

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

INFORME TÉCNICO FINAL

CONTENIDO GENERAL

CAPÍTULO 1 - GENERALIDADES

- 1.1. ANTECEDENTES
- 1.2. DELIMITACIÓN GEOMÉTRICA DEL ÁREA DE INTERÉS
- 1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA
- 1.4. ALCANCES DEL ESTUDIO
- 1.5. LIMITACIONES
- 1.6. METODOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

CAPÍTULO 2- TOPOGRAFÍA

- 2.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO
- 2.2. TRABAJO DE OFICINA

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A Topografía
Anexo A1 Certificación del IGAC
Anexo A2 Cartera de campo
Anexo A3 Cartera electrónica

LISTA DE PLANOS

Plano 1 Localización
Plano 2 Mapa Base

CAPÍTULO 3- GEOLOGÍA

- 3.1 MÉTODO DE TRABAJO
- 3.2 GEOLOGÍA

ANEXO B Geología
Anexo B1 Columnas Estratigráficas
Anexo B2 Inventario de Procesos
Anexo B3 Levantamiento Estructural

LISTA DE PLANOS

Plano 3 Geología Regional
Plano 4 Geología Local
Plano 5 Geomorfología
Planos 7 y 8 Secciones Geológicas

CAPÍTULO 4 – ESTUDIO GEOTÉCNICO

- 4.1 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO
- 4.2 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA
- 4.3 ZONIFICACION GEOTECNICA

LISTA DE ANEXOS

ANEXO B GEOLOGÍA
Anexo B3 Levantamiento estructural
ANEXO C GEOTECNIA
Anexo C1 Exploración del subsuelo
Anexo C2 Ensayos de laboratorio

LISTA DE PLANOS

Plano 4 Geología Local

Plano 6 Secciones Geológicas
Plano 7 Zonas Homogéneas

CAPÍTULO 5- HIDROLOGÍA Y USO DEL SUELO

- 5.1. USO DEL SUELO
- 5.2. HIDROLOGÍA

LISTA DE ANEXOS

ANEXO G HIDROLOGÍA

CAPÍTULO 6 - ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

- 6.1 ANÁLISIS CINEMÁTICO
- 6.2 MODELACIÓN DE ESTABILIDAD
- 6.3 EVALUACIÓN DE AMENAZA ACTUAL POR REMOCIÓN EN MASA
- 6.4 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA

LISTA DE ANEXOS

ANEXO D AMENAZA

Anexo D1 Análisis Cinemático
Anexo D2 Memorias Análisis de Parámetros
Anexo D3 Superficies Críticas
Anexo D4 Calibración de Parámetros

LISTA DE PLANOS

Plano 9 Mapa de Zonificación de Amenaza – Escenario Actual
Plano 10 Mapa de Zonificación de Amenaza Futura

CAPÍTULO 7 – ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO

- 7.1 VULNERABILIDAD
- 7.2 RIESGO
- 7.3 ZONIFICACIÓN DEL RIESGO

LISTA DE PLANOS

Plano 11 Zonificación de vulnerabilidad- Escenario actual
Plano 12 Zonificación de riesgo-Escenario actual

LISTA DE ANEXOS

ANEXO E VULNERABILIDAD Y RIESGO
ANEXO E1 FICHAS INVENTARIO DE VIVIENDAS
ANEXO E2 FORMATO DE CAMPO-INSTRUCTIVO
ANEXO E3 RESULTADO DEL INVENTARIO DE VIVIENDAS
ANEXO E4 REGISTRO FOTOGRÁFICO DE DAÑO

CAPÍTULO 8- MEDIDAS DE MITIGACIÓN

- 8.1 ANÁLISIS Y CONSIDERACIONES GENERALES
- 8.2 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS
- 8.3 AMENAZA FUTURA
- 8.4 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS

PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

8.5 PLAN DE ACCIÓN RECOMENDADO

CAPÍTULO 9- DISEÑO DE OBRAS

- 9.1 DISEÑO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA
- 9.2 DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS
- 9.3 CONSIDERACIONES ESPECIALES
- 9.4 CANTIDADES DE OBRA, PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO H CANTIDADES DE OBRA
- ANEXO I ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN

LISTA DE PLANOS

- PLANO 13 Localización de obras de estabilización y/o rehabilitación
- PLANO 14 Plano de Construcción - Secciones
- PLANO 15 Plano de Construcción - Detalles

CAPÍTULO 10 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

De acuerdo con las disposiciones del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C. –Decreto 619 del 28 Julio de 2000-, la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias – DPAAE, asignó a través de la Invitación Pública para Contratación Directa FOPAE No 7302-70-2004 y del Contrato de Consultoría No. 521 de 2004, a la Unión Temporal LNA INGENIERÍA U.T., para elaborar el “Estudio de riesgos por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar el escarpe del Desarrollo Granjas de San Pablo de la Localidad Rafael Uribe Uribe en Bogotá D.C.”

En el estudio de “Zonificación por inestabilidad del terreno en diferentes localidades de Santa Fe de Bogotá”¹ se relacionan dos sectores con vulnerabilidad media y alta, respectivamente, enmarcados en el área de estudio. Se clasifican entonces dos escarpes: el primero de ellos, en el occidente, está compuesto por un paquete de areniscas que soporta rellenos antrópicos; su geometría es variable: pendiente y altura diferencial aumentando hacia el sureste. Se catalogó como una zona de vulnerabilidad media¹. El segundo escarpe lo constituyen rellenos antrópicos, una combinación de escombros, residuos sólidos, suelo residual y estériles de cantera. Posee geometría similar, se emplaza al oriente, y su vulnerabilidad es alta¹. En ambos casos las viviendas se fundan, bien sobre los rellenos, o bien –en gran medida- sobre la roca.

De acuerdo con el Estudio de Microzonificación Sísmica de Santa fe de Bogotá², Granjas de San Pablo hace parte de la Zona 2, Piedemonte, en límites y con influencia de las zonas 1 y 5 (cerros y terrazas). La población beneficiada con este trabajo asciende a 300 personas, en su incidencia directa.

1.2. DELIMITACIÓN GEOMÉTRICA DEL ÁREA DE INTERÉS

La porción de la vertiente pertenece a los barrios San Jorge Alto y Granjas de San Pablo, y se ubica al occidente de la Localidad Rafael Uribe Uribe. Limita por el Nororiente con el Desarrollo Río de Janeiro-El Pesebre, al norte con el Desarrollo San Jorge ó Gloria Gaitán, al sur con la Urbanización Granjas de San Pablo y al occidente con la Avenida Troncal Caracas. Tiene un área de 2.0 Ha, comprendida en el cuadrángulo que tiene como coordenadas planas N: 97300 m E: 95400 m en el extremo nororiental y N: 97300m E: 95600m en el extremo suroriental (origen Bogotá con coordenadas geográficas 04° 41' 00.00" de latitud norte y 74° 09' 00.00" de longitud oeste, al cual se le asignaron las coordenadas planas 109320.965 m

¹ INGEOCIM LTDA, 1998

² INGEOMINAS, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 1997

Norte y 92334.879 m Este), con elevaciones entre 2570 y 2620 m.s.n.m. (véanse planos 1 y 2). Involucra en su interior unidades residenciales de 1 a 4 niveles, de Estrato 3, zonas verdes y vías pavimentadas.

1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La ocupación desordenada de los cinturones montañosos desde fines del siglo pasado, es la característica dominante en el desarrollo urbano de la ciudad. El suroriente, con modelos faltos de planeación -producto de la presión sobre el uso del suelo-, encuentra un buen ejemplo en Granjas de San Pablo y San Jorge Alto. Allí, antiguos frentes de explotación minera en terrazas, carentes de plan de abandono alguno, son el terreno de fundación de barrios y urbanización, integrados por edificaciones, entre 1 y 4 niveles, hoy día dotadas con redes oficiales de acueducto, alcantarillado, energía eléctrica y líneas telefónicas.

Así, la morfometría en principio delimitada por laderas naturales, es ahora el reflejo de paisajes antrópicos, diferenciables en dos sectores básicos: El primero, hacia el occidente -Talud 1-, inscrito entre los límites de los patios de las viviendas (estas alcanzan los límites del escarpe en el interfluvio, y la pata en la base), es quizás el de mayor complejidad geotécnica. Abarca depósitos heterogéneos de media y alta ladera en el costado noroccidente con espesores inferiores a 2 m, y escarpes rocosos fracturados, alterados y erodables, en el suroriente.

El segundo, al oriente -Talud 2-, en proximidades del antiguo emplazamiento del horno que se nutría de la explotación de los chircales circundantes, muestra gradientes alrededor de los 35°, y contiene depósitos heterogéneos mixtos delgados (< 1.5 m), que recubren una secuencia de arcillolitas y areniscas, en donde predominan las primeras al norte, y las segundas al sur (visibles en un afloramiento).

Uno y otro, poseen historial de fenómenos de remoción en masa locales, como el acaecido dos años atrás, en proximidades de las escaleras de la Carrera 16 Bis que llevan a la Calle 40 Sur. Prueba de ello, son los daños sobre elementos estructurales y no estructurales, en casas de corona y base de los taludes, con influencia directa de las sobrecargas impuestas por las unidades residenciales, el desconfinamiento por relajación de esfuerzos, y saturación del material por infiltración de agua lluvia y/o posibles fugas de las líneas de saneamiento básico -acueducto y alcantarillado-. Ejemplos de lo anterior son: las grietas debidas al flujo del terreno de fundación, las averías en las cubiertas y los muros por la caída de fragmentos de roca (de hasta 0.50 m de arista, e infiltraciones en la infraestructura ubicada a media ladera, especialmente en las construcciones al noroccidente, cerca de la transversal 16 Bis.

1.4. ALCANCES DEL ESTUDIO

Las siguientes son las actividades mínimas que precisa el estudio y que constituyen sus eslabones:

- Recopilación y análisis de información secundaria disponible: fotografías aéreas, cartografía oficial, planchas geológicas, estudios geotécnicos y de riesgo anteriores, plano catastral aprobado por DAPD, registros pluviométricos, y todo tipo de información que aporte al proyecto.
- Levantamiento topográfico detallado de la zona objeto: altimetría y planimetría a escala 1:500 amarrados a las placas IGAC, con curvas de nivel cada 0.50 m, que registren la morfometría de la ladera y los signos de inestabilidad, así como los elementos del componente urbanístico.

- Recopilación de información primaria: levantamiento geológico a nivel de unidad de roca, Inventario y caracterización de los procesos morfodinámicos, inventario de viviendas, investigación del subsuelo, programa de ensayos de laboratorio.
- Agrupación y síntesis de la información hidrológica, hidrogeológica e hidráulica, y la Investigación de las redes de acueducto y alcantarillado.
- Análisis geotécnico; identificación de sitios inestables; análisis de estabilidad global y local para condiciones estáticas y dinámicas, tanto en estado actual como con las obras recomendadas.
- Evaluación de amenaza para los escenarios actual y posterior a la implementación de las obras de mitigación.
- Análisis de vulnerabilidad y riesgo para cada una de las unidades residenciales.
- Evaluación de mitigabilidad en términos de riesgo con base en la evaluación económica y la eficiencia de las obras.
- Diseño de las obras requeridas para estabilizar la zona y las viviendas afectadas. Se incluyen las memorias de cálculo, las cantidades de obra y el presupuesto.

1.5. LIMITACIONES

Es importante reseñar que se asumirán características geotécnicas similares de acuerdo con los resultados de campo y laboratorio y condiciones de homogeneidad para los diferentes materiales presentes en el área de interés.

1.6. METODOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

El estudio se estructura con base en un procedimiento metodológico evolutivo que inicia en la consulta de la información secundaria y en la recopilación de la primaria. Éstas se examinan, procesan y evalúan, con el fin de establecer similitudes y discrepancias entre sí, de tal forma que faciliten el diagnóstico del problema y conduzcan a la zonificación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa, con el objeto de plantear las medidas de mitigación óptimas dentro de los marcos técnico, social, ambiental y económico.

Para tal fin, LNA INGENIERÍA U.T., dispone de un equipo multidisciplinario de profesionales, quienes a lo largo del proyecto establecen coordinadamente con la interventoría los lineamientos metodológicos, conceptuales y técnicos para el cumplimiento de los objetivos y el logro de las metas propuestas de acuerdo con los términos de referencia exigidos por la DPAAE. Bajo esta perspectiva, el contenido técnico, se estructura lógicamente y consecuentemente, y se enmarcan sus alcances dentro de las directrices de la institución y las políticas distritales. Los pasos que conciernen la realización del estudio se exponen a continuación:

1.6.1. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE

Se refiere a la obtención de información secundaria: fotografías aéreas, así como cartografía y estudios previos de topografía, geología, geomorfología, geotecnia, hidrología, climatología, usos del suelo, sismología etc, disponibles en entidades como el IGAC, el INGEOMINAS, el IDEAM, el ACUEDUCTO, el DAPD, la JUNTA DE ACCIÓN COMUNAL, la ALCALDÍA DE LA LOCALIDAD y la DPAE.

Esta etapa permitió en primer lugar, la asimilación de las características de la morfología del terreno, la disposición predial, la geología, y la geomorfología regional, y un acercamiento a la comprensión de los fenómenos existentes en el área. En segundo lugar, fue la base de la programación de las labores requeridas para la complementación y profundización de la información y del ajuste de las fases de desarrollo del proyecto.

1.6.2. VISITA DE RECONOCIMIENTO

Una vez examinada la información disponible se efectuó una visita al sitio del estudio, que persiguió, como primera medida, corroborar las acepciones inferidas en la etapa inmediatamente anterior, formular a priori un modelo hipotético de los problemas y de la secuencia estratigráfica, organizar el inventario de viviendas, proponer los puntos de exploración del subsuelo, identificar los agentes detonantes de los procesos morfodinámicos y plantear de forma preliminar alternativas de mitigación de la amenaza.

1.6.3. ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍAS BASE Y TEMÁTICA

1.6.3.1. Levantamiento Topográfico

Con el objeto de conseguir el mapa base para las diferentes etapas del proyecto, contrastar el levantamiento catastral de que dispone el distrito; registrar la morfometría de la ladera, los signos de inestabilidad, las viviendas, las vías, y todo tipo de estructura física existente, como postes, pozos de inspección etc; se realizó el levantamiento topográfico del sector a escala 1:500 con curvas de nivel cada 0.50 metros. Éste fue amarrado a placas del IGAC que sirvieron de soporte para la definición de la poligonal de trabajo. El barrido altimétrico y planimétrico se ejecutó con la ayuda de una estación total, mediante un procedimiento mixto, que involucró tanto la toma de secciones transversales como la captura de una nube de puntos.

La interpretación cartográfica se efectuó con el empleo del software Eagle point V14.1 bajo la aplicación de un modelo de interpretación dirigida. Es decir, se definieron y respetaron las barreras físicas actuales y se condicionó la interpretación a éstas, sin permitir el desempeño del Software a su libre esquema de triangulación.

1.6.3.2. Estudios Geológico y Geomorfológico

A partir de la información existente, de la interpretación de las fotografías aéreas anteriores, del levantamiento topográfico, y del levantamiento en campo; se establecieron los niveles litológicos en términos de unidades de roca y suelo tanto locales como regionales con su ubicación espacial; se identificaron los principales rasgos tectónicos, en especial fallas y lineamientos fotogeológicos; se establecieron la red de drenaje existente, las formas estructurales, la morfodinámica, etc. De igual forma, se determinó la geología estructural del macizo rocoso (específicamente orientación de la estratificación o influencia de los planos de discontinuidad o falla),

los espesores y grados de alteración de los materiales depositados, la presencia de suelos residuales, y la potencialidad de movimientos en masa. Como resultado de este trabajo, se presentan los planos geológico y geomorfológico, a escala 1:500.

1.6.4. ESTUDIO GEOTÉCNICO BÁSICO

1.6.4.1. Inventario De Procesos De Inestabilidad

Se identificaron y delimitaron los diferentes procesos de inestabilidad, activos o potenciales. Cada proceso se registra en una ficha técnica y cartográfica, en la cual se consigna toda la información concerniente al mismo: clasificación del proceso, magnitud, eventos detonantes y contribuyentes, frecuencia de movimiento, actividad, tendencia a la propagación, daños producidos, geología estructural, morfometría del talud, etc. Esta información junto con el plano geomorfológico, constituyen el producto final del Inventario de procesos de inestabilidad y son la base para evaluar la amenaza a corto y mediano plazo y para calibrar el plano de zonificación.

1.6.4.2. Programación De La Exploración Del Subsuelo

Este tópico se abordó en dos etapas: la primera mediante columnas estratigráficas (5) y levantamientos estructurales (9 estaciones) del macizo; con los cuales se detallaron los contactos litológicos, se barrió longitudinal y transversalmente la zona, y se establecieron los espesores y características principales de las unidades de roca y suelo. La segunda correspondió a la ejecución de sondeos manuales con SPT continuo (4), y mecánicos con métodos de avance percusión-lavado y rotación –4 en total-. La conjugación de todos los métodos permitió una buena aproximación al modelo geológico y geotécnico de la vertiente.

En cuanto al programa de ensayos de laboratorio, éste se dirigió a la estimación de la resistencia al corte de los horizontes comprometidos, tanto de los suelos residuales y llenos, como de las discontinuidades del macizo (en especial el plano de estratificación) y la roca sana. Las muestras se someten a pruebas índice como: humedad natural, peso unitario, límites de Atterberg, entre otras; y de comportamiento esfuerzo deformación, acordes con el nivel de esfuerzos existente en campo, como corte directo.

Los ítems restantes de esta etapa y los concernientes a las demás fases del proyecto, se incluirán en el transcurso del documento técnico.

1.6.5. ORGANIZACIÓN DEL INFORME

El documento que se constituye en la herramienta de implementación en el sector para mejorar la calidad de vida de los pobladores desde la perspectiva de la prevención de riesgos del sistema distrital, está conformado por 9 Capítulos, 6 Anexos, conclusiones y recomendaciones, bibliografía y 14 Planos. En las Tablas 1.1, 1.2 y 1.3 se desglosan los temas de los capítulos, los contenidos de los anexos y los planos, respectivamente. El informe se compone de un volumen que contiene el documento técnico junto con la cartografía y un volumen de anexos.

Tabla 1.1 Temas de los capítulos

Capítulo 1	Generalidades
Capítulo 2	Topografía
Capítulo 3	Geología y Geomorfología
Capítulo 4	Estudio geotécnico
Capítulo 5	Hidrología y Uso del Suelo
Capítulo 6	Evaluación de amenaza
Capítulo 7	Evaluación de vulnerabilidad y riesgo
Capítulo 8	Medidas de mitigación
Capítulo 9	Diseño de obras

Tabla 1.2 Contenidos de los anexos

Anexo A	Topografía
Anexo B	Geología
Anexo C	Geotecnia
Anexo D	Amenaza
Anexo E	Vulnerabilidad y Riesgo
Anexo F	Diseño de Obras
Anexo G	Hidrología
Anexo H	Cantidades de Obra y Presupuesto
Anexo I	Especificaciones

Tabla 1.3 Contenidos de los planos

Plano 1	Localización general
Plano 2	Mapa base
Plano 3	Geología Regional
Plano 4	Geología Local
Plano 5	Geomorfología
Plano 6	Zonas Homogéneas
Plano 7	Secciones geológicas
Plano 8	Secciones geológicas
Plano 9	Zonificación de amenaza – escenario actual
Plano 10	Zonificación de amenaza futura
Plano 11	Zonificación de vulnerabilidad – escenario actual
Plano 12	Zonificación de riesgo – escenario actual
Plano 13	Localización de obras de estabilización y/o rehabilitación
Plano 14	Plano de Construcción - Secciones
Plano 15	Plano de Construcción – Detalles

CAPÍTULO 1 - GENERALIDADES
CONTENIDO

1.1.	ANTECEDENTES	1
1.2.	DELIMITACIÓN GEOMÉTRICA DEL ÁREA DE INTERÉS	1
1.3.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
1.4.	ALCANCES DEL ESTUDIO	2
1.5.	LIMITACIONES	3
1.6.	METODOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	3
1.6.1.	Recopilación y Análisis de Información Existente	4
1.6.2.	Visita De Reconocimiento	4
1.6.3.	Elaboración De Cartografías Base Y Temática	4
1.6.3.1.	Levantamiento Topográfico	4
1.6.3.2.	Estudios Geológico y Geomorfológico	4
1.6.4.	Estudio Geotécnico Básico	5
1.6.4.1.	Inventario De Procesos De Inestabilidad	5
1.6.4.2.	Programación De La Exploración Del Subsuelo	5
1.6.5.	Organización Del Informe	5

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1	Temas de los capítulos	6
Tabla 1.2	Contenidos de los anexos	6
Tabla 1.3	Contenidos de los planos	6

CAPÍTULO 2

TOPOGRAFÍA

Como insumo esencial dentro de la elaboración de las cartografías geológica, geomorfológica, geotécnica, amenaza, vulnerabilidad, riesgo, y de localización de obras de estabilización o rehabilitación; se realizó un levantamiento topográfico detallado, a escala 1:500 en el área designada para el estudio. Éste identificó y registró: la morfometría de las laderas, los rastros de inestabilidad, las unidades de viviendas, las vías, y todo tipo de estructura física existente, como postes, pasos peatonales, pozos de inspección y escaleras, entre otras. En este capítulo se describen las labores comprendidas para tal fin, y se condensan los resultados.

2.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Luego de realizar una inspección visual en campo al sitio de estudio, y una vez evaluada la información secundaria disponible: planos IGAC, y referencias externas, se procedió hacer el levantamiento topográfico a escala 1:500 (véase **Plano 2**), mediante la aplicación de un procedimiento mixto que incluyó tanto la obtención de secciones transversales como la captura de una nube de puntos.

2.1.1. TRABAJO DE CAMPO

El levantamiento topográfico se realizó en dos etapas. La primera comprendió el espacio abierto; allí se tomó la información con secciones transversales; los prismas se dispusieron en los cambios de pendiente hasta obtener un cubrimiento total del área. Los intervalos entre las secciones oscilaron entre 1 m y 4 m de distancia según las variaciones morfológicas del terreno. La segunda fase abarcó el registro de la infraestructura como es: paramentos, andenes, construcciones, postes, pozos, y cercas, entre otros, su barrido se llevó a cabo con una nube de puntos.

