	UN	1	600,000	$600,000
10	Reubicación viviendas	UN	2	2,000,000	$4,000,000
				TOTAL	**$78,490,000**

Ventajas:

· Se estabiliza el talud con FS adecuados y se elimina la acción socavadora del agua del caño.
· Se elimina la posibilidad de asentamientos de familias en la parte superior.

Desventajas:

· Se requiere reubicar a dos familias de la parte alta.

· No se puede lotear en el área.

ALTERNATIVAS DE MITIGACION

Zona: Manzana 30 y 77

Estabilidad: El área es estable, incluso para los casos en que se presente sismo. Sin embargo, dada la poca compactación del terraplén, especialmente hacia el exterior, la ausencia de cubrimiento vegetal y la acción socavadora de las aguas a la salida, la estructura está sometida a una acción de deterioro grande. La situación se agrava cuando construyan casas sobre el talud.

Objeto de las obras: Darle al terraplén la conformación adecuada, instalando correctamente los sistemas de drenaje y dándole la protección que requiere. Evita que se siga utilizando el sitio como escombrera.

Alternativa Unica (ver Figura 6.11)

· Conformar el terraplén para que este quede estable. Empradizar y arborizar.

Costos $

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	TOTAL
1	Localizacion y replanteo	m^2	550	1,004	$552,200
2	Excavacion mecánica cargue y retiro	m^3	400	9,480	$3,792,000
3	Relleno con material seleccionado	m^3	110	14,000	$1,540,000
4	Empradización	m^2	500	4,000	$2,000,000
5	Tubería ϕ 1 m en concreto	ml	13	190,000	$2,470,000
6	Cámara de entrada	UN	1	550,000	$550,000
7	Estructura de salida	UN	1	420,000	$420,000
8	Revestimiento en piedra pegada	m^2	15	14,500	$217,500
9	Reubicación viviendas	UN	2	1,500,000	$3,000,000
				TOTAL	**$14,541,700**

Ventajas:

Da continuidad a la vía y evita que se construyan casas en el relleno sin compactar.

Desventajas:

No se puede utilizar el terreno para construcción de vivienda.

6.2. EVALUACION DE ALTERNATIVAS

En cada una de las zonas consideradas en el barrio se plantearon alternativas de mitigación, las cuales requieren ser analizadas para determinar su factibilidad.

Desde el punto de vista técnico, las alternativas planteadas son aptas para estabilizar el terreno en el sitio donde se plantean las obras, con los factores de seguridad 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) [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.

En el presupuesto de cada alternativa se consideraron todos los ítems que intervienen en la construcción, incluyendo los costos relacionados con las viviendas que es necesario retirar.

Para obtener el Beneficio - Costo (B/C) de las obras planteadas (ver cuadro 6.1) se obtuvo para cada sitio el costo esperado, considerado como el costo monetario de las viviendas y vías que se pueden afectar en caso de que se inestabilice el terreno si no se hacen obras. Este costo se afectó por la probabilidad de falla del terreno para producir el costo esperado.

En razón de que el costo del terreno y viviendas es muy bajo, el costo esperado resulta también con cifras reducidas, encontrándose en todos los casos que la relación B /C está por debajo de 1.0.

Esta situación vale la pena analizarla con más detenimiento, pues aplicando estrictamente el criterio económico resulta que ninguna de las obras planteadas tiene justificación para su construcción.

Aunque el criterio económico es el principal soporte para justificar cualquier obra de mitigación, y de hecho el FOPAE así lo indica en sus Términos de Referencia, es necesario que se revise este concepto, pues, para el caso que nos ocupa, donde hay tanta pobreza y tantas vidas están de por medio en caso de que ocurra una desgracia, es imperativo utilizar parámetros sociales y no economicistas en el momento de justificar obras para la comunidad.

Con tal orientación, enseguida se evalúan las alternativas de cada zona, haciendo un intento de considerar más el servicio que la obra presta a la comunidad que su significado B /C.

- **Zona paradero**

De las dos alternativas planteadas, la primera surge como más ventajosa, pues es más económica que la segunda. Además, el hecho de que no se permitan más construcciones de viviendas, garantiza que no se le aportarán aguas domésticas al talud.

Esta pequeña área queda como un parche verde en el sitio, el cual en algo contribuye a constituir zonas verdes en un barrio donde estas se encuentran ausentes.

La solución de terrazas con gaviones proporcionan áreas para que sean después habitadas, con lo que se le agrega un elemento de inestabilidad debido al agua doméstica que necesariamente se le aporta al terreno, pues no hay redes de acueducto y alcantarillado.

