RESUMEN EJECUTIVO

1 INTRODUCCIÓN

En desarrollo del Contrato de Consultoría No.CCS-241-2000, suscrito entre la DIRECCION DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS E HIDROGEOLOGÍA Y GEOTECNIA AMBIENTAL LTDA, cuyo objeto es el Estudio de Riesgos por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras de Control y Protección en el Barrio San Cristóbal Sur – Localidad de San Cristóbal, se presenta en el siguiente documento el Informe técnico correspondiente al barrio en mención.

San Cristóbal Sur, en su contexto urbano, ocupa parte de la superficie de una contrapendiente estructural, entallada en las estribaciones de los cerros surorientales del Distrito Capital, en la localidad de San Cristóbal. Las laderas presentan deslizamientos activos y potenciales; evidencias de procesos antiguos de remoción en masa y alto grado de intervención antrópica.

El barrio San Cristóbal Sur, se urbanizó en la parte alta de la fabrica de ladrillos La Gaitana, actualmente cuenta con cobertura de servicios públicos de agua, alcantarillado, luz y teléfono, las principales vías de acceso son pavimentadas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

- Realizar una evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa y diseñar las obras de mitigación y control requeridas para estabilizar el sector objeto de estudio, para que sirva como instrumento en la planificación integral, bajo el marco de la Prevención de Desastres.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Inventariar el marco morfodinámico del área de estudio y sus alrededores, con el fin de poder establecer los mecanismos de falla. Es decir, determinar los factores condicionantes y desencadenantes de la inestabilidad local.

- Evaluar la condición actual de estabilidad que involucre por una parte, la elaboración del modelo estratigráfico del área de estudio, y por otra investigar los cambios en la probabilidad de falla en relación con los intervalos de dominio (o de variación) de los parámetros geotécnicos.

- Estudiar la condición de vulnerabilidad del sector con respecto al tipo de movimiento involucrado y al nivel de daño de los elementos expuestos.

- Definir árboles de decisión que faciliten la selección de alternativas con relación beneficio-costo aceptable.

- Diseñar las obras de mitigación y control correspondientes, las cuales contribuirán notablemente tanto para la conservación del área, como para la disminución del riego hacia los elementos fijos y móviles aledaños.

2 GENERALIDADES

2.1 LOCALIZACIÓN

El barrio San Cristóbal Sur, se localiza sobre las estribaciones de los cerros surorientales del Distrito Capital, en un sector de contra pendiente estructural, en jurisdicción político - administrativa de la localidad de San Cristóbal.

Está delimitado geográficamente entre las coordenadas
N 96.800 - 97.100
E 100.000 - 100.300,
y las expresiones del relieve se desarrollan entre los 2.600 msnm y los 2.700 msnm.

El barrio San Cristóbal Sur, se enmarca entre la carrera 15 Este y la quebrada Triángulo y las calles 15 Sur (Antigua vía a Villavicencio) y 13 Sur; el cinturón de comunicación más importante para los pobladores es la antigua carretera a Villavicencio; de ella se desprende la malla vial que accede al barrio; las calles y carreras están pavimentadas en su gran mayoría, poseen un estado de transitividad apenas aceptables, trazados geométricamente complejos caracterizados por las altas pendientes longitudinales.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El barrio San Cristóbal Sur, localidad de San Cristóbal, ocupa un área de laderas residuales y coluviales con alta pendiente topográfica e intervención antrópica acentuada (vertimientos, rellenos de basuras, excavaciones y rellenos, etc), los pobladores se concentran en viviendas de recuperación, palafitos, prefabricadas y estructurales con y sin pórtico. Para la construcción de las viviendas en especial las localizadas sobre la Transversal 9 Este, se han desarrollado actividades de corte y relleno en las partes frontal y posterior de los lotes sin una adecuada reconformación de los taludes así formados, este proceso ayudado por el vertimiento de aguas lluvias, sanitarias y de acueducto han dado origen a procesos de remoción en masa (cinco deslizamientos traslacionales, reptamientos, un flujo de suelos) en la ladera posterior de las viviendas, zona norte del área de interés.

En la parte posterior de la vivienda de la carretera oriente No 14-03 sur, se originó un deslizamiento traslacional (DT01-IA) sobre material de relleno y suelo residual afectando la estructura de dicha vivienda (agrietamientos de los muros en mampostería), en la actualidad este proceso es estable; en la parte posterior de un asentamiento de viviendas de la carretera oriente identificadas con número de lote 10 a 21 (Plano 1), existe un deslizamiento traslacional activo (DT02-AC), que afectó las viviendas y la carretera oriente, ocasionando daños en la parte estructural de las viviendas 10 y 12, la vivienda del lote 19 está en proceso de reubicación y las demás viviendas en su gran mayoría de recuperación presentan daños e inclinación de sus muros, en este sector se está analizando la posibilidad de construir obras de contención o de reubicación de las viviendas.

En la parte posterior de la vivienda de la Transversal 9E N0. 14A-68 sur, se originó el deslizamiento traslacional (DT03-AC), sobre una ladera natural, se han producido daños menores a esta vivienda; en la transversal 9E No 14A-64 sur, se observa un flujo de suelos (FT01-IA) sobre material de relleno y suelo residual, que ha ocasionado daños de la vivienda por asentamientos de la parte posterior de la construcción con agrietamientos de los muros estructurales, en este sector se ha visto la necesidad de diseñar obras de contención como obra de mitigación; en la vivienda de la Transversal 9E No. 14A-54 sur, se aprecia un deslizamiento traslacional (DT04-IA) producto de la excavación en la parte baja de la ladera para explotación de materiales, este proceso ha producido daños severos al muro de cerramiento, sin embargo las viviendas, (una prefabricada y otra en mampostería), no presentan daños; en la ladera parte posterior

de la vivienda Transversal 9E No 14A-42 sur, se presenta un deslizamiento traslacional (DT05-IE), en este sitio se observan daños en el muro de cerramiento, pero las viviendas no muestran daños de consideración.

En la zona verde del barrio, contigua a la quebrada Triángulo, se ha adecuado la disposición de basuras y escombros en forma aleatoria y sin ningún control técnico, conformando una ladera de pendiente moderada a fuertemente inclinada y que puede dar origen a deslizamientos de tamaño considerable que afecten el cauce de la quebrada y las viviendas localizadas en el costado suroriental.

3 ESTUDIOS BÁSICOS

Este numeral encierra el desarrollo de algunos de los principales tópicos (elementos ó variables) de incidencia para la evaluación y zonificación de riesgo por fenómenos de remoción en masa, que son el resultado del trabajo de campo, y se encuentran compilados bajo la denominación de Estudios Básicos. Las labores de campo permitieron entre otros: elaborar la cartografía geológica, geomorfológica y estructural local y establecer su incidencia en la estabilidad, estudiar los mecanismos de falla de los procesos de inestabilidad y conocer las características socio-económicas de los pobladores.

3.1 TOPOGRAFÍA

Teniendo en cuenta los continuos cambios morfométricos a que está expuesta el área de estudio, para efectos de zonificación, análisis y recomendaciones de obras correctivas se realizó un levantamiento topográfico detallado, escala 1:500, destacando los aspectos del relieve local que involucraban las franjas críticas de estabilidad y las unidades residenciales más vulnerables ante potenciales desastres.

El levantamiento topográfico se efectúo con la ayuda de una Estación Electrónica Total marca TOPCON GT-310, que tiene las siguientes características:

Anteojo	imagen real directa
Aumentos	30X
Abertura del objetivo	42 mm
Diámetro del campo visual	27 m
Distancia mínima de enfoque	1.7 m
Constante de multiplicación	100
Constante de adición	0
Sensibilidad de los niveles	
Nivel esférico	8′ / 2 mm
Nivel de alidada	30″/2 mm.

Para la nivelación se empleo un nivel automático marca TOPCON AT-G2, se nivelaron los deltas de la poligonal perimetral, los deltas auxiliares y las tres placas de referencia, que servirán de base para el replanteo de las obras de mitigación.

El levantamiento topográfico fue amarrado a placas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, en este sentido se tomaron como base las coordenadas y elevaciones del NP-A-63-CD con coordenadas 100.016,62 Este, 97.302,549 Norte, 2.656,736 msnm y la NP-B-63-CD con coordenadas 100.045,414 Este, 97.197,93 Norte, 2.654,353 msnm, localizadas al norte del barrio San Cristóbal Sur sobre el puente del río San Cristóbal a 100 metros del Instituto de Ciegos y la poligonal de trabajo tuvo como vértices los puntos NPA63CD, SC-1, SC-2, SC-3 y NPA63CD iniciando la toma de detalles desde la parte baja (norte) del barrio San Cristóbal Sur por la vía circunvalar, por el oeste hasta la calle 15 este, por el este hasta la quebrada Triángulo y por el norte hasta los limites de la Fabrica San Cristóbal**;** se materializaron tres mojones en los deltas SC-1, SC-2 y SC-3; cuyas coordenadas son las siguientes:

MOJON	COORDENADAS		COTA (msnm)
	ESTE (m)	NORTE (m)	
SC-1	96.941,549	100.251,078	2.687,37
SC-2	96.880,859	100.121,002	2.703,148
SC-3	96.924,809	100.099,435	2.691,184

El barrido altimétrico y planimétrico se realizó bajo la aplicación de un procedimiento mixto, es decir tanto con la toma de secciones transversales como de la generación de una nube de puntos y por el sistema de radiación, en un área de 2.5 hectáreas. Para obtener detalle del área fue necesario determinara aprox. 1.500 puntos de detalles que incluyeron la totalidad de los accidentes del terreno y de las obras existentes.

3.2 GEOLOGÍA

El trabajo se realizó en primer lugar con una fotointerpretación preliminar y un posterior reconocimiento de campo, luego se efectúo un levantamiento topográfico del área de interés, y finalmente una reinterpretación y elaboración de mapas a escala 1:5.000 para reconocimiento regional y escala 1:500 para el área de investigación especifica.

3.2.1 Marco Geológico Regional

La zona de estudio hace parte de los cerros orientales de la sabana de Bogotá, los cuales están constituidos por rocas del cretáceo superior y del terciario inferior y medio, afectadas por fallas y pliegues con dirección principal N-S y NE-SW, producidos principalmente por esfuerzos de tipo compresional.

Las rocas más antiguas en la zona de estudio corresponden a la Formación Guadalupe (a partir de sedimentos depositados a finales del cretáceo); le siguen la Formación Guaduas (finales del cretáceo - inicios del terciario) y la Formación Bogotá (inicios del terciario)**.** La secuencia litica se halla parcialmente cubierta por suelos residuales, transportados u orgánicos de diferente composición y textura, dependiendo de su génesis.

3.2.2.1 Litoestratigrafía

La nomenclatura estratigráfica se determinó por comparación y correlación con los mapas existentes en Ingeominas. Las referencias bibliográficas respecto a nombre, área, tipo, edad, y litofacies fueron extraídas del léxico estratigráfico internacional (Julivert, 1965 y Da Porta, 1973).

- **Formación Guadalupe (Ksg).** Denominada por Hubach en 1957; su edad es del cretáceo tardío (Maestrichtiano); corresponde a areniscas de colores claros (frescas) a amarillos (alteradas) compuestas predominantemente por cuarzo, con intercalaciones de arcillolitas de colores grises y crema. El tamaño del grano varia de grueso (2 mm) a muy fino (menor a 1 mm). Se disponen en bancos gruesos de mas de 2 metros, con geometría externa plano-paralela y geometría interna de laminación ondulosa paralela e inclinada paralela.

- **Formación Guaduas (Ktgs).** Denominada por Hubach en 1957, de edad Cretáceo terminal (Maestrichtiano) a inicios del Terciario (Eoceno); el conjunto inferior esta formado por lutitas generalmente de color gris, una intercalación de areniscas hacia la mitad superior. El conjunto medio queda delimitado por dos niveles principales de areniscas que se encuentran en la Formación Guaduas. La arenisca Guía en la base y la arenisca Lajosa, corresponde a una sucesión de areniscas

ortocuarciticas en bancos potentes de 1 a 3.5 metros de espesor. Suprayaciendo la arenisca se aprecia una sucesión de lutitas grises pero empiezan a manifestarse ya en algunas facies rojas. Julivert (1968).

- **Formación Cacho (Tpc).** El nombre de Formación Cacho, fue propuesto por Hubach en 1947, la edad es Terciario (Paleoceno). Esta compuesta por una secuencia de arenisca cuarzosa, de color blanco a amarillo, poco coherente, de grano grueso a conglomerático, sobre todo en las capas inferiores; Con frecuencia presenta estratificación cruzada, ferruginosa, con vetas limoniticas que la hacen en parte dura en extremo, mientras que otras se pueden desmenuzar con los dedos. Esta compuesta por granos subangulares de cuarzo y con un 5% mas o menos de arcilla ferruginosa como material cementante; espesor 90 metros aproximadamente.

- **Formación Bogotá (Tpb).** El nombre de Formación Bogotá, fue propuesto por Hubach en 1947. Esta secuencia toma como base la arenisca de la Formación Cacho y como limite superior la base de la arenisca conglomerática de la Formación Regadera. Características Físicas (litofacies) en el área de estudio: conjunto de arcillolitas de colores variados y contrastantes (abigarrados) predominantemente grises claras y violáceas, con intercalaciones de areniscas arcillosas hasta de 5 a 20 metros de espesor. Los granos de las areniscas son redondeados a subangulares, de color amarillo hasta pardo rojizo. Las arcillolitas están bien estratificadas en capas de 3 a 10 cm. Variando de color desde blanco, gris, y amarillo a rojo.

Cuaternarios

- **Depósitos Coluviales (Qc).** En el área aparecen dispersos depósitos de ladera de origen coluvial. Conformados por bloques grandes y fragmentos angulares de arenitas embebidos en matriz limo arcillosos. Los bloques y fragmentos de roca provienen de las formaciones Guadalupe, Guaduas y Bogotá; estos depósitos configuran la superficie marginal del terreno y cubren localmente las diferentes unidades del subsuelo. Son materiales regularmente consolidados y con espesor que alcanza tres metros; en general presentan una alta resistencia a la erosión.

- **Depósitos Fluvio-Glaciales (Qfg).** Son una mezcla de materiales irregulares donde predominan los bloques angulares, inmersos en un matriz areno-limosa; entallan las márgenes del río San Cristóbal, llenando algunas depresiones de la paleotopografía.

- **Depósitos Aluviales (Qal).** Conformados por bloques y cantos subredondeados de arenitas embebidos en matriz areno-limosa, se localizan a lo largo del río San Cristóbal (sector norte del área de estudio).

Depósitos Antrópicos.

- **Depósitos de Escombros de Relleno (Rel).** Compuestos por desechos de canteras y materiales de construcción, mezclados con basuras, no dispuestos técnicamente. Cubren las laderas de los frentes de explotación de materiales y los costados de las principales vías de acceso.

3.2.2.2 Geología Estructural

El área de estudio se localiza en el flanco oriental del Sinclinal de Usme, el cual tiene un rumbo aproximado Norte - Sur y conformado por rocas del Cretáceo Superior (Formación Guadalupe y Guaduas) y rocas del Terciario (Formación Bogotá, Regadera, Usme, y Marichuela).

Los sistemas de falla son de tipo Normal y de Rumbo. Este último grupo está relacionado con el eje del Sinclinal de Usme (afectando la Formación Usme) y las fallas Normales son perpendiculares al eje del

pliegue. Entre las fallas más importantes cercanas al sector se encuentran la falla de San Cristóbal y la falla de Bogotá, que influyeron en la evolución tectónica del lugar (relacionadas con las últimas fases de la orogenia andina). La primera es una falla profunda o megacizalla, que penetra hasta el manto superior y que se manifiesta en superficie como un alineamiento de dirección noroeste – sureste (según Guillermo Ujueta, 1993), su prolongación hacia el sureste se manifiesta por una serie de rasgos topográficos y drenajes alineados; la prolongación de su traza hacia el noroeste parece limitar el borde sur de la depresión de Funza y de manera aproximada con él limite sur del relieve plano del valle de la sabana y la segunda es una falla de cabalgamiento de dirección nor-noreste y plano buzando al este, situada en la parte sur occidental del área; se extiende desde el río San Francisco hasta la cuchilla de Santa Barbara; esta falla pone en contacto areniscas del Grupo Guadalupe y arcillolitas de la Formación Guaduas sobre la parte media baja de los cerros al oriente de Bogotá.

3.2.3 Geología Local

3.2.3.1 Litoestratigrafía.

El área del proyecto está básicamente constituido por una alternancia de arcillolitas y areniscas de la parte inferior de la Formación Bogotá (Tpb), cubiertos por suelos limo-arcillosos con arena y materiales coluviales de escaso espesor. Para el estudio geológico detallado se levanto una columna estratigráfica, ubicada en los sitios de mejor exposición de las rocas aflorantes y que cubrieran la mayor parte del área de estudio, la columna estratigráfica fue levantada en la parte sur de la zona - barrio El Triángulo, con espesor aproximado de 88 metros y esta conformada de base a techo por cinco unidades así:

- **Unidad CS1**. Con espesor de 50.80 metros; encierra los niveles C2 a C5, compuestas por arcillolitas grisáceas oscuras con tonos amarillentos y morados, laminadas, friables de resistencia baja y los niveles S1 a S4 conformadas por areniscas arcillosas, de color amarillento con tonos grises y morados, laminadas, de grano fino a medio, fracturada, friable, las capas oscilan entre 0.50 y 4.70 metros. Los niveles de arcillolitas se presentan altamente meteorizadas, con dureza 2.5 a 3, con espesor oscila entre 1.60 y 12.20 metros**.**

- **Unidad SC2.** Posee un espesor aproximado de 20.10 metros; esta integrada en mayor proporción por areniscas arcillosas bandeadas (niveles S5 y S6), laminadas, en el nivel inferior y estratificación cruzada en el superior, de grano fino, color grisáceo a amarillento, friable, altamente meteorizada, con presencia de óxidos, acuñamientos locales de las capas, los niveles oscilan entre 2.1 y 4.5 metros; con arcillolitas abigarradas (C6), de color gris a vinotinto, meteorizada, de resistencia baja, dureza 3, este nivel presenta intercalaciones delgadas de arenisca cuarzosa de grano fino, color amarillento a rojizo, fracturada y meteorizada de resistencia baja, espesor promedio de 7.40 metros.

- **Unidad CS3.** Con espesor aproximado de 17.1 metros, constituida por arcillolitas de color grisáceo con vetas rojizas a vinotinto, (nivel C7), con un espesor de 10 metros, fuertemente meteorizada, laminadas, de resistencia baja en roca alterada y media en roca fresca y delgados niveles de areniscas cuarzosas y arcillosas (nivel S7), bandeada de color gris a amarillento, grano fino a medio, masiva, de resistencia media, en este nivel se presentan capas delgadas de arcillolitas grisáceas a rojizas con presencia de óxidos, fracturadas de resistencia baja, el espesor aproximado es de 7.10 metros.

Depósitos Cuaternarios

- **Nivel Coluvial (Qc).** Conformados por fragmentos de roca de diferentes tamaños, subangulares, predominantemente arcillosos embebidos en matriz arcillo arenoso, configuran la superficie marginal del terreno y cubren localmente las diferentes unidades del subsuelo. Son materiales regularmente

consolidados y con espesor que alcanza tres metros; en general presentan una alta resistencia a la erosión, debido a que están protegidos por vegetación de arbustos y pastos. Se localizan en la parte norte del área de estudio, parte posterior de las viviendas de la Transversal 9E No. 14A-16 sur a la Transversal 9E No 14-28 sur.

- **Nivel Coluvial Reciente (Qc1).** Son materiales regularmente consolidados, con espesor que alcanza los siete metros. Están compuestos por gravas y cantos, subangulares, predominantemente arcillosos embebidos en matriz areno-arcilloso, suprayacen discordantemente las diferentes unidades del subsuelo y son el recinto de la mayor concentración de procesos de remoción en masa activos y estables, se localizan en el costado norte de las viviendas de la carretera oriente (lotes 1, 10, 11, 13, 18 a 22) y costado oriental de las viviendas de la Transversal 9E (lotes 27 a 32).

- **Nivel de Flujo de Suelos (Qft).** Caracterizado por cantos y gravas subangulares, predominantemente arcillosos embebidos en matriz arcillo-arenoso, de color gris a amarillento; configuran el costado oriental de la vivienda de la Transversal 9E No 14A-64sur, son materiales regularmente consolidados y con espesor que alcanza dos metros.

Suelos Antrópicos

- **Materiales de Excavación (Rb).** Disposición o acumulación de materiales de excavación predominantemente arcillosos, combinados con desechos domésticos, plásticos, botellas, etc. no dispuestos técnicamente, que conforman un relleno no consolidado, de espesor variable entre 1 y 4 metros; depositados en la ladera aledaña a las viviendas de la carretera oriente (lotes 2 a 5, 10) y de la Transversal 9E (lotes 22, 25, 26, 33 a 39).

- **Materiales de Escombros (Rebas).** Acumulación de materiales caracterizados por escombros y materiales de excavación, construcción de tamaño variado bloques, cantos y finos y desechos domésticos plásticos, no dispuestos técnicamente, de espesor que alcanza tres metros, se disponen en la parte oriental de la quebrada Triángulo.

- **Materiales de Estériles (Bot).** Bajo esta designación se integran los materiales estériles de la fabrica de ladrillo La Gaitana, constituidos por una mezcla de bloques, cantos y materiales finos, no dispuestos técnicamente en el antiguo patio de trabajo la fabrica localizados al oriente de la quebrada Triángulo, se considera que el espesor alcanza los 2 metros.

- **Zona de Relleno Actual (Zr)**. Mezcla de materiales de excavación conformados por cantos, bloques y materiales finos y basuras plásticos, frascos, etc., de espesor variable que alcanza los 8 metros de acuerdo a la interpretación de los SEV, se localizan en el costado norte de la carretera a oriente, sobre ambas márgenes de la quebrada Triángulo.

3.3 GEOMORFOLOGIA

El sector estudiado se encuentra localizado sobre una ladera en la contrapendiente estructural, flanco oriental del sinclinal de Usme. La morfología es moderadamente inclinada sobre laderas de rocas arcillosas y depósitos recientes de origen coluvial; y semiplana a plana en las zonas cercanas a la Quebrada Triángulo.

Las geoformas están controladas especialmente por el sinclinal de Usme y son el producto de la compleja evolución tectónica del Terciario, de los procesos de erosión y acumulación, mediante la delimitación de fenómenos de remoción en masa. La construcción de la fabrica de ladrillos La Gaitana ha dejado como

resultado el destape de las rocas aflorantes y la conformación de un patio de disposición de materiales con pendiente plana a suavemente inclinada, donde se aprecian erosión en surcos.

En laderas conformadas por material de origen coluvial, suelo residual y rellenos de material de excavación y escombros, se han originado deslizamientos traslacionales y rotacionales; algunos activos, como causa de sobrepresiones, vertimiento de aguas sanitarias y de acueducto o de excavaciones indiscriminadas sobre la pata de los taludes.

Mediante la fotointerpretación y el trabajo de campo se identificaron geoformas relacionadas con distintos ambientes, topografía o pendiente, grado de estabilidad, drenaje, composición del material presente, forma del terreno y procesos denudativos, las cuales se han agrupado en unidades desde el punto de vista morfogenético.

- **Ladera de Roca (LAR).** La morfología de esta unidad corresponde a una zona de pendiente plana a suavemente inclinada. Esta constituida por arcillolitas abigarradas de color gris a vinotinto, friables, meteorizadas y areniscas arcillosas, laminadas en sectores presenta estratificación cruzada, de color amarillo a morado, grano fino, friables, meteorizados; En esta unidad se aprecian procesos de erosión laminar y en surcos producto de la acción del agua por escorrentía superficial.

- **Ladera Coluvial (LC).** Se encuentra manifiesta en la parte norte del barrio San Cristóbal Sur sobre la parte posterior de las viviendas de la Transversal 9E (lotes 33 a 42). Su morfología se caracteriza por tener pendiente suave a moderadamente inclinada; está entallada por materiales heterogéneos de tamaño variado (bloques y cantos), subangulares embebidos en matriz arcillo-arenosa, que suprayacen capas de arcillolitas grisáceas a vinotinto, friables y areniscas arcillosas de grano fino, color amarillento a vinotinto, laminadas y altamente meteorizadas. En esta unidad no se aprecian procesos de remoción en masa que afecten la estabilidad de la ladera. El régimen de agua presente es subsuperficial proveniente de aguas lluvias.

- **Ladera Coluvial Reciente (LC1).** Domina la parte baja del barrio desde la carretera oriente (sitio donde se construyo un muro de contención para estabilizar la calzada asfáltica) hasta el limite con la fabrica de ladrillos La Gaitana. La morfología de esta unidad está configurada por pendientes moderadamente inclinadas; está constituida por materiales heterogéneos de tamaño variado (gravas y cantos), subangulares embebidos en matriz arcillo arenosa que suprayacen discordantemente una alternancia de arcillolitas abigarradas de color gris a vinotinto, friables, meteorizadas; con areniscas arcillosas.

- **Ladera Coluvial Intermedia (LC2).** Cobija una morfología de pendientes suave a moderadamente inclinadas; la unidad geomorfológica está constituida por materiales heterogéneos de tamaño variado (cantos y gravas), subangulares embebidos en matriz arcillo arenosa que cubren discordantemente una secuencia de arcillolitas abigarradas de color gris a vinotinto, friables, meteorizadas; con areniscas arcillosas, de grano fino meteorizadas, de color amarillo a morado, friables. El proceso morfodinámico más relevante es la reptación y deslizamientos traslacionales, los principales agentes modeladores son la infiltración subsuperficial de aguas lluvias.

- **Ladera de Suelo Residual y Relleno Antrópico (LSF).** Esta unidad se presenta en la zona occidental de la Transversal 9 Este, costado posterior de los lotes 22 a 27. Morfológicamente se caracteriza por una zona de pendiente moderadamente inclinada; esta constituida por suelo residual cubierto por relleno de material de excavación de carácter arcilloso, combinado con basuras; se presenta flujo de suelos, el proceso de flujo de comprende el suelo residual y el relleno antrópico con espesor que llega hasta los dos metros y cincuenta centímetros (2.50 m).

- **Ladera Antrópica (LAN).** Su mayor exposición se aprecia en la margen izquierda de la quebrada Triángulo parte baja de la carretera oriente; de morfología moderada a fuertemente inclinada. Esta constituida por un deposito de relleno actual de materiales de excavación de cantos, bloques y materiales finos y basuras sin reconformar adecuadamente; sobre esta unidad se aprecian procesos incipientes de remoción en masa causados por rellenos inadecuados de materiales de excavación y por aguas superficiales (lluvias) y la morfología de fuerte pendiente que pueden desencadenar en movimientos de gran magnitud; la estabilidad de las laderas esta condicionada a la presencia de materiales heterogéneos de forma angular a subangular.

- **Ladera de Relleno Antrópico (LAN1).** Se encuentra ubicada en el sector comprendido entre la margen derecha de la quebrada Triángulo y la carretera oriente; esta conformada por material de excavación de cantos, bloques y materiales finos, combinados con basuras sin reconformar adecuadamente, morfológicamente se caracteriza por una zona de pendiente moderadamente inclinada.

3.3.2 Inventario de Procesos Actuales de Movimientos en Masa

El inventario de movimientos en masa permite identificar los factores (exógenos y endógenos) que caracterizan la ocurrencia de los fenómenos de remoción en masa (FRM), y para comparar y establecer las condiciones bajo las cuales ocurren éstos. Además es soporte fundamental para la evaluación de la amenaza, porque despliega la localización de un tipo particular de problema de inestabilidad y, provee información histórica y cartográfica de los eventos antiguos (cuando se tienen) y actuales.

El inventario de procesos actuales contempla la cartografía de deslizamientos compuestos, rotacionales y traslacionales, flujos de tierra y reptación de laderas, adicionalmente a los fenómenos de remoción en masa (FRM), se contemplaron los escarpes en la adecuación de viviendas.

El mayor porcentaje de problemas de inestabilidad corresponde a los deslizamientos traslacionales (DT) con un 85% (equivalente a 5 cuerpos) y por un flujo de tierra (FT) con 15% (1 cuerpo).

3.4 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

El proceso de caracterización geotécnica se inició con el reconocimiento de los fenómenos de inestabilidad, las características topográficas y la información geológica y geomorfológica de la zona en estudio. Estableciéndose posteriormente, el plan de trabajo para la exploración del subsuelo, dirigida a la determinación de los parámetros geomecánicos para los depósitos y macizos rocosos.

La zona en estudio se encuentra afectada por movimientos superficiales de carácter traslacional, que involucran materiales de relleno heterogéneo con basuras y un espesor de material residual, producto de la alteración de la arcillolita de la formación Bogotá. La tasa de los movimientos actual es bastante lenta, sin embargo, se conoce de deslizamientos antiguos traslacionales que ocurrieron muy rápido y afectaron la estructura de la carretera de oriente. Por esta razón, se construyó un muro que colapsó al poco tiempo de construido, posteriormente se realizó un segundo muro con mejores características estructurales y una altura de 4.0 metros, soportando los empujes de los depósitos gravitacionales y la estructura de la vía. Este muro actualmente presenta algunas fisuras, principalmente en donde existen cambios bruscos de dirección y las juntas de dilatación. Parte de él colapsó recientemente, afectando una zona considerable y la estabilidad de una casa, que finalmente se demolió y se encuentra en proceso de reubicación (lote 19).

En la parte alta del talud donde se encuentran ubicadas las casas de la carretera de oriente, se observó que el sistema de alcantarillado con tubos de gres, provenientes de las viviendas localizadas en los lotes 1 a 21 en su gran mayoría presentan fugas, formando empozamientos y filtraciones de agua en el subsuelo. El sistema de alcantarillado combinado (lluvias y sanitarias), descarga directamente en la parte media de la ladera, sin ningún tipo de tratamiento.

3.4.1. Exploración del Subsuelo

Basados en las características de la zona, definidas por depósitos gravitacionales de suelos residuales y antrópicos que cubren los macizos rocosos, se programó la exploración del subsuelo. Con el propósito de identificar y caracterizar la distribución subsuperficial de los materiales débiles que afectan el movimiento del terreno, así como las formaciones más resistentes que delimitan la extensión de la zona de falla. Estableciéndose parámetros geotécnicos y la profundidad a la cual se encuentra la roca.

Todo este conjunto reveló la necesidad de formular un plan de trabajo mixto, que conjugara la exploración directa mediante trincheras (columnas estratigráficas), sondeos con barrenos manuales y la prospección con sondeos eléctricos verticales. Se levanto una (1) columna estratigráfica en toda la zona, tres sondeos eléctricos verticales SEVs y catorce (14) perforaciones que cobijaron no sólo los principales cuerpos de deslizamiento, sino el contexto completo de las unidades geomorfológicas y de los materiales que constituyen la secuencia estratigráfica.

- **Perforaciones.** Las perforaciones se llevaron a cabo con equipo manual hasta el contacto con el sustrato rocoso; realizando ensayos de penetración estándar en los diferentes horizontes. La toma de muestras se realizó con muestreadores de pared delgada (tubo shelby) bien en los cambios de material o en donde se considerara pertinente. Paralelo con el avance se adelantaron ensayos de penetración estándar (SPT), en los diferentes horizontes, si el registro así lo indicaba. Esta prueba in situ sirvió de soporte para la caracterización geomecánica del cuaternario.

En la secuencia estratigráfica de cada perforación, se destaca el tipo de material interceptado, sus características texturales y físico mecánicas. En los perfiles estratigráficos se observa la variación de las propiedades de resistencia con la profundidad y las propiedades índice de los suelos.

Sondeos Eléctricos Verticales SEVs. Con el fin de interpretar el tipo de material presente y su espesor, se realizaron tres (3) sondeos eléctricos verticales, los cuales ofrecieron información a profundidades mayores a las alcanzadas en las demás perforaciones.

Los sondeos eléctricos verticales, se realizaron sobre un relleno de material de escombros mezclados con basuras, los cuales forman parte de la ladera de la Quebrada Triángulo **y** se obtuvieron registros de resistividades los cuales fueron interpretados obteniendo los siguientes resultados:

- En el **SEV 1** se observa una secuencia litoestratigráfica conformada en su parte superior por un nivel de relleno de materiales de construcción mezclados con basuras, plásticos, frascos, etc., con un espesor estimado de 8.10 metros; luego se encuentra una alternancia de arcillolitas grisáceas y areniscas arcillosas registrando valores de resistividad de 35.1 a 43.5 Ohm-m, con un espesor de 9.30 metros; finalmente se registra un nivel de arcillolitas, con valores de resistividad de 20.8 a 23.1 Ohm-m y un espesor que supera los veinte metros**.**

- El **SEV 2** realizado con una separación aproximada de quince (15) metros con respecto al SEV 1, presenta en su parte superior un perfil de relleno de materiales de construcción mezclados con basuras, plásticos, frascos, etc., con un espesor de 7.20 metros aproximadamente y valores de

resistividad de 17.4 a 84.5 Ohm-m; A partir de este nivel se aprecia una alternancia de arcillolitas grisáceas y areniscas arcillosas, con un espesor superior a 13.70 metros y valores de resistividad los cuales oscilan entre 21.1 y 36.5 Ohm-m.

- El **SEV 3** realizado con una separación aproximada de dieciocho (18) metros con respecto al SEV 2, registra un nivel de relleno de materiales de construcción mezclados con basuras, plásticos, frascos, etc., con un espesor de 5.90 metros y valores de resistividad de 17.9 a 95.2 Ohm-m; A continuación se presenta la alternancia de arcillolitas grisáceas y areniscas arcillosas de 12.3 a 26.9 Ohm-m de resistividad y un espesor que supera los 12 metros.

3.4.2 Ensayos de Laboratorio

El programa de ensayos se dirigió a la caracterización de los diferentes materiales, a la estimación de la resistencia al corte en ellos y a la clasificación del macizo rocoso. Por ello se decidió por una campaña de muestreo sistemático de los principales depósitos y frentes de exposición del macizo a lo largo de la ladera y una revisión de los mecanismos de falla.

El programa para los horizontes de suelo agrupa pruebas de clasificación y ensayos de resistencia al corte como compresión inconfinada, penetrómetro de laboratorio y corte directo.

Con base en los perfiles estratigráficos obtenidos en las perforaciones de campo, se elaboraron los perfiles típicos de la zona de estudio, los cuales presentan en general las siguientes características:

En la base se encuentra una arcillolita abigarrada de consistencia relativamente dura y en el contacto se encuentra el material producto de la degradación de la arcillolita, que permite el deslizamiento de los materiales superficiales con facilidad. Sobreyacen a este material sedimentos poco consolidados formados por arcillas y depósitos de material arcilloso heterogéneo de relleno con basuras y detritos de demolición, que sirven de matriz a fragmentos ocasionales de areniscas y bloques de roca.

La clasificación de los materiales y la variación de sus propiedades con la profundidad se describe para las siguientes partes de la zona de estudio:

Materiales varios de relleno, compuesto por detritos de demolición, escombros y basuras, suelto y fisurado por raíces. Clasifica por el Sistema Unificado como OH, CH y SM, presenta límites líquidos que oscilan entre 35 y 48%, con índices de plasticidad del orden de 20%. El índice de consistencia presenta valores mínimos de 0.8 y máximos de 1.9.

Tanto los perfiles de suelo residual como coluvial, son principalmente arcillosos de baja plasticidad, con porcentajes de humedad entre 10% y 26%, e intervalos estrechos del índice de plasticidad (desde 20% hasta 32%). El peso unitario posee poca variación y se ubica en un promedio de 2.1 t/m^3 con una desviación estándar de 1.5 t/ m^3 (equivalente al 7% del promedio).

De los reportes de corte directo, se aprecia que los horizontes de suelo residual poseen ángulos de fricción pico en el intervalo $20° < \phi < 23°$, con cohesiones inferiores a 2.6 t/m^3. Los parámetros de resistencia residual alcanzan un máximo de 21 para ϕ'_{res} y 0.7 t/m^2 para c'_{res}.

La caracterización del material rocoso se llevó a cabo sobre muestras irregulares de bloque, que fueron sometidas a pruebas índice de peso unitario, y carga puntual, y sobre muestras regulares de forma cilíndrica a las que se les practicó comprensión inconfinada. Los testigos ensayados correspondieron a

unidades de roca de los principales bancos. Así entonces, se ensayaron arcillolitas de consistencia dura. El material remoldeado clasifica como arcilla de baja plasticidad CL.

3.4.3 Pruebas de Campo

La diversidad y heterogeneidad de los depósitos, producto de los fenómenos de remoción en masa, de la degradación del sustrato rocoso y de la acción del hombre (rellenos), condicionan la representatividad de los datos de laboratorio, máxime cuando se toma en consideración la amplia superficie de estudio. Dada esta dificultad, se acudió al ensayo de penetración estándar, con el fin de complementar la caracterización geotécnica de dichos materiales.

Una vez obtenidos los registros de campo, la información fue sometida a validación y homogeneización. Los valores de N (numero de golpes) fueron corregidos por confinamiento y nivel de energía; es decir se normalizaron a un esfuerzo de 100 kPa y a una tasa efectiva de energía de 60%. Todo ello con el ánimo de estimar los parámetros efectivos de resistencia con el SPT, tal como lo propone González (1997).

Las arcillolitas de color gris claro a morado, meteorizadas, altamente plásticas, erodables y muy susceptibles a los agentes meteóricos. Con espesor de hasta 17.50 metros, constituyen el principal manto lítico en las laderas y presentan como características físico-mecánicas las siguientes:

Peso Unitario	2.2 ton/m^3
Humedad Natural	7% - 15%
Ángulo de Fricción Básica	37°
Cohesión	2 ton/m^2

Los depósitos de ladera recientes, están compuestos por suelos arcillosos de baja plasticidad y de consistencia blanda-media ($0.4<=c_u<=5.0$ ton/m^2), tienen espesores máximos de 1.1 metros aunque el promedio oscila cerca a 0.5 metros y los rellenos heterogéneos con un espesor máximo de exposición de 6.6 m., están conformados por materiales heterogéneos, embebidos en matriz arcillosa de baja plasticidad, su ubicación espacial es aleatoria.

3.5 ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

El estudio hidrológico tiene como objetivos los siguientes:

- Describir el régimen temporal y espacial de la precipitación media anual,
- Determinar los aguaceros de corta duración
- Determinar la influencia de la precipitación como agente detonante de los fenómenos de remoción en masa.
- Determinar la magnitud de la lluvia critica y su periodo de retorno que dispara deslizamientos.

El área de estudio se encuentra localizada en la cuenca de montaña del Río San Cristóbal, donde el río presenta un cauce torrentoso, el barrio San Cristóbal Sur, se encuentran dentro del área aportante al Río; la zona presenta una precipitación muy fuerte y gracias a la cobertura vegetal existente y a las pendientes fuertes de las laderas, casi toda se convierte en escorrentía natural generando tiempos de concentración muy bajos para la cuenca a la altura del cruce con la vía Oriente.

Para el análisis hidrológico se estudiará solamente el elemento climatológico precipitación, ya que es el principal agente de la erosión hídrica y uno de los factores detonantes de los fenómenos de remoción en masa.

Con el objetivo de establecer el comportamiento climático de la región se trabajó con información de tres estaciones cercanas al área del proyecto, dos de ellas del IDEAM y la más cercana de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. En la **Tabla 1** se presentan las características de cada una de las estaciones utilizadas.

TABLA 1. CARACTERISTICAS DE LAS ESTACIONES UTILIZADAS

CODIGO	NOMBRE	TIPO	PERIODO DE REGISTRO	ELEVACIÓN (MSNM)	COORDENADAS		CUERPO DE AGUA
					N	E	
2120524	VITELMA	CO-EAAB	1947-1997	2.800	997.540	1.000.600	RIO SAN CRISTOBAL
2120558	VENADO DE ORO	CO-IDEAM	1979-1999	2.725	1.000.105	1.001.581	BOGOTA
2120572	SAN JORGE	CO-IDEAM	1979-1999	2.900	990.160	987.380	SOACHA

CO = Estación climatológica ordinaria

- **Precipitación.** En la zona de estudio se presenta un régimen de precipitación caracterizado por lluvias de mediana intensidad y larga duración, debido a la localización del proyecto en un área cercana a la divisoria de aguas del sector sur-oriental de Santa Fe de Bogotá y a la influencia del ZCIT. Lo cual obedece a la formación de cinturones de nubes generados por la condensación del aire húmedo procedente de la Amazonia, durante el movimiento regular de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT: sector de la parte tropical donde convergen las masas de aire o corrientes de aire húmedo provenientes de los hemisferios norte y sur), y de otro lado por las Ondas del Este, procedentes del océano Atlántico Venezolano y noreste colombiano (Catatumbo), lo que sucede especialmente hacia los meses de Julio, Agosto y Septiembre.

Dicha particularidad permite que exista una continuidad entre el invierno provocado por la ZCIT cuando baja en Abril-Mayo al Ecuador y cuando regresa hacia los meses de Octubre y Noviembre al Atlántico, generando en la zona andina un **Régimen bimodal** de precipitación.

El comportamiento bimodal de la lluvia en el sector se establece por un primer periodo lluvioso comprendido entre los meses de Marzo, Abril y Mayo, siendo Abril el mes más lluvioso del período con 116.7 y 110.5 mm de precipitación media mensual multianual para las estaciones Venado de Oro y Vitelma respectivamente. Los meses de Octubre y Noviembre corresponden al segundo período de lluvias, siendo el mes de Noviembre el más extremo con 137.3 y 124.4 mm de precipitación media mensual multianual para las mismas estaciones. El periodo más seco se vive durante los meses de Diciembre a Febrero siendo Febrero el de menor precipitación media mensual multianual con 61.6 mm para la estación Venado de Oro y 48.6 mm para la estación Vitelma.

La estación más cercana a la zona de estudio es la estación de Vitelma perteneciente a la EAAB. Espacialmente se puede observar que la zona más lluviosa se localiza al norte siendo la estación Venado de Oro la que presenta mayores valores de precipitación con valores promedio anuales de 1093.5 mm, en la estación de Vitelma se obtienen valores de 955 mm de precipitación media anual, en la zona suroccidental representada por la estación San Jorge la precipitación promedio multianual alcanza un valor de 725.8 mm.

- **Relación de Precipitación Crítica – Duración que Disparan Movimientos en masa.** Para determinar la relación precipitación crítica – duración se utilizó el "Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá" (INGEOCIM – UPES, 1998), realizado por la firma INGEOCIM Ltda para la Unidad de Atención y Prevención de Desastres (UPES) de Santafé de Bogotá.

En este estudio se encontró que la ciudad de Santafé de Bogotá se puede dividir en dos zonas a partir de la lluvia crítica y de la duración con las siguientes ecuaciones:

Zona Suroccidental	Llcrit = 0.3609*Llan	
Cerros Orientales	Llcrit = 12.6326+0.1814*Llan	
Donde:	Llcrit = Lluvia crítica en mm	Llan = Lluvia anual en mm
Zona Suroccidental	$D = 3.2829*Llcrit^{0.4157}$	D = Duración en días
Cerros Orientales	D = 0.04923*Llcrit	

El sector de estudio corresponde a la zona de cerros orientales obteniéndose una precipitación crítica de 210.81 mm y una duración de 10.4 días. El análisis de registro multianual mensual, utilizando la Estación Venado de Oro, para un valor de precipitación media anual de 210.81 mm se encontró un periodo de retorno de lluvia crítica de 12 años, que corresponde a una probabilidad anual de 8%.

3.6 INVENTARIO DE VIVIENDAS

Se realizó dentro del estudio, un inventario de viviendas para la evaluación de la vulnerabilidad que consistió en el diligenciamiento del formato de inventario. La información contemplada en el formato incluye, entre otros, datos sobre: área del lote, área construida, valor estimado de los bienes y enseres, valor del predio, estado actual de la construcción, sistema estructural, daños, ingresos familiares y cobertura de servicios. Todos tendientes a establecer la exposición y la resistencia de las construcciones y la capacidad de reacción de los habitantes en caso de presentarse algún proceso de inestabilidad que afecte sus viviendas.

El inventario contempló 42 predios, de los cuales el 35% ocupan las áreas de mayor percepción de riesgo. La totalidad de las viviendas está integrada por construcciones de uno y dos pisos, bien con sistema estructural de muros divisorios ó prefabricadas. La cobertura de servicios públicos básicos es aceptable, reflejo de ello es que todas las viviendas poseen servicio luz, sólo el 14% de las residencias carecen de agua y el 26% de las viviendas no poseen servicio de alcantarillado; además el 100% de las unidades residenciales no cuentan con servicio de gas y el 26% no tienen línea telefónica.

4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE AMENAZA ACTUAL

4.1 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

La delimitación de las zonas homogéneas, se tomaron como base en las unidades geomorfológicas que condensan unidades de ladera con materiales similares, condiciones de drenaje, tipos de procesos y morfometría semejante. En este sentido, su delimitación se enfocó a la determinación de las propiedades físico-mecánicas de los materiales propios de cada una. Para ello no sólo se contó con los resultados de los ensayos de laboratorio y las pruebas in situ, sino que además se realizaron análisis retrospectivos en los principales cuerpos de deslizamiento, con el fin de conocer los parámetros movilizados. El proceso involucró, en algunos casos, la extrapolación de la información condensada en ciertos sectores hacia otros donde la investigación geotécnica fue deficiente, labor, que se facilitó gracias a la demarcación previa de las unidades geomorfológicas.

- **LAR.** Ladera de arcillolitas y arenisca arcillosas de plasticidad media a alta, meteorizadas.
- **LAN**. Laderas de escombros. En esta unidad presenta procesos potenciales de deslizamientos de tipo traslacional y rotacionales con espesores entre 1 y 8.10 metros sobre superficies de falla inclinada desde 30º hasta 51º. El peso unitario oscila entre 1.92 y 2.35 Ton/m^3, y los parámetros de resistencia promedios en estos suelos son: $c' = 0.4$ Ton/m^2 y $\phi' = 30º$ (análisis retrospectivo).
- **LAN1**. Ladera de Relleno Antrópico, esta conformada por material de excavación de cantos, bloques y materiales finos, combinados con basuras sin reconformar adecuadamente, morfológicamente se caracteriza por una zona de pendiente moderadamente inclinada, en esta unidad no se aprecian procesos de remoción en masa.
- **LC**. Laderas coluvial constituida por cantos y bloques subangulares embebidas en matriz arcillo-arenosa de baja plasticidad, peso unitario entre 2.19 Ton/m^3, índice de plasticidad promedio entre 15% y 24% y espesores estimados de 1.5 a 2.5 m. donde se aprecian procesos incipientes de reptación. Los parámetros de resistencia promedios en estos suelos son: $0.09 \geq c' \leq 0.17$ Ton/m^2 y $18.5º \geq \phi' \leq 28.9º$ (SPT).
- **LC1**. Ladera coluvial reciente constituida por gravas y cantos subangulares en matriz arcillo-limosa con plasticidad baja de alrededor de 25%, humedad natural entre 13 y 24%. El depósito muestra espesores entre 1.3 y 7.20 m. Y procesos activos y potenciales de inestabilidad de tipo traslacionales y rotacionales. Los parámetros de resistencia son: $c' = 0.17$ Ton/m^2 y $18.5º \geq \phi' \leq 28.9º$ (SPT).
- **LC2**. Ladera Coluvial Intermedia, constituida por materiales heterogéneos de tamaño variado (cantos y gravas), subangulares embebidos en matriz arcillo arenosa que cubren discordantemente una secuencia de arcillolitas y areniscas arcillosas, de grano fino, de color amarillo a morado. El proceso morfodinámico más relevante es la reptación y deslizamientos traslacionales. Los parámetros de resistencia son: $c' = 0.17$ Ton/m^2 y $18.5º \geq \phi' \leq 28.9º$ (SPT).
- **LSF.** Ladera conformada por suelo residual cubierto por rellenos de material de excavación de carácter arcilloso combinado con basuras se presenta flujos de suelos sobre planos cuya inclinación varía entre 55º y 59º. El espesor del depósito oscila entre 2 y 2.50 m y los parámetros de resistencia son: $c' = 1.34$ Ton/m^2 y $\phi' = 20º$ (ensayo de corte directo).

4.2 ANALISIS DE ESTABILIDAD

El análisis de estabilidad se enfocó al análisis de los modos probables de falla, se modelo con la ayuda de los métodos de equilibrio limite para cada zona homogénea los modos de falla observados en campo (y registrados en el inventario de procesos) en el cuaternario así: deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales y flujos de tierra.

En los modelos estáticos se realizaron diferentes "corridas" con el fin de estructurar un análisis paramétrico y de sensibilidad a partir de los valores mecánicos obtenidos en el laboratorio y de las pruebas de campo, y de esta manera tener una percepción tanto del espectro probable de variación de parámetros de resistencia, como del grado de estabilidad.

- **Análisis Cinemático**. en el área de estudio no se realizo el análisis cinemático del macizo rocoso, debido a que no se aprecian afloramientos de roca donde se aprecien las discontinuidades (diaclasas, planos de estratificación), por lo tanto solo se realizo el análisis de estabilidad para las laderas sobre materiales recientes, como se indica en el siguiente capitulo.

- **Análisis Estático**. Con este tópico se pretende, para los taludes potencialmente inestables, más que obtener valores absolutos del factor de seguridad para condiciones unitemporales, como puede ser el caso de un talud seco sin sismo, ilustrar el espectro de posibilidades para el que aquéllos pueden mantenerse estables o fallar.

El significado del factor de seguridad tiene mayor relevancia cuando se expresa en términos de probabilidad de falla, que cuando se deja como un valor numérico sin dar una explicación física. De otro lado, el factor de seguridad reportado en estudios geotécnicos está ligado normalmente con las condiciones más críticas, no siempre válidas, y no con las más probables a las que podría someterse una ladera, máxime si tiene en cuenta la difícil y dispendiosa tarea de obtenerlas.

Bajo los lineamientos anteriores, se definieron 8 secciones de análisis, sobre las cuales se evaluaron las laderas en la totalidad de las zonas homogéneas de acuerdo con la probable dirección de movilización de las masas potencialmente inestables. Se asume entonces, que el grado de estabilidad de cada una de ellas es equivalente para la región (zona homogénea) a la cual pertenece.

Los mecanismos son falla traslacional superficial y flujos de tierra, donde los materiales involucrados son: depósitos coluviales arcillosos (Qc, Qc1, Qft), suelos residuales y rellenos antrópicos. La profundidad máxima de los movimientos no supera los 5.20 m y su movilización se realiza cerca al contacto con la roca, sobre planos de rotura que oscilan entre 16.3° y 67.7°. Para el análisis estático de las laderas se adoptó como método de evaluación el Equilibrio límite, específicamente la propuesta de Janbu, y como herramienta de trabajo el programa PCSTABLE 6 (1997).

Definidos los tipos de falla por estudiar, el siguiente paso consistió en formular un análisis paramétrico y de sensibilidad para cada uno de los taludes en estudio según los principales mecanismos (i. e. Falla traslacional y rotacional). Es decir, para los casos que involucraban deslizamientos activos, estabilizados y potenciales avanzados, se determinaron los valores de cohesión y del ángulo de fricción movilizados en la falla, que permitieran obtener un factor de seguridad equivalente a la unidad, en este sentido se tomaron como puntos de partida los parámetros obtenidos durante la investigación geotécnica. Los registros que cumplieron con tal condición se adoptaron como valores promedio.

4.3 EVALUACIÓN DE AMENAZA ACTUAL

La estimación de la amenaza, entendida como probabilidad de ocurrencia de un evento en un espacio y tiempo determinado con consecuencias negativas tanto para la comunidad, como para animales y medio ambiente en general, puede hacerse mediante análisis cuantitativo o por métodos puramente empíricos (cualitativos). En el primer caso, la amenaza es función de múltiples factores que controlan la estabilidad de una ladera, ya sean internos o externos, los cuales están expresados como variables aleatorias, debido a que no son parámetros constantes y en ocasiones son desconocidos. En el segundo caso, los componentes se evalúan subjetivamente y se asignan rangos de intensidad.

En este estudio se empleo el método cuantitativo (técnica determinística) con el fin de evaluar la amenaza. Para ello se siguieron los lineamientos de probabilidad de falla presentados por Hoek (1996) en el curso teórico - práctico “Decisiones prácticas y riesgos aceptables en ingeniería de rocas” y que se apoya en el planteamiento de aproximación probabilística del Método de Estimación de Punto (PEM) propuesto por Rosenblueth (1975).

La evaluación de amenaza requirió como insumos: conocer los mecanismos de falla, y las funciones de probabilidad de las variables involucradas. Dichos elementos ligados con el método de análisis de estabilidad más conveniente, permiten determinar las curvas de probabilidad para cada uno de los taludes en estudio.

Si bien el análisis en principio se realizó para los casos individuales, simulando dos periodos de trabajo, uno actual y otro a 10 años, la probabilidad condicional de falla obtenida en cada uno fue elemento

fundamental en la definición de las curvas de probabilidad de falla de la zona de estudio por mecanismo de falla. Estas gráficas condujeron a la elaboración de los Mapas de Amenaza.

Para determinar el área de amenaza, se calculó la posible distancia de viaje de los materiales involucrados en el movimiento, distancia determinada a partir del patrón geométrico de los taludes estudiados (mismas secciones) y del proceso de inestabilidad aplicando las ecuaciones presentadas por Finlay et al (1999). Esta ultima distancia fue sumada a los limites obtenidos mediante el análisis de estabilidad de taludes.

4.3.1 Variables Aleatorias

Las variables aleatorias para los mecanismos de rotura seleccionados, están relacionadas con los cambios espaciales de los materiales geológicos, parámetros de resistencia al corte; y con las condiciones ambientales: aceleración del terreno para un sismo dado y el nivel del agua.

Cada variable aleatoria fue descrita por una función de probabilidad a partir de una media (μ_x) y la desviación estándar (σ_x). Así, para los coeficientes de resistencia, c, ϕ, las medias fueron tomadas del análisis de sensibilidad. En este sentido se adoptaron como valores promedio los registros del escenario probable actual para las condiciones de agua y sismo en cada unidad de ladera estudiada. Por su parte, la desviación estándar se definió con base en análisis estadísticos siendo de 0.09 Ton/m^2 para el coeficiente de cohesión y 7.35º para el ángulo de fricción en todos los materiales y para el ángulo de fricción se obtuvo una desviación estándar de 7.2 en la sección A-A y de 7.35 en las demás secciones en todos los materiales.

4.3.2 Análisis de Resultados y Zonificación

Fijos los comportamientos de las fuentes incertidumbre, las funciones de probabilidad de las variables se constituyeron en elementos fundamentales para la determinación de la función de probabilidad de falla de cada uno de los taludes potencialmente inestables estudiados en el numeral anterior.

En este sentido se realizaron múltiples corridas, contemplando para el método de Hoek (1996) sólo los valores de las variables en el intervalo $\mu_x - \sigma_x$ y $\mu_x + \sigma_{x,}$, con el fin de determinar el factor de seguridad (en cada caso) o para escenarios extremos de los parámetros de resistencia: C_{min}, ϕ_{min}, C_{max}, ϕ_{max}, entre otros; y de acuerdo con la acción individual o conjunta de los detonantes y para el tiempo de exposición considerado, si se trata del método de Rosenblueth.

De los resultados obtenidos, se puede apreciar que la probabilidad de falla para la mayor parte de las laderas es alta (superior a 45%)**.**

Dichas laderas, predominantemente coluviales y de suelo residual cubierto por rellenos se disponen a lo largo del área sobre la cual fue fundado el barrio San Cristóbal Sur, lugar donde se hace necesario planificar su futuro desarrollo, el que se debe encaminar a restringir el uso de las mismas**,** como zona de urbanismo máxime si se observa que la probabilidad de falla para un periodo de 10 años, aumenta notablemente hacia áreas contiguas.

Con la ayuda de las curvas de relación de probabilidad de falla por tipo de fenómeno y por tiempo de exposición, y conocida la composición estratigráfica y geotécnica de cada ladera de estudio y las distancias de viaje de las masas potenciales, fue posible obtener algunos de los productos más importantes de este trabajo, los Mapas de Zonificación por Amenaza Actual y a 10 años.

En este sentido el área de estudio quedó dividida en tres categorías, catalogadas como de amenaza: baja, media y alta, a partir de la probabilidad de falla, como se indica en la siguiente Tabla.

Factor de Seguridad (FS)	Probabilidad de Falla (Pf)	Categoría de Amenaza
> 1.6	<0.09	Baja
1.6 – 1	0.09 – 0.45	Media
< 1	>0.45	Alta

Los sectores con amenaza alta, se localizan al suroriente de la zona e involucra las viviendas 1 y 2 y la parte posterior de las viviendas 21 a 25, en esta zona se ve afectadas directamente las viviendas 18 y 21, los lotes sin construcción demarcados con el No 19 y 20 y el solar de las viviendas 22 a 25; las zonas de amenaza baja se localizan hacia la zona aledaña a la fabrica Gaitana y la carretera oriente viviendas delimitadas desde la 6 a 9 y hacia el extremo noroccidental del área de estudio, viviendas 30 al 42; la zona de amenaza media comprende la mayor parte de la zona objeto del estudio y dentro de ellas se involucran las viviendas 3 a 5, 10 a 17 y del 22 a 29.

No obstante, para el periodo de exposición de 10 años, la condición de amenaza cambia en algunos sectores especialmente en la parte central de la zona, pero no involucra mas viviendas.

5 VULNERABILIDAD Y RIESGO ACTUAL

Se entiende por vulnerabilidad, la relación existente entre el grado de exposición de los elementos expuestos (ubicación con respecto al fenómeno amenazante) y la capacidad de respuesta (resistencia estructural, económica, y conocimiento de la amenaza) por parte de los mismos (infraestructura, medio ambiente y comunidad) ante la eventual ocurrencia de un evento destructor.

Para su evaluación se utilizo la formula que a continuación se presenta, propuesta por INGEOCIM, 1998;

$$V = f(E/R)$$

Donde,

V : Vulnerabilidad
R : Resistencia del elemento expuesto ante la ocurrencia de un evento
E : Grado de exposición del elemento.

La evaluación de vulnerabilidad tiene como objetivo analizar la respuesta de los elementos amenazados frente a cualquier evento, en especial a los diferentes fenómenos de remoción en masa presentes en la zona de estudio y, junto con la evaluación de amenaza, plantear el (los) tratamiento(s) por adelantar. Dentro de este contexto, por ejemplo, si las viviendas se encuentran en zona de alta amenaza pero los elementos no se localizan en la zona de influencia o, se encuentran expuestos y gracias a su resistencia no sufren daño alguno, puede optarse por convivir con el problema; en caso contrario, y dependiendo de la gravedad de las consecuencias, se debe recurrir a obras de estabilización o a programas de reubicación.

El estudio de la vulnerabilidad física de los elementos expuestos, en este caso las viviendas, se realizó teniendo como fuente de información básica el "Formulario para la evaluación de daños en edificaciones en caso de deslizamiento". El citado formulario indaga sobre diferentes tópicos tendientes a establecer parámetros útiles para la evaluación tanto de la vulnerabilidad física como de la social. Para la primera, el análisis se realizó de manera semicuantitativa con adaptaciones específicas para este proyecto (más extrapolables para otros ámbitos) a la metodología propuesta por Leone (1996). Las adaptaciones se refieren a la resistencia de los elementos (tipología de viviendas), a la asignación del grado de exposición (a partir de las longitudes de viaje de las masas potencialmente inestables Finlay et al, 1999) y a la matriz de daño, elaborada con base en las anteriores. Para la segunda, la vulnerabilidad social, el análisis es apenas cualitativo y se basa en la información de los formularios como: el nivel de ingresos, la percepción de peligro, las recomendaciones para medidas urgentes, la cobertura de los servicios públicos y el índice de carencia de vivienda.

La vulnerabilidad física de las viviendas ubicadas en la zona de estudio, se puede evaluar tomando en consideración aspectos sobre tipología de las viviendas, la cobertura de los servicios públicos y la calidad de la construcción, en este ultimo aspecto, se puede hablar incluso del mantenimiento de la construcción.

Con fines prácticos, para la elaboración de este trabajo, se optó por evaluar la vulnerabilidad de las viviendas a partir del grado de exposición de estas ante el fenómeno amenazante (índice de exposición, IE) y del comportamiento de las construcciones en tal circunstancia (índice de resistencia, IR), siguiendo la siguiente metodología:

- **Índice de Exposición (IE).** Esta variable cobra importancia dentro del análisis de vulnerabilidad física si se considera que si y solo si los elementos se encuentran dentro de la zona de influencia de los eventos (es decir, expuestos), pueden ser atacados por ellos.

La determinación del índice de resistencia involucro conocer el tipo de fenómeno a estudiar y su distribución espacial; en este sentido, todo movimiento está compuesto por tres grandes zonas que son: La Zona de Influencia Directa (ZID) definida como el área en la que tiene lugar el movimiento, la Zona de Influencia Indirecta (ZII) que corresponde a aquélla que puede ser invadido o afectado por la masa deslizada y una última denominada Zona de Influencia Nula (FZI), en donde no se espera ningún tipo de afectación.

De la evaluación geotécnica y con base en los diferentes fenómenos de remoción en masa que afectan los elementos físicos del barrio **(Inventario de procesos,** se determinaron las zonas de afectación directa (ZID) e Indirecta (ZII) y las no afectadas (FZI), para cada mecanismo, como se indica en el plano 6. El contacto de la primera zona fue definida gracias a las evidencias de campo; así para las laderas con posibilidad de deslizamiento rotacional o traslacional, se considero la proyección horizontal de la superficie critica de estabilidad.

El limite externo de la zona de influencia indirecta (ZII) se obtuvo con base en la distancia de viaje de las masas inestables. Ella fue determinada a partir del patrón geométrico de las laderas estudiadas, siguiendo los lineamientos presentados por Finlay et al (1999) y la propuesta formulada por Hoek (1996).

Con base en la localización de las viviendas dentro de las áreas de distribución espacial de los movimientos, se asigno el índice de exposición intentando considerar la magnitud de los eventos y su solicitación sobre los elementos teniendo en cuenta la superficie de contacto (SC) que un deslizamiento pudiera provocar sobre los muros, dado que la solicitación de este tipo de fenómenos corresponde a presiones laterales y, el volumen del material deslizado es un indicativo de la magnitud de estos procesos.

Los análisis efectuados permitieron determinar la afectación potencial de las viviendas de acuerdo a su ubicación dentro de la zona de influencia de los procesos de inestabilidad, de la siguiente manera:

Las viviendas localizadas en la ZID se tomó un valor SC = 0.75, ZII el valor SC = 0.35 a 0.45 y FZI un valor SC = 0.09.

- **Índice de Resistencia (IR).** En términos generales, la importancia de evaluar la resistencia radica en que a mayor resistencia de los elementos, la vulnerabilidad física es menor. Aunque la resistencia de la vivienda como conjunto está determinada por la de sus componentes, en el presente estudio, se estimó un comportamiento integral asociado a la clase de sistema estructural; no obstante lo anterior, éste es el reflejo, en alguna medida, de las partes.