2.1.1.1. Localización Cartográfica

La porción de la vertiente que pertenece a los barrios Granjas de San Pablo y San Jorge, Localidad de Rafael Uribe Uribe de Bogotá D.C., forma parte del flanco noroeste de los cerros orientales y se subdivide en dos sectores. El primero está delimitado por las calles 37A Sur y 41 Sur, y por la carrera 16 Bis y la transversal 16 Bis. El segundo comprende los predios entre las carreras 16 y 16 Bis, y la calle 40 Sur y la Diagonal 37 A Sur. Ambos se enmarcan en el cuadrángulo que tiene como coordenadas planas N: 97.280 m E: 95.390 m en el extremo suroccidental, y N: 97.420 m E: 95.625 m en el extremo nororiental, con elevaciones entre 2574.5 y 2622.5 m.s.n.m., y su extensión superficial es 12600m² aproximadamente. Los datos están referidos a las coordenadas cartesianas con origen en el punto con coordenadas geográficas 04° 40' 49.75000" de Latitud Norte y 74° 08' 47.73000" de Longitud Oeste de Greenwich a la cual se le asignaron las coordenadas planas

109320.965 metros al Norte y 92334.879 metros al Este, respectivamente; Datum Observatorio Astronómico de Bogotá con el plano de proyección de 2550.000 m.s.n.m. (véase **Figura 2.1.**)

2.1.1.2. Descripción de la Poligonal de Amarre

El levantamiento fue amarrado al sistema de posicionamiento del IGAC con punto de partida en las placas de éste instituto **CD 757 y Monserrate Iglesia**. Se tomó como azimut verdadero la línea existente entre estos dos puntos. Mediante una poligonal se trasladaron las coordenadas y la elevación a diferentes puntos fáciles de acceder para la toma de la información relevante. La placa topográfica **CD 727** se localiza en el lomo de la colina que se observa desde la Calle 30 Sur con Carrera 10 en dirección al barrio las Lomas, allí se encuentra una virgen sobre un pedestal, y de ésta en dirección a una torre de alta tensión se visualiza el mojón, aproximadamente a 10 m; sus coordenadas planas son N: 96846.215 m y E: 96540.950 m, y su elevación geométrica calculada por el IGAC es de 2687.923 m.s.n.m., sobre el plano de referencia 2550.00 m.s.n.m. Y la placa **Monserrate Iglesia** está dispuesta en el en el cerro de Monserrate, a una distancia de 7227.35 m y con un Azimut Plano Norte al Este de 054° 39' 16.486". La **Figura 2.1** exhibe la poligonal y el **Anexo A1** contiene copia de la certificación IGAC.

2.1.1.3. Descripción de la poligonal de cierre

Una vez georreferenciada el área a través de la poligonal de amarre, se procedió al cierre y ajuste de la poligonal constituida por 11 puntos en circuito cerrado remarcados a lo largo de las calles y carreras, de la diagonal y la transversal que delimitan las superficies libres de laderas; a partir de ellos se establecen visuales a los sitios radiados para la obtención de la nube de puntos y las secciones transversales. La **Figura 2.2** enseña un esquema de la poligonal levantada.

2.1.1.4. Ajuste del Levantamiento

Una vez surtidas las etapas anteriores, se lleva a cabo el trabajo de ajuste y cierre del levantamiento topográfico, que arrojó los siguientes resultados:

- Error de cierre en coordenadas Norte = 0.011 m.
- Error de cierre en coordenadas E = 0.009 m.
- Error de cierre en ángulo = 8"
- Error Vertical = 0.009 m

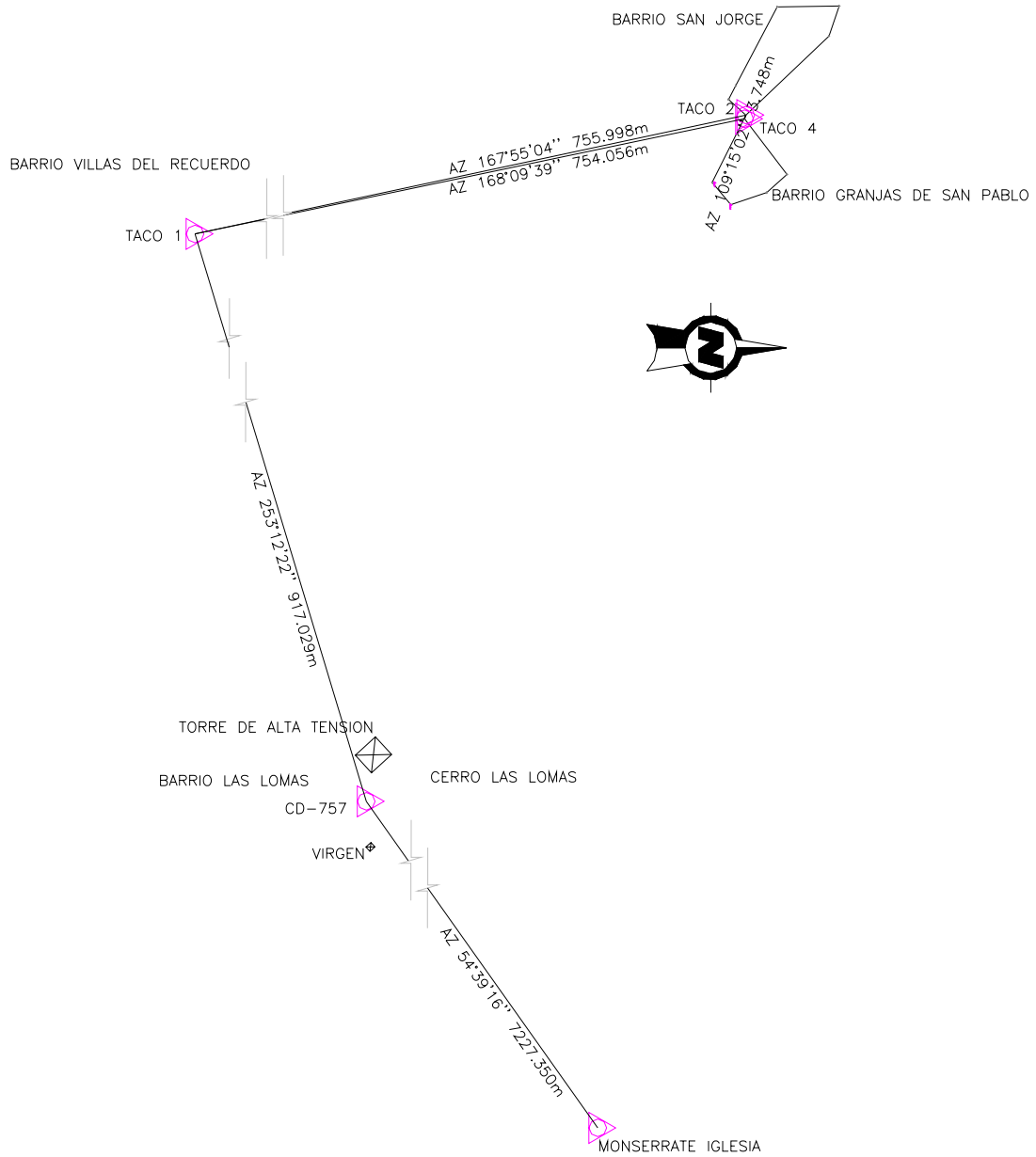
2.1.1.5. Mojonamiento de Referencia

Se materializaron con dos placas de bronce, ubicadas dentro del área de estudio. Sus datos de coordenadas y elevación se relacionan en la **Tabla 2.1** y se representan en el **Plano 2 "Mapa Base"**.

Tabla 2. 1 Mojones materializados

No.	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN	DESCRIPCIÓN
PL1	97289.843	95571.066	2602.835	PL1
PL2	97305.454	95592.803	2712.214	PL2

Figura 2. 1 Poligonal de amarre



2.1.1.6. Condensación de la información de campo

La información tomada en la estación total se consignó, a través de un colector de datos DTS48 HP, gracias a una interfase con serial RS-232 y el programa de computadora EP Collect Data V. 14.13.

2.1.1.7. Equipo

Consiste en una Estación Total Sokkia SET 600 de precisión angular a los tres segundos; alcance de lectura con prisma sencillo de 1600 m de distancia en longitud; capacidad para almacenar hasta 10000 puntos topográficos con la ayuda del colector de datos interno; lectura vertical cenital y el acompañamiento de tres bastones y una mira de 6 metros cada uno con su respectivo prisma para la lectura de los puntos.

2.2. TRABAJO DE OFICINA

Consistió en georreferenciar los puntos topográficos tomados en campo con el uso del programa EP Collect Data V. 14.13. El procesamiento cartográfico se ejecutó con el módulo surface modeling del programa de computadora Eaglepoint versión 14.1, bajo un modelo de interpolación dirigida en tres dimensiones, lo que conllevó a definir y respetar las barreras físicas actuales y condicionar la interpretación a éstas, sin permitir el desempeño del programa a su libre esquema de triangulación; en este sentido jugaron un papel importante las secciones transversales.

El proceso así desarrollado puede entenderse como una conceptualización de un submodelo para un SIG, pues primero se elaboraron las diferentes capas de información y posteriormente se hizo la interpolación. De esta manera, entonces, se seleccionaron los postes de alumbrado, los pozos de inspección y demás elementos del mobiliario urbano, se delinearon las vías y se delimitaron los taludes. Para una mejor aplicación del programa se procesaron parcialmente en tres dimensiones los diferentes elementos topográficos levantados, lo cual dio como resultado una mayor precisión y calibración de los límites y contornos. Con base en lo anterior y para terminar la generación del mapa base, se realizó la integración e interpretación final de todo el conjunto. Como resultado de la actividad anterior, se definió la salida gráfica del plano topográfico, Plano 2, escala 1: 500 con curvas de nivel cada 0.5 metro, y los Anexos A2 y A3 de las carteras: de campo y electrónica respectivamente.

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS
PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

CAPÍTULO 2- TOPOGRAFÍA CONTENIDO

2.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO	1
2.1.1. Trabajo De Campo	1
2.1.1.1. Localización Cartográfica	1
2.1.1.2. Descripción de la Poligonal de Amarre	2
2.1.1.3. Descripción de la poligonal de cierre	2
2.1.1.4. Ajuste del Levantamiento	2
2.1.1.5. Mojonamiento de Referencia	2
2.1.1.6. Condensación de la información de campo	5
2.1.1.7. Equipo	5
2.2. TRABAJO DE OFICINA	5

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1 Poligonal de amarre	3
Figura 2. 2 Poligonal de cierre	4

LISTA DE TABLAS

Tabla 2. 1 Mojoneros materializados	2
-------------------------------------	---

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A	Topografía
Anexo A1	Certificación del IGAC
Anexo A2	Cartera de campo
Anexo A3	Cartera electrónica

LISTA DE PLANOS

Plano 1	Localización
Plano 2	Mapa Base

CAPÍTULO 3

GEOLOGÍA

Este capítulo contiene una descripción detallada de los aspectos geológicos y geomorfológicos a tener en cuenta – dentro del contexto regional y local – como insumos básicos para la “evaluación de amenaza y riesgo” en el barrio Granjas de San Pablo.

3.1 MÉTODO DE TRABAJO

El levantamiento y la elaboración de la cartografía geológica consta en primera instancia de la recopilación, procesamiento y evaluación de la información secundaria disponible tal como: informes técnicos, bases cartográficas del IGAC, fotografías aéreas, y planos geológicos regionales, entre otros. En segunda medida, implica un trabajo de reconocimiento de campo a nivel regional y local que involucró la exploración superficial mediante el levantamiento de datos estructurales, y la comprobación de la fotointerpretación realizada previamente. Por último, la información disponible se corroboró y complementó con la exploración del subsuelo, programada para fines geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos, mediante la realización de sondeos mecánicos y manuales, apiques y columnas estratigráficas los cuales proveen información útil para la posterior evaluación de amenaza.

A continuación se relacionan y describen paso a paso las actividades ejecutadas en el desarrollo del componente geosférico:

3.1.1 METODOLOGÍA

a) Fase preliminar

- Recopilación bibliográfica de información geotécnica, geológica, climatológica, hidrológica, hidrogeológica, etc. del área de estudio, existente en las diferentes entidades públicas y en algunas privadas.
- Revisión de fotografías aéreas en las escalas disponibles.
- Adquisición de planos topográficos a escala 1:10.000, y 1:2000, disponibles en el IGAC.
- Reconocimiento general del terreno e identificación de los potenciales procesos de inestabilidad y de sus mecanismos de falla.
- Levantamiento, cálculo, edición y digitalización del plano topográfico a escala 1:500

b) Fase de campo

- Levantamiento de datos estructurales y columnas estratigráficas detalladas de las litologías aflorantes, tanto a nivel regional como local.
- Interpretación de las fotografías aéreas. En esta labor se hizo hincapié en los rasgos geológicos y geomorfológicos y en la delimitación multitemporal de los procesos morfodinámicos.
- Toma de fotografías convencionales que ilustran las características de relevancia.
- Elaboración de los planos geológico regional y local. La cartografía geológica se concentró en la delimitación de los depósitos recientes – antrópicos y de ladera – así como de las unidades líticas aflorantes; para tal fin, se aprovecharon los escarpes y cortes hechos para explotación en canteras y construcción de unidades residenciales y vías. Para la realización de la cartografía regional se definió un cuadrángulo cuyas coordenadas aproximadas son:

Punto	Coordenadas	
	N	E
1	97830	94758
2	97830	95918
3	96754	95918
4	96754	94758

- Realización del mapa geomorfológico detallado, en donde se destaca la morfometría, los modelados (morfogénesis), geoformas (morfología) y procesos tanto erosivos como morfodinámicos presentes.

3.1.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE

Involucró la revisión y contrastación de las siguientes referencias:

- INGEOCIM LTDA. – UPES – FOPAE. (1998). "Zonificación por Inestabilidad del Terreno para Diferentes Localidades en la Ciudad de Santafé de Bogotá D. C." Bogotá D.C.
- INDESA LTDA. – (1999). "Identificación y Evaluación de Riesgos por Remoción en Masa y Diseños Detallados para Estabilizar el Antiguo Escarpe de Explotación Barrio Luis Lopez de Mesa, Localidad Rafael Uribe Uribe." Bogotá D.C.
- HIDROGEOLOGÍA Y GEOTECNIA. AMBIENTAL LTDA (1999) "Identificación y Evaluación de Riesgos por Remoción en Masa y Diseños Detallados para Estabilizar el Antiguo Escarpe de Explotación Barrio Carolina Mirador de Marrocos, Localidad Rafael Uribe Uribe". Bogotá D.C.
- INGEOMINAS (1997). "Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá. Subproyecto No. 7. Estudios Geofísicos. Santa Fe de Bogotá D.C." Bogotá D.C.

Los estudios consultados que incluyen zonas muy próximas a la de interés, o la involucran, permiten entre otras realizar las siguientes apreciaciones sobre el componente geológico:

- a) El plano geológico de INDESA LTDA (2000), escala 1: 5.000, destaca que la parte alta del barrio se asienta sobre una secuencia litoestratigráfica pertenecientes a la Formación Regadera Inferior, matizada por areniscas de grano medio a finos, intercaladas con niveles de conglomerados no muy consolidados y lodolitas moradas o rojizas, blandas, plásticas y en bancos de 0.10 m a 0.30 m. La parte inferior está restringida a un depósito de origen aluvial donde predominan las arcillas, con transición hacia la periferia a granulometrías más gruesas, e incluso, intercalaciones de los diversos niveles de arcillas arenosas y arenas arcillosas, y

parches de guijarros. Este conjunto delinea laderas con rumbo NW-SE y buzamiento hacia el SW, y gradientes, entre 10° y 30°, inmersas en la vertiente occidental de un anticlinal con dirección N-S y eje a 400 m al Este del cuadrángulo de estudio, aproximadamente.

b) Aunque la cartografía levantada e ilustrada por HGA (1999) no alcanza a cubrir el polígono del presente estudio, fue valuarle importante para determinar la continuidad lateral de las unidades estratigráficas y el comportamiento estructural del suroriente de la ciudad. Este trabajo, al igual que el anterior, hace hincapié en el trazo – y coexistencia – del anticlinal.

c) INGEOCIM (1998) por su parte, emplaza la zona norte del barrio Granjas de San Pablo sobre rocas de la misma formación, pero difiere de INDESA (1999) y HGA (1999) en su clasificación como miembro inferior, así como en no señalar el anticlinal de rumbo N-S, dispuesto al oriente, y obviar una serie de lineamientos con orientación NW-SE. Sin embargo, uno de los aportes más representativos del citado documento reside en su cobertura, pues contiene gran parte del suroriente Bogotano. De esta manera se convierte en referente ineludible y (por qué no) punto de partida en el estudio de la geología.

De todo lo anterior, es claro que las cartografías de INDESA (1999) y HGA (1999) son consistentes entre sí, y difieren de la de INGEOCIM (1998), principalmente en la asignación estratigráfica y en la sistemática de las fallas -tema en el que INDESA (2000), hace especial énfasis-. Esto último se ve reflejado en las dos series de lineamientos con direcciones predominantes NW-SE y E-W, que a la postre no provocan grandes traslocaciones a nivel regional ni local, de las estructuras y de los contactos litológicos.

3.1.3 FOTOINTERPRETACIÓN

Esta labor se adelantó sobre las fotografías relacionadas en la Tabla 3. 1, su objetivo consistió en preparar sobre ellas la cartografía geológica preliminar, es decir, fijar los rasgos estructurales, litológicos y geomorfológicos más relevantes a nivel tanto regional como local.

Tabla 3. 1 Fotografías aéreas de referencia

VUELO No.	AÑO	ESCALA
R 1131	1990	1:5.000
C 35	1940	1:22.000

Así, por ejemplo, las fotografías aéreas del año 1940, facilitan la definición de los principales elementos estructurales; específicamente lineamientos de falla con rumbo NW-SE y E-W, y dos pliegues, un anticlinal y un sinclinal con orientación N-S. No obstante, los procesos urbanísticos en buena parte sin planeación, y la indiscriminada explotación de materiales (expresada en la gran cantidad de canteras tanto en funcionamiento como abandonadas), pone de manifiesto la dificultad para el trazo de las estructuras y de los contactos foto geológicos en las fotografías de 1990.

Por último, las fotografías de ambos periodos, destacan de la ladera en estudio la inclinación y conformación regular con aparente continuidad lateral y el notorio contraste geomorfológico con el derredor peneplanizado en la base de la misma y con extensión hacia el N y W.

3.1.4 TRABAJO DE CAMPO

Las labores de campo se adelantaron durante las semanas del 7 al 26 de febrero, (la complejidad logística, de seguridad social y del modelo explica su prolongación). De esta forma con la revisión cartográfica, con la comprobación de la fotointerpretación y la exploración superficial, las condiciones geológicas planteadas en el modelo inicial cambiaron y se hicieron más complejas, en virtud de la heterogeneidad de los materiales involucrados del modelo estructural y de la disposición urbanística.

Para comprobar el modelo planteado, se efectuó el reconocimiento de las unidades litológicas aflorantes, y se programaron y ejecutaron (5) columnas estratigráficas, (4) cuatro sondeos mecánicos, y (4) cuatro sondeos manuales. Como resultado, la cartografía geológica local se concentró en la delimitación geométrica de los depósitos recientes, en la identificación de la secuencia estratigráfica como propia bien de la Formación Regadera superior o bien de la inferior, y en la descripción de su composición y textura y del origen de las estructuras locales.

3.2 GEOLOGÍA

3.2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Como base para la definición y reconocimiento de la geología regional, se tomaron como fuentes: el plano geológico elaborado por INDESA LTDA.(1999), a escala 1:5.000 y el plano geológico, escala 1:10.000, del estudio de INGEOCIM (1998). De ellas, la base cartográfica de INGEOCIM (1998) fue tomada como plataforma principal pero complementada con la interpretación de la geología regional presentada por INDESA (1999), la que se modificó en los contactos y en el marco estructural. Tales cambios fueron fruto de los aportes de fuentes secundarias, de la fotointerpretación, y de la exploración geológica local y del subsuelo.

La delimitación geográfica a nivel regional (relación grafica 1:5000), se ilustra en el Plano 3 Este muestra las estructuras que controlan y definen el patrón estructural – tanto regional como local – que modifican la secuencia litoestratigráfica o repercuten en ella a escala local, y los materiales (roca y suelo) circunscritos en la vertiente – unidad geomorfológica, y morfodinámica mínima de análisis por excelencia –.

Este plano introduce como principales elementos:

- a) La continuidad en las trazas de dos lineamientos con dirección E-W y de un tercero orientado NW-SE, los que en conjunto atraviesan al nororiente del polígono cartografiado.
- b) La identificación de 4 depósitos coluviales de gran extensión posiblemente, relacionados tanto a la acción del sistema de fallas cercanas como a la actividad antrópica.

El encuadre de las unidades aflorantes como pertenecientes a la Formación Regadera inferior, apreciación deducida al observar en los afloramientos areniscas cuarzo feldespáticas friables con dominio de tamaños medios y finos, tanto al interior del cuadrángulo regional como en los límites oriental y occidental del mismo.

3.2.1.1 ESTRATIGRAFÍA

Las laderas vertientes están conformada por materiales rocosos de la Formación Regadera Inferior (Teri), y depósitos de origen aluvial, coluvial y antrópico propios del Cuaternario (véase Plano 3). Las unidades litoestratigráficas identificadas con propósitos cartográficos en la geología regional se describen a continuación de la más antigua a la más joven, con base en las propuestas de INDESA LTDA (1999) e INGEOCIM (1998) sin ceñirse al rigor de tales planteamientos así:

Formación Regadera Inferior (Teri)

Define una secuencia de areniscas finas a medias, con algunas intercalaciones de conglomerados no muy consolidados y lodolitas moradas o rojizas, blandas, y plásticas, en bancos de 0.10 m a 0.30 m; estos últimos, no obstante, sin quitarle a la Formación su carácter arenoso. Las areniscas son de color gris claro a blanco, y violáceas por meteorización, compuestas por cuarzo y fragmentos líticos en matriz arcillosa, tamaño de grano entre fino a conglomerático, y la forma es subangular a subredondeada, esfericidad media, están pobre a moderadamente sorteadas, en espesores de 0.5 m a 15 m, con estratificación cruzada y altamente friables.

El contacto superior de la Formación Regadera con la Formación Usme es discordante, mientras que el inferior, con la Formación Bogotá es neto. El ambiente de depositación es continental, de tipo fluvial de ríos trenzados. Delinea una morfología de laderas abruptas de pendientes que oscilan entre moderadas fuertes; marca los cinturones norte y sur del cuadrángulo de estudio y esculpe el alto relieve de los cerros de las Guacamayas y de las Lomas.