En medio del área quedan dos casas con estructura de concreto y ladrillo, las cuales no presentan agrietamientos en la estructura pero una de ellas tiene corrimiento en el sentido de la ladera.

- **Zona Colegio**

En esta zona, donde las obras son para solucionar en forma directa el problema a 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**

Aunque el FS para sismo con talud saturado se reduce a 1.0, realmente no se justifica establecer medidas de mitigación con el fin de evitar el riesgo para una situación muy remota de presentarse.

Los movimientos de tierra que se plantean son para solucionar un problema muy puntual. Si no se hacen 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. El terraplén ya falló una vez y no causó problema diferente a interrumpir el paso.

- **Cárcava principal parte central**

La obra de conformar adecuadamente el terraplén de la carrera 47B es costoso en comparación con las afectaciones que se causarían sino se hace el trabajo. Sin embargo, 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 como más económica la de descargar el talud mediante excavación de la parte superior, entubar el caño y empradizar.

Estos trabajos también son costosos y superan los daños que se producirían si no se hace la obra. Sin embargo, es necesario considerar la necesidad de hacer las obras para prevenir problemas en un sitio donde es evidente el peligro.

- **Manzanas 30 y 77**

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, muy necesaria en el barrio donde las áreas de recreación son escasas. Con el fin de dar cumplimiento a está solución es necesario reubicar 17 viviendas y no permitir la construcción en 41 lotes que se encuentran vacíos.

6.3 CONCEPTOS SOBRE MEDIDAS DE MITIGACIÓN GENERALES

Antes de que el hombre hiciera aparición en el Barrio Caracolí para construir allí sus viviendas, el terreno era firme y los pocos problemas que se presentaban estaban relacionadas con fenómenos de carcavamiento, los cuales no amenazaban nada.

Al presentarse la actividad antrópica, se rellenaron las cárcavas, se efectuaron cortes, se destruyo la vegetación y se aportó agua permanente al terreno, producida en las labores domesticas. Todas estas actividades desgraciadamente atentan contra la estabilidad del terreno y paulatinamente esta sufriendo una degradación irreversible.

Puesto que ya no es posible frenar la urbanización de las tierras, es necesario encausar mejor esta actividad antrópica, tomando medidas efectivas para tratar de darle al terreno estabilidad y permitir la construcción de vivienda con la mayor seguridad posible.

En este marco conceptual, es necesario considerar algunas medidas, las cuales es deseable que se pongan en practica inmediatamente, pues entre más rápida sea su aplicación, más pronto se logran los objetivos planteados. Sin embargo, esto no es posible, razón por la cual se plantearon algunas medidas, indicando su priorización.

En primer término, es de fundamental importancia construir las redes de acueducto y alcantarillado, tanto de aguas negras como de aguas lluvias. El agua, que actualmente se aporta en forma continua es el principal detonante de cualquier fenómeno de inestabilidad del terreno, por su acción socavadora, la presión intersticial que contribuye a separar las partículas, la acción debilitadora

de resistencia del material y la actividad de arrastre de partículas más finas. Muchas zonas que ahora son estables, mañana no podrán serlo, si allí continuamente sigue el agua actuando.

Dado el alto deterioro de la cobertura vegetal, principalmente en las vías que van en el sentido de la pendiente, el terreno se encuentra desprotegido y fácilmente sometido al proceso de erosión. En las vías ya no es posible restituir la vegetación, motivo por el cual, es necesario proteger el terreno con otras medios, siendo el más apropiado el concreto o la mampostería. De acuerdo con esto, a mediano plazo, luego de instalar las redes de acueducto y alcantarillado, es necesario construir vías escalonadas, con manejo apropiado de las aguas de escorrentía.

En las zonas no aptas para urbanización y que actualmente están vacías o deben desocuparse, es necesario protegerlas con pasto tipo kikuyo y plantar arboles, adaptando las áreas como parques infantiles, con protección del terreno a base mampostería o concreto, donde no haya vegetación. Esta es una acción que debería emprenderse muy pronto, pues además de favorecer el terreno, con estas medidas se le dan al barrio áreas de recreación, tan necesarias para un sector donde estas son escasas.

Uno de los problemas que afectan el barrio, con creación de puntos de inestabilidad locales, consiste en la deficiente practica de construir las plataformas para las viviendas, pues hacen cortes, cuyo material se utiliza para relleno, quedando el área de la casa en un material mixto de corte y relleno. El relleno no se construye con el grado de compactación adecuado y además, entre el relleno y el material original permanece una potencial superficie de falla, la cual se activa con el ingreso de agua.