Retomando la concepción de cualificar el comportamiento de las viviendas, integralmente éstas fueron discriminadas según el sistema estructural, la calidad de sus materiales y su calidad constructiva en:

Recuperación y Palafitos: Encierran viviendas construidas con sistemas estructurales muy precarios en madera y sin un correcto sistema de transición de cargas al suelo de fundación; en materiales como cartón, lata y madera; sin sistema de cimentación; con techos construidos en zinc, madera, lata, cartón y mixtos; la calidad se considera baja.

Prefabricados: Como su nombre lo indica, son viviendas modulares en concreto, de media a baja calidad constructiva cimentadas sobre placas delgadas del mismo material; la estructura del techo es en madera y su cubierta en teja de asbesto – cemento.

Vivienda en Mampostería: Contempla todas las viviendas de uno ó dos pisos, cuyos muros son en mampostería con diferentes tipos de elementos de amarre estructural, donde ellos hacen las veces de unidades de soporte. Con calidad constructiva que oscila desde alta hasta regular; la cubierta usualmente es de asbesto, cemento ó zinc.

Vivienda hasta dos niveles, de buena calidad de construcción con estructura. Estas unidades involucran sistemas aporticados con placas de entrepisos cuyos materiales de cubierta pueden ir desde la teja en asbesto – cemento hasta concreto.

El índice de resistencia utilizado para evaluar la vulnerabilidad se midió a partir de las componentes del sistema estructural de las viviendas como son: la cubierta, C, la estructura de techo, T, y el tipo de sistema estructural, SE**,** y el tipo de material constitutivo de cada

componente. Sin embargo, vale la pena mencionar que el mejor parámetro de resistencia debería obtenerse de ensayos in-situ sobre los componentes estructurales, pero este tratamiento elevaría el costo del estudio.

Los criterios de evaluación fueron adoptados en forma discreta para toda el área de estudio. Esto significa que la valoración de los parámetros involucrados se realizó discriminando tanto por el tipo de solicitud (FRM) como por la ubicación de la vivienda ante ella.

A las variables mencionadas se les asignó un grado de contribución a la resistencia, simulando que en todos los casos los cuerpos movidos ejercen presiones laterales, así:

Tipo de cubierta. Ésta puede aportar un 20% de la resistencia de la vivienda ante un fenómeno de remoción en masa. En el barrio San Cristóbal Sur predominan las cubiertas en teja y zinc, y en un menor porcentaje se encuentran las de asbesto cemento y de recuperación.

Estructura de techo. El material de la estructura de techo fue incluido como elemento aportante en un 20% de la resistencia total de la vivienda. La estructura de mayor predominio en San Cristóbal Sur es la de madera seguida de concreto reforzado.

Sistema Estructural. Otra de las variables involucradas es el tipo de sistema estructural, siendo éste el elemento considerado con mayor aporte, 60%.

El aporte de cada tipo de material para los componentes estructurales se realizo de forma cualitativa. Los valores fueron asignados entre 0 y 1 (de menor a mayor capacidad de respuesta), intentando calificar su contribución como elemento reductor de la energía cinética de las masas inestables.

Por último el índice de resistencia se definió a partir de la siguiente relación:

$$IR = 0.2*C + 0.2*T + 0.6*SE$$

Donde,

IR : Indice de resistencia
C : Valor asignado para tipo de cubierta
T : Valor asignado para tipo de estructura de techo
SE : Valor asignado para tipo de sistema estructural

- Intensidad e Índice de Daño (InD e ID). Los perjuicios que se producirían sobre las unidades, están condicionados por dos variables: el de exposición y el de resistencia; el primero involucra el tipo de evento (deslizamientos traslacionales o rotacionales, flujos, etc.), la localización de las viviendas con respecto al mismo y la solicitación que el proceso ejerza sobre los componentes; el segundo, la calidad, propiedades y atributos de las casas, que, como se ha expresado antes, se condensan en la tipología. La contribución de las variables ya expuestas se registra en la matriz de intensidad de daño. Esta intensidad se cuantifica desde Muy Baja (I), hasta Muy Alta (V) y se formula con un índice de daño (ID) que representa el porcentaje de destrozos en la vivienda.

- **Índice de Vulnerabilidad Física (IVF).** Con los índices de resistencia y exposición hallados anteriormente, se calculó la resistencia movilizada (RM) que es una expresión de los posibles daños provocados al elemento expuesto por un fenómeno, para lo cual se buscó una ecuación que cumpliera con las siguientes condiciones:

Cuando IE = 0, RM = 0.
Cuando IE = 1, RM = 1.
Para cualquier valor de IR e IE, $1 \geq RM \geq 0$.

Pueden existir innumerables funciones que cumplan con las anteriores condiciones, sin embargo para fines prácticos se adaptó la ecuación propuesta por Ingeocim (1998), reemplazando el índice de vulnerabilidad por deslizamiento, IVD, por la RM y el índice de vulnerabilidad física, IVF, por el índice de exposición, IE:

$$RM = [1-(IR)^{IE}]^{(1-IE)}$$

Donde,

RM: Resistencia movilizada.
IR : Índice de resistencia.
IE : Índice de exposición.

De esta manera, se estableció un paralelo entre la RM y la matriz de daño presentada por el DRM y que involucra el tipo y la magnitud del evento y la solicitación de los elementos, mediante la ecuación:

$$InD = 1+4*RM$$

En la que una InD = 1 (I), equivale a daños leves y una InD = 5 (V) que es la máxima, corresponde a daños severos.

Adicionalmente, y a partir de las descripciones de la Intensidad de daño del DRM se estableció el Índice de Daño, ID, que sería equivalente al Índice de Vulnerabilidad Física si la confiabilidad de los datos fuera del 100%. De acuerdo con las condiciones propias del presente estudio, se asumió que ésta es del 80%, lo cual indica que:

$$IVF = ID/CfF$$

donde:

CfF es el coeficiente de confiabilidad = 0.8

El índice de vulnerabilidad física calculado, muestra que mientras menor sea la resistencia de los elementos expuestos, la vulnerabilidad también lo será; el análisis de frecuencia de índice y la cualificación de la vulnerabilidad se realizo con base en los siguientes criterios:

IVF	Categoría de vulnerabilidad
0 – 0.12	Baja
0.12 – 0.4	Media
0.4 - 1	Alta

5.3 RIESGO ACTUAL

El riesgo incurrido en una zona o elemento, frente a una solicitud determinada, se puede expresar como el producto de la probabilidad de ocurrencia de la solicitud (amenaza actual-Pf), con el índice de vulnerabilidad de los elementos expuestos, sobre la confiabilidad de la información recolectada la cual fue asumida 0.8, en un rango de 0 a 1.

$$Riesgo = Pf * IVF/0.8$$

El índice de riesgo actual, IRA, corresponde a un valor entre 0 y 1, donde los menores niveles de riesgo son cantidades cercanas a cero. Si bien el intervalo de valores del IRA posee como límite superior la unidad, la pérdida de la mitad de una vivienda puede asumirse como crítica. Ello permitió concluir que los intervalos de categorización no podrían expresarse de manera similar a las de los índices anteriores, por lo tanto se adopto como intervalos de cualificación en indicado en la siguiente tabla.

IRA	Categoría de Riesgo Actual
< 0.01	Bajo
0.01 – 0.18	Medio
>0.18	Alto

En el área de estudio, se encontró que de las cuarenta viviendas y dos lotes sin construcción existentes, nueve se encuentran en alto riesgo, diecisiete en zona de riesgo medio y catorce en zona de riesgo bajo, los dos lotes sin construcción no se categorizan en zona de riesgo.

En aras de reducir la amenaza y/o la vulnerabilidad en el sector, se discutirá por zona, en el Capítulo 6, una serie de medidas tendientes a mitigar de esta manera el riesgo.

6. PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS CORRECTIVAS DEL RIESGO ACTUAL

Tal vez el mayor beneficio del análisis de riesgo actual radica en la formulación de un plan de acción que permita atenuar las consecuencias de los procesos de inestabilidad en los frentes de mayor peligro. Las obras, en consecuencia, pretenden estabilizar los movimientos o controlar los niveles de vulnerabilidad, bien disminuyendo las áreas de exposición o bien reforzando las unidades físicas.

La definición de riesgo, sin embargo, implica determinar explícitamente la eficiencia y eficacia de las alternativas en la reducción de la condición de amenaza y vulnerabilidad. El nivel de riesgo actual es alto, en algunos sectores, producto del grado de exposición de las viviendas; con el fin de minimizar el riesgo, se realizó el análisis de vulnerabilidad futura (con obras), en este caso se analizaron obras de mitigación como son: muros en gaviones, pilotes estabilizadores y obras de drenaje; las cuales controlan o

disminuyen la probabilidad de falla. Se recurrió a alternativas de reducción de la vulnerabilidad tales como la reubicación (disminución de la exposición) en última instancia. La intervención de las viviendas con el fin de aumentar su resistencia, no es viable pues éstos son bienes de carácter privado.

6.1 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS Y SISTEMAS DE DECISIÓN BAJO INCERTIDUMBRE

A partir de los resultados del mapa de riesgo, se consideró prioritario atender cinco sectores, ubicados a lo largo de las laderas del área de estudio. El primero abarca el costado nororiental del barrio, donde se ha dispuesto una zona de rellenos de escombros, sobre la margen izquierda de la quebrada Triángulo, sector que se halla expuesto por amenaza de deslizamientos especialmente en periodos lluviosos. Éste en adelante se denominará Sector I, se propone la reconformación general del terreno, mediante la remoción o retiro de los escombros, complementado con la puesta en marcha de un sistema de drenaje superficial.

El segundo, localizado hacia el extremo norte de las viviendas 1 a 4 (Sector II), es un deslizamiento traslacional, antiguo, estabilizado, en este sector se propone como alternativas de mitigación, las siguientes:

Construcción de obras de contención en muro de gaviones y sistemas de drenaje subsuperficial.
Construcción de obras de contención como pilotes estabilizadores y sistemas de drenaje subsuperficial.
Construcción de sistemas de drenaje subsuperficial y reubicación de las viviendas en alto riesgo.

El tercer sector corresponde a la parte central de la ladera (Sector III), donde alrededor de diez viviendas y dos lotes sin construcción (10, 21), prefabricadas, de madera y estructurales se hallan amenazadas por un deslizamiento traslacional, que afecto la carretera oriente y sobre el cual se construyeron dos muros de contención; uno en la pata y otro en la corona, este ultimo con el objeto de habilitar la carretera oriente, en este sector se define como alternativas de medidas de control, las siguientes:

Construcción de obras de contención en muro de gaviones y sistemas de drenaje subsuperficial.
Construcción de obras de contención como pilotes estabilizadores y sistemas de drenaje subsuperficial.
Construcción de sistemas de drenaje subsuperficial y reubicación de las viviendas en alto riesgo.

El cuarto sector corresponde a la parte posterior de las viviendas 22 a 35 (Sector IV); viviendas que se hallan amenazadas por deslizamientos traslacionales y flujos de suelos, parcialmente superficiales, inactivos y superficiales, cuya reactivación podría tener lugar en periodos lluviosos; en este sector se proponen alternativas de mitigación, las que se enumeran a continuación:

Construcción de obras de contención en muro de gaviones y sistemas de drenaje subsuperficial.
Construcción de obras de contención como pilotes estabilizadores y sistemas de drenaje subsuperficial.
Construcción de sistemas de drenaje subsuperficial y reubicación de las viviendas en alto riesgo.

El quinto sector corresponde al extremo norte del área de estudio (Sector V), parte posterior de las viviendas 36 a 42, donde se aprecian procesos incipientes de remoción en masa, en esta ladera se propone como alternativa de mitigación, la construcción de drenajes y subdrenajes y perfilado de la ladera.

6.2 PLAN DE ACCIÓN RECOMENDADO

La atención del barrio, bajo un marco global, destinada a la reducción de los escenarios de riesgo, posee tres grandes componentes: el manejo del agua de escorrentía y la subsuperficial, las estructuras de contención y la reubicación, integradas a cada sector de la siguiente manera:

Sector I:

Remoción y descapote del material de relleno: la reconformación final del terreno se realizara con tres taludes con las siguientes pendientes: 18° y una longitud de 23.70 m (costado inferior de la ladera), 31° y 9.9 m de longitud (parte intermedia de la ladera) y 12° con 7.8 m de longitud (talud del costado superior de la ladera).

Drenaje y subdrenaje: Consta de cuneta-dren en espina de pescado posicionados longitudinalmente a la pendiente de la ladera y un par de cunetas-dren transversalmente que vierten a la Quebrada Triángulo.

Sector II:

Sistema de Drenaje y Sub-drenaje: Conformado por cuneta-drenes en trinchera que intercepta el agua desde la parte baja de los gaviones y vierte a la cuneta-dren localizado en la parte oriental del sector I y luego a la Quebrada Triángulo.

Reubicación de Viviendas: Es necesario relocalizar la familia de la vivienda 1, debido a que esta vivienda presenta daños considerables de la estructura.

Sector III:

Sistema de Drenaje y subdrenaje: Formado por un juego de subdrenes en forma de espina de pescado que intercepta el agua de la parte inferior de los muros en gaviones y vierten a la quebrada Triángulo.

Reubicación de Viviendas: En este sector se recomienda relocalizar las familias de las viviendas 10, 11, 12, 13, 16, 17, 18 y 21.

Sector IV:

Sistema de Drenaje y Sub-drenaje: Conformado por una red de cuneta-drenes en trinchera, en forma de espina de pescado que interceptan el agua de escorrentia de la parte posterior de las viviendas 21 a 30 y que vierten en la cuneta en concreto localizada a lo largo del muro de contención de la fabrica Gaitana.

Reubicación de Viviendas: En el sector IV no se considera necesario relocalizar viviendas, sin embargo, se requiere restringir la ampliación de las viviendas existentes hacia la parte posterior (solares y patios), debido a que la parte posterior de dichas viviendas se encuentra en alto riesgo de procesos de remoción en masa.

Sector V:

Remoción y descapote del material coluvial: Reconformación final del terreno, mediante el peinado del talud, con el fin de disminuir la fuerte pendiente y aumentar el factor de seguridad a deslizamiento de la ladera.

Drenaje y subdrenaje: Formado por un juego de subdrenes en forma de espina de pescado (localizados en la parte posterior de las viviendas 29 a 41) que se conectan con un canal rectangular de la fabrica Gaitana en el muro de contención.

Reubicación de Viviendas: En este sector no se considera necesario relocalizar viviendas.

7. DISEÑO DETALLADO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

Como parte de las conclusiones obtenidas de los planteamientos y medidas formulados en el numeral 6, se llevó a cabo la selección de obras para la mitigación del riesgo de las viviendas en las zonas de

exposición.

Las obras sugeridas cumplirán la función de reducir el potencial de erosión y obviamente el papel del agua como agente detonador de eventos o fenómenos de inestabilidad; en el actual sector de las viviendas 1, 10 a 21 y en la zona verde de la ladera no se podrá desarrollar la construcción de cualquier unidad habitacional. Dicho sector debe ser destinado para zonas verdes o de recreación pasiva.

En este sentido se diseñaron las obras que se describen a continuación.

7.1. OBRAS DE MITIGACIÓN

Sector I:

Cubre el costado suroriental del área de estudio. En este sector se diseñaron las siguientes obras de mitigación y planteamiento paisajístico, con el fin de mejorar física y paisajisticamente el sector, las cuales se describen a continuación:

- Remoción y perfilado del material de relleno. La reconformación final se realizara con un talud inferior con pendiente de 2%, de 6 metros sobre la cota 2684, localizado en la parte inferior hasta la quebrada Triángulo; luego un talud de 18° y 23.70 metros; a continuación un talud de 9.90 metros de longitud y 31° de pendiente; en la parte superior se reconformara un talud de 7.8 metros con una pendiente de 12° hasta el borde con la carretera oriente, en la cota 2699 msnm.

- Drenaje y subdrenaje. Un conjunto de cuneta dren longitudinales de 82 metros lineales, alimentados por una cuneta dren en espina de pescado de 23 metros lineales localizado transversalmente en el talud, captará el agua de escorrentía que induce procesos de inestabilidad actualmente. La entrega de estas cunetas dren trapezoidales se realizara a la quebrada Triángulo en la cota 2675 msnm.

Arborización consiste en la implementación de vegetación arbórea de porte medio a alto localizado en la ladera; la cual tendrá como función el embellecimiento paisajístico, el aislamiento y seguridad del sector y la protección del sector contra intervenciones urbanísticas o zonas de disposición de basuras y residuos sólidos.

Las especies propuestas para las laderas objeto del presente estudio corresponden a especies arbóreas de alcaparro, sauco, acacia, aliso, caucho sabanero, cedro, chicala, guayacan de manizales, macle, mano de oso, nogal, palma de cera, roble, arrayán, alcaparro pequeño, espino, siete cueros, que serán sembrados de acuerdo a las especificaciones técnicas indicadas en este informe. Una vez se siembren los arboles y arbustos planteados se requiere de mantenimiento de los plateos, aplicación de podas de formación retirando las ramas bajeras y aquellas que presenten demasiado arqueamiento; fertilización foliar una vez realizadas las podas. Esta operación se recomienda por lo menos dos veces al año.

Con base en los precios unitarios, se estimó el costo de las obras en CIENTO DIEZ MILLONES SETECIENTOS NOVENTA Y TRES MIL SEISCIENTOS CINCUENTA Y DOS PESOS ($110´793.652), incluido el AIU, valor total antes de IVA.

Sector II.

Se localiza en parte posterior de las viviendas 1 a 5. En este sector se diseñaron obras de mitigación

constituidos por drenajes con reubicación de la vivienda 1 y planteamiento paisajístico de la ladera, con el propósito de lograr el mejoramiento tanto física como paisajisticamente del sector; las cuales se describen a continuación:

La ladera de la parte posterior de las viviendas 2 a 5 debe ser utilizada como un lugar de recreación pasiva, prohibida para la construcción de asentamientos humanos.

- Construcción de sistemas de drenaje y subdrenaje y reubicación de las viviendas en alto riesgo. Una cuneta dren longitudinal de 35 metros lineales, en espina de pescado que alimentara la cuneta dren localizada en el sector 1, comprendida entre la cota 2691.7 y 2684.7, esta obra tendrá la función de captación del agua de escorrentía que ocasiona procesos de inestabilidad. La entrega de las cunetas dren se realizara a la quebrada Triángulo en la cota 2675 msnm.

Como medidas de embellecimiento paisajístico, aislamiento, seguridad y protección del sector contra intervenciones urbanísticas, se recomienda realizar la arborización con especies de porte medio a alto en la ladera.

Las familias de la vivienda 1 – (lote 1), deben ser relocalizadas por el alto riesgo en que se encuentran.

Con base en los precios unitarios registrados, se estimó el costo de las obras para el sector II, en TREINTA MILLONES QUINIENTOS OCHENTA Y SIETE MIL DOSCIENTOS OCHENTA Y TRES PESOS ($30´587.283), incluido el AIU, costo total antes de IVA.

Sector III:

Esta localizada en la parte central del área de estudio, comprende las viviendas 10 a 21 y la ladera de la parte posterior de dichas viviendas. En este sector se definieron las siguientes obras de mitigación y planteamiento paisajístico, para el mejoramiento físico y paisajístico del sector, las cuales se describen a continuación:

Una vez analizados las alternativas de mitigación para el sector se opto por la alternativa de construcción de obras de drenaje y reubicación de las viviendas 10, 11, 12, 13, 16, 17, 18 y 21, por ser la alternativa técnica y económicamente factible.

- Construcción de sistemas de drenaje y subdrenaje y reubicación de las viviendas en alto riesgo. Esta constituido por un conjunto de cunetas dren en espina de pescado de 170 metros lineales, sistema que captará el agua de escorrentía desde la carretera oriente en los costados del muro de contención hasta la entrega de las cunetas dren en la quebrada Triángulo en la cota 2672 msnm.

El programa de revegetalización consiste en la implementación de vegetación arbórea de porte medio a alto localizado en la ladera; la cual tendrá como función el embellecimiento paisajístico, el aislamiento y seguridad del sector y protección del sector contra intervenciones urbanísticas.

Las especies propuestas para las laderas objeto del presente estudio corresponden a especies arbóreas como se reseño en el sector I.

En este sector se deben relocalizar las familias de las vivienda 10, 11, 12, 13, 16, 17, 18 y 21.

Con base en los precios unitarios, se estimó el costo de las obras de CIENTO CUARENTA Y CUATRO MILLONES TRESCIENTOS NOVENTA Y CINCO MIL QUINIENTOS TREINTA Y CINCO PESOS ($144´395.535), incluido el AIU, costo total antes de IVA.

Sector IV:

Cubre el costado noroccidental del área de estudio, comprende las viviendas 22 a 29 y la ladera de la parte posterior de dichas viviendas; como medidas de mitigación de este sector se definieron las siguientes obras de drenaje y planteamiento paisajístico, con el animo de mejorar física y paisajísticamente el sector:

En este sector, la alternativa de mitigación factible desde el punto de vista técnico y económico es la construcción de obras de drenaje, las viviendas existentes presentan nivel de riesgo medio y bajo, sin embargo se recomienda restringir la construcción en los patios existentes debido a que estos presentan algo riesgo de procesos de inestabilidad causados por la fuerte pendiente del talud y la baja resistencia del suelo de fundación.

- Drenaje y subdrenaje. Esta constituido por un conjunto de cunetas dren en espina de pescado de 65 metros lineales, el drenaje aunque no es una medida de estabilización de la ladera superior cercana a la viviendas si baja el nivel freático disminuye la probabilidad de falla, este sistema captará el agua de escorrentía desde las vecindades de las viviendas y las entrega al canal perimetral del muro de contención de la fabrica Gaitana en la cota 2670 msnm. Que posteriormente es entregado al sistema de alcantarillado existente en la fabrica Gaitana.

Las especies propuestas para las laderas objeto del presente estudio corresponden a especies arbóreas de acuerdo a lo expuesto en el sector I.

Para este sector y de acuerdo a los precios unitarios de las obras de protección, se estimó el costo de las obras en VEINTICUATRO MILLONES NOVECIENTOS TREINTA Y NUEVE MIL CIENTO CUARENTA Y DOS PESOS ($24´939.142), incluido el AIU, costo total antes de IVA.

Sector V:

Cubre el extremo noroccidental del área de estudio, comprende las viviendas 30 a 42 y la ladera adyacente; estas viviendas se encuentran en riesgo bajo a medio, con el animo de prevenir o reducir el escenario de riesgo se propone realizar el manejo de agua de escorrentia y subsuperficial mediante la construcción de obras de drenaje, conformada por una red de cuneta dren en trinchera que intercepten el agua desde la parte posterior de las viviendas 30 a 41 y las viertan al canal perimetral al muro de contención de la fabrica Gaitana y luego lo conduzca hasta el sistema de alcantarillado del barrio.

La revegetalización será mediante la siembra de especies arbóreas de porte medio a alto similares a las propuestas para el sector I.

El presupuesto estimado para este sector para la construcción de obras de mitigación es de TRECE MILLONES SEISCIENTOS ONCE MIL NOVECIENTOS SEIS PESOS ($13´611.906), incluido el AIU, costo total antes de IVA.

2 GENERALIDADES

2.1 LOCALIZACIÓN

El barrio San Cristóbal Sur, se localiza sobre las estribaciones de los cerros surorientales del Distrito Capital, en un sector de contra pendiente estructural, en jurisdicción político - administrativa de la localidad de San Cristóbal.

Está delimitado geográficamente entre las coordenadas

N 96.800 - 97.100
E 100.000 - 100.300,

y las expresiones del relieve se desarrollan entre los 2.600 msnm y los 2.700 msnm **(Figura 2.1).**

El barrio San Cristóbal Sur, se enmarca entre la carrera 15 Este y la quebrada Triángulo y las calles 15 Sur (Antigua vía a Villavicencio) y 13 Sur; el cinturón de comunicación más importante para los pobladores es la antigua carretera a Villavicencio; de ella se desprende la malla vial que accede al barrio; las calles y carreras están pavimentadas en su gran mayoría, poseen un estado de transitividad apenas aceptables, trazados geométricamente complejos caracterizados por las altas pendientes longitudinales.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El barrio San Cristóbal Sur, localidad de San Cristóbal, ocupa un área de laderas residuales y coluviales con alta pendiente topográfica e intervención antrópica acentuada (vertimientos, rellenos de basuras, excavaciones y rellenos, etc), los pobladores se concentran en viviendas de recuperación, palafitos, prefabricadas y estructurales con y sin pórtico. Para la construcción de las viviendas en especial las localizadas sobre la Transversal 9 Este, se han desarrollado actividades de corte y relleno en las partes frontal y posterior de los lotes sin una adecuada reconformación de los taludes así formados, este proceso ayudado por el vertimiento de aguas lluvias, sanitarias y de acueducto han dado origen a procesos de remoción en masa (cinco deslizamientos traslacionales, reptamientos, un flujo de suelos) en la ladera posterior de las viviendas, zona norte del área de interés.

En la parte posterior de la vivienda de la carretera oriente No 14-03 sur, se originó un deslizamiento traslacional (DT01-IA) sobre material de relleno y suelo residual afectando la estructura de dicha vivienda (agrietamientos de los muros en mampostería), en la actualidad este proceso es estable; en la parte posterior de un asentamiento de viviendas de la carretera oriente identificadas con número de lote 10 a 21 (Plano 1), existe un deslizamiento traslacional activo (DT02-AC), que afectó las viviendas y la carretera oriente, ocasionando daños en la parte estructural de las viviendas 10 y 12, la vivienda del lote 19 está en proceso de reubicación y las demás viviendas en su gran mayoría de recuperación presentan daños e inclinación de sus muros, en este sector se está analizando la posibilidad de construir obras de contención o de reubicación de las viviendas.

En la parte posterior de la vivienda de la Transversal 9E N0. 14A-68 sur, se originó el deslizamiento traslacional (DT03-AC), sobre una ladera natural, se han producido daños menores a esta vivienda; en la transversal 9E No 14A-64 sur, se observa un flujo de suelos (FT01-IA) sobre material de relleno y suelo residual, que ha ocasionado daños de la vivienda por asentamientos de la parte posterior de la construcción con agrietamientos de los muros estructurales, en este sector se ha visto la necesidad de diseñar obras de contención como obra de mitigación; en la vivienda de la Transversal 9E No. 14A-54 sur, se aprecia un

deslizamiento traslacional (DT04-IA) producto de la excavación en la parte baja de la ladera para explotación de materiales, este proceso ha producido daños severos al muro de cerramiento, sin embargo las viviendas, (una prefabricada y otra en mampostería), no presentan daños; en la ladera parte posterior de la vivienda Transversal 9E No 14A-42 sur, se presenta un deslizamiento traslacional (DT05-IE), en este sitio se observan daños en el muro de cerramiento, pero las viviendas no muestran daños de consideración.

En la zona verde del barrio, contigua a la quebrada Triángulo, se ha adecuado la disposición de basuras y escombros en forma aleatoria y sin ningún control técnico, conformando una ladera de pendiente moderada a fuertemente inclinada y que puede dar origen a deslizamientos de tamaño considerable que afecten el cauce de la quebrada y las viviendas localizadas en el costado suroriental.

2.3 REQUERIMIENTOS DE TOPOGRAFÍA Y EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Trabajos de Topografía. En primera instancia se llevó a cabo la consulta y evaluación de cartografía existente en Catastro y en el IGAC, con el fin de complementar y corroborar la topografía existente del sector, se realizó el levantamiento topográfico con poligonal cerrada y toma de detalles mediante secciones transversales perpendiculares y en el mismo sentido a la dirección de las laderas y una nube de puntos para la definición de la morfometría de los diferentes rasgos topográficos, se tomaron y levantaron aspectos geomorfológicos que incluyen delimitación de escarpes y cuerpos deslizados, localización de grietas, delimitación de cuerpos deslizados, cambios de pendiente en los taludes; Aspectos urbanísticos como: delimitación de manzanas, vías y líneas de servicios públicos básicos (postes de alumbrado, pozos de inspección, etc.).

Las mediciones del levantamiento topográfico, se realizaron con una estación electrónica total marca TOPCON GT-310, en un área de 2.5 hectáreas. Para obtener detallada toda el área levantada, fue necesario determinar aproximadamente 1500 puntos de detalles que incluyeron la totalidad de los accidentes del terreno y de las obras existentes. Para la nivelación se utilizo un nivel automático marca TOPCON AT-G2; se nivelaron los deltas de la poligonal perimetral los deltas auxiliares y por ultimo, las tres (3) placas de referencia, que servirán de base para el replanteo de las obras de mitigación. La densidad de puntos levantados permitió obtener en el dibujo del área, curvas de nivel con intervalos de 0.50 m.

El enlace en coordenadas de la zona de estudio al Sistema Nacional, se efectúo a partir de los vértices geodésicos del IGAC Nos. NP-A-63-CD y BP-B-63-CD, localizados en la carretera Oriente, cerca de la zona de estudio. Para el apoyo y control del levantamiento se determino una poligonal cerrada de 900 m. de longitud con 5 vértices. Esta poligonal fue medida con estación electrónica total. La nivelación de precisión se llevo a partir del NP-B-63-CD hasta las placas incrustadas (SC-1, SC-2 y SC-3) localizadas en la zona de estudio. Tanto para las poligonales de enlace como de apoyo y sus respectivas nivelaciones se obtuvieron los siguientes errores de cierre:

En la Poligonal de enlace el error de cierre: Planimetría 1:27.500 y Altimetría 0.003 m., las coordenadas y cota de los vértices de enlace se relacionan a continuación: NP-A-63-CD 97.302,549 Norte, 100.016,62 Este, 2656.736 msnm y NP-B-63-CD 97197.930 Norte, 100045.414 Este, 2654.353 msnm

Con los datos de campo tomados por la estación total y el nivel de precisión, se procesaron y dibujaron todos los puntos con un programa de computador denominado TOPOGRAPH, el cual calcula las poligonales, cada punto de detalle y define las curvas de nivel. Tanto la base de datos como los cálculos y dibujo, fueron convertidas a formato AUTOCAD, para la preparación y presentación de los planos finales a escala 1:500 **(Plano 1).**

Con el fin de contar con puntos topográficos en el área del Barrio que faciliten y permitan apoyar en cualquier momento mediciones topográficas de cualquier índole y para la localización y control de las obras de mitigación, se materializaron tres placas metálicas sobre los sardineles existentes, cuya relación de coordenadas y cotas es la siguiente:

PLACA	NORTE	ESTE	COTA(m.s.n.m.)
SC-1	100251.078	96941.549	2687.370
SC-2	100121.002	96880.859	2703.148
SC-3	100099.435	96924.809	2691.184

Exploración del Subsuelo. La caracterización geotécnica se realizó con base en las características de los materiales que conforman la ladera constituidos por materiales rocosos de arcillolitas y areniscas arcillosas de la Formación Bogotá y suelos de origen coluvial y depósitos residuales. Con el fin de conocer la influencia estructural en las condiciones de inestabilidad se realizó el levantamiento de columnas estratigráficas; se tomó información de discontinuidades como: orientación, separación, abertura, tipo de relleno, rugosidad y persistencia de las familias principales y secundarias. Se realizó un programa de exploración mixto que conjugo la exploración directa mediante trincheras (columnas estratigráficas) y sondeos mecánicos (barrenos y perforaciones) localizados sobre la ladera y en el patio de las viviendas que presentan mayor grado de afectación.

En el área de estudio se realizaron 14 sondeos mecánicos distribuidos de la siguiente manera: los S-1 y S-2, se realizaron sobre el cuerpo del deslizamiento DT01-IA, encontrándose un nivel superior de relleno y desechos de construcción con espesor de 3.4 a 4 metros, que cubren discordantemente las arcillolitas y areniscas arcillosas de la Formación Bogotá. El S-3, se ejecutó sobre suelo residual hasta una profundidad de 1.55 metros. Los S-4 a S-6, se localizan sobre el deslizamiento traslacional DT02-AC, donde se aprecia un nivel superior compuesto por relleno de material de construcción mezclado con basuras, con espesor que varia de 1.35 a 5.30 metros que cubren las arcillolitas y areniscas arcillosas de la Formación Bogotá. El S-7 se realizó sobre el proceso FT01-IA, presenta un nivel superior de suelo residual de 0.7 metros de espesor y a continuación se observa las arcillolitas. En el proceso DT04-IA, se realizaron los sondeos S-7 y S-8, donde se observa un nivel superior constituido por relleno arcillo-limoso de color gris habano mezclado con desechos de construcción y basuras con espesor de 0.7 a 2.65 metros de espesor y luego se aprecia las arcillolitas grises a vinotinto.

En la parte posterior de las viviendas se realizaron los S-10 a S-13 ubicadas de la siguiente manera: el S-10, se realizó en la parte posterior de la vivienda de la carretera oriente No 14-15 sur (lote 3), presenta un relleno arcillo-limoso de color gris mezclado con basuras con espesor de 3.80 metros, a continuación se presenta la arcillolitas grisáceo a vinotinto. El S-11 se realizó en la parte posterior de la vivienda de la Carrera 9E No 14-18 sur int 7 (lote 13), en este sitio se aprecia un relleno de material de construcción mezclado con basuras, con espesor de 7 metros que cubren las arcillolitas. El S-12 se realizó en el patio de la vivienda de la Transversal 9E No 14A-64 sur (lote 25), en este sector se aprecia en la parte superior un relleno arcillo-limoso de color gris con espesor de 3.50 metros y luego las arcillolitas. El S-13 se ejecutó en el patio de la vivienda Transversal 9E No 14A-46 sur (lote 30), se aprecia relleno arcillo-limoso de color gris con espesor de 2.50 metros, que cubren discordantemente las arcillolitas y areniscas arcillosas de la Formación Bogotá. El S-14 se realizó sobre la parte baja del área de estudio cerca a la fabrica de ladrillo Gaitana, sobre las arcillolitas de la Formación Bogotá **(Plano 1).**

Las perforaciones se realizaron con equipo mecánico de percusión y lavado hasta el contacto con el sustrato rocoso, realizando ensayos de campo: penetración estándar; toma de muestras (tubo shelby y split

spoon). A las muestras recolectadas en campo se les realizara ensayos de laboratorio como pruebas de clasificación, y resistencia al corte con el fin de clasificar los diferentes materiales presentes.

Sondeos Eléctricos Verticales SEVs. Con el fin de interpretar el tipo de material presente y su espesor, se realizaron tres (3) sondeos eléctricos verticales, los cuales ofrecieron información a profundidades mayores a las alcanzadas en las demás perforaciones.

En la prospección geoeléctrica se utilizó un equipo McOHM Mark-2, Modelo 2115A, el cual consta de amperímetro, voltímetro digital y una unidad generadora de fuerza electromotriz que introduce corriente en el subsuelo. Del McOHM se obtienen datos de intensidad de corriente (I) en miliamperios y la diferencia de potencial (ΔV) en milivoltios. Las relaciones (ΔV/I), se multiplican por factores geométricos exclusivos de cada arreglo, para obtener las resistividades aparentes, las cuales son graficadas en papel logarítmico en función de la distancia electródica de corriente (AB/2). Para la realización de los SEV se utilizo el dispositivo de Schlumberger, con variaciones de distancia electródica de potencial MN/2 de 0.5, 3 y 10 m. hasta una distancia de 100 m. de AB.

Los sondeos eléctricos verticales, se realizaron sobre un relleno de material de escombros mezclados con basuras, los cuales forman parte de la ladera de la Quebrada Triángulo (Figura 3.7 a 3.9). En el Plano 5, se presenta la localización de las perforaciones y sondeos eléctricos verticales, SEV.

El cálculo y la determinación de las resistividades y profundidades reales, se realizó a partir de gráficos de la compañía general de geofísica de Francia, mediante el método de puntos auxiliares y con la ayuda de un programa de computador se ajustan las curvas de campo con las curvas matemáticas.

2.4 MODELOS Y METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS GEOTECNICOS Y DE EVALUACIÓN DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO

2.4.1 Modelo Geotécnico. Con base en la investigación de campo, en los ensayos de laboratorio y principios básicos de la geología estructural, se elaboró un modelo (aproximado) del subsuelo para la zona de estudio, donde se destaca la secuencia estratigráfica y la disposición estructural de las rocas. La evaluación de estabilidad contempló los siguientes aspectos: determinación de las familias de discontinuidades y sus características (espaciamiento, persistencia, relleno, etc.), análisis cinemático de los modos probables de falla de las laderas y el análisis estático de los principales taludes de acuerdo con los modelos probables de falla observados y levantados en campo.

Con base en los resultados de los trabajos previamente efectuados, se realizó el análisis de estabilidad, teniendo en cuenta las condiciones actuales y futuras de los diferentes mecanismos de falla más relevantes. Se realizó en este caso el análisis de estabilidad de los depósitos presentes y análisis retrospectivos en los cuerpos deslizados. Los análisis de estabilidad se efectuaron para las diferentes condiciones esperadas, en el cual se varia los parámetros de resistencia entre los valores mínimo y máximo esperados (funciones de densidad de probabilidad), teniendo en cuenta la ocurrencia o no de lluvias y sismos para diferentes alternativas de mitigación planteadas (acciones y obras de prevención, protección y control).

2.4.2 Evaluación de Amenaza. La estimación de la amenaza entendida como la probabilidad de falla de que ocurra un evento puede hacerse mediante análisis cuantitativo en el cual la amenaza es función de múltiples factores que controlan la estabilidad de la ladera (internos o externos) o por métodos puramente empíricos (cualitativos) en el cual los componentes se evalúan subjetivamente asignando rangos de intensidad. Para este trabajo se contempla el empleo de un método cuantitativo para determinar la

amenaza mediante el método de probabilidad de falla presentado por Hoek (1996) en el curso teórico - practico "Decisiones Practicas y Riesgos Aceptables en Ingeniería de Rocas".

2.4.3 Evaluación de Vulnerabilidad. A partir del inventario de viviendas, se identificaron y localizaron los elementos en riesgo (viviendas, vías, servicios, etc.). Una vez identificados los elementos en riesgo, se determinó su grado de vulnerabilidad (entendido como una función de las pérdidas esperadas ante la ocurrencia de un evento determinado); determinado con base en la composición orgánica y estructural de las residencias, y de la longitud potencial de desplazamiento de la masa inestable, los índices de exposición y de resistencia; estos dos elementos son el soporte para la determinación del índice de vulnerabilidad física.

La vulnerabilidad, entendida como la capacidad de respuesta de un grupo social, y por ende de sus lugares de habitación, ante un evento; se define como una función de la exposición y de la resistencia así:

$$V = f(E/K)$$

Donde,
V : Vulnerabilidad
K : Resistencia del elemento expuesto ante la ocurrencia de un evento
E : Grado de exposición del elemento.

La evaluación de vulnerabilidad tiene como objetivo analizar la respuesta de los elementos amenazados frente a cualquier elemento, en especial a los diferentes fenómenos de remoción en masa presentes en la zona de estudio y, junto con la evaluación de amenaza, plantear el (los) tratamiento(s) por adelantar. La vulnerabilidad social se define como la capacidad de respuesta de la población ante la ocurrencia de un evento que ocasione daños; en este sentido se tomaron como componentes de análisis la capacidad económica de los pobladores, la cobertura de servicios públicos, las organizaciones cívicas, la tipología de viviendas y, el nivel de conocimiento que los habitantes tienen del problema de estabilidad y de las actuales y potenciales repercusiones que éste ocasiona o puede ocasionar sobre sus viviendas.

La vulnerabilidad física de las viviendas del sector, se expresa como una medida porcentual de los costos de las averías originadas por un agente destructor, en este caso los FRM. El porcentaje (expresado en partes por uno) del perjuicio sobre el inmueble, definido con ID, índice de daño, es proporcional a la exposición de los elementos e inversamente proporcional a su resistencia. El primer tópico se estudiará con base en las posibles longitudes de viaje y el segundo, con la tipología de viviendas.

Exposición. Esta variable cobra importancia dentro del análisis de vulnerabilidad física si se considera que si y solo si los elementos se encuentran dentro de la zona de influencia de los eventos (es decir, expuestos), pueden ser atacados por ellos.

Resistencia (IR). En términos generales, la importancia de evaluar la resistencia radica en que a mayor resistencia de los elementos, la vulnerabilidad física es menor.

Intensidad e Índice de Daño (IND E ID). Los perjuicios que se producirían sobre las unidades, están condicionados por dos variables: el de exposición y el de resistencia; el primero involucra el tipo de evento (deslizamientos traslacionales o rotacionales, flujos, etc.), la localización de las viviendas con respecto al mismo y la solicitación que el proceso ejerza sobre los componentes; el segundo, la calidad, propiedades y atributos de las casas, que, como se ha expresado antes, se condensan en la tipología. La contribución de las variables ya expuestas se registra en la matriz de intensidad de daño. Esta intensidad se cuantifica desde Muy Baja (I), hasta Muy Alta (V) y se formula con un índice de daño (ID) que

representa el porcentaje de destrozos en la vivienda. La reciprocidad entre las dos variables, InD e ID, fue establecida por el DRM (Delegation aux Risques Majeurs).

Indice de Vulnerabilidad Física (IVF). Con los índices de resistencia y exposición, se calculó la resistencia movilizada (RM) que es una expresión de los posibles daños provocados al elemento expuesto por un fenómeno, para lo cual se buscó una ecuación que cumpliera con las siguientes condiciones:

Cuando IE = 0, RM = 0.
Cuando IE = 1, RM = 1.
Para cualquier valor de IR e IE, $1 \geq RM \geq 0$.

Pueden existir innumerables funciones que cumplan con las anteriores condiciones, sin embargo para fines prácticos se adaptó la ecuación propuesta por INGEOCIM (1998), reemplazando el índice de vulnerabilidad por deslizamiento, IVD, por la RM y el índice de vulnerabilidad física, IVF, por el índice de exposición, IE:

$$RM = [1-(IR)^{IE}]^{(1-IE)}$$

Donde,

RM : Resistencia movilizada.
IR : Índice de resistencia.
IE : Índice de exposición.

De esta manera, se estableció un paralelo entre la RM y la matriz de daño presentada por el DRM y que involucra el tipo y la magnitud del evento y la solicitación de los elementos, mediante la ecuación:

$$InD = 1+4*RM$$

En la que una InD = 1 (I), equivale a daños leves y una InD = 5 (V) que es la máxima, corresponde a daños severos.

2.4.4 Evaluación de Riesgo. Analizada la amenaza y la vulnerabilidad, se definirá el riesgo. Para ello se determinarán los costos probables de falla a partir de los escenarios de riesgo, el índice de vulnerabilidad física y los costos iniciales de los elementos expuestos.

2.5 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

2.5.1 Laderas Principales. De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de estabilidad se definieron las medidas necesarias a ejecutar: reconformación de los taludes o perfilado y diseño de obras de contención, como pilotes, muros de contención, muros en gaviones en la parte posterior de las viviendas que presenten alto grado de afectación por deslizamientos, flujos de suelos y reptamiento; en especial en la parte posterior de las viviendas localizadas sobre el deslizamiento rotacional DT02-AC; adicionalmente se planteó un adecuado manejo del agua de escorrentía y principalmente aguas servidas, en el caso de las viviendas localizadas sobre la carretera oriente realizan el vertimiento de las aguas negras directamente sobre la ladera, se elaboró un estudio de efectividad de construcción de las líneas de conducción de aguas lluvias y aguas residuales.

2.5.2 Recomendaciones de Estabilización Geotécnica. Se diseñarón obras como estructuras de contención o de aislamiento, drenaje, subdrenes o remoción de rellenos y reconformación de las zonas, según el caso.

2.5.3 Áreas a reubicar. Con base en el análisis de las condiciones que presentan las viviendas y con el animo de realizar medidas preventivas y correctivas se analizó la posibilidad de reubicación de algunas viviendas.

- Posibles tipos de medidas u obras:
- Reubicación de las viviendas.
- Manejo del agua de escorrentía mediante zanjas de coronación y cunetas, y en aguas subsuperficiales trincheras drenantes o subdrenes.
- Reconformación del terreno con terraceo.
- Protección del suelo contra los procesos de erosión natural y antrópica.
- Manejo de aguas sanitarias con la construcción de obras colectoras.

2.6 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN CONSULTADA

Pocos proyectos se han llevado a cabo para estudiar las condiciones generales del subsuelo en el área urbana del barrio. En este sentido, es explicable que la evaluación de información se haya centrado en el análisis de los informes:

- Estudio de zonificación de riesgos por remoción en masa en los barrios Triángulo, Triángulo Alto y Corinto de la localidad de San Cristóbal, realizado por HIDROGEOLOGIA Y GEOTECNIA AMBIENTAL LTDA, 1999;

Presenta una percepción del problema de fenómenos de remoción en masa asociados a cortes y rellenos ejecutados para la construcción de viviendas. El levantamiento topográfico se realizó a escala detallada 1:1000 donde se aprecian aspectos de relieve importantes (pendientes altas, zonas deprimidas, zonas de deslizamientos, flujos de suelos, procesos de reptación, áreas de disposición de materiales y botaderos), con curvas de nivel cada 1 metro.

- Estudios y diseños de estabilidad Geotécnica, control de erosión y manejo de aguas para la estabilización de taludes. Grupo 2 (localidad de Santa Fe) y grupo 4 (localidad de San Cristóbal y Usme); Informe de diagnóstico sitio Corinto, realizado por INGEOCIM LTDA, 1998;

Presenta una percepción del problema de fenómenos de remoción en masa asociados a cortes y rellenos ejecutados para la construcción de viviendas. El levantamiento topográfico aunque se realizó a escala detallada 1:500 no muestra aspectos de relieve importantes (pendientes altas y zonas deprimidas), con curvas de nivel cada 10 metros.

- Estudios y diseños de estabilidad Geotécnica, control de erosión y manejo de aguas para la estabilización de taludes. Grupo 2 (localidad de Santa Fe) y grupo 4 (localidad de San Cristóbal y Usme); Informe de diagnóstico sitio Manantial, realizado por INGEOCIM LTDA, 1998;

El levantamiento topográfico del barrio no empalma con el limite establecido para los barrios vecinos (Triángulo Alto y Corinto). Aunque este informe no contempla dentro de sus objetivos la zonificación por amenaza, vulnerabilidad y riesgo, algunos elementos técnicos como. Geología de superficie, aspectos hidrológicos, geotecnia y el planteamiento de medidas correctivas fueron importantes como punto de partida o de apoyo para los diferentes temas estudiados en este proyecto.

- Diagnóstico técnico No. 740. Medidas correctivas a realizar en la vía de acceso a los barrios Corinto, Manantial y El Triángulo – localidad de San Cristóbal, realizado por GEOINGENIERIA LTDA, 1999;

En este informe se muestran los diseños detallados para estabilizar un sitio especifico de deslizamiento que afectó la vía de acceso al barrio Corinto.

- Estudio geológico y geotécnico de algunos sitios críticos en los barrios Gran Colombia, El Triángulo, Corinto y Ramajal, elaborado por IFCAYA LTDA (1988);

Este informe contiene el inventario de procesos de inestabilidad en el barrio Manantial causados por degradación de las rocas, saturación de las laderas, cortes y rellenos efectuados para la construcción de viviendas, lo cual ha dado origen a deslizamientos y flujos de tierra que han afectado varias viviendas hasta el colapso de algunas de ellas.

Los informes consultados muestran como característica común:
- La geología regional y local, se lleva a nivel de formación y no diferencia los diferentes tipos de depósitos cuaternarios presentes en el área.
- Los análisis de estabilidad es cualitativo y las medidas correctivas son el resultado de la percepción del problema por parte del consultor, concerniente a la reubicación total de las viviendas afectadas, sin tener en cuenta otras alternativas de solución del problema (árboles de decisión).

2.7 TERMINOLOGÍA BÁSICA

La terminología adoptada para el estudio se basa en las definiciones propuestas por Varnes (1984) y, citadas por Van Westen (1996), González (1990), Cortés (1990), Montero y Otros (1996). A continuación se describen los términos relevantes utilizados en el desarrollo del proyecto:

Susceptibilidad. Algo que está potencialmente dispuesto a modificarse o a evolucionar ante eventuales circunstancias naturales o antrópicas.

Amenaza natural (H). Es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino, para un período específico de tiempo y para un área determinada.

Cabe destacar que la amenaza puede expresarse de manera cuantitativa, en términos de valores espaciales y temporales de probabilidad, o de manera cualitativa sin dar valores absolutos de amenaza. Para el presente estudio fue importante expresar la condición de amenaza de manera cuantitativa.

Vulnerabilidad (V). Susceptibilidad de los elementos a sufrir daño por la magnitud de un fenómeno. Se puede descomponer en Exposición (E) y Resistencia (S), (V=E/S).

Riesgo (R). Significa el número esperado de pérdidas de vidas humanas, personas afectadas, daños a propiedades, u obstrucciones de la actividad económica producto de un fenómeno natural.

Aunque por definición el término deslizamiento representa un tipo de fenómeno de remoción en masa, que ocurre a lo largo de una superficie de rotura bien definida, en este trabajo se empleará en forma genérica para representar cualquier tipo de movimiento en masa. De igual manera, se usarán los términos movimiento en masa, falla de taludes, procesos de inestabilidad y deslizamientos como sinónimos.

3 ESTUDIOS BÁSICOS

Este capítulo encierra el desarrollo de algunos de los principales tópicos (elementos ó variables) de incidencia para la evaluación y zonificación de riesgo por fenómenos de remoción en masa, que son el resultado del trabajo de campo, y se encuentran compilados bajo la denominación de Estudios Básicos. Las labores de campo permitieron entre otros: elaborar la cartografía geológica, geomorfológica y estructural local y establecer su incidencia en la estabilidad, estudiar los mecanismos de falla de los procesos de inestabilidad y conocer las características socio-económicas de los pobladores.

Las labores de campo involucraron el levantamiento topográfico, la inspección geológica, geomorfológica, la exploración del subsuelo, el inventario de viviendas y fenómenos de remoción en masa, actividades que se describen en los siguientes numerales.

3.1 TOPOGRAFÍA

3.1.1 Trabajo de Campo

Teniendo en cuenta los continuos cambios morfométricos a que está expuesta el área de estudio, para efectos de zonificación, análisis y recomendaciones de obras correctivas se realizó un levantamiento topográfico detallado, escala 1:500 (**Plano 1 Mapa Base**), destacando los aspectos del relieve local que involucraban las franjas críticas de estabilidad y las unidades residenciales más vulnerables ante potenciales desastres.

El levantamiento topográfico se efectúo con la ayuda de una Estación Electrónica Total marca TOPCON GT-310, que tiene las siguientes características:

- Anteojo imagen real directa
- Aumentos 30X
- Abertura del objetivo 42 mm
- Diámetro del campo visual 27 m
- Distancia mínima de enfoque 1.7 m
- Constante de multiplicación 100
- Constante de adición 0

Sensibilidad de los niveles

- Nivel esférico 8′ / 2 mm
- Nivel de alidada 30″/2 mm.

Para la nivelación se empleo un nivel automático marca TOPCON AT-G2, se nivelaron los deltas de la poligonal perimetral, los deltas auxiliares y las tres placas de referencia, que servirán de base para el replanteo de las obras de mitigación.

El levantamiento topográfico fue amarrado a placas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, en este sentido se tomaron como base las coordenadas y elevaciones del NP-A-63-CD con coordenadas 100.016,62 Este, 97.302,549 Norte, 2.656,736 msnm y la NP-B-63-CD con coordenadas 100.045,414 Este, 97.197,93 Norte, 2.654,353 msnm, localizadas al norte del barrio San Cristóbal Sur sobre el puente del río San Cristóbal a 100 metros del Instituto de Ciegos y la poligonal de trabajo tuvo como vértices los puntos NPA63CD, SC-1, SC-2, SC-3 y NPA63CD iniciando la toma de detalles desde la parte baja (norte) del barrio San Cristóbal Sur por la vía circunvalar, por el oeste hasta la calle 15 este, por el este hasta la quebrada Triángulo y por el norte

hasta los limites de la Fabrica San Cristóbal **(Figuras 3.1 y 3.2);** se materializaron tres mojones en los deltas SC-1, SC-2 y SC-3; cuyas coordenadas son las siguientes:

MOJON	COORDENADAS		COTA (msnm)
	ESTE (m)	NORTE (m)	
SC-1	96.941,549	100.251,078	2.687,37
SC-2	96.880,859	100.121,002	2.703,148
SC-3	96.924,809	100.099,435	2.691,184

El barrido altimétrico y planimétrico se realizó bajo la aplicación de un procedimiento mixto, es decir tanto con la toma de secciones transversales como de la generación de una nube de puntos y por el sistema de radiación, en un área de 2.5 hectáreas. Para obtener detalle del área fue necesario determinara aprox. 1.500 puntos de detalles que incluyeron la totalidad de los accidentes del terreno y de las obras existentes.

Este último procedimiento se destino a la definición de la morfometría de los diferentes rasgos topográficos y a la toma de elementos urbanísticos. Así, entonces se levantó de forma minuciosa la cresta y pata de los procesos de inestabilidad, los principales cambios de pendiente, las grietas de tracción, las manzanas, los postes de alumbrado, pozos de inspección, vías y caminos peatonales. Las secciones transversales por su parte se destinaron a la toma del perfil topográfico del eje de movilización de los principales deslizamientos.

3.1.2 Resultados del Levantamiento Topográfico

El levantamiento topográfico se obtuvo con una precisión de 1:27.500, con error de cierre de 0.53 cm en el Norte, 3.34 cm en el Este y 0.4 cm en la Vertical **(anexo 1, carteras topográficas).**

La interpretación cartográfica se ejecutó con el empleo de un Software especializado, se utilizó el programa TOPOGRAPH para él calculo de coordenadas y elevaciones; Este programa tiene correcciones por curvatura, refracción y paralelaje, utiliza un factor de corrección en el calculo de coordenadas teniendo en cuenta la posición del sitio con relación a los paralelos y bajo un modelo de interpretación dirigida. Esto significó definir y respetar las barreras físicas actuales y condicionar la interpretación a éstas, sin permitir el desempeño de Software a su libre esquema de triangulación. En este sentido jugaron un papel importante las secciones transversales y el contorno (en la cresta y pata) de los taludes y procesos de inestabilidad.

El proceso de interpretación desarrollado, puede entenderse como un modelo a escala de un SIG, puesto que primero se elaboraron diferentes capas de información y posteriormente se lleva a cabo la superposición e interpolación. Así, entonces, se definió el manzaneo completo, se seleccionaron los postes de alumbrado y los pozos de inspección, se delinearon las vías y, se delimitaron la cresta y pata de los escarpes rocosos, cuerpos de los procesos de inestabilidad como: procesos de reptación y deslizamientos traslacionales. La interpretación se presenta en el **Plano 1**.

3.2 GEOLOGÍA

3.2.1 Metodología de Trabajo

El trabajo se realizó en primer lugar con una fotointerpretación preliminar y un posterior reconocimiento de campo, luego se efectúo un levantamiento topográfico del área de interés, y finalmente una reinterpretación y elaboración de mapas a escala 1:5.000 para reconocimiento regional y escala 1:500 para el área de investigación especifica.

Para el levantamiento geológico detallado del área, se realizó inicialmente un reconocimiento de campo, se levantó una (1) columna estratigráfica, se llevó un control estructural detallado (control de rumbos y ángulos de buzamiento de las capas presentes) y un análisis de estructuras encontradas dentro de los sitios de interés.

La columna estratigráfica se levantó en un sector contiguo al área de interés en afloramientos del barrio El Triángulo, debido a que en este lugar se presenta la mayor exposición de roca, tomando este levantamiento litológico como la columna estratigráfica generalizada; este levantamiento estratigráfico se realizó en este sitio debido a la escasez o mínima presentación de exposiciones litológicas sobre el área de estudio y en vista de que los estratos reflejan su continuidad hacia la parte baja del barrio San Cristóbal Sur (área de estudio).

La fotointerpretación se realizó a escala 1:5.000 con fotografías aéreas del sector tomadas el XI-06-90 (IGAC R1131) para la interpretación regional y local antes de que el sector fuera intervenido antrópicamente, con el fin de observar bien las estructuras existentes en el área ya que fotos más recientes ocultan o dificultan la interpretación de las mismas **(Figura 3.3).**

Finalizadas las labores de campo y la fotointerpretación, se continuo con un trabajo de reinterpretación y elaboración del correspondiente informe.

3.2.2 Marco Geológico Regional

La zona de estudio hace parte de los cerros orientales de la sabana de Bogotá, los cuales están constituidos por rocas del cretáceo superior y del terciario inferior y medio, afectadas por fallas y pliegues con dirección principal N-S y NE-SW, producidos principalmente por esfuerzos de tipo compresional.

Las rocas más antiguas en la zona de estudio corresponden a la Formación Guadalupe (a partir de sedimentos depositados a finales del cretáceo); le siguen la Formación Guaduas (finales del cretáceo - inicios del terciario) y la Formación Bogotá (inicios del terciario) **(Plano 2).** La secuencia litica se halla parcialmente cubierta por suelos residuales, transportados u orgánicos de diferente composición y textura, dependiendo de su génesis.

La zona se encuentra ubicada, desde el punto de vista tectónico, en el borde oriental del sinclinal de Usme, limitado al W por la falla de cabalgamiento de Bogotá (Ingeominas 1993). Esta falla afecta las características geomecánicas de las unidades de areniscas de la Formación Guadalupe, de comportamiento frágil, se presentan fracturadas y las arcillolitas de la Formación Bogotá de comportamiento plástico, se encuentran cizalladas y replegadas.

Morfológicamente, los cerros muestran topografías abruptas (relieves estructurales, en el sentido de Villota, 1991, en que los rasgos propios de la roca están presentes en la expresión topográfica) donde afloran las areniscas de la Formación Guadalupe, las rocas más resistente de la región. Paisajes más suaves se relacionan con la Formación Guaduas y Bogotá, en las que la litología predominantemente arcillosa muestra mas susceptibilidad a los procesos de erosión y remoción en masa (relieves estructurales - denudacionales).

El piedemonte sabanero presenta morfologías planas-inclinadas a onduladas-inclinadas, correspondientes a suelos transportados por procesos gravitacionales, fluviales y posiblemente glaciares, así como a suelos residuales y orgánico-minerales provenientes de la transformación in situ de las rocas arcillosas, con aporte mineral de arcillas depositadas como cenizas provenientes de la actividad volcánica de la cordillera central.

3.2.2.1 Litoestratigrafía

La nomenclatura estratigráfica se determinó por comparación y correlación con los mapas existentes en Ingeominas. Las referencias bibliográficas respecto a nombre, área, tipo, edad, y litofacies fueron extraídas del léxico estratigráfico internacional (Julivert, 1965 y Da Porta, 1973).

- **Formación Guadalupe (Ksg)**

Denominada por Hubach en 1957; su edad es del cretáceo tardío (Maestrichtiano); corresponde a areniscas de colores claros (frescas) a amarillos (alteradas) compuestas predominantemente por cuarzo, con intercalaciones de arcillolitas de colores grises y crema. El tamaño del grano varia de grueso (2 mm) a muy fino (menor a 1 mm). Se disponen en bancos gruesos de mas de 2 metros, con geometría externa plano-paralela y geometría interna de laminación ondulosa paralela e inclinada paralela.

La Formación Guadalupe aflora en el sector sur oriental, fuera del área de estudio y conforma la parte alta de los cerros orientales de Bogotá **(Plano 2).**

- **Formación Guaduas (Ktgs)**

Denominada por Hubach en 1957, de edad Cretáceo terminal (Maestrichtiano) a inicios del Terciario (Eoceno); el conjunto inferior esta formado por lutitas generalmente de color gris, una intercalación de areniscas hacia la mitad superior. El conjunto medio queda delimitado por dos niveles principales de areniscas que se encuentran en la Formación Guaduas. La arenisca Guía en la base y la arenisca Lajosa, corresponde a una sucesión de areniscas ortocuarciticas en bancos potentes de 1 a 3.5 metros de espesor. Suprayaciendo la arenisca se aprecia una sucesión de lutitas grises pero empiezan a manifestarse ya en algunas facies rojas. Julivert (1968).

La secuencia estratigráfica de la Formación Guaduas aflora en el sector oriental fuera del área de estudio (Plano 2).

- **Formación Cacho (Tpc)**

El nombre de Formación Cacho, fue propuesto por Hubach en 1947, la edad es Terciario (Paleoceno). Esta compuesta por una secuencia de arenisca cuarzosa, de color blanco a amarillo, poco coherente, de grano grueso a conglomerático, sobre todo en las capas inferiores; Con frecuencia presenta estratificación cruzada, ferruginosa, con vetas limoniticas que la hacen en parte dura en extremo, mientras que otras se pueden desmenuzar con los dedos. Esta compuesta por granos subangulares de cuarzo y con un 5% mas o menos de arcilla ferruginosa como material cementante; espesor 90 metros aproximadamente.

La secuencia estratigráfica de la Formación Cacho aflora en la parte oriental, fuera del área de estudio (Plano 2).

- **Formación Bogotá (Tpb)**

El nombre de Formación Bogotá, fue propuesto por Hubach en 1947. Esta secuencia toma como base la arenisca de la Formación Cacho y como limite superior la base de la arenisca conglomerática de la Formación Regadera.

Características Físicas (litofacies) en el área de estudio: conjunto de arcillolitas de colores variados y contrastantes (abigarrados) predominantemente grises claras y violáceas, con intercalaciones de areniscas arcillosas hasta de 5 a 20 metros de espesor. Los granos de las areniscas son redondeados a subangulares, de color amarillo hasta pardo rojizo. Las arcillolitas están bien estratificadas en capas de 3 a 10 cm. Variando de color desde blanco, gris, y amarillo a rojo.

La secuencia estratigráfica de la Formación Bogotá, se encuentra aflorando en el área de interés y se prolonga hacia el sur occidente (Plano 2).

Edad: Terciario (Paleoceno hasta Eoceno inferior).

Cuaternarios

- **Depósitos Coluviales (Qc).** En el área aparecen dispersos depósitos de ladera de origen coluvial. Conformados por bloques grandes y fragmentos angulares de arenitas embebidos en matriz limo arcillosos. Los bloques y fragmentos de roca provienen de las formaciones Guadalupe, Guaduas y Bogotá; estos depósitos configuran la superficie marginal del terreno y cubren localmente las diferentes unidades del subsuelo. Son materiales regularmente consolidados y con espesor que alcanza tres metros; en general presentan una alta resistencia a la erosión.

- **Depósitos Fluvio-Glaciales (Qfg).** Son una mezcla de materiales irregulares donde predominan los bloques angulares, inmersos en un matriz areno-limosa; entallan las márgenes del río San Cristóbal, llenando algunas depresiones de la paleotopografía.

- **Depósitos Aluviales (Qal).** Conformados por bloques y cantos subredondeados de arenitas embebidos en matriz areno-limosa, se localizan a lo largo del río San Cristóbal (sector norte del área de estudio).

Depósitos Antrópicos.

- **Depósitos de Escombros de Relleno (Rel).** Compuestos por desechos de canteras y materiales de construcción, mezclados con basuras, no dispuestos técnicamente. Cubren las laderas de los frentes de explotación de materiales y los costados de las principales vías de acceso.

3.2.2.2 Geología Estructural

El área de estudio se localiza en el flanco oriental del Sinclinal de Usme, el cual tiene un rumbo aproximado Norte - Sur y conformado por rocas del Cretáceo Superior (Formación Guadalupe y Guaduas) y rocas del Terciario (Formación Bogotá, Regadera, Usme, y Marichuela).