Algunos de los ejemplos más representativos de los asentamientos dispuestos en esta formación, se observan en los barrios Granjas de San Pablo, Marco Fidel Suarez, Villas del Recuerdo, La Resurrección, Las Malvinas, Las Lomas, San Martín de Loba, Luis López de Mesa, Bosques de San Carlos y Pijaos.

Terrazas Altas (Qta)

Están constituidas predominantemente por arcillas, de granulometrías más gruesas hacia la periferia, e intercalaciones de niveles de arcillas arenosas y arenas arcillosas, y parches de guijarros y bloques. A pesar de lo anterior, se aprecian puntos distales no cartografiables (espesor inferior a 1.5 m) de una secuencia de grano más fino de limos arcillosos rojos, con bloques esporádicos, que se extiende en dirección E-W, y cubren parcialmente la Formación Regadera. Cubren una buena porción de la franja central del cuadrángulo de estudio y subyace los barrios San Jorge Sur y parte del Marco Fidel Suarez (véase Plano 3. Geología Regional).

Depósito Coluvial (Qco)

Son las masas depositadas por antiguos movimientos de remoción en masa (deslizamientos). Involucran suelos residuales traslocados, constituidos por suelos limosos, de color marrón, y arcillas color crema a marrón, con espesor aproximado de 2 m (deducido de inspección óptica). Su plasticidad y consistencia es media a alta, y reposan en el extremo norte del polígono contiguo al trazado de la Avenida Caracas, entre las calles 33s y 41s.

Rellenos Antrópicos (Qa)

Bajo esta designación se conjugan cortes y remociones en suelo y roca de origen antrópico, hechos durante las fases de explotación de las canteras, o bien, durante el proceso constructivo de las viviendas. Está constituido por materiales y fragmentos de construcción, escombros, ladrillos, rocas trituradas, cascajos, etc. y en menor proporción basuras, embebidos en limos arenoso - arcillosos, de plasticidad baja, y consistencia media y cubre algunas franjas de desarrollo urbanístico y corredores viales.

3.2.1.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Tectónicamente poco compleja, la zona se localiza en la vertiente occidental de un pequeño anticlinal (orientación N-S, en posición normal y con gradientes que no sobrepasan los 30°). Está conformada por rocas de edad Terciaria, afectada por tres patrones estructurales, todos lineamientos de falla sin mayor influencia sobre la estratificación local así: el primero exhibe rumbo N30W, pasa a 50 m del extremo norte y su trazo es coincidente con el de la Diagonal 38S; el segundo tiene dirección N70W y dista del límite norte 150 m aproximadamente; y el tercero, irregular en su traza, posee orientación de N70W – al este – S75W – al oeste –, se ve reflejado por el trazado de la Carrera 16A, la cual discurre a 40 m del costado noroccidental del cuadrángulo de estudio.

3.2.2 GEOLOGÍA LOCAL

Este numeral contiene una descripción de la geología, con énfasis en la estratigrafía y en el patrón estructural, para el espacio comprendido entre la carrera 16 y la transversal 16 Bis y la calle 41 Sur y la diagonal 37A Sur, espacio ocupado por parte de los barrios Granjas de San Pablo y San Jorge Alto. Para este fin, se empleó la base cartográfica obtenida en el levantamiento topográfico a escala 1:500 y se aunaron los trabajos de exploración del subsuelo que conjugaron cuatro (4) sondeos manuales con ejecución continua de SPT, cuatro (4) sondeos de percusión y lavado –uno se finalizó con rotación–, tres (3) apiques y cinco (5) columnas estratigráficas, a su vez, ligadas con las estaciones estructurales. Los resultados de la exploración del subsuelo se describen explícitamente en el Capítulo 4, junto con sus memorias de cálculo y los registros de exploración y la localización de los mismos se plasman en el Plano 4 (Geología Local).

Las columnas estratigráficas facilitaron la definición de la litología y la deducción de la continuidad de los estratos de la Formación Regadera y de los depósitos. Los apiques y los sondeos fueron artífices para identificar y caracterizar los materiales del subsuelo y definir los espesores de las unidades involucradas en la secuencia estratigráfica, especialmente de los llenos mixtos, así como para evaluar la posición de la tabla de agua.

3.2.2.1 ESTRATIGRAFÍA

El relieve de los barrios Granjas de San Pablo y San Jorge se entalla en rocas del terciario, pertenecientes exclusivamente a la Formación Regadera inferior (Teri), y en depósitos cuaternarios asociados tanto a actividad antrópica (rellenos del antiguo frente de explotación) como a procesos hidrogravitacionales, caídas de rocas y flujos locales de tierra (véase Plano No. 4. Geología Local).

A partir de la información recopilada se generó un modelo que permite apreciar la conformación de la secuencia estratigráfica, integrada por bancos de areniscas y lodolitas, con claras diferencias en el proceso

de sedimentación entre el talud comprendido entre las calles 40 Sur y 41 sur – costado norte del área, y que para efectos del presente estudio se denominará T1 –, y el contiguo a la diagonal 37 A Sur – identificado como T2 –. A pesar de lo anterior prevalece el dominio de bancos de arenisca friables sobre los otros tipos de litologías.

El ambiente de formación de ambos taludes corresponde posiblemente al de llanura de inundación, por lo que las rocas son principalmente de grano fino. El macizo está conformado por areniscas de estratificación gruesa, con delgadas intercalaciones de arcillolitas.

A continuación se hace la descripción de las unidades estratigráficas aflorantes de las más antiguas, hasta las más recientes.

Areniscas - Formación Regadera (Teri-ss)

Aflora en ambas laderas y dibuja escarpes con alturas máximas de 12 m, y pendientes cercanas a 90° - medidos en el T1-. Está compuesta por areniscas, que texturalmente corresponden a areniscas lodosas y areniscas cuarzo - feldespáticas de grano medio a fino, con intercalaciones de bancos de arcillolitas y niveles de caolinita hasta de 0.15 m de espesor. (véanse Plano 4. Geología Local, y Anexo B-1).

Son poco cementadas, friables, blandas, de colores rojo, amarillo y blanco; estratificación cruzada en artesa a gran y pequeña escala, y en ocasiones estratificación convoluta. Su gradación lateral es granodecreciente, con selección moderada (se observan guijarros hasta en un 12%). La composición oscila de una subarcosa a una wacka arcocosa, el cemento es arcillo-ferruginoso y caolinítico, y se disponen en capas medias a gruesas cuyo espesor no excede un metro.

Los niveles blandos están integrados por arcillolitas limosas de color amarillo y gris claro; separan unidades de grano más grueso, poseen estratificación plano-paralela, muscovita y minerales autigénicos de aluminio. Los niveles de roca se exponen como horizonte IIB (según el perfil de meteorización de Deer y Patton, 1971); es decir como roca ligeramente meteorizada; y como procesos morfodinámicos se identifican las caídas de bloques que responden a fallas en cuña y planar.

Aunque durante el reconocimiento en campo no se detectó nivel freático alguno, se presume que esta capa puede ocasionalmente saturarse, al suprayacer en el T2, un nivel de arcillolitas de un metro aproximado de espesor (eventual capa sello para la formación de un acuífero); Si bien este no es el caso del T1, al infrayacer a una serie de depósitos cuaternarios que gozan de buena permeabilidad, si es el receptor del flujo vertical y el canal preferencial de migración del agua; este trae consigo subsecuentes procesos de reblandecimiento del material, hipótesis que merece particular atención.

Arcillolitas - Formación Regadera (Teri-cl)

Entalla los cortes del T2 especialmente los de la parte media de la ladera con gradientes que alcanzan 36°, infrayace una unidad de grano más grueso, y su continuidad es evidente a lo largo del talud, aunque en algunos tramos esta enmascarada por rellenos de origen antrópico. Se expone como roca ligeramente meteorizada, horizontes IIA y IIB (según el perfil de meteorización de Deer y Patton, 1971). Es de color gris claro a oscuro y rojiza a violácea, su plasticidad es media, su consistencia alta, la estratificación es plano-paralela, y exhibe muscovita y minerales autigénicos de aluminio y patinas de oxidación. El espesor de estas

capas oscila entre 1 m y 4 m, según mediciones en las columnas C1, C2 y C3 (veáanse el Plano 4-Geología Local y los Anexo B-1, y C-1).

Relleno Antrópico – Basuras (Qa-b)

Enmascara parcialmente las unidades de roca tanto en el T1 como en el T2; son depósitos matriz soportados en el que predominan las basuras sobre el suelo orgánico, escombros, desechos de construcción (tamaño grava fina a guijos), y suelos areno limosos, de textura terrosa, con raíces y restos de vegetales, su humedad es media, y la plasticidad es baja. La matriz es arenosa, de color crema y compacidad media. Su espesor medio es de 1.3 metros – valores arrojados por los sondeos manuales 1-4, y 5, y las columnas C2, C3 y C4 - (veáanse el Anexo B1, el Anexo C1, y el Plano 4. Geología Local), y suprayace indistinta y parcialmente a las unidades Teri-ss y Teri-cl. Y su morfología es de laderas de poca extensión y con gradientes inferiores a 15°, susceptibles de sufrir flujos por saturación, sea por infiltración o por fuga en las líneas de conducción de aguas tanto de acueducto como de alcantarillado.

Relleno Antrópico – Mixto (Qa-rm)

Cubre parcialmente las unidades rocosas cuando la pendiente es inferior a 10°. Es residente en los dos frentes de explotación, pero con énfasis en la parte central del T2 y enmascara puntualmente las unidades de roca: Qa-rm/Teri-ss y Qa-rm/Teri-cl (Plano 4) . Aunque, se puede confundir con un depósito de basuras pues su composición es similar difiere de este último en que prevalecen los fragmentos líticos especialmente los de la arcillolita. El origen de este tipo de relleno está asociado a la explotación minera y su espesor no sobrepasa el metro (véanse Plano 4. Geología Local y los Anexos B1 y C1). Son el recinto preferencial para la gestación de flujos de tierra, detonados por saturación y favorecidos por los cambios de pendiente y el reblandecimiento.

3.2.2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La Sabana de Bogotá representa un marco estructural particular dentro de la Cordillera Oriental, gracias a la existencia de una potente cubierta sedimentaria infrayacida por un basamento rígido. El resultado de esta interacción se refleja en pliegues con ejes principalmente orientados en sentido Norte-Sur, y fallas longitudinales y transversales a dichos ejes.

En las vertientes – barrios Granjas de San Pablo y San Jorge - el control estructural lo ejercen patrones estructurales, que si bien no están completamente identificados dentro de las laderas en estudio, si repercuten en la orientación de los estratos y en la respuesta mecánica de los macizos rocosos, los lineamientos de falla y las discontinuidades. Las primeras son locales, de poca continuidad lateral, y ortogonales al rumbo de la estratificación, condición que se observa con mayor claridad en las proximidades a T1; las segundas son de poca persistencia, onduladas, suaves planas rugosas y discontinuas.

A continuación se describe el conjunto de los elementos estructurales con incidencia en el comportamiento de las laderas en las que se asienta el barrio Granjas de San Pablo.

Lineamientos de Falla

El primero de los lineamientos, tiene una orientación N30W, puede condicionar la continuidad de la familia de diaclasas $D_3=35/75$ identificada en los taludes T1 y T2; El segundo y tercero exhiben rumbos N70W y S75W, respectivamente, podrían ejercer algún tipo de control sobre la estratificación, pues los datos colectados durante el trabajo de campo, develan valores similares en rumbo y buzamiento (véanse Plano 4. Geología Local y Anexo B-3).

Discontinuidades

Son los elementos estructurales más abundantes, se trata de superficies de fractura donde el movimiento es imperceptible; se generan a partir de los esfuerzos deformacionales de la corteza terrestre, y ejercen control mecánico en las principales exposiciones del macizo rocoso. Están compuestas por cuatro familias principales: la estratificación y tres diaclasas. La Primera E_1 , posee como promedio 178/07, es plana-rugosa a plana-suave, persistente, abierta, con relleno ferruginoso y seca. Las segundas cuentan con orientaciones promedio 173/81, si se trata de D_1 ; 35/75 para D_2 ; 280/86 en lo que atañe a D_3 ; empero delimitan cambios de polaridad al punto de marcar: 332/75 (D_4) para la primera – D_1 -, 237/74 en la segunda (apodada D_5), y 90/83 si se trata de D_3 (también denominada como D_6); son onduladas suaves, abiertas, de persistencia poca a media, en algunos espacialmente oxidadas, con rellenos arcillosos y arenosos - ferruginosos. El Anexo B.3 condensa el conjunto de datos estructurales levantados, divididos por estaciones y la ubicación geográfica de éstas últimas; y las secciones 4.2.2.2 y 6.1 de los capítulos 4 y 6, respectivamente, tratan su caracterización geomecánica y su incidencia en la estabilidad.

3.2.3 GEOMORFOLOGÍA

3.2.3.1 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

El área de trabajo está ubicada sobre la vertiente Oeste de la Cordillera Oriental, cuyo levantamiento definitivo se inició hace unos 4 m.a., y generó un relieve imponente, retrabajado en la Era Cuaternaria por cambios climáticos acentuados y propuestas de expansión antrópica – urbanismo e industria extractiva – ,que provocaron la aparición de fenómenos erosivos y de remoción en masa de gran escala. Así, las cosas, las geoformas actuales están relacionadas con procesos morfogenéticos de tipo Estructural, Denudativo y Acumulativo. Producto de la compleja evolución tectónica ocurrida durante el terciario, de los procesos de erosión pluvial, de los movimientos de remoción en masa y de la intensa actividad antrópica.

Las vertientes de estudio, no son la excepción, ellas son el reflejo de ambientes de tipo Estructural – Antrópico, Antrópico y fluvial. Su clasificación se lleva a cabo según los lineamientos de VERSTAPPEN (1975) y VAN ZUIDAN (1985), sistemas basados en la morfogénesis de las estructuras. Y su delimitación se realizó con base en un trabajo de fotointerpretación y un posterior reconocimiento de campo.

Las geoformas de ambiente estructural/antrópico esculpen: pendientes que reflejan la variable resistencia de las capas de arenisca y arcillolita de la Formación Regadera, y sobre las que tiene lugar el desarrollo de otras unidades de origen antrópico; o contrapendientes, bastante erodadas y en las que es notoria la influencia tectónica y antrópica.

La unidad de origen fluvial agrupa los depósitos originados por las corrientes. Están compuestos principalmente por arenas, guijarros y cantos de arenisca, de formas subredondeadas a redondeadas, son escasos y poseen en general poco espesor, debido a las características topográficas del terreno y al régimen dinámico de las corrientes que en la actualidad están en proceso de entalle.

3.2.3.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

La descripción y cartografía de la geomorfológica local, se basa en la interpretación de fotografías aéreas y en los trabajos de campo.

Morfología

Las principales formas del terreno son las expresiones dinámicas del relieve, edificado por fuerzas endógenas de la tierra, que han actuado a través del tiempo geológico, y el modelado por agentes externos, especialmente de tipo climático y antrópico, manifiestos en la denudación de las laderas iniciales y en la edificación de nuevas geoformas de tipo denudativo y de agradación antrópica.

De acuerdo con los criterios de jerarquización y clasificación geomorfológica, el área de estudio conjuga los relieves o modelados relacionados a continuación con sus respectivas geoformas o unidades geomorfológicas (véase Plano 5. Geomorfología y procesos).

Clasificación de Unidades Geomorfológicas

Los factores inherentes que se tuvieron en cuenta para seleccionar, clasificar y definir las unidades geomorfológicas fueron: la litología, la morfometría (pendientes) según van Zuidam (1985), la geología estructural, los procesos morfogenéticos y morfodinámicos (agradación y denudación), el drenaje y la morfología. De la convolución de estos elementos se obtuvieron como grandes unidades de relieve las siguientes:

Modelado Estructural Antrópico

Se relaciona con los rasgos morfológicos de las estructuras geológicas regionales (fallas, pliegues y lineamientos fotogeológicos) así como de la orientación de las capas (estratificación), cortadas o intervenidas por el hombre. La más importante manifestación en Granjas de San Pablo son los escarpes producidos por las actividades de explotación minera sobre las unidades de arenisca y arcillolita propios de la Formación Regadera Inferior (Teri); las que a su vez, constituyen la siguiente subunidad:

- Ladera Estructural - Antrópica en Areniscas (Lea-ss)

Esta unidad se expone en el costado occidental del área de estudio (ladera T1), forma los terrenos de mayor pendiente. Su morfología es escarpada y recia con pendientes que van de 56° a 74° (alta a muy alta) con longitudes de 60 a 90 m. Está conformada por paquetes de arenisca de la Formación Regadera (Teri-ss), cubiertos en el tope especialmente (en el costado más occidental), por rellenos antrópicos. La disposición estructural de las rocas dibuja una inclinación de 5 a 10 hacia el SW, condición desfavorable a la estabilidad natural de la ladera. El suelo residual parcial, en donde solo tienen lugar los horizontes III y IV (según Deere y Patton, 1971).

La evolución morfodinámica de esta unidad está controlada por:

- La alta permeabilidad de las areniscas de los citados paquetes sirven como zona de recarga para aguas subsuperficiales, aunque no se evidencian fenómenos severos de infiltración. La dirección probablemente de flujo es N-S.
- Los asentamientos urbanos dispuestos en el interfluvio de la ladera. Ellos generan un incremento del régimen de infiltración por el vertimiento esporádico de las aguas servidas, y facilitan el desarrollo de procesos de erosión laminar, causados también por la acción de las aguas lluvias.
- Los planos de discontinuidad. Estos elementos estructurales facilitan la gestación de caídas de rocas y bloques, especialmente la familia $D_4=237/74$, su principal recinto de expresión es alrededor de las viviendas 55 a 59 de la manzana 52 (Taludes T5 y T9 del Análisis Cinemático – sección 6.1 del Capítulo 6)

Modelado Antrópico - Denudacional

Conjuga el trabajo progresivo de la acción del hombre, al generar estructuras morfológicas, y de los agentes de intemperismo agua y sismo como gestores de procesos denudativos. En este relieve se identificó como subunidad geomorfológica (geoforma), la siguiente:

- Ladera Arcillosa de pendiente media a alta (Lpm-cl)

Está definida por paquetes arcillosos (Teri-cl), expuestos a media ladera en T2. Las pendientes en esta unidad no sobrepasan los 20° y son el resultado de la explotación en antiguos chircales. La permeabilidad es baja debido al carácter impermeable de las arcillas y como procesos morfodinámicos se destaca la erosión laminar y en surcos incipiente.

Modelado Antrópico - Agradacional

Durante las décadas de los 80 y 90 las geoformas, zanjones y drenajes naturales que cruzaban el área de estudio fueron modificados e incluso obturados con llenos heterogéneos, compuestos incluso por escombros de construcción y basuras. De acuerdo con las apreciaciones de los moradores del sector, verificadas durante la investigación del subsuelo, el origen de tales depósitos son en su totalidad producto de las diferentes explanaciones para construcción y de los materiales arcilloso extraídos en banca. La estabilidad de esta unidad está controlada principalmente por la heterogeneidad de los materiales de muy pobre compactación y resistencia por las aguas de infiltración y de escorrentía del sector.

- Explanación Antrópica en Arenisca (Ea-ss)

Está restringida a superficies con gradientes inferiores a 10° desarrolladas sobre la unidad Teri-ss. Espacialmente están limitadas a una pequeña franja entre el T1 y el T2 y las Carreras 16 y 16 Bis, sirve como plataforma de fundación para las casas 34, 35, 36, 104, 105, 109 y 110 de la manzana 69. Superficialmente encierra llenos de poco espesor, dispuestos para nivelar el terreno previo a la construcción de las viviendas. Por su morfología no se identificó algún tipo de proceso de inestabilidad.

-Explanación Antrópica en Depósitos antrópicos (Ea-qa)

Localizada en el entalle del T2 (parte alta), donde se han efectuado excavaciones y reconformación del terreno destinados a la construcción de viviendas, se presenta en forma de una pequeña planicie de poca extensión, sobre la cual se ha dispuesto el material estéril y algunos depósitos seleccionados de areniscas y basuras. No se aprecian fenómenos erosivos acumulativos importantes. El tipo de material arenoso y

granular de que está conformado adicional a la de finos (aglutinante) al igual que el manejo y control deficiente tanto de aguas superficiales como subsuperficiales pueden propiciar el desarrollo de fenómenos erosivos (surcos) en el sector.

-Ladera de pendiente media en rellenos antrópicos (La - q)

Cubre el corredor oriental del sector 2, adosado a la manzana 69, paralelo al peatonal. Está definida por llenos superficiales de composición mixta, dispuestos sobre superficies preparadas por la actividad minera. Pueden activarse por la acción de las aguas lluvias y servidas y se manifiesta hoy día por una superficie rugosa y cóncava, inactiva.

Morfometría

En el área de estudio existen tres (3) zonas de pendiente claramente definidas. La primera entalla la parte baja y alta de la ladera, posee gradientes menores de 10°, ha sido habilitada para vías de acceso y asentamientos humanos por medio de actividades de excavación o disposición de material de relleno heterogéneo.

La segunda está ubicada desde el escarpe principal de las superficies libres (taludes T1 y T2) hasta la base de los mismos. Surca con rumbo N-S enmascarada por la construcción de asentamientos humanos. Su pendiente diverge en el dominio [56° - 74°]. La tercera zona ocupa las áreas donde se han dispuesto los llenos (basuras, escombros, areniscas y arcillolitas) libres de intervención antrópica adicional. La pendiente oscila entre los 10° y los 20°.

Procesos Morfodinámicos

La identificación de las unidades geomorfológicas en un área de trabajo contribuye al entendimiento de los procesos de degradación del terreno en general. Cada unidad posee rasgos morfológicos particulares que dependen entre otros, de los procesos morfodinámicos que en ella se desarrollen. Estos rasgos permiten la identificación de cada unidad.

Los terrenos originales donde descansan los barrios Granjas de San Pablo y San Jorge Alto correspondían a laderas erodadas, modificadas en su morfometría por el avance de la industria extractiva, la disposición inadecuada de material de relleno (mixto y basuras) y la adecuación de áreas para el desarrollo de asentamientos humanos. Como resultado de la convolución de tales eventos acaecen diversas expresiones morfodinámicas dentro de las observaciones de campo se identificaron los siguientes procesos ante las nuevas condiciones generadas por el desarrollo urbanístico (véanse Anexo B-2. Inventario de procesos).

- **Caída de rocas y bloques.** Es el más importante proceso de inestabilidad en el marco del barrio, sus manifestaciones son esporádicas en el tiempo, su periodo de recurrencia, basado en el conocimiento de los habitantes, oscila entre 10 y 15 años, periodo en parte amortiguado por el trabajo permanente de mitigación de la población; gracias al retiro de los bloques potenciales. La más reciente data de un año atrás, sin repercusión alguna.