Esta práctica constructiva es inadecuada, pues el relleno tiene más asentamiento que el material firme del corte y, además, si falla el relleno, este queda empujando sobre la pared divisoria de la casa de abajo. Cuando la pared divisoria es en mampostería confinada con vigas y columnas de concreto, esta puede resistir la carga, pero cuando el muro es más débil, la carga puede superar la resistencia y producirse desprendimientos locales sobre la casa inferior.

Este problema se puede mitigar, si las plataformas de las casas se construyen completamente en corte, retirando de allí los materiales excavados.

De otro lado, y con el ánimo de minimizar los asentamientos y dar mayor seguridad a las cimentaciones, el nivel de fundación de las columnas o cimientos corridos debe estar en material no removido. Cuando el cimiento queda en el material de relleno, subsiste la posibilidad de asentamientos diferenciales con aparición de grietas.

Con el fin de evitar la caída de bloques de la vía superior del barrio, es necesario construir un bordillo a todo largo de la carretera. Esto también contribuye a encausar las aguas de escorrentía y evitar que estas se desbordan por la ladera, arrastrando detritos y causando erosión.

6.4. MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN ZANJON LA MURALLA.

De acuerdo con análisis de estabilidad realizados en 6 secciones del Zanjón La Muralla, estas laderas son estables a excepción de la zona donde aparece material coluvial, la cual es inestable. Sin embargo, dadas las altas pendientes que allí hay, no es conveniente que se realicen excavaciones para construir casas, pues además de producir inestabilidades locales, estas se pueden degradar en movimientos retrogresivos, incluso si los cortes se hacen en roca.

Teniendo en cuenta que esta es una corriente con flujo permanente, aquí puede ser aplicable el Artículo 83 del Decreto - Ley 2811 de 1974 vigente y que considera como bien inalienable del Estado una zona hasta de 30 m de ancho en las márgenes del cauce En estas condiciones, sobre la margen derecha debe proveerse una franja de 15 m de ancho a lo largo del Zanjón, sobre la que no se admitan construcciones de vivienda, aunque estas técnicamente se puedan construir, debido a que ya existe un decreto del Gobierno Nacional que las prohibe. En la franja de 15 m hay actualmente 29 tugurios, 9 casas de mampostería, 5 casas prefabricadas y 43 lotes vacíos.

En esa franja es necesario hacer un plan de arborización con especies nativas para contribuir a mejorara la estabilidad del terreno, retener el material de arrastre, obstaculizar la construcción de vivienda y crear zonas verdes en el barrio.

7. DISEÑO DETALLADO DE OBRAS

Teniendo en cuenta el análisis de alternativas de mitigación y considerando además las evaluaciones conjuntas realizadas con la Interventoría y el FOPAE, en cada una de las zonas que ameritan el diseño de obras, este se realiza en la siguiente forma:

7.1 ZONA PARADERO

7.1.1 Aspectos Técnicos

En esta área los trabajos de mitigación consisten en regular la pendiente del talud mediante excavación, manejar el agua en la pata de los taludes, empradizar y arborizar toda el área donde se excave. Antes de emprender estas obras es necesario reubicar a cuatro familias y demoler las casas.

Las casas a reubicar se encuentran en el talud, en material de las mismas características de debilidad. Es así como la casa prefabricada presenta agrietamientos grandes en el piso, una de las casas de dos pisos, de mampostería confinada, presenta corrimientos de toda la estructura; el tugurio está en un sitio muy empinado y una cuarta casa fue construida hace poco, previéndose problemas en un futuro.

Mediante las obras propuestas se conforma allí una área verde de aproximadamente 1000 m^2, donde no se pueden levantar edificaciones.

De acuerdo con los cálculos de estabilidad realizados y considerando la situación de talud no saturado y ante la carga de sismo, el FS es de 1.4. En caso estático el FS es de 2.6. Así, el talud queda con un grado de estabilidad bueno pero es necesario evitar que allí se instalen viviendas, pues esto podría desestabilizar los taludes debido a las excavaciones y el aporte de agua doméstica.

Para adelantar las obras es necesario poner en práctica un proceso constructivo que comprenda:

1. Demoler las edificaciones que se indican.

2. Realizar las excavaciones diseñadas, procediendo de arriba hacia abajo, de tal forma que los materiales extraídos se retiren inmediatamente del lugar. No es permisible que los materiales excavados se boten ladera abajo. La excavación debe ser manual.