Los sistemas de falla son de tipo Normal y de Rumbo (Plano 2). Este último grupo está relacionado con el eje del Sinclinal de Usme (afectando la Formación Usme) y las fallas Normales son perpendiculares al eje del pliegue. Entre las fallas más importantes cercanas al sector se encuentran la falla de San Cristóbal y la falla de Bogotá, que influyeron en la evolución tectónica del lugar (relacionadas con las últimas fases de la orogenia andina). La primera es una falla profunda o megacizalla, que penetra hasta el manto superior y que se manifiesta en superficie como un alineamiento de dirección noroeste – sureste (según Guillermo Ujueta, 1993), su prolongación hacia el sureste se manifiesta por una serie de rasgos topográficos y drenajes alineados; la prolongación de su traza hacia el noroeste parece limitar el borde sur de la depresión de Funza y de manera aproximada con él limite sur del relieve plano del valle de la sabana y la segunda es una falla de cabalgamiento de dirección nor-noreste y plano buzando al este, situada en la parte sur occidental del área; se extiende desde el río San Francisco hasta la cuchilla de Santa Barbara; esta falla

pone en contacto areniscas del Grupo Guadalupe y arcillolitas de la Formación Guaduas sobre la parte media baja de los cerros al oriente de Bogotá.

3.2.3 Geología Local

3.2.3.1 Litoestratigrafía.

El área del proyecto está básicamente constituido por una alternancia de arcillolitas y areniscas de la parte inferior de la Formación Bogotá (Tpb), cubiertos por suelos limo-arcillosos con arena y materiales coluviales de escaso espesor. Para el estudio geológico detallado se levanto una columna estratigráfica, ubicada en los sitios de mejor exposición de las rocas aflorantes y que cubrieran la mayor parte del área de estudio, la columna estratigráfica fue levantada en la parte sur de la zona - barrio El Triángulo, con espesor aproximado de 88 metros y esta conformada de base a techo por cinco unidades así: **(Figura 3.4)**

- **Unidad CS1**. Con espesor de 50.80 metros; encierra los niveles C2 a C5, compuestas por arcillolitas grisáceas oscuras con tonos amarillentos y morados, laminadas, friables de resistencia baja y los niveles S1 a S4 conformadas por areniscas arcillosas, de color amarillento con tonos grises y morados, laminadas, de grano fino a medio, fracturada, friable, las capas oscilan entre 0.50 y 4.70 metros. Los niveles de arcillolitas se presentan altamente meteorizadas, con dureza 2.5 a 3, con espesor oscila entre 1.60 y 12.20 metros **(Figuras 3.4 y 3.5).**

Se localiza en la parte oriental del área de estudio, conforma la margen izquierda de la Quebrada El Triángulo, se caracteriza por una zona de topografía irregular y pendiente suave a moderadamente inclinada; esta unidad se encuentra cubierta por rellenos (material de construcción, de excavaciones y basuras), suelo residual y depósitos de origen coluvial **(Plano 3).**

- **Unidad SC2.** Posee un espesor aproximado de 20.10 metros; esta integrada en mayor proporción por areniscas arcillosas bandeadas (niveles S5 y S6), laminadas, en el nivel inferior y estratificación cruzada en el superior, de grano fino, color grisáceo a amarillento, friable, altamente meteorizada, con presencia de óxidos, acuñamientos locales de las capas, los niveles oscilan entre 2.1 y 4.5 metros; con arcillolitas abigarradas (C6), de color gris a vinotinto, meteorizada, de resistencia baja, dureza 3, este nivel presenta intercalaciones delgadas de arenisca cuarzosa de grano fino, color amarillento a rojizo, fracturada y meteorizada de resistencia baja, espesor promedio de 7.40 metros (Figuras 3.4 y 3.5).

Domina la parte superior del barrio San Cristóbal Sur al occidente de la Transversal 9E, en laderas irregulares de pendiente fuerte a moderadamente inclinadas, se aprecia cubierta parcialmente por suelo residual, depósitos de origen coluvial y por rellenos principalmente de basuras (Plano 3).

- **Unidad CS3.** Con espesor aproximado de 17.1 metros, constituida por arcillolitas de color grisáceo con vetas rojizas a vinotinto, (nivel C7), con un espesor de 10 metros, fuertemente meteorizada, laminadas, de resistencia baja en roca alterada y media en roca fresca y delgados niveles de areniscas cuarzosas y arcillosas (nivel S7), bandeada de color gris a amarillento, grano fino a medio, masiva, de resistencia media, en este nivel se presentan capas delgadas de arcillolitas grisáceas a rojizas con presencia de óxidos, fracturadas de resistencia baja, el espesor aproximado es de 7.10 metros (Figura 3.4).

Se encuentra aflorando en la parte occidental (fuera del área de estudio), bajo una topografía ondulada de pendiente suave a moderadamente inclinada, en forma cóncava, se encuentran cubiertas por rellenos predominantemente de basuras, suelo residual y depósitos coluviales (Figura 3.4).

Depósitos Cuaternarios

- **Nivel Coluvial (Qc).** Conformados por fragmentos de roca de diferentes tamaños, subangulares, predominantemente arcillosos embebidos en matriz arcillo arenoso, configuran la superficie marginal del terreno y cubren localmente las diferentes unidades del subsuelo. Son materiales regularmente consolidados y con espesor que alcanza tres metros; en general presentan una alta resistencia a la erosión, debido a que están protegidos por vegetación de arbustos y pastos. Se localizan en la parte norte del área de estudio, parte posterior de las viviendas de la Transversal 9E No. 14A-16 sur a la Transversal 9E No 14-28 sur.

- **Nivel Coluvial Reciente (Qc1).** Son materiales regularmente consolidados, con espesor que alcanza los siete metros. Están compuestos por gravas y cantos, subangulares, predominantemente arcillosos embebidos en matriz areno-arcilloso, suprayacen discordantemente las diferentes unidades del subsuelo y son el recinto de la mayor concentración de procesos de remoción en masa activos y estables, se localizan en el costado norte de las viviendas de la carretera oriente (lotes 1, 10, 11, 13, 18 a 22) y costado oriental de las viviendas de la Transversal 9E (lotes 27 a 32), como se aprecia en el plano 3.

- **Nivel de Flujo de Suelos (Qft).** Caracterizado por cantos y gravas subangulares, predominantemente arcillosos embebidos en matriz arcillo-arenoso, de color gris a amarillento; configuran el costado oriental de la vivienda de la Transversal 9E No 14A-64sur, son materiales regularmente consolidados y con espesor que alcanza dos metros.

Suelos Antrópicos

- **Materiales de Excavación (Rb).** Disposición o acumulación de materiales de excavación predominantemente arcillosos, combinados con desechos domésticos, plásticos, botellas, etc. no dispuestos técnicamente, que conforman un relleno no consolidado, de espesor variable entre 1 y 4 metros; depositados en la ladera aledaña a las viviendas de la carretera oriente (lotes 2 a 5, 10) y de la Transversal 9E (lotes 22, 25, 26, 33 a 39).

- **Materiales de Escombros (Rebas).** Acumulación de materiales caracterizados por escombros y materiales de excavación, construcción de tamaño variado bloques, cantos y finos y desechos domésticos plásticos, no dispuestos técnicamente, de espesor que alcanza tres metros, se disponen en la parte oriental de la quebrada Triángulo.

- **Materiales de Estériles (Bot).** Bajo esta designación se integran los materiales estériles de la fabrica de ladrillo La Gaitana, constituidos por una mezcla de bloques, cantos y materiales finos, no dispuestos técnicamente en el antiguo patio de trabajo la fabrica localizados al oriente de la quebrada Triángulo, se considera que el espesor alcanza los 2 metros.

- **Zona de Relleno Actual (Zr)**. Mezcla de materiales de excavación conformados por cantos, bloques y materiales finos y basuras plásticos, frascos, etc., de espesor variable que alcanza los 8 metros de acuerdo a la interpretación de los SEV, se localizan en el costado norte de la carretera a oriente, sobre ambas márgenes de la quebrada Triángulo.

3.2.3.2 Geología Estructural

La secuencia estratigráfica del área se encuentra bastante plegada, lo cual explica el fuerte patrón de diaclasamiento. Debido a la escasez de afloramientos rocosos en el área de estudio, el levantamiento

estructural fue tomado del ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EN LOS BARRIOS EL TRIÁNGULO, TRIÁNGULO ALTO Y CORINTO, LOCALIDAD DE SAN CRISTÓBAL, SANTA FE DE BOGOTÁ D.C. realizado por la HIDROGEOLOGÍA Y GEOTECNIA AMBIENTAL LTDA, 1999 (sector aledaño, costado sur del área de estudio). La secuencia estratigráfica está afectada por tres sistemas de discontinuidades cuyas bandas son:

Estratificación	(E1):	N20E / 25-30NW
Diaclasas Principales	(D2):	N10-20E / 45-60SE
	(D3):	N70-75W / 82-89SW
	(D4):	N10-30W / 45-63NE

Los resultados de las mediciones se presentan mediante diagramas de polos, utilizando la red de proyección equiarial. El procesamiento de los datos estructurales se llevó a cabo gracias a la aplicación del método del círculo flotante para concentraciones entre 1% y 21%.

Las familias de diaclasas, se caracterizan por presentar persistencia (p) desde 0.3 m. hasta 4.8 m.; y promedios (μ) μP_{D2} = 1.3 m., μP_{D3} = 2.7 m., μP_{D4} = 2.9 m, clasificada como de poco continua; espaciamiento (S) moderado a espaciado, entre 0.10 m y 2.56 m., con promedios: μS_{D2} = 0.70 m., μS_{D3} = 1.0 m., y μS_{D4} = 1.1 m, abertura (a) desde cerrada hasta ligeramente abierta (con medias: μa_{D2} = 1.0 mm., μa_{D3} = 1.2 mm. y μa_{D4} = 1.1 mm) y sin relleno o con relleno areno-arcilloso. La **Figura 3.6** contiene los análisis de frecuencia para cada una de las características de las familias de discontinuidad.

La rugosidad de las paredes de las discontinuidades en términos descriptivos puede clasificarse, de acuerdo con la ISRM (1981), como tipo V y VI, es decir ondulada suave, y ondulada pulida, con valores del JRC entre 4 y 12. El grado de meteorización de las paredes (indistinto del tipo de familia) es decolorado, puesto que se observan variaciones de color entre la roca fresca y la pared, asociadas a constituyentes minerales como el hierro **(Tabla 3.1)**.

Tabla 3.1. Levantamiento estructural de macizos rocosos. Barrio El Triángulo

Tipo	Orientación	Buzamiento	Tipo de Roca	Persistencia (m)	Espaciamiento (m)	Abertura (cm)	Relleno	Rugosidad	Agua subterránea
4	N20E	25NW	Arenisca					2-3	NO
4	N20E	25NW						2	NO
4	N12E	30NW						2	NO
D1	N30W	25NE		0.6				2	NO
D1	N20E	53SE		0.8	0.4			2	NO
D1	N10E	60SE		0.7	0.6			3	NO
D1	N10E	45NE		0.8	0.2			2	NO
D1	N5E	55NE		0.7				2	NO
D2	N45W	80NE		1.3	0.4			3	NO
D2	N85W	75SW		1.10	0.8	0.5	0	2	NO
D2	N85W	85SW		2.3	1.7	1	1	3	NO
D2	N70W	82NE		2	1.1	0.5	0	3	NO
D2	N65W	88SW		1.5		0.8	1	3	NO
D3	N15E	43SE							NO

3.3 GEOMORFOLOGIA

3.3.1 Geomorfología Local

El sector estudiado se encuentra localizado sobre una ladera en la contrapendiente estructural, flanco oriental del sinclinal de Usme. La morfología es moderadamente inclinada sobre laderas de rocas arcillosas y depósitos recientes de origen coluvial; y semiplana a plana en las zonas cercanas a la Quebrada Triángulo.

Las geoformas están controladas especialmente por el sinclinal de Usme y son el producto de la compleja evolución tectónica del Terciario, de los procesos de erosión y acumulación, mediante la delimitación de fenómenos de remoción en masa. La construcción de la fabrica de ladrillos La Gaitana ha dejado como resultado el destape de las rocas aflorantes y la conformación de un patio de disposición de materiales con pendiente plana a suavemente inclinada, donde se aprecian erosión en surcos.

Durante las labores de construcción de las viviendas, es normal que se realice la reconformación del terreno, mediante excavación de las partes altas y relleno con el material de excavación de las partes deprimidas del terreno, sin una adecuada protección de los taludes así formados. Este proceso ayudado por el vertimiento de aguas sanitarias y de acueducto, ha originado pequeños deslizamientos en las franjas intervenidas.

En laderas conformadas por material de origen coluvial, suelo residual y rellenos de material de excavación y escombros, se han originado deslizamientos traslacionales y rotacionales; algunos activos, como causa de sobrepresiones, vertimiento de aguas sanitarias y de acueducto o de excavaciones indiscriminadas sobre la pata de los taludes.

Mediante la fotointerpretación y el trabajo de campo se identificaron geoformas relacionadas con distintos ambientes, topografía o pendiente, grado de estabilidad, drenaje, composición del material presente, forma del terreno y procesos denudativos, las cuales se han agrupado en unidades desde el punto de vista morfogenético **(Plano 4)**.

- **Ladera de Roca (LAR).** La morfología de esta unidad corresponde a una zona de pendiente plana a suavemente inclinada. Esta constituida por arcillolitas abigarradas de color gris a vinotinto, friables, meteorizadas y areniscas arcillosas, laminadas en sectores presenta estratificación cruzada, de color amarillo a morado, grano fino, friables, meteorizados; En esta unidad se aprecian procesos de erosión laminar y en surcos producto de la acción del agua por escorrentía superficial.

Los mejores sitios de ubicación de la unidad se hallan en la parte norte del barrio, antiguo patio de acopio y frente de extracción de materiales de la fabrica La Gaitana. Los factores que condicionan la estabilidad de la ladera de roca son la baja pendiente, su estructura geológica, bajo grado de inclinación hacia dentro del talud y su carácter impermeable que dificulta la infiltración de agua.

- **Ladera Coluvial (LC).** Se encuentra manifiesta en la parte norte del barrio San Cristóbal Sur sobre la parte posterior de las viviendas de la Transversal 9E (lotes 33 a 42). Su morfología se caracteriza por tener pendiente suave a moderadamente inclinada; está entallada por materiales heterogéneos de tamaño variado (bloques y cantos), subangulares embebidos en matriz arcillo-arenosa, que suprayacen capas de arcillolitas grisáceas a vinotinto, friables y areniscas arcillosas de grano fino, color amarillento a vinotinto, laminadas y altamente meteorizadas. En esta unidad no se aprecian procesos de remoción en masa que afecten la estabilidad de la ladera. El régimen de agua presente es subsuperficial proveniente de aguas lluvias.

Esta unidad es susceptible de que se produzcan movimientos en el talud debido a su estructura de las partículas de los suelos poco consolidados, la infiltración de agua y la morfología favorable a procesos de remoción en masa; las condiciones favorables de estabilización son el muro de contención de la parte baja del talud y la vegetación existente que comprende pastos y arbustos.

- **Ladera Coluvial Reciente (LC1).** Domina la parte baja del barrio desde la carretera oriente (sitio donde se construyo un muro de contención para estabilizar la calzada asfáltica) hasta el limite con la fabrica de ladrillos La Gaitana (Plano 4). La morfología de esta unidad está configurada por

pendientes moderadamente inclinadas; está constituida por materiales heterogéneos de tamaño variado (gravas y cantos), subangulares embebidos en matriz arcillo arenosa que suprayacen discordantemente una alternancia de arcillolitas abigarradas de color gris a vinotinto, friables, meteorizadas; con areniscas arcillosas, laminadas en sectores presenta estratificación cruzada, de color amarillo a morado, de grano fino, friables, meteorizadas.

En esta unidad se aprecian procesos de reptación y deslizamientos traslacionales activos e inactivos y los principales agentes modeladores son: infiltración subsuperficial de aguas lluvias, la escorrentía superficial (lluvias, sanitarias y de acueducto) originadas en la franja urbanizada de la carretera oriente y que son vertidos ladera abajo; los factores que favorecen la estabilidad de esta ladera es la presencia de vegetación de pastos y arbustos y los muros de contención existentes en la cabeza y pata del movimiento; entre los factores desencadenantes de los procesos están el vertimiento de aguas lluvias y sanitarias subsuperficiales que saturan los materiales existentes, la estructura poco consolidada del material suprayaciente de la Formación Bogotá (suelo residual y rellenos) y la morfología favorable.

- **Ladera Coluvial Intermedia (LC2).** Cobija una morfología de pendientes suave a moderadamente inclinadas; la unidad geomorfológica está constituida por materiales heterogéneos de tamaño variado (cantos y gravas), subangulares embebidos en matriz arcillo arenosa que cubren discordantemente una secuencia de arcillolitas abigarradas de color gris a vinotinto, friables, meteorizadas; con areniscas arcillosas, de grano fino meteorizadas, de color amarillo a morado, friables. El proceso morfodinámico más relevante es la reptación y deslizamientos traslacionales, los principales agentes modeladores son la infiltración subsuperficial de aguas lluvias.

Yace en el costado occidental de la Transversal 9 Este hasta el limite con la fabrica de ladrillos La Gaitana, cubre el costado posterior de las viviendas identificadas con el numero 28 a 34 (Plano 4). La vegetación de pastos y arbustos en esta unidad ejerce un factor determinante en la estabilidad del talud ayudado por el muro de contención de la parte inferior (fabrica La Gaitana), los factores que podrían desencadenar movimientos en la ladera son esencialmente la pendiente del terreno, la litología de los materiales existentes y la infiltración de aguas lluvias en la ladera.

Ladera de Suelo Residual y Relleno Antrópico (LSF). Esta unidad se presenta en la zona occidental de la Transversal 9 Este, costado posterior de los lotes 22 a 27. Morfológicamente se caracteriza por una zona de pendiente moderadamente inclinada; esta constituida por suelo residual cubierto por relleno de material de excavación de carácter arcilloso, combinado con basuras; se presenta flujo de suelos, el proceso de flujo de comprende el suelo residual y el relleno antrópico con espesor que llega hasta los dos metros y cincuenta centímetros (2.50 m).

La superficie de la unidad geomorfológica es susceptible de reactivacion de los movimientos debido a la estructura del suelo poco consolidada, la infiltración subsuperficial de aguas lluvias, escorrentía superficial proveniente de aguas lluvias, sanitarias y de acueducto de las viviendas localizadas sobre la Transversal 9 Este y morfología favorable a procesos de remoción en masa que afectan el suelo residual y el relleno antrópico; las condiciones favorables de estabilización son el muro de contención de la parte baja del talud y la vegetación existente que comprende pastos y arbustos.

Ladera Antrópica (LAN). Su mayor exposición se aprecia en la margen izquierda de la quebrada Triángulo parte baja de la carretera oriente; de morfología moderada a fuertemente inclinada. Esta constituida por un deposito de relleno actual de materiales de excavación de cantos, bloques y materiales finos y basuras sin reconformar adecuadamente; sobre esta unidad se aprecian procesos incipientes de remoción en masa causados por rellenos inadecuados de materiales de excavación y por aguas superficiales (lluvias) y la morfología de fuerte pendiente que pueden desencadenar en

movimientos de gran magnitud; la estabilidad de las laderas esta condicionada a la presencia de materiales heterogéneos de forma angular a subangular.

Ladera de Relleno Antrópico (LAN1). Se encuentra ubicada en el sector comprendido entre la margen derecha de la quebrada Triángulo y la carretera oriente; esta conformada por material de excavación de cantos, bloques y materiales finos, combinados con basuras sin reconformar adecuadamente, morfológicamente se caracteriza por una zona de pendiente moderadamente inclinada.

La superficie de la unidad geomorfológica esta controlada por infiltración subsuperficial de aguas lluvias, escorrentía superficial proveniente de aguas lluvias, sanitarias y de acueducto de la carretera oriente, la fuerte pendiente del terreno; la presencia de vegetación de pastos y arbustos en esta unidad ejerce un factor determinante en la estabilidad del talud.

3.3.2 Inventario de Procesos Actuales de Movimientos en Masa

El inventario de movimientos en masa permite identificar los factores (exógenos y endógenos) que caracterizan la ocurrencia de los fenómenos de remoción en masa (FRM), y para comparar y establecer las condiciones bajo las cuales ocurren éstos. Además es soporte fundamental para la evaluación de la amenaza, porque despliega la localización de un tipo particular de problema de inestabilidad y, provee información histórica y cartográfica de los eventos antiguos (cuando se tienen) y actuales.

El inventario se realizó con base en un trabajo de fotointerpretación y especialmente de reconocimiento en campo, se presenta en un mapa y fichas descriptivas de cada proceso. Las fichas se procesaron de acuerdo con la propuesta presentada por González A. J. (1989) para el primer simposio suramericano de deslizamientos y adaptada por INGEOCIM LTDA en 1998. El mapeo de los procesos involucró la toma de elementos cartografiables a la escala de trabajo, 1:500; es decir, la representación de unidades con área superior a 25 m^2 **(Tabla 3.2).**

3.3.2.1 PROCEDIMIENTO

El levantamiento de la información directa constituye el aspecto más importante para la consecución de información sobre procesos morfodinámicos en el área de estudio. El procedimiento utilizado para la elaboración del inventario de procesos actuales y registro histórico fue la siguiente:

Reconocimiento preliminar del área.
Recopilación y análisis de la información secundaria.
Toma de la información mediante el uso de la ficha técnica y cartografía de los procesos.
Elaboración de la base de datos.
Representación gráfica de la información en formato digital.
Análisis de la información.

Reconocimiento preliminar del área. Esta fase contempló una visita general del área de interés, haciendo énfasis en la identificación de los problemas de inestabilidad y, de los factores que los generaron, en especial la acción antrópica**.**

Recopilación y análisis de la información secundaria. Se consultaron diferentes estudios geotécnicos puntuales y generales realizados por algunas firmas consultoras, entre ellos los ejecutados por INGEOCIM (1998) e IFCAYA (1988), así como conceptos técnicos y diagnósticos elaborados o atendidos por la dirección de atención y prevención de emergencias DPAE.

TABLA Nº 3.2 (Continuación)
RESUMEN DEL INVENTARIO DE PROCESOS*

Ficha	Código	Localidad	Barrio	Estrato	Sector	Dirección	Nombre del sitio	Area afectada	Elevación	Zona	Zona sísmica	Estabilidad	Tipo de proceso	Erosión	Superficial	Subsuperficial	Fecha	Encuestador	Plancha topográfica	Plancha geológica	Fotografías aéreas	Número de casas	Otras construcciones
1	DT01-AN-I	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	2		Carretera Oriente No 14-03 sur		0.18		Antigua Escombrera		VERDADERO	Deslizamiento Traslacional	FALSO			2000-10-12					1	
2	DT02-AC-C	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	2		Carrera 9E No. 14-18 sur Int 7		0.65		Ladera natural		FALSO	Deslizamiento Traslacional	FALSO			2000-10-12					11	
3	DT03-AC-C	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	2		Transversal 9E No 14A-68 sur		0.01		Ladera natural		VERDADERO	Deslizamiento Traslacional	FALSO			2000-10-12					1	
4	FT01-AN-I	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	2		Transversal 9E No 14A-64 sur		0.015		Ladera natural		VERDADERO	Flujo de suelos	FALSO			2000-10-12					1	
5	DT04-AN-I	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	2		Transversal 9E No 14A-54 sur		0.075		Ladera natural		VERDADERO	Deslizamiento Traslacional	FALSO			2000-10-12					3	
6	DT05-AN-A	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	2		Transversal 9E No 14A-42 sur		0.12		Ladera natural		VERDADERO	Deslizamiento Traslacional	FALSO			2000-10-12					5	

* LA DESCRIPCIÓN DE LOS CAMPOS SE PRESENTAN EN LA TABLA 3.2

TABLA Nº 3.2 (Continuación)
RESUMEN DEL INVENTARIO DE PROCESOS*

Ficha	Código	Vía principal	Vía secundaria	Alcantarillado 1	Acueducto 1	Puente-viaducto	Muros de contención	Otras estructuras	Implicaciones socioeconómicas	Niños muertos	Niños heridos	Ancianos muertos	Ancianos heridos	Adultos muertos	Adultos heridos	Total muertos	Total heridos	Descripción general
1	DT01-AN-I	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO		Pequeñas									Deslizamiento traslacional en rellenos de escombros y materiales arcillosos, de espesor variable.
2	DT02-AC-C	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADERO		Graves									Deslizamiento traslacional en relleno de escombros y materiales arcillosos de espesor variable tipo local y activo.
3	DT03-AC-C	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO		Pequeñas									Deslizamiento traslacional en suelo residual y material de relleno
4	FT01-AN-I	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO		Pequeñas									Flujo de suelos
5	DT04-AN-I	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO		Pequeñas									Deslizamiento traslacional en relleno de escombros y procesos de reptación en la parte superior de la zona inestable, el deslizamiento afecto un muro de división en ladrillo
6	DT05-AN-A	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO		Pequeñas									Deslizamiento traslacional causado por sobreexcavacion de la parte inferior de la ladera.

* LA DESCRIPCIÓN DE LOS CAMPOS SE PRESENTAN EN LA TABLA 3.2

TABLA Nº 3.2 (Continuación)
RESUMEN DEL INVENTARIO DE PROCESOS*

Ficha	Código	Fecha última manifestación	Frecuencia	Esquema o fotografía	Relleno	Transportado	Residual	Roca	Unidad geológica	Geoforma afectada	Pendiente regional	Niv1_Espesor	Niv1_Tipo	Niv1_Consistencia	Niv2_Espesor	Niv2_Tipo	Niv2_Consistencia	Niv2_Dureza	Niv2_Meteorización	Niv2_Fracturación	Niv3_Espesor
1	DT01-AN-I				VERDADERO	FALSO	VERDADERO	VERDADERO	Tpb		Mo	0.1	Capa vegetal	Medio	3.4	Relleno Escombros	Medio				0.2
2	DT02-AC-C				VERDADERO	FALSO	VERDADERO	VERDADERO	Tpb		Mo	0.1	Capa vegetal	Medio	2.4	Relleno Escombros	Medio				0.1
3	DT03-AC-C				VERDADERO	FALSO	VERDADERO	VERDADERO	Tpb		Mo	0.1	Capa vegetal	Medio	2	Relleno de material arcilloso	Medio				0.1
4	FT01-AN-I				FALSO	FALSO	VERDADERO	VERDADERO	Tpb		Mo	0.1	Capa vegetal	Medio	0.1	Material arcilloso	Medio				0.1
5	DT04-AN-I				VERDADERO	FALSO	VERDADERO	VERDADERO	Tpb		Mo	2.7	Relleno de material de excavación	Medio	0.2	Arcillolita		3	3	2	
6	DT05-AN-A				VERDADERO	FALSO	FALSO	VERDADERO	Tpb		Mo	3	Relleno de material de excavación		0.2	Arcillolita		3	3	2	

* LA DESCRIPCIÓN DE LOS CAMPOS SE PRESENTAN EN LA TABLA 3.2

TABLA Nº 3.2 (Continuación)
RESUMEN DEL INVENTARIO DE PROCESOS*

Ficha	Código	Niv3_Tipo	Niv3_Dureza	Niv3_Meteorización	Niv3_Fracturación	Niv4_Espesor	Niv4_Tipo	Niv4_Dureza	Niv4_Meteorización	Niv4_Fracturación	Estratificación 1	Estratificación 2	Estratificación 3	Foliación 1	Foliación 2	Foliación 3	Diaclasas 1	Diaclasas 2	Diaclasas 3	Fracturas 1	Fracturas 2	Fracturas 3	Fallas 1	Fallas 2	Fallas 3	Pliegues 1	Pliegues 2	Pliegues 3
1	DT01-AN-I	Arcillolitas	3	3	3						Favorable	3	N20E/30NW															
2	DT02-AC-C	Arcillolitas	3	3	2						Favorable	3	N20E/30NW															
3	DT03-AC-C	Arcillolitas	3	3	2						Favorable	3	N20E/30NW															
4	FT01-AN-I	Arcillolita	3	3	2						Favorable	3	N20E/30NW															
5	DT04-AN-I										Favorable	2	N20E/30NW															
6	DT05-AN-A										Favorable	2	N20E/30NW															

* LA DESCRIPCIÓN DE LOS CAMPOS SE PRESENTAN EN LA TABLA 3.2

TABLA Nº 3.2 (Continuación)
RESUMEN DEL INVENTARIO DE PROCESOS*

Ficha	Código	Observaciones	Hoya hidrográfica	Area drenante sobre el talud	Pendiente media de la cuenca	Estación meteorológica	Precipitación media anual	Meses de máxima precipitación	Acueducto	Alcantarillado	Tipo de alcantarillado	Cobertura	Uso_Árboles	Uso_Arbustos	Uso_Pastos	Uso_Permanente	Uso_Transitorio	Uso_Rastrojo	Uso_Madera,lat	Uso_Material	Pavimento	Agua superficial en el deslizamiento	Agua superficial en el área aferente	Agua subterránea	Profundidad del nivel freático
1	DT01-AN-I								Existe	Existe	Combinado	1		40	60							As2	Azh2		
2	DT02-AC-C								No existe	No existe		1		60	40							Azh1	Azh2		
3	DT03-AC-C								Existe	Existe	Combinado	1			100							Azh1	Azh2		
4	FT01-AN-I								Existe	Existe	Combinado	1	20		80							Azh1	Azh2		
5	DT04-AN-I								Existe	Existe	Combinado	1			100							As1	As2		
6	DT05-AN-A								Existe	Existe	Combinado	1		80	20							Azi1	Azh2		

* LA DESCRIPCIÓN DE LOS CAMPOS SE PRESENTAN EN LA TABLA 3.2

TABLA Nº 3.2 (Continuación)
RESUMEN DEL INVENTARIO DE PROCESOS*

Ficha	Código	Laminar	Difusa	Concentrada	En caverna	Diferencial	Por socavación	Por incisión	Interna	Ero_Estado1	Ero_Estado 2	Ero_Litología	Ero_Morfología	Ero_Inclinación del talud	Ero_Lluvias	Ero_Incendios	Ero_Deslizamientos	Ero_Deforestación	Ero_Cultivos	Ero_Riegos	Ero_Descarga A Ll
1	DT01-AN-I	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	1		VERDADERO	FALSO	VERDADERO	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
2	DT02-AC-C	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	1		FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
3	DT03-AC-C	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	1		VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
4	FT01-AN-I	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO			FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
5	DT04-AN-I	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	1		VERDADERO	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
6	DT05-AN-A	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO			FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO

* LA DESCRIPCIÓN DE LOS CAMPOS SE PRESENTAN EN LA TABLA 3.2

TABLA Nº 3.2 (Continuación)
RESUMEN DEL INVENTARIO DE PROCESOS*

Ficha	Código	Ero_Estructuras	Ero_Otras	Tipo de talud 1	Tipo de talud 2	Tipo de talud 3	Tipo de talud 4	Angulo del talud	Rumbo	Inclinación	Altura	Longitud	Profundidad	Altura escarpe principal	Ancho medio	Area del deslizamiento	Porcentaje deslizamiento con edificaciones	Edad	Forma planta	Clasificación Varnes	Clasificación Sassa	Des_Actividad 1	Des_Actividad 2	Des_Litología	Des_Meteorización	Des_Fracturación
1	DT01-AN-I	FALSO		1	2	2		30	N20E	22	24	60	4.5	4	30	0.18	1			D. Traslacional		2	3	VERDADERO	FALSO	FALSO
2	DT02-AC-C	FALSO		1	2	2		30	N5E	25	30	100	3	2	65	0.65	10			Desliz. Traslacional		3	2	VERDADERO	FALSO	FALSO
3	DT03-AC-C	FALSO		2		1		32	N45E	32	8	15	2	2	8	0.01	10			Desliz. Traslacional		3	2	VERDADERO	FALSO	FALSO
4	FT01-AN-I	FALSO		2	1	1		28	N42W	35	14	30	2	6	7	0.015	10			Flujo de suelos		2	3	VERDADERO	FALSO	FALSO
5	DT04-AN-I	FALSO		2		1		30	N60E	30	16	50	2.65	0.2	15	0.075	10			Desl. Traslacional		2	3	VERDADERO	FALSO	FALSO
6	DT05-AN-A	FALSO		2	1	2		26	N60E	20	14	40	2.5	2	30	0.12				Desl. Traslacional		2	2	VERDADERO	FALSO	FALSO

* LA DESCRIPCIÓN DE LOS CAMPOS SE PRESENTAN EN LA TABLA 3.2

TABLA Nº 3.2 (Continuación)
RESUMEN DEL INVENTARIO DE PROCESOS*

Ficha	Código	Des_Estructuras	Des_Agua subterránea	Des_Alta precipitación	Des_Sismo	Des_Erosión hídrica	Des_Erosión eólica	Des_Socavación	Des_Sobrecarga sup	Des_Excavación inf	Des_Corte	Des_Drenaje impedido	Des_Descarga agua	Des_Deforestación	Des_Cultivos	Des_Sobrepastoreo	Fotointerpretación de varias épocas	Levantamiento topográfico detallado	Levantamiento geológico detallado	Geofísica	Perforación	Barreno	Apiques	Mojones	Piezómetros	Inclinómetros	Ensayos de campo
1	DT01-AN-I	FALSO	FALSO	D					C								FALSO	VERDADERO	VERDADERO	FALSO	FALSO	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADERO
2	DT02-AC-C	FALSO	FALSO	D					C	D	D		C				FALSO	VERDADERO	VERDADERO	FALSO	FALSO	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADERO
3	DT03-AC-C	FALSO	FALSO	C					D	D							FALSO	VERDADERO	VERDADERO	FALSO	FALSO	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADERO
4	FT01-AN-I	FALSO	FALSO	C					D	D							FALSO	VERDADERO	VERDADERO	FALSO	FALSO	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADERO
5	DT04-AN-I	FALSO	FALSO	D						C	C						FALSO	VERDADERO	VERDADERO	FALSO	FALSO	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADERO
6	DT05-AN-A	FALSO	FALSO	D						C							FALSO	VERDADERO	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO

* LA DESCRIPCIÓN DE LOS CAMPOS SE PRESENTAN EN LA TABLA 3.2

TABLA Nº 3.2 (Continuación)
RESUMEN DEL INVENTARIO DE PROCESOS*

Ficha	Código	Ensayos de laboratorio	Reubicación inmediata	Corto plazo	Largo plazo	Observaciones generales
1	DT01-AN-I	VERDADERO	VERDADERO	Reubicacion vivienda afectada	Restricción uso urbanístico	
2	DT02-AC-C	VERDADERO	VERDADERO	Suspender los vertimientos de agua residuales a la ladera del cuerpo del deslizamiento	Restricción uso urbanístico y construcción de obras de contención y control de drenaje	
3	DT03-AC-C	VERDADERO	FALSO	Construcción de obras de contención y mejoramiento de la estructura de la vivienda	Restricción uso urbanístico	
4	FT01-AN-I	VERDADERO	FALSO	Reconformacion del terreno con vegetación arbustiva y restringir el uso urbanístico	Manejo del drenaje y reconformacion final del área, disminución de la pendiente.	
5	DT04-AN-I	VERDADERO	FALSO	Construcción de obras de contención (Pilotes) y reconformacion de la ladera, arborización.	Manejo del drenaje y reconformacion final del área, disminución de la pendiente.	
6	DT05-AN-A	FALSO	FALSO	Construcción de obras de contención (Pilotes) y reconformacion de la ladera.	Manejo de aguas y reconformacion final de la ladera.	

D:\Consultoria\Corinto\RESUMEN_2.XLS

* LA DESCRIPCIÓN DE LOS CAMPOS SE PRESENTAN EN LA TABLA 3.2

Toma de la Información mediante el uso de la ficha técnica y Cartografía de los Procesos. El proceso de la toma de información en campo se efectuó mediante el llenado de fichas técnicas **(Anexo 2)** y cartografía de los procesos de inestabilidad sobre el mapa topográfico detallado a escala 1:500. Posteriormente se priorizaron los movimientos de acuerdo con su influencia (traducida en área de afectación) y grado de actividad, con el fin de adelantar el levantamiento topográfico detallado y plantear el programa de exploración del subsuelo.

Elaboración de la Base de Datos. Para sistematizar los datos tomados en campo y registrados en las fichas se elaboro una aplicación en ACCESS, que permitiera una fácil manipulación de la información y el procedimiento ordenado de la misma. La base de datos así estructurada contempló 6 procesos inventariados, agrupados en 20 campos que van desde la composición (geología) hasta el tipo de investigación del subsuelo a ejecutar **(Tabla 3.3).**

Representación Gráfica de la Información en Formato Digital. La representación gráfica de cada tipo de proceso levantado se realizó sobre un mapa topográfico a escala 1:500, diferenciando cada proceso por tipología y actividad. La captura en formato digital se generó por capas de información diferenciadas por tipo de proceso. El resultado de este trabajo permite mediante el sistema de información georreferenciada, utilizar el inventario como variable en la evaluación de la amenaza y riesgo.

Análisis de Resultados. Con la información gráfica y la base de datos se procedió a analizar los ambientes geológicos, geomofológicos y antrópicos y climáticos, en los que tiende a presentarse los procesos de inestabilidad. Este análisis se utilizó para la determinación de la regionalización de variables como las lluvias y el vertimiento de aguas para ser incluidas en la evaluación de la amenaza, establecer la influencia del factor antrópico en la ocurrencia de deslizamientos y determinar el factor de seguridad de la ladera y por ende su probabilidad de falla, y el grado de afectación por exposición de los elementos bajo riesgo.

3.3.2.2 Registro Histórico de Procesos

Aunque para la construcción del registro histórico de eventos que han producido desastres en el barrio de interés, se tomo como base la información de diagnósticos y conceptos técnicos atendidos por la DPAE. La información colectada se empleo como soporte de la definición de presencia-ausencia de los deslizamientos.

3.3.2.3 Inventario de Procesos Actuales

Como resultado del inventario de procesos de inestabilidad actuales se obtuvo una cartografía temática en formato digital de los diferentes eventos (**Plano 5**), diferenciados por tipología y actividad, y una base de datos correspondientes de los registros inventariados (FRM) con la ficha de campo.

El inventario de procesos actuales contempla la cartografía de deslizamientos compuestos, rotacionales y traslacionales, flujos de tierra y reptación de laderas, adicionalmente a los fenómenos de remoción en masa (FRM), se contemplaron los escarpes en la adecuación de viviendas (Tabla 3.2).

El mayor porcentaje de problemas de inestabilidad corresponde a los deslizamientos traslacionales (DT) con un 85% (equivalente a 5 cuerpos) y por un flujo de tierra (FT) con 15% (1 cuerpo).

TABLA Nº 3.3

INVENTARIO DE PROCESOS
DESCRIPCIÓN DE LOS CAMPOS DE LA BASE DE DATOS (Continuación)

CAMPO	DESCRIPCIÓN
Formato	No. del formato en donde se consignó la información.
Localidad	Localidad a la que pertenece el proceso inventariado
Barrio	Barrio al que pertenece el proceso inventariado
Estrato	Estrato del barrio
Sector	Sector en el que se presenta el proceso
Dirección	Dirección del predio más cercano al proceso
Nombre del sitio	Nombre con el que es conocido el proceso
Area afectada	Area afectada en hectáreas
Elevación	Elevación del proceso en metros sobre el nivel del mar
Zona	Zona: ladera natural, antigua escombrera, antigua explotación, basurero o ronda
Zona sísmica	Zona sísmica del sector
Estabilidad	Sí o no es estable el sitio
Tipo de proceso	Tipos: Reptamiento, deslizamiento, desprendimiento, flujo de material o torrente
Erosión	Sí o no presenta erosión el sitio
Superficial	Si la erosión es superficial puede manifestarse: difusa, surcos, cárcavas, zanjas, hondonada
Subsuperficial	Si la erosión es subsuperficial puede manifestarse: tubificaciones o cavernas
Fecha	Del levantamiento
Encuestador	Persona que realizó el levantamiento
Plancha topográfica	Plancha topográfica a la que pertenece el lugar
Plancha geológica	Plancha geológica a la que pertenece el lugar
Fotografías aéreas	Fotografías aéreas en las que aparece la zona
Número de casas	Número de casas afectadas por el proceso
Otras construcciones	Número de otras construcciones afectadas por el proceso
Vía principal	Afectación de vía princilpal: sí o no
Vía secundaria	Afectación de vía secundaria: sí o no
Alcantarillado 1	Afectación del alcantarillado: sí o no
Acueducto 1	Afectación del acueducto: sí o no
Puente-viaducto	Afectación de puente o viaducto: sí o no
Muros de contención	Afectación de muros de contención: sí o no
Otras estructuras	Cuáles otras estructuras afectadas
Implicaciones socioeconómicas	Si son: graves, pequeñas o nulas
Niños muertos	Número de niños muertos
Niños heridos	Número de niños heridos
Ancianos muertos	Número de ancianos muertos
Ancianos heridos	Número de ancianos heridos
Adultos muertos	Número de adultos muertos
Adultos heridos	Número de adultos heridos
Total muertos	Número total de muertos
Total heridos	Número total de heridos
Descripción general	Del proceso
Fecha última manifestación	Del proceso
Frecuencia	Del proceso: Cada estación lluviosa, cada año, cada __ años
Esquema o fotografía	Del proceso
Relleno	Relleno como tipo de material involucrado: Sí o no
Transportado	Suelo transportado como tipo de material involucrado: Sí o no
Residual	Suelo residual como tipo de material involucrado: Sí o no
Roca	Roca como tipo de material involucrado: Sí o no
Unidad geológica	En donde se desarrolla el proceso
Geoforma afectada	En donde se desarrolla el proceso
Pendiente regional	De donde se desarrolla el proceso
Niv1_Espesor	Para el nivel 1, el espesor en metros
Niv1_Tipo	Para el nivel 1, el tipo de material
Niv1_Consistencia	Para el nivel 1, consistencia del material
Niv2_Espesor	Para el nivel 2, el espesor en metros
Niv2_Tipo	Para el nivel 2, el tipo de material
Niv2_Consistencia	Para el nivel 2, consistencia del material: consistente, medio o blando
Niv2_Dureza	Para el nivel 2, dureza de Mohs del material: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ó 10
Niv2_Meteorización	Para el nivel 2, meteorización del material: 1, 2, 3, 4 ó 5
Niv2_Fracturación	Para el nivel 2, fracturación del material: 1, 2, 3, 4 ó 5
Niv3_Espesor	Para el nivel 3, el espesor en metros
Niv3_Tipo	Para el nivel 3, el tipo de material
Niv3_Dureza	Para el nivel 3, dureza de Mohs del material: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ó 10
Niv3_Meteorización	Para el nivel 3, meteorización del material: 1, 2, 3, 4 ó 5

DESCRIPCIÓN DE LOS CAMPOS DE LA BASE DE DATOS (Continuación)

CAMPO	DESCRIPCIÓN
Niv3_Fracturación	Para el nivel 3, fracturación del material: 1, 2, 3, 4 ó 5
Niv4_Espesor	Para el nivel 4, el espesor en metros
Niv4_Tipo	Para el nivel 4, el tipo de material
Niv4_Dureza	Para el nivel 4, dureza de Mohs del material: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ó 10
Niv4_Meteorización	Para el nivel 4, meteorización del material: 1, 2, 3, 4 ó 5
Niv4_Fracturación	Para el nivel 4, fracturación del material: 1, 2, 3, 4 ó 5
Estratificación 1	Si la estratificación es favorable o desfavorable
Estratificación 2	El nivel de la estratificación reportada
Estratificación 3	El rumbo/buzamiento de la estratificación
Foliación 1	Si la foliación es favorable o desfavorable
Foliación 2	El nivel de la foliación reportada
Foliación 3	El rumbo/buzamiento de la foliación
Diaclasas 1	Si la diaclasa es favorable o desfavorable
Diaclasas 2	El nivel de la diaclasa reportada
Diaclasas 3	El rumbo/buzamiento de la diaclasa
Fracturas 1	Si la fractura es favorable o desfavorable
Fracturas 2	El nivel de la fractura reportada
Fracturas 3	El rumbo/buzamiento de la fractura
Fallas 1	Si la falla es favorable o desfavorable
Fallas 2	El nivel de la falla reportada
Fallas 3	El rumbo/buzamiento de la falla
Pliegues 1	Si el pliegue es favorable o desfavorable
Pliegues 2	El nivel del pliegue reportado
Pliegues 3	El rumbo/buzamiento del pliegue
Observaciones	Observaciones acerca de la información geológica
Hoya hidrográfica	En la cual se presenta el proceso
Area drenante sobre el talud	En hectáreas
Pendiente media de la cuenca	Pendiente promedio de la cuenca sobre el talud. En grados
Estación meteorológica	Nombre de la estación metereológica.
Precipitación media anual	En la cuenca expresada en milímetros.
Meses de máxima precipitación	En la cuenca.
Acueducto	Acueducto: Existe, no existe o mangueras.
Alcantarillado	Acueducto: Existe, no existe o pozo séptico.
Tipo de alcantarillado	Tipos: Lluvias, negras, combinado o ambos.
Cobertura	Tipos de cobertura: Inculto, cultivado, edificación o vías.
Uso_Árboles	En caso de ser inculto, porcentaje del suelo cuya cobertura es de árboles.
Uso_Arbustos	En caso de ser inculto, porcentaje del suelo cuya cobertura es de arbustos.
Uso_Pastos	En caso de ser inculto, porcentaje del suelo cuya cobertura es de pastos.
Uso_Permanente	En caso de ser cultivado, porcentaje del suelo cuya cobertura es permanente.
Uso_Transitorio	En caso de ser cultivado, porcentaje del suelo cuya cobertura es permanente.
Uso_Rastrojo	En caso de ser cultivado, porcentaje del suelo cuya cobertura es permanente.
Uso_Madera,lat	En caso de que el uso del suelo sea edificación, porcentaje que corresponde a construcciones en madera y latas.
Uso_Material	En caso de que el uso del suelo sea edificación, porcentaje que corresponde a construcciones en "material".
Pavimento	En caso de que el uso del suelo sea pavimento, porcentaje que corresponde al área pavimentada
Agua superficial en el deslizamiento	Puede ser: chorros, manantiales, empozamientos, zonas de infiltración, zonas húmedas o seco
Agua superficial en el área aferente	Puede ser: chorros, manantiales, empozamientos, zonas de infiltración, zonas húmedas o seco
Agua subterránea	Puede encontrarse: superficial, colgada o profunda.
Profundidad del nivel freático	Profundidad aproximada del nivel freático expresada en metros.
Laminar	Erosión laminar: sí o no.
Difusa	Erosión difusa: sí o no.
Concentrada	Erosión concentrada: sí o no.
En caverna	Erosión en caverna: sí o no.
Diferencial	Erosión diferencial: sí o no.
Por socavación	Erosión por socavación: sí o no.
Por incisión	Erosión por incisión: sí o no.
Interna	Erosión interna: sí o no.
Ero_Estado1	Estado de la erosión: incipiente, media y avanzada.
Ero_Estado 2	Estado de la erosión: reciente o antigua
Ero_Litología	Litología como causa de erosión: Sí o no.
Ero_Morfología	Morfología como causa de erosión: Sí o no.
Ero_Inclinación del talud	Inclinación del talud como causa de erosión: Sí o no.

DESCRIPCIÓN DE LOS CAMPOS DE LA BASE DE DATOS (Continuación)

CAMPO	DESCRIPCIÓN
Ero_Lluvias	Lluvias como causa de erosión: Sí o no.
Ero_Incendios	Incendios como causa de erosión: Sí o no.
Ero_Deslizamientos	Deslizamientos como causa de erosión: Sí o no.
Ero_Deforestación	Desforestación como causa de erosión: Sí o no.
Ero_Cultivos	Cultivos como causa de erosión: Sí o no.
Ero_Riegos	Riegos como causa de erosión: Sí o no.
Ero_Descarga A LI	Descarga de aguas lluvias como causa de erosión: Sí o no.
Ero_Estructuras	Estructuras como causa de erosión: Sí o no.
Ero_Otras	Otras causas de erosión.
Tipo de talud 1	Tipo de talud antes del evento: uniforme o no uniforme.
Tipo de talud 2	Tipo de talud antes del evento: rectilíneo, cóncavo o convexo.
Tipo de talud 3	Tipo de talud antes del evento: ondulado o terraceado.
Tipo de talud 4	Tipo de talud antes del evento: natural o artificial.
Angulo del talud	Expresado en grados.
Rumbo	Rumbo del talud (α)
Inclinación	Inclinación del talud (β)
Altura	Altura del talud (H) expresada en metros.
Longitud	Longitud del talud (L) expresada en metros.
Profundidad	Profundidad del talud (D) expresada en metros.
Altura escarpe principal	Altura del escarpe principal expresada en metros.
Ancho medio	Ancho medio del proceso expresada en metros.
Area del deslizamiento	Expresada en hectáreas.
Porcentaje deslizamiento con edificaciones	Porcentaje del deslizamiento en el que hay edificaciones.
Edad	Expresada en meses.
Forma planta	
Clasificación Varnes	Nombre, que en la clasificación de Varnes, recibe el proceso analizado.
Clasificación Sassa	Nombre, que en la clasificación de Sassa, recibe el proceso analizado.
Des_Actividad 1	Actividad del proceso: potencial, estabilizado o activo.
Des_Actividad 2	Actividad del proceso: incipiente, avanzado o colapsado.
Des_Litología	Litología como causa del deslizamiento: Sí o no.
Des_Meteorización	Meteorización como causa del deslizamiento: Sí o no.
Des_Fracturación	Fracturación como causa del deslizamiento: Sí o no.
Des_Estructuras	Estructuras como causa del deslizamiento: Sí o no.
Des_Agua subterránea	Agua subterránea como causa del deslizamiento: Sí o no.
Des_Alta precipitación	Alta precipitación como causa del deslizamiento: Sí o no.
Des_Sismo	Sismo como causa del deslizamiento: Sí o no.
Des_Erosión hídrica	Erosión hídrica como causa del deslizamiento: Sí o no.
Des_Erosión eólica	Erosión eólica como causa del deslizamiento: Sí o no.
Des_Socavación	Socavación como causa del deslizamiento: Sí o no.
Des_Sobrecarga sup	Sobrecarga superficial como causa del deslizamiento: Sí o no.
Des_Excavación inf	Excavación inferior como causa del deslizamiento: Sí o no.
Des_Corte	Corte como causa del deslizamiento: Sí o no.
Des_Drenaje impedido	Drenaje impedido como causa del deslizamiento: Sí o no.
Des_Descarga agua	Descarga de agua como causa del deslizamiento: Sí o no.
Des_Deforestación	Deforestación como causa del deslizamiento: Sí o no.
Des_Cultivos	Cultivos como causa del deslizamiento: Sí o no.
Des_Sobrepastoreo	Sobrepastoreo como causa del deslizamiento: Sí o no.
Fotointerpretación de varias épocas	Como exploración adicional, fotointerpretación de varias épocas: Sí o no
Levantamiento topográfico detallado	Como exploración adicional, levantamiento topográfico detallado: Sí o no
Levantamiento geológico detallado	Como exploración adicional, levantamiento geológico detallado: Sí o no
Geofísica	Como exploración adicional, geofísica: Sí o no
Perforación	Como exploración adicional, investigación subsuperficial con perforación: Sí o no
Barreno	Como exploración adicional, investigación subsuperficial con barreno: Sí o no
Apiques	Como exploración adicional, investigación subsuperficial con apiques: Sí o no
Mojones	Como exploración adicional, instrumentación con mojones: Sí o no
Piezómetros	Como exploración adicional, instrumentación con piezómetros: Sí o no
Inclinómetros	Como exploración adicional, instrumentación con inclinómetros: Sí o no
Ensayos de campo	Como exploración adicional, ensayos de campo: Sí o no
Ensayos de laboratorio	Como exploración adicional, ensayos de laboratorio: Sí o no
Reubicación inmediata	Como medida preventiva, reubicación inmediata: Sí o no.
Corto plazo	Medidas preventivas a corto plazo.
Largo plazo	Medidas preventivas a largo plazo.
Observaciones generales	Observaciones generales del inventario.

En general, los fenómenos de inestabilidad son activos 2 unidades (DT02-AC-C y DT03-AC-C) y los procesos DT01-AN-I, FT01-AN-I, DT04-AN-I y DT05-AN-A, han alcanzado su estado de equilibrio estable (González, 1989). Tienen profundidades máximas de 7.50 metros y ocupan áreas densamente urbanizadas, lo que implica altos niveles de riesgo. El material fallado involucra depósitos coluviales, suelos residuales y rellenos, y el principal agente detonante o reactivador es el hombre, gracias a la generación de vertimientos de agua o procesos de descarga; poca influencia puede atribuirse a la lluvia como elemento disparador, pero no puede sustraerse su papel como contribuyente importante.

Los principales procesos morfodinámicos, medidos por el nivel de riesgo (cualitativo) implícito a ellos, son: DT02-AC-C, DT01-AN-I, DT03-AC-C, FT01-AN-I, DT04-AN-I, DT05-AN-A. De ellos, el DT01 y el DT02, ocupan las mayores áreas de afectación indirecta, involucrando en conjunto 12 viviendas. El primero de ellos (DT01-AN-I), corresponde a un deslizamiento traslacional con área aproximada de 1800 m^2, ocupa parte de la ladera oriental de descenso a la quebrada Triángulo, el material fallado esta integrado por capa vegetal y rellenos de escombros, su espesor medio alcanza los 3.50 metros (según el registro de las perforaciones) y probablemente, fue activado por vertimientos de aguas sanitarias y lluvias de la carretera oriente y afecto una vivienda. El segundo fenómeno, DT02-AC-C, se clasifica como deslizamiento traslacional, este proceso tiene un área muy superior al proceso anterior 6.500 m^2, con consecuencias superiores, pues involucra 11 viviendas y antiguamente afectó la carretera oriente; el cuerpo del deslizamiento está conformado por rellenos de escombros, suelos residuales y coluviales traslocados y la superficie de falla alcanza una profundidad de 7.50 metros (de acuerdo con los resultados de las perforaciones); recientemente la franja terminal del movimiento muestra evidencias de reactivación.

Los deslizamientos DT03-AC-C, DT04-AN-I, DT05-AN-A y FT01-AN-I (Tabla 3.2 y anexo 2 Formato de campo), engloban en promedio de 1 a 2 viviendas por movimiento, en las zonas de afectación directa e indirecta; las áreas movilizadas no superan los 750 m^2 y no son inferiores a 100m^2; las masas falladas no exceden los 3.10 metros de espesor. En general, estos fenómenos poseen actividad avanzada y se desconoce si tienen carácter retrogresivo y por ende su influencia real.

El proceso de inestabilidad DT01-AN-I (deslizamiento traslacional), se encuentra manifiesto en la parte norte del barrio San Cristóbal Sur, parte posterior de la vivienda ubicada en la carretera oriente No 14-03 sur; el proceso identificado como DT02-AC-C (deslizamiento traslacional), domina la ladera intermedia del área de estudio desde la carretera oriente (sitio donde se construyo un muro de contención para estabilizar la calzada asfáltica) hasta el limite con la fabrica de ladrillos La Gaitana; El proceso DT03-AC-C (deslizamiento traslacional), yace en la parte posterior de la vivienda de la Transversal 9E No 14A-68 sur hasta el limite con la fabrica de ladrillos La Gaitana; el proceso FT01-AN-I (flujo de suelos), se encuentra expuesto en la parte posterior de la vivienda de la Transversal 9E No 14A-64 sur; El DT04-AN-I (deslizamiento traslacional) se aprecia en la parte posterior de la vivienda de la Transversal 9E No 14A-54 sur, mientras el proceso el DT05-AN-A (deslizamiento traslacional), se encuentra ubicado en el costado posterior de la vivienda identificada como Transversal 9E No 14A-42 sur.

3.4 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

El proceso de caracterización geotécnica se inició con el reconocimiento de los fenómenos de inestabilidad, las características topográficas y la información geológica y geomorfológica de la zona en estudio. Estableciéndose posteriormente, el plan de trabajo para la exploración del subsuelo, dirigida a la determinación de los parámetros geomecánicos para los depósitos y macizos rocosos.

La zona en estudio se encuentra afectada por movimientos superficiales de carácter traslacional, descritos en el numeral 3.3.2.3 Inventario de Procesos, involucran materiales de relleno heterogéneo con basuras y un espesor de material residual, producto de la alteración de la arcillolita de la formación Bogotá. La tasa

de los movimientos actual es bastante lenta, sin embargo, se conoce de deslizamientos antiguos traslacionales que ocurrieron muy rápido y afectaron la estructura de la carretera de oriente. Por esta razón, se construyó un muro que colapsó al poco tiempo de construido, posteriormente se realizó un segundo muro con mejores características estructurales y una altura de 4.0 metros, soportando los empujes de los depósitos gravitacionales y la estructura de la vía. Este muro actualmente presenta algunas fisuras, principalmente en donde existen cambios bruscos de dirección y las juntas de dilatación. Parte de él colapsó recientemente, afectando una zona considerable y la estabilidad de una casa, que finalmente se demolió y se encuentra en proceso de reubicación (lote 19).

En la parte alta del talud donde se encuentran ubicadas las casas de la carretera de oriente, se observó que el sistema de alcantarillado con tubos de gres, provenientes de las viviendas localizadas en los lotes 1 a 21 en su gran mayoría presentan fugas, formando empozamientos y filtraciones de agua en el subsuelo. El sistema de alcantarillado combinado (lluvias y sanitarias), descarga directamente en la parte media de la ladera, sin ningún tipo de tratamiento.

La disposición continua de materiales de relleno antrópico en el costado nororiental del lote 1, en el sector occidental de la carretera oriente, incrementa las fuerzas inestabilizantes en esta zona y permite la infiltración de agua lluvia y de escorrentía, deteriorando las condiciones del subsuelo.

Los materiales en la pata del talud fueron retirados para la adecuación de la fabrica de ladrillos en épocas anteriores, quedando sin soporte los materiales de la parte superior y fueron detonante de los primeros movimientos de la ladera. Por esta razón, fue necesaria la construcción de un muro de contención en concreto en esta zona, estabilizando parte de los materiales. Este muro se encuentra en buen estado apoyado sobre la arcillolita.

3.4.1. Exploración del Subsuelo

Basados en las características de la zona, definidas por depósitos gravitacionales de suelos residuales y antrópicos que cubren los macizos rocosos, se programó la exploración del subsuelo. Con el propósito de identificar y caracterizar la distribución subsuperficial de los materiales débiles que afectan el movimiento del terreno, así como las formaciones más resistentes que delimitan la extensión de la zona de falla. Estableciéndose parámetros geotécnicos y la profundidad a la cual se encuentra la roca.

Todo este conjunto reveló la necesidad de formular un plan de trabajo mixto, que conjugara la exploración directa mediante trincheras (columnas estratigráficas), sondeos con barrenos manuales y la prospección con sondeos eléctricos verticales. Se levanto una (1) columna estratigráfica en toda la zona, tres sondeos eléctricos verticales SEVs y catorce (14) perforaciones que cobijaron no sólo los principales cuerpos de deslizamiento, sino el contexto completo de las unidades geomorfológicas y de los materiales que constituyen la secuencia estratigráfica.

Perforaciones. Las perforaciones se llevaron a cabo con equipo manual hasta el contacto con el sustrato rocoso; realizando ensayos de penetración estándar en los diferentes horizontes. La toma de muestras se realizó con muestreadores de pared delgada (tubo shelby) bien en los cambios de material o en donde se considerara pertinente. Paralelo con el avance se adelantaron ensayos de penetración estándar (SPT), en los diferentes horizontes, si el registro así lo indicaba. Esta prueba in situ sirvió de soporte para la caracterización geomecánica del cuaternario.

El espaciamiento de los sondeos se determinó en función del tamaño y características del deslizamiento, realizándose sondeos en la zona del movimiento y por fuera del mismo. Las perforaciones se ubicaron siguiendo los ejes de mayor movimiento y los flancos laterales; arriba de los escarpes principales, en el

cuerpo y en la pata de los deslizamientos. El **Plano 5** por su parte indica la distribución espacial, y la ubicación tanto de las columnas estratigráficas, perforaciones y SEV.

Las profundidades alcanzadas en las perforaciones se presentan en la **Tabla 3.4.**

TABLA 3.4. Exploración del subsuelo

SONDEO N_O	PROFUNDIDAD, (M)	SONDEO N_O	PROFUNDIDAD, (M)
S-1	4.45	S-8	4.00
S-2	4.15	S-9	2.55
S-3	1.55	S-10	4.00
S-4	5.60	S-11	7.50
S-5	2.95	S-12	5.00
S-6	2.65	S-13	4.50
S-7	1.55	S-14	2.50

Total de exploración del subsuelo 52.95 m

En las **Figuras A1** a **A14** del **Anexo 3** se presentan las secuencias estratigráficas propias de cada perforación, ellas destacan el tipo de material interceptado, sus características texturales y físico mecánicas. En los perfiles estratigráficos puede observarse también la variación de las propiedades de resistencia con la profundidad y las propiedades índice de los suelos.

Sondeos Eléctricos Verticales SEVs. Con el fin de interpretar el tipo de material presente y su espesor, se realizaron tres (3) sondeos eléctricos verticales, los cuales ofrecieron información a profundidades mayores a las alcanzadas en las demás perforaciones.

En la prospección geoeléctrica se utilizó un equipo McOHM Mark-2, Modelo 2115A, el cual consta de amperímetro, voltímetro digital y una unidad generadora de fuerza electromotriz que introduce corriente en el subsuelo. Del McOHM se obtienen datos de intensidad de corriente (I) en miliamperios y la diferencia de potencial (ΔV) en milivoltios. Las relaciones (ΔV/I), se multiplican por factores geométricos exclusivos de cada arreglo, para obtener las resistividades aparentes, las cuales son graficadas en papel logarítmico en función de la distancia electródica de corriente (AB/2). Para la realización de los SEV se utilizo el dispositivo de Schlumberger, con variaciones de distancia electródica de potencial MN/2 de 0.5, 3 y 10 metros hasta una distancia de 100 metros de AB.

El cálculo y la determinación de las resistividades y profundidades reales, se realizó a partir de gráficos de la compañía general de geofísica de Francia, mediante el método de puntos auxiliares y con la ayuda de un programa de computador se ajustaron las curvas de campo con las curvas matemáticas.

Los sondeos eléctricos verticales, se realizaron sobre un relleno de material de escombros mezclados con basuras, los cuales forman parte de la ladera de la Quebrada Triángulo **(Figura 3.7 a 3.9)**. En el **Plano 5**, se presenta la localización de las perforaciones y sondeos eléctricos verticales, SEV.