Los bloques móviles, poseen tamaños hasta de 0.5 m de arista, con aristas angulares; la longitud de viaje máxima es de 10m. Las principales causas intrínsecas de su movillización reposan en el patrón de diaclasamiento y en el fracturamiento secundario derivado de la explotación y quizá del uso de explosivos

y son detonados por sobreexcavación en la periferia de las viviendas (erosión antrópica gestada por los mismos moradores).

- **Reptación y flujos de tierra.** Se circunscriben al costado oriental de la ladera T2 y esbozan superficies rugosas y cóncavas. El material traslocado responde a rellenos superficiales de composición mixta (Qaa-m), que fueron dispuestos durante la adecuación de estos terrenos; la profundidad de movimiento alcanza los 2m, y la longitud total no supera los 10m, sus agentes detonantes y contribuyentes recaen en las aguas lluvias y servidas. El ángulo de inclinación del contacto suelo-roca (>16°); y los bajos parámetros de resistencia del material.
- **Erosión laminar y en surcos** Afecta principalmente la ladera del extremo oriental; entre las carreras 16 y 16Bis y la calle 40 Sur, donde se exponen suelos arcillosos y los llenos. Las expresiones morfodinámicas tienen como único detonante el agua de escorrentía, la actividad antrópica, expresada en el tránsito y vertimientos incrementa la tasa de erosión.

Aunque por último los asentamientos diferenciales no son propios de la clasificación morfodinámica, se incluyen aquí debido a su relevancia en las construcciones. Este proceso tiene su escenario preferencial en las residencias 01, 60 y 61 de la manzana 52, el suelo de fundación reside en depósitos Antrópicos carentes de compactación alguna y compresibles. Su respuesta está matizada por la acción individual o conjunta de las aguas de escorrentía y servidas.

En la Tabla 3. 2 se describen los diferentes procesos morfodinámicos de cada una de las unidades geomorfológicas.

Tabla 3. 2 Unidades Geomorfológicas

UNIDAD GEOMORFOLOGICA	SIMBOLO	TIPO DE RELIEVE	LITOLOGIA	PROCESOS MORFODINAMICOS
Ladera Estructural - Antrópica en Areniscas	(Lea-ss)	Escarpado	Areniscas	Caída de Bloques y fragmentos
Ladera Arcillosa de pendiente media a alta	(Lpm-cl)	Ondulado	Arcillolitas intercalada con areniscas	Pequeños flujos de material meteorizado y erosión incipiente.
Explanación Antrópica en Arenisca	(Ea-ss)	Plano	Areniscas	-
Explanación Antrópica en Depósitos antrópicos	(Ea-qa)	Plano	Rellenos Antrópicos	Erosión Incipiente
Ladera de pendiente media en rellenos antrópicos	(La - qa)	Ondulado	Rellenos Antrópicos	Pequeños flujos de material meteorizado y erosión incipiente

3.2.4 HIDROGEOLOGÍA

El componente hidrogeológico relaciona la geología, la hidráulica del agua subterránea, las fuentes y áreas de recarga, y el tipo de agua saturante del subsuelo. Como se describió en el numeral 3.2.2, las laderas vertientes se encuentran constituidas por areniscas con intercalación de arcillolitas de la Formación Regadera, depósitos de Terraza Alta, y materiales no consolidados que conforman rellenos antrópicos.

Las areniscas de la Formación Regadera, definida como un acuitardo discontinuo de extensión regional, asociado a rocas arcillosas con algunas intercalaciones de arenas (DAMA 2000), conforman una ladera

escarpada, con buzamientos generalizados hacia el noroccidente. Forman un acuífero semiconfinado, con permeabilidad primaria en los miembros superiores (suelos residuales a partir de las areniscas lodosas suprayacidas por los limos rojos e infrayacidas por arcillolitas), en el que las arcillolitas actúan como una unidad confinante; y sus parámetros geohidráulicos (según el Modelo Hidrogeológico para los Acuíferos de Bogotá D.C., DAMA, 2000) – válidos también para el nivel superior de la Formación Bogotá – son: conductividad hidráulica equivalente (Km/d) de 0.08+ y coeficiente de almacenamiento de $1.0 \cdot 10^{-6} + ..$

Los sedimentos finos actúan como barrera impermeable para el agua freática que transportan los suelos residuales y las areniscas de la Formación Regadera. Y por último los rellenos antrópicos no constituyen acuíferos por su delgado espesor y su carácter litológico, principalmente arcilloso. En consideración con lo anterior, y dada la alta pendiente de las laderas, la permeabilidad y la transmisividad de las areniscas residuales que es mayor que sus estratos supra e infrayacentes, se establece que la infiltración es alta. Sin embargo, como morfológicamente el área de estudio está ubicada en una zona elevada, 50 metros arriba del nivel base del Río Tunjuelito, y posee una área pequeña de recarga y una alta variabilidad topográfica, el agua lluvia fluye rápidamente por las laderas del sector, y se infiltra principalmente en los segmentos más superficiales del terreno. Lo que da como resultado un nivel freático con flujo intermitente y variable en la vertical.

Los suelos y roca superiores, por tanto se encuentran parcialmente secos; empero el trabajo individual o conjunto de las aguas lluvias (en periodos de altas precipitación) que aporta a la recarga natural e infiltración de aguas da lugar a la saturación temporal del manto superior de los suelos; efecto de especial trascendencia en el Cuaternario cuyo espesor no supera los 1.5 metros.

Algunos habitantes de las viviendas – casas 1, 41 a 43, 45, 46 y 48 a 61 de la manzana 52 - reportan horizontes de humedad superiores a 1.60 m. de altura en las paredes de sus casas y comentan la ocurrencia de estas manifestaciones de agua en especial en épocas de invierno o de precipitaciones fuertes.

Así las cosas, y en conclusión la conjugación de los resultados de la investigación de campo, de la información hidrogeológica y piezométrica secundaria (DAMA, 2002) y de las consideraciones técnicas antes expuestas, se infiere que el nivel del agua subterránea es variable, y su condición externa puede implicar la saturación completa de los depósitos y de los suelos residuales de regadera.

3.2.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

D.A.M.A. DEPARTAMENTO TECNICO ADMINISTRATIVO MEDIO AMBIENTE. Modelo Hidrogeológico para los acuíferos de Bogotá D.C. Julio 2002.

GUTIERREZ & COLEGIAL. 1987. Geología y aspectos geotécnicos de la parte central del sector denominado "Ciudad Bolívar" en el Distrito Especial de Bogotá. Trabajo de Grado. Departamento de Geociencias. Universidad Nacional de Colombia.

HERNANDEZ BORDA, P. 2001. Principios básicos de geomorfología, unidades geomorfológicas, su cartografía para fines geotécnicos. Universidad Nacional de Colombia. Unidad Académica de Geotecnia.

HIDROGEOLOGÍA Y GEOTECNIA LTDA (1999). "Estudio de Riesgos por Remoción en Masa y Diseños Detallados de las Obras de Control, Protección y Estabilización en el Barrio La Carolina, Rafael Uribe Uribe". FOPAE, Santa Fe de Bogotá D. E.

INDESA LTDA (1999). "Estudio de Riesgos por Remoción en Masa y Diseños Detallados de las Obras de Control, Protección y Estabilización en el Barrio Luis López de Mesa, Rafael Uribe Uribe". FOPAE, Santa Fe de Bogotá D. E.

INGEOMINAS (1997) Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá. Subproyecto No. 7. Estudios Geofísicos. Santa Fe de Bogotá D.C.

INGEOCIM LTDA. – UPES – FOPAE. 1998. Zonificación de riesgos por inestabilidades del terreno para diferentes localidades de Bogotá.

JULIVERT, m. 1961. Observaciones sobre el Cuaternario de la Sabana de Bogotá. Boletín de Geología No. 7:5-36, Bucaramanga.

VAN DER HAMEN, T. 1995. Memoria Explicativa de los Mapas del Neógeno y Cuaternario de la Sabana de Bogotá. Revista Análisis geográficos No. 24. IGAC. Bogotá.

VAN ZUIDAM, R. 1985. Aerial photo interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences.

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS
PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

CAPÍTULO 3- GEOLOGÍA CONTENIDO

3.1	MÉTODO DE TRABAJO	1
3.1.1	METODOLOGÍA	1
3.1.2	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE	2
3.1.3	FOTOINTERPRETACIÓN	3
3.1.4	TRABAJO DE CAMPO	4
3.2	GEOLOGÍA	4
3.2.1	GEOLOGÍA REGIONAL	4
3.2.1.1	ESTRATIGRAFÍA	5
3.2.1.2	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	6
3.2.2	GEOLOGÍA LOCAL	6
3.2.2.1	ESTRATIGRAFÍA	6
3.2.2.2	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	8
3.2.3	GEOMORFOLOGÍA	9
3.2.3.1	GEOMORFOLOGÍA REGIONAL	9
3.2.3.2	GEOMORFOLOGÍA LOCAL	10
3.2.4	HIDROGEOLOGÍA	13
3.2.5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14

LISTA DE TABLAS

Tabla 3. 1	Fotografías aéreas de referencia	3
Tabla 3. 2	Unidades Geomorfológicas	13

LISTA DE ANEXOS

ANEXO B	Geología
Anexo B1	Columnas Estratigráficas
Anexo B2	Inventario de Procesos
Anexo B3	Levantamiento Estructural

LISTA DE PLANOS

Plano 3	Geología Regional
Plano 4	Geología Local
Plano 5	Geomorfología
Planos 7 y 8	Secciones Geológicas

CAPÍTULO 4

ESTUDIO GEOTÉCNICO

En este capítulo se muestran los resultados de las actividades de campo, laboratorio y oficina conducentes a la caracterización geomecánica de los materiales térreos, naturales y antrópicos, existentes en los barrios objeto de estudio. Todas las actividades se retroalimentaron para obtener un modelo geotécnico representativo del subsuelo útil para la evaluación de estabilidad.

4.1 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

4.1.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO

A partir de los primeros trabajos de geología, se requirió resolver tres cuestionamientos básicos: los contactos litológicos, los espesores y tipos de material constitutivos de los depósitos cuaternarios y su influencia en el comportamiento de las laderas, y la divergencia en el patrón de respuesta de las franjas occidental y oriental. Una vez evaluadas las bondades, la relación beneficio-costos y las limitaciones de los diferentes métodos de exploración, se concluyó que con respecto a la identificación de los contactos la mejor alternativa del programa de exploración inicial consistía en la ejecución de columnas estratigráficas.

La secuencia identificada a partir del programa inicial, permitió definir un plan complementario de exploración, en donde tomaron relevancia los sondeos manuales y mecánicos de percusión y lavado, de muestreo continuo con SPT, con el fin de investigar los cuaternarios, labor realizada hasta alcanzar el nivel de roca u horizontes de mayor resistencia. Simultáneamente se llevó a cabo un buen número de ensayos de laboratorio sobre muestras representativas alteradas e inalteradas para la obtención de las propiedades físicas y mecánicas, especialmente de los rellenos antrópicos.

Los sondeos con avance por rotación fueron descartados como método exploratorio porque, por una parte, en secuencias estratigráficas de bajo buzamiento, como las inherentes al trabajo –más aún la del sector occidental–, requieren grandes profundidades para atravesar los diferentes estratos rocosos y ello lo convierte en una propuesta costosa; y por otra, el adose de las construcciones a la corona de los taludes impide la puesta en funcionamiento del equipo de perforación. Igual suerte corrieron la refracción sísmica y los sondeos geoeléctricos, que si bien arrojarían información valiosa acerca de los espesores rocosos, presenta limitaciones impuestas por la ausencia de espacios abiertos libres de obras urbanísticas, en especial de andenes y pavimentos, y por la ausencia de sondeos mecánicos profundos para correlacionar la información.

Adicionalmente, se tomaron datos estructurales representativos de las familias de discontinuidades en las exposiciones del macizo rocoso –i.e en los dos frentes expuestos y en los escarpes aledaños al norte, oriente y occidente–. Estos incluyeron entre otros tópicos, información sobre las tendencias generales de orientación:

rumbo y buzamiento y características físicas como abertura, espaciamento, rugosidad y persistencia, entre otras. La síntesis del conjunto de información se consolidó en resúmenes gráficos que facilitaron la caracterización, por zona geotécnica, de los materiales y su comprensión mediante secciones de análisis geológico-geotécnicas.

4.1.2. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

El programa de investigación del subsuelo se definió con base en las facilidades y limitaciones otorgadas por la zona de estudio. Los sitios para la realización de las labores de exploración se seleccionaron cuidadosamente, especialmente por las enormes dificultades de espacio en el frente de explotación occidental (sector 1), a fe de obtener la mayor calidad en la información y el menor deterioro ambiental y físico de las laderas y residencias, respectivamente. El panorama descrito reveló como único camino el uso de los métodos directos como herramienta fundamental.

La exploración se abordó en dos etapas: la primera de ellas se dirigió a: a) definir los contactos litológicos superiores, en especial la continuidad lateral y longitudinal de los paquetes de arenisca; b) rastrear intercalaciones de arcillolita en el a priori banco de arenisca, pues ellas pueden condicionar la respuesta de las superficies libres (laderas o taludes); esta tarea se enfatizó en el frente expuesto occidental –Sector 1–, gracias a su mayor disposición cinemática y a su composición lítica (demarcada en una secuencia monótona de areniscas); c) detectar flujos locales de agua que puedan incidir en la gestación de los deslizamientos, d) inferir la presencia de fallas o estructuras locales que tuvieran repercusión en la estabilidad de los cortes. Esta fue solventada mediante la elaboración de columnas estratigráficas, toma de datos estructurales y apiques.

La segunda fase, basada exclusivamente en sondeos con avance manual o mecánicos –percusión y lavado–, tuvo como objetivos principales: dilucidar los patrones geométricos de los depósitos recientes (espesor y variación), en especial de la interfase depósito-roca; conocer el estado y composición de los materiales del subsuelo involucrados, máxime del cuaternario; inferir la probable posición de las superficies de deslizamiento y obtener muestras para su caracterización física y mecánica.

Durante estos trabajos se describieron los materiales encontrados; en cada caso se consignaron: tipo de material, tamaño de grano, distribución granulométrica, color, contenido de humedad, presencia de oxidaciones y fisuras; meteorización y compacidad o consistencia. Además se realizaron pruebas in-situ de penetración estándar SPT. Finalmente, el programa de ensayos de laboratorio se enfocó hacia la investigación de los ambientes geotécnicos que involucran los problemas de estabilidad potenciales o estabilizados; es decir, a la caracterización del material rocoso y del depósito superior, y a la estimación de sus resistencias al corte (en especial en las discontinuidades, con pruebas de corte directo). Todas las muestras se identificaron visualmente en campo, se etiquetaron o almacenaron de acuerdo con las normas de la ASTM, para ser enviadas al laboratorio.

4.1.2.1. MÉTODOS DIRECTOS

Se efectuaron 8 perforaciones, distribuidas en igual proporción entre las de avance manual y las de percusión y lavado. Las primeras, manuales, se destinaron a la prospección del cuaternario en el frente occidental; y las segundas, en aras de caracterizar los llenos y cerrar los modelos espaciales. Su ubicación persiguió la

deducción del modelo espacial mediante su alineamiento y comparación con la información levantada en las columnas estratigráficas. En este sentido ellas pueden utilizarse en secciones específicas para el posterior análisis geotécnico. Igualmente, se obtuvieron muestras alteradas e inalteradas que condujeran hacia la caracterización de los materiales involucrados en los procesos de inestabilidad y se complementaron con pruebas de campo como SPT (destinado para los llenos heterogéneos y los suelos residuales).

Así las cosas, las dos etapas de exploración dejaron entrever que la secuencia estratigráfica es normal, heterogénea y continua, pero con disposiciones multicapa configuradas por secuencias monótonas de areniscas, suprayacidas por llenos heterogéneos delgados (< 3 m de espesor), si se trata de los cortes en la franja occidental. Cabe reseñar, que en ninguno de los sondeos se detectó el nivel freático, lo cual indica bien una posición relativamente profunda de la tabla de agua (>6 m) o bien una gran variación estacional.

En el Plano 4 se muestra la distribución en planta de las columnas, los sondeos, y los afloramientos superpuesta a la geología de superficie y, en el Anexo C1 se disponen los registros obtenidos representados en forma gráfica. De igual forma, en la Tabla 4. 1 se referencian las coordenadas, cotas y profundidades de los sondeos directos, en la se describen los niveles estratigráficos identificados, y en la Tabla 4. 3 las profundidades a las que se encontraron los niveles para los diferentes sondeos.

Tabla 4. 1 Localización de los puntos de exploración directa del subsuelo

	Punto de Exploración	Coordenadas		Cota - Profundidad (m)	Nivel Freático (m)
		Norte (m)	Este (m)		
TALUD 1	Sondeo 1	97313.0	95492.0	2590.0 – 1.90	No Encontrado
	Sondeo 2	97368.0	95431.5	2583.7 – 4.30	
	Sondeo 3	97350.0	95455.0	2586.0 – 1.55	
	Sondeo 4	97330.0	95476.0	2589.0 – 2.50	
TALUD 2	Sondeo 5	97356.5	95566.0	2618.2 – 5.50	
	Sondeo 6	97335.0	95579.5	2614.5 – 1.45	
	Sondeo 7	97321.0	95573.0	2608.5 – 3.40	
	Sondeo 8	97338.0	95587.0	2621.3 – 3.37	
	Apique 1	97323.0	95605.0	2619.0 – 1.10	
	Apique 2	97319.5	95607.0	2614.7 – 1.20	
	Apique 3	97321.0	95612.0	2614.4 – 1.00	
	Apique 4	97334.0	95589.0	2619.5 – 1.50	
	Columna 1	97323.7	95609.0	2621.5 – 8.00	
	Columna 2	97324.2	95598.8	2619.0 – 12.4	
	Columna 3a	97345.0	95574.0	2615.5 – 4.70	
	Columna 3b	97334.0	95573.0	2611.5 – 3.00	
TALUD 1	Columna 4a	97343.5	95458.0	2586.0 – 4.80	
	Columna 4b	97338.0	95460.5	2585.0 – 3.20	
	Columna 4c	97341.0	95456.0	2580.0 – 2.00	
	Columna 4d	97345.0	95449.5	2578.5 – 1.85	
	Columna 5	97316.0	95479.0	2585.0 – 8.70	

Tabla 4. 2 Descripción de los niveles estratigráficos

NIVEL	SIMBOLO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	Qa-b	Depósito Antrópico – Basuras	Está constituido por materiales orgánicos e inorgánicos, en matriz de composición heterogénea, desde arenosa hasta arcillosa, aunque domina esta última. Son de color café y pardo oscuro y su humedad es baja.
2	Qa-rm	Depósito Antrópico – Relleno Mixto	Encierra fragmentos de explotación minera –areniscas y arcillolitas – con tamaños hasta de 0.50 m de arista, y residuos sólidos urbanos (basuras), embebidos en una matriz arcillo-arenosa, resultado de la disgregación de fragmentos de roca por procesos mecánicos y meteorización. Se exhiben en colores marrón y pardo a café.
3	Sr - Teri - cl	Suelo residual de las arcillolitas de Regadera	Arcillas de color gris a crema con patinas amarillas producto de la alteración de los minerales de hierro. Su humedad es media, y su plasticidad media a baja. A este grupo pertenecen los horizontes IC y IIA de Deer y Patton.
4	Sr - Teri - ss	Suelo residual de las areniscas de Regadera	Limo arenoso o arenas-arcillosas de color pardo a marrón, con relictos de material parental, alteración de minerales feldespáticos. Humedad media a baja, y plasticidad baja.
5	Teri – cl	Formación Regadera – Miembro arcilloso	Arcillolita abigarrada, caolinitica (parcialmente), dispuesta en capas delgadas de consistencia dura y fractura concoidea.
6	Teri – ss	Formación Regadera – Miembro arenoso	Areniscas arcosa, blandas, friables, mal seleccionadas, de granos subredondeados a subangulares, cemento arcilloso, ferruginoso y caolinitico.

Tabla 4. 3 Profundidades de niveles estratigráficos para cada punto de exploración

Sondeos	Nivel					
	1	2	3	4	5	6
1		0.00-0.50		0.50-1.50		1.50-1.87
2	0.00-1.85			1.85-3.80		3.80-4.30
3				0.30-1.20		1.20-1.55
4	0.00-0.50			0.50-2.00		2.00-2.50
5		0.00-1.30	1.30-4.50		4.50-5.50	
6		0.00-1.25			1.25-1.45	
7		0.00-0.50	0.50-1.50		1.50-2.20	2.20-3.40
8		0.00-1.55	1.55-2.70		2.70-3.40	
Apiques						
1		0.00-0.80			0.80-1.10	
2		0.00-0.50				0.50-1.20
3		0.00-0.30				0.30-1.00
4				0.00-1.50		
Columnas						
1		6.25 – 8.00			3.50 – 6.25	0.00 – 3.50
2	7.00 – 8.00				0.00 – 3.50 5.00 – 7.00 8.00 – 12.50	3.50 – 5.00
3	0.00 – 1.30 5.75 – 7.00				1.30 – 4.75	4.75 – 5.75
4	0.00 – 1.50					1.50 – 8.00
5						0.00 – 9.00

4.1.2.2. ENSAYOS DE CAMPO

El avance en los sondeos manuales se llevó a cabo con el ensayo de penetración estándar, SPT, el cual se consideró adecuado dado el carácter heterogéneo de los suelos encontrados y bajo la consideración que el muestreo inalterado en este tipo de suelos (principalmente arenosos) se dificulta. Así mismo, gracias a éste ensayo se consiguen concurrentemente, muestras alteradas para clasificación, y un estimativo de la resistencia del material a partir de los cuales se pueden constatar los contactos litológicos. El ensayo se practicó con equipo manual y pesa de: 140 lb para los sondeos S1, S2, S3 y S4, y equipo mecánico y pesa de 140 lb para los sondeos S5, S6, S7 y S8. El número de golpes de campo para cada uno de los sondeos aparece graficado en los registros de perforación dispuestos en el Anexo C1.