3. A medida que se va descendiendo con las excavaciones es necesario ir protegiendo el talud con cespedón para evitar que las aguas de lluvia lo deterioren. Si no se coloca el cespedón pronto, en caso de lluvia el talud debe protegerse con un plástico para evitar la degradación.

4. Luego de concluidas las labores de excavación es necesario construir las cunetas diseñadas.

5. Una vez cubierto el talud con cespedón se requiere plantar los árboles indicados en los planos.

La construcción de las obras debe realizarse tal como se indica en el mapa 12, 1/6, aplicando las Especificaciones Técnicas, elaboradas para el Barrio Caracolí.

7.1.2 Costos

Los costos se elaboraron teniendo en cuenta por separado el presupuesto de obras, el cual sería ejecutado por un contratista y en cuadro aparte se indican todos los costos en que incurre FOPAE para ejecutar el proyecto. La interventoría se evalúa como 10% del valor de la obra y los imprevistos como 15% de los costos totales.

Cuadro 7.1 Presupuesto de obra Zona Paradero

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO $	VALOR TOTAL $
1	Localización y replanteo	m^2	1.065,00	650	692.250
2	Excavaciones	m^3	1.130,00	8.400	9.492.000
5	Concretos				
	5.1. Concreto de 210 kg/cm^2	m^3	5,00	270.000	1.350.000
6	Empradización	m^2	840,00	3.900	3.276.000
7	Arborización	U	15,00	12.000	180.000
10	Demolición de viviendas	U	3,00	500.000	1.500.000
11	Transporte de material sobrante	m^3	1.112,00	7.000	7.784.000
				TOTAL	24.274.250

Cuadro 7.2 Costos totales Zona Paradero

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO $	VALOR TOTAL $
1	Presupuesto de obra	GL			24.274.250
2	Reubicación viviendas				
	a. Casa de 2 pisos mampostería confinada	U	2	10.000.000	20.000.000
	b. Casa prefabricada	U	1	3.000.000	3.000.000
	c. Tugurio	U	1	1.500.000	1.500.000
3	Interventoría (10% presup. de obra)	GL	1	2.427.425	2.427.425
				SUB-TOTAL	51.201.675
				IMPREVISTOS (15%)	7.680.251
				TOTAL	**58.881.926**

7.2 CARCAVA PRINCIPAL PARTE INFERIOR

7.2.1 Aspectos Técnicos

La obra en este sitio consiste en construir el terraplén de la calle 47A adecuadamente, pues el existente es débil y podría fallar.

La ejecución de la obra conlleva la colocación de una tubería con pendiente apropiada, pues la que existe ya se encuentra obstruida. Aquí, por lo visto, pasa no solo agua sino también materiales de desecho arrojados al caño. De acuerdo con esto la tubería no solo debe ser apta para los flujos previstos sino para sólidos, los cuales no pueden ser calculados dado su alto grado de incertidumbre. Teniendo en cuenta esto, se considera apropiada la tubería de Φ 1.0 m pero con mayor pendiente a la existente y con las obras de entrada y salida. Las obras se construyeron en concreto ciclópeo, utilizando los modelos típicos de la Secretaría de Obras Públicas del Departamento de Antioquía. La tubería existente es necesario removerla.

Adicional a la tubería y cabezales de entrada y salida, el diseño contempla adición de relleno para que el terraplén adquiera el ancho acorde con la magnitud de la vía y protección de los taludes con empradizado y arborización.

El material para construcción del terraplén será el mismo que hay en el sitio actualmente, adicionándole materiales que bien puede ser el producto de excavaciones de estabilización hechas en otros sitios del barrio o traídos de otras partes, de tal forma que cumpla con el requisito de que los diámetros máximos no tengan más de 4” y el pasa 200 no exceda el 30%. La compactación no debe ser inferior al 90% del Proctor Modificado.

El proceso constructivo comprende lo siguiente:

1. Excavación y colocación de la tubería prevista en los diseños. Construcción de los cabezales.

2. Colocación del relleno sobre la tubería y de conformación del terraplén. El terraplén existente que no sea necesario excavar para colocación de la tubería se puede conservar para colocar relleno sobre él.