Realizados los sondeos eléctricos verticales en la zona de interés se obtuvieron registros de resistividades los cuales fueron interpretados obteniendo los siguientes resultados:

- En el **SEV 1** se observa una secuencia litoestratigráfica conformada en su parte superior por un nivel de relleno de materiales de construcción mezclados con basuras, plásticos, frascos, etc., con un espesor estimado de 8.10 metros; luego se encuentra una alternancia de arcillolitas grisáceas y areniscas arcillosas registrando valores de resistividad de 35.1 a 43.5 Ohm-m, con un espesor de 9.30 metros; finalmente se registra un nivel de arcillolitas, con valores de resistividad de 20.8 a 23.1 Ohm-m y un espesor que supera los veinte metros **(Figura 3.7).**

- El **SEV 2** realizado con una separación aproximada de quince (15) metros con respecto al SEV 1, presenta en su parte superior un perfil de relleno de materiales de construcción mezclados con basuras, plásticos, frascos, etc., con un espesor de 7.20 metros aproximadamente y valores de resistividad de 17.4 a 84.5 Ohm-m; A partir de este nivel se aprecia una alternancia de arcillolitas grisáceas y areniscas arcillosas, con un espesor superior a 13.70 metros y valores de resistividad los cuales oscilan entre 21.1 y 36.5 Ohm-m **(Figura 3.8).**

- El **SEV 3** realizado con una separación aproximada de dieciocho (18) metros con respecto al SEV 2, registra un nivel de relleno de materiales de construcción mezclados con basuras, plásticos, frascos, etc., con un espesor de 5.90 metros y valores de resistividad de 17.9 a 95.2 Ohm-m; A continuación se presenta la alternancia de arcillolitas grisáceas y areniscas arcillosas de 12.3 a 26.9 Ohm-m de resistividad y un espesor que supera los 12 metros **(Figura 3.9).**

3.4.2 Ensayos de Laboratorio

El programa de ensayos se dirigió a la caracterización de los diferentes materiales, a la estimación de la resistencia al corte en ellos y a la clasificación del macizo rocoso. Por ello se decidió por una campaña de muestreo sistemático de los principales depósitos y frentes de exposición del macizo a lo largo de la ladera y una revisión de los mecanismos de falla.

El programa para los horizontes de suelo agrupa pruebas de clasificación y ensayos de resistencia al corte como compresión inconfinada, penetrómetro de laboratorio y corte directo.

Clasificación
- Límite líquido (LL)
- Límite plástico (LP)
- Análisis granulométrico
- Lavado sobre el tamiz No. 200 (F_{200})
- Humedad natural (ω_n)
- Peso unitario (γ)
- Contenido de materia orgánica (oc)

Resistencia al corte
- Compresión inconfinada
- Resistencia con el penetrómetro manual
- Veleta de laboratorio (Torvane)

Con base en los perfiles estratigráficos obtenidos en las perforaciones de campo, se elaboraron los perfiles típicos de la zona de estudio, los cuales presentan en general las siguientes características:

En la base se encuentra una arcillolita abigarrada de consistencia relativamente dura y en el contacto se encuentra el material producto de la degradación de la arcillolita, que permite el deslizamiento de los materiales superficiales con facilidad. Sobreyacen a este material sedimentos poco consolidados formados por arcillas y depósitos de material arcilloso heterogéneo de relleno con basuras y detritos de demolición, que sirven de matriz a fragmentos ocasionales de areniscas y bloques de roca.

La clasificación de los materiales y la variación de sus propiedades con la profundidad se describe para las siguientes partes de la zona de estudio:

Materiales varios de relleno, compuesto por detritos de demolición, escombros y basuras, suelto y fisurado por raíces. Clasifica por el Sistema Unificado como OH, CH y SM, presenta límites líquidos que oscilan entre 35 y 48%, con índices de plasticidad del orden de 20%. El índice de consistencia presenta valores mínimos de 0.8 y máximos de 1.9.

Tanto los perfiles de suelo residual como coluvial, son principalmente arcillosos de baja plasticidad, con porcentajes de humedad entre 10% y 26%, e intervalos estrechos del índice de plasticidad (desde 20% hasta 32%). El peso unitario posee poca variación y se ubica en un promedio de 2.1 t/m^3 con una desviación estándar de 1.5 t/ m^3 (equivalente al 7% del promedio).

De los reportes de corte directo, se aprecia que los horizontes de suelo residual poseen ángulos de fricción pico en el intervalo $20° < \phi < 23°$, con cohesiones inferiores a 2.6 t/m^3. Los parámetros de resistencia residual alcanzan un máximo de 21 para ϕ'_{res} y 0.7 t/m^2 para c'_{res} **(Tabla 3.5)**.

La caracterización del material rocoso se llevó a cabo sobre muestras irregulares de bloque, que fueron sometidas a pruebas índice de peso unitario, y carga puntual, y sobre muestras regulares de forma cilíndrica a las que se les practicó comprensión inconfinada **(Anexo 4, Ensayos de Laboratorio)**. Los testigos ensayados correspondieron a unidades de roca de los principales bancos. Así entonces, se ensayaron arcillolitas de consistencia dura. El material remoldeado clasifica como arcilla de baja plasticidad CL.

De igual manera, se emplearon los resultados obtenidos por otras firmas consultoras, en diferentes sitios de explotación de la Formación Bogotá, cercanas al perímetro de estudio bien como mecanismo de verificación, de complementación o como parte integral de la investigación **(Tablas 3.6 y 3.7)**. Dentro de los estudios incorporados se destacan los realizados por las firmas INGEOCIM LTDA (1998) e HIDROTEC LTDA, en la misma zona. Los valores del índice de carga comprendido entre 27.4 kg/cm^2 y 49.2 kg/cm^2 muestran una banda amplia del esfuerzo a compresión simple desde 750 kg/cm^2 hasta 1200 kg/cm^2 que confirman los altos niveles de resistencia del material rocoso.

3.4.3 Pruebas de Campo

La diversidad y heterogeneidad de los depósitos, producto de los fenómenos de remoción en masa, de la degradación del sustrato rocoso y de la acción del hombre (rellenos), condicionan la representatividad de los datos de laboratorio, máxime cuando se toma en consideración la amplia superficie de estudio. Dada esta dificultad, se acudió al ensayo de penetración estándar, con el fin de complementar la caracterización geotécnica de dichos materiales.

Una vez obtenidos los registros de campo, la información fue sometida a validación y homogeneización. Los valores de N (numero de golpes) fueron corregidos por confinamiento y nivel de energía; es decir se normalizaron a un esfuerzo de 100 kPa y a una tasa efectiva de energía de 60%. Todo ello con el ánimo de estimar los parámetros efectivos de resistencia con el SPT, tal como lo propone González (1997).

Si bien el procedimiento anterior es de gran utilidad, al comparar sus resultados con los ensayos de laboratorio, se aprecia, que en general, se sobrestima el ángulo de fricción. Prueba de lo anterior reposa en los valores obtenidos para el material rocoso, el cual exhibe ángulos de fricción entre 45° y 50°; y para los rellenos antrópicos que pueden desarrollar niveles de 25° y 40°. en este último caso los reportes de los ángulos mínimos se consideraron más apropiados, por lo tanto se asumirán como los parámetros básicos **(Figura 3.10)**.

FIGURA 3.10

ESTIMACION DE PARAMETROS DE RESISTENCIA CON EL SPT
DE ACUERDO CON LA UNIDAD GEOMORFOLOGICA CORRESPONDIENTE

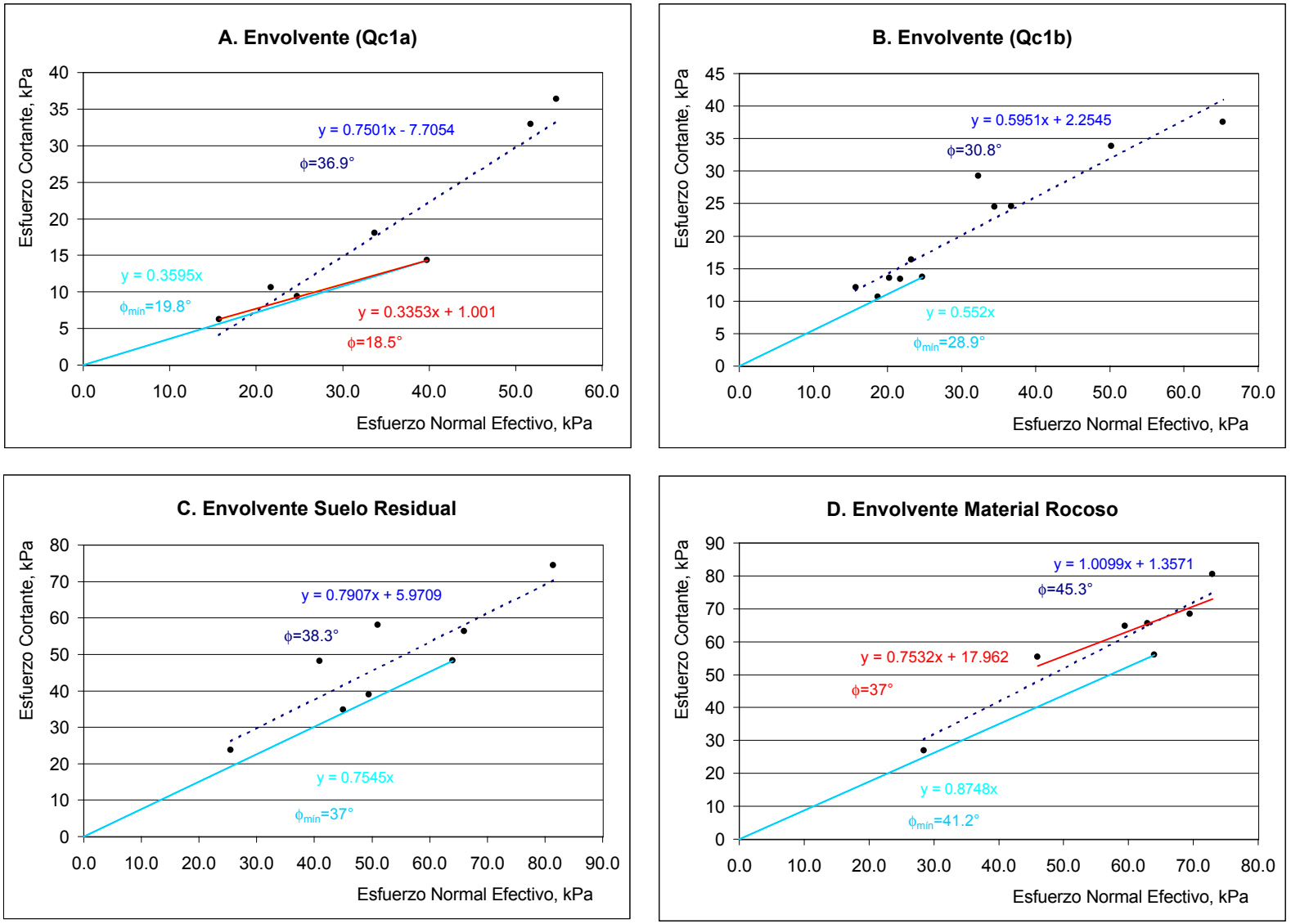


TABLA 3.5

INVESTIGACION DEL SUBSUELO

CUADRO RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO

PROYECTO : ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCION EN MASA Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE CONTROL, PROTECCION Y ESTABILIZACION BARRIO SAN CRISTOBAL SUR.

CLIENTE : Dirección para la Atención y Prevención de Emergencias (DPAE)

Sondeo	Espesor(m)		Muestra	Profundidad (m)	Descripción	Límites e Indices						Granulometria % Que Pasa Tamiz				USC	Peso Unitario γ (t/m3)	Resistencia al Corte Comp. Inc.	Penetr.	Vel. Campo	SPT	Parámetros de Resistencia			
	Relleno	S.Residual				LL(%)	LP(%)	ω_n(%)	IP(%)	IC	IL	No.4	No.40	No.100	No.200			q_u (t/m^2)	q_u (t/m^2)	c_u (t/m^2)	No Golp.	c (t/m²)	ϕ (°)	c_r (t/m²)	ϕ_r (°)
			1	0.80-1.25	Relleno Arcillo limoso gris habano			16													2				
			2	1.40-1.85	Relleno Arcillo limoso gris habano			27													2				
1	4.00	0.30	3	2.40-2.85	Relleno Arcillo limoso gris habano	35	22	25	13	0.77	0.23					CL					2				
			4	3.40-3.85	Relleno Arcillo limoso gris habano			17													13				
			5	3.85-4.30	Arcilla limosa gris			16													26				
			6	4.30-4.45	Arcillolita limosa gris			9													>50				
			1	1.20-1.65	Relleno limo arcilloso			18													3				
2	3.40	0.35	2	2.00-2.45	Relleno limo arcilloso			20													4				
			3	3.20-3.65	Arcillolita limosa gris y azul			12									2.239				10				
			4	3.70-4.00	Arcillolita limosa gris y azul	32	20	9	13	1.88	-0.88					CL					>50				
3	0.50	0.90	1	0.70-1.10	Relleno arcillo limoso gris	48	21	11	26	1.37	-0.37					CL	2.199	24.4	>45		22				
			2	1.10-1.55	Arcillolita limosa gris rojiza			10																	
			1	1.40-1.85	Relleno arcillo limoso gris			19													5				
4	5.30	0.20	2	3.10-3.35	Relleno arcillo limoso gris			26													11				
			3	4.10-4.55	Relleno arcillo limoso gris			22													8				
			4	5.15-5.60	Arcillolita limosa gris rojiza	56	24	15	32	1.29	-0.29					CH	2.188				35				
			1	1.00-1.45	Relleno arcillo limoso gris			24													4				
5	2.50	0.15	2	2.05-2.50	Relleno arcillo limoso gris			13													11				
			3	2.50-2.95	Arcillolita limosa gris rojiza			7													>50				
			1	0.80-1.20	Arcilla limosa meteorizada	48	28	20	21	1.36	-0.36					CL	2.012								
6	1.40	1.10	2	0.80-1.20	Arcilla limosa gris rojiza			20													11				
			3	1.80-2.20	Arcilla limosa gris rojiza	38	19	11	19	1.43	-0.43					CL	2.244	31.3	>45						
			4	2.20-2.65	Arcillolita limosa gris rojiza			11													>50				
7	0.70	0.80	1	0.70-1.10	Arcillolita limosa gris y violeta	46	21	11	25	1.42	-0.42					CL	2.276					5.0	23.0	1.8	21.0
			2	1.10-1.55	Arcillolita limosa gris y violeta			9													24				
			1	1.20-1.65	Relleno arcilloso habano y gris			11													6				
			2	2.20-2.65	Relleno arcilloso habano y gris			19													10				
8	2.60	0.70	3	2.65-3.10	Arcillolita limosa habana rojiza	43	20	15	23	1.25	-0.25					CL	2.631				16				
			4	3.60-4.03	Arcillolita limosa habana rojiza			13													18				
			5	3.60-4.05	Arcillolita limosa habana y gris	46	22	15	24	1.33	-0.33					CL	2.195	28.0	>45		27				
			1	1.10-1.55	Arcilla gris habana	44	26	20	18	1.36	-0.36					CL	2.014	32.3	>45		8				
9	1.20	1.00	2	1.70-2.10	Arcillolita limosa gris rojiza	50	28	23	22	1.21	-0.21					CL	2.091					2.6	23.0	0.7	19.0
			3	2.10-2.55	Arcillolita limosa gris rojiza			10													>50				
			1	0.00-0.30	Limo arcilloso orgánico amarillo			22																	
			2	0.30-1.00	Limo orgánico carmelita			20				61.00	43.05	24.64	20.45										
			3	1.00-1.20	Limo orgánico gris amarillo			20																	
10	1.80	0.70	4	1.20-1.40	Limo arcilloso gris carmelita	52	32	31	20	1.05	-0.04					OH									
			5	1.50-2.00	Arcilla gris vetas amarillas												1.964	13.4	14.0	7.0					
			6	2.00-2.50	Arcilla gris vetas amarillas	54	22	26	32	0.87	0.13	100.00	98.00	95.38	93.80	CH	1.878	13.6	16.0	9.0					
			7	2.50-3.00	Arcillolita gris con tonos morados			10													59				
			8	3.50-4.00	Arcillolita gris con tonos morados	47	20	13	27	1.25	-0.25	100.00	96.97	94.92	93.45	CL					>50				
			1	0.00-0.50	Limo arcilloso carmelita amarillo			13																	
			2	0.50-1.50	Relleno limo arcilloso			15																	
			3	1.50-2.00	Arcilla limosa gris carmelita												1.372	1.8	2.0	1.0					
11	6.60	0.40	4	2.50-3.00	Arcilla limosa gris carmelita	36	26	17	10	1.99	-0.99	79.29	60.61	46.86	39.90	SM	1.551	2.0	2.0	1.0					
			5	4.40-4.90	Arcilla limosa gris carmelita												1.320	1.8	2.0	3.0					
			6	6.60-7.00	Arcilla gris amarilla vetas habanas	33	18	22	16	0.71	0.29	100.00	97.72	93.43	91.31	CL	1.494	2.0	2.0	3.0		1.8	19.2	0.6	14.9
			7	7.00-7.50	Arcillolita limosa de color amarillo	29	17	9	12	1.72	-0.72	100.00	99.05	97.97	97.02	CL					>50				
			1	0.50-0.90	Limo arcilloso orgánico carmelita			36																	
			2	0.90-1.30	Limo arcilloso gris verdoso	49	20	27	30	0.75	0.25	100.00	98.62	96.79	95.98	CL									
			3	1.30-1.90	Arcilla gris clara vetas amarillas	57	22	20	35	1.06	-0.06	100.00	99.10	98.06	97.55	CH	2.072	25.2	30.0	15.0	9				
			4	1.90-2.40	Arcilla gris clara vetas moradas			17													23				
12	2.40	0.60	5	2.40-2.90	Arcilla gris clara vetas moradas	44	19	14	25	1.22	-0.22	100.00	98.29	96.77	95.56	CL					53				
			6	2.90-3.50	Arcilla gris clara vetas moradas			16													53	1.9	22.1	0.4	19.7
			7	3.50-4.00	Arcillolita gris vetas rojizas	38	19	13	19	1.27	-0.27	100.00	98.65	97.30	96.44	CL					44				
			8	4.00-4.50	Arcillolita gris vetas rojizas			11													57				
			9	4.50-5.00	Arcillolita gris vetas rojizas	33	18	9	15	1.56	-0.56	100.00	93.20	87.91	87.15	CL					>50				
			1	0.50-1.00	Relleno limo arcilloso orgánico																				
			2	1.50-2.00	Arcilla limosa amarilla carmelita	42	19	20	23	0.95	0.05	100.00	97.16	94.59	93.13	CL	2.154	14.0	16.0	8.0					
13	1.90	0.80	3	2.70-3.20	Arcillolita gris claro vetas amarillas	39	18	12	20	1.31	-0.31	100.00	96.55	94.09	92.51	CL					17				
			4	3.20-3.70	Arcillolita gris claro vetas amarillas																49				
			5	3.70-4.20	Arcillolita gris claro vetas amarillas	30	19	9	12	1.87	-0.87	100.00	97.72	92.85	90.41	CL					40				
			6	4.20-4.50	Arcillolita gris claro vetas amarillas			9													>50				
			1	0.00-0.30	Limo orgánico carmelito amarillo			17																	
14	2.00	0.00	2	0.60-1.00	Arcilla limosa carmelita rojiza	37	20	24	18	0.77	0.23	100.00	98.72	91.91	90.64	CL									
			3	1.40-1.90	Arcilla limosa carmelita amarilla	41	20	23	20	0.86	0.14	100.00	94.39	93.16	92.26	CL	2.206	13.4	14.0	7.0					
			4	2.30-2.50	Arcillolita limosa gris	28	18	9	10	1.89	-0.89	100.00	99.75	98.11	97.10	CL					>50				

TABLA 3.6

INVESTIGACION DEL SUBSUELO
CUADRO RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO

PROYECTO : ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCION EN MASA Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE CONTROL, PROTECCION Y ESTABILIZACION BARRIO SAN CRISTOBAL SUR.

CLIENTE : Dirección para la Atención y Prevención de Emergencias (DPAE)

Sondeo No.	Localización	Profund.	Espesor relleno	Unidad Geomorf.	MUESTRA	PROFUND. (m)	DESCRIPCION	LIMITES E INDICES DE CONSISTENCIA						GRANULOMETRIA % QUE PASA TAMIZ				CLASIFICACION USC	PESO UNITARIO γ (T/m³)	RESISTENCIA AL CORTE				PARAMETROS DE RESISTENCIA (T/m²)			
								WL(%)	WP(%)	WN(%)	IP(%)	IC	IL	No.4	No.40	No.100	No.200			COMP INC qu (T/m²)	PENETR qu (T/m²)	VEL CAMP Cu (T/m²)	SPT No Golp.	C	φ	C_r	ϕ_r
1	Z. remoción en masa - Dlz.. No.5 - Parte alta	5.10 m	3.00	LSR	5	2.55 - 3.0	Arcilla limosa habana carmelita con tonos rojizos	48	26	27	22	0.99	0.015	99.6	98.1		91.3	CL	1.927		20 - 15		8				
					6	3.1 - 3.4	Arcilla limosa gris con manchas rojizas. Consistencia dura.	44	21	10	23	1.45	-0.45	100	99.4		95.1	CL	2.356	44.56	>45			4.8	23.7	2.8	7.9
2	Z. remoción en masa - Dlz. No.5 - Parte baja	5.0 m	2.20	LSR	3	1.7 - 2.15	Arcilla limosa habana gris con oxidaciones	42	22	25	20	0.85	0.147	100	99.7		93	CL	2.057		40 - 45		4				
					4	2.3 - 2.75	Arcillolita limosa gris oxidado, consistencia firme.	39	24	19	15	1.32	-0.32	100	99.5		98.5	CL	2.232	13.21	20 - 25						
18		2.1	0.00	LSR	1	0.8 - 1.2	Arcillolita limosa habana gris con oxidaciones, consist. Dura	46	26	18	19.7	1.41	-0.41					CL	1.982		45 - >45	>10					
3	Z. remoción en masa - Dlz. No.12	3.6 m	1.10	LC1	1	0.4	Arcilla limosa gris habana con oxidaciones y arcillas	52	29	27	23	1.07	-0.07	100	98.2		91.1	CH	1.711		37.5 - 45						
					3	1.1 - 1.5	Arcilla limosa habana con oxidaciones, consistenc. firme	39	20	22	19	0.88	0.12	100	98.2		82.6	CL	2.064		25 - 27.5		23				
4	Z. remoción en masa - Dlz. No.12	1.8	0.70	LC1	3	0.8 - 1.2	Arcillolita limosa gris, con oxidaciones y manchas rojizas. Consistencia firme	42	18	13	24	1.22	-0.22	100	99.11		85.2	CL	2.24	22.59	30 - 35						
14		4.05	3.10	LC1	2	1.6 - 2.0	Arcillolita habana oxidada de consistencia firme a dura.	34	23	17	11.7	1.49	-0.49					CL			35 - 45						
15		2.7	1.60	LC1	1	0.9 - 1.3	Arcilla limosa habana oscura de consistencia blanda a med.	50	24	25	25.9	0.99	0.01					CH	2.112		7.8 - 8						
					3	2.0 - 2.25	Arcillolita gris, fisurada, consistencia dura.	51	27	21	23.2	1.29	-0.29					CH	2.264		>45						
16		2.85	2.85	LC1	1	0.8 -1.2	Arcilla limosa gris y rojiza de consistencia media a firme.	41	24	23	16.9	1.07	-0.07					CL	2.08		7.5 - 10.0	3.5 - 4.0					
					3	2.0 - 2.4	Arcilla limosa gris y habana con oxidaciones. Consistencia media a firme	47	27	30	20.2	0.8	0.197					CL	2.01		5.0 - 10.0	2.6 - 4.0					
					5	3.1 - 3.5	Arcillolita de color rojizo, con tonos habano.	41	20	20	20.6							CL									
17		2.75	1.40	LC1	1	0.8 - 1.2	Arcilla limosa color habano, con fragmentos de areniscas.	45	25	29	19.9	0.8	0.205					CL	2.08		25 - 27.5						
					2	2.1 - 2.3	Arcillolita de color gris habano oxidado.	37	21	21	15.5							CL						2.9	24.5	0	20
5	Z. remoción en masa - Dlz. No.25	4.1	0.60	LFL	2	0.8 - 1.2	Arcilla gris oscura oxidada algo arenosa, consistencia firme	40	24	28	16	0.74	0.264	99.5	98.2		84	CL	2.037	17	20						
6	Z. remoción en masa - Dlz. No.25 - Parte baja	4.50 m	0.45	LFL	3	2.2 - 2.65	Arcilla limosa gris oxidada	52	24	25	28	0.95	0.055		100		97.5	CH	1.999	13.93				1.4	19.06	0.45	15.64
7		6.5	1.50	LFL	3	3.4 - 3.8	Arcilla habana carmelita con inclusiones de limolita, consistencia firme.	47	25	26	23	0.96	0.038	98.6	96		85.9	CL	1.897	7.81	12.5-17.5		11	0.3	21.39	0	20.7
13	Z. remoción en masa - Dlz. No.25	4.05	1.20	LFL	1	1.0 - 1.5	Arcilla limosa habana oscura de consistencia blanda a med.	52	27	41	24.8	0.44	0.556					CH	1.846								
					3	2.0 - 2.4	Arcilla habana rojiza de consist. firme. Algo de oxido	49	23	24	26.2	0.95	0.05					CL	2.06	11.96	15 - 30						
					4	3.2 - 3.5	Arcillolita de color rojizo	44	21		22.8							CL									
9		2.85	2.85	LC	2	2.0 - 2.4	Arcillolita meteorizada color gris rojizo con manchas café. Consistencia firme.	33	18	18	15	1.03	-0.03					CL	2.218		25 - 45	>10					
10		3.35	1.30	LC2	1	1.4 - 1.8	Relleno arcilloso gris y habano con manchas oscuras.	46	22	30	24	0.67	0.34					CL	1.923		7.5 - 1.75						
					3	2.5 - 2.9	Relleno arcillo limos carmelita con fragmenteos de grava y desechos de construccion.	39	22	26	17.4	0.78	0.224					CL			5 - 7.5						
11		6.4	6.40	LC2	2	1.8 - 2.2	Relleno arcillo limoso habano. Fragmentos de grava y desechos de construcción.	37	22	26	14.8	0.77	0.235					CL			5 - 10						
12		2.3	5.30	LC2	1	0.8 - 1.2	Arcilla color habano amarillo oxidado de consistencia firme	56	29	24	27.1	1.16	-0.16					CH	1.976		35 - 40						
					3	1.8 - 2.0	Arcillolita limosa gris firme con manchas rojizas.	48	19	16	29	1.13	-0.13					CL			>45			2.97	9.13		

Tomado del Estudio de Zonificación de Riesgos por Remoción en Masa en los Barrios Triángulo, Triángulo Alto y Corinto-Localidad de San Cristobal-Bogotá. DPAE-Hidrogeología y Geotecnia Ambiental, 1999

TABLA 3.7

RESUMEN DE RESULTADOS DE LABORATORIO

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCION EN MASA Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE CONTROL, PROTECCION Y ESTABILIZACION BARRIO SAN CRISTOBAL SUR.

REGISTRO	FUENTE	SECTOR	LOC	MATERIAL		LOCALIZACION		SO	M	USC	PROFUND	PESO UNIT	Wn	WL	LP	IP	IC	%P200	N	qu	Rpi	C´	ϕ´	Cr´	ϕ´
				UND	TIPO	NORTE	ESTE																		
9	INGEOCIM	LA PAZ	3	Tpb	Arcillolita	101153	101478	2	5	SC	5.1	2.09													
10	INGEOCIM	LA PAZ	3	Tpb	Arcillolita	101153	101478	2	6	CL	6.6	2	14	40	18	22	1.18	93							
11	INGEOCIM	GRAN COLOMBIA	3	Tpb	Arcillolita	98255	100175	1	4	CH	2.8	1.91	22	51	18	33	0.88		33						
12	INGEOCIM	GRAN COLOMBIA	3	Tpb	Arcillolita	98255	100175	1	5	CL	4.25	1.98	12	36	16	20	1.2	81	44						
13	INGEOCIM	GRAN COLOMBIA	3	Qsr-Tpb	Arcilla	98280	100140	2	1	CH	0.8	1.76	26	67	33	344	1.21		7						
14	INGEOCIM	GRAN COLOMBIA	3	Qsr-Tpb	Arcilla	98280	100140	2	2	CH	1.3	1.99	13	51	28	33	1.65		25						
15	INGEOCIM	GRAN COLOMBIA	3	Tpb	Arcillolita	98280	100140	2	3	CL	1.8	2	12	48	24	24	1.5	89	66						
16	INGEOCIM	GRAN COLOMBIA	3	Tpb	Arcillolita	98280	100140	2	4	CL	3.25	1.96	20	50	27	23	1.3	98	44						
25	INGEOCIM	ROCIO ALTO	3	Qsr-Tpb	Arcilla	98810	100696	3	4	CH	3.2	1.63	35	56	25	31	0.68	86	10						
182	HIDROTEC	S. MARTIN PORRES	2	Tpb	Arcillolita	103984	102118	1	6	CH	4.7	1.95	28.3	67.9	26	43	0.94					0.2	25.2^{O}	0	22.8^{O}
346	INGEOTECNIA	CR 3 CALLE 26	3	Tpb	Arcillolita	101438	101282	1	4	CL	5.8	2.28	12	41	18	23	1.26		84	1.5	2.3				
347	INGEOTECNIA	CR 3 CALLE 27	3	Tpb	Arcillolita	101438	101282	1	5	CL	6.8	2.28	10						92	2.3	2.3				
348	INGEOTECNIA	CR 3 CALLE 28	3	Tpb	Arcillolita	101438	101282	1	6	CL	7.8	2.23	10						84	2	2.3				
354	INGEOTECNIA	CR 3 CALLE 29	3	Tpb	Arcillolita	101438	101282	2	8	CL	4.2	2.06	23	48	21	27	0.93		51	0.9	2.1				
355	INGEOTECNIA	CR 3 CALLE 30	3	Tpb	Arcillolita	101438	101282	2	9	CL	4.8	2.04	244						44	0.8	2.3				
356	INGEOTECNIA	CR 3 CALLE 31	3	Tpb	Arcillolita	101438	101282	2	10	CL	5.2	2.05	24	46	26	20	1.1		64	1.1					
357	INGEOTECNIA	CR 3 CALLE 32	3	Tpb	Arcillolita	101438	101282	2	11	CL	5.5	2.2	27						36	1.7	2.3				
358	INGEOTECNIA	CR 3 CALLE 33	3	Tpb	Arcillolita	101438	101282	2	12	CL	6	2.3	14	46	20	26	1.23		38	2.5					

Todos los datos fueron tomados del Estudio de Zonificación por Inestabilidad del Terreno para diferentes Localidades en la ciudad de Santafé de Bogotá, elaborado por INGEOCIM LTDA.(199

D:\Consultoria\T - TA - C\informes\informe3\Cap4\tablas\TAB4.2.xls

3.4.4 Características del Subsuelo

A continuación se hace una breve descripción de algunas características geomecánicas de los materiales que integran la zona de estudio. Especialmente, de los componentes principales del cuaternario, material objeto de estudio, y donde tienen lugar los problemas de inestabilidad.

3.4.4.1 Material Rocoso

Aunque la secuencia estratigráfica cuenta con ocho niveles de arcillolita y cinco de arenisca, se contemplaron y globalizaron por facilidad de análisis, por las limitaciones inherentes a la investigación del subsuelo y por las pocas correlaciones encontradas en este estudio entre materiales adyacentes, en sólo dos tipos de unidades de roca: arcillolitas y areniscas, de las cuales únicamente afloran en la zona de estudio arcillolitas.

Dichas arcillolitas son de color gris claro a morado, meteorizadas, altamente plásticas, erodables y muy susceptibles a los agentes meteóricos. Se encuentran en paquetes de hasta 17.50 metros de espesor, constituyen el principal manto lítico en las laderas y presentan como características físico-mecánicas las siguientes:

Peso Unitario	2.2 ton/m^3
Humedad Natural	7% - 15%
Ángulo de Fricción Básica	37°
Cohesión	2 ton/m^2

3.4.4.2 Suelos

Corresponden a depósitos de ladera recientes, y rellenos heterogéneos. Los primeros están compuestos por suelos arcillosos de baja plasticidad y de consistencia blanda-media ($0.4<=c_u<=5.0$ ton/m^2), tienen espesores máximos de 1.1 metros aunque el promedio oscila cerca a 0.5 metros. Los segundos con una cubierta máxima de exposición de 6.6 m., están conformados por materiales heterogéneos, embebidos en matriz arcillosa de baja plasticidad, su ubicación espacial es aleatoria.

La **Tabla 3.8,** resume los valores promedio (μ_c y μ_ϕ) adoptados de los parámetros de resistencia c, ϕ, y sus desviaciones estándar (s_c y s_ϕ)para la condición pico y residual, discriminados por unidad geomorfológica y tipo de material. Además, destaca el ensayo del cual se tomo el registro.

3.5 ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

El estudio hidrológico tiene como objetivos los siguientes:

- Describir el régimen temporal y espacial de la precipitación media anual,
- Determinar los aguaceros de corta duración
- Determinar la influencia de la precipitación como agente detonante de los fenómenos de remoción en masa.
- Determinar la magnitud de la lluvia critica y su periodo de retorno que dispara deslizamientos.

3.5.1 Procedimiento de realización del Estudio

Para la realización del presente estudio se llevaron a cabo las siguientes actividades:

TABLA 3.8

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCION EN MASA Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE CONTROL, PROTECCION Y ESTABILIZACION BARRIO SAN CRISTOBAL SUR
PARÁMETROS DE RESISTENCIA

Material	$\mu_{\phi'}$ (1) (grados)	$\sigma_{\phi'}$ (2) (grados)	Ensayo	μ_c (3) (ton/m^2)	σ_c (4) (ton/m^2)	Ensayo	Condición
Qc1	23.70	7.35	SPT	0.17	0.09	SPT	Pico
Suelo Residual	21.83	1.80	CD	2.83	1.49	SPT	Pico

(1) $\mu_{\phi'}$ Promedio del Ángulo de Fricción
(2) $\sigma_{\phi'}$ Desviación Estándar del Ángulo de Fricción
(3) $\mu_{c'}$ Promedio de la Cohesión
(4) $\sigma_{c'}$ Desviación Estándar de la Cohesión

- Consulta de planchas topográficas y fotografías aéreas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi junto con estudios desarrollados en la zona.
- Consulta en el IDEAM de la información hidrológica existente del área.
- Consulta en la EAAB de las curvas IDF obtenidas con base en la información hidrológica de Bogotá para diferentes localidades.
- Análisis hidrológico e hidráulico del área de estudio.

3.5.2 Marco Hidrológico General

El área de estudio se encuentra localizada en la cuenca de montaña del Río San Cristóbal, donde el río presenta un cauce torrentoso, el barrio San Cristóbal Sur, se encuentran dentro del área aportante al Río; la zona presenta una precipitación muy fuerte y gracias a la cobertura vegetal existente y a las pendientes fuertes de las laderas, casi toda se convierte en escorrentía natural generando tiempos de concentración muy bajos para la cuenca a la altura del cruce con la vía Oriente.

Para el análisis hidrológico se estudiará solamente el elemento climatológico precipitación, ya que es el principal agente de la erosión hídrica y uno de los factores detonantes de los fenómenos de remoción en masa.

3.5.3 Caracterización Climática Regional

Con el objetivo de establecer el comportamiento climático de la región se trabajó con información de tres estaciones cercanas al área del proyecto, dos de ellas del IDEAM y la más cercana de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. En la **Tabla 3.9** se presentan las características de cada una de las estaciones utilizadas.

TABLA 3.9. CARACTERISTICAS DE LAS ESTACIONES UTILIZADAS

CODIGO	NOMBRE	TIPO	PERIODO DE REGISTRO	ELEVACIÓN (MSNM)	COORDENADAS		CUERPO DE AGUA
					N	E	
2120524	VITELMA	CO-EAAB	1947-1997	2.800	997.540	1.000.600	RIO SAN CRISTOBAL
2120558	VENADO DE ORO	CO-IDEAM	1979-1999	2.725	1.000.105	1.001.581	BOGOTA
2120572	SAN JORGE	CO-IDEAM	1979-1999	2.900	990.160	987.380	SOACHA

CO = Estación climatológica ordinaria

- **Precipitación.** En la zona de estudio se presenta un régimen de precipitación caracterizado por lluvias de mediana intensidad y larga duración, debido a la localización del proyecto en un área cercana a la divisoria de aguas del sector sur-oriental de Santa Fe de Bogotá y a la influencia del ZCIT. Lo cual obedece a la formación de cinturones de nubes generados por la condensación del aire húmedo procedente de la Amazonia, durante el movimiento regular de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT: sector de la parte tropical donde convergen las masas de aire o corrientes de aire húmedo provenientes de los hemisferios norte y sur), y de otro lado por las Ondas del Este, procedentes del océano Atlántico Venezolano y noreste colombiano (Catatumbo), lo que sucede especialmente hacia los meses de Julio, Agosto y Septiembre.

Dicha particularidad permite que exista una continuidad entre el invierno provocado por la ZCIT cuando baja en Abril-Mayo al Ecuador y cuando regresa hacia los meses de Octubre y Noviembre al Atlántico, generando en la zona andina un **Régimen bimodal** de precipitación. Tal comportamiento puede apreciarse en las **Figuras 3.11 a 3.13** donde se muestra el comportamiento temporal de la precipitación media mensual multianual para las tres estaciones analizadas.

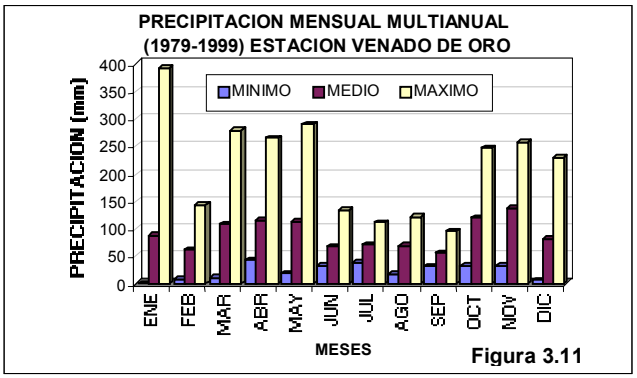


Figura 3.11

El comportamiento bimodal de la lluvia en el sector se establece por un primer periodo lluvioso comprendido entre los meses de Marzo, Abril y Mayo, siendo Abril el mes más lluvioso del período con 116.7 y 110.5 mm de precipitación media mensual multianual para las estaciones Venado de Oro y Vitelma respectivamente. Los meses de Octubre y Noviembre corresponden al segundo período de lluvias, siendo el mes de Noviembre el más extremo con 137.3 y 124.4 mm de precipitación media mensual multianual para las mismas estaciones. El periodo más seco se vive durante los meses de Diciembre a Febrero siendo Febrero el de menor precipitación media mensual multianual con 61.6 mm para la estación Venado de Oro y 48.6 mm para la estación Vitelma.

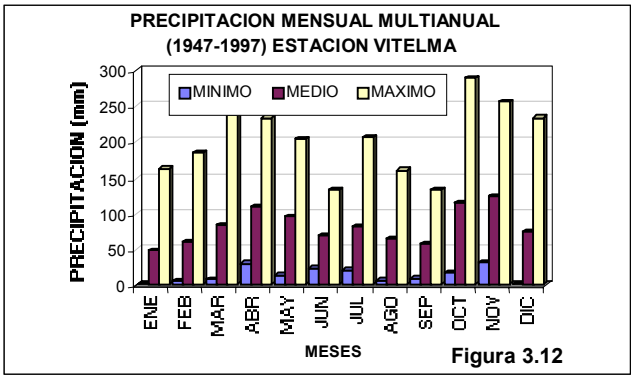


Figura 3.12

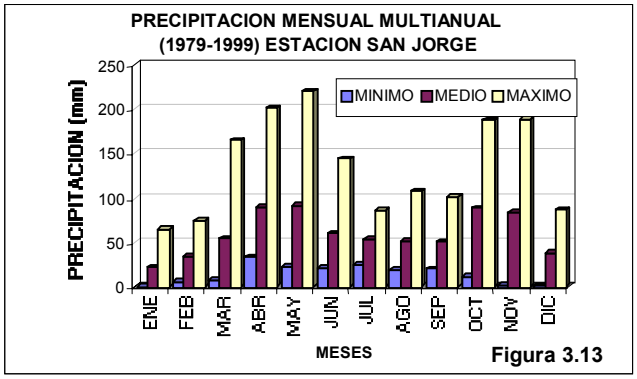


Figura 3.13

Apreciando el comportamiento de las estaciones Venado de Oro y analizando la información suministrada por la estación San Jorge la variación espacial de precipitación se establece de mayor a menor desde el noreste hacia el suroeste.

La estación más cercana a la zona de estudio es la estación de Vitelma perteneciente a la EAAB. Espacialmente se puede observar que la zona más lluviosa se localiza al norte siendo la estación Venado de Oro la que presenta mayores valores de precipitación con valores promedio anuales de 1093.5 mm, en la estación de Vitelma se obtienen valores de 955 mm de precipitación media anual, en la zona suroccidental representada por la estación San Jorge la precipitación promedio multianual alcanza un valor de 725.8 mm.

3.5.4 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia

La forma más común para determinar los eventos de lluvia a usar en un diseño parte de la utilización de una tormenta de diseño que involucre una relación entre la intensidad de la lluvia, la duración y las frecuencias o períodos de retorno apropiados para la obra y el sitio. En muchos casos existen curvas calibradas IDF disponibles para muchos lugares, que son elaboradas con base a información de estaciones pluviográficas, las cuales registran eventos de tormenta continuos en el tiempo. Para la zona de estudio se procedió a generar las curvas generalizadas con la información de precipitación máxima en 24 horas proveniente de la estación de Vitelma de la EAAB.

El análisis considera la utilización de diferentes periodos de diseño con el objeto de tener en cuenta la vida útil de las distintas estructuras que puedan implementarse con miras a solucionar los problemas de inestabilidad que existan para este caso se trabajo con 10, 20, 50 y 100 años de periodos de retorno. Para generar las curvas se utilizó el método de Kothia y Garde que utiliza la siguiente expresión.

$$I = \frac{0.65 T_r^{0.22}}{t^{0.62}} \left(R_2^{24h} \right)^{0.92}$$

Donde:

I es la intensidad de la lluvia en mm/hora, *Tr* es el período de retorno en años, t es la duración del aguacero en horas y R_2^{24h} es la precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 2 años que se obtiene a partir de análisis de frecuencias de los datos de precipitación máxima en 24 horas tomados por la EAAB en la estación Climatológica Ordinaria de Vitelma:

A partir de R_2^{24} = 42.5 mm, se obtienen las IDF para diferentes períodos de retorno, los cuales se resumen en la **Figura 3.14** y se consideran como representativas para el área de estudio.

- **Hietogramas de Precipitación en la zona de estudio.** Con base en la información recolectada de las estaciones existentes en la zona del proyecto se elaboró el estudio hidrológico, para estimar los valores más probables de caudal en el sitio de interés.

Para la evaluación de las áreas en estudio, que tienen extensiones menores a 1 Km², dadas las condiciones de las mismas, se definen como áreas pequeñas, característica que en sentido hidrológico indica que el caudal de escorrentía está influenciado principalmente por las condiciones físicas del suelo y la cobertura vegetal más que por las condiciones hidrológicas e hidráulicas de un cauce principal.

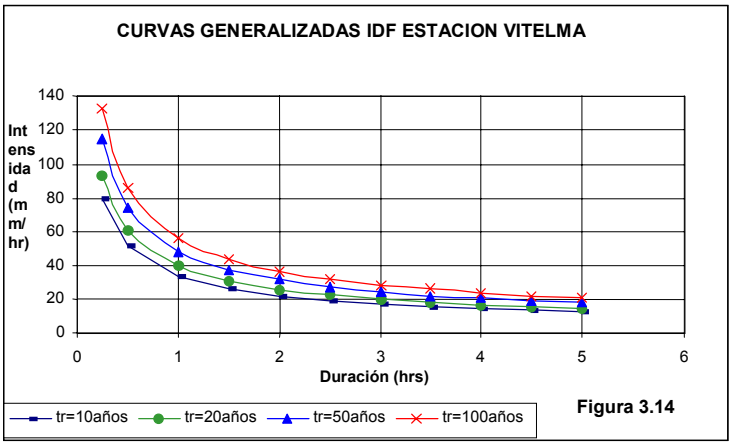


Figura 3.14

Los hietogramas de precipitación de diseño fueron generados por el método del bloque alterno utilizando las relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia generadas por el método de Kothia y Garde (1982). El hietograma de diseño producido por el método del bloque alterno especifica la profundidad de precipitación que ocurre en n intervalos de tiempo sucesivos de duración Δt sobre una duración total Td = nΔt. Después de seleccionar el período de retorno de diseño, la intensidad es leída de las curvas IDF para cada una de las duraciones, y la profundidad de la precipitación correspondiente se encuentra al multiplicar la intensidad por la duración. Tomando las diferencias entre los valores sucesivos de profundidad de precipitación, se determina la cantidad de precipitación que debe añadirse para cada unidad adicional de tiempo Δt. Estos bloques se ordenan a criterio del hidrólogo. Para el análisis del área se consideraron intervalos de tiempo de media hora con un aguacero de duración 4 horas, a partir de ellos se obtuvo el hietograma de precipitación total para los tres periodos de retorno considerados y que se muestran en la **Figura 3.15.**

El hietograma de precipitación de excesos fue establecido mediante la aplicación del método del Soil Conservation Service (1972) que considera la precipitación de excesos como una función de la precipitación total y las abstracciones, las cuales representan la cantidad de lluvia que no se convierte en escorrentía directa, la siguiente expresión define la precipitación de excesos:

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

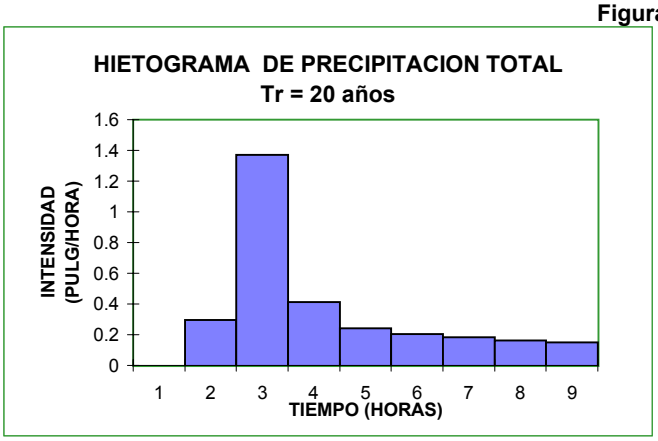
Donde, P es la precipitación Total, Pe es la precipitación de excesos y S son las abstracciones las cuales a su vez se obtienen de:

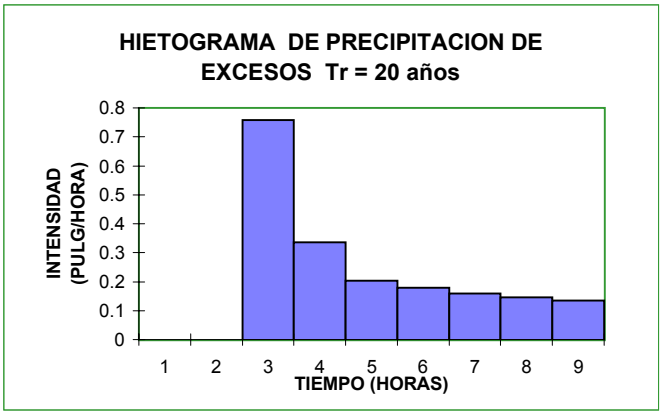
$$S = \left(\frac{1000}{CN} - 10\right)$$

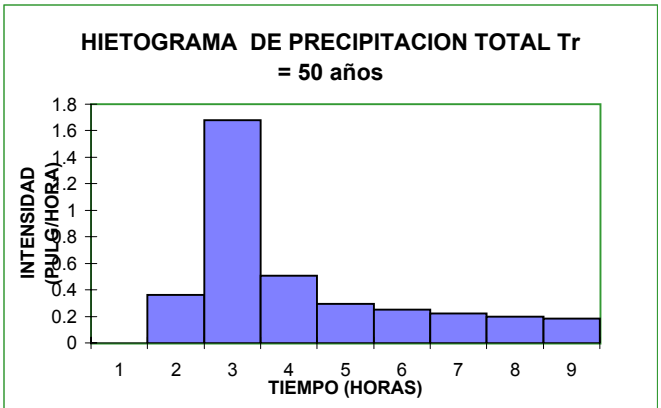
En la cual CN es el número de curva que esta en función de la cobertura vegetal y el uso del suelo en la zona del proyecto; haciendo uso de los mapas temáticos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi e Ingeominas, se estima el valor del CN (número de curva) según la Tabla 5.5.2. del texto Hidrología aplicada de Ven Te Chow, propio de áreas abiertas residenciales del grupo hidrológico de suelos C, con un valor de 89.

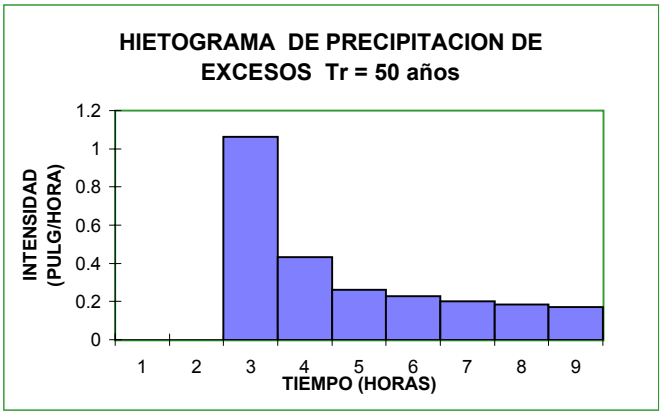
Así, se obtiene:

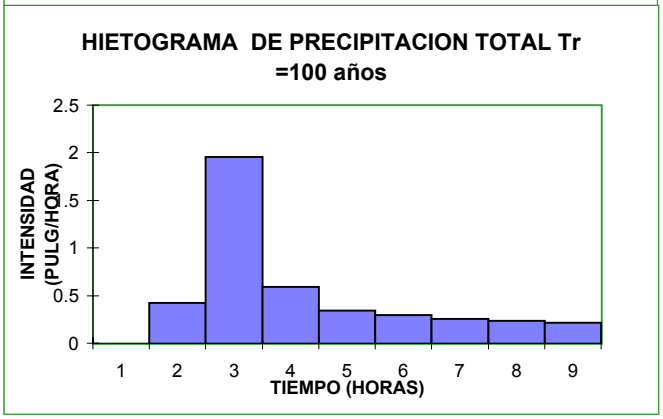
Figura 3.15

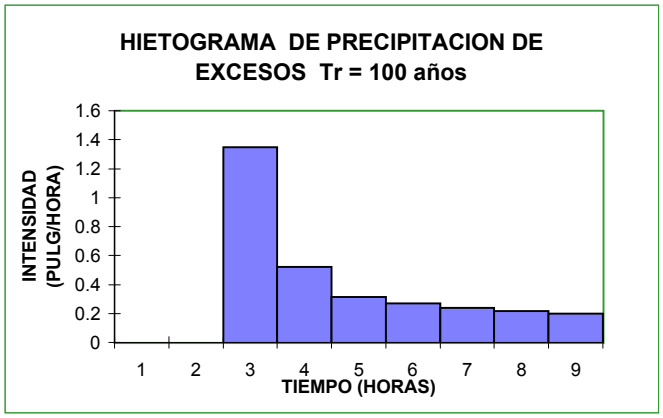

HIETOGRAMA DE PRECIPITACION TOTAL
Tr = 20 años
INTENSIDAD (PULG/HORA)
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9
TIEMPO (HORAS)


HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE EXCESOS Tr = 20 años
INTENSIDAD (PULG/HORA)
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9
TIEMPO (HORAS)


HIETOGRAMA DE PRECIPITACION TOTAL Tr = 50 años
INTENSIDAD (PULG/HORA)
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9
TIEMPO (HORAS)


HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE EXCESOS Tr = 50 años
INTENSIDAD (PULG/HORA)
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9
TIEMPO (HORAS)


HIETOGRAMA DE PRECIPITACION TOTAL Tr =100 años
INTENSIDAD (PULG/HORA)
2.5
2
1.5
1
0.5
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9
TIEMPO (HORAS)


HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE EXCESOS Tr = 100 años
INTENSIDAD (PULG/HORA)
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9
TIEMPO (HORAS)

S=(1000/89-10)=1.24

En la **Figura 3.15,** se resumen los hietogramas de precipitación total y precipitación efectiva.

- **Relación de Precipitación Crítica – Duración que Disparan Movimientos en masa.** Para determinar la relación precipitación crítica – duración se utilizó el "Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá" (INGEOCIM – UPES, 1998), realizado por la firma INGEOCIM Ltda para la Unidad de Atención y Prevención de Desastres (UPES) de Santafé de Bogotá.

En este estudio se encontró que la ciudad de Santafé de Bogotá se puede dividir en dos zonas a partir de la lluvia crítica y de la duración con las siguientes ecuaciones:

Zona Suroccidental

Llcrit = 0.3609*Llan

Cerros Orientales

Llcrit = 12.6326+0.1814*Llan

Donde:

Llcrit = Lluvia crítica en mm

Llan = Lluvia anual en mm

Zona Suroccidental

$D = 3.2829*Llcrit^{0.4157}$

Cerros Orientales

D = 0.04923*Llcrit

Donde:

D = Duración en días

El sector de estudio corresponde a la zona de cerros orientales obteniéndose una precipitación crítica de 210.81 mm y una duración de 10.4 días. El análisis de registro multianual mensual de la zona de estudio utilizando la Estación Venado de Oro, para un valor de precipitación media anual de 210.81 mm se encontró un periodo de retorno de lluvia crítica de 12 años, que corresponde a una probabilidad anual de 8%.

De acuerdo con estos resultados, se puede concluir que los fenómenos de remoción en masa que ocurren en el sector no tienen como factor detonante principal la precipitación, ya que la probabilidad de ocurrencia de la precipitación crítica es muy baja. Sin embargo analizando los registros de precipitación máxima en 24 horas si existen valores que hacen suponer que está se puede constituir en un factor

detonante de deslizamientos. Para efectos de diseño se sugiere trabajar con lluvias con un periodo de retorno superior o igual a 12 años con el objeto de asegurar la eficiencia de las obras a implementar.

3.6 INVENTARIO DE VIVIENDAS

Se realizó dentro del estudio, un inventario de viviendas para la evaluación de la vulnerabilidad que consistió en el diligenciamiento del formato que aparece en el **Anexo 5**. La información contemplada en el formato incluye, entre otros, datos sobre: área del lote, área construida, valor estimado de los bienes y enseres, valor del predio, estado actual de la construcción, sistema estructural, daños, ingresos familiares y cobertura de servicios. Todos tendientes a establecer la exposición y la resistencia de las construcciones y la capacidad de reacción de los habitantes en caso de presentarse algún proceso de inestabilidad que afecte sus viviendas.

La información fue transcrita a una base de datos estructurada en aplicación EXCEL, la cual se presenta en la **Tabla 3.10.** Cada predio se identifica por la letra de la manzana a que corresponde y un número dentro de la misma. El Mapa que se utilizó fue el levantamiento topográfico detallado a escala 1:500 del barrio San Cristóbal Sur.

El inventario contempló 42 predios, de los cuales el 35% ocupan las áreas de mayor percepción de riesgo. La totalidad de las viviendas está integrada por construcciones de uno y dos pisos, bien con sistema estructural de muros divisorios ó prefabricadas. La cobertura de servicios públicos básicos es aceptable, reflejo de ello es que todas las viviendas poseen servicio luz, sólo el 14% de las residencias carecen de agua y el 26% de las viviendas no poseen servicio de alcantarillado; además el 100% de las unidades residenciales no cuentan con servicio de gas y el 26% no tienen línea telefónica.

El ingreso mensual básico por familia en la zona alcanza los 360.000 pesos, insuficiente para una subsistencia adecuada, máxime cuando en dieciséis (16) de las viviendas residen entre dos y cinco familias.

En el **Anexo 5**, se muestra el formato de acceso de datos para el procesamiento de visualización del inventario de viviendas.