El número de golpes registrado en campo (N_{45}) fue normalizado con el objeto de tener en cuenta el confinamiento del material y la relación de energía promedio aplicada, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$N_i' = C_N * N * \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * \eta_4 \quad \text{Ec. 4.1}$$

En donde:

- N_i' : Número de golpes corregido para un determinado nivel de transmisión de energía /
- C_N : Factor de ajuste para tener en cuenta el esfuerzo geostático, σ'_v . Se evaluó con base en las propuestas de Peck, Seed, Meyerhoff-Ishihara, Liao-Whitman, Skempton, Sedd-Isdriss, Schmertmann y González, cuidando siempre que este factor no resultara mayor que 2. Estos valores posteriormente se promediaron
- η_1 : Factor de corrección por eficiencia de energía transmitida del martillo al varillaje y al tomamuestras. Se obtiene como la relación entre las eficiencias medias de cada país así, para Japón la eficiencia es del 72%, para USA del 60% y para Colombia del orden de 45%.
- η_2 : Factor de corrección por longitud del varillaje.
- η_3 : Factor de corrección por presencia de revestimiento. Debido a que no se utilizó revestimiento, el factor de corrección es 1.0.
- η_4 : Factor de corrección por diámetro de la perforación. Los diámetros de las perforaciones fueron inferiores a 12 cm, por lo cual el factor de corrección es 1.0

Con el fin de estimar los valores de ángulo de fricción equivalente, ϕ_{eq} , se promediaron los resultados obtenidos de las siguientes expresiones(véase Tabla 4. 4):

Tabla 4. 4 Expresiones para correlacionar el ángulo de fricción a partir del SPT

Kishida	$\phi = 15 + \sqrt{20 * N_{72}}$	Ec. 4.2
JRB	$\phi = 15 + \sqrt{15 * N_{72}}$	Ec. 4.3
Shiou & Fukui	$\phi = 27 + 0.36 * N_{72}$	Ec. 4.4
JNR	$\phi = 27 + 0.30 * N_{72}$	Ec. 4.5

Adicionalmente, y con el ánimo de evaluar cualitativamente los resultados del ensayo de penetración, en la Tabla 4. 5 y en la Tabla 4. 6 se presentan algunos criterios de Terzaghi y Peck, que relacionan la resistencia a la penetración con la compacidad relativa en arenas y con la consistencia en suelos finos, respectivamente. La valoración de estas propiedades en los materiales encontrados también se relaciona en la Tabla 4. 4.

Tabla 4. 5 Relación entre la densidad relativa y la resistencia a la penetración

Resistencia a la penetración, N (golpes/pie)	Compacidad relativa
0 – 4	Muy suelta
4 – 10	Suelta
10 – 30	Media
30 – 50	Compacta
>50	Muy compacta

Tabla 4. 6 Relación entre la consistencia y la resistencia a la penetración

Resistencia a la penetración, N (golpes/pie)	Resistencia a la compresión simple (Kg/cm ²)	Consistencia
<2	<0.25	Muy blanda
2 – 4	0.25 – 0.50	Blanda
4 – 8	0.50 – 1.00	Media
8 – 15	1.00 – 2.00	Firme
15 – 30	2.00 – 4.00	Muy firme
>30	>4.00	Dura

Nótese que el relleno antrópico mixto (Qa-rm) recorre la escala de compacidad desde muy suelta hasta media, , los suelos residuales de la Formación Regadera (Teri-sr) transitan la escala desde suelta hasta compacta, la arenisca de la Formación Regadera (Teri-ss) en la gradación compacta a muy compacta, mientras que la consistencia se categoriza en muy Firme y Firme en las arcillolitas de Regadera (Teri-cl). Para terminar, se estiman los parámetros c' y ϕ' por tipo de material siguiendo la metodología propuesta por González, A.J. (1999) que consiste en graficar puntos (σ_v' , τ) en planos Mohr-Coulomb donde los coeficientes de una regresión lineal, corresponden a los parámetros geomecánicos efectivos buscados. El esfuerzo efectivo vertical se calcula como la diferencia entre el esfuerzo geostático total y la presión de poros y, el esfuerzo cortante a la profundidad del ensayo, se obtiene como el producto del esfuerzo efectivo vertical por la tangente del ángulo de fricción equivalente estimado antes.

La ecuación de la envolvente de cada material se muestra de la Figura 4. 1 a la Figura 4. 3 junto con los respectivos parámetros de resistencia, los que se resumen en la Tabla 4. 8. Los grupos de materiales aparecen diferenciados por colores en la Tabla 4. 8 y fueron obtenidos mediante la interpretación simultánea y retroalimentada de la información geológica (plano y secciones), los registros de exploración del subsuelo, las propiedades físicas de los materiales y las propiedades geomecánicas resultantes de este mismo proceso.

Tabla 4. 8 Resumen de parámetros de resistencia en condición drenada a partir del SPT

No	Nombre	Descripción	γ	Cohesión	ϕ
			(ton/m ³)	(ton/m ²)	(°)
1	Qa-b	Relleno antrópico –basuras	1.830	0.09	22.3
2	Qa – rm	Relleno mixto	1.953	0.09	22.3
3	Sr-Teri-cl	Suelos residuales de las arcillolitas de Regadera	2.133	0.22	25.4
4	Sr-Teri-ss	suelos residuales de las areniscas de Regadera	2.074	0.36	28.8
5	Teri-cl	Formación Regadera – arcillolitas	2.163	1.50	23.80
6	Teri-ss	Formación Regadera – areniscas	2.143	0.0	42

4.1.3. ENSAYOS DE LABORATORIO

Paralelamente con el avance y los ensayos in situ, de cada sitio de exploración se llevó a cabo el muestreo representativo, de ser posible continuo, para la posterior caracterización en laboratorio de los especímenes extraídos: inalterados (tipos shelby) y alterados (split spoon). En la Tabla 4. 9 se discriminan la cantidad y tipo de ensayos de clasificación y resistencia ejecutados. Los ensayos se practicaron sobre las muestras que representaran mejor, por cantidad (longitud) y localización, el estrato a ser caracterizado.

Tabla 4. 9 Relación de ensayos de laboratorio

Ensayo			Cantidad
w_n	:	Contenido de humedad natural	36
Lím.	:	Límites de consistencia	18
Gs	:	Peso específico de sólidos	0
γ_t	:	Peso unitario total	30
γ_d	:	Peso unitario seco	30
CD	:	Corte directo	1

El Anexo C2 comprende las memorias de cálculo de los ensayos; y en la Tabla 4. 10 se sintetizan los resultados de los contenidos de humedad natural, los límites de consistencia, los pesos unitarios totales, y los cortes directos sobre suelo.

Figura 4. 1 Parámetros de resistencia para los materiales Qa-m, Qa-b

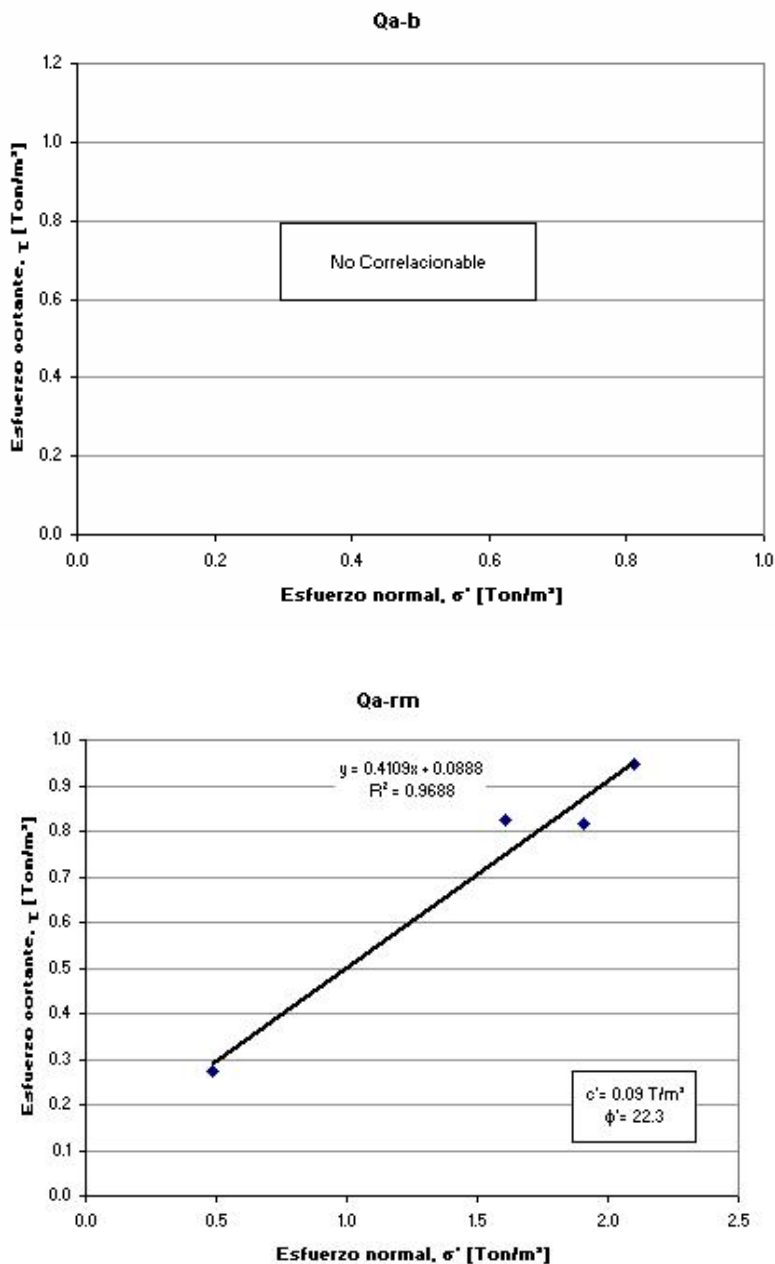


Figura 4. 2 Parámetros de resistencia para el material Sr-Teri-ss y Sr-Teri-cl

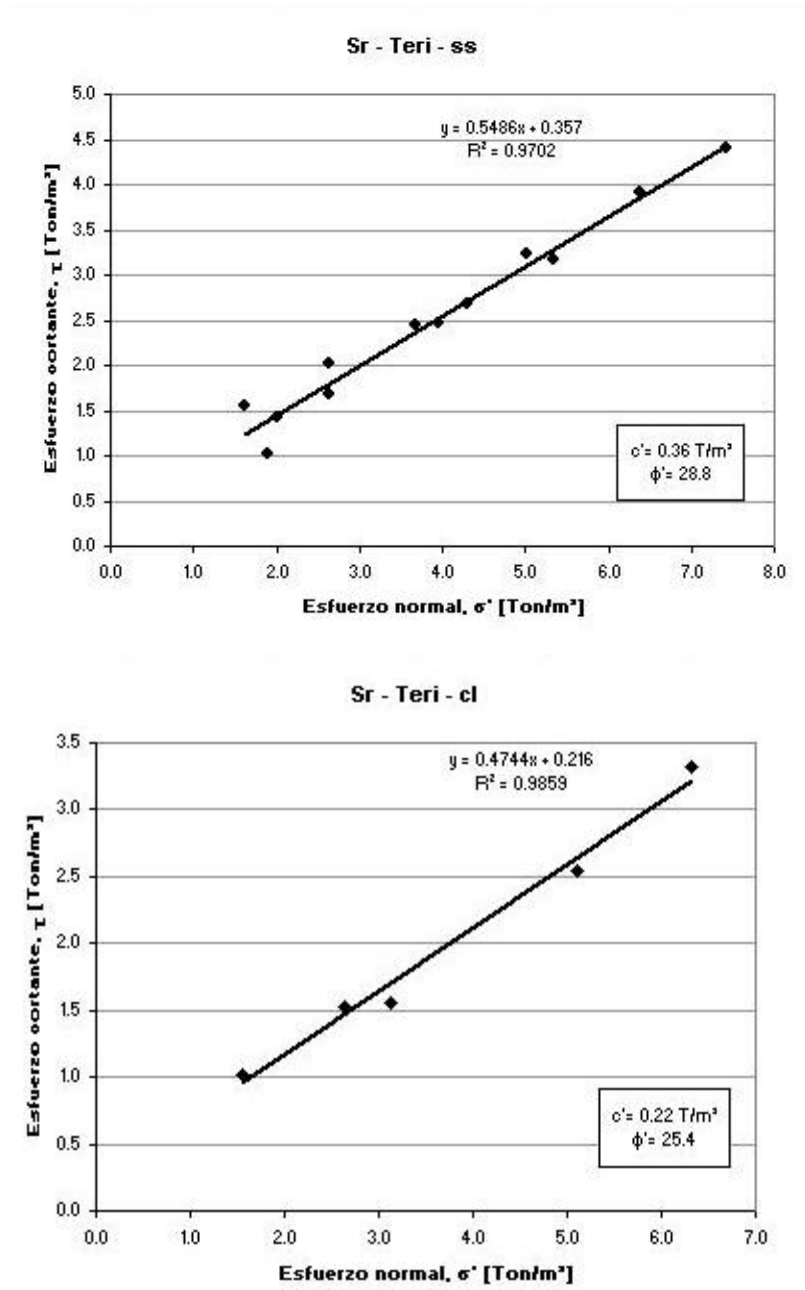


Figura 4.3 Parámetros de resistencia para el material Teri-ss y Teri-cl

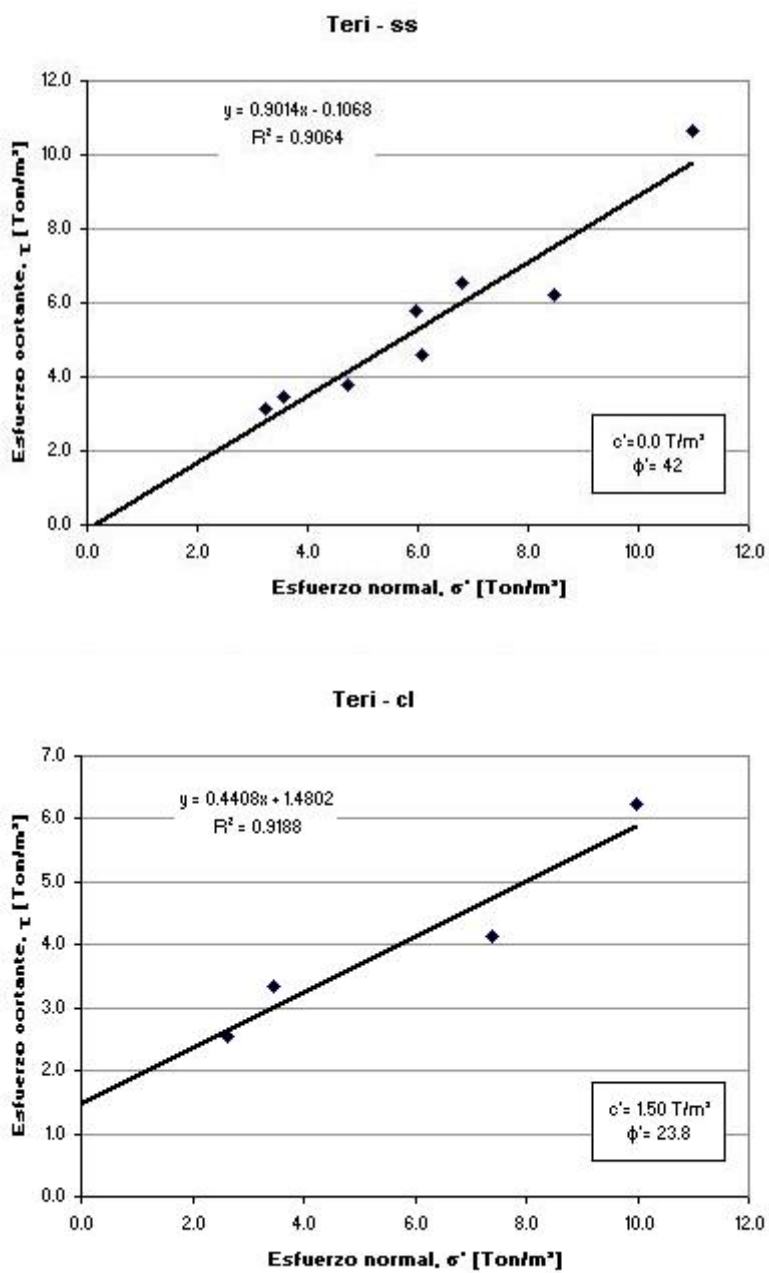


Tabla 4. 10 Resumen de ensayos de laboratorio

Sondeo	Muestra	Tipo de muestra	Tipo de material	Profundidad (m)			USCS	w _n (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL (%)	γ _t (Ton/m³)	γ _s (Ton/m³)	q _u (Kg/cm²)	c' (Kg/cm²)	φ' (°)	c' (Kg/cm²)	φ' (°)	
				de	a	media														
S1	1	SS	Sr-Teri-ss	0,55	1,00	0,775		8,1					2,09	1,93						
	2	SS	Sr-Teri-ss	1,05	1,50	1,275		11,3					2,12	1,91						
	3	SS	Teri - ss	1,55	1,87	1,710		10,1					2,15	1,95						
S2	1	SS	Sr-Teri-ss	1,85	2,30	2,075		8,2					2,17	2,01						
	2	SS	Sr-Teri-ss	2,35	2,80	2,575		12,7					2,070	1,83						
	3	SS	Sr-Teri-ss	2,85	3,30	3,075		12,20					2,060	1,840						
	4	SS	Sr-Teri-ss	3,35	3,80	3,575		17,90					2,070	1,750						
	5	SS	Teri - ss	3,85	4,30	4,075		7,10					2,100	1,970						
S3	1	SS	Sr-Teri-ss	0,75	1,20	0,975		4,90					1,920	1,830						
	2	SS	Teri - ss	1,25	1,55	1,400		6,50					2,070	1,940						
S4	1	SS	Qa - b	0,55	1,00	0,775		7,70					1,830	1,700						
	2	SS	Sr-Teri-ss	1,05	1,50	1,275		13,40					2,040	1,800						
	3	SS	Sr-Teri-ss	1,55	2,00	1,775		14,10					2,130	1,870						
	4	SS	Teri - ss	2,05	2,50	2,275		10,50					2,130	1,920						
S5	2	SS	Qa - b	0,85	1,30	1,075	CH	17,00	92,4	12,9	79,5	5,1	2,000	1,710						
	3	SH	Sr-Teri-cl	1,35	1,80	1,575	CL	21,70	36	13,3	22,7	36,9	2,150	1,770	0,415	21,71				
	4	SS	Sr-Teri-cl	2,20	2,80	2,500	CL	23,40	31,5	14	17,5	53,9	2,120	1,720						
	5	SS	Sr-Teri-cl	2,85	3,30	3,075	CH	17,90	56,8	17,3	39,5	1,5	2,170	1,840						
	6	SS	Teri - cl	3,35	3,80	3,575	CL	14,60	41,5	19,4	22,1	-21,4	2,100	1,830						
	7	SS	Teri - cl	4,55	5,00	4,775	CH	14,70	50,2	18,3	31,9	-11,2	2,160	1,890						
	8	SS	Teri - ss	5,05	5,47	5,260	CL	11,60	44,5	16,9	27,6	-19,1	2,230	1,990						
	S6	1	SS	Qa - rm	0,75	1,20	0,975	CL	11,60	36	15,7	20,3	-19,8	1,990	1,790					
2		SS	Teri - cl	1,25	1,45	1,350	CL	9,20	38,5	18,9	19,6	-49,7	2,260	2,070						
S7	1	SS	Qa - rm	0,00	0,50	0,250	CL	8,60	32,7	16,4	16,3	-47,9	2,040	1,880						
	2	SS	Sr-Teri-cl	0,55	1,00	0,775	CL	11,10	33,2	16,1	17,1	-29	2,180	1,960						
	3		Sr-Teri-cl	1,05	1,50	1,275	CL	9,10	40	17	23	-34,3	2,120	1,940						
	4	SS	Teri - cl	1,55	1,78	1,665		7,40	NL	NP										
	5	SS	Teri - cl	1,78	2,20	1,990		14,10	NL	NP										
	6	SS	Teri - cl	2,20	2,27	2,235	CL	13,60	33,6	19,5	14,1	-42								
	7	SS	Teri - ss	2,27	3,40	2,835		7,50	NL	NP										
S8	1	SS	Qa - rm	0,75	1,20	0,975	CL	6,20	22,5	13,2	9,3	-75,2								
	2	SS	Sr-Teri-ss	1,25	1,70	1,475		5,20	19,7	12,7	7	-107,2								
	3	SS	Sr-Teri-ss	1,75	2,20	1,975	CL	4,10	41,5	18,3	23,2	-60,9	2,130	2,040						
	4	SS	Sr-Teri-ss	2,25	2,70	2,475	CL	12,40	30,6	15,6	15	-21,3	2,190	1,950						
	5	SS	Teri - ss	2,75	3,20	2,975	CL	11,30	33,3	16,0	17,3	-27,1	2,180	1,950						
	6	SS	Teri - ss	3,25	3,37	3,310		11,90	NL	NP			2,130	1,910						

4.2 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA

Las laderas vertientes de Granjas de San Pablo y San Jorge están esculpidas en los dos tipos básicos de materiales térreos: los suelos y las rocas. Los primeros corresponden principalmente a depósitos cuaternarios de tipo antrópico: basuras y llenos mixtos; y las segundas pertenecen exclusivamente a la formación (de edad Terciaria): Fm. Regadera. A fe de tener una aproximación a la caracterización geomecánica de unos y otras se establecieron como puntos de partida: a) la realización de visitas de campo durante las que se definieron los contactos roca-depósito y b) la descripción visual de los materiales encontrados.

En las descripciones de las unidades de roca, se incluyeron aspectos como: tamaño de grano, composición mineralógica, litología, angularidad de las partículas, relación matriz-esqueleto, gradación, etc. Adicionalmente, en varios los afloramientos y columnas se levantaron datos estructurales de las discontinuidades del macizo rocoso (Véase capítulo 3).

La caracterización del macizo rocoso partió de los trabajos de geología (campo y fotoidentificación), de los sondajes (SPT) y de la información arrojada por los ensayos de laboratorio. Las pruebas de laboratorio como contenido de humedad, límites de consistencia, peso unitario, corte directo y carga puntual ejecutadas sobre muestras de bloque, sirvieron para determinar los parámetros de clasificación y resistencia del material rocoso. Y los ensayos de bloque deslizante y corte de fuentes secundarias, fueron útiles para la caracterización geomecánica de las discontinuidades. Finalmente, la síntesis de los dos elementos, permite la clasificación del macizo rocoso y la deducción de sus parámetros.

De otra parte, la caracterización geomecánica de los suelos se basó en los trabajos de exploración del subsuelo, en los que se describieron visualmente los materiales encontrados consignando en cada caso: el tamaño de grano; la distribución granulométrica; el color; el contenido de humedad; la plasticidad para materiales finos; la consistencia o compacidad para suelos finos o granulares, respectivamente, y la presencia de raíces, fisuras y oxidaciones. Adicionalmente, en cada uno de los sondeos se ejecutaron pruebas de campo, penetración estándar (SPT)s. Estos ensayos resultan útiles para determinar parámetros de resistencia al corte previa corrección y normalización de los valores de campo.