3. Luego de conformado el terraplén se debe proceder a cubrir los taludes con empradizado y arborizado.

Los taludes del terraplén se calcularon de acuerdo con el método de Máslov y además se corrió con el programa para el cálculo de estabilidad con sismo no saturado, encontrándose que el FS es de 1.1 para la superficie más crítica, en

tanto que para el caso estático el FS subió a 1.9, valores que se consideran adecuados.

El diseño de obras correspondiente a esta zona se encuentra en el mapa 12, 2/6 y su construcción debe ajustarse las Especificaciones Técnicas, elaboradas para el Barrio Caracolí.

7.2.2 Costos

Siguiendo la misma metodología de cálculo empleada en las zonas precedentes los costos de las obras son:

Cuadro 7.3 Presupuesto de obra en Cárcava principal parte inferior

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO $	VALOR TOTAL $
1	Localización y replanteo	m^2	630,00	650	409.500
2	Excavaciones	m^3	165,00	8.400	1.386.000
3	Rellenos y terraplenes	m^3	900,00	15.000	13.500.000
5	Concretos				
	5.1. Concretode 210 kg/cm2	m^3	1,80	270.000	486.000
	5.2. Concreto Ciclópeo	m^3	38,00	200.000	7.600.000
	5.3. Concreto de solado	m^3	27,00	190.000	5.130.000
6	Empradización	m^2	370,00	3.900	1.443.000
7	Arborización	U	7,00	12.000	84.000
9	Obras de Alcantarillado				
	9.3. Tubería de con. Ref. ϕ 40"	ml	25,00	305.000	7.625.000
12	Proteccion de Piedra pegada	m^2	20,00	14.500	290.000
				TOTAL	37.953.500

Cuadro 7.4 Costos totales en Cárcava principal parte inferior

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO $	VALOR TOTAL $
1	Presupuesto de obra	GL			37.953.500
3	Interventoría (10% presup. de obra)	GL	1	3.795.350	3.795.350
				SUB-TOTAL	41.748.850
				IMPREVISTOS (15%)	6.262.328
				TOTAL	**48.011.178**

7.3 CARCAVA PRINCIPAL PARTE CENTRAL

7.3.1 Aspectos Técnicos

La obra en este sitio consiste en el mejoramiento del terraplén existente y construcción de la alcantarilla que permita la evacuación de las aguas de escorrentía para que el terraplén no se sature.

Para tal efecto es necesario construir una alcantarilla con sumidero transversal a la entrada y cabezal de salida. Considerando la buena cantidad de sedimentos que arrastran las aguas, la alcantarilla se diseña con diámetro de 30” (0.76 m) y pendiente apreciable, con el fin de que no se tapone.

A la salida del cabezal las aguas serán manejadas en un cauce de piedra pegada para evitar la socavación en proximidades de la obra.

La inclinación del talud será 2:1 obteniéndose con esto FS de 1.5 en caso de sismo sin saturar, tal como se puede observar en la hoja de cálculo del anexo. Para evitar erosión y ocupación con viviendas en el talud del terraplén, su superficie se debe empradizar y arborizar.

El material que actualmente existe en el terraplén no será retirado ni removido, salvo para el caso de construcción de la alcantarilla. El material necesario para complementar el terraplén será obtenido en otras excavaciones del barrio o traído de otros lugares, teniendo en cuenta que los tamaños no excedan 4” y el pasa 200 no exceda 30%. La compactación no debe ser inferior al 90% del Proctor Modificado.

El proceso constructivo comprende lo siguiente:

1. Excavación y colocación de la tubería prevista en los diseños. Construcción del cabezal y sumidero.

2. Colocación del relleno sobre la tubería y conformación del terraplén, cuidando de quitar el material vegetal y escalonar el talud existente antes de depositar el relleno.

3. Luego de conformado el terraplén se debe proceder a cubrir los taludes con empradizado y arborizado.

El diseño de obras correspondiente a esta zona se encuentra en el mapa 12, 3/6 y su construcción debe ajustarse las Especificaciones Técnicas, elaboradas para el Barrio Caracolí.