TABLA 3.10
INVENTARIO DE VIVIENDAS

BARRIO SAN CRISTOBAL SUR

Ficha	Localidad	Barrio	Manzana	Lote	Orientación	Estado	Posición	Dirección	Propietario	Ocupación	Apartamentos	Familias	Residentes	Area
1	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	1	1	1	1	Carretera Oriente No. 14-03 Sur	Alberto Ospina	0	1	1	6	20
2	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	2	1	1	2	Carretera Oriente No. 14-11 Sur	Gabriel Useche Moreno	0	1	1	7	40
3	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	3	1	1	2	Carretera Oriente No. 14-15 Sur	Normando Fandiño Forero	0	1	1	4	50
4	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	4	2	1	2	Carretera Oriente No. 14-12 Sur	Ramón Medina	0	1	3	8	100
5	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	5	1	1	2	Carretera Oriente No. 14-18 Sur	Jaime Alberto Fandiño Forero	0	1	1	6	30
6	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	6	1	1	2	Carretera Oriente No. 14-16 Sur	Lucila Monroy	0	4	5	20	150
7	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	7	2	1	1	Carretera Oriente No. 9-16 Este	Orlando Vargas	0	1	3	14	120
8	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	8	2	1	2	Carrera 9 Este No. 17-78 Int. 2	Isabel Fandiño Forero	0	1	4	11	120
9	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	9	1	1	1	Carretera Oriente No. 14-10 Sur	Blanca Mosquera Barrera	0	1	1	1	60
10	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	10	1	1	2	Carretera Oriente No. 14-18 Sur Int 4	Emelina Camacho	0	1	2	13	60
11	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	11	1	1	1	Calle 14C No. 9-30 Este Int. 5	Víctor Raúl Rodríguez	0	1	1	8	72
12	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	12	2	1	1	Transversal 9 E No. 14B-78 Int. 4 Sur	Jorge Orlando Rodríguez	0	1	2	9	70
13	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	13	1	1	1	Carrera 9 Este No. 14-18 Int. 7	Luis Romero Moreno	0	1	1	7	80
14	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	14	1	2	1	Carretera Oriente No. 14-18 Sur Int 11	Oswaldo Fandiño Grajales	0	1	1	5	30
15	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	15	1	1	2	Carrera 9 Este No. 14-24 Int. 10	Alberto Cardona	0	1	1	1	40
16	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	16	1	1	2	Carretera Oriente No. 14A-96 Sur Int 9	Roque Elud C.	0	1	1	7	30
17	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	17	1	1	2	Carrera 9 Este No. 14-24 Int. 8	Leonor Suárez Ortiz	0	1	1	5	36
18	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	18	1	1	2	Carretera Oriente No. 14A-90 Sur	Doris Janeth Nieto	0	1	1	6	60
19	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	19	0	3	1	Carretera Oriente No. 14A-94 Sur	Nubia Toledo	1	0	0	0	0
20	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	20	0	3	0	Transversal 9 E No. 14A-82 Int. 4 Sur		1	0	0	0	0
21	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	21	3	1	2	Transversal 9 E No. 14A-78	Nohora Isabel Reina Díaz	0	1	1	5	83
22	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	22	3	2	2	Transversal 9 E No. 14A-74	Luis Emilio Rondón Reina	1	1	0	0	50
23	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	23	3	1	2	Transversal 9 E No. 14A-68	Luis Eduardo Sterling	0	1	1	5	80
24	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	24	3	1	2	Transversal 9 E No. 14A-64	Juan Sterling	0	1	1	4	50
25	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	25	3	1	2	Transversal 9 E No. 14A-60	María Trinidad Gómez	0	1	2	9	100
26	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	26	3	1	2	Transversal 9 E No. 14A-96	Gustavo Garzón Angel	0	1	3	13	100
27	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	27	3	1	2	Transversal 9 E No. 14A-54	Alcidez Hernández	0	1	1	4	84
28	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	28	3	1	2	Transversal 9 E No. 14A-50	José Andrés Ricaurte Duarte	0	1	1	4	150
29	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	29	3	1	2	Transversal 9 E No. 14A-46	Carlos Hernando Parrado	0	1	1	5	80
30	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	30	3	1	2	Transversal 9 E No. 14A-42	María Josefa Carballo	0	1	2	7	40
31	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	31	3	1	2	Transversal 9 E No. 14A-36	Isaias Ruiz	0	1	1	6	50
32	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	32	3	1	2	Transversal 9 E No. 14A-32	Ramiro Mejía Castro	0	1	2	10	86
33	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	33	3	1	2	Transversal 9 E No. 14A-28E	Fabio Valencia Gallego	0	2	2	5	100
34	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	34	3	1	2	Transversal 9 E No. 14A-24	Luis Alberto Fandiño	0	4	4	13	100
35	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	35	3	1	2	Transversal 9 E No. 14A-20	José López Merchán	0	1	1	3	30
36	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	36	3	2	2	Transversal 9 E No. 14A-16	Jorge López Mérchán	0	1	3	15	90
37	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	37	3	1	2	Transversal 9 E No. 14A-14	Claudia Lugo de Guerrero	1	2	0	0	70
38	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	38	3	1	2	Transversal 9 E No. 14A-12	Claudia Lugo de Guerrero	0	3	4	15	100
39	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	39	3	1	2	Transversal 9 E No. 14A-08 s	Jaime Rodríguez	0	1	1	4	65
40	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	40	3	1	2	Transversal 9 E No. 14A-02	Rodolfo Duarte Castro	0	1	2	7	70
41	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	41	3	1	2	Transversal 9 E No. 14-14	Rodolfo Duarte Castro	0	1	1	6	65
42	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	42	3	1	2	Carrera 9 Este No. 14-28 Sur	Alvaro Orjuela Patarroyo	0	1	3	10	100

TABLA 3.10
INVENTARIO DE VIVIENDAS

Dirección	Pisos	Edad	Tipo	Placa piso	Techo	Cubierta	Sistema estructural	Calidad	Daño	Muros	Columnas	Vigas	Nudos pórticos	Muros de cortante	Escaleras	Daño Pisos	Daño Cubierta	Tab_inf
Carretera Oriente No. 14-03 Sur	2	3	1	3	3	3	1	2	1	3	0	0	0	0	0	3	2	1
Carretera Oriente No. 14-11 Sur	1	4	1	1	1	5	2	1	0	2	1	1	1	1	1	2	1	1
Carretera Oriente No. 14-15 Sur	1	5	1	4	3	1	6	3	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1
Carretera Oriente No. 14-12 Sur	1	5	2	1	4	1	5	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Carretera Oriente No. 14-18 Sur	1	5	1	1	3	1	1	2	0	2	0	0	0	2	1	0	1	1
Carretera Oriente No. 14-16 Sur	3	5	2	1	3	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Carretera Oriente No. 9-16 Este	1	5	1	1	3	1	1	2	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1
Carrera 9 Este No. 17-78 Int. 2	2	4	1	1	4	5	5	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Carretera Oriente No. 14-10 Sur	1	5	1	1	3	3	1	2	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1
Carretera Oriente No. 14-18 Sur Int 4	2	3	1	1	3	3	1	2	1	3	1	1	1	1	1	3	1	3
Calle 14C No. 9-30 Este Int. 5	1	4	1	4	3	3	6	2	1	2	0	0	0	0	0	2	1	1
Transversal 9 E No. 14B-78 Int. 4 Sur	2	3	1	1	1	3	2	1	1	4	1	2	0	1	1	4	1	1
Carrera 9 Este No. 14-18 Int. 7	1	3	1	1	3	3	6	2	1	2	0	0	0	0	0	3	2	2
Carretera Oriente No. 14-18 Sur Int 11	1	3	1	3	3	3	6	2	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1
Carrera 9 Este No. 14-24 Int. 10	1	2	1	3	1	1	2	2	1	3	0	0	3	0	0	3	3	2
Carretera Oriente No. 14A-96 Sur Int 9	2	3	1	1	3	3	6	2	1	0	0	0	2	2	2	3	2	2
Carrera 9 Este No. 14-24 Int. 8	1	3	1	4	3	3	6	3	1	3	0	0	3	0	0	3	1	1
Carretera Oriente No. 14A-90 Sur	1	5	1	1	3	3	6	2	1	3	0	0	2	2	3	3	1	2
Carretera Oriente No. 14A-94 Sur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transversal 9 E No. 14A-82 Int. 4 Sur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transversal 9 E No. 14A-78	1	5	2	4	3	3	5	3	1	3	3	0	0	0	0	3	0	3
Transversal 9 E No. 14A-74	1	5	1	4	3	3	1	2	1	2	0	0	2	0	0	1	1	1
Transversal 9 E No. 14A-68	1	5	1	1	1	0	2	1	0	2	1	1	1	0	0	1	1	1
Transversal 9 E No. 14A-64	2	5	1	1	3	2	2	1	0	3	1	1	1	1	1	1	1	1
Transversal 9 E No. 14A-60	2	5	1	1	1	5	5	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Transversal 9 E No. 14A-96	1	5	1	4	3	2	1	2	1	3	1	1	1	1	1	4	1	3
Transversal 9 E No. 14A-54	2	5	1	1	3	1	5	1	1	3	1	2	1	1	1	2	2	1
Transversal 9 E No. 14A-50	2	5	1	1	3	3	1	2	1	3	3	1	1	1	2	3	1	2
Transversal 9 E No. 14A-46	2	4	1	1	1	5	2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Transversal 9 E No. 14A-42	2	5	1	1	3	3	5	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Transversal 9 E No. 14A-36	1	5	1	1	3	1	5	2	1	3	1	1	0	0	0	3	1	0
Transversal 9 E No. 14A-32	2	4	1	1	2	1	2	1	1	2	2	2	2	0	2	1	1	1
Transversal 9 E No. 14A-28E	2	4	1	1	1	0	2	2	1	3	1	1	1	1	1	2	1	1
Transversal 9 E No. 14A-24	2	5	2	1	3	1	2	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1
Transversal 9 E No. 14A-20	1	5	1	1	1	1	2	2	1	3	1	1	1	1	1	2	1	1
Transversal 9 E No. 14A-16	1	5	1	3	3	1	6	1	3	0	0	0	0	0	0	2	3	3
Transversal 9 E No. 14A-14	1	4	1	4	3	1	0	2	1	2	0	0	1	0	0	1	1	0
Transversal 9 E No. 14A-12	2	4	2	1	3	3	5	2	1	2	2	0	1	1	1	2	0	1
Transversal 9 E No. 14A-08 s	1	10	2	1	3	3	3	2	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Transversal 9 E No. 14A-02	1	5	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Transversal 9 E No. 14-14	1	10	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Carrera 9 Este No. 14-28 Sur	1	5	2	1	3	1	5	1	1	2	0	0	1	1	0	3	2	1

TABLA 3.10
INVENTARIO DE VIVIENDAS

Dirección	Tab_div	Tab_ext	Inst_elec	Plomería	Daño	Suelo	Inestabilidad	Medidas	Agua	Alcantarillado	Energía	Gas	Teléfono	Pavimento	Ingresos	Bienes	Inmueb_prop
Carretera Oriente No. 14-03 Sur	1	1	1	0	3	3	3	2	1	1	1	2	2	1	300	300	10000
Carretera Oriente No. 14-11 Sur	1	1	1	1	2	3	1	1	1	1	1	2	1	1	300	1500	15000
Carretera Oriente No. 14-15 Sur	1	1	1	0	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	250	500	12000
Carretera Oriente No. 14-12 Sur	1	1	1	1	2	3	2	1	1	1	1	2	1	2	600	1000	20000
Carretera Oriente No. 14-18 Sur	1	1	1	1	1	3	1	1	1	2	1	2	2	2	250	500	30000
Carretera Oriente No. 14-16 Sur	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1000	2000	40000
Carretera Oriente No. 9-16 Este	1	1	1	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	600	1000	15000
Carrera 9 Este No. 17-78 Int. 2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	800	2500	15000
Carretera Oriente No. 14-10 Sur	1	1	1	0	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	300	500	15000
Carretera Oriente No. 14-18 Sur Int 4	3	2	1	0	2	3	2	2	1	2	1	2	1	1	500	2500	30000
Calle 14C No. 9-30 Este Int. 5	1	1	1	0	2	3	3	1	1	2	1	2	2	1	300	3000	20000
Transversal 9 E No. 14B-78 Int. 4 Sur	1	1	1	0	3	3	5	5	1	2	1	2	2	2	300	500	40000
Carrera 9 Este No. 14-18 Int. 7	2	2	1	0	2	3	5	5	1	2	1	2	1	2	200	2000	15000
Carretera Oriente No. 14-18 Sur Int 11	1	1	1	0	1	3	1	1	2	2	1	2	2	2	250	600	20000
Carrera 9 Este No. 14-24 Int. 10	2	2	0	0	3	3	5	5	2	2	1	2	2	2	250	500	14000
Carretera Oriente No. 14A-96 Sur Int 9	2	2	0	0	2	3	5	5	2	2	1	2	2	1	300	500	10000
Carrera 9 Este No. 14-24 Int. 8	1	1	1	0	2	3	5	5	1	2	1	2	2	2	200	800	8000
Carretera Oriente No. 14A-90 Sur	2	2	1	0	2	3	5	2	2	2	1	2	1	1	500	1000	18000
Carretera Oriente No. 14A-94 Sur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transversal 9 E No. 14A-82 Int. 4 Sur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transversal 9 E No. 14A-78	3	0	0	0	2	4	3	2	2	1	1	2	1	1	300	500	15000
Transversal 9 E No. 14A-74	2	0	0	0	1	3	4	1	2	1	1	2	2	1	300	0	14000
Transversal 9 E No. 14A-68	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	1	1	200	20	50000
Transversal 9 E No. 14A-64	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	1	1	900	1000	45000
Transversal 9 E No. 14A-60	1	1	1	1	1	3	3	1	1	1	1	2	1	1	300	1500	75000
Transversal 9 E No. 14A-96	3	2	1	0	3	3	3	2	1	1	1	2	1	1	600	500	30000
Transversal 9 E No. 14A-54	1	1	1	0	2	3	2	2	1	1	1	2	1	1	300	4000	50000
Transversal 9 E No. 14A-50	1	1	1	1	2	3	3	1	1	1	1	2	1	1	400	15000	8000
Transversal 9 E No. 14A-46	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1500	15000	80000
Transversal 9 E No. 14A-42	1	1	1	1	2	3	2	1	1	1	1	2	1	1	0	1000	20000
Transversal 9 E No. 14A-36	0	0	0	0	2	3	2	1	1	1	1	2	1	1	800	1000	22000
Transversal 9 E No. 14A-32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	0	1000	45000
Transversal 9 E No. 14A-28E	1	1	1	1	2	3	2	1	1	1	1	2	1	1	100	1000	30000
Transversal 9 E No. 14A-24	1	1	1	1	1	3	2	1	1	1	1	2	1	1	400	1400	50000
Transversal 9 E No. 14A-20	1	1	1	1	2	3	2	1	1	1	1	2	1	1	0	1000	20000
Transversal 9 E No. 14A-16	0	0	0	0	3	3	2	2	1	1	1	2	1	1	600	1500	30000
Transversal 9 E No. 14A-14	3	3	0	0	2	3	2	2	1	1	1	2	1	1	300	1000	40000
Transversal 9 E No. 14A-12	1	1	1	0	2	3	3	2	1	1	1	2	1	1	300	1000	40000
Transversal 9 E No. 14A-08 s	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	1	1	250	400	25000
Transversal 9 E No. 14A-02	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	1	1	450	700	22000
Transversal 9 E No. 14-14	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	1	1	300	600	18000
Carrera 9 Este No. 14-28 Sur	1	1	1	1	2	3	2	2	1	1	1	2	1	1	1000	2000	80000

TABLA 3.10
INVENTARIO DE VIVIENDAS

Dirección	Inmueb_cat	Peligro	Fotografías	Fecha	Inspector	Observaciones
Carretera Oriente No. 14-03 Sur	0	Hundimiento de la vivienda en la parte posterior y en los muros de la vivienda.		#########		
Carretera Oriente No. 14-11 Sur	0	Movimiento del terreno hacia la parte posterior de la vivienda		#########		
Carretera Oriente No. 14-15 Sur	0	Ninguno		#########		
Carretera Oriente No. 14-12 Sur	0	Desplazamiento levemente del terreno hacia abajo		#########		
Carretera Oriente No. 14-18 Sur	0	Ninguno		#########		
Carretera Oriente No. 14-16 Sur	0	Ninguno		#########		
Carretera Oriente No. 9-16 Este	0	Ninguno		#########		
Carrera 9 Este No. 17-78 Int. 2	0	Ninguno		#########		
Carretera Oriente No. 14-10 Sur	0	Ninguno		#########		
Carretera Oriente No. 14-18 Sur Int 4	0	Zona de Alto Riesgo		#########		
Calle 14C No. 9-30 Este Int. 5	0	Hundimiento Alto del Terreno		#########		
Transversal 9 E No. 14B-78 Int. 4 Sur	0	Daños vivienda, hundimiento de vigas y columnas del primer nivel lado izquierdo y posteruios de la vivienda		#########		
Carrera 9 Este No. 14-18 Int. 7	0	Zona de Alto Riesgo		#########		
Carretera Oriente No. 14-18 Sur Int 11	0	Ninguno		#########		
Carrera 9 Este No. 14-24 Int. 10	0	Desplazamiento de la vivienda hacia el frente		#########		
Carretera Oriente No. 14A-96 Sur Int 9	0	Ninguno		#########		
Carrera 9 Este No. 14-24 Int. 8	0	No se puede construir vivienda estructurales		#########		
Carretera Oriente No. 14A-90 Sur	0	Movimiento del terreno hacia la parte de debajo de la ladera		#########		
Carretera Oriente No. 14A-94 Sur	0	Vivienda Reubicada		#########		
Transversal 9 E No. 14A-82 Int. 4 Sur	0			#########		
Transversal 9 E No. 14A-78	0	Hundimiento del terreno		#########		
Transversal 9 E No. 14A-74	0	Hundimiento de la parte posterior del lote. Corona deslizamiento		#########		
Transversal 9 E No. 14A-68	14167	Riesgo leve		#########		
Transversal 9 E No. 14A-64	0	Ninguno		#########		
Transversal 9 E No. 14A-60	22000	Ninguno		#########		
Transversal 9 E No. 14A-96	0	Hundimiento del terreno		#########		
Transversal 9 E No. 14A-54	0	Deslizamiento del terreno hacia la parte posterior de la vivienda		#########		
Transversal 9 E No. 14A-50	0	Ninguno		#########		
Transversal 9 E No. 14A-46	0	Ninguno		#########		
Transversal 9 E No. 14A-42	0	Deslizamiento de la parte posterior del lote de la vivienda		#########		
Transversal 9 E No. 14A-36	0	Deslizamiento de la parte posterior de la vivienda		#########		
Transversal 9 E No. 14A-32	0	Ninguno		#########		
Transversal 9 E No. 14A-28E	0	Ninguno		#########		
Transversal 9 E No. 14A-24	0	Ninguno		#########		
Transversal 9 E No. 14A-20	0	Asentamientos en la parte nor este de la vivienda		#########		
Transversal 9 E No. 14A-16	0	Deslizamiento de la parte posterior y baja de la vivienda		#########		
Transversal 9 E No. 14A-14	0	Ninguno		#########		
Transversal 9 E No. 14A-12	0	Ninguno		#########		
Transversal 9 E No. 14A-08 s	0	Ninguno		#########		
Transversal 9 E No. 14A-02	0	Ninguno		#########		
Transversal 9 E No. 14-14	0	Ninguno		#########		
Carrera 9 Este No. 14-28 Sur	0	Desplazamiento del terreno ocasionando grietas en el piso y muros, humedad		#########		

5 VULNERABILIDAD Y RIESGO ACTUAL

Se entiende por vulnerabilidad, la relación existente entre el grado de exposición de los elementos expuestos (ubicación con respecto al fenómeno amenazante) y la capacidad de respuesta (resistencia estructural, económica, y conocimiento de la amenaza) por parte de los mismos (infraestructura, medio ambiente y comunidad) ante la eventual ocurrencia de un evento destructor.

Para su evaluación se utilizo la formula que a continuación se presenta, propuesta por INGEOCIM, 1998;

$$V = f(E/R)$$

Donde,

V : Vulnerabilidad
R : Resistencia del elemento expuesto ante la ocurrencia de un evento
E : Grado de exposición del elemento.

La evaluación de vulnerabilidad tiene como objetivo analizar la respuesta de los elementos amenazados frente a cualquier evento, en especial a los diferentes fenómenos de remoción en masa presentes en la zona de estudio y, junto con la evaluación de amenaza, plantear el (los) tratamiento(s) por adelantar. Dentro de este contexto, por ejemplo, si las viviendas se encuentran en zona de alta amenaza pero los elementos no se localizan en la zona de influencia o, se encuentran expuestos y gracias a su resistencia no sufren daño alguno, puede optarse por convivir con el problema; en caso contrario, y dependiendo de la gravedad de las consecuencias, se debe recurrir a obras de estabilización o a programas de reubicación.

El estudio de la vulnerabilidad física de los elementos expuestos, en este caso las viviendas, se realizó teniendo como fuente de información básica el "Formulario para la evaluación de daños en edificaciones en caso de deslizamiento". La información de cada lote, construido o no, se encuentra consignada en la base de datos mencionada en el capítulo 3 y georreferenciada mediante la asignación de un código alfanumérico correspondiente a la letra de cada manzana y al número del lote dentro de la misma.

El citado formulario indaga sobre diferentes tópicos tendientes a establecer parámetros útiles para la evaluación tanto de la vulnerabilidad física como de la social. Para la primera, el análisis se realizó de manera semicuantitativa con adaptaciones específicas para este proyecto (más extrapolables para otros ámbitos) a la metodología propuesta por Leone (1996). Las adaptaciones se refieren a la resistencia de los elementos (tipología de viviendas), a la asignación del grado de exposición (a partir de las longitudes de viaje de las masas potencialmente inestables Finlay et al, 1999) y a la matriz de daño, elaborada con base en las anteriores. Para la segunda, la vulnerabilidad social, el análisis es apenas cualitativo y se basa en la información de los formularios como: el nivel de ingresos, la percepción de peligro, las recomendaciones para medidas urgentes, la cobertura de los servicios públicos y el índice de carencia de vivienda.

5.1 VULNERABILIDAD SOCIAL

La vulnerabilidad social se definió como la capacidad de respuesta de la población ante la ocurrencia de un evento que ocasione daños; en este sentido se tomaron como componentes de análisis la capacidad económica de los pobladores, la cobertura de servicios públicos, las organizaciones cívicas, la tipología de viviendas y, el nivel de conocimiento que los habitantes tienen del problema de estabilidad y de las

actuales y potenciales repercusiones que éste ocasiona o puede ocasionar sobre sus viviendas.

Aunque la capacidad de respuesta de la comunidad involucra el estudio de otros aspectos como la organización del barrio en lo referente a juntas administradoras locales y juntas de acción comunal, puesto que son éstas las encargadas de actuar como intermediarias entre la comunidad y las entidades del Distrito, y de esa manera dar a conocer los procedimientos a seguir ante la ocurrencia de un desastre como un fenómeno de remoción en masa; la evaluación de su funcionamiento, eficacia e interacción con las entidades distritales, no fue contemplada por estar fuera de los alcances de este estudio.

Este tópico se cualificó a partir de la información colectada, pues para la escala de trabajo no existen aún las herramientas necesarias para cuantificar los datos. En los siguientes párrafos se hace una breve descripción de las condiciones relevantes en este aspecto:

- ***Percepción del Peligro***

En algunos sectores la comunidad reconoce estados reales y potenciales de peligro pues los deslizamientos traslacionales y flujos, han afectado seriamente algunas residencias, al punto de ser necesaria su reubicación.

Los programas de relocalización adelantados hasta el momento por la DPAE, han inquietado e incluso atemorizado a los vecindarios involucrados ante la incertidumbre sobre la propagación de los procesos y la afectación de su mayor propiedad. Una de las variables más importantes en este proceso, consiste en que esta medida, la reubicación, es entendida por los pobladores como un mecanismo de obtención de dinero o de vivienda nueva, en todo caso, de mejoramiento de su calidad de vida. Esta concepción los ha inducido a intentar a ser favorecidos, amplificando y agravando, en ocasiones, los perjuicios reales que han sufrido sus viviendas y enseres a causa de los procesos.

- ***Organizaciones Cívicas***

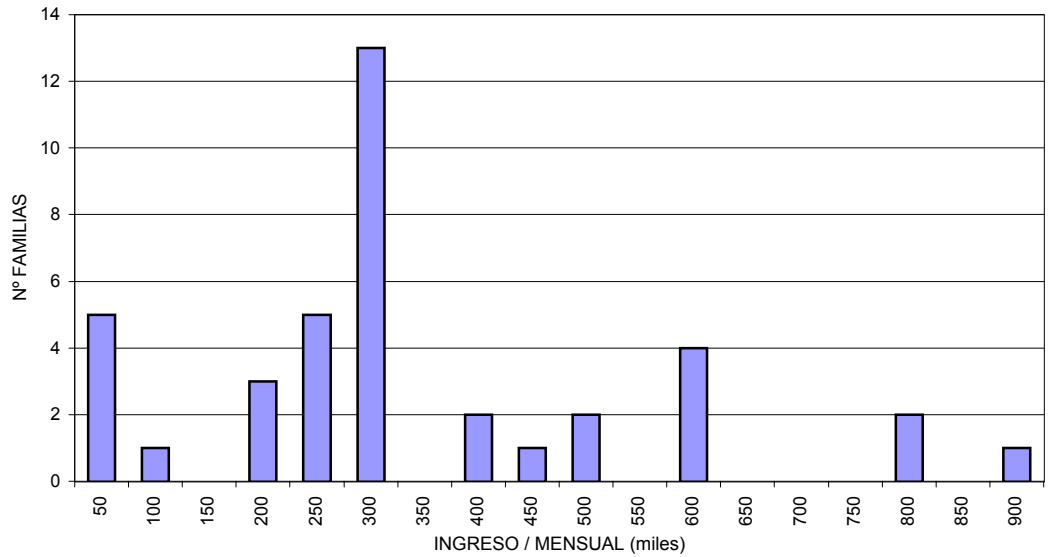
El barrio cuenta con una Junta de Acción Comunal (JAC) que canaliza y gestiona la mayoría de las inquietudes de los residentes en cuanto a servicios públicos domiciliarios y comunitarios. Sin embargo, los problemas de inestabilidad de las casas, se han abordado como intereses individuales y por cada propietario pues las JAC no tienen injerencia en este asunto.

Esta organización es una estructura concebida como gestora de intereses colectivos de la índole mencionada, pero no como unidades de atención de las emergencias que pudieran suscitarse por la acción de los FRM. Su protagonismo, en caso de emergencia, es cuestionable puesto que carece de herramientas para atender este tipo de situaciones.

- ***Capacidad Económica de los Pobladores***

La contingencia o capacidad de respuesta económica para la población, medida por los ingresos brutos familiares se puede catalogar como media baja a baja, pues se presenta un valor modal de un salario mínimo mensual (**Figura 5.1)**. Este generalizado nivel de ingresos bajo no permitiría a los habitantes, en caso de presentarse un desastre, una recuperación rápida y sin traumatismos de su condición de vida actual, expresada en lote, vivienda y bienes, máxime cuando el porcentaje de familias no propietarias es del 41% y contiene un alto número de personas por núcleo familiar.

FIGURA 5.1
ANÁLISIS DE FRECUENCIA
DEL INGRESO MENSUAL POR FAMILIA



Promedio	392.9
Mediana	300.0
Moda	300
Desv. estándar	309.7
Máximo	1500
Mínimo	0
No. de datos	42

D:\Consultoria\San Cristobal Sur\Vulnerabilidad\Cap 5\Fig 5.1 - 5.7.xls

- ***Cobertura de servicios***

La carencia de los servicios públicos básicos (**Figura 5.2**): es del 14.29% en el suministro legal de agua potable, para el sistema de alcantarillado 26.19%; luz eléctrica 0% y 26.19% en la red telefónica, el 21.43% de las vías del sector no cuenta con pavimento y el cubrimiento de gas domiciliario es nulo. El marco anterior resalta el interés de las entidades distritales en la mejora de la calidad de vida de la población.

Los habitantes han subsanado estas carencias con conexiones de contrabando de acueducto. En lo concerniente al sistema de alcantarillado, han construido de manera artesanal unos comunales en tubería de gres que se fracturan fácilmente y que por su reducido diámetro, con frecuencia se taponan; y los líquidos escapan o son vertidos directamente sobre las laderas, igualmente los desechos sólidos son dispuestos aleatoriamente sobre las mismas contribuyendo a la inestabilidad de estas, por otra, generan olores nauseabundos y se convierte en foco de infecciones dentro de la población, principalmente la infantil (**Plano 8**).

- ***Tipología de las viviendas***

Si bien el tipo de vivienda y sus características físicas se analizarán dentro del contexto de la vulnerabilidad física, las construcciones en sí mismas, son indicativo de calidad de vida de los habitantes. La mayor parte de las viviendas (**Figura 5.3 – Gráfica 1**) se consideran de calidad de construcción regular, la edad de construcción varia entre 1 y 10 años y predominan las construidas entre los años 1990 y 1995, el tipo de cubierta predominante es de teja de eternit y de zinc, la estructura del techo en su orden de mayor a menor porcentaje es: de madera y sistema estructural de muros portantes, pórticos, sistema mixto, de recuperación y pórticos con tabiques. En cuanto al piso es notorio la placa en concreto.

5.2 VULNERABILIDAD FÍSICA

La vulnerabilidad física de las viviendas ubicadas en la zona de estudio, se puede evaluar tomando en consideración aspectos sobre tipología de las viviendas, la cobertura de los servicios públicos y la calidad de la construcción, en este ultimo aspecto, se puede hablar incluso del mantenimiento de la construcción.

Con fines prácticos, para la elaboración de este trabajo, se optó por evaluar la vulnerabilidad de las viviendas a partir del grado de exposición de estas ante el fenómeno amenazante (índice de exposición, IE) y del comportamiento de las construcciones en tal circunstancia (índice de resistencia, IR), siguiendo la siguiente metodología:

- Se determino la ubicación de la vivienda frente a deslizamientos **(Tabla 5.3)**
- Se calcularon los índices de resistencia.
- Con los índices de resistencia y el grado de exposición, se obtuvo la resistencia movilizada, mediante la siguiente formula:

$RM = (1-IR^{IE})^{(1-IE)}$, (expresión matemática propuesta por INGEOCIM, 1998).

Donde,
RM = Resistencia movilizada
IR = Índice de resistencia
IE = Índice de exposición

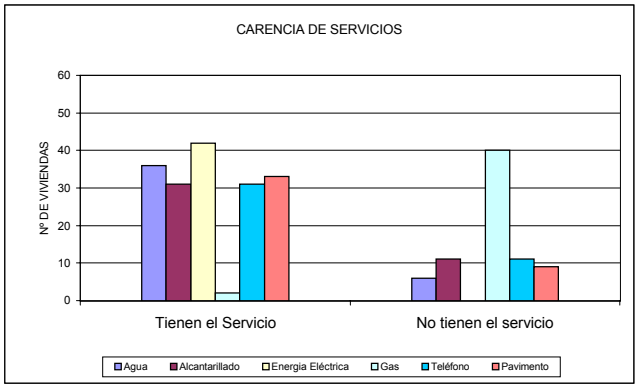
FIGURA 5.2

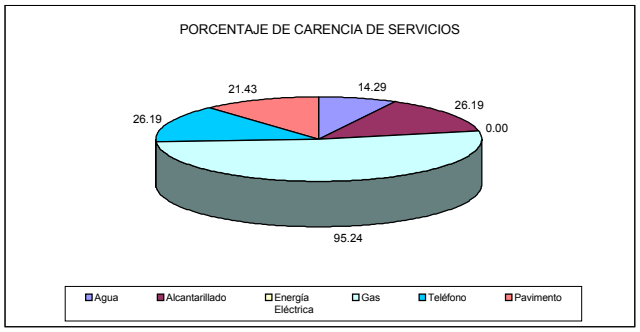
INDICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL

Cálculo del indice de Carencia de Servicios						
	Agua	Alcantarillado	Energía Eléctrica	Gas	Teléfono	Pavimento
Tienen el Servicio	36.00	31.00	42.00	2.00	31.00	33
No tienen el servicio	6.00	11.00	0.00	40.00	11.00	9
Número	42.00	42	42	42	42	42
%Carencia	14.29	26.19	0.00	95.24	26.19	21.43
Promedio	30.56					
Valor Normalizado	0.15	0.28	0.00	1.00	0.28	0.23
Índice de Servicios	0.32					

Tipo de Vivienda	Sistema Estructural	Número de Viviendas	%
Adecuado	Muros Portantes	13	59.52
	Pórtico	10	59.52
	Pórtico con Tabiques	2	59.52
	Entramado Tabiques	0	59.52
Inadecuado	Sistema Mixto	9	40.48
	De Recuperación	8	40.48
	Σ	42	

Nº familias	Nº Viviendas	Nº familias sin vivienda	% familias sin vivienda
68	40	28	41.176





D:\Consultoria\San Cristobal\Vulnerabilidad\Cap 5\Fig 5.1 - 5.7.xls

5.2.1 Índice de Exposición.

Esta variable cobra importancia dentro del análisis de vulnerabilidad física si se considera que si y solo si los elementos se encuentran dentro de la zona de influencia de los eventos (es decir, expuestos), pueden ser atacados por ellos.

La determinación del índice de resistencia involucro conocer el tipo de fenómeno a estudiar y su distribución espacial; en este sentido, todo movimiento está compuesto por tres grandes zonas que son: La Zona de Influencia Directa (ZID) definida como el área en la que tiene lugar el movimiento, la Zona de Influencia Indirecta (ZII) que corresponde a aquélla que puede ser invadido o afectado por la masa deslizada y una última denominada Zona de Influencia Nula (FZI), en donde no se espera ningún tipo de afectación.

De la evaluación geotécnica y con base en los diferentes fenómenos de remoción en masa que afectan los elementos físicos del barrio **(Inventario de procesos Plano 5),** se determinaron las zonas de afectación directa (ZID) e Indirecta (ZII) y las no afectadas (FZI), para cada mecanismo, como se indica en el plano 6. El contacto de la primera zona fue definida gracias a las evidencias de campo; así para las laderas con posibilidad de deslizamiento rotacional o traslacional, se considero la proyección horizontal de la superficie critica de estabilidad.

El limite externo de la zona de influencia indirecta (ZII) se obtuvo con base en la distancia de viaje de las masas inestables. Ella fue determinada a partir del patrón geométrico de las laderas estudiadas (secciones A-A a H-H) siguiendo los lineamientos presentados por Finlay et al (1999) y la propuesta formulada por Hoek (1996). La **Tabla 5.1** contiene los datos de ingreso para los cortes estudiados y las distancias de viaje estimadas para cada una. Con base en la localización de las viviendas dentro de las áreas de distribución espacial de los movimientos, se asigno el índice de exposición intentando considerar la magnitud de los eventos y su solicitación sobre los elementos teniendo en cuenta la superficie de contacto que un deslizamiento pudiera provocar sobre los muros, dado que la solicitación de este tipo de fenómenos corresponde a presiones laterales. La **Tabla 5.2** relaciona el tipo de evento y la solicitación que recaería sobre las unidades físicas en cada una de las zonas de influencia.

De la evaluación geotécnica y, con base en la clasificación de los fenómenos de remoción en masa que afectan los elementos físicos del sector (inventario de procesos, Plano 5), se determinaron las zonas de afectación directa (ZID) e indirecta (ZII) y las no afectadas (FZI) para cada mecanismo. La primera fue definida considerando la proyección horizontal de la superficie crítica de estabilidad (secciones de análisis A-A1 a H-H2) y el límite externo de la zona de influencia indirecta (ZII) se obtuvo con base en las evidencias de campo de los fenómenos de remoción en masa desarrollados y en la distancia de viaje de los cuerpos inestables; esta última fue determinada a partir del patrón geométrico de los taludes estudiados (mismas secciones) y del proceso de inestabilidad aplicando las ecuaciones presentadas por Finlay et al (1999). La **Tabla 5.1** contiene los datos de ingreso para los cortes estudiados y las distancias de viaje estimadas para cada uno. A partir de este límite y alejándose del fenómeno, se considera que cualquier elemento se localiza fuera de la zona de influencia (FZI). Y el inventario para cada lote, el tipo de evento que lo amenaza o podría hacerlo, la zona de influencia en la que se localiza.

Con base en la localización de las viviendas dentro de las áreas de distribución espacial de los movimientos, se asigno el índice de exposición intentando considerar la magnitud de los eventos y su solicitación sobre los elementos teniendo en cuenta la superficie de contacto (SC) que un deslizamiento pudiera provocar sobre los muros, dado que la solicitación de este tipo de fenómenos corresponde a presiones laterales y, el volumen del material deslizado es un indicativo de la magnitud de estos procesos.

TABLA 5.1

DETERMINACIÓN DE LAS DISTANCIAS DE VIAJE DE LAS MASAS INESTABLES

Sección Análisis	codigo	Tipo de Fenómeno	Inicio de falla Abscisa (m)	Elevación del Plano de referencia (m)	Altura de falla H (m)	Ángulo de Inclinación del Talud (º)	Ángulo de Inclinación del Talud (Rad)	Constante (C0)	Coeficiente (C1)	Log H	Coeficiente (C2)	Log (Tan A)	Log L	Distancia de Viaje (m)
A-A1	1	Deslizamiento	47.90	2699.00	12.00	45.00	0.785	0.156	1.055	1.079	-0.454	0.000	1.295	19.703
A-A2	1	Deslizamiento	52.00	2698.50	16.00	39.00	0.681	0.156	1.055	1.204	-0.454	-0.092	1.468	29.373
B-B1	1	Deslizamiento	50.32	2689.00	12.00	27.00	0.471	0.156	1.055	1.079	-0.454	-0.293	1.427	26.760
B-B2	1	Deslizamiento	78.00	2698.00	5.60	33.00	0.576	0.156	1.055	0.748	-0.454	-0.187	1.030	10.726
B-B3	1	Deslizamiento	57.50	2692.00	11.50	29.00	0.506	0.156	1.055	1.061	-0.454	-0.256	1.391	24.625
C-C1	1	Deslizamiento	79.20	2691.00	16.40	22.00	0.384	0.156	1.055	1.215	-0.454	-0.394	1.616	41.338
C-C2	1	Deslizamiento	94.72	2694.80	3.00	28.00	0.489	0.156	1.055	0.477	-0.454	-0.274	0.784	6.080
D-D1	1	Deslizamiento	37.20	2682.00	6.40	26.00	0.454	0.156	1.055	0.806	-0.454	-0.312	1.148	14.063
D-D2	1	Deslizamiento	77.60	2695.20	8.00	23.00	0.401	0.156	1.055	0.903	-0.454	-0.372	1.278	18.955
D-D3	1	Deslizamiento	82.00	2697.60	12.00	23.00	0.401	0.156	1.055	1.079	-0.454	-0.372	1.463	29.073
E-E1	1	Deslizamiento	40.00	2682.00	5.60	24.00	0.419	0.156	1.055	0.748	-0.454	-0.351	1.105	12.732
E-E2	1	Deslizamiento	51.00	2688.60	5.00	51.00	0.890	0.156	1.055	0.699	-0.454	0.092	0.852	7.109
F-F	1	Deslizamiento	41.00	2687.27	10.00	40.00	0.698	0.156	1.055	1.000	-0.454	-0.076	1.246	17.603
G-G	1	Deslizamiento	45.50	2682.30	8.20	27.00	0.471	0.156	1.055	0.914	-0.454	-0.293	1.253	17.907
H-H1	1	Deslizamiento	29.50	2675.50	3.20	43.00	0.750	0.156	1.055	0.505	-0.454	-0.030	0.703	5.043
H-H2	1	Deslizamiento	43.00	2683.50	10.50	24.00	0.419	0.156	1.055	1.021	-0.454	-0.351	1.393	24.711

Intervalo de Confianza (95%) Alto

TABLA 5.2
MATRIZ PARA LA DETERMINACIÓN DE LA INTENSIDAD DE DAÑO

EVENTO	ZONA DE INFLUENCIA	SOLICITACIÓN		TIPO DE VIVIENDA				
				Recuperación	Muros	Prefabricada	Pórticos	Lote vacío
Deslizamientos traslacionales	Zona de Influencia Directa (ZID)	Rapidez del fenómeno	Lento	IV	III	III	III	V
			Rápido	V	V	IV	IV	V
	Zona de Influencia Indirecta (ZII)	Presiones laterales	Baja	IV	II	I	I	III
			Media	IV	III	II	II	IV
			Alta	V	III	IV	III	IV
Deslizamientos rotacionales	Zona de Influencia Directa (ZID)	Rapidez del fenómeno	Lento	III	II	II	III	V
			Rápido	IV	IV	III	IV	V
	Zona de Influencia Indirecta (ZII)	Presiones laterales	Baja	III	II	I	I	III
			Media	IV	III	II	II	IV
			Alta	V	III	IV	III	IV
Flujos de tierra	Zona de Influencia Directa (ZID)	Rapidez del fenómeno	Lento	IV	III	III	III	V
			Rápido	V	V	IV	IV	V
	Zona de Influencia Indirecta (ZII)	Presiones laterales	Baja	IV	II	I	I	III
			Media	IV	III	II	II	IV
			Alta	V	III	IV	III	IV
Caída de bloques	Zona de Influencia Directa (ZID)	Desplazamientos verticales	Bajo	IV	III	IV	IV	IV
			Alto	V	V	V	V	V
	Zona de Influencia Indirecta (ZII)	Impactos	Bajo	III	II	II	II	IV
			Medio	IV	III	III	II	IV
			Alto	V	V	IV	III	V

TABLA 5.2 B
DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE DAÑO

INTENSIDAD DE DAÑO *(InD)*		ÍNDICE DE DAÑO *(ID)*	DESCRIPCIÓN
I	Muy baja	0.055	Daños ligeros no estructurales. Estabilidad no afectada
II	Baja	0.115	Fisuración de muros. Reparaciones no urgentes
III	Media	0.500	Deformaciones importantes, fisuras en elmementos estructurales.
IV	Alta	0.750	Fracturación de la estructura, evacuación inmediata.
V	Muy alta	0.950	Derrumbe parcial o total de la estructura.

Los análisis efectuados permitieron determinar la afectación potencial de las viviendas de acuerdo a su ubicación dentro de la zona de influencia de los procesos de inestabilidad, de la siguiente manera:

Las viviendas localizadas en la ZID se tomó un valor SC = 0.75, ZII el valor SC = 0.35 a 0.45 y FZI un valor SC = 0.09.

5.2.2 Índice de Resistencia (IR)

En términos generales, la importancia de evaluar la resistencia radica en que a mayor resistencia de los elementos, la vulnerabilidad física es menor. Aunque la resistencia de la vivienda como conjunto está determinada por la de sus componentes, en el presente estudio, se estimó un comportamiento integral asociado a la clase de sistema estructural; no obstante lo anterior, éste es el reflejo, en alguna medida, de las partes. En la **Figura 5.3 - Gráficas 3, 4, 5** y **6 -** se muestra, los tipos de cobertura, estructura de techo, estructura de la placa de piso y el sistema estructural.

Retomando la concepción de cualificar el comportamiento de las viviendas, integralmente éstas fueron discriminadas según el sistema estructural, la calidad de sus materiales y su calidad constructiva en:

- *Recuperación y Palafitos:* Encierran viviendas construidas con sistemas estructurales muy precarios en madera y sin un correcto sistema de transición de cargas al suelo de fundación; en materiales como cartón, lata y madera; sin sistema de cimentación; con techos construidos en zinc, madera, lata, cartón y mixtos; la calidad se considera baja.

- *Prefabricados:* Como su nombre lo indica, son viviendas modulares en concreto, de media a baja calidad constructiva cimentadas sobre placas delgadas del mismo material; la estructura del techo es en madera y su cubierta en teja de asbesto – cemento.

- *Vivienda en Mampostería:* Contempla todas las viviendas de uno ó dos pisos, cuyos muros son en mampostería con diferentes tipos de elementos de amarre estructural, donde ellos hacen las veces de unidades de soporte. Con calidad constructiva que oscila desde alta hasta regular; la cubierta usualmente es de asbesto, cemento ó zinc.

- *Vivienda hasta dos niveles*, de buena calidad de construcción con estructura. Estas unidades involucran sistemas aporticados con placas de entrepisos cuyos materiales de cubierta pueden ir desde la teja en asbesto – cemento hasta concreto.

El índice de resistencia utilizado para evaluar la vulnerabilidad se midió a partir de las componentes del sistema estructural de las viviendas como son: la cubierta, C, la estructura de techo, T, y el tipo de sistema estructural, SE (Tabla 5.3)**,** y el tipo de material constitutivo de cada componente. Sin embargo, vale la pena mencionar que el mejor parámetro de resistencia debería obtenerse de ensayos in-situ sobre los componentes estructurales, pero este tratamiento elevaría el costo del estudio.

Los criterios de evaluación fueron adoptados en forma discreta para toda el área de estudio. Esto significa que la valoración de los parámetros involucrados se realizó discriminando tanto por el tipo de solicitud (FRM) como por la ubicación de la vivienda ante ella.

A las variables mencionadas se les asignó un grado de contribución a la resistencia, simulando que en todos los casos los cuerpos movidos ejercen presiones laterales, así:

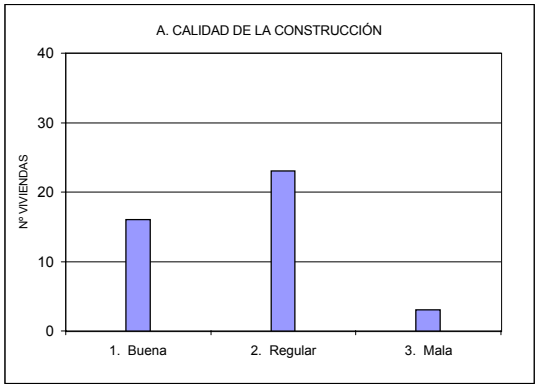
TABLA 5.3

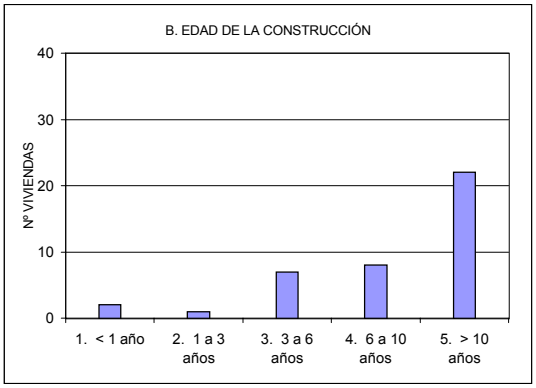
DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESLIZAMIENTO

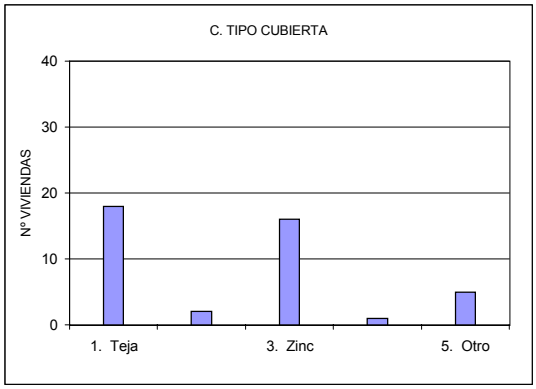
Ficha	Localidad	Barrio	Manzana	Lote	Tipo de evento	Ubicación de la vivienda respecto al deslizamiento	Código del tipo de Cubierta	*C*: Tipo de Cubierta	Factor de ponderación de cubierta *FC*	Código de la estructura del techo	*T*: Estructura del techo	Factor de ponderación de la estructura del techo *FT*	Código del sistema Estructural	*SE*: Sistema Estructural	Factor de ponderación del sistema estructural *FSE*	Indice de Resistencia: *IR=FC*C+FT*T+FSE*SE*	Índice de exposición *IE=f(SC)*	Resistencia movilizada *RM =(1-(IR)$^{(IE)}$)$^{(1-IE)}$*	*IntD*: Intensidad de Daño *IntD=1+4*RM*	*ID*: Índice de Daño *ID=f(IntD)*	*IVF*: Índice de Vulnerabilidad Física *IVF=ID/0.8*
1	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	1	Deslizamiento Traslacional	ZID	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.60	0.75	0.75	4	0.750	0.94
2	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	2	Deslizamiento Traslacional	ZID	5	Otro	0.90	1	Concreto reforzado	0.90	2	Pórtico	0.85	0.87	0.75	0.56	3	0.500	0.63
3	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	3	Deslizamiento Traslacional	ZII	1	Teja	0.40	3	Madera	0.55	6	Recuperación	0.1	0.25	0.35	0.54	3	0.500	0.63
4	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	4	Deslizamiento Traslacional	ZII	1	Teja	0.00	4	Otro	0.10	5	sistema mixto	0.25	0.17	0.35	0.61	3	0.500	0.63
5	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	5	Deslizamiento Traslacional	ZII	1	Teja	0.40	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.64	0.35	0.28	2	0.115	0.14
6	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	6	Deslizamiento Traslacional	FZI	1	Teja	0.40	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.64	0.09	0.05	1	0.055	0.07
7	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	7	Deslizamiento Traslacional	FZI	1	Teja	0.40	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.64	0.09	0.05	1	0.055	0.07
8	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	8	Deslizamiento Traslacional	FZI	5	Otro	0.90	4	Otro	0.10	5	sistema mixto	0.25	0.35	0.09	0.11	1	0.055	0.07
9	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	9	Deslizamiento Traslacional	FZI	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.60	0.09	0.06	1	0.055	0.07
10	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	10	Deslizamiento Traslacional	ZII	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.60	0.42	0.39	3	0.500	0.63
11	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	11	Deslizamiento Traslacional	ZII	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	6	Recuperación	0.1	0.21	0.35	0.57	3	0.500	0.63
12	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	12	Deslizamiento Traslacional	ZII	3	Zinc	0.20	1	Concreto reforzado	0.90	2	Pórtico	0.85	0.73	0.50	0.38	3	0.500	0.63
13	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	13	Deslizamiento Traslacional	ZII	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	6	Recuperación	0.1	0.21	0.35	0.57	3	0.500	0.63
14	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	14	Deslizamiento Traslacional	ZII	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	6	Recuperación	0.1	0.21	0.35	0.57	3	0.500	0.63
15	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	15	Deslizamiento Traslacional	ZII	1	Teja	0.40	1	Concreto reforzado	0.90	2	Pórtico	0.85	0.77	0.35	0.21	2	0.115	0.14
16	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	16	Deslizamiento Traslacional	ZII	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	6	Recuperación	0.1	0.21	0.35	0.57	3	0.500	0.63
17	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	17	Deslizamiento Traslacional	ZII	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	6	Recuperación	0.1	0.21	0.35	0.57	3	0.500	0.63
18	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	18	Deslizamiento Traslacional	ZID	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	6	Recuperación	0.1	0.21	0.75	0.91	5	0.950	1.00
19	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	19	Deslizamiento Traslacional	ZID	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0	0.00	0.75	0.00	1	0.055	0.07
20	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	20	Deslizamiento Traslacional	ZID	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0	0.00	0.75	0.00	1	0.055	0.07
21	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	21	Deslizamiento Traslacional	ZID	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	5	sistema mixto	0.25	0.30	0.75	0.88	5	0.950	1.00
22	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	22	Deslizamiento Traslacional	ZII	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.60	0.35	0.31	2	0.115	0.14
23	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	23	Deslizamiento Traslacional	ZII	5	Otro	0.90	1	Concreto reforzado	0.90	2	Pórtico	0.85	0.87	0.35	0.14	2	0.115	0.14
24	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	24	Flujo de Suelos	ZII	2	Asbesto cemento	0.50	3	Madera	0.55	2	Pórtico	0.85	0.72	0.35	0.24	2	0.115	0.14
25	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	25	Deslizamiento Traslacional	ZII	5	Otro	0.90	1	Concreto reforzado	0.90	5	sistema mixto	0.25	0.51	0.35	0.36	2	0.115	0.14
26	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	26	Deslizamiento Traslacional	ZII	2	Asbesto cemento	0.50	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.66	0.35	0.27	2	0.115	0.14
27	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	27	Deslizamiento Traslacional	ZII	1	Teja	0.40	3	Madera	0.55	5	sistema mixto	0.25	0.34	0.35	0.47	3	0.500	0.63
28	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	28	Deslizamiento Traslacional	ZII	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	1	Muros portantes	0.75	0.60	0.35	0.31	2	0.115	0.14
29	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	29	Deslizamiento Traslacional	ZII	5	Otro	0.90	1	Concreto reforzado	0.90	2	Pórtico	0.85	0.87	0.35	0.14	2	0.115	0.14
30	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	30	Deslizamiento Traslacional	ZII	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	5	sistema mixto	0.25	0.30	0.35	0.50	3	0.500	0.63
31	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	31	Deslizamiento Traslacional	FZI	1	Teja	0.40	3	Madera	0.55	5	sistema mixto	0.25	0.34	0.09	0.11	1	0.055	0.07
32	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	32	Deslizamiento Traslacional	FZI	1	Teja	0.40	2	Metálico	0.90	2	Pórtico	0.85	0.77	0.09	0.03	1	0.055	0.07
33	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	33	Deslizamiento Traslacional	FZI	5	Otro	0.90	1	Concreto reforzado	0.90	2	Pórtico	0.85	0.87	0.09	0.02	1	0.055	0.07
34	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	34	Deslizamiento Traslacional	FZI	1	Teja	0.40	3	Madera	0.55	2	Pórtico	0.85	0.70	0.09	0.04	1	0.055	0.07
35	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	35	Deslizamiento Traslacional	FZI	1	Teja	0.40	1	Concreto reforzado	0.90	2	Pórtico	0.85	0.77	0.09	0.03	1	0.055	0.07
36	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	36	Deslizamiento Traslacional	FZI	1	Teja	0.40	3	Madera	0.55	6	Recuperación	0.1	0.25	0.09	0.14	2	0.115	0.14
37	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	37	Deslizamiento Traslacional	FZI	1	Teja	0.40	3	Madera	0.55	3	Pórtico con tabique	0.75	0.64	0.09	0.05	1	0.055	0.07
38	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	38	Deslizamiento Traslacional	FZI	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	5	sistema mixto	0.25	0.30	0.09	0.13	2	0.115	0.14
39	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	39	Deslizamiento Traslacional	FZI	3	Zinc	0.20	3	Madera	0.55	3	Pórtico con tabique	0.75	0.60	0.09	0.06	1	0.055	0.07
40	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	40	Deslizamiento Traslacional	FZI	1	Teja	0.40	1	Concreto reforzado	0.90	1	Muros portantes	0.75	0.71	0.09	0.04	1	0.055	0.07
41	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	41	Deslizamiento Traslacional	FZI	1	Teja	0.40	1	Concreto reforzado	0.90	1	Muros portantes	0.75	0.71	0.09	0.04	1	0.055	0.07
42	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	42	Deslizamiento Traslacional	FZI	1	Teja	0.40	3	Madera	0.55	5	sistema mixto	0.25	0.34	0.09	0.11	1	0.055	0.07

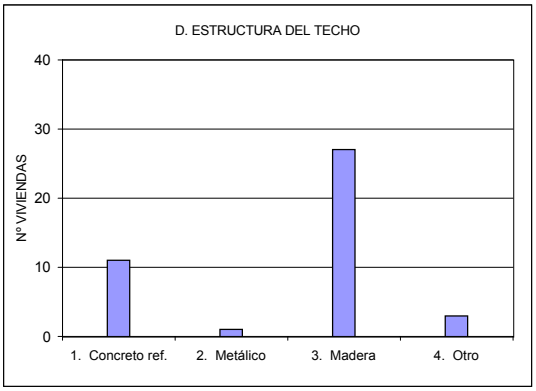
FIGURA 5.3

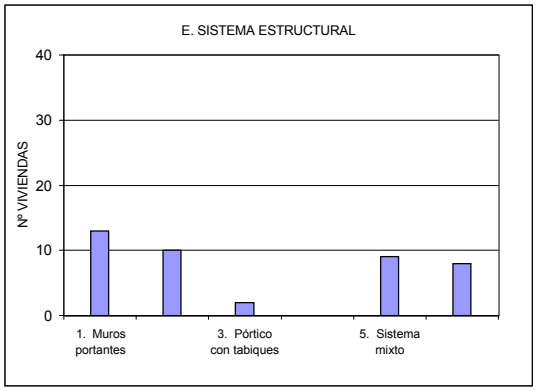
CARACTERISTICAS DE LAS VIVIENDAS

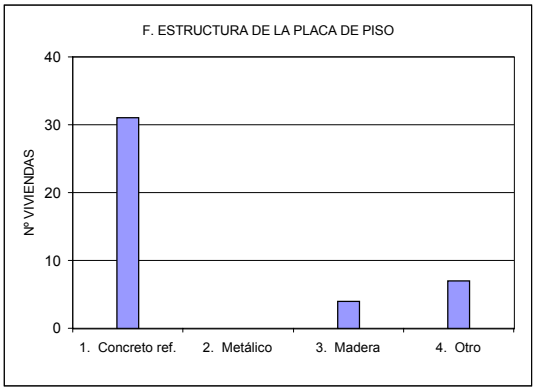












D:\Consultoria\San Cristobal\Vulnerabilidad\Cap 5\Fig 5.1 - 5.7.xls

TABLA 5.4

A. VALORES ASIGNADOS PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE ESTRUCTURAS

CUBIERTA			TECHO			SISTEMA ESTRUCTURAL		
CÓDIGO	TIPO	FACTOR DE PONDERACIÓN FC	CÓDIGO	TIPO	FACTOR DE PONDERACIÓN FT	CÓDIGO	TIPO	FACTOR DE PONDERACIÓN FSE
1	TEJA	0.40	1	CONCRETO REFORZADO	0.90	1	MUROS PORTANTES	0.75
2	ASBESTO CEMENTO	0.50	2	METÁLICO	0.90	2	PÓRTICO	0.85
3	ZINC	0.20	3	MADERA	0.55	3	PÓRTICO CON TABIQUES	0.75
4	RECUPERACIÓN	0.10	4	OTRO	0.10	4	ENTRAMADO CON TABIQUES	0.60
5	OTRO	0.90				5	SISTEMA MIXTO	0.25
						6	RECUPERACIÓN	0.10

B. RELACIÓN ENTRE LA INTENSIDAD DE DAÑO Y EL ÍNDICE DE DAÑO
(DRM Délégation aux Risques Majeurs)

INTD: INTENSIDAD DE DAÑO	DESCRIPCIÓN	*ID:* ÍNDICE DE DAÑO
0	NINGUNA	0.000
1	DAÑOS LIGEROS NO ESTRUCTURALES. ESTABILIDAD NO AFECTADA	0.055
2	FISURACIÓN DE MUROS. REPARACIONES NO URGENTES	0.115
3	DEFORMACIONES IMPORTANTES, FISURAS EN ELMEMENTOS ESTRUCTURALES.	0.500
4	FRACTURACIÓN DE LA ESTRUCTURA, EVACUACIÓN INMEDIATA.	0.750
5	DERRUMBE PARCIAL O TOTAL DE LA ESTRUCTURA.	0.950

- *Tipo de cubierta.* Ésta puede aportar un 20% de la resistencia de la vivienda ante un fenómeno de remoción en masa. En el barrio San Cristóbal Sur predominan las cubiertas en teja y zinc (**Figura 5.3C**), y en un menor porcentaje se encuentran las de asbesto cemento y de recuperación.

- *Estructura de techo*. El material de la estructura de techo fue incluido como elemento aportante en un 20% de la resistencia total de la vivienda. La estructura de mayor predominio en San Cristóbal Sur es la de madera seguida de concreto reforzado (**Figura 5.3D**).

- *Sistema Estructural*. Otra de las variables involucradas es el tipo de sistema estructural, siendo éste el elemento considerado con mayor aporte, 60%. La **Figura 5.3E** muestra la composición de las unidades residenciales por sistema estructural según los datos obtenidos en la encuesta. La mayor parte de las viviendas están conformadas con sistemas aporticados con tabiques y con muros portantes.

El aporte de cada tipo de material para los componentes estructurales se realizo de forma cualitativa. Los valores fueron asignados entre 0 y 1 (de menor a mayor capacidad de respuesta), intentando calificar su contribución como elemento reductor de la energía cinética de las masas inestables.

La **Tabla 5.4A** contiene las cantidades asignadas, de ella se aprecia que las unidades construidas en concreto reciben las mayores calificaciones: 0.85, y las de recuperación escasamente contribuyen con 0.10.

Por último el índice de resistencia se definió a partir de la siguiente relación:

$$IR = 0.2*C + 0.2*T + 0.6*SE$$

Donde,

IR : Indice de resistencia
C : Valor asignado para tipo de cubierta
T : Valor asignado para tipo de estructura de techo
SE : Valor asignado para tipo de sistema estructural

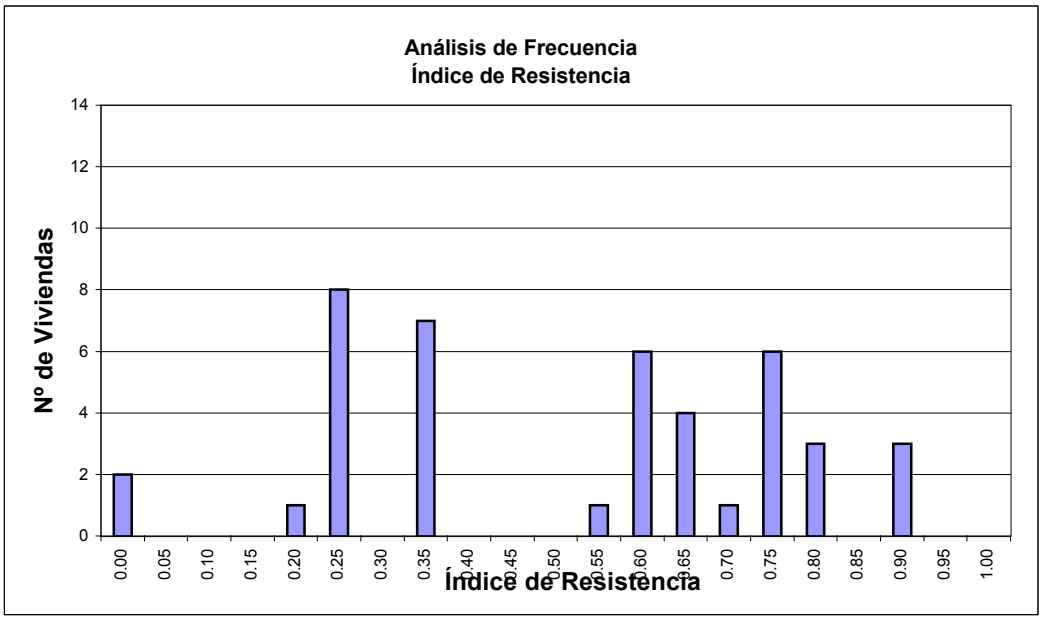
Los resultados del análisis con este índice indican una distribución modal de 0.60 (**Figura 5.4**), lo que puede traducirse en una resistencia media de las viviendas.

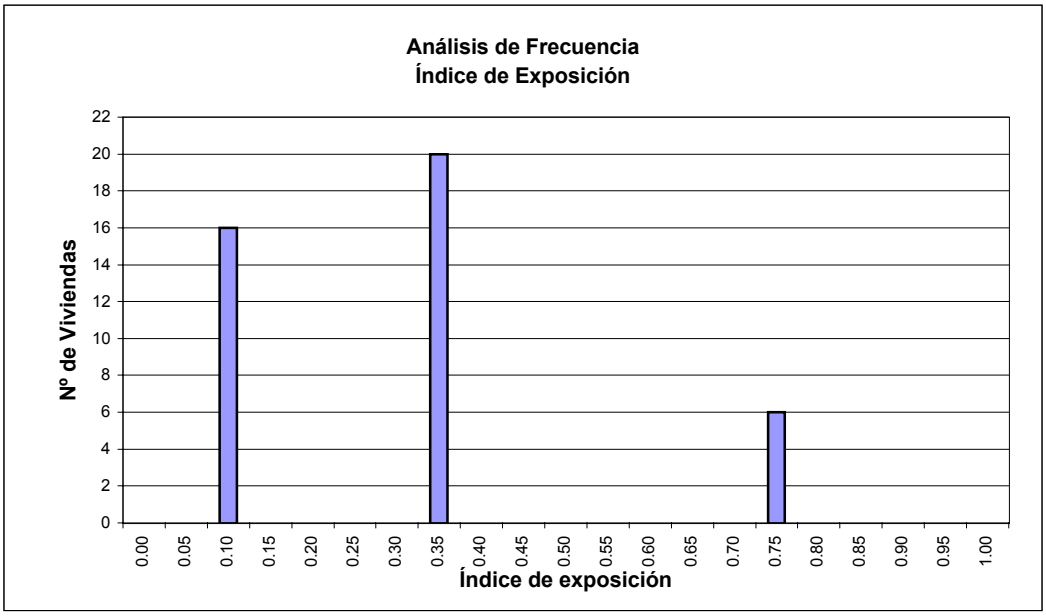
5.2.3 Intensidad e Índice de Daño (InD e ID)

Los perjuicios que se producirían sobre las unidades, están condicionados por dos variables: el de exposición y el de resistencia; el primero involucra el tipo de evento (deslizamientos traslacionales o rotacionales, flujos, etc.), la localización de las viviendas con respecto al mismo y la solicitación que el proceso ejerza sobre los componentes; el segundo, la calidad, propiedades y atributos de las casas, que, como se ha expresado antes, se condensan en la tipología. La contribución de las variables ya expuestas se registra en la matriz de intensidad de daño (**Tabla 5.4**). Esta intensidad se cuantifica desde Muy Baja (I), hasta Muy Alta (V) y se formula con un índice de daño (ID) que representa el porcentaje de destrozos en la vivienda. La reciprocidad entre las dos variables, InD e ID, fue establecida por el DRM (Delegation aux Risques Majeurs) y se consigna en la **Tabla 5.2B**.

FIGURA 5.4

ANÁLISIS DE FRECUENCIA DEL ÍNDICE DE EXPOSICIÓN E ÍNDICE DE RESISTENCIA





D:\Consultoria\San Cristobal\Vulnerabilidad\Cap 5\Fig 5.1 - 5.7.xls

5.2.4 Índice de Vulnerabilidad Física (IVF)

Con los índices de resistencia y exposición hallados anteriormente, se calculó la resistencia movilizada (RM) que es una expresión de los posibles daños provocados al elemento expuesto por un fenómeno, para lo cual se buscó una ecuación que cumpliera con las siguientes condiciones:

- Cuando IE = 0, RM = 0.
- Cuando IE = 1, RM = 1.
- Para cualquier valor de IR e IE, $1 \geq RM \geq 0$.

Pueden existir innumerables funciones que cumplan con las anteriores condiciones, sin embargo para fines prácticos se adaptó la ecuación propuesta por Ingeocim (1998), reemplazando el índice de vulnerabilidad por deslizamiento, IVD, por la RM y el índice de vulnerabilidad física, IVF, por el índice de exposición, IE:

$$RM = [1-(IR)^{IE}]^{(1-IE)}$$

Donde,

RM : Resistencia movilizada.
IR : Índice de resistencia.
IE : Índice de exposición.

De esta manera, se estableció un paralelo entre la RM y la matriz de daño presentada por el DRM que se muestra en la **Tabla 5.4B** y que involucra el tipo y la magnitud del evento y la solicitación de los elementos, mediante la ecuación:

$$InD = 1+4*RM$$

En la que una InD = 1 (I), equivale a daños leves y una InD = 5 (V) que es la máxima, corresponde a daños severos.

Adicionalmente, y a partir de las descripciones de la Intensidad de daño del DRM se estableció el Índice de Daño, ID, que sería un equivalente del Índice de Vulnerabilidad Física si la confiabilidad de los datos fuera del 100%. De acuerdo con las condiciones propias del presente estudio, se asumió que ésta es del 80%, lo cual indica que:

$$IVF = ID/CfF$$

donde:
CfF es el coeficiente de confiabilidad = 0.8

Así, el IVF, grado de vulnerabilidad, se dividió en tres grupos, como se indica en la **Figura 5.5**.

El índice de vulnerabilidad física calculado mediante la formula del numeral 5.2, muestra que mientras menor sea la resistencia de los elementos expuestos, la vulnerabilidad también lo será; en la **Tabla 5.3** se muestran los cálculos respectivos y en la **Figura 5.4** exhibe el análisis de frecuencia de índice y de la cualificación de la vulnerabilidad con base en los siguientes criterios:

IVF	Categoría de vulnerabilidad
0 – 0.12	Baja
0.12 – 0.4	Media
0.4 - 1	Alta

5.3 RIESGO ACTUAL

El riesgo incurrido en una zona o elemento, frente a una solicitud determinada, se puede expresar como el producto de la probabilidad de ocurrencia de la solicitud (amenaza actual-Pf), con el índice de vulnerabilidad de los elementos expuestos, sobre la confiabilidad de la información recolectada la cual fue asumida 0.8, en un rango de 0 a 1.

$$Riesgo = Pf * IVF/0.8$$

El índice de riesgo actual, IRA, corresponde a un valor entre 0 y 1, donde los menores niveles de riesgo son cantidades cercanas a cero (**Tablas 5.5**). Si bien el intervalo de valores del IRA posee como límite superior la unidad, la pérdida de la mitad de una vivienda puede asumirse como crítica. Ello permitió concluir que los intervalos de categorización (**Figura 5.5**) no podrían expresarse de manera similar a las de los índices anteriores, por lo tanto se adopto como intervalos de cualificación en indicado en la siguiente tabla.

IRA	Categoría de Riesgo Actual
< 0.01	Bajo
0.01 – 0.18	Medio
>0.18	Alto

El **Plano 9** ilustra el resultado obtenido, el cual indica que de las cuarenta viviendas y dos lotes sin construcción existentes, nueve se encuentran en alto riesgo, diecisiete en zona de riesgo medio y catorce en zona de riesgo bajo, los dos lotes sin construcción no se categorizan en zona de riesgo.