De manera complementaria, las muestras de suelo extraídas durante la exploración fueron llevadas al laboratorio, en donde se efectuaron según su tamaño de grano y tipo (alterado o inalterado), ensayos de clasificación (humedad, límites de Atterberg y peso unitario) y de resistencia (corte directo). Una vez consolidada, agrupada, organizada y sistematizada toda la información de campo y laboratorio, se revisaron y cotejaron las descripciones y las propiedades físicas y mecánicas de cada tipo de material encontrado para, posteriormente, obtener grupos con características similares y comportamiento geomecánico correlacionable. Cada uno de los grupos definido posee similitudes en su tamaño de grano, clasificación (según Sistema de clasificación de suelos SCUS) e índice de resistencia (adaptado de Terzaghi y Peck, 1948).

4.2.1 SUELOS

En este capítulo se relacionan las principales propiedades físicas y mecánicas de los suelos que yacen en las laderas del proyecto, y que fueron detectados en los sondeos, los apiques y las trincheras exploratorias.

En resumen se tienen los siguientes tipos de materiales:

- Material 1: Rellenos antrópicos (Qa-b)
- Material 2: Rellenos mixtos (Qa-rm)
- Material 3: Suelos residuales de la arcillolita - Formación Regadera (sr- Teri-cl)
- Material 4: Suelos residuales de las areniscas - Formación Regadera (sr-Teri-ss)

4.2.1.1 MATERIAL 1: RELLENOS ANTRÓPICOS (QA-B)

En general están compuestos por arenas o arcillas, pero con dominio de estas últimas, con líticas, restos de construcción y basuras. Son de color café y pardo oscuro, de humedad media (a veces orgánicos), y consistencia blanda a media. Se manifiesta en los sondeos 2, 4 y 5, distribuidos al noroeste del barrio San Jorge Alto a lo largo de la diagonal 37 A Sur, y entre la carrera 16 Bis y la Transversal 16 Bis, y en el corredor de la Diagonal 37 A sur. En la Tabla 4. 11 se compilan algunos de sus parámetros geomecánicos.

Tabla 4. 11 Parámetros geotécnicos del material 1

Propiedad	Valor	Calificación
Contenido de humedad, w (%)	7.70	Baja
Peso unitario húmedo (ton/m ³)	1.83	
Peso unitario seco (ton/m ³)	1.79 – 1.88	
Intercepto de cohesión, c (Ton/m ²)	0.09 SPT – 0.009 SPT*	-
Angulo de fricción, ϕ (°)	22.30 SPT – 28.97 SPT*	-

*Tomado de Unión Temporal Gia –ATG (2003).

4.2.1.2 MATERIAL 2: RELLENOS MIXTOS (QA-RM)

Son en su matriz predominantemente arcillo-arenosos (CS), o arcillosos (CL). En cierran en su estructura fragmentos líticas y residuos sólidos urbanos (basuras). Su humedad es de baja a media y su consistencia media. Aparecen en los sondeos 1, 6, 7 y 8, y en los apiques 1 a 3, los que corresponden a los predios baldíos en Granjas de San Pablo, y de una fracción de la manzana 52 – lotes 01, 60 y 61-, tienen como principales propiedades mecánicas las señaladas en la Tabla 4. 12.

Tabla 4. 12 Parámetros geotécnicos del material 2

Propiedad	Valor	Calificación
Contenido de humedad, w (%)	6.20 – 11.60	Baja a media
Límite líquido, LL (%)	22.5 – 36	-
Índice de plasticidad, IP (%)	9.3 – 20.30	Baja
Peso unitario Húmedo (ton/m ³)	1.953 (promedio)	
Peso Unitario Seco (ton/m ³)	1.79 – 1.88	
Intercepto de cohesión, c (Ton/m ²)	0.09 – 0.009 SPT*	-
Angulo de fricción, ϕ (°)	22.30 – 28.97 SPT*	-

*Tomado de Unión Temporal Gia –ATG (2003).

4.2.1.3 MATERIAL 3: SUELOS RESIDUALES DE LA ARCILLOLITA – FORMACIÓN REGADERA (SR-TERI-CL)

Son cuerpos de color gris a crema, propios de los horizontes IC y IIA del perfil de meteorización de Deer y Patton (1971). Hacen parte de la estratigrafía de media ladera de las superficies libres –laderas- del borde oriental (barrio Granjas de San Pablo), exclusivamente en la manzana 69 y, en los sondeos 5 y 7. Se alojan superficialmente con espesor máximo de 2.70m. Tienen plasticidad baja, humedad media a alta, consistencia media y clasifican como CL (según la USC). En la Tabla 4. 13 se definen sus parámetros relevantes.

Tabla 4. 13 Parámetros geotécnicos del material 3

Propiedad	Valor	Calificación
Peso unitario Húmedo (ton/m ³)	2.133 (promedio)	
Peso Unitario Seco (ton/m ³)	1.843 (media geométrica)	
Contenido de humedad, w (%)	9.10 – 23.40	Baja a Media
Límite líquido, LL (%)	31.50 – 56.80	-
Índice de plasticidad, IP (%)	17.10 – 39.50	Baja
Intercepto de cohesión, c (Ton/m ²)	0.00 (SPT)* - 0.415 (CD)	-
Angulo de fricción, ϕ (°)	21.70 (CD) – 36 (SPT)*	-

*Tomado de Investigaciones Geotécnicas Ltda. – IGL (2000).

4.2.1.4 MATERIAL 4: SUELO RESIDUAL DE LA ARENISCA - FORMACIÓN REGADERA (SR-TERI-SS)

Estos suelos limo-arenosos o areno-arcillosos aparecen en los sondeos 1 a 4 y 8, y en el apique 4 (interfluvios de las laderas vertientes), relativamente superficiales: hasta 3.80m de profundidad; poseen baja humedad, compacidad media a alta y su color es pardo. En la Tabla 4. 14 se condensan las principales características de este material.

Tabla 4. 14 Parámetros geotécnicos del material 4

Propiedad	Valor	Calificación
Contenido de humedad, w (%)	5.20 – 17.9	Baja a Media
Peso específico de sólidos, Gs (adim)		
Peso unitario Húmedo (ton/m ³)	1.92 ton/m ³ – 2.170 ton/m ³	
Peso unitario Seco (ton/m ³)	1.750 ton/m ³ – 2.01 ton/m ³	
Intercepto de cohesión, c (Ton/m ²)	0.35 (SPT)* - 0.36 (SPT)	-
Angulo de fricción, ϕ (°)	27.49 (SPT)* – 28.80 (SPT)	-

*Tomado de Unión Temporal Gia –ATG (2003).

4.2.2 MACIZO ROCOSO

Está integrado exclusivamente por unidades líticas de la Formación Regadera, principalmente por bancos de arenisca y delgados paquetes de arcillolita (hasta de 2 m de espesor), cubiertas por llenos antrópicos, y suelos residuales. En este numeral se hace referencia a ambos ambientes geológicos.

4.2.2.1 MATERIAL ROCOSO

En la Tabla 4. 3 se compilan los resúmenes de los resultados de campo mientras en la Tabla 4. 10, los de laboratorio (clasificación y corte directo), de donde se extrajeron los valores de los parámetros para caracterización de los materiales 5 y 6.

La Fm. Regadera se manifiesta a lo largo y ancho del área de estudio; sus expresiones más relevantes constituyen el alto relieve que corre paralelo a la Diagonal 37 A Sur; se caracteriza por conjugar espesos paquetes (> de 8 m de espesor) de areniscas subarcósas friables (Teri-ss, Material 6) y delgados niveles de arcillas de color gris claro a rojizas (Teri-cl, Material 5). A continuación se reseñan las propiedades de cada una de las unidades líticas, de sus planos de discontinuidad y del macizo rocoso.

-Material 5: Arcillolitas de la Formación Regadera (Teri-cl)

Son de color gris claro a blanco, y violáceas, clasifican como CL, su consistencia es dura y reposan hacia el final de los sondeos 5, 6 y 7, localizados aleatoriamente en las laderas vertientes de Granjas de san Pablo. En la Tabla 4. 15 se refieren las principales características de este material.

Tabla 4. 15 Parámetros geotécnicos del material 5

Propiedad	Valor	Calificación
Contenido de humedad, w (%)	7.40 – 14.70	Media
Peso específico de sólidos, Gs (adim)	2.70	
Límite líquido, LL (%)	33.6 – 50.20	-
Pe75so unitario Húmedo (ton/m ³)	1.83 – 2.07	
Índice de plasticidad, IP (%)	14.10 – 31.90	Alta
Intercepto de cohesión, c (Ton/m ²)	1.50 (SPT) 0.429*** (SPT) 1.6 *** (Corte directo: sumergido) 8.4 *** (Corte directo: humedad natural)	-
Angulo de fricción, φ (°)	23.80 (SPT) 28.71*** (SPT) 28.7*** (Corte directo: sumergido) 35.1 *** (Corte directo: humedad natural)	-
Resistencia a la compresión inconfiada, σ _{ci} (Ton/m ²)	470 * Carga puntual	
Angulo de fricción de la discontinuidad, φ (°)	30.2 – 34.3** Bloque deslizante	-

*Tomado de Indesa (1999)

** Tomado de Hidrogeología y Geotecnia (1999)

*** Tomado de Unión Temporal GIA – ATG (2003)

-MATERIAL 6: ARENISCAS DE LA FORMACIÓN REGADERA (TERI-SS)

Marcan al final de casi todos los sondeos, excepto el S-6, los cuales están a lo largo y ancho de los barrios. Son cuarzo feldespáticos de grano fino a medio entre compactas y muy compactas, friables, y poseen un alto contenido de arcillas. En la Tabla 4. 16 se reseñan algunos de sus parámetros geomecánicos.

Tabla 4. 16 Parámetros geotécnicos del material 6

Propiedad	Valor	Calificación
Contenido de humedad, w (%)	7.50 – 11.60	Muy baja a baja
Límite líquido, LL (%)	33.30 – 44.50	Bajo

Propiedad	Valor	Calificación
Índice de plasticidad, IP (%)	17.30 – 27.60	Bajo a Medio
Peso unitario húmedo (ton/m ³)	2.180 – 2.230	-
Intercepto de cohesión, c (Ton/m ²)	0.00 (SPT) 0.354*** (SPT) 0.5 (Corte directo)	
Angulo de fricción, ϕ (°)	42.00 (SPT) 33.38*** (SPT) 25.8*** (Corte directo)	-
Resistencia a la compresión confinada, σ_{ci} (Ton/m ²)	250 – 1080* (Carga puntual)	-
Angulo de fricción de la discontinuidad, ϕ (°)	30.20 – 34.3 ** (Bloque deslizante)	-

*Tomado de Indesa (1999)

** Tomado de Hidrogeología y Geotecnia (1999)

*** Tomado de Unión Temporal GIA – ATG (2003)

4.2.2.2 Discontinuidades

Las discontinuidades fueron descritas a partir de la información obtenida de los afloramientos, y de las columnas estratigráficas (denominados aquí estaciones de levantamiento estructural), tomando como base los procedimientos sugeridos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, ISRM - 1981. Las mediciones en campo alcanzaron un total de 62 datos estructurales (orientación y buzamiento de estratificación y diaclasas) con una cobertura de 6 estaciones concentradas en las laderas vertientes de Granjas y en el vértice suroriental del talud 1 (San Jorge Alto) y por fuera de los límites de los dos barrios. El inventario de los datos obtenidos y las características de las discontinuidades asociadas a ellos, están compilados en las carteras de campo del Anexo B.3.

La totalidad de las mediciones fue interpretada mediante sus polos y sus vectores directores, con la red de proyección polar equiárea y una hoja de cálculo, según la ubicación de las estaciones, la geología (i.e. su pertenencia o no a un bloque tectónico), la tendencia de la información y el tipo de dato. El procesamiento de los datos estructurales se llevó a cabo gracias a la aplicación de los métodos del círculo flotante y vectorial. Los conteos evidenciaron una moderada dispersión, pero aceptables niveles de concentración de polos especialmente en lo que respecta a la estratificación, próxima al 60 %. De allí fue posible apreciar la tendencia general de las familias de discontinuidades y concluir que las laderas vertientes pertenecen posiblemente a dos regiones estructurales, divididas solo por los cambios locales de polaridad en la estratificación, cuyo límite imaginario es próximo y paralelo a la Diagonal 37 A sur. En la Tabla 4. 17 y la Tabla 4. 18 se relacionan los datos estructurales utilizados para cada familia junto con sus valores promedio por región, y en la Figura 4. 4 y la Figura 4. 5 se muestran las redes estereográficas representativas para los planos principales: la estratificación y las diaclasas.

Las familias de discontinuidades exhiben espaciamiento (S) de 0.23m a 0.55m lo que las califica entre bastante próximas y próximas; persistencia (P) discontinua a poco continua (entre 1.0m y 3.50m), abertura de cerrada a abierta (pero con moda de 0.50 cm), y relleno arcilloso, de óxidos de hierro o líticos. La rugosidad de las paredes en términos descriptivos puede clasificarse, de acuerdo con la ISRM (1981), como tipo V y IV, es decir, ondulada suave y ondulada rugosa, con valores del JRC entre 12 y 16, y su grado de meteorización (indistinto del tipo de familia) es decolorado y a veces oxidado, puesto que se observan variaciones de color

entre la roca fresca y la pared. El Anexo B.3 contiene las características de las familias de discontinuidades cuyo levantamiento fue posible en campo.

4.2.2.3 CLASIFICACIÓN

La clasificación de los macizos se llevo a cabo con base en el Geological Stregth Index, GSI (Hoek, 1995). No obstante, dada la directa correlación entre el Rock Mass Rating, RMR (Bienawsky, 1976) y el GSI, se planteó el primero como sistema calibrador. En la Tabla 4. 19 se compilan la calificación y clasificación del macizo rocoso para ambos sistemas; así, el ejercicio de clasificación arrojó como resultado que los macizos rocosos exhiben Índices de Resistencia Geológica (GSI) que oscila entre 30 y 47. Estos parámetros permiten clasificar el macizo entre pobre y regular.

4.2.2.4 PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL MACIZO ROCOSO

Con el ánimo de tener en cuenta la presencia de las discontinuidades en el macizo rocoso, se acudió al método de Hoek – Brown para la estimación del intercepto de cohesión y ángulo de fricción (parámetros del criterio de resistencia de Mohr – Coulomb). El método trata la masa como un material isotrópico, homogéneo y elástico (Salcedo, 1996) y utiliza como variables de entrada, el GSI, referido en el numeral 4.6.1.1, la resistencia a la compresión confinada ($\sigma_c = 25 \text{ kg/cm}^2 \leq \sigma_c \leq 232 \text{ kg/cm}^2$), y una constante m_i (equivalente a 9 si son limolitas o untermalaciones de areniscas y arcillolitas , 11 para areniscas y 4 en arcillolitas), que depende de las propiedades del material rocoso. La Tabla 4. 20 y la Tabla 4. 21 y el Anexo C3, contienen las memorias de cálculo de los valores de compresión confinada, cohesión y ángulo de fricción del macizo rocoso obtenidos de la aplicación del procedimiento referido; en tanto que la Tabla 4. 22 sintetiza los parámetros de resistencia.

Tabla 4. 17 Obtención de familias de discontinuidades por el método vectorial- Estratificación

ESTACIÓN	PUNTO	α	β	N	E	Z	R	n	e	z	B'	a'
T1	1	160	8	-0,9305476	0,3386916	0,1391731						
	2	195	6	-0,9606344	-0,2574012	0,1045285						
				Σ -1,8911820	0,0812904	0,2437016	1,908551248	-0,990899239	0,042592736	0,127689295	7,336085862	177,5387177
T2- E5	4	160	10	-0,7618480	-0,6392664	0,1045285						
	5	170	14	-0,9254166	0,3368241	0,1736482						
	6	170	13	-0,9555548	0,1684901	0,2419219						
T2- E5	7	190	8	-0,9595672	0,1691976	0,2249511						
				Σ -3,6023865	0,0352454	0,7450496	3,678794587	-0,979230129	0,009580695	0,202525467	11,68468045	179,4394414
	8	210	12	-0,8471007	-0,4890738	0,2079117						
T2- E6	9	220	6	-0,7618480	-0,6392664	0,1045285						
	10	250	10	-0,3368241	-0,9254166	0,1736482						
	11	225	5	-0,7044160	-0,7044160	0,0871557						
T2- E1				Σ -2,6501888	-2,7581728	0,5732441	3,867767596	-0,685198552	-0,7131175	0,148210579	8,523241202	226,1438225
	12	88	5	0,0347667	0,9955878	0,0871557						
	13	78	5	0,2071205	0,9744255	0,0871557						
T2- E1	14	80	12	0,1698535	0,9632873	0,2079117						
				Σ 0,4117408	2,9333006	0,3822232	2,986616421	0,137861951	0,982148433	0,127978663	7,35280255	82,00972602

Tabla 4. 18 Familias de discontinuidades por el método vectorial – Diaclasas

Familia de Diaclasas	PUNTO	α	β	N	E	Z	R	n	e	z	B'	a'
1	1	190	68	-0,3689155	-0,0650498	0,9271839						
	2	162	85	-0,0828900	0,0269326	0,9961947						
	3	165	90	0,0000000	0,0000000	1,0000000						
	4	165	90	0,0000000	0,0000000	1,0000000						
	5	170	80	-0,1710101	0,0301537	0,9848078						
	6	170	84	-0,1029404	0,0181512	0,9945219						
	7	170	84	-0,1029404	0,0181512	0,9945219						
	8	170	72	-0,3043223	0,0536602	0,9510565						
	9	170	71	-0,3206220	0,0565343	0,9455186						
	10	180	90	0,0000000	0,0000000	1,0000000						
	11	140	90	0,0000000	0,0000000	1,0000000						
	12	140	88	-0,0267346	0,0224330	0,9993908						
	13	180	90	0,0000000	0,0000000	1,0000000						
	14	180	70	-0,3420201	0,0000000	0,9396926						
	15	185	90	0,0000000	0,0000000	1,0000000						
	16	165	50	-0,6208852	0,1663657	0,7660444						
	17	182	68	-0,3743784	-0,0130736	0,9271839						
	18	180	86	-0,0697565	0,0000000	0,9975641						
	19	168	90	0,0000000	0,0000000	1,0000000						
	20	172	78	-0,2058883	0,0289357	0,9781476						
	21	160	88	-0,0327948	0,0119363	0,9993908						
	Σ			-3,1260987	0,3551306	20,4012194	20,642392	-0,151441	0,0172039	0,9883166	81,23310721	173,518879
2	22	350	62	0,4623392	-0,0815229	0,8829476						
	23	335	72	0,2800645	-0,1305962	0,9510565						
	24	315	76	0,1710646	-0,1710646	0,9702957						
	25	310	70	0,2198463	-0,2620026	0,9396926						
	26	310	70	0,2198463	-0,2620026	0,9396926						
	27	345	80	0,1677313	-0,0449435	0,9848078						
	28	345	77	0,2172860	-0,0582216	0,9743701						
	29	332	79	0,1684743	-0,0895794	0,9816272						
	30	333	81	0,1393841	-0,0710198	0,9876883						
	31	350	76	0,2382466	-0,0420093	0,9702957						
		Σ			2,2842833	-1,2129625	9,5824741	9,9253735	0,2301458	-0,122208	0,9654522	74,89551747
3	32	40	76	0,185322924	0,155504397	0,970295726						
	33	42	81	0,116253463	0,104675088	0,987688341						
	34	42	82	0,10342577	0,093124981	0,990268069						
	35	35	64	0,359092621	0,25143936	0,898794046						
	36	30	70	0,296198133	0,171010072	0,939692621						
	37	19	80	0,164187578	0,056534317	0,984807753						
	38	40	78	0,159269595	0,133643059	0,978147601						
	39	40	74	0,211150465	0,177176277	0,961261696						
	Σ			1,5949005	1,1431076	7,7109559	7,9567106	0,2004472	0,1436658	0,9691135	75,72270385	35,6301736
4	40	225	67	-0,276288631	-0,276288631	0,920504853						
	41	245	70	-0,144543958	-0,309975519	0,939692621						
	42	250	45	-0,241844763	-0,664463024	0,707106781						
	43	215	85	-0,071393805	-0,04999048	0,996194698						
	44	210	90	-5,30505E-17	-3,06287E-17	1						
	45	220	90	-4,69259E-17	-3,93755E-17	1						
	46	230	66	-0,261445275	-0,311578345	0,913545458						
	47	212	76	-0,205161403	-0,128199073	0,970295726						
	48	230	82	-0,089458745	-0,106612781	0,990268069						
	49	240	68	-0,187303297	-0,324418826	0,927183855						
	50	240	60	-0,25	-0,433012702	0,866025404						
51	245	75	-0,109381655	-0,234569716	0,965925826							
	Σ			-1,836821531	-2,839109098	11,19674329	11,696218	-0,157044	-0,242737	0,9572961	73,19535349	237,0983
5	52	260	90	0,0000000	0,0000000	1,0000000						
	53	275	90	0,0000000	0,0000000	1,0000000						
	54	195	90	0,0000000	0,0000000	1,0000000						
	55	282	78	0,0432273	-0,2033683	0,9781476						
	56	285	87	0,0135455	-0,0505527	0,9986295						
	57	275	82	0,0121297	-0,1386435	0,9902681						
	Σ			0,0689025	-0,3925645	5,9670452	5,9803414	0,0115215	-0,065642	0,9977767	86,17863652	279,955099
6	58	80	80	0,0301537	0,1710101	0,9848078						
	59	95	90	0,0000000	0,0000000	1,0000000						
	60	95	66	-0,0354494	0,4051889	0,9135455						
	61	80	90	0,0000000	0,0000000	1,0000000						
	62	105	90	0,0000000	0,0000000	1,0000000						
	Σ			-0,0052957	0,5761990	4,8983532	4,9321291	-0,001074	0,1168256	0,9931519	83,29078106	90,5265807

(imprimir paginación desde word)

Figura 4. 4 Red estereográfica – Estratificación

(imprimir paginación desde word)