7.3.2 Costos

Siguiendo la misma metodología de cálculo empleada en las zonas precedentes, los costos de las obras son:

Cuadro 7.5 Presupuesto de obra en Cárcava principal parte central

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO $	VALOR TOTAL $
1	Localización y replanteo	m^2	520,00	650	338.000
2	Excavaciones	m^3	170,00	8.400	1.428.000
3	Rellenos y terraplenes	m^3	700,00	15.000	10.500.000
5	Concretos				
	5.1. Concreto de 210 kg/cm2	m^3	0,90	270.000	243.000
	5.2. Concreto Ciclópeo	m^3	8,00	200.000	1.600.000
	5.3. Concreto de solado	m^3	30,00	190.000	5.700.000
6	Empradización	m^2	460,00	3.900	1.794.000
7	Arborización	U	8,00	12.000	96.000
9	Obras de Alcantarillado				
	9.2. Tubería de con. Ref. ϕ 30"	ml	35,00	200.000	7.000.000
	9.5. Sumidero L=4,0 m	U	1,00	3.050.000	3.050.000
12	Proteccion de Piedra pegada	m^2	14,00	14.500	203.000
				TOTAL	31.952.000

Cuadro 7.6 Costos totales en Cárcava parte central

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO $	VALOR TOTAL $
1	Presupuesto de obra	GL			31.952.000
3	Interventoría (10% presup. de obra)	GL	1	3.195.200	3.195.200
				SUB-TOTAL	35.147.200
				IMPREVISTOS (15%)	5.272.080
				TOTAL	**40.419.280**

7.4 CARCAVA PRINCIPAL PARTE SUPERIOR

7.4.1 Aspectos Técnicos

En este sitio las obras de estabilización seleccionadas comprenden la descarga del talud y drenajes para manejar adecuadamente las aguas.

Las obras consisten en primer término en el tendido de una tubería para conducir las aguas negras y de escorrentía que se producen en la parte alta, con su caja de entrada y luego tapar esta tubería. Junto con esto es necesario excavar el talud

hacia la parte media superior con inclinación 1.5:1 hasta dejar una plataforma hacia la mitad de la ladera. El talud y la plataforma deben cubrirse con empradizado y arborizado. Es necesario también construir las cunetas para conducir las aguas de escorrentía.

La tubería a instalar es de 14" de diámetro (35 cm), la cual es suficiente para evacuar las aguas producidas en la parte alta. El descargue de la tubería se realizará en la caja existente, haciéndole adaptaciones para que se amortigüe la energía del agua y pueda continuar el flujo con menor velocidad.

En la parte superior se proveerá un ancho de 8 m, suficiente para colocar la vía. Para realizar las excavaciones es necesario evacuar dos casas de tipo tugurial construidas en el relleno.

El proceso constructivo comprende:

1. Instalación de la tubería, siendo necesario para esto manejar las aguas negras y de escorrentía que se puedan producir. Colocar la rejilla en la caja superior y reconstruir la caja inferior.

2. Excavación del talud de tal manera que los materiales objeto de los trabajos sean evacuados inmediatamente del lugar o utilizados en el relleno que se debe colocar sobre la tubería. Para este último caso es necesario limpiar antes la ladera de material vegetal para que el relleno se haga con productos depurados.

3. Colocación del relleno sobre la tubería utilizando los mismos materiales obtenidos de la excavación. El relleno debe colocarse de abajo hacia arriba, en capas horizontales, compactadas por lo menos al 90% del Proctor Modificado. El talud del relleno debe quedar al mismo nivel del talud y plataforma excavadas, y en la parte baja debe llevarse con el mismo talud de la ladera existente. Hacia la parte alta es necesario conformar la banca de la vía.

4. Con el fin de evitar desbordamientos de agua de escorrentía que se pueda producir en la vía superior, en el borde de la banca se requiere colocar una hilera de gaviones, después de colocados los rellenos y realizadas las excavaciones.

5. A medida que la excavación se realiza es necesario proteger el talud con el empradizado o en su defecto colocarle un plástico para que en caso de lluvia no se erosione. En este último caso el empradizado y arborizado se colocan después de realizadas las excavaciones.

6. Construir las cunetas de la plataforma para manejar las aguas de escorrentía.

Los taludes se calcularon a la carga de sismo con material no saturado, encontrándose que el FS mínimo es de 1.2, aceptable para este caso. Los cálculos pueden verse en el anexo.

Los diseños de obras correspondientes a esta zona se encuentran en el mapa 12, 4/6 y 5/6. Su construcción debe ajustarse las Especificaciones Técnicas, elaboradas para el Barrio Caracolí.