En aras de reducir la amenaza y/o la vulnerabilidad en el sector, se discutirá por zona, en el Capítulo 6, una serie de medidas tendientes a mitigar de esta manera el riesgo.

5.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las viviendas con alto IVF del barrio, poseen sistemas estructurales elaborados con pórticos y se encuentran localizadas en la ZID de los fenómenos (1, 2); las viviendas (3, 4, 11, 13, 14, 16, 17, 18, 21, 27 y 30), están establecidas en la ZII de los procesos de inestabilidad y fueron catalogadas de esa manera (alta vulnerabilidad) no sólo por su alta exposición sino por la tipología de vivienda, en su mayoría de palafitos y de recuperación (resistencia baja).

En cuanto al mejoramiento de la resistencia de estos elementos, la medida es aplicable pero esto involucraría modificar el sistema estructural y los materiales de construcción, caso en el cual resultaría más económica la opción de reubicar. Aquí las fallas se han presentado básicamente en los depósitos, y la solución ha sido recurrente: se reubica la familia pues es necesaria la reconstrucción total de la vivienda ya que el daño por lo general es severo. Así entonces, el objetivo de las obras debe ser reducir la exposición.

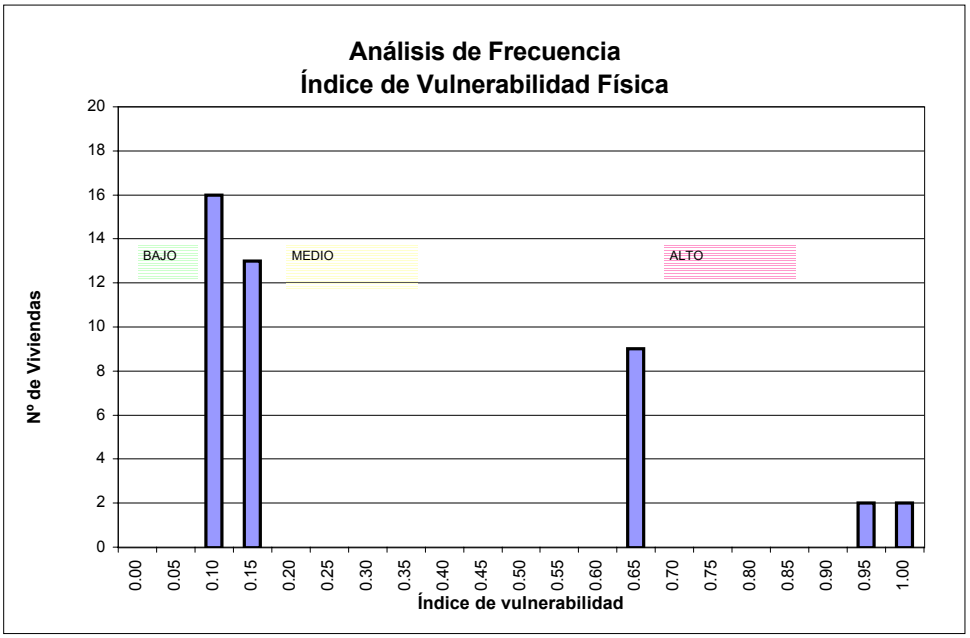
TABLA 5.5

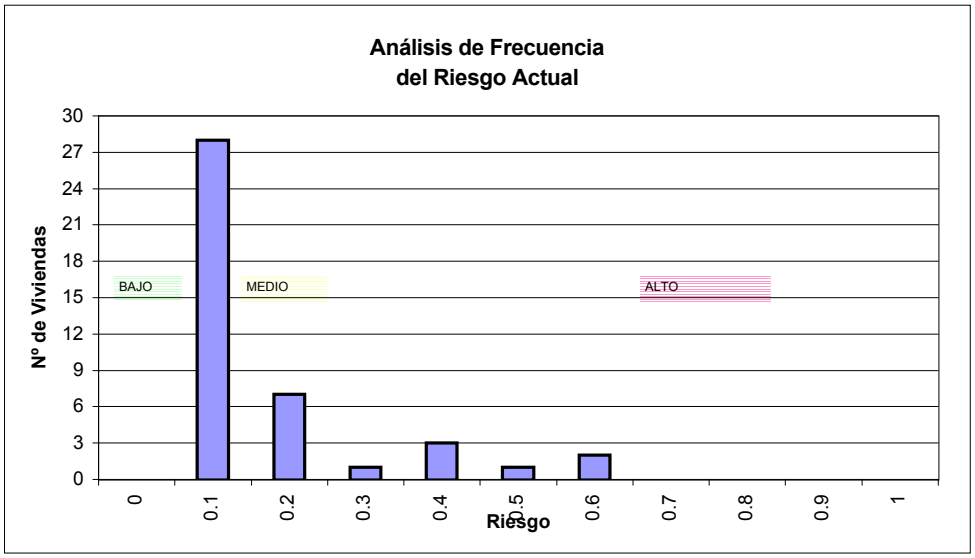
DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RIESGO ACTUAL

Ficha	Localidad	Barrio	Manzana	Lote	IVF: Índice de Vulnerabilidad Física IVF= F(IR, IE) = ID/0.8	Amenaza por falla planar	Amenaza por Falla Rotacional	Riesgo
1	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	1	0.94	0	0.63	0.591
2	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	2	0.63	0	0.15	0.094
3	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	3	0.63	0	0.15	0.094
4	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	4	0.63	0	0.15	0.094
5	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	5	0.14	0	0.15	0.022
6	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	6	0.07	0	0.09	0.006
7	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	7	0.07	0	0.09	0.006
8	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	8	0.07	0.09	0	0.006
9	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	9	0.07	0.09	0	0.006
10	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	10	0.63	0.35	0	0.219
11	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	11	0.63	0.35	0	0.219
12	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	12	0.63	0.35	0	0.219
13	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	13	0.63	0	0.35	0.219
14	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	14	0.63	0	0.1	0.063
15	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	15	0.14	0	0.35	0.050
16	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	16	0.63	0	0.35	0.219
17	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	17	0.63	0	0.35	0.219
18	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	18	1.00	0	0.49	0.490
19	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	19	0.07	0	0.47	0.032
20	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	20	0.07	0	0.37	0.025
21	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	21	1.00	0	0.37	0.370
22	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	22	0.14	0	0.35	0.050
23	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	23	0.14	0	0.87	0.125
24	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	24	0.14	0	0.87	0.125
25	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	25	0.14	0	0.87	0.125
26	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	26	0.14	0	0.35	0.050
27	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	27	0.63	0	0.15	0.094
28	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	28	0.14	0	0.35	0.050
29	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	29	0.14	0	0.35	0.050
30	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	30	0.63	0	0.09	0.056
31	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	31	0.07	0	0.09	0.006
32	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	32	0.07	0	0.09	0.006
33	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	33	0.07	0	0.09	0.006
34	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	34	0.07	0	0.09	0.006
35	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	35	0.07	0	0.09	0.006
36	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	36	0.14	0	0.09	0.013
37	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	37	0.07	0	0.09	0.006
38	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	38	0.14	0	0.09	0.013
39	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	39	0.07	0	0.09	0.006
40	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	40	0.07	0	0.09	0.006
41	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	41	0.07	0	0.09	0.006
42	San Cristobal	San Cristobal Sur	1	42	0.07	0	0.09	0.006

FIGURA 5.5

ANÁLISIS DE FRECUENCIA DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FÍSICA E ÍNDICE DE RIESGO





D:\Consultoria\San Cristobal\Vulnerabilidad\Cap 5\Fig 5.1 - 5.7.xls

Los principales escenarios de riesgo coinciden con las zonas de amenaza alta y media. En general, el riesgo en estas áreas se considera mitigable pero requeriría de grandes niveles de inversión pues las viviendas de los lotes 1 a 20 adolecen la falta de sistemas de alcantarillado pluvial y sanitario que facilitarían la evacuación tanto del agua lluvia como sanitaria, principales agentes contribuyentes y detonantes de los procesos de inestabilidad.

Este panorama conduce inevitablemente, a conservar estas áreas inhabitadas y a generar directrices tendientes a plantear un plan integral de reordenamiento urbano donde las zonas de alto riesgo se destinen exclusivamente a recreación pasiva.

6. PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS CORRECTIVAS DEL RIESGO ACTUAL

Tal vez el mayor beneficio del análisis de riesgo actual radica en la formulación de un plan de acción que permita atenuar las consecuencias de los procesos de inestabilidad en los frentes de mayor peligro. Las obras, en consecuencia, pretenden estabilizar los movimientos o controlar los niveles de vulnerabilidad, bien disminuyendo las áreas de exposición o bien reforzando las unidades físicas.

A la luz del objeto de este proyecto, surge entonces, la necesidad de estudiar en adelante el papel de un abanico de medidas correctivas, que fueron emergiendo de los temas tratados en los capítulos anteriores. Los criterios de decisión consistirán en un análisis comparativo, en términos cualitativos, del riesgo para la condición actual y del riesgo para los escenarios con la implementación de cada una de las obras.

La definición de riesgo, sin embargo, implica determinar explícitamente la eficiencia y eficacia de las alternativas en la reducción de la condición de amenaza y vulnerabilidad. El nivel de riesgo actual es alto, en algunos sectores, producto del grado de exposición de las viviendas; con el fin de minimizar el riesgo, se realizó el análisis de vulnerabilidad futura (con obras), en este caso se analizaron obras de mitigación como son: muros en gaviones, pilotes estabilizadores y obras de drenaje; las cuales controlan o disminuyen la probabilidad de falla. Se recurrió a alternativas de reducción de la vulnerabilidad tales como la reubicación (disminución de la exposición) en última instancia. La intervención de las viviendas con el fin de aumentar su resistencia, no es viable pues éstos son bienes de carácter privado.

Por otra parte, se sugiere la implementación de una serie de obras de carácter meramente paisajístico que contribuirá innegablemente al mejoramiento de la calidad de vida y en consecuencia, a la reducción de la vulnerabilidad social, cuya participación en la mitigación del riesgo es difícilmente cuantificable. Sin embargo, se ven ampliamente justificadas en la disminución de la contaminación visual expresada en taludes y zonas desnudas de vegetación y de la contaminación atmosférica resultante de los residuos líquidos y sólidos producto de la erosión, vertimientos de las viviendas y en las necesidades recreativas de la población.

6.1 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS Y SISTEMAS DE DECISIÓN BAJO INCERTIDUMBRE

A partir de los resultados del mapa de riesgo, se consideró prioritario atender cinco sectores, ubicados a lo largo de las laderas del área de estudio. El primero abarca el costado nororiental del barrio, donde se ha dispuesto una zona de rellenos de escombros, sobre la margen izquierda de la quebrada Triángulo, sector que se halla expuesto por amenaza de deslizamientos especialmente en periodos lluviosos. Éste en adelante se denominará Sector I, se propone la reconformación general del terreno, mediante la remoción o retiro de los escombros, complementado con la puesta en marcha de un sistema de drenaje superficial.

El segundo, localizado hacia el extremo norte de las viviendas 1 a 4 (Sector II), es un deslizamiento traslacional, antiguo, estabilizado, en este sector se propone como alternativas de mitigación, las siguientes:

- Construcción de obras de contención en muro de gaviones y sistemas de drenaje subsuperficial.
- Construcción de obras de contención como pilotes estabilizadores y sistemas de drenaje subsuperficial.

- Construcción de sistemas de drenaje subsuperficial y reubicación de las viviendas en alto riesgo.

El tercer sector corresponde a la parte central de la ladera (Sector III), donde alrededor de diez viviendas y dos lotes sin construcción (10, 21), prefabricadas, de madera y estructurales se hallan amenazadas por un deslizamiento traslacional, que afecto la carretera oriente y sobre el cual se construyeron dos muros de contención; uno en la pata y otro en la corona, este ultimo con el objeto de habilitar la carretera oriente, en este sector se define como alternativas de medidas de control, las siguientes:

- Construcción de obras de contención en muro de gaviones y sistemas de drenaje subsuperficial.
- Construcción de obras de contención como pilotes estabilizadores y sistemas de drenaje subsuperficial.
- Construcción de sistemas de drenaje subsuperficial y reubicación de las viviendas en alto riesgo.

El cuarto sector corresponde a la parte posterior de las viviendas 22 a 28 (Sector IV); viviendas que se hallan amenazadas por deslizamientos traslacionales y flujos de suelos, parcialmente superficiales, inactivos y superficiales, cuya reactivación podría tener lugar en periodos lluviosos; en este sector se proponen alternativas de mitigación, las que se enumeran a continuación:

- Construcción de obras de contención en muro de gaviones y sistemas de drenaje subsuperficial.
- Construcción de obras de contención como pilotes estabilizadores y sistemas de drenaje subsuperficial.
- Construcción de sistemas de drenaje subsuperficial y reubicación de las viviendas en alto riesgo.

El quinto sector corresponde al extremo norte del área de estudio (Sector V), parte posterior de las viviendas 29 a 42, donde se aprecian procesos incipientes de remoción en masa, en esta ladera se propone como alternativa de mitigación, la construcción de drenajes y subdrenajes y perfilado de la ladera.

En la **Figura 6.1**, se aprecia las alternativas de mitigación del área de estudio.

PILOTES ESTABILIZADORES: Las estructuras enterradas como pilotes, son elementos capaces de resistir los esfuerzos a flexión generados por el movimiento de los rellenos. Se colocan dentro del suelo débil atravesando la posible superficie de falla y trabajando a flexión empotrados dentro del estrato resistente, la arcillolita. Esta estabilización del suelo se puede lograr mediante la hinca de pilotes de acero, en tubería con diámetros mínimos de 3½" y calibre 40. Con una longitud mínima de 5 metro, superando el espesor de suelos blandos y sueltos. Los rieles no podrán utilizarse para la estabilización ya que hincarlos, una profundidad confiable dentro de la arcillolita es imposible. Por esto, se prefiere la tubería, la cual permite su hincado y lavado de los materiales en su interior, y cuando se este en la roca permite utilizar en su interior un equipo de rotación con tricono para lograr profundizarlo entre la roca.

Los pilotes típicamente son sistemas de estabilización pasiva (no introducen cargas externas al talud) utilizados con cierta frecuencia para estabilizar deslizamientos activos o potenciales, aprovechando que son construidos con un mínimo de excavación, por lo tanto sin afectar negativamente la estabilidad durante la fase de ejecución; permiten interceptar superficies de deslizamientos profundos, inalcanzables con muros convencionales, en la mayoría de los casos no requieren rellenos posteriores en los trasdós de la pantalla.

Deben hincarse como mínimas dos hileras de pilotes, con una separación máxima entre ellas y entre ejes de pilotes de 1 metro. Trabajando fundamentalmente una hilera a compresión y la otra a tracción, resistiendo los momentos flectores a los que van a ser sometidas.

Para evitar que el suelo fluya entre los pilotes, se colocan en los primeros metros y en el espacio que queda entre los pilotes, traviesas, durmientes de ferrocarril o diversos materiales bien acomodados. El espaciamiento dado entre pilotes permite además que se utilice el efecto de arco, conteniendo parte del suelo deformado plásticamente.

La cabeza de los pilotes debe unirse con una estructura flexible como alambrón permitiendo que ocurran deformaciones en la parte superior del terraplén. El uso de estructuras rígidas como vigas de concreto debe evitarse, ya que las observaciones encontradas en la estabilización de deslizamientos muestran vigas fracturadas por las deformaciones a las que son sometidas. Es de precisar que este tipo de estabilización es una medida de control que disminuye apreciablemente los fallos en el terraplén, pero que no los elimina en su totalidad **(Figura 6.2).**

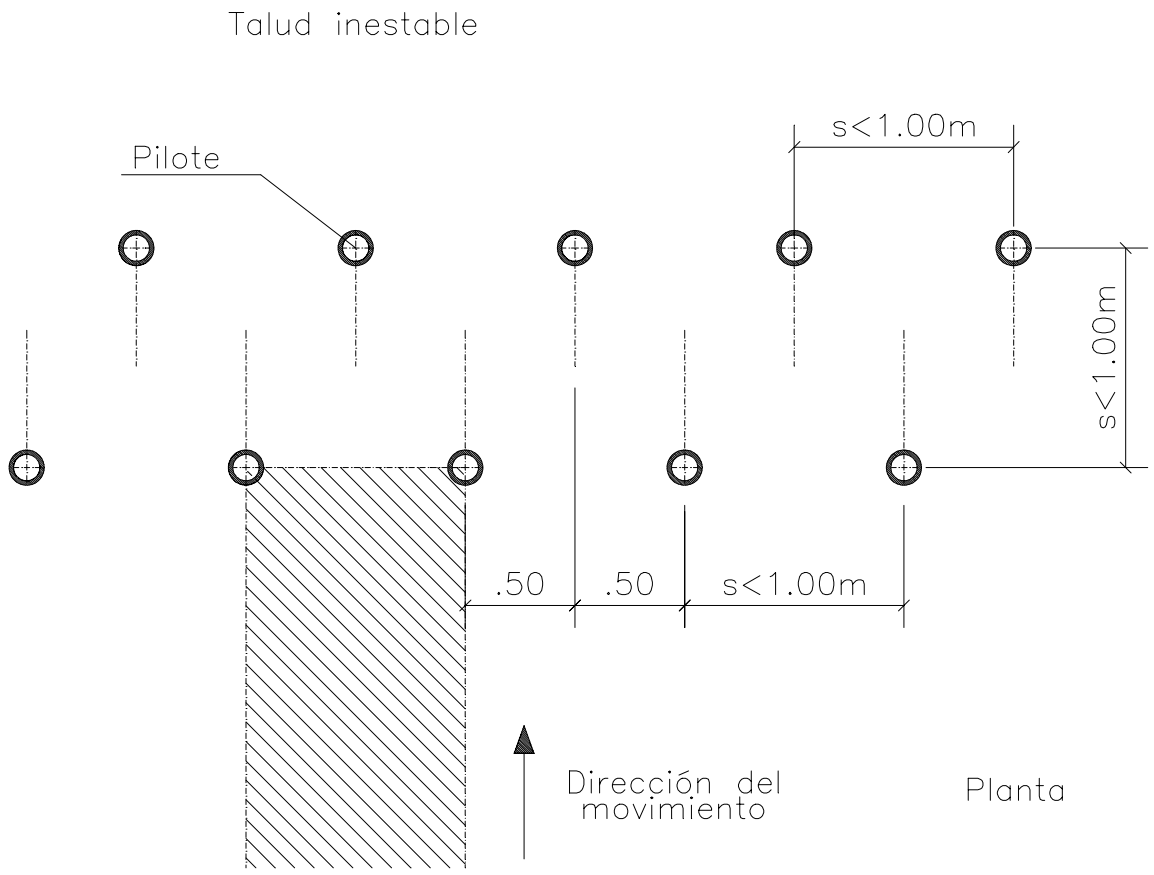


Figura 6.2. Distribución en planta de los pilotes estabilizadores

Las separaciones c/c entre pilotes requeridos para generar el efecto arco depende de las características físico-mecánicas de los materiales a contener, típicamente se usan separaciones c/c entre 2 y 4 diámetros; para este caso en particular, se tomo un diámetro de pilotes de 10" y una separación entre pilotes de un (1) metro, equivalente a 4 veces el diámetro de los pilotes.

La profundidad de los pilotes debe sobrepasar la superficie de falla crítica; en este caso, para el Sector II la profundidad mínima de los pilotes es de 5 metros teniendo en cuenta que el espesor de suelo probablemente inestable es de 3 metros, se considera conveniente profundizar 2 metros en la arcillolita

con el fin de resistir la fuerza de empuje del suelo sobre la porción inferior de pilote bajo la superficie critica de deslizamiento.

En el Sector III, el material inestable se encuentra a una profundidad promedio de 6.30 metros, la profundidad total de los pilotes se estimo en 9 metros; mientras para el Sector IV, la profundidad de los pilotes se considero que va de 6 a 8 metros, teniendo en cuenta que el espesor de la masa inestable se encuentra entre 4 y 5.50 metros en el sitio de ubicación de los pilotes. Los empujes sobre los pilotes y su estabilidad se calcularon con el programa PCSTABL5, tomando como parámetros de diseño los siguientes:

- Coeficiente horizontal de Sismo = 0.15
- Parcialmente saturado
- Relleno c´ = 1,7 kPa
  ϕ´ = 23.7°
- Pilotes c´ = 500 kPa
  ϕ´ = 50°. **(Anexo 6E, Memoria de análisis de estabilidad de pilotes).**

GAVIONES: Los gaviones son prismas con forma rectangular que consisten en un relleno granular constituido por fragmentos de roca no degradable, retenido por una malla de alambre metálico. Los muros de gaviones trabajan fundamentalmente por gravedad. Las principales ventajas son las siguientes:

- Instalación rápida y sencilla.
- Son estructuras flexibles que admiten asientos diferenciales del terreno importantes y no tienen ningún problema de drenaje dado que son muy permeables.

Su facilidad de montaje permite colocar una nueva fila de gaviones para reforzar un muro en el que se aprecian signos de inestabilidad.

Los empujes sobre el muro y su estabilidad al vuelco y deslizamiento se calculan de igual forma que en un muro de gravedad **(Tabla 6.1 y Anexo 6C, Memoria de análisis de estabilidad de muro en gaviones).**

Tabla 6.1. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD PARA MUROS EN GAVIONES-INCLINACION 5°

Sección	Tipo	Altura (m)	FSd	FSv	Presión Fundación		Estabilidad Global
					Izq (Tonf/m^2)	Der (Tonf/m^2)	
B-B	I	3	2.14	2.23	8.22	2.81	1.36
C-C	I	3	1.61	1.97	13.52	0,3	1.18
D-D	III	5	1.54	2.1	21.64	0,45	1.16
E-E	II	4	1.52	2.12	16.64	1.21	1.14
F-F	III	5	1.5	2.1	21.26	0,8	1.16
G-G	II	4	1.46	2.1	15.39	1.42	1.18

Coeficiente horizontal de Sismo = 0.15
Parcialmente saturado
Relleno c´ = 1,7 kPa
ϕ´ = 23.7°
Gavión c´ = 100 kPa
ϕ´ = 40°

6.2 EVALUACIÓN DE AMENAZA FUTURA

Las condiciones de amenaza actual, oscilantes entre media y alta, dimensionadas por la diversidad de los procesos, son el reflejo del poder destructivo del hombre, coadyudado por las particulares condiciones estratigráficas del sector, con dominio de materiales arcillosos altamente susceptibles a fenómenos de inestabilidad y erosión. El irregular manejo urbanístico, expresado en la ausencia de sistemas controlados de transporte de agua, y el uso de áreas de tangible restricción (dada su condición de peligro) son algunas de las componentes de la acción del hombre que repercuten ampliamente en la inestabilidad del área.

El especial matiz de la amenaza actual y el particular panorama de los elementos en riesgo, de baja resistencia, dispuestos sobre las áreas de influencia directa o indirecta de los procesos de inestabilidad hacen del tratamiento de los sectores un marco de compleja solución. Por una parte las obras tendientes a la reducción del grado de amenaza deben ser de fácil maniobrabilidad y construcción, sin requerir espacios amplios para su ejecución y por otro lado, confrontar la exposición lo que direcciona irreparablemente a la reubicación.

La valoración de las medidas de mitigación contempló así, determinar su capacidad reductora de probabilidad de falla de las laderas. El desarrollo de este tema involucró asumir válidas las variables aleatorias c´ y ϕ´, la aceleración sísmica (a) y los modos de falla estudiados en el capítulo 5. Por lo tanto la estimación de la probabilidad de falla se redujo a la determinación del factor de seguridad de cada sección de análisis con la incorporación de la medida correctiva para los parámetros de resistencia y las variables ambientales (lluvia y sismo) promedio **(Tabla 6.2 y 6.3)**; y a partir de éste pero con base en las curvas de probabilidad general, **Figura 4.1**, obtener la probabilidad de ocurrencia (o nivel de amenaza).

- El sector I, se caracterizó con la ayuda de la sección A-A, mediante la implementación de remoción y descapote del material de relleno, el cual incrementa el factor de seguridad de 1.03 a 2.05 lo que resulta en una probabilidad de falla baja de 0.0067. El análisis de estabilidad con las nuevas condiciones (sismo de 0.25, parcialmente saturado, c´=4 kPa y ϕ´=30°), generalizado y en detalle, se muestra en la **Figura 6.3**. De esta manera, se propone reconformar el terreno mediante la remoción de materiales, disminución de la pendiente actual y construcción de obras de drenaje.

- El sector II, interpretado por la sección B-B, muestra la influencia del agua en la inestabilidad del material de relleno, por ello la solución planteada se enfoca a la evacuación de la misma mediante un sistema de drenaje, subdrenaje y reubicación muestra factores de seguridad a condición promedio (sismo de 0.25, parcialmente saturado, c´= 1.7 kPa y ϕ´=23.75°) entre 0.94 y 1, con probabilidades de falla de 0.56 a 0.62 (combinando sismo, lluvia, c´ y ϕ´ máximos y mínimos) **(Anexo 6D, Memorias de análisis de estabilidad de los taludes con obras de mitigación).**

Para la alternativa construcción de obras de contención muros en gaviones con sistema de drenaje, subdrenaje, se obtuvieron factores de seguridad a condición promedio de 1.41, la probabilidad de falla esperada, una vez construidas las obras es de 0.15; sin embargo, el análisis geotécnico durante la construcción de las obras en especial para la excavación de la zanja con un talud 1H:2V, muestra un factor de seguridad a condición promedio de 0.94. La efectividad de las obras se refleja en el incremento de los factores de seguridad de 0.94 a 1.41 y por ende, la reducción de la probabilidad de falla de 0.64 a 0.15 (**Figuras 6.4, 6.5 y Anexo 6C, Memorias de análisis de estabilidad de muros de gaviones).**

Por ultimo en el análisis de la alternativa construcción de obras de contención pilotes estabilizadores con sistema de drenaje, subdrenaje, muestra factores de seguridad a condición promedio de 2.33 y

TABLA 6.2

CUADRO RESUMEN DE LAS SECCIONES DE ANALISIS - EVALUACION DE LA AMENAZA CON OBRAS DE CONTENCION (MUROS EN GAVIONES) Y DRENAJE

Sección	Ladera	Unidad Geomorf.	Material	c´ (Ton/m²)		ϕ´ (°)		Mecanismo de falla		Espesor de material fallado (m)	Angulo del plano de falla (°)	F. S. Cond. promedio
				Promedio	Desv. Estand.	Promedio	Desv. Estand.	Potencial	Presente			
A -A´	AA1	LAN	Zr	0.40	0.09	30.00	7.20	Rotacional		3.3	45.0	2.05
B - B´	BB2	LAN	Qc1	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	1.2	33.0	1.41
D - D´	DD3	LC1	Qc1	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	4.2	23.0	2.06
F - F´	FF1	LSF	Qft	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	2.3	40.0	2.15
H - H´	HH2	LC2	Qc1	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	3.5	24.0	1.29

D:\Consultoria\San Cristobal\informes\Cap5\tablas\Tabla 4.1.xls

CUADRO RESUMEN DE LAS SECCIONES DE ANALISIS - EVALUACION DE LA AMENAZA CON OBRAS DE CONTENCION (PILOTES ESTABILIZADORES) Y DRENAJE

Sección	Ladera	Unidad Geomorf.	Material	c´ (Ton/m²)		ϕ´ (°)		Mecanismo de falla		Espesor de material	Angulo del plano de falla	F. S. Cond. promedio
				Promedio	Desv. Estand.	Promedio	Desv. Estand.	Potencial	Presente			
B - B´	BB2	LAN	Qc1	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	1.2	33.0	2.33
D - D´	DD3	LC1	Qc1	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	4.2	23.0	1.67
F - F´	FF1	LSF	Qft	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	2.3	40.0	1.69

D:\Consultoria\San Cristobal\informes\Cap5\tablas\Tabla 4.1.xls

CUADRO RESUMEN DE LAS SECCIONES DE ANALISIS - EVALUACION DE LA AMENAZA CON OBRAS DE DRENAJE Y REUBICACION

Sección	Ladera	Unidad Geomorf.	Material	c´ (Ton/m²)		ϕ´ (°)		Mecanismo de falla		Espesor de material fallado (m)	Angulo del plano de falla (°)	F. S. Cond. promedio
				Promedio	Desv. Estand.	Promedio	Desv. Estand.	Potencial	Presente			
	BB1	LAN	Qc1	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	3.8	27.0	0.96
B - B´	BB2	LAN	Qc1	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	1.2	33.0	0.94
	BB3	LAN	Qc1	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	5.2	29.0	1.00
C - C´	CC1	LC1	Qc1	0.17	0.09	23.75	7.35		Planar	2.4	22.0	1.02
	CC2	LC1	Qc1	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	1.8	28.0	1.03
	DD1	LC1	Qc1	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	2.6	26.0	1.27
D - D´	DD2	LC1	Qc1	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	4.0	23.0	1.24
	DD3	LC1	Qc1	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	4.2	23.0	1.28
E -E´	EE1	LSF	Qc1	0.17	0.09	23.75	7.35		Planar	2.5	24.0	1.46
	EE2	LSF	Qc1	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	2.7	51.0	1.07
F - F´	FF1	LSF	Qft	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	2.3	40.0	1.10
G - G´	GG1	LC2	Qc1	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	4.0	27.0	1.05
H - H´	HH1	LC2	Qc1	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	1.0	43.0	0.93
	HH2	LC2	Qc1	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	3.5	24.0	1.16

D:\Consultoria\San Cristobal\informes\Cap5\tablas\Tabla 4.1.xls

CUADRO RESUMEN DE LAS SECCIONES DE ANALISIS - EVALUACION DE LA AMENAZA PARA LA EXCAVACION ZANJA ABIERTA

Sección	Ladera	Unidad Geomorf.	Material	c´ (Ton/m²)		ϕ´ (°)		Mecanismo de falla		Espesor de material fallado (m)	Angulo del plano de falla (°)	F. S. Cond. promedio
				Promedio	Desv. Estand.	Promedio	Desv. Estand.	Potencial	Presente			
B - B´	BB2	LAN	Qc1	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	1.2	33.0	0.94
C-C´	CC2	LC1	Qc1	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	1.8	28.0	1.08
D - D´	DD2	LC1	Qc1	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	4.0	23.0	0.33
E -E´	EE1	LSF	Qc1	0.17	0.09	23.75	7.35		Planar	2.5	24.0	0.54
F - F´	FF1	LSF	Qft	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	2.3	40.0	0.48
G - G´	GG1	LC2	Qc1	0.17	0.09	23.75	7.35		Rotacional	4.0	27.0	0.52

D:\Consultoria\San Cristobal\informes\Cap5\tablas\Tabla 4.1.xls

TABLA 6.3
RESUMEN DE PROBABILIDAD DE FALLA PARA DIFERENTES TALUDES CON OBRAS

VARIABLES DE ANALISIS				SECCIÓN DE ANÁLISIS / UNIDAD GEOMORFOLÓGICA																											
				MURO DE GAVIONES Y DRENAJE					PILOTES Y DRENAJE			OBRAS DE DRENAJE Y REUBICACION														EXCAVACION ZANJA ABIERTA					
Fricción	Cohesion (T/m^2)	Lluvia	Sismo	A-A1	B-B2	D-D3	F-F1	H-H1	B-B2	D-D3	F-F1	B-B1	B-B2	B-B3	C-C1	C-C2	D-D1	D-D2	D-D3	E-E1	E-E2	F-F1	G-G1	H-H1	H-H2	B-B2	C-C2	D-D3	E-E1	F-F2	G-G1
				LAN	LAN	LC1	LSF	LC2	LAN	LC1	LSF	LAN	LAN	LAN	LC1	LC1	LC1	LC1	LC1	LSF	LSF	LSF	LC2	LC2	LC2	LAN	LC1	LC1	LSF	LSF	LC2
				F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Sin	2.27	1.98	2.37	2.22	1.81	2.60	2.07	1.78	1.32	1.33	1.37	1.99	1.71	1.77	1.73	1.77	2.07	1.24	1.41	1.43	1.32	1.61	1.34	1.58	0.71	0.85	0.68	0.74
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Sin	1.89	1.20	1.76	1.95	1.10	2.13	1.30	1.62	0.74	0.82	0.75	1.27	0.94	1.02	0.94	0.98	1.32	0.82	0.92	0.81	0.84	0.93	0.93	1.32	0.41	0.55	0.41	0.46
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Sin	2.05	1.67	2.32	2.22	1.52	2.53	2.00	1.75	1.20	1.10	1.28	1.79	1.57	1.55	1.55	1.64	1.65	1.21	1.31	1.33	0.96	1.40	0.89	0.90	0.51	0.68	0.53	0.56
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Sin	1.53	0.89	1.68	1.83	0.81	1.96	1.19	1.52	0.62	0.59	0.65	1.06	0.80	0.81	0.80	0.84	0.90	0.70	0.71	0.68	0.55	0.73	0.56	0.60	0.30	0.37	0.29	0.33
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Con	1.26	1.15	1.37	1.53	1.07	1.76	1.15	1.29	0.80	1.01	0.82	1.10	1.03	1.03	0.99	0.99	1.19	0.86	0.93	0.90	0.88	0.79	0.90	1.16	0.46	0.61	0.49	0.51
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Con	1.05	0.70	0.98	1.46	0.65	1.62	0.70	1.20	0.46	0.63	0.45	0.71	0.57	0.59	0.54	0.54	0.77	0.55	0.58	0.51	0.54	0.60	0.62	0.99	0.28	0.41	0.31	0.33
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Con	1.19	0.95	1.34	1.52	0.89	1.72	1.11	1.26	0.72	0.82	0.75	0.98	0.94	0.89	0.88	0.91	0.94	0.84	0.82	0.82	0.63	0.85	0.61	0.64	0.32	0.47	0.37	0.37
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Con	0.86	0.51	0.94	1.38	0.48	1.44	0.64	1.14	0.38	0.44	0.38	0.58	0.48	0.47	0.46	0.47	0.52	0.49	0.44	0.42	0.37	0.45	0.37	0.43	0.20	0.27	0.21	0.22
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Sin	2.08	1.81	2.17	2.07	1.64	2.51	1.99	1.70	1.19	1.24	1.23	1.29	1.55	1.60	1.55	1.59	1.90	1.22	1.32	1.32	1.18	1.49	1.21	1.41	0.58	0.74	0.59	0.63
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Sin	1.74	1.12	1.64	1.89	1.00	2.08	1.20	1.56	0.67	0.78	0.67	0.77	0.91	0.93	0.86	0.86	1.23	0.81	0.85	0.74	0.76	0.87	0.86	1.23	0.36	0.49	0.37	0.41
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Sin	1.88	1.50	2.12	2.06	1.36	2.44	1.83	1.66	1.06	1.02	1.13	1.09	1.28	1.38	1.55	1.46	1.48	1.20	1.18	1.19	0.82	1.27	0.76	0.76	0.39	0.57	0.44	0.42
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Sin	1.39	0.80	1.56	1.78	0.73	1.91	1.10	1.47	0.55	0.55	0.57	0.58	0.69	0.73	0.72	0.75	0.82	0.68	0.64	0.61	0.49	0.67	0.50	0.52	0.24	0.32	0.25	0.27
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Con	1.16	1.04	1.25	1.42	0.96	1.70	1.05	1.21	0.72	0.94	0.72	0.78	0.91	0.92	0.88	0.88	1.09	0.80	0.84	0.82	0.78	0.90	0.80	1.03	0.37	0.53	0.42	0.42
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Con	0.96	0.65	0.91	1.40	0.60	1.57	0.64	1.13	0.41	0.59	0.40	0.47	0.54	0.54	0.48	0.48	0.72	0.54	0.53	0.47	0.49	0.55	0.57	0.92	0.24	0.37	0.27	0.29
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Con	1.08	0.84	1.22	1.41	0.79	1.66	1.02	1.19	0.63	0.76	0.65	0.64	0.76	0.78	0.78	0.80	0.83	0.78	0.73	0.72	0.53	0.74	0.51	0.52	0.21	0.39	0.30	0.25
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Con	0.77	0.46	0.87	1.33	0.43	1.39	0.58	1.09	0.33	0.41	0.33	0.34	0.41	0.42	0.41	0.41	0.46	0.46	0.39	0.38	0.32	0.40	0.32	0.37	0.14	0.22	0.18	0.18
				A-A1	B-B2	D-D3	F-F1	H-H1	B-B2	D-D3	F-F1	B-B1	B-B2	B-B3	C-C1	C-C2	D-D1	D-D2	D-D3	E-E1	E-E2	F-F1	G-G1	H-H1	H-H2	B-B2	C-C2	D-D3	E-E1	F-F2	G-G1
Probabilidad de falla actual Método PEM :				0.0067	0.15	0.00	0.00	0.24	0.00	0.06	0.00	0.61	0.61	0.56	0.11	0.31	0.26	0.30	0.25	0.13	0.45	0.35	0.45	0.67	0.238	0.66	0.47	0.99	0.96	0.98	0.98
Probabilidad de falla a 10 años Método PEM :				0.01	0.21	0.01	0.00	0.30	0.00	0.06	0.00	0.68	0.66	0.63	0.40	0.46	0.33	0.36	0.33	0.17	0.58	0.51	0.56	0.75	0.43	0.72	0.54	0.99	0.98	0.99	0.99

D:\Consultoria\san Cristobal\Cap6\tablas\Tabla 6.2.xls

probabilidad de falla de 0.0003 (**Figura 6.6 y Anexo 6E, Memorias de análisis de estabilidad de Pilotes).**

- Para el sector III, se hizo el análisis de las secciones C-C y D-D, en la que se identificó la participación del agua en la estabilidad, por lo cual la medida analizada es similar a la del sector precedente: sistema de drenaje, subdrenaje y reubicación; obras de contención muros de gaviones y sistema de drenaje, subdrenaje; y obras de contención con pilotes estabilizadores y sistema de drenaje, subdrenaje. En este caso las probabilidades de falla asociadas a la ladera para la alternativa de construcción de sistemas de drenaje, subdrenaje y reubicación son de 0.30 a 0.31 (combinando sismo, lluvia, c´ y ϕ´ máximos y mínimos) y factores de seguridad a condición promedio (sismo de 0.25, parcialmente saturado, c´= 1.7 kPa y ϕ´=23.75°) de 1.02 a 1.28;

Para la alternativa construcción de obras de contención muros en gaviones con sistema de drenaje, subdrenaje, se obtuvieron factores de seguridad a condición promedio de 2.06 y la probabilidad de falla esperada, una vez construidas las obras es de 0.005, el análisis geotécnico durante la construcción de las obras en especial para la excavación de la zanja con un talud 1H:2V, se obtuvo factores de seguridad de 0.33 (condición promedio), condición imposible de sostenerse en especial cuando el material se encuentre saturado. El valor final, dependerá entonces, de la efectividad del sistema (**Figuras 6.5, 6.7 y 6.8).**

Para el análisis de la alternativa construcción de obras de contención pilotes estabilizadores con sistema de drenaje, subdrenaje, muestra factores de seguridad a condición promedio de 1.67 y probabilidad de falla de 0.056 (**Figura 6.9).**

- Para el sector IV, se usaron las secciones E-E, F-F y G-G, en la que se identificó la fuerte pendiente y el agua en la estabilidad, la medida de mitigación considerada es similar a la de los sectores II y III: sistema de drenaje, subdrenaje y reubicación; obras de contención muros de gaviones y sistema de drenaje, subdrenaje; y obras de contención con pilotes estabilizadores y sistema de drenaje, subdrenaje. Este sector, muestra valores de probabilidad de falla de la ladera una vez construida la alternativa sistemas de drenaje, subdrenaje y reubicación de 0.45 a 0.13 (combinando sismo, lluvia, c´ y ϕ´ máximos y mínimos), siendo necesario además de las obras de drenaje realizar un peinado y reconformación de la ladera, los factores de seguridad a condición promedio (sismo de 0.25, parcialmente saturado, c´= 1.7 kPa y ϕ´=23.75°) muestran valores de 1.07 a 1.1;

Para la alternativa construcción de obras de contención muros en gaviones con sistema de drenaje, subdrenaje, se obtuvieron factores de seguridad a condición promedio de 2.15 y la probabilidad de falla esperada, una vez construidas las obras es de 0.001, el análisis geotécnico durante la construcción de las obras y durante la excavación de la zanja con talud 1H:2V, se obtuvo factores de seguridad a condición promedio de 0.48 a 0.54 (**Figuras 6.5, 6.10 a 6.12).**

Para el análisis de la alternativa construcción de obras de contención pilotes estabilizadores con sistema de drenaje, subdrenaje, muestra factores de seguridad a condición promedio de 2.2 y probabilidad de falla de 0.001 (**Figura 6.13).**

- En el sector V, no se identificaron procesos de remoción en masa, las viviendas no presentan daños en su estructura, sin embargo, como medidas de prevención se propone la construcción de drenajes y subdrenajes (**Figura 6.14)**.

La **Tabla 6.4,** condensa los resultados del análisis de amenaza futura por sectores de estudio donde se

TABLA 6.4

RESULTADOS DE PROBABILIDAD DE FALLA CON LAS ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN

SECTOR	LADERA	MECANISMO DE FALLA	PARAMETROS DE RESISTENCIA		SOLUCION PROPUESTA	SIN OBRAS		CON OBRAS	
			C' (Ton/m2)	Φ' (º)		F.S	Pf	F.S	Pf
I	AA1	Rotacional	0.4	30	Remoción y perfilado del talud	1.03	0.35	2.05	0.0067
2	BB2	Rotacional	0.17	23.7	Gaviones	0.94	0.64	1.41	0.15
					Pilotes estabilizadores	0.94	0.64	2.33	0.0003
					Drenaje y reubicación	0.94	0.64	0.96	0.61
3	CC2	Rotacional	0.17	23.7	Gaviones	1.03	0.35	2.06	0.005
					Pilotes estabilizadores	1.03	0.35	2.1	0.009
					Drenaje y reubicación	1.03	0.35	1.17	0.31
	DD2	Rotacional	0.17	23.7	Gaviones	1.22	0.37	2.06	0.005
					Pilotes estabilizadores	1.22	0.37	2.1	0.009
					Drenaje y reubicación	1.22	0.37	1.24	0.3
4	EE2	Rotacional	0.17	23.7	Gaviones	1	0.5	2.15	0.001
					Pilotes estabilizadores	1	0.5	2.2	0.001
					Drenaje y reubicación	1	0.5	1.07	0.45
	FF1	Rotacional	0.17	23.7	Gaviones	1	0.5	2.15	0.001
					Pilotes estabilizadores	1	0.5	2.2	0.001
					Drenaje y reubicación	1	0.5	1.1	0.35
	GG1	Rotacional	0.17	23.7	Gaviones	1.05	0.33	2.15	0.001
					Pilotes estabilizadores	1.05	0.33	2.2	0.001
					Drenaje y reubicación	1.05	0.33	1.1	0.45
5	HH2	Planar	0.17	23.7	Obras de drenaje	1.04	0.41	1.29	0.238

TABLA 6.5

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

CAPITULO	ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	RENDIM.	TARIFA - Vr. UNIT. - JORNAL	Vr. TOTAL
			PRELIMINARES				
1	1	**REPLANTEO**					
		Replanteo y Control Topográfico	Global	1		2800000	2800000
		TOTAL					**$ 2.800.000**
2	2	**EXCAVACION MANUAL EN SUELO**	m^3				
	2.1	Herramienta menor	Tarif./hora		1	12	12
	2.2	Transporte de material de excavación	Tarif./m^3	1		500	500
	2.3	Mano de obra - Cuadrilla A-A	Jornal		3	70367	23456
		TOTAL					**$ 23.968**
3	3	**CUNETA TRIANGULAR**	ml				
	3.1	Herramienta menor	Tarif./hora		1	12	12
	3.2	Excavación manual en suelo	m^3	0.30		32091	9627
	3.3	Concreto 2500 p.s.i.	m^2	0.10		208725	20873
	3.4	Malla tipo gallinero	m^2	1.50		1000	1500
	3.5	Mano de obra - Cuadrilla A-A	Jornal		20	70367	3518
		TOTAL					**$ 35.530**
4	4	**EXCAVACION MECANICA EN SUELO**	m^3				
	4.1	Excavación manual en material común	Tarif./hora		1	10000	10000
	4.2	Retroexcavadora	Tarif./hora		30	39200	1307
	4.3	Volqueta	Tarif./hora		4	8500	2125
	4.4	Transporte de material de excavación	Tarif./m^3-Km	1		500	500
	4.5	Mano de obra - Cuadrilla A-A	Jornal		20	70367	3518
		TOTAL					**$ 17.450**
5	5	**CUNETA-DREN TRAPEZOIDAL**	ml				
	5.1	Excavación manual en material común	m^3	0.92		23226	21279
	5.2	Material Filtrante (Gravas y arenas)	m^3	0.46		25000	11544
	5.3	Geotextil NT-2000	m^2	3		2500	7500
	5.4	Tubería ranurada ϕ = 6"	m	1		11870	11870
	5.5	Concreto 2500 p.s.i.	m^3	0.11		208725	22869
	5.6	Malla electrosoldada ϕ 4 mm c/ 25 cm c/sent.	m^2	1.05		4900	5145
	5.7	Mano de obra - Cuadrilla A-A	Jornal		5	70367	14073
		TOTAL					**$ 94.280**
6	6	**MURO EN GAVIONES**	m^2				
	6.1	Herramienta menor	Tarif./hora		1	12	12
	6.2	Piedra media zonga	m^3	1.10		23000	25300
	6.3	Malla triple torsión	m^3	1		25000	25000
	6.4	Mano de obra - Cuadrilla A-A	Jornal		3	70367	23456
		TOTAL					**$ 73.768**
7	7	**ARBORIZACIÓN**	Un				
	7.1	Arbol de 1.0 m de altura aprox.	Un	1		4000	4000
	7.2	Excavación manual	m^3	0.008		9000	72
	7.3	Mano de obra - Cuadrilla A-A	Jornal		30	70367	2346
		TOTAL					**$ 6.418**
8	8	**PILOTES**	ml				
	8.1	Tubería en acero de 3.5"	ml	1		30000	30000
	8.2	Concreto 2500 p.s.i.	m^3	0.0090		208725	1879
	8.3	Perforación por rotación con tricono	ml	1		70000	70000
	8.4	Mano de obra - Cuadrilla A-A	Jornal		20	70367	3518
		TOTAL					**$ 105.397**
9	9	**DESCOLE EN PIEDRA PEGADA**	ml				
	9.1	Mano de obra - Cuadrilla A-A	Jornal		3.5	70367	20105
	9.2	Piedra	m^3	0.3000		35000	10500
	9.3	Cemento	Bulto	1		15000	7500
	9.4	Arena	m^3	0.15		25000	3750
		TOTAL					**$ 41.855**
10	10	**EMPRADIZACION**	m^2				
	10.1	Empradizacion con cespedón	m^2	1		4000	4000
		TOTAL					**$ 4.000**
11	11	**SIEMBRA DE ARBOLES**	UNIDAD				
	11.1	Siembra de Arboles	Unidad	1		6418	6418
		TOTAL					**$ 6.418**

D:\Consultoria\San Cristobal\informe 5\Presupuesto.xls

TABLA 6.6
CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO APROXIMADO

SAN CRISTÓBAL SUR (SECTOR I)

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO ($)	VALOR PARCIAL ($)
Cuneta triangular	ml	50	35.530	1.776.500
Excavación mecánica en suelo	m^3	3500	17.450	61.075.000
Excavación manual en suelo	m^3	202	23.968	4.841.536
Cuneta-dren trapezoidal (h=2,0m)	ml	168.8	94.280	15.914.464
Descole en piedra pegada	ml	11	41.855	460.405
Arborización	unidad	450	6.418	2.888.100
Empradización	m^1	2000	4.000	8.000.000
Reubicacion de Viviendas	unidad	0	0	0
			SUBTOTAL ($)	**94.956.005**
			AIU (22 %)	**20.890.321**
			VALOR TOTAL ($)	**115.846.326**

BARRIO SAN CRISTÓBAL SUR (SECTOR II)

ALTERNATIVA DE OBRAS DE CONTENCIÓN EN MURO DE GAVIONES Y SISTEMAS DE DRENAJE SUBSUPERFICIAL

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO ($)	VALOR PARCIAL ($)
Excavación manual en suelo	m^3	420	23.968	10.066.560
Cuneta-dren trapezoidal (h=2,0m)	ml	34	94.280	3.205.520
Muro en Gaviones	m^3	162	73.768	11.950.416
Geotextil	m^2	130	3.200	416.000
Arborización	unidad	40	6.418	256.720
			SUBTOTAL ($)	**25.895.216**
			AIU (22 %)	**5.696.948**
			VALOR TOTAL ($)	**31.592.164**

ALTERNATIVA DE OBRAS DE CONTENCIÓN PILOTES ESTABILIZADORES Y SISTEMAS DE DRENAJE SUBSUPERFICIAL

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO ($)	VALOR PARCIAL ($)
Excavación manual en suelo	m^3	42	23.968	1.006.656
Cuneta-dren trapezoidal (h=2,0m)	ml	34	94.280	3.205.520
Arborización	unidad	40	6.418	256.720
Pilotes estabilizantes	ml	240	105.397	25.295.280
			SUBTOTAL ($)	**29.764.176**
			AIU (22 %)	**6.548.119**
			VALOR TOTAL ($)	**36.312.295**

ALTERNATIVA REUBICACIÓN DE LAS VIVIENDAS Y SISTEMAS DE DRENAJE SUBSUPERFICIAL

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO ($)	VALOR PARCIAL ($)
Excavación manual en suelo	m^3	42	23.968	1.006.656
Cuneta-dren trapezoidal (h=2,0m)	ml	34	94.280	3.205.520
Arborización	unidad	40	6.418	256.720
			SUBTOTAL ($)	**4.468.896**
			AIU (22 %)	**983.157**
Reubicacion de Viviendas	Unidad	1	12.000.000	**12.000.000**
Demolicion de viviendas	Unidad	1	800.000	**800.000**
			VALOR TOTAL ($)	**18.252.053**

BARRIO SAN CRISTÓBAL SUR (SECTOR III)

ALTERNATIVA DE OBRAS DE CONTENCIÓN EN MURO DE GAVIONES Y SISTEMAS DE DRENAJE SUBSUPERFICIAL

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO ($)	VALOR PARCIAL ($)
Excavación manual en suelo	m^3	1950	23.968	46.737.600
Cuneta-dren trapezoidal (h=2,0m)	ml	196	94.280	18.478.880
Muro en Gaviones	m^3	780	73.768	57.539.040
Geotextil	m^2	550	3.200	1.760.000
Descole en piedra pegada	ml	26	41.855	1.088.230
Alcantarillado	ml	220	160.000	35.200.000
Arborización	unidad	200	6.418	1.283.600
			SUBTOTAL ($)	**162.087.350**
			AIU (22 %)	**35.659.217**
			VALOR TOTAL ($)	**197.746.567**

TABLA 6.6 (Continuación)
CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO APROXIMADO

SAN CRISTÓBAL SUR (SECTOR III)

ALTERNATIVA DE OBRAS DE CONTENCIÓN PILOTES ESTABILIZADORES Y SISTEMAS DE DRENAJE SUBSUPERFICIAL

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO ($)	VALOR PARCIAL ($)
Excavación manual en suelo	m^3	240	23.968	5.752.320
Cuneta-dren trapezoidal (h=2,0m)	ml	196	94.280	18.478.880
Descole en piedra pegada	ml	26	41.855	1.088.230
Alcantarillado	ml	220	160.000	35.200.000
Arborización	unidad	200	6.418	1.283.600
Pilotes estabilizantes	ml	720	105.397	75.885.840
			SUBTOTAL ($)	**137.688.870**
			AIU (22 %)	**30.291.551**
			VALOR TOTAL ($)	**167.980.421**

ALTERNATIVA REUBICACIÓN DE LAS VIVIENDAS Y SISTEMAS DE DRENAJE SUBSUPERFICIAL

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO ($)	VALOR PARCIAL ($)
Excavación manual en suelo	m^3	240	23.968	5.752.320
Cuneta-dren trapezoidal (h=2,0m)	ml	196	94.280	18.478.880
Descole en piedra pegada	ml	26	41.855	1.088.230
Arborización	unidad	200	6.418	1.283.600
			SUBTOTAL ($)	**26.603.030**
			AIU (22 %)	**5.852.667**
Reubicacion de Viviendas	Unidad	8	12.000.000	**96.000.000**
Demolicion de Viviendas	Unidad	8	800.000	**6.400.000**
			VALOR TOTAL ($)	**134.855.697**

BARRIO SAN CRISTÓBAL SUR (SECTOR IV)

ALTERNATIVA DE OBRAS DE CONTENCIÓN EN MURO DE GAVIONES Y SISTEMAS DE DRENAJE SUBSUPERFICIAL

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO ($)	VALOR PARCIAL ($)
Excavación manual en suelo	m^3	350	23.968	8.388.800
Cuneta-dren trapezoidal (h=2,0m)	ml	78	94.280	7.353.840
Muro en Gaviones	m^3	800	73.768	59.014.400
Geotextil	m^2	410	3.200	1.312.000
Arborización	unidad	60	6.418	385.080
			SUBTOTAL ($)	**76.454.120**
			AIU (22 %)	**16.819.906**
			VALOR TOTAL ($)	**93.274.026**

ALTERNATIVA DE OBRAS DE CONTENCIÓN PILOTES ESTABILIZADORES Y SISTEMAS DE DRENAJE SUBSUPERFICIAL

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO ($)	VALOR PARCIAL ($)
Excavación manual en suelo	m^3	100	23.968	2.396.800
Cuneta-dren trapezoidal (h=2,0m)	ml	78	94.280	7.353.840
Arborización	unidad	60	6.418	385.080
Pilotes estabilizantes	ml	860	105.397	90.641.420
			SUBTOTAL ($)	**100.777.140**
			AIU (22 %)	**22.170.971**
			VALOR TOTAL ($)	**122.948.111**

ALTERNATIVA REUBICACIÓN DE LAS VIVIENDAS Y SISTEMAS DE DRENAJE SUBSUPERFICIAL

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO ($)	VALOR PARCIAL ($)
Excavación manual en suelo	m^3	100	23.968	2.396.800
Cuneta-dren trapezoidal (h=2,0m)	ml	78	94.280	7.353.840
Arborización	unidad	60	6.418	385.080
Reubicacion de Viviendas	Unidad	0	0	0
			SUBTOTAL ($)	**10.135.720**
			AIU (22 %)	**2.229.858**
			VALOR TOTAL ($)	**12.365.578**

BARRIO SAN CRISTÓBAL SUR (SECTOR V)

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO ($)	VALOR PARCIAL ($)
Cuneta-dren trapezoidal (h=2,0m)	ml	80	94.280	7.542.400
Excavación manual en suelo	m^3	100	23.968	2.396.800
Arborización	unidad	50	6.418	320.900
			SUBTOTAL ($)	**10.260.100**
			AIU (22 %)	**2.257.222**
			VALOR TOTAL ($)	**12.517.322**

incluyen los parámetros promedio, la solución propuesta y el mecanismo de falla para cada ladera y las **Tablas 6.5 y 6.6** presentan, los precios unitarios, las cantidades de obra y el presupuesto de las obras, discriminados por sector.

6.3 VULNERABILIDAD FUTURA

Si bien los escenarios antes y después de la ejecución de obras son diferentes, es decir, las zonas de exposición se modifican y dan lugar a un cambio en el índice de vulnerabilidad física, este cambio se considera significativo. Sin embargo, durante la toma de decisiones, se asumirá vigente el índice de vulnerabilidad física actual. En este orden de ideas, el lector deberá interpretar que el modelo espacial de comportamiento de los elementos expuestos, ante potenciales fenómenos de remoción en masa, no cambia.

6.4 MODELO DE DECISIÓN DE RIESGO

La implementación de un modelo de decisión probabilístico, permite al diseñador seleccionar entre múltiples alternativas de solución, sin caer en un marco subjetivo donde predominaría el juicio del experto. Dichos modelos están basados en un análisis comparativo entre los niveles de riesgo alcanzados por las medidas de mitigación (lo que se traduce en la comparación entre los costos esperados en pesos para ellas).

Uno de los procedimientos de análisis de decisión más claros y simples es el conocido como "Árbol de decisión hipotético". Con el fin de adelantar este tipo de análisis se adoptó como definición de riesgo la propuesta por Wu et al (1996), la cual estipula:

$$R = Pf * Cf$$

Donde:

R:	Riesgo asumido
Pf:	Amenaza o probabilidad de falla de un talud y,
Cf:	Consecuencia o costo de falla

Para el caso en estudio, la evaluación de probabilidad de falla, para cada tipo de fenómeno y solicitación, se encuentra compilado en el numeral 6.1. Por su parte, el costo de falla, en pesos, se consideró como:

$$Cf = I.V.F. * Co + I.V.F_A * Ci$$

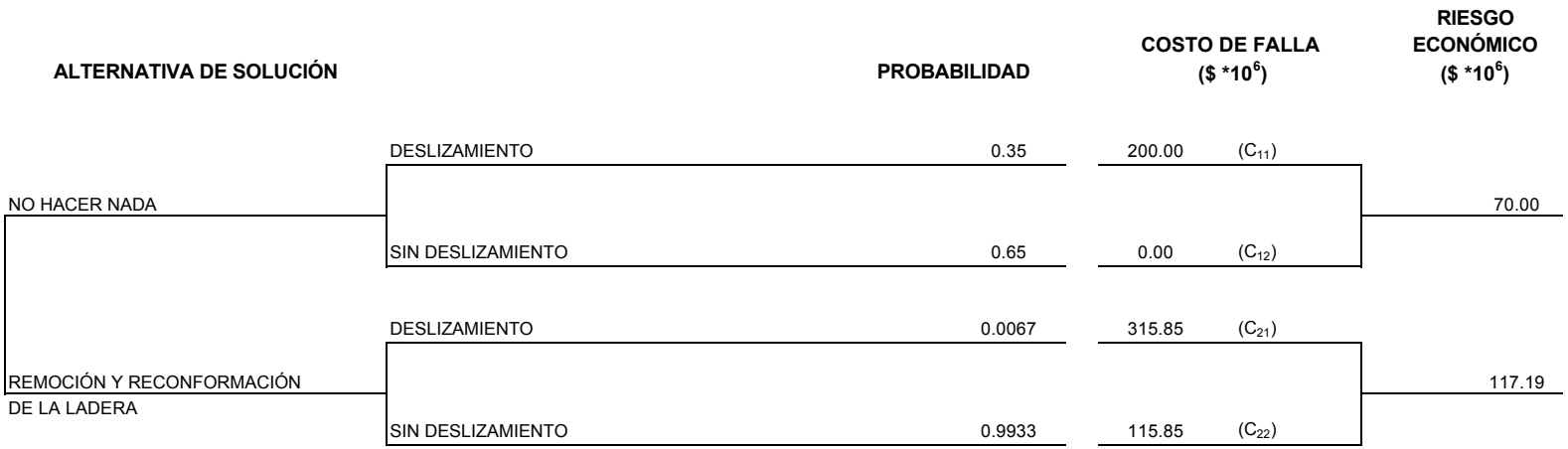
Donde:

I.V.F.:	Índice de vulnerabilidad física de la unidad expuesta
Co:	Valor inicial del elemento expuesto (en pesos)
$I.V.F._A$:	Índice de vulnerabilidad física de la alternativa
Ci:	Valor de inversión de la obra (en pesos)

El índice de vulnerabilidad física de la unidad expuesta para cualquier circunstancia y dado el papel a desempeñar de las estructuras, será equivalente a 0.5 (vulnerabilidad física de las obras). No se desprecia que la anterior condición puede resultar muy conservativa.