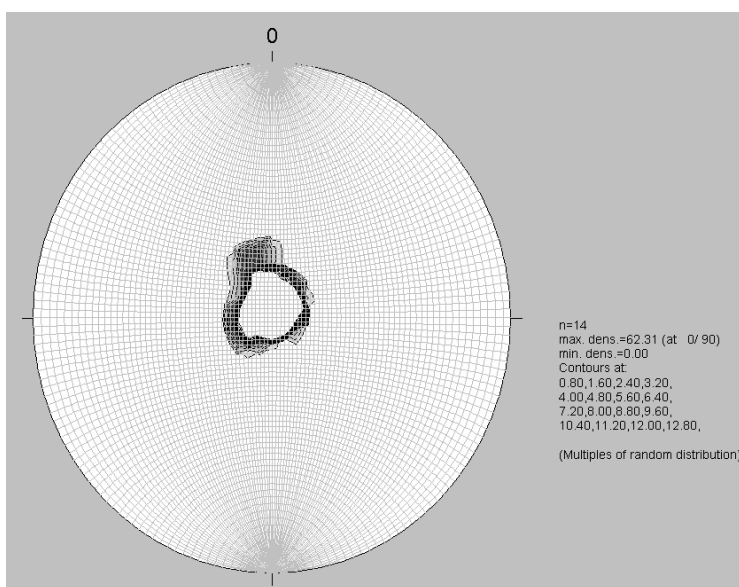
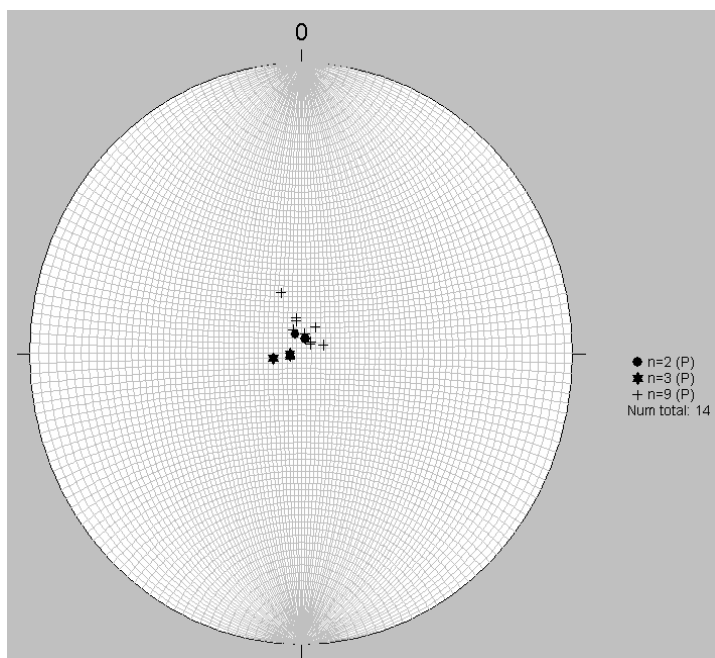


Figura 4.5 Red estereográfica – Diaclasas

(imprimir paginación desde word)

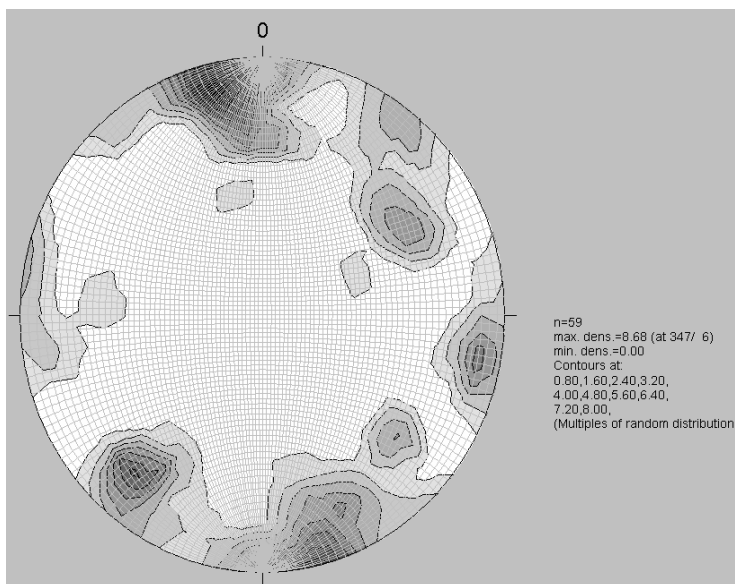
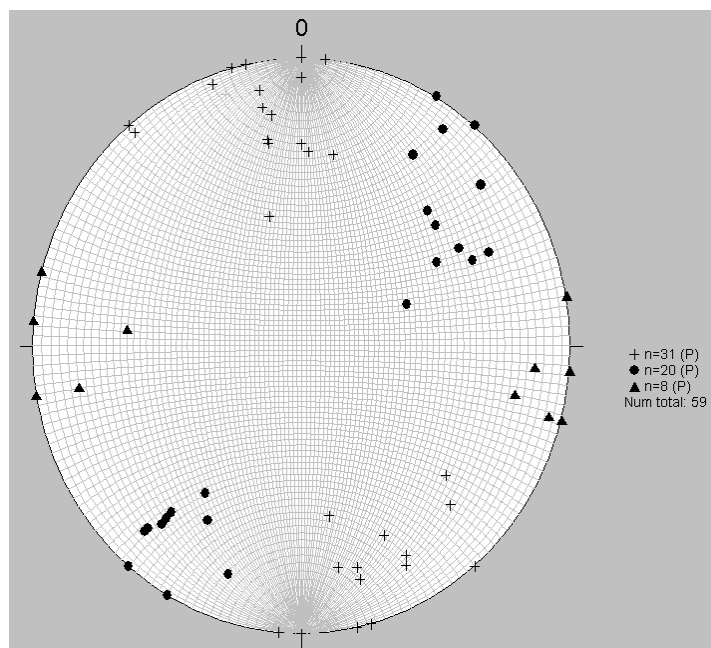


Tabla 4. 19 Clasificación del macizo rocoso

Región estructural		Región 1 y 2	
Criterio de evaluación			
γ'_c (Kg/cm ²)	Valor	25,0	232,0
	Calificación/15	0	2
RQD (%)	Valor	30	52
	Calificación/20	8	13
S (m)	Valor	0,23	0,55
	Calificación/30	10	20
Estado de las Discontinuidades	Descripción	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es débil	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es débil
	Calificación/25	12	12
Agua	Descripción	Húmedo	Húmedo
	Calificación/10	0	0
RMR	Calificación/100	30	47
	Descripción	Macizo pobre	Macizo regular
GSI		30	47

Tabla 4. 20 Cálculo de los parámetros de resistencia del macizo rocoso: ϕ , C y σ_{cm}

GSI: 30		σ_c (MPa): 2,5			mi: 9	
σ_3	σ_1	$\delta\sigma_1/\delta\sigma_3$	σ_n	τ	$\sigma_n \cdot \tau$	σ_n^2
0,00	0,09	11,94	0,01	0,02	0,00	0,00
0,00	0,11	9,56	0,02	0,03	0,00	0,00
0,01	0,15	7,43	0,03	0,05	0,00	0,00
0,02	0,22	5,69	0,05	0,07	0,00	0,00
0,04	0,31	4,38	0,09	0,11	0,01	0,01
0,08	0,46	3,41	0,17	0,16	0,03	0,03
0,16	0,70	2,71	0,30	0,24	0,07	0,09
0,31	1,07	2,21	0,55	0,35	0,19	0,30
SUMATORIA			1,21	1,03	0,31	0,43
mb/mi:	0,08	mb:		0,74	s: 0,000	
a:	0,5	E (Mpa):		3162	ϕ : 31	
C (MPa):	0,04	σ_{cm} (Mpa):		0,13		

GSI: 47		σ_c (MPa): 23,20			mi: 9	
σ_3	σ_1	$\delta\sigma_1/\delta\sigma_3$	σ_n	τ	$\sigma_n \cdot \tau$	σ_n^2
0,02	1,51	11,59	0,14	0,40	0,06	0,02
0,05	1,75	10,21	0,20	0,49	0,10	0,04
0,09	2,17	8,55	0,31	0,64	0,20	0,10
0,18	2,86	6,86	0,52	0,89	0,47	0,27
0,36	3,95	5,38	0,93	1,31	1,21	0,86
0,73	5,65	4,19	1,67	1,94	3,26	2,80
1,45	8,31	3,29	3,05	2,90	8,85	9,30
2,90	12,53	2,63	5,55	4,30	23,87	30,80
SUMATORIA			12,37	12,87	37,99	44,19
mb/mi:	0,15	mb:		1,36	s: 0,003	
a:	0,5	E (Mpa):		8414	ϕ : 36	
C (MPa):	0,49	σ_{cm} (Mpa):		1,93		

Tabla 4. 21 Cálculo de los parámetros de resistencia del macizo rocoso: ϕ , C y σ_{cm}

GSI: 30		σ_c (MPa): 2,5			mi: 11	
σ_3	σ_1	$\delta\sigma_1/\delta\sigma_3$	σ_n	τ	$\sigma_n \cdot \tau$	σ_n^2
0,00	0,09	13,52	0,01	0,02	0,00	0,00
0,00	0,12	10,66	0,01	0,03	0,00	0,00
0,01	0,17	8,19	0,03	0,05	0,00	0,00
0,02	0,24	6,22	0,05	0,07	0,00	0,00
0,04	0,34	4,75	0,09	0,11	0,01	0,01
0,08	0,50	3,67	0,17	0,17	0,03	0,03
0,16	0,75	2,89	0,31	0,26	0,08	0,10
0,31	1,15	2,34	0,56	0,39	0,22	0,32
SUMATORIA			1,23	1,11	0,34	0,45
mb/mi:	0,08	mb:		0,90	s: 0,000	
a:	0,5	E (Mpa):		3162	ϕ : 33	
C (MPa):	0,04	σ_{cm} (Mpa):		0,14		

GSI: 47		σ_c (MPa): 23,20			mi: 11	
σ_3	σ_1	$\delta\sigma_1/\delta\sigma_3$	σ_n	τ	$\sigma_n \cdot \tau$	σ_n^2
0,02	1,56	13,51	0,13	0,39	0,05	0,02
0,05	1,84	11,69	0,19	0,48	0,09	0,03
0,09	2,32	9,62	0,30	0,65	0,20	0,09
0,18	3,09	7,61	0,52	0,93	0,48	0,27
0,36	4,29	5,89	0,93	1,38	1,29	0,87
0,73	6,14	4,55	1,70	2,08	3,54	2,90
1,45	9,02	3,54	3,12	3,14	9,77	9,71
2,90	13,53	2,81	5,69	4,68	26,62	32,39
SUMATORIA			12,58	13,74	42,04	46,27
mb/mi:	0,15	mb:		1,66	s: 0,003	
a:	0,5	E (Mpa):		8414	ϕ : 38	
C (MPa):	0,50	σ_{cm} (Mpa):		2,05		

Tabla 4. 22 Resumen de parámetros de resistencia

Formación	$\sigma_c=2.5 \text{ Mpa}$		$\sigma_c=23.20 \text{ MPa}$	
	(ϕ°)	C (Mpa)	(ϕ°)	C (Mpa)
Regadera (mi=11)	33	0.04	38	0.50
Regadera (mi=9)	31	0.04	36	0.49

4.3 ZONIFICACION GEOTECNICA

Previo a los análisis de estabilidad y con el fin de facilitar la labor de asignación de la probabilidad de falla, se establecieron zonas de comportamiento geotécnico similar tanto en conformación como en la dinámica de las laderas, lo cual se logró una vez sintetizada la información geológica, geomorfológica, hidráulica y geotécnica. Los criterios de zonificación corresponden a la forma, la génesis, la litología, la pendiente, la condición estructural y el área de aporte de agua de las microcuencas.

Las cuatro primeras variables están contempladas en las unidades geomorfológicas, que condensan subespacios de ladera con morfología, morfogenética, materiales y morfometría similares. La quinta variable (condición estructural) carece de incidencia significativa debido a que el comportamiento estructural es homogéneo, es decir, el número, orientación y características de las discontinuidades es similar en todas las laderas, y la influencia de otras estructuras geológicas (fallas y pliegues) no es significativa. Por último, las microcuencas fueron definidas con base en la topografía del IGAC, planchas L27 y L28, del año 1980 – restituído de aerofotografías de 1977-, a escala 1:2000. Bajo este marco, una unidad geomorfológica pudo sufrir fraccionamientos de acuerdo con la o las divisorias de aguas, que la intercepten. La codificación de las zonas conservó la nomenclatura de la unidad geomorfológica original al añadir un identificador numérico arábigo ascendente para cada subdivisión; v. gr. la unidad “Explanación Antrópica en Arenisca”, se discretizó en Ea-ss1 y Ea-ss2, según las microcuencas en las que se desarrolla y denominadas arbitrariamente 1 y 2.

La conjunción de los elementos anteriores dio como resultado la división del sitio en once (11) zonas homogéneas, estudiadas por lo menos con una sección de análisis geotécnico. La definición de las propiedades físico-mecánicas de los materiales involucrados se realizó en el numeral 4.2; no obstante, el proceso involucró, en algunos casos, acopiar –incluso- información secundaria, y la extrapolación de la información condensada en ciertos sectores hacia otros donde la investigación geotécnica fue deficiente, esta labor se facilitó gracias a la demarcación de las zonas homogéneas que sintetizan, como se ha dicho, las distintas variables que determinan la condición de estabilidad.

La sinopsis del trabajo de zonificación se encuentra en la Tabla 4. 23 y en el Plano 6. La Tabla 4. 23, contiene para cada zona homogénea, la unidad geomorfológica asociada, los materiales, el área de drenaje, los mecanismos de falla y las secciones de análisis, las cuales se señalan en los Planos 7 y 8 y se muestran en el Plano 6. En cuanto a los parámetros de resistencia de cada material, éstos se enuncian discriminándolos según el ensayo utilizado para su determinación: SPT, bloque deslizante y corte directo.

Tabla 4. 23 Zonificación geotécnica

Símbolo Zona	Unidad Geomorfológica	Morfología	Microcuenca	Morfo genética	Sección de Análisis	Sondeos/Apiques/Columnas	No. Material	Secuencia Litológica	Mecanismo de falla
Ea-qa-1	Explanación antrópica en llenos	Plana a ligeramente inclinada	1	Antrópico - Agradacional		Espacio urbanizado	1	Qa-b	La morfología inhibe la formación de proceso de remoción en masa alguno
							5	Teri-ss	
Ea-qa-2	Explanación antrópica en llenos	Inclinada a montañosa	1	Agradacional y denudativa		S-1, S-2, S-3 y S-4	1 o 2	Qa-b o Qa-rm	Rotacional/Traslacional
							4	Sr - Teri-ss	
							6	Teri-ss	
							11'		
							22'		
Lea-ss-2	Ladera estructural antrópica en areniscas	Escarpada	2	Estructural - antrópico		C4, C5, S-1, S-2, S-3 y S-4	1 o 2	Qa-b o Qa-rm	Rotacional en suelos / traslacional en roca
							4	Sr - Teri-ss	
							6	Teri-ss	
							11'		
							22'		
Lea-ss-4	Ladera estructural antrópica en areniscas	Escarpada	3	Estructural - antrópico		C-1 y A-1	6	Teri-ss	Planar
Ea-ss-1	Explanación antrópica en areniscas	Plana a ligeramente inclinada	1	Antrópica - estructural			2	Qa-rm	Carente de gestación de procesos de inestabilidad
							6	Teri-ss	
							11'		
							22'		
							33'		
Ea-ss-2	Explanación antrópica en areniscas	Plana a ligeramente inclinada	2	Antrópica - estructural		Urbanizado	2	Qa-rm	El arreglo morfométrico hace poco probable la formación de fenómenos de remoción en masa (FRM).
							6	Teri-ss	
							11'		
							22'		
							33'		
Ea-ss-3	Explanación antrópica en areniscas	Plana a ligeramente inclinada	3	Antrópica - estructural			6	Teri-ss	
							6	Teri-ss	
La-qa-3	Ladera de pendiente media en llenos antrópicos	Inclinada a montañosa	3	Antrópica - agradacional		C3, S-5, S-6, S-8, B-1 y A-3	2	Qa-rm	Rotacional/Traslacional
							3	Sr - Teri-cl	
							5	Teri-cl	
							6	Teri-ss	
Ea-qa-3	Explanación antrópica en depósitos antrópicos	Plana a ligeramente inclinada	3	Antrópica-agradacional		S-7, B-1 y B-2	1	Qa-b	No hay disposición geométrica para la incubación de FRM
							6	Teri-ss	
Ea-cl-3	Explanación antrópica en arcilloitas	Ladera de pendiente media a montañosa	3	Antrópica-estructural	66'	C-3a	5	Teri-cl	Traslacional / Rotacional
Lpm-cl-3	Ladera estructural antrópica en arcilloitas	Ladera	3	Antrópica-estructural		C-2 y A-2	5	Teri-cl	Traslacional / Rotacional

CAPÍTULO 4 – ESTUDIO GEOTÉCNICO
CONTENIDO

4.1	INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO	1
4.1.1.	Metodología de trabajo	1
4.1.2.	Exploración del subsuelo	2
4.1.2.1.	Métodos Directos	2
4.1.2.2.	Ensayos de campo	5
4.1.3.	Ensayos de laboratorio	8
4.2	CARACTERIZACIÓN GEOMECAÁNICA	13
4.2.1	Suelos	13
4.2.1.1	Material 1: Rellenos antrópicos (Qa-b)	14
4.2.1.2	Material 2: Rellenos mixtos (Qa-rm)	14
4.2.1.3	Material 3: Suelos residuales de la Arcillolita – Formación Regadera (Sr-Ter-cl)	15
4.2.1.4	Material 4: Suelo residual de la Arenisca - Formación Regadera (Sr-Ter-ss)	15
4.2.2	Macizo rocoso	15
4.2.2.1	Material rocoso	15
4.2.2.3	Clasificación	18
4.2.2.4	Parámetros geomecánicos del macizo rocoso	18
4.3	ZONIFICACION GEOTECNICA	26

LISTA DE TABLAS

Tabla 4. 1	Localización de los puntos de exploración directa del subsuelo	3
Tabla 4. 2	Descripción de los niveles estratigráficos	4
Tabla 4. 3	Profundidades de niveles estratigráficos para cada punto de exploración	4
Tabla 4. 4	Expresiones para correlacionar el ángulo de fricción a partir del SPT	5
Tabla 4. 5	Relación entre la densidad relativa y la resistencia a la penetración	6
Tabla 4. 6	Relación entre la consistencia y la resistencia a la penetración	6
Tabla 4. 7	Valores de N_{SPT} corregidos y parámetros equivalentes	7
Tabla 4. 8	Resumen de parámetros de resistencia en condición drenada a partir del SPT	8
Tabla 4. 9	Relación de ensayos de laboratorio	8
Tabla 4. 10	Resumen de ensayos de laboratorio	12
Tabla 4. 11	Parámetros geotécnicos del material 1	14
Tabla 4. 12	Parámetros geotécnicos del material 2	14
Tabla 4. 13	Parámetros geotécnicos del material 3	15
Tabla 4. 14	Parámetros geotécnicos del material 4	15
Tabla 4. 15	Parámetros geotécnicos del material 5	16
Tabla 4. 16	Parámetros geotécnicos del material 6	16
Tabla 4. 17	Obtención de familias de discontinuidades por el método vectorial- Estratificación	19
Tabla 4. 18	Familias de discontinuidades por el método vectorial – Diaclasas	20
Tabla 4. 19	Clasificación del macizo rocoso	23

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS
PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

Tabla 4. 20	Cálculo de los parámetros de resistencia del macizo rocoso: ϕ , C y σ_{cm}	24
Tabla 4. 21	Cálculo de los parámetros de resistencia del macizo rocoso: ϕ , C y σ_{cm}	25
Tabla 4. 22	Resumen de parámetros de resistencia	26
Tabla 4. 23	Zonificación geotécnica	27

LISTA DE FIGURAS

Figura 4. 1	Parámetros de resistencia para los materiales Qa-m, Qa-b.....	9
Figura 4. 2	Parámetros de resistencia para el material Sr-Teri-ss y Sr-Teri-cl.....	10
Figura 4. 4	Parámetros de resistencia para el material Teri-ss y Teri-cl	11
Figura 4. 4	Red estereográfica – Estratificación.....	21
Figura 4. 5	Red estereográfica – Diaclasas.....	22

LISTA DE ANEXOS

ANEXO B

GEOLOGÍA

Anexo B3
estructural

Levantamiento

ANEXO C

GEOTECNIA

Anexo C1
subsuelo
Anexo C2
laboratorio

Exploración del

Ensayos de

LISTA DE PLANOS

Plano 4
Geología Local
Plano 6
Geológicas
Plano 7
Homogéneas

Secciones

Zonas

CAPÍTULO 5

HIDROLOGÍA Y USO DEL SUELO

5.1. USO DEL SUELO

La morfología natural ha sido alterada por la intervención del hombre. El desarrollo sin planeación y sobre antiguas canteras, hacen de la actividad antrópica el factor de mayor incidencia en la nueva configuración paisajística del lugar.

La cobertura de la tierra, entendida como los atributos de la superficie del terreno, esta integrada por tres componentes: parches de corta vegetación –pastos-, afloramientos rocosos propios de los escarpes y, como elemento predominante, obras humanas. El uso esencial es el urbano. Calles pavimentadas en concreto y construcciones unifamiliares y bifamiliares circundan el talud 1, en donde el urbanismo hace presencia recientemente. El talud 2 mantiene estas características, aunque en su interior y por tratarse de un nuevo desarrollo, los bloques de viviendas aparecen rodeados de calles peatonales sin pavimentar, y la vegetación aumenta.

En el presente estudio, se utiliza el Sistema de clasificación de uso y cobertura de la tierra CIAF, cuya característica principal es la jerarquización en categorías menores utilizando cuatro niveles de detalle:

- Nivel 1: Exploratorio
- Nivel 2: Reconocimiento
- Nivel 3: Semi-detalle
- Nivel 4: Detalle

Para éste análisis en particular, y de acuerdo con sus requerimientos, se emplea el cuarto nivel: de detalle. Así entonces, el área se subdivide en dos zonas, según la aferencia de cada talud:

5.1.1. ZONA 1 - TALUD OCCIDENTAL BARRIO – BARRIO SAN JORGE ALTO:

- 1a1. Construcciones urbanas, de uso residencial, unifamiliares y bifamiliares, en su mayoría de muros portantes confinados (80%).
- 3a1. Vegetación herbácea descubierta, de pastizales naturales, herbáceos, géneros y protección (10%).
- 6a1. Tierras eriales, Rocas expuestas, masivos, escarpes (5%).
- 6b2. Tierras eriales, suelo desnudo, erosión natural, incipiente (5%).