7.4.2 Costos

Siguiendo la misma metodología de cálculo empleada para las zonas anteriores, el costo de las obras son:

Cuadro 7.7 Presupuesto de obra en Cárcava principal parte superior

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO $	VALOR TOTAL $
1	Localización y replanteo	m^2	1.835,00	650	1.192.750
2	Excavaciones	m^3	2.740,00	8.400	23.016.000
3	Rellenos y terraplenes	m^3	300,00	15.000	4.500.000
4	Gaviones	m^3	34,00	80.000	2.720.000
5	Concretos				
	5.1. Concreto de 210 kg/cm2	m^3	3,60	270.000	972.000
	5.2. Concreto Ciclópeo	m^3	5,50	200.000	1.100.000
	5.3. Concreto pobre para solado	m^3	0,50	190.000	95.000
6	Empradización	m^2	1.785,00	3.900	6.961.500
7	Arborización	U	30,00	12.000	360.000
8	Acero de Refuerzo	Kg	300,00	1.800	540.000
9	Obras de Alcantarillado				
	9.1. Tubería de con.ref. ϕ 14"	ml	51,00	40.000	2.040.000
	9.4. Pozo de inspección	U	1,00	1.150.000	1.150.000
	9.6. Rejilla para sumidero	U	1,00	250.000	250.000
10	Demolición de viviendas	U	2,00	1.000.000	2.000.000
11	Transporte de material sobrante	m^3	2.440,00	7.000	17.080.000
				TOTAL	63.977.250

Cuadro 7.8 Costos totales Zona Cárcava principal parte superior

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO $	VALOR TOTAL $
1	Presupuesto de obra	GL			63.977.250
2	Reubicación viviendas				
	a. Casa prefabricada	U	1	3.000.000	3.000.000
	b. Tugurio	U	1	1.500.000	1.500.000
3	Interventoría (10% presup. de obra)	GL	1	6.397.725	6.397.725
				SUB-TOTAL	74.874.975
				IMPREVISTOS (15%)	11.231.246
				TOTAL	**86.106.221**

7.5 MANZANAS 30 Y 77

7.5.1 Aspectos Técnicos

Para esta zona las obras de protección se ubican en la calle 47B, donde existe un botadero de material. Allí es necesario construir una alcantarilla apropiada, con tubería de Φ 30", haciéndole sus obras de entrada y salida. Además, se requiere conformar adecuadamente el terraplén dándole una inclinación 2:1 y protegerlo enseguida con empradización y arborización.

El proceso constructivo comprende:

1. Excavación y construcción de la alcantarilla con sus obras de entrada y salida.

2. Excavación del material sobrante para darle al talud una inclinación apropiada. A medida que se excava el material debe ser evacuado o utilizado en rellenos. No se permite botar material por la ladera.

3. Protección del talud con empradizado y arborizado.

De acuerdo con los cálculos realizados para el caso de material no saturado con sismo el FS obtenido es de 1.2, mientras que en estado estático el valor ascendió a 2.0 valores apropiados para este talud, donde no es posible su saturación si se hacen las obras diseñadas.

Los diseños de obras correspondientes a esta zona se encuentran en el mapa 12, 6/6 y su construcción debe ajustarse las Especificaciones Técnicas, elaboradas para el Barrio Caracolí.

7.5.2 Costos

Los costos de las obras propuestas son:

Cuadro 7.9 Presupuesto de obra Manzanas 30 y77

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO $	VALOR TOTAL $
1	Localización y replanteo	m^2	300,00	650	195.000
2	Excavaciones	m^3	410,00	8.400	3.444.000
3	Rellenos y terraplenes	m^3	160,00	15.000	2.400.000
5	Concretos				
	5.1. Concreto de 210 kg/cm2	m^3	0,90	270.000	243.000
	5.2. Concreto Ciclópeo	m^3	8,00	200.000	1.600.000
	5.3. Concreto de solado	m^3	21,00	190.000	3.990.000
6	Empradización	m^2	280,00	3.900	1.092.000
7	Arborización	U	5,00	12.000	60.000
9	Obras de Alcantarillado				
	9.2. Tubería de con. Ref. ϕ 30"	ml	25,00	200.000	5.000.000
	9.5. Sumidero L=4,0 m	U	1,00	3.050.000	3.050.000
11	Transporte de material sobrante	m^3	250,00	7.000	1.750.000
12	Proteccion de Piedra pegada	m^2	14,00	14.500	203.000
				TOTAL	23.027.000

Cuadro 7.10 Costos totales manzanas 30 y 77

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO $	VALOR TOTAL $
1	Presupuesto de obra	GL			23.027.000
3	Interventoría (10% presup. de obra)	GL	1	2.302.700	2.302.700
				SUB-TOTAL	25.329.700
				IMPREVISTOS (15%)	3.799.455
				TOTAL	**29.129.155**

8. 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. Dicho propósito se cumplió por medio de los trabajos de los estudios de topografía, geología, geomorfología e identificación de procesos, hidrogeología y clima, y de geotecnia, todos ajustados a los alcances y marcos de referencia formulados por la DPAE.