Las **Figuras 6.15** a **6.19** ilustran el riesgo económico asumido para las diferentes alternativas en los sectores analizados, en los que se consideró que el costo esperado en el caso de "No hacer nada" era

FIGURA 6.15
ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS - SECTOR I
LADERA DE ANÁLISIS A - A
(ADAPTADO DE WU et al, 1996)



DESCRIPCIÓN	VALOR PARCIAL ($)
Cuneta triangular	1.776.500
Excavación mecánica en suelo	61.075.000
Excavación manual en suelo	4.841.536
Descole en piedra pegada	460.405
Cuneta-dren trapezoidal (h=2,0m)	15.914.464
Arborización	2.888.100
Empradización	8.000.000

C_{11} = Costos estimados de daños carretera a oriente (200 millones)
C_{12} = Costos estimados de daños carretera a oriente (0 millones)
C_{21} = Costos estimados de daños carretera a oriente (200 millones) + Costos de remoción y reconformación de la ladera (115.85 millones)
C_{22} = Costos de remoción y reconformación de la ladera (115.85 millones)

FIGURA 6.16
ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS - SECTOR II
LADERA DE ANÁLISIS B - B
(ADAPTADO DE WU et al, 1996)

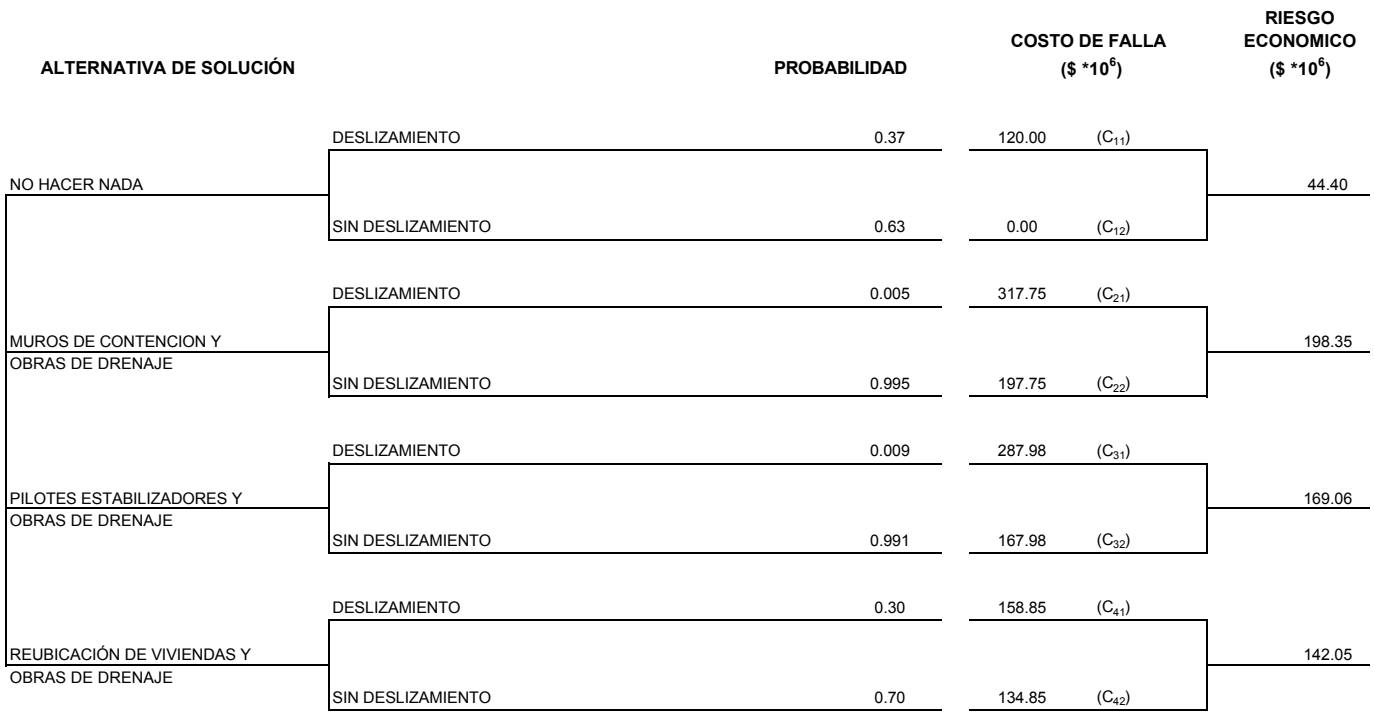


DESCRIPCIÓN	VALOR PARCIAL ($)
Excavación manual en suelo	10.066.560
Cuneta-dren trapezoidal (h=2,0m)	3.205.520
Muro en Gaviones	11.950.416
Geotextil	416.000
Arborización	256.720
Pilotes estabilizantes	25.295.280

Numero de viviendas	5
Valor promedio de las viviendas	12.000.000

C_{11} =	Costos estimados de daños de cinco viviendas a 12 millones c/u (60 millones)
C_{12} =	Costos estimados de daños de cinco viviendas a 12 millones c/u (0 millones)
C_{21} =	Costos estimados de daños de cinco viviendas a 12 millones c/u (60 millones) + Costos de construcción de muros en gaviones y obras de drenaje (31,59 millones)
C_{22} =	Costos de construcción de muros en gaviones y obras de drenaje (31,59 millones)
C_{31} =	Costos estimados de daños de cinco viviendas a 12 millones c/u (60 millones) + Costos de construcción de pilotes estabilizadoras y obras de drenaje (36,31 millones)
C_{32} =	Costos de construcción de pilotes estabilizadoras y obras de drenaje (36,31 millones)
C_{41} =	Costos estimados de reubicación de viviendas y obras de drenaje (18.25 millones) + Costos de daños de cuatro viviendas a 12 millones (48 millones)
C_{42} =	Costos estimados de reubicación de viviendas y obras de drenaje (18.25 millones)

FIGURA 6.17
ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS - SECTOR III
LADERA DE ANÁLISIS D - D
(ADAPTADO DE WU et al, 1996)



DESCRIPCION	VALOR PARCIAL ($)
Excavacion manual en suelo	46.737.600
Cuneta-dren trapezoidal (h=2,0m)	18.478.880
Muro en Gaviones	57.539.040
Geotextil	1.760.000
Descole	1.088.230
Alcantarillado	35.200.000
Arborizacion	1.283.600
Pilotes estabilizantes	75.885.840

Numero de viviendas	10
Valor promedio de las viviendas	12.000.000

C_{11} = Costos estimados de daños de diez viviendas a 12 millones c/u (120 millones)
C_{12} = Costos estimados de daños de cinco viviendas a 12 millones c/u (0 millones)
C_{21} = Costos estimados de daños de diez viviendas a 12 millones c/u (120 millones) + Costos de construcción de muros en gaviones y obras de drenaje (197.75 millones)
C_{22} = Costos de construcción de muros en gaviones y obras de drenaje (197.75 millones)
C_{31} = Costos estimados de daños de diez viviendas a 12 millones c/u (120 millones) + Costos de construcción de pilotes estabilizadoras y obras de drenaje (167.98 millones)
C_{32} = Costos de construcción de pilotes estabilizadoras y obras de drenaje (167.98 millones)
C_{41} = Costos estimados de reubicación de viviendas y obras de drenaje (134.85 millones) + Costos de daños de dos viviendas a 12 millones (24 millones)
C_{42} = Costos estimados de reubicación de viviendas y obras de drenaje (134.85 millones)

FIGURA 6.18
ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS - SECTOR IV
LADERA DE ANÁLISIS F - F
(ADAPTADO DE WU et al, 1996)

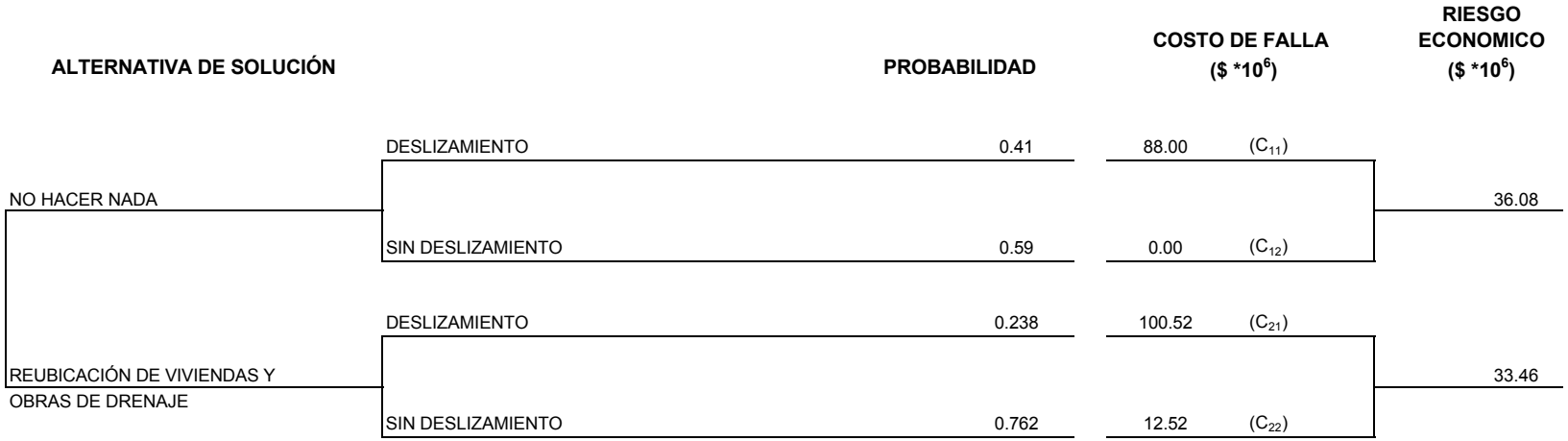


DESCRIPCION	VALOR PARCIAL ($)
Excavacion manual en suelo	8.388.800
Cuneta-dren trapezoidal (h=2,0m)	7.353.840
Muro en Gaviones	59.014.400
Geotextil	1.312.000
Arborizacion	385.080
Pilotes estabilizantes	90.641.420

Numero de viviendas	7
Valor promedio de las viviendas	22000000

C_{11} = Costos estimados de daños de siete viviendas a 22 millones c/u (154 millones)
C_{12} = Costos estimados de daños de siete viviendas a 22 millones c/u (0 millones)
C_{21} = Costos estimados de daños de siete viviendas a 22 millones c/u (154 millones) + Costos de construcción de muros en gaviones y obras de drenaje (93,27 millones)
C_{22} = Costos de construcción de muros en gaviones y obras de drenaje (93.27 millones)
C_{31} = Costos estimados de daños de siete viviendas a 22 millones c/u (154 millones) + Costos de construcción de pilotes estabilizadoras y obras de drenaje (122.95 millones)
C_{32} = Costos de construcción de pilotes estabilizadoras y obras de drenaje (122.95 millones)
C_{41} = Costos estimados de reubicación de viviendas y obras de drenaje (12.37 millones) + Costos de daños de siete viviendas a 22 millones (154 millones)
C_{42} = Costos estimados de reubicación de viviendas y obras de drenaje (12.37 millones)

FIGURA 6.19
ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS - SECTOR V
LADERA DE ANÁLISIS H-H
(ADAPTADO DE WU et al, 1996)



DESCRIPCION	VALOR PARCIAL ($)
Cuneta-dren trapezoidal (h=2,0m)	7.542.400
Excavacion mecanica en suelo	2.396.800
Arborizacion	320.900

Numero de viviendas	4
Valor promedio de las viviendas	22.000.000

C_{11} =	Costos estimados de daños de cuatro viviendas a 22 millones c/u (88 millones)
C_{12} =	Costos estimados de daños de cuatro viviendas a 22 millones c/u (0 millones)
C_{21} =	Costos estimados de reubicación de viviendas y obras de drenaje (12.52 millones) + Costos de daños de cuatro viviendas a 22 millones (88 millones)
C_{22} =	Costos estimados de reubicación de viviendas y obras de drenaje (12.52 millones)

equivalente al valor de daño de las viviendas en las manzanas afectadas más su valor de reubicación asumida como el promedio de las viviendas por el número de viviendas; para la "reubicación" se adoptó el valor promedio de viviendas por el número de viviendas. En el sector I, se analizaron las siguientes alternativas: no hacer nada, y la remoción y reconformación de la ladera con obras de drenaje; la alternativa mas económica es no hacer nada, sin embargo, considerando el riesgo y las perdidas que puede ocasionar al producir procesos de inestabilidad de la ladera, en especial sobre la carretera oriente y el impacto ambiental por la presencia del actual botadero de basuras; se propone para este caso, reconformar el terreno mediante la remoción de materiales, disminución de la pendiente actual y construcción de obras de drenaje **(Figura 6.15).**

En los sectores II y III, se analizaron las siguientes alternativas: No hacer nada; Construcción de obras de contención en muro de gaviones y sistemas de drenaje subsuperficial; Construcción de obras de contención como pilotes estabilizadores y sistemas de drenaje subsuperficial; y Construcción de sistemas de drenaje subsuperficial y reubicación de las viviendas en alto riesgo. la mejor alternativa consiste en no hacer nada. Esta medida posee como contrapeso la desatención social a la que somete a sus pobladores, pues puede repercutir en que no se ejecute plan alguno de recuperación e inhibir que una o todas las instituciones distritales considere poco viable ejecutar planes de inversión social. Por lo anterior se espera para cualquier componente móvil (personas, animales, etc) un alto costo de perdida esperada, por lo tanto toda medida tendiente a su protección esta plenamente justificada, razón que sopesa el rechazo a la propuesta de convivir con el problema.

Los riesgos asumidos de las obras civiles: muro de gaviones con obras de drenaje; pilotes estabilizadores con obras de drenaje y la implementación del sistema de drenaje, subdrenaje con reubicación de viviendas, aunque no son equiparables entre sí, evidencian en el caso de las dos primeras un patrón más permisivo para el deterioro físico, y una diferencia de inversión entre éstas y la construcción de obras de drenaje y reubicación de las viviendas en alto riesgo, si se tiene en cuenta la relación beneficio-costo. Se definirá la construcción de obras de drenaje, subdrenaje y reubicación de viviendas (para el caso del sector II, se considera necesario reubicar la vivienda 1 y en el sector III, las viviendas 10, 11, 12, 13, 16, 17, 18 y 21). Sin embargo, esta solución debe ser acompañada taxativamente de la restricción de los frentes de urbanismo allí

En el sector IV, se tuvieron en cuenta las siguientes alternativas: No hacer nada, Construcción de obras de contención en muro de gaviones y sistemas de drenaje subsuperficial; Construcción de obras de contención como pilotes estabilizadores y sistemas de drenaje subsuperficial; y Construcción de sistemas de drenaje subsuperficial y reubicación de las viviendas en alto riesgo. A pesar de no haber en este sector, viviendas en alto riesgo, se considero como mejor alternativa, reubicación de viviendas e implementación del sistema de drenaje y subdrenaje; lo anterior debido a que se aprecian laderas inestables con alto ángulo de inclinación que pueden afectar los patios de las viviendas, se considera necesario construir obras de drenaje y restringir la ampliación de las viviendas hacia la parte posterior, con el fin de evitar sobre presiones de los taludes y reactivación de los procesos de inestabilidad.

En el sector V, no se identificaron procesos de remoción en masa, las viviendas no presentan daños estructurales, pero teniendo en cuenta que el material de suelo reciente tiene un espesor que alcanza los 4 metros, se propuso como medida de prevención la construcción de drenajes y subdrenajes.

6.5 PLAN DE ACCIÓN RECOMENDADO

La atención del barrio, bajo un marco global, destinada a la reducción de los escenarios de riesgo, posee tres grandes componentes: el manejo del agua de escorrentía y la subsuperficial, las estructuras de

contención y la reubicación, integradas a cada sector de la siguiente manera **(Plano 10).**

- Sector I:
  - Remoción y descapote del material de relleno: la reconformación final del terreno se realizara con tres taludes con las siguientes pendientes: 18° y una longitud de 23.70 m (costado inferior de la ladera), 31° y 9.9 m de longitud (parte intermedia de la ladera) y 12° con 7.8 m de longitud (talud del costado superior de la ladera) **Figura 6.3**.

  - Drenaje y subdrenaje: Consta de cuneta-dren en espina de pescado posicionados longitudinalmente a la pendiente de la ladera y un par de cunetas-dren transversalmente que vierten a la Quebrada Triángulo. Los detalles se presentan en la **Figura 6.20 y Anexo 6F, Memorias de diseño de obras de drenaje**.

- Sector II:
  - Sistema de Drenaje y Sub-drenaje: Conformado por una cuneta-dren en trinchera que intercepta el agua desde la parte baja de la vivienda 10 y vierte a la cuneta-dren localizado en la parte occidental del sector I (cerca al S-2) y luego a la Quebrada Triángulo. Las secciones típicas se encuentran en la **Figuras 6.20, 6.21 y en el Anexo 6F, Memoria de diseño de obras de drenaje**.

  - Reubicación de Viviendas: Es necesario relocalizar la familia de la vivienda 1, debido a que esta vivienda presenta daños considerables de la estructura.

- Sector III:
  - Sistema de Drenaje y subdrenaje: Formado por un juego de subdrenes en forma de espina de pescado y descole en piedra pegada, que intercepta el agua de la carretera oriente mediante descole en piedra pegada en la parte inicial (vivienda 14 y lote 19), luego se vierte el agua a cunetas-dren y finalmente a la quebrada Triángulo. Detalles en la **Figuras 6.20, 6.21 y en el Anexo 6F, Memoria de diseño de obras de drenaje**.

  - Reubicación de Viviendas: En este sector se recomienda relocalizar las familias de las viviendas 10, 11, 12, 13, 16, 17, 18 y 21 **(Tabla 6.7)**.

- Sector IV:
  - Sistema de Drenaje y Sub-drenaje: Conformado por una red de cuneta-drenes en trinchera, en forma de espina de pescado que interceptan el agua de escorrentia de la parte posterior de las viviendas 22 a 28 y que vierten en la cuneta en concreto localizada a lo largo del muro de contención de la fabrica Gaitana. Las secciones típicas se aprecian en la **Figura 6.20**.

  - Reubicación de Viviendas: En el sector IV no se considera necesario relocalizar viviendas, sin embargo, se requiere restringir la ampliación de las viviendas existentes hacia la parte posterior (solares y patios), debido a que la parte posterior de dichas viviendas se encuentra en alto riesgo de procesos de remoción en masa.

- Sector V:
  - Remoción y descapote del material coluvial: Reconformación final del terreno, mediante el peinado del talud, con el fin de disminuir la fuerte pendiente y aumentar el factor de seguridad a deslizamiento de la ladera (**Figura 6.14)**.

TABLA 6.7

VIVIENDAS POR REUBICAR - BARRIO SAN CRISTÓBAL SUR - LOCALIDAD SAN CRISTÓBAL

Ficha	Localidad	Barrio	Manzana	Lote	Orientación	Estado	Posición	Dirección	Propietario	Área	Pisos	Edad
1	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	1	1	1	1	Carretera Oriente No. 14-03 Sur	Alberto Ospina	20	2	3
10	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	10	1	1	2	Carretera Oriente No. 14-18 Sur Int 4	Emelina Camacho	60	2	3
11	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	11	1	1	1	Calle 14C No. 9-30 Este Int. 5	Víctor Raúl Rodríguez	72	1	4
12	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	12	2	1	1	Transversal 9 E No. 14B-78 Int. 4 Sur	Jorge Orlando Rodríguez	70	2	3
13	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	13	1	1	1	Carrera 9 Este No. 14-18 Int. 7	Luis Romero Moreno	80	1	3
16	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	16	1	1	2	Carretera Oriente No. 14A-96 Sur Int 9	Roque Elud C.	30	2	3
17	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	17	1	1	2	Carrera 9 Este No. 14-24 Int. 8	Leonor Suárez Ortiz	36	1	3
18	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	18	1	1	2	Carretera Oriente No. 14A-90 Sur	Doris Janeth Nieto	60	1	5
21	San Cristóbal	San Cristóbal Sur	1	21	3	1	2	Transversal 9 E No. 14A-78	Nohora Isabel Reina Díaz	83	1	5

- Drenaje y subdrenaje: Formado por un juego de subdrenes en forma de espina de pescado (localizados en la parte posterior de las viviendas 29 a 41) que se conectan con un canal rectangular de la fabrica Gaitana en el muro de contención. Detalles en la **Figura 6.20**.

- Reubicación de Viviendas: En este sector no se considera necesario relocalizar viviendas.

Drenaje: El drenaje como medida de mejoramiento del problema de inestabilidad juega un papel importante, debido a la infiltración que se puede generar por lluvias o al manejo incorrecto de las aguas servidas, es necesario la construcción de obras de drenaje que permitan el manejo correcto del agua de escorrentía, ocasionada por los orígenes antes mencionados, que es un factor contribuyente a los procesos de erosión e inestabilidad de la zona a largo plazo.

Las obras de drenaje superficial para realizar el manejo correcto, control y evacuación del agua colectada son las cunetas-dren, con secciones tipo trapezoidal y construidas en concreto reforzado sobre una superficie firme y bien compactada.

Reconformación y terraceo, como parte de estabilización de la ladera se considera la siembra de árboles, con el fin de mejorar visualmente el lugar, además de la adecuación de un parque.

6.6 MEDIDAS PREVENTIVAS Y MANEJO GENERAL

La principal medida preventiva consiste en la restricción del uso del suelo que se debe adelantar en las áreas no urbanizadas. La única posibilidad de destino reposa en la recreación pasiva, para ello es perentorio potenciar una importante inversión en obras paisajísticas y de urbanismo, que puedan involucrarse con la puesta de marcha de diversos proyectos donde los actores van desde entidades distritales y locales, hasta el encuentro con la comunidad misma.

El plan de medidas tiene como únicos objetivos permitir la consolidación ordenada del barrio y mejorar la calidad de vida de los habitantes. Los proyectos que lo integran son:

- *Obras de Urbanismo:* Encierran la estructuración, mejoramiento y mantenimiento de las redes vial y peatonal, la construcción de sistemas de alcantarillado pluvial y sanitario.
- *Educación Social:* Pretende primero concientizar a la comunidad sobre el significado de los fenómenos de remoción en masa y sus implicaciones, demarcar el nivel de riesgo actual de la población, y proponer talleres que ilustren cómo atender un desastre. Estas campañas educativas deberán conducir a los habitantes a organizarse para conformar sistemas de alarma y alerta y establecer planes de contingencia en caso de una emergencia.
- *Recuperación y Preservación:* Involucra la participación multi-institucional y de la colectividad con el fin de mantener las obras de control y mitigación a ejecutar y recuperar ambientalmente la zona a partir de la implementación de campañas de arborización y embellecimiento.

6.7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El objetivo principal del presente estudio consistió en la determinación de los diferentes niveles de riesgo dentro del marco establecido, generados por los problemas de inestabilidad y con base en ello se propuso una serie de medidas tendientes a mitigarlo.

- Las soluciones tienen como soporte un análisis conjunto de la amenaza, medida en términos de probabilidad de falla y de la vulnerabilidad que representa los daños que sufrirían los elementos físicos en caso de ocurrencia de los eventos.

- Dentro del contexto del estudio se demarcan diversos problemas de estabilidad importantes que fueron analizados y comentados a lo largo del informe, estos problemas son de carácter inducido, es decir, predispuestos o detonados gracias al papel del hombre, cuyo rol transformador se encuentra en las técnicas destructivas de explotación que producen una mayor susceptibilidad de los materiales a fenómenos de remoción en masa, la formulación de cortes verticales pronunciados y con orientaciones desfavorables. En este sentido, los escenarios de riesgo asociados a los eventos amenazantes, se originan por la exposición de elementos móviles.

- El análisis de amenaza destaca como principal proceso de remoción en masa los deslizamientos traslacionales y rotacionales y la alta posibilidad de falla de las laderas por este mecanismo. Por esta razón surge como conclusión de la evaluación de amenaza actual, la necesidad de construir obras de drenaje y contención que permita reducir los niveles de riesgo e implementar una serie de medidas de manejo ambiental (paisajísticas) que detengan el crecimiento de la frontera urbana hasta las áreas de exposición.

- Para las viviendas localizadas en zonas de amenaza baja se les recomienda hacer monitoreo continuo de los ductos de aguas potable y aguas servidas con el animo de establecer posibles fugas que conllevarían a la inestabilidad de la ladera dado su alto grado de inclinación.

- En el muro de contención localizado en la parte baja de la ladera (costado norte) se recomienda incrementar el numero de lloraderos, con el fin de abatir el nivel freático del sector, ya que es evidente la posición superficial de la tabla de agua en la pata del talud, nivel que es ocasionado por los vertimientos de aguas servidas en la parte media de la ladera.

- En general toda la ladera debe ser definida como de uso restringido para acciones diferentes a la recreación pasiva, adicionalmente debe acometerse una intensa labor de mejoramiento ambiental reforestando la parte media baja del talud con especies nativas y de alta capacidad de adsorción que ayuden a controlar los excesos de agua.

7. DISEÑO DETALLADO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

Como parte de las conclusiones obtenidas de los capítulos 4 y 5 y de los planteamientos y medidas formulados en el capítulo 6, se llevó a cabo la selección de obras para la mitigación del riesgo de las viviendas en las zonas de exposición.

Las obras sugeridas cumplirán la función de reducir el potencial de erosión y obviamente el papel del agua como agente detonador de eventos o fenómenos de inestabilidad; en el actual sector de las viviendas 1, 10 a 21 y en la zona verde de la ladera no se podrá desarrollar la construcción de cualquier unidad habitacional. Dicho sector debe ser destinado para zonas verdes o de recreación pasiva.

En este sentido se diseñaron las obras que se describen a continuación.

7.1. OBRAS DE MITIGACIÓN

- **Sector I:**

Cubre el costado suroriental del área de estudio. En este sector se diseñaron las siguientes obras de mitigación y planteamiento paisajístico, con el fin de mejorar física y paisajisticamente el sector, las cuales se muestran en los **Planos 10 y 11** y se describen a continuación:

- Remoción y perfilado del material de relleno. La reconformación final se realizara con un talud inferior con pendiente de 2%, de 6 metros sobre la cota 2684, localizado en la parte inferior hasta la quebrada Triangulo; luego un talud de 18° y 23.70 metros; a continuación un talud de 9.90 metros de longitud y 31° de pendiente; en la parte superior se reconformara un talud de 7.8 metros con una pendiente de 12° hasta el borde con la carretera oriente, en la cota 2699 msnm.

La sección A-A, utilizada tanto para el análisis de estabilidad como para el cálculo de las cantidades de obra de corte, se incluye en el **Plano 10** y en la **Figura 6.3**. En éstas se observan taludes finales, aumentando los factores de seguridad, lo que implica disminución de las zonas de exposición. Esta área se constituye en lugar de recreación pasiva, prohibido para la construcción de asentamientos humanos.

- Drenaje y subdrenaje. Un conjunto de cuneta dren longitudinales de 69 metros lineales, alimentados por una serie de cuneta dren en espina de pescado de 99.8 metros lineales localizado transversalmente en el talud, captará el agua de escorrentía que induce procesos de inestabilidad actualmente. La entrega de estas cunetas dren trapezoidales se realizara a la quebrada Triángulo en la cota 2675 msnm.

Con el fin de captar el agua de escorrentía de la carretera oriente, margen izquierda se debe construir una cuneta triangular de 50 metros de longitud desde la vivienda 1, la entrega a la quebrada Triangulo, se realiza mediante un descole en piedra pegada de 11 metros de longitud.

La empradizacion se realiza mediante la siembra de cespedón de pastos (kikuyo) en un área de aproximadamente 2000 metros cuadrados y la arborización consiste en la implementación de vegetación arbórea de porte medio a alto localizado en la ladera; la cual tendrá como función el embellecimiento paisajístico, el aislamiento y seguridad del sector y la protección del sector contra intervenciones urbanísticas o zonas de disposición de basuras y residuos sólidos (**Plano 11)**.

Las especies propuestas para las laderas objeto del presente estudio corresponden a especies arbóreas de alcaparro, sauco, acacia, aliso, caucho sabanero, cedro, chicala, guayacan de manizales, macle, mano de oso, nogal, palma de cera, roble, arrayán, alcaparro pequeño, espino, siete cueros, que serán sembrados de acuerdo a las especificaciones técnicas indicadas en este informe. Una vez se siembren los arboles y arbustos planteados se requiere de mantenimiento de los plateos, aplicación de podas de formación retirando las ramas bajeras y aquellas que presenten demasiado arqueamiento; fertilización foliar una vez realizadas las podas. Esta operación se recomienda por lo menos dos veces al año.

Con base en los precios unitarios registrados en la **Tabla 6.4**, se estimó el costo de las obras en CIENTO DIECISÉIS MILLONES SETECIENTOS MIL TRESCIENTOS VEINTISEIS PESOS ($116´700.326), incluido el AIU, valor total antes de IVA (**Tabla 7.1)**. Las especificaciones técnicas se presentan en el **Anexo 7**.

- **Sector II.**

Se localiza en parte posterior de las viviendas 1 a 5. En este sector se diseñaron obras de mitigación constituidos por drenajes con reubicación de la vivienda 1 y planteamiento paisajístico de la ladera, con el propósito de lograr el mejoramiento tanto física como paisajisticamente del sector; las cuales se describen a continuación:

La sección B-B, utilizada para el análisis de estabilidad y el cálculo de las cantidades de obra de estabilización, se incluye en el **Plano 10** y en la **Figura 6.4**. En ésta sección, se observa que los taludes presentan buena estabilidad y que las viviendas 2 a 5 no presentan amenaza que pueda afectar su estructura; sin embargo, se recomienda reubicar la vivienda 1, debido a que esta seriamente afectada por la erosión del piso y asentamiento de la estructura en gran parte de la vivienda, siendo la reubicación de esta vivienda (1), la alternativa mas factible técnica y económicamente.

La ladera de la parte posterior de las viviendas 2 a 5 debe ser utilizada como un lugar de recreación pasiva, prohibida para la construcción de asentamientos humanos.

- Construcción de sistemas de drenaje y subdrenaje y reubicación de las viviendas en alto riesgo. Una cuneta dren longitudinal de 34 metros lineales, en espina de pescado que alimentara la cuneta dren localizada en el sector 1, comprendida entre la cota 2691.7 y 2684.7, esta obra tendrá la función de captación del agua de escorrentía que ocasiona procesos de inestabilidad. La entrega de las cunetas dren se realizara a la quebrada Triángulo en la cota 2675 msnm.

Como medidas de embellecimiento paisajístico, aislamiento, seguridad y protección del sector contra intervenciones urbanísticas, se recomienda realizar la arborización con especies de porte medio a alto en la ladera. Las especies recomendadas son las especificadas en el sector I (**Plano 11)**.

Las familias de la vivienda 1 – (lote 1), deben ser relocalizadas por el alto riesgo en que se encuentran.

Con base en los precios unitarios registrados en la **Tabla 6.4**, se estimó el costo de las obras para el sector II, en DIECIOCHO MILLONES OCHOCIENTOS SESENTA Y DOS MIL CINCUENTA Y TRES PESOS ($18´862.053), incluido el AIU, costo total antes de IVA (**Tabla 7.1)**. Las especificaciones técnicas se presentan en el **Anexo 7**.

- **Sector III:**

Esta localizada en la parte central del área de estudio, comprende las viviendas 10 a 21 y la ladera de la parte posterior de dichas viviendas. En este sector se definieron las siguientes obras de mitigación y planteamiento paisajístico, para el mejoramiento físico y paisajístico del sector, las cuales se describen a continuación:

Las secciones C-C y D-D, utilizadas para el análisis de estabilidad y el cálculo de las cantidades de obra de estabilización, se muestran en el **Plano 10** y en las **Figuras 6.3 y 6.4**. En las secciones se observa la estabilidad de los taludes, a pesar de presentar buena estabilidad con obras de contención (muro en gaviones y pilotes), analizando la estabilidad de los taludes de excavación para construcción de obras de contención con inclinación 1H:2V, se encontraron factores de seguridad inferiores a 0.60, lo que implica alto riesgo de las viviendas en el momento de construir las obras.

Una vez analizados las alternativas de mitigación para el sector se opto por la alternativa de construcción de obras de drenaje y reubicación de las viviendas 10, 11, 12, 13, 16, 17, 18 y 21, por ser la alternativa técnica y económicamente factible.

- Construcción de sistemas de drenaje y subdrenaje y reubicación de las viviendas en alto riesgo. Esta constituido por un conjunto de cunetas dren en espina de pescado de 196 metros lineales, sistema que captará el agua de escorrentía desde la carretera oriente en los costados del muro de contención hasta la entrega de las cunetas dren en la quebrada Triángulo en la cota 2672 msnm.

El programa de revegetalización consiste en la implementación de vegetación arbórea de porte medio a alto localizado en la ladera; la cual tendrá como función el embellecimiento paisajístico, el aislamiento y seguridad del sector y protección del sector contra intervenciones urbanísticas.

Las especies propuestas para las laderas objeto del presente estudio corresponden a especies arbóreas como se reseño en el sector I.

En este sector se deben relocalizar las familias de las vivienda 10, 11, 12, 13, 16, 17, 18 y 21.

Con base en los precios unitarios registrados en la **Tabla 6.4**, se estimó el costo de las obras en CIENTO TREINTA Y CINCO MILLONES OCHOCIENTOS TREINTA Y UN MIL SEISCIENTOS NOVENTA Y SIETE PESOS ($135´831.697), incluido el AIU, costo total antes de IVA (**Tabla 7.1)**. Las especificaciones técnicas se presentan en el **Anexo 7**.

- **Sector IV:**

Cubre el costado noroccidental del área de estudio, comprende las viviendas 22 a 28 y la ladera de la parte posterior de dichas viviendas; como medidas de mitigación de este sector se definieron las siguientes obras de drenaje y planteamiento paisajístico, con el animo de mejorar física y paisajísticamente el sector:

Se analizaron las secciones E-E, F-F, y G-G, para el análisis de estabilidad y el cálculo de las cantidades de obra de estabilización, (**Plano 10** y **Figuras 6.10 a 6.12)**. En las secciones se observa la estabilidad de los taludes, al igual que en el sector III, los taludes presentan buena estabilidad con obras de contención (muro en gaviones y pilotes), pero al hacer el análisis de estabilidad de los taludes de excavación para construcción de obras de contención con inclinación 1H:2V, se aprecian factores de seguridad de 0.48 a 0.54, valores que indican alto riesgo de daño para las viviendas, cuando se realice la excavación durante la construcción de las obras.

En este sector, la alternativa de mitigación factible desde el punto de vista técnico y económico es la construcción de obras de drenaje, las viviendas existentes presentan nivel de riesgo medio y bajo, sin embargo se recomienda restringir la construcción en los patios existentes debido a que estos presentan alto riesgo por procesos de inestabilidad causados por la fuerte pendiente del talud y la baja resistencia del suelo de fundación.

- Drenaje y subdrenaje. Esta constituido por un conjunto de cunetas dren en espina de pescado de 78 metros lineales, el drenaje aunque no es una medida de estabilización de la ladera superior cercana a la viviendas, si baja el nivel freático, disminuye la probabilidad de falla, este sistema captará el agua de escorrentía desde las vecindades de las viviendas y las entrega al canal perimetral del muro de contención de la fabrica Gaitana en la cota 2670 msnm. Que posteriormente es entregado al sistema de alcantarillado existente en la fabrica Gaitana.

Las especies propuestas para las laderas objeto del presente estudio corresponden a especies arbóreas de acuerdo a lo expuesto en el sector I.

Para este sector y de acuerdo a los precios unitarios de las obras de proteccion (**Tabla 6.4)**, se estimó el costo de las obras en TRECE MILLONES NOVENTA Y SIETE MIL QUINIENTOS SETENTA Y OCHO PESOS ($13´097.578), incluido el AIU, costo total antes de IVA (**Tabla 7.1)**. Las especificaciones técnicas se presentan en el **Anexo 7**.

- **Sector V:**

Cubre el extremo noroccidental del área de estudio, comprende las viviendas 29 a 42 y la ladera adyacente; estas viviendas se encuentran en riesgo bajo a medio, con el animo de prevenir o reducir el escenario de riesgo se propone realizar el manejo de agua de escorrentia y subsuperficial mediante la construcción de obras de drenaje, conformada por una red de cuneta-dren trapezoidal en espina de pescado de 80 metros, que intercepten el agua desde la parte posterior de las viviendas 29 a 42 y las viertan al canal perimetral del muro de contención de la fabrica Gaitana y luego lo conduzca hasta el sistema de alcantarillado del barrio.

La revegetalización será mediante la siembra de especies arbóreas de porte medio a alto similares a las propuestas para el sector I.

El presupuesto estimado para este sector para la construcción de obras de mitigación es de TRECE MILLONES CINCO MIL TRESCIENTOS VEINTIDOS PESOS ($13´005.322), incluido el AIU, costo total antes de IVA (**Tabla 7.1)**. Las especificaciones técnicas se presentan en el **Anexo 7**.

La distribución espacial de la red se ilustra en el **Plano 11**, los detalles en el **Plano 12** y el cuadro de drenajes correspondiente en la **Tabla 7.2**.

TABLA 7.1
CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO ESTIMADO

SAN CRISTOBAL SUR (SECTOR I)

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO ($)	VALOR PARCIAL ($)
Replanteo	Global	1	700.000	700.000
Cuneta triangular	ml	50	35.530	1.776.500
Excavación mecánica en suelo	m^3	3500	17.450	61.075.000
Excavación manual en suelo	m^3	202	23.968	4.841.536
Cuneta-dren trapezoidal (h=2,0m)	ml	168.8	94.280	15.914.464
Descole en piedra pegada	ml	11	41.855	460.405
Arborización	unidad	450	6.418	2.888.100
Empradización	m^2	2000	4.000	8.000.000
			SUBTOTAL ($)	**95.656.005**
			AIU (22 %)	**21.044.321**
			VALOR TOTAL ($)	**116.700.326**

BARRIO SAN CRISTOBAL SUR (SECTOR II)

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO ($)	VALOR PARCIAL ($)
Replanteo	Global	1	500.000	500.000
Excavación manual en suelo	m^3	42	23.968	1.006.656
Cuneta-dren trapezoidal (h=2,0m)	ml	34	94.280	3.205.520
Arborización	unidad	40	6.418	256.720
			SUBTOTAL ($)	**4.968.896**
			AIU (22 %)	**1.093.157**
Reubicacion de viviendas	Unidad	1	12.000.000	**12.000.000**
Demolicion de viviendas	unidad	1	800.000	**800.000**
			VALOR TOTAL ($)	**18.862.053**

BARRIO SAN CRISTOBAL SUR (SECTOR III)

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO ($)	VALOR PARCIAL ($)
Replanteo	Global	1	800.000	800.000
Excavación manual en suelo	m^3	240	23.968	5.752.320
Cuneta-dren trapezoidal (h=2,0m)	ml	196	94.280	18.478.880
Descole en piedra pegada	ml	26	41.855	1.088.230
Arborización	unidad	200	6.418	1.283.600
			SUBTOTAL ($)	**27.403.030**
			AIU (22 %)	**6.028.667**
Reubicacion de viviendas	Unidad	8	12.000.000	**96.000.000**
Demolicion de viviendas	Unidad	8	800.000	**6.400.000**
			VALOR TOTAL ($)	**135.831.697**

BARRIO SAN CRISTOBAL SUR (SECTOR IV)

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO ($)	VALOR PARCIAL ($)
Replanteo	Global	1	600.000	600.000
Excavación manual en suelo	m3	100	23.968	2.396.800
Cuneta-dren trapezoidal (h=2,0m)	ml	78	94.280	7.353.840
Arborización	unidad	60	6.418	385.080
Reubicacion de viviendas	unidad	0	0	0
			SUBTOTAL ($)	**10.735.720**
			AIU (22 %)	**2.361.858**
			VALOR TOTAL ($)	**13.097.578**

BARRIO SAN CRISTOBAL SUR (SECTOR V)

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO ($)	VALOR PARCIAL ($)
Replanteo	Global	1	400.000	400.000
Cuneta-dren trapezoidal (h=2,0m)	ml	80	94.280	7.542.400
Excavación manual en suelo	m^3	100	23.968	2.396.800
Arborización	unidad	50	6.418	320.900
Reubicacion de viviendas	unidad	0	0	0
			SUBTOTAL ($)	**10.660.100**
			AIU (22 %)	**2.345.222**
			VALOR TOTAL ($)	**13.005.322**

TABLA 7.2

CUADRO DE DRENAJES

Punto	Coordenada N (msnm)	Coordenada E (msnm)	Cota rasante (msnm)	Cota fondo (msnm)	Altura (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Estructura - Tipo
1	100.230.50	96.842.20	2.691.20	2.689.20	2.00			
						43.80	Terreno	Cuneta dren trapezoidal
2	100.205.50	96.871.20	2.690.30	2.688.00	2.00			
						12.00	Terreno	Cuneta dren trapezoidal
3	100.194.20	96.870.10	2.690.40	2.688.40	2.00			
						14.50	Terreno	Cuneta dren trapezoidal
4	100.197.50	96.882.50	2.689.50	2.687.50	2.00			
5	100.187.00	96.855.50	2.699.50	2.697.50	2.00			
						69.00	Terreno	Cuneta dren trapezoidal
6	100.212.50	96.920.50	2.675.00	2.674.60	0.40			
7	100.185.00	96.855.00	2.699.50	2.699.20	0.30			
						50.00	Terreno	Cuneta trapezoidal
8	100.229.00	96.828.50	2.696.50	2.696.20	0.30			
						11.00	Terreno	descole
9	100.235.50	96.837.00	2.689.50	2.689.20	0.30			
10	100.224.50	96.880.00	2.882.00	2.880.00	2.00			
						29.50	Terreno	Cuneta dren trapezoidal
11	100.210.50	96.903.20	2.679.00	2.677.00	2.00			
12	100.167.00	96.890.50	2.691.50	2.689.50	2.00			
						34.00	Terreno	Cuneta dren trapezoidal
13	100.201.50	96.892.50	2.684.50	2.682.50	2.00			
14	100.141.00	96.854.50	2.702.50	2.702.20	0.30			
						6.00	Terreno	Descole
15	100.145.00	96.859.20	2.699.00	2.698.70	0.30			
						45.50	Terreno	Cuneta dren trapezoidal
16	100.164.50	96.890.50	2.691.80	2.689.80	2.00			
						5.00	Terreno	Cuneta dren trapezoidal
17	100.166.00	96.886.00	2.692.50	2.690.50	2.00			
						39.00	Terreno	Cuneta dren trapezoidal
18	100.153.50	96.922.80	2.682.50	2.680.50	2.00			
19	100.123.00	96.879.00	2.702.00	2.701.70	0.30			
						20.00	Terreno	Descole
20	100.131.50	96.897.00	2.695.50	2.695.20	0.30			
						94.00	Terreno	Cuneta dren trapezoidal
21	100.209.00	96.923.50	2.676.00	2.674.00	2.00			
22	100.122.00	96.912.00	2.692.00	2.690.00	2.00			
						17.50	Terreno	Cuneta dren trapezoidal
23	100.140.50	96.915.00	2.686.70	2.694.70	2.00			
24	100.141.50	96.935.50	2.680.00	2.678.00	2.00			
						26.00	Terreno	Cuneta dren trapezoidal
25	100.134.50	96.960.00	2.673.00	2.671.00	2.00			
26	100.119.00	96.950.00	2.677.00	2.675.00	2.00			
						29.00	Terreno	Cuneta dren trapezoidal
27	100.142.50	96.966.00	2.671.50	2.669.50	2.00			
28	100.106.00	96.965.50	2.679.00	2.677.00	2.00			
						23.00	Terreno	Cuneta dren trapezoidal
29	100.126.50	96.955.50	2.675.50	2.676.50	2.00			
30	100.093.00	96.976.00	2.680.50	2.678.50	2.00			
						32.00	Terreno	Cuneta dren trapezoidal
31	100.115.00	96.997.00	2.667.00	2.665.00	2.00			
32	100.101.00	96.983.50	2.675.50	2.673.50	2.00			
						48.00	Terreno	Cuneta dren trapezoidal
33	100.087.50	97.029.50	2.669.00	2.667.00	2.00			

RESUMEN EJECUTIVO

1 INTRODUCCIÓN

En desarrollo del Contrato de Consultoría No.CCS-241-2000, suscrito entre la DIRECCION DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS E HIDROGEOLOGÍA Y GEOTECNIA AMBIENTAL LTDA, cuyo objeto es el Estudio de Riesgos por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras de Control y Protección en el Barrio San Cristóbal Sur – Localidad de San Cristóbal, se presenta en el siguiente documento el Informe técnico correspondiente al barrio en mención.

San Cristóbal Sur, en su contexto urbano, ocupa parte de la superficie de una contrapendiente estructural, entallada en las estribaciones de los cerros surorientales del Distrito Capital, en la localidad de San Cristóbal. Las laderas presentan deslizamientos activos y potenciales; evidencias de procesos antiguos de remoción en masa y alto grado de intervención antrópica.

El barrio San Cristóbal Sur, se urbanizó en la parte alta de la fabrica de ladrillos La Gaitana, actualmente cuenta con cobertura de servicios públicos de agua, alcantarillado, luz y teléfono, las principales vías de acceso son pavimentadas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

- Realizar una evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa y diseñar las obras de mitigación y control requeridas para estabilizar el sector objeto de estudio, para que sirva como instrumento en la planificación integral, bajo el marco de la Prevención de Desastres.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Inventariar el marco morfodinámico del área de estudio y sus alrededores, con el fin de poder establecer los mecanismos de falla. Es decir, determinar los factores condicionantes y desencadenantes de la inestabilidad local.

- Evaluar la condición actual de estabilidad que involucre por una parte, la elaboración del modelo estratigráfico del área de estudio, y por otra investigar los cambios en la probabilidad de falla en relación con los intervalos de dominio (o de variación) de los parámetros geotécnicos.

- Estudiar la condición de vulnerabilidad del sector con respecto al tipo de movimiento involucrado y al nivel de daño de los elementos expuestos.

- Definir árboles de decisión que faciliten la selección de alternativas con relación beneficio-costo aceptable.

- Diseñar las obras de mitigación y control correspondientes, las cuales contribuirán notablemente tanto para la conservación del área, como para la disminución del riego hacia los elementos fijos y móviles aledaños.

2 GENERALIDADES

2.1 LOCALIZACIÓN

El barrio San Cristóbal Sur, se localiza sobre las estribaciones de los cerros surorientales del Distrito Capital, en un sector de contra pendiente estructural, en jurisdicción político - administrativa de la localidad de San Cristóbal.

Está delimitado geográficamente entre las coordenadas
N 96.800 - 97.100
E 100.000 - 100.300,
y las expresiones del relieve se desarrollan entre los 2.600 msnm y los 2.700 msnm.

El barrio San Cristóbal Sur, se enmarca entre la carrera 15 Este y la quebrada Triángulo y las calles 15 Sur (Antigua vía a Villavicencio) y 13 Sur; el cinturón de comunicación más importante para los pobladores es la antigua carretera a Villavicencio; de ella se desprende la malla vial que accede al barrio; las calles y carreras están pavimentadas en su gran mayoría, poseen un estado de transitividad apenas aceptables, trazados geométricamente complejos caracterizados por las altas pendientes longitudinales.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El barrio San Cristóbal Sur, localidad de San Cristóbal, ocupa un área de laderas residuales y coluviales con alta pendiente topográfica e intervención antrópica acentuada (vertimientos, rellenos de basuras, excavaciones y rellenos, etc), los pobladores se concentran en viviendas de recuperación, palafitos, prefabricadas y estructurales con y sin pórtico. Para la construcción de las viviendas en especial las localizadas sobre la Transversal 9 Este, se han desarrollado actividades de corte y relleno en las partes frontal y posterior de los lotes sin una adecuada reconformación de los taludes así formados, este proceso ayudado por el vertimiento de aguas lluvias, sanitarias y de acueducto han dado origen a procesos de remoción en masa (cinco deslizamientos traslacionales, reptamientos, un flujo de suelos) en la ladera posterior de las viviendas, zona norte del área de interés.

En la parte posterior de la vivienda de la carretera oriente No 14-03 sur, se originó un deslizamiento traslacional (DT01-IA) sobre material de relleno y suelo residual afectando la estructura de dicha vivienda (agrietamientos de los muros en mampostería), en la actualidad este proceso es estable; en la parte posterior de un asentamiento de viviendas de la carretera oriente identificadas con número de lote 10 a 21 (Plano 1), existe un deslizamiento traslacional activo (DT02-AC), que afectó las viviendas y la carretera oriente, ocasionando daños en la parte estructural de las viviendas 10 y 12, la vivienda del lote 19 está en proceso de reubicación y las demás viviendas en su gran mayoría de recuperación presentan daños e inclinación de sus muros, en este sector se está analizando la posibilidad de construir obras de contención o de reubicación de las viviendas.

En la parte posterior de la vivienda de la Transversal 9E N0. 14A-68 sur, se originó el deslizamiento traslacional (DT03-AC), sobre una ladera natural, se han producido daños menores a esta vivienda; en la transversal 9E No 14A-64 sur, se observa un flujo de suelos (FT01-IA) sobre material de relleno y suelo residual, que ha ocasionado daños de la vivienda por asentamientos de la parte posterior de la construcción con agrietamientos de los muros estructurales, en este sector se ha visto la necesidad de diseñar obras de contención como obra de mitigación; en la vivienda de la Transversal 9E No. 14A-54 sur, se aprecia un deslizamiento traslacional (DT04-IA) producto de la excavación en la parte baja de la ladera para explotación de materiales, este proceso ha producido daños severos al muro de cerramiento, sin embargo las viviendas, (una prefabricada y otra en mampostería), no presentan daños; en la ladera parte posterior

de la vivienda Transversal 9E No 14A-42 sur, se presenta un deslizamiento traslacional (DT05-IE), en este sitio se observan daños en el muro de cerramiento, pero las viviendas no muestran daños de consideración.

En la zona verde del barrio, contigua a la quebrada Triángulo, se ha adecuado la disposición de basuras y escombros en forma aleatoria y sin ningún control técnico, conformando una ladera de pendiente moderada a fuertemente inclinada y que puede dar origen a deslizamientos de tamaño considerable que afecten el cauce de la quebrada y las viviendas localizadas en el costado suroriental.

3 ESTUDIOS BÁSICOS

Este numeral encierra el desarrollo de algunos de los principales tópicos (elementos ó variables) de incidencia para la evaluación y zonificación de riesgo por fenómenos de remoción en masa, que son el resultado del trabajo de campo, y se encuentran compilados bajo la denominación de Estudios Básicos. Las labores de campo permitieron entre otros: elaborar la cartografía geológica, geomorfológica y estructural local y establecer su incidencia en la estabilidad, estudiar los mecanismos de falla de los procesos de inestabilidad y conocer las características socio-económicas de los pobladores.

3.1 TOPOGRAFÍA

Teniendo en cuenta los continuos cambios morfométricos a que está expuesta el área de estudio, para efectos de zonificación, análisis y recomendaciones de obras correctivas se realizó un levantamiento topográfico detallado, escala 1:500, destacando los aspectos del relieve local que involucraban las franjas críticas de estabilidad y las unidades residenciales más vulnerables ante potenciales desastres.

El levantamiento topográfico se efectúo con la ayuda de una Estación Electrónica Total marca TOPCON GT-310, que tiene las siguientes características:

Anteojo	imagen real directa
Aumentos	30X
Abertura del objetivo	42 mm
Diámetro del campo visual	27 m
Distancia mínima de enfoque	1.7 m
Constante de multiplicación	100
Constante de adición	0
Sensibilidad de los niveles	
Nivel esférico	8′ / 2 mm
Nivel de alidada	30″/2 mm.

Para la nivelación se empleo un nivel automático marca TOPCON AT-G2, se nivelaron los deltas de la poligonal perimetral, los deltas auxiliares y las tres placas de referencia, que servirán de base para el replanteo de las obras de mitigación.

El levantamiento topográfico fue amarrado a placas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, en este sentido se tomaron como base las coordenadas y elevaciones del NP-A-63-CD con coordenadas 100.016,62 Este, 97.302,549 Norte, 2.656,736 msnm y la NP-B-63-CD con coordenadas 100.045,414 Este, 97.197,93 Norte, 2.654,353 msnm, localizadas al norte del barrio San Cristóbal Sur sobre el puente del río San Cristóbal a 100 metros del Instituto de Ciegos y la poligonal de trabajo tuvo como vértices los puntos NPA63CD, SC-1, SC-2, SC-3 y NPA63CD iniciando la toma de detalles desde la parte baja (norte) del barrio San Cristóbal Sur por la vía circunvalar, por el oeste hasta la calle 15 este, por el este hasta la quebrada Triángulo y por el norte hasta los limites de la Fabrica San Cristóbal**;** se materializaron tres mojones en los deltas SC-1, SC-2 y SC-3; cuyas coordenadas son las siguientes:

MOJON	COORDENADAS		COTA (msnm)
	ESTE (m)	NORTE (m)	
SC-1	96.941,549	100.251,078	2.687,37
SC-2	96.880,859	100.121,002	2.703,148
SC-3	96.924,809	100.099,435	2.691,184

El barrido altimétrico y planimétrico se realizó bajo la aplicación de un procedimiento mixto, es decir tanto con la toma de secciones transversales como de la generación de una nube de puntos y por el sistema de radiación, en un área de 2.5 hectáreas. Para obtener detalle del área fue necesario determinara aprox. 1.500 puntos de detalles que incluyeron la totalidad de los accidentes del terreno y de las obras existentes.

3.2 GEOLOGÍA

El trabajo se realizó en primer lugar con una fotointerpretación preliminar y un posterior reconocimiento de campo, luego se efectúo un levantamiento topográfico del área de interés, y finalmente una reinterpretación y elaboración de mapas a escala 1:5.000 para reconocimiento regional y escala 1:500 para el área de investigación especifica.

3.2.1 Marco Geológico Regional

La zona de estudio hace parte de los cerros orientales de la sabana de Bogotá, los cuales están constituidos por rocas del cretáceo superior y del terciario inferior y medio, afectadas por fallas y pliegues con dirección principal N-S y NE-SW, producidos principalmente por esfuerzos de tipo compresional.

Las rocas más antiguas en la zona de estudio corresponden a la Formación Guadalupe (a partir de sedimentos depositados a finales del cretáceo); le siguen la Formación Guaduas (finales del cretáceo - inicios del terciario) y la Formación Bogotá (inicios del terciario)**.** La secuencia litica se halla parcialmente cubierta por suelos residuales, transportados u orgánicos de diferente composición y textura, dependiendo de su génesis.

3.2.2.1 Litoestratigrafía

La nomenclatura estratigráfica se determinó por comparación y correlación con los mapas existentes en Ingeominas. Las referencias bibliográficas respecto a nombre, área, tipo, edad, y litofacies fueron extraídas del léxico estratigráfico internacional (Julivert, 1965 y Da Porta, 1973).

- **Formación Guadalupe (Ksg).** Denominada por Hubach en 1957; su edad es del cretáceo tardío (Maestrichtiano); corresponde a areniscas de colores claros (frescas) a amarillos (alteradas) compuestas predominantemente por cuarzo, con intercalaciones de arcillolitas de colores grises y crema. El tamaño del grano varia de grueso (2 mm) a muy fino (menor a 1 mm). Se disponen en bancos gruesos de mas de 2 metros, con geometría externa plano-paralela y geometría interna de laminación ondulosa paralela e inclinada paralela.

- **Formación Guaduas (Ktgs).** Denominada por Hubach en 1957, de edad Cretáceo terminal (Maestrichtiano) a inicios del Terciario (Eoceno); el conjunto inferior esta formado por lutitas generalmente de color gris, una intercalación de areniscas hacia la mitad superior. El conjunto medio queda delimitado por dos niveles principales de areniscas que se encuentran en la Formación Guaduas. La arenisca Guía en la base y la arenisca Lajosa, corresponde a una sucesión de areniscas

ortocuarciticas en bancos potentes de 1 a 3.5 metros de espesor. Suprayaciendo la arenisca se aprecia una sucesión de lutitas grises pero empiezan a manifestarse ya en algunas facies rojas. Julivert (1968).

- **Formación Cacho (Tpc).** El nombre de Formación Cacho, fue propuesto por Hubach en 1947, la edad es Terciario (Paleoceno). Esta compuesta por una secuencia de arenisca cuarzosa, de color blanco a amarillo, poco coherente, de grano grueso a conglomerático, sobre todo en las capas inferiores; Con frecuencia presenta estratificación cruzada, ferruginosa, con vetas limoniticas que la hacen en parte dura en extremo, mientras que otras se pueden desmenuzar con los dedos. Esta compuesta por granos subangulares de cuarzo y con un 5% mas o menos de arcilla ferruginosa como material cementante; espesor 90 metros aproximadamente.

- **Formación Bogotá (Tpb).** El nombre de Formación Bogotá, fue propuesto por Hubach en 1947. Esta secuencia toma como base la arenisca de la Formación Cacho y como limite superior la base de la arenisca conglomerática de la Formación Regadera. Características Físicas (litofacies) en el área de estudio: conjunto de arcillolitas de colores variados y contrastantes (abigarrados) predominantemente grises claras y violáceas, con intercalaciones de areniscas arcillosas hasta de 5 a 20 metros de espesor. Los granos de las areniscas son redondeados a subangulares, de color amarillo hasta pardo rojizo. Las arcillolitas están bien estratificadas en capas de 3 a 10 cm. Variando de color desde blanco, gris, y amarillo a rojo.

Cuaternarios

- **Depósitos Coluviales (Qc).** En el área aparecen dispersos depósitos de ladera de origen coluvial. Conformados por bloques grandes y fragmentos angulares de arenitas embebidos en matriz limo arcillosos. Los bloques y fragmentos de roca provienen de las formaciones Guadalupe, Guaduas y Bogotá; estos depósitos configuran la superficie marginal del terreno y cubren localmente las diferentes unidades del subsuelo. Son materiales regularmente consolidados y con espesor que alcanza tres metros; en general presentan una alta resistencia a la erosión.

- **Depósitos Fluvio-Glaciales (Qfg).** Son una mezcla de materiales irregulares donde predominan los bloques angulares, inmersos en un matriz areno-limosa; entallan las márgenes del río San Cristóbal, llenando algunas depresiones de la paleotopografía.

- **Depósitos Aluviales (Qal).** Conformados por bloques y cantos subredondeados de arenitas embebidos en matriz areno-limosa, se localizan a lo largo del río San Cristóbal (sector norte del área de estudio).

Depósitos Antrópicos.

- **Depósitos de Escombros de Relleno (Rel).** Compuestos por desechos de canteras y materiales de construcción, mezclados con basuras, no dispuestos técnicamente. Cubren las laderas de los frentes de explotación de materiales y los costados de las principales vías de acceso.

3.2.2.2 Geología Estructural

El área de estudio se localiza en el flanco oriental del Sinclinal de Usme, el cual tiene un rumbo aproximado Norte - Sur y conformado por rocas del Cretáceo Superior (Formación Guadalupe y Guaduas) y rocas del Terciario (Formación Bogotá, Regadera, Usme, y Marichuela).

Los sistemas de falla son de tipo Normal y de Rumbo. Este último grupo está relacionado con el eje del Sinclinal de Usme (afectando la Formación Usme) y las fallas Normales son perpendiculares al eje del

pliegue. Entre las fallas más importantes cercanas al sector se encuentran la falla de San Cristóbal y la falla de Bogotá, que influyeron en la evolución tectónica del lugar (relacionadas con las últimas fases de la orogenia andina). La primera es una falla profunda o megacizalla, que penetra hasta el manto superior y que se manifiesta en superficie como un alineamiento de dirección noroeste – sureste (según Guillermo Ujueta, 1993), su prolongación hacia el sureste se manifiesta por una serie de rasgos topográficos y drenajes alineados; la prolongación de su traza hacia el noroeste parece limitar el borde sur de la depresión de Funza y de manera aproximada con él limite sur del relieve plano del valle de la sabana y la segunda es una falla de cabalgamiento de dirección nor-noreste y plano buzando al este, situada en la parte sur occidental del área; se extiende desde el río San Francisco hasta la cuchilla de Santa Barbara; esta falla pone en contacto areniscas del Grupo Guadalupe y arcillolitas de la Formación Guaduas sobre la parte media baja de los cerros al oriente de Bogotá.

3.2.3 Geología Local

3.2.3.1 Litoestratigrafía.

El área del proyecto está básicamente constituido por una alternancia de arcillolitas y areniscas de la parte inferior de la Formación Bogotá (Tpb), cubiertos por suelos limo-arcillosos con arena y materiales coluviales de escaso espesor. Para el estudio geológico detallado se levanto una columna estratigráfica, ubicada en los sitios de mejor exposición de las rocas aflorantes y que cubrieran la mayor parte del área de estudio, la columna estratigráfica fue levantada en la parte sur de la zona - barrio El Triángulo, con espesor aproximado de 88 metros y esta conformada de base a techo por cinco unidades así:

- **Unidad CS1**. Con espesor de 50.80 metros; encierra los niveles C2 a C5, compuestas por arcillolitas grisáceas oscuras con tonos amarillentos y morados, laminadas, friables de resistencia baja y los niveles S1 a S4 conformadas por areniscas arcillosas, de color amarillento con tonos grises y morados, laminadas, de grano fino a medio, fracturada, friable, las capas oscilan entre 0.50 y 4.70 metros. Los niveles de arcillolitas se presentan altamente meteorizadas, con dureza 2.5 a 3, con espesor oscila entre 1.60 y 12.20 metros**.**

- **Unidad SC2.** Posee un espesor aproximado de 20.10 metros; esta integrada en mayor proporción por areniscas arcillosas bandeadas (niveles S5 y S6), laminadas, en el nivel inferior y estratificación cruzada en el superior, de grano fino, color grisáceo a amarillento, friable, altamente meteorizada, con presencia de óxidos, acuñamientos locales de las capas, los niveles oscilan entre 2.1 y 4.5 metros; con arcillolitas abigarradas (C6), de color gris a vinotinto, meteorizada, de resistencia baja, dureza 3, este nivel presenta intercalaciones delgadas de arenisca cuarzosa de grano fino, color amarillento a rojizo, fracturada y meteorizada de resistencia baja, espesor promedio de 7.40 metros.

- **Unidad CS3.** Con espesor aproximado de 17.1 metros, constituida por arcillolitas de color grisáceo con vetas rojizas a vinotinto, (nivel C7), con un espesor de 10 metros, fuertemente meteorizada, laminadas, de resistencia baja en roca alterada y media en roca fresca y delgados niveles de areniscas cuarzosas y arcillosas (nivel S7), bandeada de color gris a amarillento, grano fino a medio, masiva, de resistencia media, en este nivel se presentan capas delgadas de arcillolitas grisáceas a rojizas con presencia de óxidos, fracturadas de resistencia baja, el espesor aproximado es de 7.10 metros.

Depósitos Cuaternarios

- **Nivel Coluvial (Qc).** Conformados por fragmentos de roca de diferentes tamaños, subangulares, predominantemente arcillosos embebidos en matriz arcillo arenoso, configuran la superficie marginal del terreno y cubren localmente las diferentes unidades del subsuelo. Son materiales regularmente

consolidados y con espesor que alcanza tres metros; en general presentan una alta resistencia a la erosión, debido a que están protegidos por vegetación de arbustos y pastos. Se localizan en la parte norte del área de estudio, parte posterior de las viviendas de la Transversal 9E No. 14A-16 sur a la Transversal 9E No 14-28 sur.

- **Nivel Coluvial Reciente (Qc1).** Son materiales regularmente consolidados, con espesor que alcanza los siete metros. Están compuestos por gravas y cantos, subangulares, predominantemente arcillosos embebidos en matriz areno-arcilloso, suprayacen discordantemente las diferentes unidades del subsuelo y son el recinto de la mayor concentración de procesos de remoción en masa activos y estables, se localizan en el costado norte de las viviendas de la carretera oriente (lotes 1, 10, 11, 13, 18 a 22) y costado oriental de las viviendas de la Transversal 9E (lotes 27 a 32).

- **Nivel de Flujo de Suelos (Qft).** Caracterizado por cantos y gravas subangulares, predominantemente arcillosos embebidos en matriz arcillo-arenoso, de color gris a amarillento; configuran el costado oriental de la vivienda de la Transversal 9E No 14A-64sur, son materiales regularmente consolidados y con espesor que alcanza dos metros.

Suelos Antrópicos

- **Materiales de Excavación (Rb).** Disposición o acumulación de materiales de excavación predominantemente arcillosos, combinados con desechos domésticos, plásticos, botellas, etc. no dispuestos técnicamente, que conforman un relleno no consolidado, de espesor variable entre 1 y 4 metros; depositados en la ladera aledaña a las viviendas de la carretera oriente (lotes 2 a 5, 10) y de la Transversal 9E (lotes 22, 25, 26, 33 a 39).

- **Materiales de Escombros (Rebas).** Acumulación de materiales caracterizados por escombros y materiales de excavación, construcción de tamaño variado bloques, cantos y finos y desechos domésticos plásticos, no dispuestos técnicamente, de espesor que alcanza tres metros, se disponen en la parte oriental de la quebrada Triángulo.

- **Materiales de Estériles (Bot).** Bajo esta designación se integran los materiales estériles de la fabrica de ladrillo La Gaitana, constituidos por una mezcla de bloques, cantos y materiales finos, no dispuestos técnicamente en el antiguo patio de trabajo la fabrica localizados al oriente de la quebrada Triángulo, se considera que el espesor alcanza los 2 metros.

- **Zona de Relleno Actual (Zr)**. Mezcla de materiales de excavación conformados por cantos, bloques y materiales finos y basuras plásticos, frascos, etc., de espesor variable que alcanza los 8 metros de acuerdo a la interpretación de los SEV, se localizan en el costado norte de la carretera a oriente, sobre ambas márgenes de la quebrada Triángulo.

3.3 GEOMORFOLOGIA

El sector estudiado se encuentra localizado sobre una ladera en la contrapendiente estructural, flanco oriental del sinclinal de Usme. La morfología es moderadamente inclinada sobre laderas de rocas arcillosas y depósitos recientes de origen coluvial; y semiplana a plana en las zonas cercanas a la Quebrada Triángulo.

Las geoformas están controladas especialmente por el sinclinal de Usme y son el producto de la compleja evolución tectónica del Terciario, de los procesos de erosión y acumulación, mediante la delimitación de fenómenos de remoción en masa. La construcción de la fabrica de ladrillos La Gaitana ha dejado como

resultado el destape de las rocas aflorantes y la conformación de un patio de disposición de materiales con pendiente plana a suavemente inclinada, donde se aprecian erosión en surcos.

En laderas conformadas por material de origen coluvial, suelo residual y rellenos de material de excavación y escombros, se han originado deslizamientos traslacionales y rotacionales; algunos activos, como causa de sobrepresiones, vertimiento de aguas sanitarias y de acueducto o de excavaciones indiscriminadas sobre la pata de los taludes.

Mediante la fotointerpretación y el trabajo de campo se identificaron geoformas relacionadas con distintos ambientes, topografía o pendiente, grado de estabilidad, drenaje, composición del material presente, forma del terreno y procesos denudativos, las cuales se han agrupado en unidades desde el punto de vista morfogenético.

- **Ladera de Roca (LAR).** La morfología de esta unidad corresponde a una zona de pendiente plana a suavemente inclinada. Esta constituida por arcillolitas abigarradas de color gris a vinotinto, friables, meteorizadas y areniscas arcillosas, laminadas en sectores presenta estratificación cruzada, de color amarillo a morado, grano fino, friables, meteorizados; En esta unidad se aprecian procesos de erosión laminar y en surcos producto de la acción del agua por escorrentía superficial.

- **Ladera Coluvial (LC).** Se encuentra manifiesta en la parte norte del barrio San Cristóbal Sur sobre la parte posterior de las viviendas de la Transversal 9E (lotes 33 a 42). Su morfología se caracteriza por tener pendiente suave a moderadamente inclinada; está entallada por materiales heterogéneos de tamaño variado (bloques y cantos), subangulares embebidos en matriz arcillo-arenosa, que suprayacen capas de arcillolitas grisáceas a vinotinto, friables y areniscas arcillosas de grano fino, color amarillento a vinotinto, laminadas y altamente meteorizadas. En esta unidad no se aprecian procesos de remoción en masa que afecten la estabilidad de la ladera. El régimen de agua presente es subsuperficial proveniente de aguas lluvias.

- **Ladera Coluvial Reciente (LC1).** Domina la parte baja del barrio desde la carretera oriente (sitio donde se construyo un muro de contención para estabilizar la calzada asfáltica) hasta el limite con la fabrica de ladrillos La Gaitana. La morfología de esta unidad está configurada por pendientes moderadamente inclinadas; está constituida por materiales heterogéneos de tamaño variado (gravas y cantos), subangulares embebidos en matriz arcillo arenosa que suprayacen discordantemente una alternancia de arcillolitas abigarradas de color gris a vinotinto, friables, meteorizadas; con areniscas arcillosas.

- **Ladera Coluvial Intermedia (LC2).** Cobija una morfología de pendientes suave a moderadamente inclinadas; la unidad geomorfológica está constituida por materiales heterogéneos de tamaño variado (cantos y gravas), subangulares embebidos en matriz arcillo arenosa que cubren discordantemente una secuencia de arcillolitas abigarradas de color gris a vinotinto, friables, meteorizadas; con areniscas arcillosas, de grano fino meteorizadas, de color amarillo a morado, friables. El proceso morfodinámico más relevante es la reptación y deslizamientos traslacionales, los principales agentes modeladores son la infiltración subsuperficial de aguas lluvias.

- **Ladera de Suelo Residual y Relleno Antrópico (LSF).** Esta unidad se presenta en la zona occidental de la Transversal 9 Este, costado posterior de los lotes 22 a 27. Morfológicamente se caracteriza por una zona de pendiente moderadamente inclinada; esta constituida por suelo residual cubierto por relleno de material de excavación de carácter arcilloso, combinado con basuras; se presenta flujo de suelos, el proceso de flujo de comprende el suelo residual y el relleno antrópico con espesor que llega hasta los dos metros y cincuenta centímetros (2.50 m).

- **Ladera Antrópica (LAN).** Su mayor exposición se aprecia en la margen izquierda de la quebrada Triángulo parte baja de la carretera oriente; de morfología moderada a fuertemente inclinada. Esta constituida por un deposito de relleno actual de materiales de excavación de cantos, bloques y materiales finos y basuras sin reconformar adecuadamente; sobre esta unidad se aprecian procesos incipientes de remoción en masa causados por rellenos inadecuados de materiales de excavación y por aguas superficiales (lluvias) y la morfología de fuerte pendiente que pueden desencadenar en movimientos de gran magnitud; la estabilidad de las laderas esta condicionada a la presencia de materiales heterogéneos de forma angular a subangular.

- **Ladera de Relleno Antrópico (LAN1).** Se encuentra ubicada en el sector comprendido entre la margen derecha de la quebrada Triángulo y la carretera oriente; esta conformada por material de excavación de cantos, bloques y materiales finos, combinados con basuras sin reconformar adecuadamente, morfológicamente se caracteriza por una zona de pendiente moderadamente inclinada.

3.3.2 Inventario de Procesos Actuales de Movimientos en Masa

El inventario de movimientos en masa permite identificar los factores (exógenos y endógenos) que caracterizan la ocurrencia de los fenómenos de remoción en masa (FRM), y para comparar y establecer las condiciones bajo las cuales ocurren éstos. Además es soporte fundamental para la evaluación de la amenaza, porque despliega la localización de un tipo particular de problema de inestabilidad y, provee información histórica y cartográfica de los eventos antiguos (cuando se tienen) y actuales.

El inventario de procesos actuales contempla la cartografía de deslizamientos compuestos, rotacionales y traslacionales, flujos de tierra y reptación de laderas, adicionalmente a los fenómenos de remoción en masa (FRM), se contemplaron los escarpes en la adecuación de viviendas.

El mayor porcentaje de problemas de inestabilidad corresponde a los deslizamientos traslacionales (DT) con un 85% (equivalente a 5 cuerpos) y por un flujo de tierra (FT) con 15% (1 cuerpo).

3.4 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

El proceso de caracterización geotécnica se inició con el reconocimiento de los fenómenos de inestabilidad, las características topográficas y la información geológica y geomorfológica de la zona en estudio. Estableciéndose posteriormente, el plan de trabajo para la exploración del subsuelo, dirigida a la determinación de los parámetros geomecánicos para los depósitos y macizos rocosos.

La zona en estudio se encuentra afectada por movimientos superficiales de carácter traslacional, que involucran materiales de relleno heterogéneo con basuras y un espesor de material residual, producto de la alteración de la arcillolita de la formación Bogotá. La tasa de los movimientos actual es bastante lenta, sin embargo, se conoce de deslizamientos antiguos traslacionales que ocurrieron muy rápido y afectaron la estructura de la carretera de oriente. Por esta razón, se construyó un muro que colapsó al poco tiempo de construido, posteriormente se realizó un segundo muro con mejores características estructurales y una altura de 4.0 metros, soportando los empujes de los depósitos gravitacionales y la estructura de la vía. Este muro actualmente presenta algunas fisuras, principalmente en donde existen cambios bruscos de dirección y las juntas de dilatación. Parte de él colapsó recientemente, afectando una zona considerable y la estabilidad de una casa, que finalmente se demolió y se encuentra en proceso de reubicación (lote 19).

En la parte alta del talud donde se encuentran ubicadas las casas de la carretera de oriente, se observó que el sistema de alcantarillado con tubos de gres, provenientes de las viviendas localizadas en los lotes 1 a 21 en su gran mayoría presentan fugas, formando empozamientos y filtraciones de agua en el subsuelo. El sistema de alcantarillado combinado (lluvias y sanitarias), descarga directamente en la parte media de la ladera, sin ningún tipo de tratamiento.

3.4.1. Exploración del Subsuelo

Basados en las características de la zona, definidas por depósitos gravitacionales de suelos residuales y antrópicos que cubren los macizos rocosos, se programó la exploración del subsuelo. Con el propósito de identificar y caracterizar la distribución subsuperficial de los materiales débiles que afectan el movimiento del terreno, así como las formaciones más resistentes que delimitan la extensión de la zona de falla. Estableciéndose parámetros geotécnicos y la profundidad a la cual se encuentra la roca.

Todo este conjunto reveló la necesidad de formular un plan de trabajo mixto, que conjugara la exploración directa mediante trincheras (columnas estratigráficas), sondeos con barrenos manuales y la prospección con sondeos eléctricos verticales. Se levanto una (1) columna estratigráfica en toda la zona, tres sondeos eléctricos verticales SEVs y catorce (14) perforaciones que cobijaron no sólo los principales cuerpos de deslizamiento, sino el contexto completo de las unidades geomorfológicas y de los materiales que constituyen la secuencia estratigráfica.

- **Perforaciones.** Las perforaciones se llevaron a cabo con equipo manual hasta el contacto con el sustrato rocoso; realizando ensayos de penetración estándar en los diferentes horizontes. La toma de muestras se realizó con muestreadores de pared delgada (tubo shelby) bien en los cambios de material o en donde se considerara pertinente. Paralelo con el avance se adelantaron ensayos de penetración estándar (SPT), en los diferentes horizontes, si el registro así lo indicaba. Esta prueba in situ sirvió de soporte para la caracterización geomecánica del cuaternario.

En la secuencia estratigráfica de cada perforación, se destaca el tipo de material interceptado, sus características texturales y físico mecánicas. En los perfiles estratigráficos se observa la variación de las propiedades de resistencia con la profundidad y las propiedades índice de los suelos.

Sondeos Eléctricos Verticales SEVs. Con el fin de interpretar el tipo de material presente y su espesor, se realizaron tres (3) sondeos eléctricos verticales, los cuales ofrecieron información a profundidades mayores a las alcanzadas en las demás perforaciones.

Los sondeos eléctricos verticales, se realizaron sobre un relleno de material de escombros mezclados con basuras, los cuales forman parte de la ladera de la Quebrada Triángulo **y** se obtuvieron registros de resistividades los cuales fueron interpretados obteniendo los siguientes resultados:

- En el **SEV 1** se observa una secuencia litoestratigráfica conformada en su parte superior por un nivel de relleno de materiales de construcción mezclados con basuras, plásticos, frascos, etc., con un espesor estimado de 8.10 metros; luego se encuentra una alternancia de arcillolitas grisáceas y areniscas arcillosas registrando valores de resistividad de 35.1 a 43.5 Ohm-m, con un espesor de 9.30 metros; finalmente se registra un nivel de arcillolitas, con valores de resistividad de 20.8 a 23.1 Ohm-m y un espesor que supera los veinte metros**.**

- El **SEV 2** realizado con una separación aproximada de quince (15) metros con respecto al SEV 1, presenta en su parte superior un perfil de relleno de materiales de construcción mezclados con basuras, plásticos, frascos, etc., con un espesor de 7.20 metros aproximadamente y valores de

resistividad de 17.4 a 84.5 Ohm-m; A partir de este nivel se aprecia una alternancia de arcillolitas grisáceas y areniscas arcillosas, con un espesor superior a 13.70 metros y valores de resistividad los cuales oscilan entre 21.1 y 36.5 Ohm-m.

- El **SEV 3** realizado con una separación aproximada de dieciocho (18) metros con respecto al SEV 2, registra un nivel de relleno de materiales de construcción mezclados con basuras, plásticos, frascos, etc., con un espesor de 5.90 metros y valores de resistividad de 17.9 a 95.2 Ohm-m; A continuación se presenta la alternancia de arcillolitas grisáceas y areniscas arcillosas de 12.3 a 26.9 Ohm-m de resistividad y un espesor que supera los 12 metros.

3.4.2 Ensayos de Laboratorio

El programa de ensayos se dirigió a la caracterización de los diferentes materiales, a la estimación de la resistencia al corte en ellos y a la clasificación del macizo rocoso. Por ello se decidió por una campaña de muestreo sistemático de los principales depósitos y frentes de exposición del macizo a lo largo de la ladera y una revisión de los mecanismos de falla.

El programa para los horizontes de suelo agrupa pruebas de clasificación y ensayos de resistencia al corte como compresión inconfinada, penetrómetro de laboratorio y corte directo.

Con base en los perfiles estratigráficos obtenidos en las perforaciones de campo, se elaboraron los perfiles típicos de la zona de estudio, los cuales presentan en general las siguientes características:

En la base se encuentra una arcillolita abigarrada de consistencia relativamente dura y en el contacto se encuentra el material producto de la degradación de la arcillolita, que permite el deslizamiento de los materiales superficiales con facilidad. Sobreyacen a este material sedimentos poco consolidados formados por arcillas y depósitos de material arcilloso heterogéneo de relleno con basuras y detritos de demolición, que sirven de matriz a fragmentos ocasionales de areniscas y bloques de roca.

La clasificación de los materiales y la variación de sus propiedades con la profundidad se describe para las siguientes partes de la zona de estudio:

Materiales varios de relleno, compuesto por detritos de demolición, escombros y basuras, suelto y fisurado por raíces. Clasifica por el Sistema Unificado como OH, CH y SM, presenta límites líquidos que oscilan entre 35 y 48%, con índices de plasticidad del orden de 20%. El índice de consistencia presenta valores mínimos de 0.8 y máximos de 1.9.

Tanto los perfiles de suelo residual como coluvial, son principalmente arcillosos de baja plasticidad, con porcentajes de humedad entre 10% y 26%, e intervalos estrechos del índice de plasticidad (desde 20% hasta 32%). El peso unitario posee poca variación y se ubica en un promedio de 2.1 t/m^3 con una desviación estándar de 1.5 t/ m^3 (equivalente al 7% del promedio).

De los reportes de corte directo, se aprecia que los horizontes de suelo residual poseen ángulos de fricción pico en el intervalo $20° < \phi < 23°$, con cohesiones inferiores a 2.6 t/m^3. Los parámetros de resistencia residual alcanzan un máximo de 21 para ϕ'_{res} y 0.7 t/m^2 para c'_{res}.

La caracterización del material rocoso se llevó a cabo sobre muestras irregulares de bloque, que fueron sometidas a pruebas índice de peso unitario, y carga puntual, y sobre muestras regulares de forma cilíndrica a las que se les practicó comprensión inconfinada. Los testigos ensayados correspondieron a

unidades de roca de los principales bancos. Así entonces, se ensayaron arcillolitas de consistencia dura. El material remoldeado clasifica como arcilla de baja plasticidad CL.

3.4.3 Pruebas de Campo

La diversidad y heterogeneidad de los depósitos, producto de los fenómenos de remoción en masa, de la degradación del sustrato rocoso y de la acción del hombre (rellenos), condicionan la representatividad de los datos de laboratorio, máxime cuando se toma en consideración la amplia superficie de estudio. Dada esta dificultad, se acudió al ensayo de penetración estándar, con el fin de complementar la caracterización geotécnica de dichos materiales.

Una vez obtenidos los registros de campo, la información fue sometida a validación y homogeneización. Los valores de N (numero de golpes) fueron corregidos por confinamiento y nivel de energía; es decir se normalizaron a un esfuerzo de 100 kPa y a una tasa efectiva de energía de 60%. Todo ello con el ánimo de estimar los parámetros efectivos de resistencia con el SPT, tal como lo propone González (1997).

Las arcillolitas de color gris claro a morado, meteorizadas, altamente plásticas, erodables y muy susceptibles a los agentes meteóricos. Con espesor de hasta 17.50 metros, constituyen el principal manto lítico en las laderas y presentan como características físico-mecánicas las siguientes:

Peso Unitario	2.2 ton/m^3
Humedad Natural	7% - 15%
Ángulo de Fricción Básica	37°
Cohesión	2 ton/m^2

Los depósitos de ladera recientes, están compuestos por suelos arcillosos de baja plasticidad y de consistencia blanda-media ($0.4<=c_u<=5.0$ ton/m^2), tienen espesores máximos de 1.1 metros aunque el promedio oscila cerca a 0.5 metros y los rellenos heterogéneos con un espesor máximo de exposición de 6.6 m., están conformados por materiales heterogéneos, embebidos en matriz arcillosa de baja plasticidad, su ubicación espacial es aleatoria.

3.5 ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

El estudio hidrológico tiene como objetivos los siguientes:

- Describir el régimen temporal y espacial de la precipitación media anual,
- Determinar los aguaceros de corta duración
- Determinar la influencia de la precipitación como agente detonante de los fenómenos de remoción en masa.
- Determinar la magnitud de la lluvia critica y su periodo de retorno que dispara deslizamientos.

El área de estudio se encuentra localizada en la cuenca de montaña del Río San Cristóbal, donde el río presenta un cauce torrentoso, el barrio San Cristóbal Sur, se encuentran dentro del área aportante al Río; la zona presenta una precipitación muy fuerte y gracias a la cobertura vegetal existente y a las pendientes fuertes de las laderas, casi toda se convierte en escorrentía natural generando tiempos de concentración muy bajos para la cuenca a la altura del cruce con la vía Oriente.

Para el análisis hidrológico se estudiará solamente el elemento climatológico precipitación, ya que es el principal agente de la erosión hídrica y uno de los factores detonantes de los fenómenos de remoción en masa.

Con el objetivo de establecer el comportamiento climático de la región se trabajó con información de tres estaciones cercanas al área del proyecto, dos de ellas del IDEAM y la más cercana de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. En la **Tabla 1** se presentan las características de cada una de las estaciones utilizadas.

TABLA 1. CARACTERISTICAS DE LAS ESTACIONES UTILIZADAS

CODIGO	NOMBRE	TIPO	PERIODO DE REGISTRO	ELEVACIÓN (MSNM)	COORDENADAS		CUERPO DE AGUA
					N	E	
2120524	VITELMA	CO-EAAB	1947-1997	2.800	997.540	1.000.600	RIO SAN CRISTOBAL
2120558	VENADO DE ORO	CO-IDEAM	1979-1999	2.725	1.000.105	1.001.581	BOGOTA
2120572	SAN JORGE	CO-IDEAM	1979-1999	2.900	990.160	987.380	SOACHA

CO = Estación climatológica ordinaria

- **Precipitación.** En la zona de estudio se presenta un régimen de precipitación caracterizado por lluvias de mediana intensidad y larga duración, debido a la localización del proyecto en un área cercana a la divisoria de aguas del sector sur-oriental de Santa Fe de Bogotá y a la influencia del ZCIT. Lo cual obedece a la formación de cinturones de nubes generados por la condensación del aire húmedo procedente de la Amazonia, durante el movimiento regular de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT: sector de la parte tropical donde convergen las masas de aire o corrientes de aire húmedo provenientes de los hemisferios norte y sur), y de otro lado por las Ondas del Este, procedentes del océano Atlántico Venezolano y noreste colombiano (Catatumbo), lo que sucede especialmente hacia los meses de Julio, Agosto y Septiembre.

Dicha particularidad permite que exista una continuidad entre el invierno provocado por la ZCIT cuando baja en Abril-Mayo al Ecuador y cuando regresa hacia los meses de Octubre y Noviembre al Atlántico, generando en la zona andina un **Régimen bimodal** de precipitación.

El comportamiento bimodal de la lluvia en el sector se establece por un primer periodo lluvioso comprendido entre los meses de Marzo, Abril y Mayo, siendo Abril el mes más lluvioso del período con 116.7 y 110.5 mm de precipitación media mensual multianual para las estaciones Venado de Oro y Vitelma respectivamente. Los meses de Octubre y Noviembre corresponden al segundo período de lluvias, siendo el mes de Noviembre el más extremo con 137.3 y 124.4 mm de precipitación media mensual multianual para las mismas estaciones. El periodo más seco se vive durante los meses de Diciembre a Febrero siendo Febrero el de menor precipitación media mensual multianual con 61.6 mm para la estación Venado de Oro y 48.6 mm para la estación Vitelma.

La estación más cercana a la zona de estudio es la estación de Vitelma perteneciente a la EAAB. Espacialmente se puede observar que la zona más lluviosa se localiza al norte siendo la estación Venado de Oro la que presenta mayores valores de precipitación con valores promedio anuales de 1093.5 mm, en la estación de Vitelma se obtienen valores de 955 mm de precipitación media anual, en la zona suroccidental representada por la estación San Jorge la precipitación promedio multianual alcanza un valor de 725.8 mm.

- **Relación de Precipitación Crítica – Duración que Disparan Movimientos en masa.** Para determinar la relación precipitación crítica – duración se utilizó el "Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá" (INGEOCIM – UPES, 1998), realizado por la firma INGEOCIM Ltda para la Unidad de Atención y Prevención de Desastres (UPES) de Santafé de Bogotá.

En este estudio se encontró que la ciudad de Santafé de Bogotá se puede dividir en dos zonas a partir de la lluvia crítica y de la duración con las siguientes ecuaciones:

Zona Suroccidental	Llcrit = 0.3609*Llan	
Cerros Orientales	Llcrit = 12.6326+0.1814*Llan	
Donde:	Llcrit = Lluvia crítica en mm	Llan = Lluvia anual en mm
Zona Suroccidental	$D = 3.2829*Llcrit^{0.4157}$	D = Duración en días
Cerros Orientales	D = 0.04923*Llcrit	

El sector de estudio corresponde a la zona de cerros orientales obteniéndose una precipitación crítica de 210.81 mm y una duración de 10.4 días. El análisis de registro multianual mensual, utilizando la Estación Venado de Oro, para un valor de precipitación media anual de 210.81 mm se encontró un periodo de retorno de lluvia crítica de 12 años, que corresponde a una probabilidad anual de 8%.

3.6 INVENTARIO DE VIVIENDAS

Se realizó dentro del estudio, un inventario de viviendas para la evaluación de la vulnerabilidad que consistió en el diligenciamiento del formato de inventario. La información contemplada en el formato incluye, entre otros, datos sobre: área del lote, área construida, valor estimado de los bienes y enseres, valor del predio, estado actual de la construcción, sistema estructural, daños, ingresos familiares y cobertura de servicios. Todos tendientes a establecer la exposición y la resistencia de las construcciones y la capacidad de reacción de los habitantes en caso de presentarse algún proceso de inestabilidad que afecte sus viviendas.

El inventario contempló 42 predios, de los cuales el 35% ocupan las áreas de mayor percepción de riesgo. La totalidad de las viviendas está integrada por construcciones de uno y dos pisos, bien con sistema estructural de muros divisorios ó prefabricadas. La cobertura de servicios públicos básicos es aceptable, reflejo de ello es que todas las viviendas poseen servicio luz, sólo el 14% de las residencias carecen de agua y el 26% de las viviendas no poseen servicio de alcantarillado; además el 100% de las unidades residenciales no cuentan con servicio de gas y el 26% no tienen línea telefónica.

4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE AMENAZA ACTUAL

4.1 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

La delimitación de las zonas homogéneas, se tomaron como base en las unidades geomorfológicas que condensan unidades de ladera con materiales similares, condiciones de drenaje, tipos de procesos y morfometría semejante. En este sentido, su delimitación se enfocó a la determinación de las propiedades físico-mecánicas de los materiales propios de cada una. Para ello no sólo se contó con los resultados de los ensayos de laboratorio y las pruebas in situ, sino que además se realizaron análisis retrospectivos en los principales cuerpos de deslizamiento, con el fin de conocer los parámetros movilizados. El proceso involucró, en algunos casos, la extrapolación de la información condensada en ciertos sectores hacia otros donde la investigación geotécnica fue deficiente, labor, que se facilitó gracias a la demarcación previa de las unidades geomorfológicas.

- **LAR.** Ladera de arcillolitas y arenisca arcillosas de plasticidad media a alta, meteorizadas.
- **LAN**. Laderas de escombros. En esta unidad presenta procesos potenciales de deslizamientos de tipo traslacional y rotacionales con espesores entre 1 y 8.10 metros sobre superficies de falla inclinada desde 30º hasta 51º. El peso unitario oscila entre 1.92 y 2.35 Ton/m^3, y los parámetros de resistencia promedios en estos suelos son: $c' = 0.4$ Ton/m^2 y $\phi' = 30º$ (análisis retrospectivo).
- **LAN1**. Ladera de Relleno Antrópico, esta conformada por material de excavación de cantos, bloques y materiales finos, combinados con basuras sin reconformar adecuadamente, morfológicamente se caracteriza por una zona de pendiente moderadamente inclinada, en esta unidad no se aprecian procesos de remoción en masa.
- **LC**. Laderas coluvial constituida por cantos y bloques subangulares embebidas en matriz arcillo-arenosa de baja plasticidad, peso unitario entre 2.19 Ton/m^3, índice de plasticidad promedio entre 15% y 24% y espesores estimados de 1.5 a 2.5 m. donde se aprecian procesos incipientes de reptación. Los parámetros de resistencia promedios en estos suelos son: $0.09 \geq c' \leq 0.17$ Ton/m^2 y $18.5º \geq \phi' \leq 28.9º$ (SPT).
- **LC1**. Ladera coluvial reciente constituida por gravas y cantos subangulares en matriz arcillo-limosa con plasticidad baja de alrededor de 25%, humedad natural entre 13 y 24%. El depósito muestra espesores entre 1.3 y 7.20 m. Y procesos activos y potenciales de inestabilidad de tipo traslacionales y rotacionales. Los parámetros de resistencia son: $c' = 0.17$ Ton/m^2 y $18.5º \geq \phi' \leq 28.9º$ (SPT).
- **LC2**. Ladera Coluvial Intermedia, constituida por materiales heterogéneos de tamaño variado (cantos y gravas), subangulares embebidos en matriz arcillo arenosa que cubren discordantemente una secuencia de arcillolitas y areniscas arcillosas, de grano fino, de color amarillo a morado. El proceso morfodinámico más relevante es la reptación y deslizamientos traslacionales. Los parámetros de resistencia son: $c' = 0.17$ Ton/m^2 y $18.5º \geq \phi' \leq 28.9º$ (SPT).
- **LSF.** Ladera conformada por suelo residual cubierto por rellenos de material de excavación de carácter arcilloso combinado con basuras se presenta flujos de suelos sobre planos cuya inclinación varía entre 55º y 59º. El espesor del depósito oscila entre 2 y 2.50 m y los parámetros de resistencia son: $c' = 1.34$ Ton/m^2 y $\phi' = 20º$ (ensayo de corte directo).

4.2 ANALISIS DE ESTABILIDAD

El análisis de estabilidad se enfocó al análisis de los modos probables de falla, se modelo con la ayuda de los métodos de equilibrio limite para cada zona homogénea los modos de falla observados en campo (y registrados en el inventario de procesos) en el cuaternario así: deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales y flujos de tierra.

En los modelos estáticos se realizaron diferentes "corridas" con el fin de estructurar un análisis paramétrico y de sensibilidad a partir de los valores mecánicos obtenidos en el laboratorio y de las pruebas de campo, y de esta manera tener una percepción tanto del espectro probable de variación de parámetros de resistencia, como del grado de estabilidad.

- **Análisis Cinemático**. en el área de estudio no se realizo el análisis cinemático del macizo rocoso, debido a que no se aprecian afloramientos de roca donde se aprecien las discontinuidades (diaclasas, planos de estratificación), por lo tanto solo se realizo el análisis de estabilidad para las laderas sobre materiales recientes, como se indica en el siguiente capitulo.

- **Análisis Estático**. Con este tópico se pretende, para los taludes potencialmente inestables, más que obtener valores absolutos del factor de seguridad para condiciones unitemporales, como puede ser el caso de un talud seco sin sismo, ilustrar el espectro de posibilidades para el que aquéllos pueden mantenerse estables o fallar.

El significado del factor de seguridad tiene mayor relevancia cuando se expresa en términos de probabilidad de falla, que cuando se deja como un valor numérico sin dar una explicación física. De otro lado, el factor de seguridad reportado en estudios geotécnicos está ligado normalmente con las condiciones más críticas, no siempre válidas, y no con las más probables a las que podría someterse una ladera, máxime si tiene en cuenta la difícil y dispendiosa tarea de obtenerlas.

Bajo los lineamientos anteriores, se definieron 8 secciones de análisis, sobre las cuales se evaluaron las laderas en la totalidad de las zonas homogéneas de acuerdo con la probable dirección de movilización de las masas potencialmente inestables. Se asume entonces, que el grado de estabilidad de cada una de ellas es equivalente para la región (zona homogénea) a la cual pertenece.

Los mecanismos son falla traslacional superficial y flujos de tierra, donde los materiales involucrados son: depósitos coluviales arcillosos (Qc, Qc1, Qft), suelos residuales y rellenos antrópicos. La profundidad máxima de los movimientos no supera los 5.20 m y su movilización se realiza cerca al contacto con la roca, sobre planos de rotura que oscilan entre 16.3° y 67.7°. Para el análisis estático de las laderas se adoptó como método de evaluación el Equilibrio límite, específicamente la propuesta de Janbu, y como herramienta de trabajo el programa PCSTABLE 6 (1997).

Definidos los tipos de falla por estudiar, el siguiente paso consistió en formular un análisis paramétrico y de sensibilidad para cada uno de los taludes en estudio según los principales mecanismos (i. e. Falla traslacional y rotacional). Es decir, para los casos que involucraban deslizamientos activos, estabilizados y potenciales avanzados, se determinaron los valores de cohesión y del ángulo de fricción movilizados en la falla, que permitieran obtener un factor de seguridad equivalente a la unidad, en este sentido se tomaron como puntos de partida los parámetros obtenidos durante la investigación geotécnica. Los registros que cumplieron con tal condición se adoptaron como valores promedio.

4.3 EVALUACIÓN DE AMENAZA ACTUAL

La estimación de la amenaza, entendida como probabilidad de ocurrencia de un evento en un espacio y tiempo determinado con consecuencias negativas tanto para la comunidad, como para animales y medio ambiente en general, puede hacerse mediante análisis cuantitativo o por métodos puramente empíricos (cualitativos). En el primer caso, la amenaza es función de múltiples factores que controlan la estabilidad de una ladera, ya sean internos o externos, los cuales están expresados como variables aleatorias, debido a que no son parámetros constantes y en ocasiones son desconocidos. En el segundo caso, los componentes se evalúan subjetivamente y se asignan rangos de intensidad.

En este estudio se empleo el método cuantitativo (técnica determinística) con el fin de evaluar la amenaza. Para ello se siguieron los lineamientos de probabilidad de falla presentados por Hoek (1996) en el curso teórico - práctico “Decisiones prácticas y riesgos aceptables en ingeniería de rocas” y que se apoya en el planteamiento de aproximación probabilística del Método de Estimación de Punto (PEM) propuesto por Rosenblueth (1975).

La evaluación de amenaza requirió como insumos: conocer los mecanismos de falla, y las funciones de probabilidad de las variables involucradas. Dichos elementos ligados con el método de análisis de estabilidad más conveniente, permiten determinar las curvas de probabilidad para cada uno de los taludes en estudio.

Si bien el análisis en principio se realizó para los casos individuales, simulando dos periodos de trabajo, uno actual y otro a 10 años, la probabilidad condicional de falla obtenida en cada uno fue elemento

fundamental en la definición de las curvas de probabilidad de falla de la zona de estudio por mecanismo de falla. Estas gráficas condujeron a la elaboración de los Mapas de Amenaza.

Para determinar el área de amenaza, se calculó la posible distancia de viaje de los materiales involucrados en el movimiento, distancia determinada a partir del patrón geométrico de los taludes estudiados (mismas secciones) y del proceso de inestabilidad aplicando las ecuaciones presentadas por Finlay et al (1999). Esta ultima distancia fue sumada a los limites obtenidos mediante el análisis de estabilidad de taludes.

4.3.1 Variables Aleatorias

Las variables aleatorias para los mecanismos de rotura seleccionados, están relacionadas con los cambios espaciales de los materiales geológicos, parámetros de resistencia al corte; y con las condiciones ambientales: aceleración del terreno para un sismo dado y el nivel del agua.

Cada variable aleatoria fue descrita por una función de probabilidad a partir de una media (μ_x) y la desviación estándar (σ_x). Así, para los coeficientes de resistencia, c, ϕ, las medias fueron tomadas del análisis de sensibilidad. En este sentido se adoptaron como valores promedio los registros del escenario probable actual para las condiciones de agua y sismo en cada unidad de ladera estudiada. Por su parte, la desviación estándar se definió con base en análisis estadísticos siendo de 0.09 Ton/m^2 para el coeficiente de cohesión y 7.35º para el ángulo de fricción en todos los materiales y para el ángulo de fricción se obtuvo una desviación estándar de 7.2 en la sección A-A y de 7.35 en las demás secciones en todos los materiales.

4.3.2 Análisis de Resultados y Zonificación

Fijos los comportamientos de las fuentes incertidumbre, las funciones de probabilidad de las variables se constituyeron en elementos fundamentales para la determinación de la función de probabilidad de falla de cada uno de los taludes potencialmente inestables estudiados en el numeral anterior.

En este sentido se realizaron múltiples corridas, contemplando para el método de Hoek (1996) sólo los valores de las variables en el intervalo $\mu_x - \sigma_x$ y $\mu_x + \sigma_{x,}$, con el fin de determinar el factor de seguridad (en cada caso) o para escenarios extremos de los parámetros de resistencia: C_{min}, ϕ_{min}, C_{max}, ϕ_{max}, entre otros; y de acuerdo con la acción individual o conjunta de los detonantes y para el tiempo de exposición considerado, si se trata del método de Rosenblueth.

De los resultados obtenidos, se puede apreciar que la probabilidad de falla para la mayor parte de las laderas es alta (superior a 45%)**.**

Dichas laderas, predominantemente coluviales y de suelo residual cubierto por rellenos se disponen a lo largo del área sobre la cual fue fundado el barrio San Cristóbal Sur, lugar donde se hace necesario planificar su futuro desarrollo, el que se debe encaminar a restringir el uso de las mismas**,** como zona de urbanismo máxime si se observa que la probabilidad de falla para un periodo de 10 años, aumenta notablemente hacia áreas contiguas.

Con la ayuda de las curvas de relación de probabilidad de falla por tipo de fenómeno y por tiempo de exposición, y conocida la composición estratigráfica y geotécnica de cada ladera de estudio y las distancias de viaje de las masas potenciales, fue posible obtener algunos de los productos más importantes de este trabajo, los Mapas de Zonificación por Amenaza Actual y a 10 años.

En este sentido el área de estudio quedó dividida en tres categorías, catalogadas como de amenaza: baja, media y alta, a partir de la probabilidad de falla, como se indica en la siguiente Tabla.

Factor de Seguridad (FS)	Probabilidad de Falla (Pf)	Categoría de Amenaza
> 1.6	<0.09	Baja
1.6 – 1	0.09 – 0.45	Media
< 1	>0.45	Alta

Los sectores con amenaza alta, se localizan al suroriente de la zona e involucra las viviendas 1 y 2 y la parte posterior de las viviendas 21 a 25, en esta zona se ve afectadas directamente las viviendas 18 y 21, los lotes sin construcción demarcados con el No 19 y 20 y el solar de las viviendas 22 a 25; las zonas de amenaza baja se localizan hacia la zona aledaña a la fabrica Gaitana y la carretera oriente viviendas delimitadas desde la 6 a 9 y hacia el extremo noroccidental del área de estudio, viviendas 30 al 42; la zona de amenaza media comprende la mayor parte de la zona objeto del estudio y dentro de ellas se involucran las viviendas 3 a 5, 10 a 17 y del 22 a 29.

No obstante, para el periodo de exposición de 10 años, la condición de amenaza cambia en algunos sectores especialmente en la parte central de la zona, pero no involucra mas viviendas.

5 VULNERABILIDAD Y RIESGO ACTUAL

Se entiende por vulnerabilidad, la relación existente entre el grado de exposición de los elementos expuestos (ubicación con respecto al fenómeno amenazante) y la capacidad de respuesta (resistencia estructural, económica, y conocimiento de la amenaza) por parte de los mismos (infraestructura, medio ambiente y comunidad) ante la eventual ocurrencia de un evento destructor.

Para su evaluación se utilizo la formula que a continuación se presenta, propuesta por INGEOCIM, 1998;

$$V = f(E/R)$$

Donde,

V : Vulnerabilidad
R : Resistencia del elemento expuesto ante la ocurrencia de un evento
E : Grado de exposición del elemento.

La evaluación de vulnerabilidad tiene como objetivo analizar la respuesta de los elementos amenazados frente a cualquier evento, en especial a los diferentes fenómenos de remoción en masa presentes en la zona de estudio y, junto con la evaluación de amenaza, plantear el (los) tratamiento(s) por adelantar. Dentro de este contexto, por ejemplo, si las viviendas se encuentran en zona de alta amenaza pero los elementos no se localizan en la zona de influencia o, se encuentran expuestos y gracias a su resistencia no sufren daño alguno, puede optarse por convivir con el problema; en caso contrario, y dependiendo de la gravedad de las consecuencias, se debe recurrir a obras de estabilización o a programas de reubicación.

El estudio de la vulnerabilidad física de los elementos expuestos, en este caso las viviendas, se realizó teniendo como fuente de información básica el "Formulario para la evaluación de daños en edificaciones en caso de deslizamiento". El citado formulario indaga sobre diferentes tópicos tendientes a establecer parámetros útiles para la evaluación tanto de la vulnerabilidad física como de la social. Para la primera, el análisis se realizó de manera semicuantitativa con adaptaciones específicas para este proyecto (más extrapolables para otros ámbitos) a la metodología propuesta por Leone (1996). Las adaptaciones se refieren a la resistencia de los elementos (tipología de viviendas), a la asignación del grado de exposición (a partir de las longitudes de viaje de las masas potencialmente inestables Finlay et al, 1999) y a la matriz de daño, elaborada con base en las anteriores. Para la segunda, la vulnerabilidad social, el análisis es apenas cualitativo y se basa en la información de los formularios como: el nivel de ingresos, la percepción de peligro, las recomendaciones para medidas urgentes, la cobertura de los servicios públicos y el índice de carencia de vivienda.

La vulnerabilidad física de las viviendas ubicadas en la zona de estudio, se puede evaluar tomando en consideración aspectos sobre tipología de las viviendas, la cobertura de los servicios públicos y la calidad de la construcción, en este ultimo aspecto, se puede hablar incluso del mantenimiento de la construcción.

Con fines prácticos, para la elaboración de este trabajo, se optó por evaluar la vulnerabilidad de las viviendas a partir del grado de exposición de estas ante el fenómeno amenazante (índice de exposición, IE) y del comportamiento de las construcciones en tal circunstancia (índice de resistencia, IR), siguiendo la siguiente metodología:

- **Índice de Exposición (IE).** Esta variable cobra importancia dentro del análisis de vulnerabilidad física si se considera que si y solo si los elementos se encuentran dentro de la zona de influencia de los eventos (es decir, expuestos), pueden ser atacados por ellos.

La determinación del índice de resistencia involucro conocer el tipo de fenómeno a estudiar y su distribución espacial; en este sentido, todo movimiento está compuesto por tres grandes zonas que son: La Zona de Influencia Directa (ZID) definida como el área en la que tiene lugar el movimiento, la Zona de Influencia Indirecta (ZII) que corresponde a aquélla que puede ser invadido o afectado por la masa deslizada y una última denominada Zona de Influencia Nula (FZI), en donde no se espera ningún tipo de afectación.

De la evaluación geotécnica y con base en los diferentes fenómenos de remoción en masa que afectan los elementos físicos del barrio **(Inventario de procesos,** se determinaron las zonas de afectación directa (ZID) e Indirecta (ZII) y las no afectadas (FZI), para cada mecanismo, como se indica en el plano 6. El contacto de la primera zona fue definida gracias a las evidencias de campo; así para las laderas con posibilidad de deslizamiento rotacional o traslacional, se considero la proyección horizontal de la superficie critica de estabilidad.

El limite externo de la zona de influencia indirecta (ZII) se obtuvo con base en la distancia de viaje de las masas inestables. Ella fue determinada a partir del patrón geométrico de las laderas estudiadas, siguiendo los lineamientos presentados por Finlay et al (1999) y la propuesta formulada por Hoek (1996).

Con base en la localización de las viviendas dentro de las áreas de distribución espacial de los movimientos, se asigno el índice de exposición intentando considerar la magnitud de los eventos y su solicitación sobre los elementos teniendo en cuenta la superficie de contacto (SC) que un deslizamiento pudiera provocar sobre los muros, dado que la solicitación de este tipo de fenómenos corresponde a presiones laterales y, el volumen del material deslizado es un indicativo de la magnitud de estos procesos.

Los análisis efectuados permitieron determinar la afectación potencial de las viviendas de acuerdo a su ubicación dentro de la zona de influencia de los procesos de inestabilidad, de la siguiente manera:

Las viviendas localizadas en la ZID se tomó un valor SC = 0.75, ZII el valor SC = 0.35 a 0.45 y FZI un valor SC = 0.09.

- **Índice de Resistencia (IR).** En términos generales, la importancia de evaluar la resistencia radica en que a mayor resistencia de los elementos, la vulnerabilidad física es menor. Aunque la resistencia de la vivienda como conjunto está determinada por la de sus componentes, en el presente estudio, se estimó un comportamiento integral asociado a la clase de sistema estructural; no obstante lo anterior, éste es el reflejo, en alguna medida, de las partes.

Retomando la concepción de cualificar el comportamiento de las viviendas, integralmente éstas fueron discriminadas según el sistema estructural, la calidad de sus materiales y su calidad constructiva en:

Recuperación y Palafitos: Encierran viviendas construidas con sistemas estructurales muy precarios en madera y sin un correcto sistema de transición de cargas al suelo de fundación; en materiales como cartón, lata y madera; sin sistema de cimentación; con techos construidos en zinc, madera, lata, cartón y mixtos; la calidad se considera baja.

Prefabricados: Como su nombre lo indica, son viviendas modulares en concreto, de media a baja calidad constructiva cimentadas sobre placas delgadas del mismo material; la estructura del techo es en madera y su cubierta en teja de asbesto – cemento.

Vivienda en Mampostería: Contempla todas las viviendas de uno ó dos pisos, cuyos muros son en mampostería con diferentes tipos de elementos de amarre estructural, donde ellos hacen las veces de unidades de soporte. Con calidad constructiva que oscila desde alta hasta regular; la cubierta usualmente es de asbesto, cemento ó zinc.

Vivienda hasta dos niveles, de buena calidad de construcción con estructura. Estas unidades involucran sistemas aporticados con placas de entrepisos cuyos materiales de cubierta pueden ir desde la teja en asbesto – cemento hasta concreto.

El índice de resistencia utilizado para evaluar la vulnerabilidad se midió a partir de las componentes del sistema estructural de las viviendas como son: la cubierta, C, la estructura de techo, T, y el tipo de sistema estructural, SE**,** y el tipo de material constitutivo de cada

componente. Sin embargo, vale la pena mencionar que el mejor parámetro de resistencia debería obtenerse de ensayos in-situ sobre los componentes estructurales, pero este tratamiento elevaría el costo del estudio.

Los criterios de evaluación fueron adoptados en forma discreta para toda el área de estudio. Esto significa que la valoración de los parámetros involucrados se realizó discriminando tanto por el tipo de solicitud (FRM) como por la ubicación de la vivienda ante ella.

A las variables mencionadas se les asignó un grado de contribución a la resistencia, simulando que en todos los casos los cuerpos movidos ejercen presiones laterales, así:

Tipo de cubierta. Ésta puede aportar un 20% de la resistencia de la vivienda ante un fenómeno de remoción en masa. En el barrio San Cristóbal Sur predominan las cubiertas en teja y zinc, y en un menor porcentaje se encuentran las de asbesto cemento y de recuperación.

Estructura de techo. El material de la estructura de techo fue incluido como elemento aportante en un 20% de la resistencia total de la vivienda. La estructura de mayor predominio en San Cristóbal Sur es la de madera seguida de concreto reforzado.

Sistema Estructural. Otra de las variables involucradas es el tipo de sistema estructural, siendo éste el elemento considerado con mayor aporte, 60%.

El aporte de cada tipo de material para los componentes estructurales se realizo de forma cualitativa. Los valores fueron asignados entre 0 y 1 (de menor a mayor capacidad de respuesta), intentando calificar su contribución como elemento reductor de la energía cinética de las masas inestables.

Por último el índice de resistencia se definió a partir de la siguiente relación:

$$IR = 0.2*C + 0.2*T + 0.6*SE$$

Donde,

IR : Indice de resistencia
C : Valor asignado para tipo de cubierta
T : Valor asignado para tipo de estructura de techo
SE : Valor asignado para tipo de sistema estructural

- Intensidad e Índice de Daño (InD e ID). Los perjuicios que se producirían sobre las unidades, están condicionados por dos variables: el de exposición y el de resistencia; el primero involucra el tipo de evento (deslizamientos traslacionales o rotacionales, flujos, etc.), la localización de las viviendas con respecto al mismo y la solicitación que el proceso ejerza sobre los componentes; el segundo, la calidad, propiedades y atributos de las casas, que, como se ha expresado antes, se condensan en la tipología. La contribución de las variables ya expuestas se registra en la matriz de intensidad de daño. Esta intensidad se cuantifica desde Muy Baja (I), hasta Muy Alta (V) y se formula con un índice de daño (ID) que representa el porcentaje de destrozos en la vivienda.

- **Índice de Vulnerabilidad Física (IVF).** Con los índices de resistencia y exposición hallados anteriormente, se calculó la resistencia movilizada (RM) que es una expresión de los posibles daños provocados al elemento expuesto por un fenómeno, para lo cual se buscó una ecuación que cumpliera con las siguientes condiciones:

Cuando IE = 0, RM = 0.
Cuando IE = 1, RM = 1.
Para cualquier valor de IR e IE, $1 \geq RM \geq 0$.

Pueden existir innumerables funciones que cumplan con las anteriores condiciones, sin embargo para fines prácticos se adaptó la ecuación propuesta por Ingeocim (1998), reemplazando el índice de vulnerabilidad por deslizamiento, IVD, por la RM y el índice de vulnerabilidad física, IVF, por el índice de exposición, IE:

$$RM = [1-(IR)^{IE}]^{(1-IE)}$$

Donde,

RM: Resistencia movilizada.
IR : Índice de resistencia.
IE : Índice de exposición.

De esta manera, se estableció un paralelo entre la RM y la matriz de daño presentada por el DRM y que involucra el tipo y la magnitud del evento y la solicitación de los elementos, mediante la ecuación:

$$InD = 1+4*RM$$

En la que una InD = 1 (I), equivale a daños leves y una InD = 5 (V) que es la máxima, corresponde a daños severos.

Adicionalmente, y a partir de las descripciones de la Intensidad de daño del DRM se estableció el Índice de Daño, ID, que sería equivalente al Índice de Vulnerabilidad Física si la confiabilidad de los datos fuera del 100%. De acuerdo con las condiciones propias del presente estudio, se asumió que ésta es del 80%, lo cual indica que:

$$IVF = ID/CfF$$

donde:

CfF es el coeficiente de confiabilidad = 0.8

El índice de vulnerabilidad física calculado, muestra que mientras menor sea la resistencia de los elementos expuestos, la vulnerabilidad también lo será; el análisis de frecuencia de índice y la cualificación de la vulnerabilidad se realizo con base en los siguientes criterios:

IVF	Categoría de vulnerabilidad
0 – 0.12	Baja
0.12 – 0.4	Media
0.4 - 1	Alta

5.3 RIESGO ACTUAL

El riesgo incurrido en una zona o elemento, frente a una solicitud determinada, se puede expresar como el producto de la probabilidad de ocurrencia de la solicitud (amenaza actual-Pf), con el índice de vulnerabilidad de los elementos expuestos, sobre la confiabilidad de la información recolectada la cual fue asumida 0.8, en un rango de 0 a 1.

$$Riesgo = Pf * IVF/0.8$$

El índice de riesgo actual, IRA, corresponde a un valor entre 0 y 1, donde los menores niveles de riesgo son cantidades cercanas a cero. Si bien el intervalo de valores del IRA posee como límite superior la unidad, la pérdida de la mitad de una vivienda puede asumirse como crítica. Ello permitió concluir que los intervalos de categorización no podrían expresarse de manera similar a las de los índices anteriores, por lo tanto se adopto como intervalos de cualificación en indicado en la siguiente tabla.

IRA	Categoría de Riesgo Actual
< 0.01	Bajo
0.01 – 0.18	Medio
>0.18	Alto

En el área de estudio, se encontró que de las cuarenta viviendas y dos lotes sin construcción existentes, nueve se encuentran en alto riesgo, diecisiete en zona de riesgo medio y catorce en zona de riesgo bajo, los dos lotes sin construcción no se categorizan en zona de riesgo.

En aras de reducir la amenaza y/o la vulnerabilidad en el sector, se discutirá por zona, en el Capítulo 6, una serie de medidas tendientes a mitigar de esta manera el riesgo.

6. PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS CORRECTIVAS DEL RIESGO ACTUAL

Tal vez el mayor beneficio del análisis de riesgo actual radica en la formulación de un plan de acción que permita atenuar las consecuencias de los procesos de inestabilidad en los frentes de mayor peligro. Las obras, en consecuencia, pretenden estabilizar los movimientos o controlar los niveles de vulnerabilidad, bien disminuyendo las áreas de exposición o bien reforzando las unidades físicas.

La definición de riesgo, sin embargo, implica determinar explícitamente la eficiencia y eficacia de las alternativas en la reducción de la condición de amenaza y vulnerabilidad. El nivel de riesgo actual es alto, en algunos sectores, producto del grado de exposición de las viviendas; con el fin de minimizar el riesgo, se realizó el análisis de vulnerabilidad futura (con obras), en este caso se analizaron obras de mitigación como son: muros en gaviones, pilotes estabilizadores y obras de drenaje; las cuales controlan o

disminuyen la probabilidad de falla. Se recurrió a alternativas de reducción de la vulnerabilidad tales como la reubicación (disminución de la exposición) en última instancia. La intervención de las viviendas con el fin de aumentar su resistencia, no es viable pues éstos son bienes de carácter privado.

6.1 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS Y SISTEMAS DE DECISIÓN BAJO INCERTIDUMBRE

A partir de los resultados del mapa de riesgo, se consideró prioritario atender cinco sectores, ubicados a lo largo de las laderas del área de estudio. El primero abarca el costado nororiental del barrio, donde se ha dispuesto una zona de rellenos de escombros, sobre la margen izquierda de la quebrada Triángulo, sector que se halla expuesto por amenaza de deslizamientos especialmente en periodos lluviosos. Éste en adelante se denominará Sector I, se propone la reconformación general del terreno, mediante la remoción o retiro de los escombros, complementado con la puesta en marcha de un sistema de drenaje superficial.

El segundo, localizado hacia el extremo norte de las viviendas 1 a 4 (Sector II), es un deslizamiento traslacional, antiguo, estabilizado, en este sector se propone como alternativas de mitigación, las siguientes:

Construcción de obras de contención en muro de gaviones y sistemas de drenaje subsuperficial.
Construcción de obras de contención como pilotes estabilizadores y sistemas de drenaje subsuperficial.
Construcción de sistemas de drenaje subsuperficial y reubicación de las viviendas en alto riesgo.

El tercer sector corresponde a la parte central de la ladera (Sector III), donde alrededor de diez viviendas y dos lotes sin construcción (10, 21), prefabricadas, de madera y estructurales se hallan amenazadas por un deslizamiento traslacional, que afecto la carretera oriente y sobre el cual se construyeron dos muros de contención; uno en la pata y otro en la corona, este ultimo con el objeto de habilitar la carretera oriente, en este sector se define como alternativas de medidas de control, las siguientes:

Construcción de obras de contención en muro de gaviones y sistemas de drenaje subsuperficial.
Construcción de obras de contención como pilotes estabilizadores y sistemas de drenaje subsuperficial.
Construcción de sistemas de drenaje subsuperficial y reubicación de las viviendas en alto riesgo.

El cuarto sector corresponde a la parte posterior de las viviendas 22 a 35 (Sector IV); viviendas que se hallan amenazadas por deslizamientos traslacionales y flujos de suelos, parcialmente superficiales, inactivos y superficiales, cuya reactivación podría tener lugar en periodos lluviosos; en este sector se proponen alternativas de mitigación, las que se enumeran a continuación:

Construcción de obras de contención en muro de gaviones y sistemas de drenaje subsuperficial.
Construcción de obras de contención como pilotes estabilizadores y sistemas de drenaje subsuperficial.
Construcción de sistemas de drenaje subsuperficial y reubicación de las viviendas en alto riesgo.

El quinto sector corresponde al extremo norte del área de estudio (Sector V), parte posterior de las viviendas 36 a 42, donde se aprecian procesos incipientes de remoción en masa, en esta ladera se propone como alternativa de mitigación, la construcción de drenajes y subdrenajes y perfilado de la ladera.

6.2 PLAN DE ACCIÓN RECOMENDADO

La atención del barrio, bajo un marco global, destinada a la reducción de los escenarios de riesgo, posee tres grandes componentes: el manejo del agua de escorrentía y la subsuperficial, las estructuras de contención y la reubicación, integradas a cada sector de la siguiente manera:

Sector I:

Remoción y descapote del material de relleno: la reconformación final del terreno se realizara con tres taludes con las siguientes pendientes: 18° y una longitud de 23.70 m (costado inferior de la ladera), 31° y 9.9 m de longitud (parte intermedia de la ladera) y 12° con 7.8 m de longitud (talud del costado superior de la ladera).

Drenaje y subdrenaje: Consta de cuneta-dren en espina de pescado posicionados longitudinalmente a la pendiente de la ladera y un par de cunetas-dren transversalmente que vierten a la Quebrada Triángulo.

Sector II:

Sistema de Drenaje y Sub-drenaje: Conformado por cuneta-drenes en trinchera que intercepta el agua desde la parte baja de los gaviones y vierte a la cuneta-dren localizado en la parte oriental del sector I y luego a la Quebrada Triángulo.

Reubicación de Viviendas: Es necesario relocalizar la familia de la vivienda 1, debido a que esta vivienda presenta daños considerables de la estructura.

Sector III:

Sistema de Drenaje y subdrenaje: Formado por un juego de subdrenes en forma de espina de pescado que intercepta el agua de la parte inferior de los muros en gaviones y vierten a la quebrada Triángulo.

Reubicación de Viviendas: En este sector se recomienda relocalizar las familias de las viviendas 10, 11, 12, 13, 16, 17, 18 y 21.

Sector IV:

Sistema de Drenaje y Sub-drenaje: Conformado por una red de cuneta-drenes en trinchera, en forma de espina de pescado que interceptan el agua de escorrentia de la parte posterior de las viviendas 21 a 30 y que vierten en la cuneta en concreto localizada a lo largo del muro de contención de la fabrica Gaitana.

Reubicación de Viviendas: En el sector IV no se considera necesario relocalizar viviendas, sin embargo, se requiere restringir la ampliación de las viviendas existentes hacia la parte posterior (solares y patios), debido a que la parte posterior de dichas viviendas se encuentra en alto riesgo de procesos de remoción en masa.

Sector V:

Remoción y descapote del material coluvial: Reconformación final del terreno, mediante el peinado del talud, con el fin de disminuir la fuerte pendiente y aumentar el factor de seguridad a deslizamiento de la ladera.

Drenaje y subdrenaje: Formado por un juego de subdrenes en forma de espina de pescado (localizados en la parte posterior de las viviendas 29 a 41) que se conectan con un canal rectangular de la fabrica Gaitana en el muro de contención.

Reubicación de Viviendas: En este sector no se considera necesario relocalizar viviendas.

7. DISEÑO DETALLADO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

Como parte de las conclusiones obtenidas de los planteamientos y medidas formulados en el numeral 6, se llevó a cabo la selección de obras para la mitigación del riesgo de las viviendas en las zonas de

exposición.

Las obras sugeridas cumplirán la función de reducir el potencial de erosión y obviamente el papel del agua como agente detonador de eventos o fenómenos de inestabilidad; en el actual sector de las viviendas 1, 10 a 21 y en la zona verde de la ladera no se podrá desarrollar la construcción de cualquier unidad habitacional. Dicho sector debe ser destinado para zonas verdes o de recreación pasiva.

En este sentido se diseñaron las obras que se describen a continuación.

7.1. OBRAS DE MITIGACIÓN

Sector I:

Cubre el costado suroriental del área de estudio. En este sector se diseñaron las siguientes obras de mitigación y planteamiento paisajístico, con el fin de mejorar física y paisajisticamente el sector, las cuales se describen a continuación:

- Remoción y perfilado del material de relleno. La reconformación final se realizara con un talud inferior con pendiente de 2%, de 6 metros sobre la cota 2684, localizado en la parte inferior hasta la quebrada Triángulo; luego un talud de 18° y 23.70 metros; a continuación un talud de 9.90 metros de longitud y 31° de pendiente; en la parte superior se reconformara un talud de 7.8 metros con una pendiente de 12° hasta el borde con la carretera oriente, en la cota 2699 msnm.

- Drenaje y subdrenaje. Un conjunto de cuneta dren longitudinales de 82 metros lineales, alimentados por una cuneta dren en espina de pescado de 23 metros lineales localizado transversalmente en el talud, captará el agua de escorrentía que induce procesos de inestabilidad actualmente. La entrega de estas cunetas dren trapezoidales se realizara a la quebrada Triángulo en la cota 2675 msnm.

Arborización consiste en la implementación de vegetación arbórea de porte medio a alto localizado en la ladera; la cual tendrá como función el embellecimiento paisajístico, el aislamiento y seguridad del sector y la protección del sector contra intervenciones urbanísticas o zonas de disposición de basuras y residuos sólidos.

Las especies propuestas para las laderas objeto del presente estudio corresponden a especies arbóreas de alcaparro, sauco, acacia, aliso, caucho sabanero, cedro, chicala, guayacan de manizales, macle, mano de oso, nogal, palma de cera, roble, arrayán, alcaparro pequeño, espino, siete cueros, que serán sembrados de acuerdo a las especificaciones técnicas indicadas en este informe. Una vez se siembren los arboles y arbustos planteados se requiere de mantenimiento de los plateos, aplicación de podas de formación retirando las ramas bajeras y aquellas que presenten demasiado arqueamiento; fertilización foliar una vez realizadas las podas. Esta operación se recomienda por lo menos dos veces al año.

Con base en los precios unitarios, se estimó el costo de las obras en CIENTO DIEZ MILLONES SETECIENTOS NOVENTA Y TRES MIL SEISCIENTOS CINCUENTA Y DOS PESOS ($110´793.652), incluido el AIU, valor total antes de IVA.

Sector II.

Se localiza en parte posterior de las viviendas 1 a 5. En este sector se diseñaron obras de mitigación

constituidos por drenajes con reubicación de la vivienda 1 y planteamiento paisajístico de la ladera, con el propósito de lograr el mejoramiento tanto física como paisajisticamente del sector; las cuales se describen a continuación:

La ladera de la parte posterior de las viviendas 2 a 5 debe ser utilizada como un lugar de recreación pasiva, prohibida para la construcción de asentamientos humanos.

- Construcción de sistemas de drenaje y subdrenaje y reubicación de las viviendas en alto riesgo. Una cuneta dren longitudinal de 35 metros lineales, en espina de pescado que alimentara la cuneta dren localizada en el sector 1, comprendida entre la cota 2691.7 y 2684.7, esta obra tendrá la función de captación del agua de escorrentía que ocasiona procesos de inestabilidad. La entrega de las cunetas dren se realizara a la quebrada Triángulo en la cota 2675 msnm.

Como medidas de embellecimiento paisajístico, aislamiento, seguridad y protección del sector contra intervenciones urbanísticas, se recomienda realizar la arborización con especies de porte medio a alto en la ladera.

Las familias de la vivienda 1 – (lote 1), deben ser relocalizadas por el alto riesgo en que se encuentran.

Con base en los precios unitarios registrados, se estimó el costo de las obras para el sector II, en TREINTA MILLONES QUINIENTOS OCHENTA Y SIETE MIL DOSCIENTOS OCHENTA Y TRES PESOS ($30´587.283), incluido el AIU, costo total antes de IVA.

Sector III:

Esta localizada en la parte central del área de estudio, comprende las viviendas 10 a 21 y la ladera de la parte posterior de dichas viviendas. En este sector se definieron las siguientes obras de mitigación y planteamiento paisajístico, para el mejoramiento físico y paisajístico del sector, las cuales se describen a continuación:

Una vez analizados las alternativas de mitigación para el sector se opto por la alternativa de construcción de obras de drenaje y reubicación de las viviendas 10, 11, 12, 13, 16, 17, 18 y 21, por ser la alternativa técnica y económicamente factible.

- Construcción de sistemas de drenaje y subdrenaje y reubicación de las viviendas en alto riesgo. Esta constituido por un conjunto de cunetas dren en espina de pescado de 170 metros lineales, sistema que captará el agua de escorrentía desde la carretera oriente en los costados del muro de contención hasta la entrega de las cunetas dren en la quebrada Triángulo en la cota 2672 msnm.

El programa de revegetalización consiste en la implementación de vegetación arbórea de porte medio a alto localizado en la ladera; la cual tendrá como función el embellecimiento paisajístico, el aislamiento y seguridad del sector y protección del sector contra intervenciones urbanísticas.

Las especies propuestas para las laderas objeto del presente estudio corresponden a especies arbóreas como se reseño en el sector I.

En este sector se deben relocalizar las familias de las vivienda 10, 11, 12, 13, 16, 17, 18 y 21.

Con base en los precios unitarios, se estimó el costo de las obras de CIENTO CUARENTA Y CUATRO MILLONES TRESCIENTOS NOVENTA Y CINCO MIL QUINIENTOS TREINTA Y CINCO PESOS ($144´395.535), incluido el AIU, costo total antes de IVA.

Sector IV:

Cubre el costado noroccidental del área de estudio, comprende las viviendas 22 a 29 y la ladera de la parte posterior de dichas viviendas; como medidas de mitigación de este sector se definieron las siguientes obras de drenaje y planteamiento paisajístico, con el animo de mejorar física y paisajísticamente el sector:

En este sector, la alternativa de mitigación factible desde el punto de vista técnico y económico es la construcción de obras de drenaje, las viviendas existentes presentan nivel de riesgo medio y bajo, sin embargo se recomienda restringir la construcción en los patios existentes debido a que estos presentan algo riesgo de procesos de inestabilidad causados por la fuerte pendiente del talud y la baja resistencia del suelo de fundación.

- Drenaje y subdrenaje. Esta constituido por un conjunto de cunetas dren en espina de pescado de 65 metros lineales, el drenaje aunque no es una medida de estabilización de la ladera superior cercana a la viviendas si baja el nivel freático disminuye la probabilidad de falla, este sistema captará el agua de escorrentía desde las vecindades de las viviendas y las entrega al canal perimetral del muro de contención de la fabrica Gaitana en la cota 2670 msnm. Que posteriormente es entregado al sistema de alcantarillado existente en la fabrica Gaitana.

Las especies propuestas para las laderas objeto del presente estudio corresponden a especies arbóreas de acuerdo a lo expuesto en el sector I.

Para este sector y de acuerdo a los precios unitarios de las obras de protección, se estimó el costo de las obras en VEINTICUATRO MILLONES NOVECIENTOS TREINTA Y NUEVE MIL CIENTO CUARENTA Y DOS PESOS ($24´939.142), incluido el AIU, costo total antes de IVA.

Sector V:

Cubre el extremo noroccidental del área de estudio, comprende las viviendas 30 a 42 y la ladera adyacente; estas viviendas se encuentran en riesgo bajo a medio, con el animo de prevenir o reducir el escenario de riesgo se propone realizar el manejo de agua de escorrentia y subsuperficial mediante la construcción de obras de drenaje, conformada por una red de cuneta dren en trinchera que intercepten el agua desde la parte posterior de las viviendas 30 a 41 y las viertan al canal perimetral al muro de contención de la fabrica Gaitana y luego lo conduzca hasta el sistema de alcantarillado del barrio.

La revegetalización será mediante la siembra de especies arbóreas de porte medio a alto similares a las propuestas para el sector I.

El presupuesto estimado para este sector para la construcción de obras de mitigación es de TRECE MILLONES SEISCIENTOS ONCE MIL NOVECIENTOS SEIS PESOS ($13´611.906), incluido el AIU, costo total antes de IVA.