- Para llegar a las magnitudes de riesgos, primero se evaluaron las amenazas por inestabilidad de taludes bajo la concurrencia de saturación (insaturado y saturado), y de la ocurrencia de dos condiciones de un sismo de cierta magnitud. Con estos resultados, en combinación con un estudio de susceptibilidad de los diferentes materiales del área, se obtuvieron las amenazas en términos probabilisticos. Estas amenazas, multiplicadas por la vulnerabilidad de las edificaciones (tanto desde un punto de vista sectorial, como individual) – obtenidos por medio de encuestas – desembocaron en los riesgos; y, a su vez, éstos multiplicados por los costos de las edificaciones individuales (o de sectores) resultan en los así denominados “costos esperados”.

- 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.

- Asimismo, 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 de parqueaderos, la cárcava principal, las manzanas 69, 78, 79 y 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, más si realmente ocurre una situación catastrófica. En este último caso la relación beneficio/costo tendría un valor superior a 1,0.

BIBLIOGRAFÍA

AIS, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (1998) *NSR-98 Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistentes,* Santafé de Bogotá.

DPAE 1999 *Concepto técnico N3260*. Por: Luis Jairo Pérez, Doris Suaza Español, Javier Pava Sánchez, 14 pág.

EAAB-IRH, 1995. *Estudio para Análisis y caracterización de las Tormentas en la Sabana de Bogotá.* Volumen 1 –Informe General, Noviembre 1995.

GONZÁLEZ A. J., (1990) – Conceptos sobre la evaluación de riesgos por deslizamientos – VI Jornadas Geotécnicas – SCI – Memorias - Tomo I, Bogotá, Octubre 1990.

GONZÁLEZ A. J., (1990) – Metodología para evaluación de riesgo por deslizamiento – VI Jornadas Geotécnicas – SCI – Memorias - Tomo II, Bogotá, Octubre 1990.

GONZÁLEZ A. J., ZAMUDIO E., CASTELLANOS (1998) – *Relación de precipitación crítica – duración de lluvias que disparan movimientos en masa en Santafé de Bogotá.* Manuscrito, 1998.

IAEG, Asociación Internacional de Ingeniería Geológica, 1976

INGEOCIM Ltda - UPES (1998) *Estudio de Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por inestabilidad del terreno para las localidades de Ciudad Bolívar, Rafael Uribe Uribe, San Cristóbal, Santafé, Chapinero, Usaquén y Suba de Santafé de Bogotá.*

INGEOMINAS - UNIANDES (1997) *Microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá.* Convenio Interadministrativo 01-93. Agosto 1997

LOMTADZE V.D. (1977) *Ingeniería Geológica (Geodinámica Ingenieríl).* Leningrado Nedra, 479 pág.

LOMTADZE V.D. (1984) *Ingeniería Geológica (Petrología Ingenieríl).* Leningrado Nedra, 511 pág.

MEDVEDEV S.V. (1965) - *Microzonificación sísmica.* Moscú, Nedra, 200 pág.

PADUCOV H. (1981) - *Pronostico de estabilidad de los taludes de canteras.* Instituto de Minas de Leningrado, 50 pág.

REGIMEN LEGAL DEL MEDIO AMBIENTE, Legis Editores S. A. Actualización Julio 1999.

SUSTER ROBERT, KRIZEK RAYMOND (1978) Landslides. *Análisis and control special Report 176,* Washington D.C., 366 pág.

TCHEMODANOVA V. (1998) – *Metodología de Zonificación Geotécnica Regional.*- VII Congreso Colombiano de Geotecnia - Memoria Técnica, vol. 2, Santafé de Bogotá, D.C. 21, 22 y 23 de Octubre, pág. 8.80 - 8.91.

TCHEMODANOVA V. (2000.) *Metodología de Evaluación de Susceptibilidad y Amenaza por Fenómenos de Deslizamiento, Derrumbe, Caída de Bloques, Flujo de Tierra y Erosión*. Memorias VIII CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTECNIA, Santafé de Bogotá, Colombia.

TOMÁS SHUK y Departamento de Ingeniería de la Universidad de los Andes (1993). *Comprobación Experimental y Observacional de la Metodología de Taludes Naturales (MTN) – Túnel Los Rosales*. Volúmenes I y II Andes. Diciembre de 1993.