5.1.2. ZONA 2 - TALUD ORIENTAL – GRANJAS DE SAN PABLO:

- 1a1. Construcciones urbanas, de uso residencial, unifamiliares y bifamiliares, de sistema estructural aporticado y muros portantes confinados (60%).
- 3a1. Vegetación herbácea descubierta, de pastizales naturales, herbáceos, géneros y protección (30%).
- 6a1. Rocas expuestas, de carácter masivo, escarpes (5%).
- 6b2. Tierras eriales, suelo desnudo, erosión natural, incipiente (5%).

5.2. HIDROLOGÍA

El estudio hidrológico tiene como objetivo caracterizar el clima y describir el régimen temporal y espacial de la precipitación media anual y determinar los aguaceros de corta duración con el fin de calcular los caudales máximos esperados, y diseñar las obras de drenaje para el tratamiento de los frentes de explotación en los barrios Granjas de San Pablo y San Jorge Alto (Cr 16 Bis entre Dig 37ª sur y Cll 41 sur).

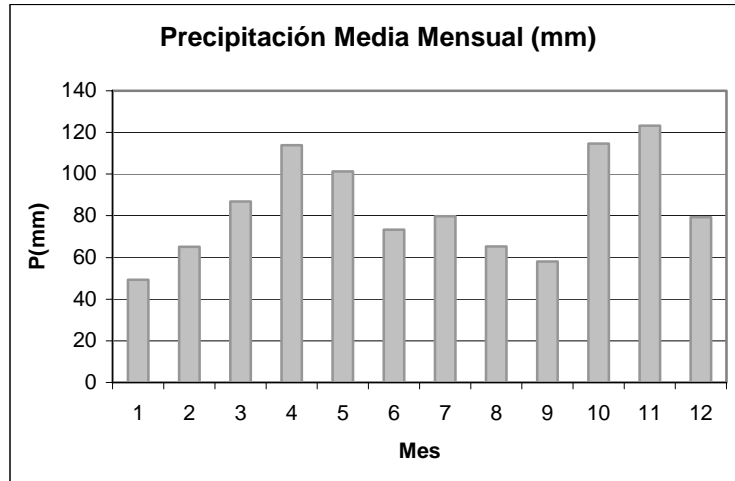
La zona de estudio está ubicada al sur oriente de Santa Fe de Bogotá, en la parte baja de la Quebrada Chiguaza, sobre la margen izquierda. Durante los últimos años en el sector se ha presentado una creciente intervención urbana, debido al desarrollo de barrios de invasión en sus laderas, sin ningún control de las aguas lluvias y negras. Esto hace que la energía erosiva de la lluvia y la escorrentía superficial aumenten, generando procesos de erosión superficial y fenómenos de remoción en masa, ocasionados de manera directa por alteración de la red de drenaje natural existente y la falta de construcción de un sistema de drenaje adecuado y acorde al comportamiento hidrológico del sector.

Para el análisis hidrológico se tiene como insumo principal los registros históricos de precipitación media mensual, evaporación mensual y temperatura media mensual de la Estación Vitelma (estación climatológica más cercana). De otra parte, con base en los resultados del Estudio de Tormentas de la ciudad de Bogotá, desarrollado por El Acueducto a través de la firma IRH, se obtuvieron las curvas de intensidad–duración–frecuencia características. Sin embargo, se hará especial hincapié en 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.

5.2.1. PRECIPITACIÓN - TEMPERATURA MEDIA - EVAPORACIÓN

La distribución temporal de la precipitación media mensual a lo largo del año es de tipo bimodal o ecuatorial (véase la **Figura 5. 1**), afectada por los desplazamientos de la zona de convergencia intertropical, la cual hace que se presenten dos períodos húmedos entre los meses de Marzo a Mayo y de Octubre a Noviembre, siendo los meses de Abril y Noviembre los más húmedos con valores de precipitación media mensual de 113.9 mm y 123.2 mm respectivamente. Asimismo, se observan dos períodos secos entre los meses de Diciembre a Febrero y de Junio a Septiembre, siendo los meses de Enero y Septiembre los más secos con valores de precipitación media mensual de 49.3 mm y 58.1 mm respectivamente. De otro lado, la precipitación media anual es de 1004 mm, y la precipitación máxima mensual ocurrió en el mes de noviembre de 1951, con un valor de 257 mm.

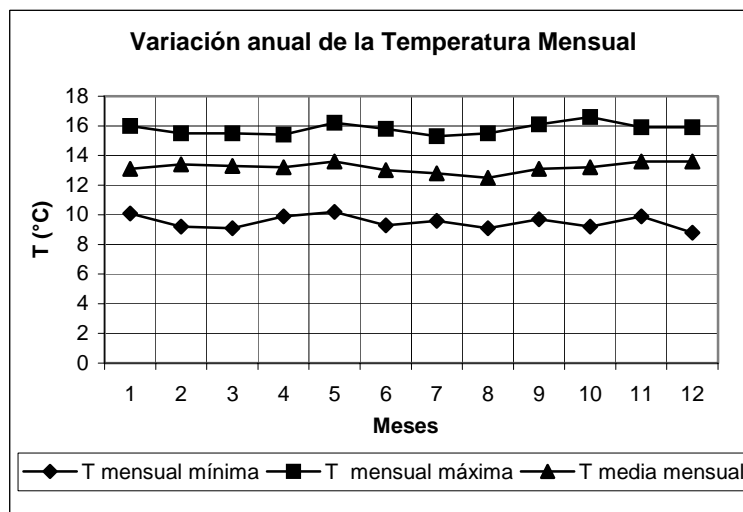
Figura 5. 1 Precipitación Media Mensual - Estación Vitelma



Entre tanto, la variación en el tiempo de la temperatura media mensual es característica de las zonas tropicales, donde a lo largo del año se mantiene casi constante con pequeñas variaciones (menores a +/- 0.5°C), y grandes variaciones durante el día, con valores más altos hacia el medio día y más bajos hacia las tres de la mañana. Sin embargo, se evidencian meses con temperaturas más elevadas o menores que el valor promedio multianual; así las temperaturas medias mensuales más altas han llegado a 16.6°C y las más bajas a 9.1°C, mientras que la temperatura media anual es de 13.2 °C.

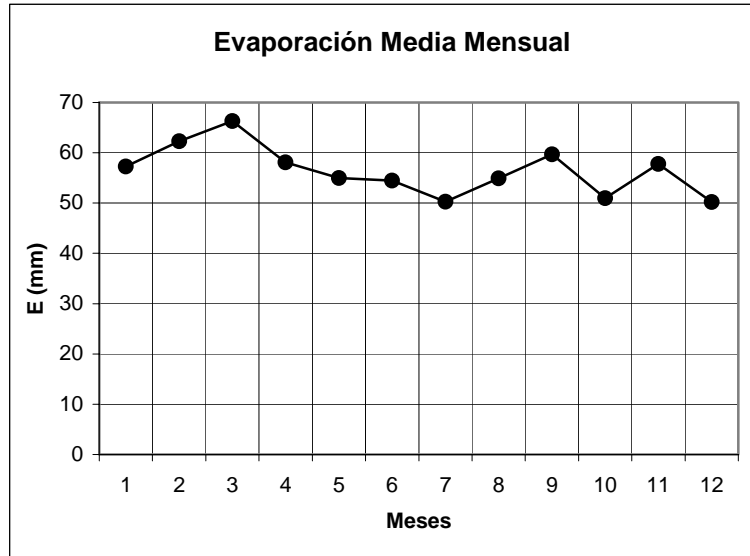
La Figura 5. 2 deja ver la variación de la precipitación media mensual multianual y los valores medios mensuales máximos y mínimos.

Figura 5. 2 Variación de la Temperatura Media Mensual Multianual



Por último, en lo que respecta a la evaporación, el promedio mensual es de 56.5 mm, con variaciones a lo largo del año como las indicadas en la **Figura 5. 3**, donde se observa un valor máximo en el mes de Marzo con 66.3 mm, un valor mínimo en el mes de Diciembre con 50.2 mm, y una evaporación anual promedio igual a 658.9 mm.

Figura 5. 3 Variación Evaporación Media Mensual



5.2.2. PRECIPITACIÓN DE CORTA DURACIÓN – CURVA DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA

Para el análisis de los aguaceros de corta duración, que son los que generan los caudales máximos, se utilizó el informe "Estudio para el Análisis y Caracterización de Tormentas en la Sabana de Bogotá", realizado por la firma consultora IRH para la E.A.A.B. - E.S.P.. Así, para el diseño de eventuales drenajes aplican las siguientes curvas de intensidad – duración – frecuencia:

$$i = C_1(D + X_0)^{C_2}$$

donde:

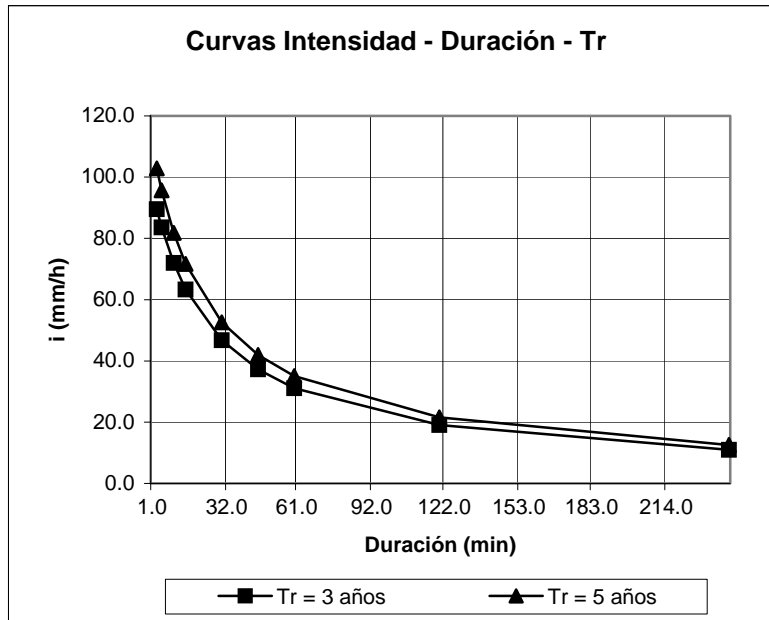
- i: Intensidad de la lluvia en mm/h.
- D: Duración de la tormenta en min
- C₁, C₂ y X₀: Coeficientes que dependen del periodo de retorno como se indica en la Tabla 5. 1

Tabla 5. 1 Valores de los coeficientes para diferentes periodos de retorno

Tr (años)	C ₁	X ₀	C ₂
3	1651.1	22.5	-0.90
5	1591.8	20.3	-0.87
10	1515.1	17.6	-0.83
25	1551.2	15.7	-0.80
50	1655.6	15.1	-0.79
100	1679.8	14.1	-0.78

En la **Figura 5. 4** se muestran las curvas correspondientes a períodos de retorno de 3 y 5 años, con potencial de uso para el diseño de eventuales drenajes.

Figura 5. 4 Curvas Intensidad – Duración – Período de Retorno



5.2.3. 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

$$LLcrit = 0.3609 * LLan$$

$$D = 3.2829 * LLcrit^{0.4157}$$

Cerros Orientales

$$LLcrit = 12.6326 + 0.3609 * LLan$$

$$D = 0.04923 * LLcrit$$

Donde:

LLcrit = lluvia crítica en mm
 LLan = lluvia anual en mm
 D = Duración en días.

El sector de estudio corresponde a la zona sur occidental obteniéndose una precipitación crítica de 263.4 mm y una duración de 30 días.

CAPÍTULO 5- HIDROLOGÍA Y USO DEL SUELO
CONTENIDO

5.1. USO DEL SUELO	1
5.1.1. Zona 1 - Talud Occidental Barrio – Barrio San Jorge Alto:	1
5.1.2. Zona 2 - Talud Oriental – Granjas de San Pablo:	2
5.2. Hidrología	2
5.2.1. Precipitación - Temperatura Media - Evaporación	2
5.2.2. Precipitación de corta duración – Curva de intensidad – Duración – Frecuencia	4
5.2.3. Relación de precipitación crítica - Duración que disparan movimientos en masa	5

LISTA DE TABLAS

Tabla 5. 1 Valores de los coeficientes para diferentes periodos de retorno	4
--	---

LISTA DE FIGURAS

Figura 5. 1 Precipitación Media Mensual - Estación Vitelma	3
Figura 5. 2 Variación de la Temperatura Media Mensual Multianual	3
Figura 5. 3 Variación Evaporación Media Mensual	4
Figura 5. 4 Curvas Intensidad – Duración – Período de Retorno	5

LISTA DE ANEXOS

ANEXO G

HIDROLOGÍA

CAPÍTULO 6.0

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE AMENAZA

La primera etapa del análisis de estabilidad se enfocó al estudio direccional de los modos y posibilidades de deslizamiento a lo largo de los planos de debilidad estructural, en el marco de exposición del macizo rocoso, y a la determinación de la influencia de las superficies de discontinuidad en los mecanismos de movilización de los depósitos cuaternarios recientes, todo ello a partir de la aplicación del análisis cinemático (Goodman, 1989 y Hoek and Bray, 1974).

En una segunda etapa se modelaron, con ayuda de los métodos de equilibrio límite, para cada zona homogénea, los modos probables de movilización (según el tipo de material y su disposición estratigráfica) en los principales cuerpos del cuaternario, mediante deslizamientos rotacionales y traslacionales, y en los medios rocosos, fallas planares y en cuña.

6.1 ANÁLISIS CINEMÁTICO

En este análisis se evalúan los modos probables de falla para el conjunto de taludes en los que se expresa el macizo rocoso, i.e. las zonas homogéneas Lea-ss-2, Ea-cl-3, Lpm-cl-3 y Lea-ss-3, contrastándolos con los posibles planos de movilización (véanse Tablas 4.17 y 4.18). La relación geométrica entre las discontinuidades, su ángulo de fricción básico –asumido en esencia igual para todos los planos- y la orientación de los cortes, determinará si parte de él está libre de deslizarse o flectar. La Tabla 6.1 lista las características de los taludes estudiados, nombrados de T₁ a T₂₁, entre las que se citan rumbo, pendientes máxima y mínima y altura, y el plano 6 reseña su ubicación espacial.

Las memorias del análisis cinemático aparecen en el Anexo E1; éstas se sintetizan en la Tabla 6.2 para el conjunto completo de mecanismos. En ellas se evidencia que bajo las condiciones geométricas mencionadas para los taludes, los cuales representan las superficies libres de movilización, y del patrón estructural reseñado en el Capítulo 4, Numeral 4.4.1.1, las laderas, salvo por la T5, T9 y T13, no exhiben configuración de falla planar o en cuña. Este fenómeno tiene explicación por tres fundamentos básicos, así:

- Las laderas, en su mayoría, no se encuentran direccionalmente paralelas a las familias promedio de discontinuidades
- Los buzamientos de los planos estructurales desfavorablemente orientados, es decir, con rumbo paralelo al de las laderas, son superiores o iguales a las inclinaciones de los taludes.
- El ángulo de fricción básico de los planos estructurales es superior tanto al buzamiento de la mayoría de las superficies de movilización (falla planar), como al de sus intersecciones (falla en cuña).

La respuesta cinemática de las superficies T5, T9 y T13 es más el reflejo de un ejercicio numérico que de su disposición natural. Los buzamientos de los cortes, se marcaron hasta gradientes próximos a la verticalidad, 88°, superiores a su arreglo geométrico hoy día cuyo dominio oscila entre 70° y 72° con eventuales posiciones hasta de 80° en alturas de 2.5 m; y las familias de diaclasas cuasi-verticales se incorporan con sus cambios de polaridad. Esta última hipótesis sugiere que los pares de discontinuidad nombradas como: D1-

D2; D3-D4; D5-D6 representan tan solo tres planos principales, en consonancia las intersecciones I12, I34 e I56 carecen de representación física. No obstante, las premisas: “Holísticas” o de generalización referidas son de gran relevancia toda vez que se pretenda deducir la probabilidad de falla del macizo.

Tabla 6. 1 Características de taludes estudiados

Ladera	Orientación	Buzamiento (°)		Altura (m)	Zona Homogénea
		Máximo	Mínimo		
T1	N66W/59SW	59	45	5	Lea-ss-2
T2	N75W/63SW	63	55	5	Lea-ss-2
T3	N77W/63SW	63	55	5 - 10	Lea-ss-2
T4	N77W/80SW	80	70	5	Lea-ss-2
T5	N30W/75SW	75	70	7 - 10	Lea-ss-2
T6	N17W/68SW	68	60	7	Lea-ss-2
T7	N20W/68SW	68	60	6	Lea-ss-2
T8	N20W/68SW	68	60	7.50	Lea-ss-2
T9	N38W/80SW	80	72	8	Lea-ss-2
T10	N54W/45SW	50	45	3 - 8	Lea-ss-2 y Ea-qa-2
T11	N54W/58SW	60	50	3 - 8	Lea-ss-2 y Ea-qa-2
T12	T49W/68SW	70	60	7.5 - 10	Lea-ss-2
T13	N52W/80SW	80	70	3	Ea-cl-3
T14	N52W/59SW	60	50	2.5 - 3	La-qa-3
T15	N52W/56SW	56	50	2.5	La-qa-3
T16	N48W/51SW	51	45	2.5 - 4	La-qa-3 y Lpm-cl-3
T17	N57W/82SW	82	75	3	Lea-ss-3
T18	N68E/68SE	68	60	5	Lea-ss-3
T19	N68E/37SE	37	32	3.5	Lea-ss-3
T20	N18W/74NE	74	70	2.5	Lea-ss-3
T21	N48W/36SW	36	30	6	Lpm-cl-3

Tabla 6. 2 Resumen de análisis cinemático

Ángulo de Fricción Interna 33° y Buzamiento 70°

Ladera		Familias de Discontinuidades		Posibilidad Cinemática		
ID	Orientación	Planos	Cuñas	Planar	En Cuña	Volteo
T1	N66W/70SW	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E1D1=262/01 E2D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38	N. A.	D4D5	N. A.
T2	N75W/70SW	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86	E1D1=262/01 E2D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68	N. A.	D4D5	N. A.

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS

PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

		D6=90/83	D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38			
T3	N77W/70SW	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E1D1=262/01 E2D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38	N. A.	D4D5	N. A.
T4	EW/70S	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75	E1D1=262/01 E2D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79	N. A.	D4D6	N. A.

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS

PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

		D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38			
T5	N17W/70SW	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E1D1=262/01 E2D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38	N. A.	D1D2	D6
T6	N38W/70SW	E1=178/07 D1=173/81	E1D1=262/01 E2D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74	N. A.	N.A.	D3

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS

PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

		D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38			
T7	N54W/70SW	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E1D1=262/01 E2D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38	N. A.	D4D5	D3
T8	N49W/70SW		E1D1=262/01 E2D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42	N. A.	D4D5	D3

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS
PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

		E1=178/07	D1D3=97/60			
		D1=173/81	D1D4=230/74			
		D2=332/75	D1D5=214/78			
		D3=35/75	D1D6=140/79			
		D4=237/74	D2D3=02/73			
		D5=280/86	D2D4=282/68			
		D6=90/83	D2D5=355/73			
			D2D6=18/68			
			D3D4=315/35			
			D3D5=355/73			
			D3D6=27/74			
			D4D5=203/70			
			D4D6=170/53			
			D5/D6=06/38			

Ángulo de Fricción Interna 33° y Buzamiento 80°

Ladera		Familias de Discontinuidades		Posibilidad Cinemática		
ID	Orientación	Planos	Cuñas	Planar	En Cuña	Volteo
T1	N66W/80SW	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E1D1=262/01 E2D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74	N. A.	D1D5, D4D5	N. A.

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS

PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

			D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38			
T2	N75W/80SW	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E1D1=262/01 E2D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38	N. A.	D1D5, D4D5	N. A.
T3	N77W/80SW	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E1D1=262/01 E2D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73	N. A.	D4D5	N. A.

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS

PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

			D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38			
T4	EW/80S	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E1D1=262/01 E2D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38	N. A.	D4D6	N. A.
T5	N17W/80SW	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E1D1=262/01 E2D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68	D4	D1D2	D6

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS
PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

			D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38			
T6	N38W/80SW	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E1D1=262/01 E2D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38	D4	D1D4, D1D5	D3
T7	N54W/80SW	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74	E1D1=262/01 E2D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73	N. A.	D1D4, D1D5, D4D5	D3

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS
PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

		D5=280/86 D6=90/83	D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38			
T8	N49W/80SW	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E1D1=262/01 E2D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38	D4	D1D4, D1D5, D4D5	D3

Ángulo de Fricción Interna 33°

Ladera		Familias de Discontinuidades		Posibilidad Cinemática		
ID	Orientación	Planos	Cuñas	Planar	En Cuña	Volteo

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS
PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

T1	N66W/59SW	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E1D1=262/01 E1D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38	N. A.	N.A	N. A.
T2	N75W/63SW	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E1D1=262/01 E1D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74	N. A.	N.A	N. A.

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS
PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

			D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38			
T3	N77W/63SW	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E1D1=262/01 E1D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38	N. A.	N.A	N. A.
T4	N77W/70SW	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74	E1D1=262/01 E1D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73	N. A.	D4D5 (N.A)	N. A.

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS

PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

		D5=280/86 D6=90/83	D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38			
T5	N30W/78SW	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E1D1=262/01 E1D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38	D4	D1D2 (N.A), D1D4	D3
T6	N17W/68SW		E1D1=262/01 E1D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07	N. A.	D1D2 (N.A)	D6

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS
PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

		E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38			
T7	N20W/68SW	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E1D1=262/01 E1D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38	N. A.	D1D2 (N.A)	D6

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS
PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

T8	N20W/68SW	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E1D1=262/01 E1D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38	N. A.	N.A	D3
T9	N38W/80SW	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E1D1=262/01 E1D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68	D4	D1D4, D1D5	D3

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS
PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

			D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38			
T10	N54W/45SW	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E1D1=262/01 E1D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38	N. A.	N.A	N.A.
T11	N54W/58SW	E1=178/07 D1=173/81	E1D1=262/01 E1D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74	N. A.	N.A	D3

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS

PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

		D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38			
T12	N49W/68SW	E1=178/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E1D1=262/05 E2D2=242/03 E1D3=124/04 E1D4=149/06 E1D5=190/07 E1D6=180/07 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38	N. A.	N.A	D3
T13	N52W/80SW		E2D1=262/05 E2D2=242/08 E2D3=124/04	D4	D1D4, D1D5, D4D5 (N.A)	D3

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS
PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

			E2D4=150/09 E2D5=190/13 E2D6=180/13 E3D1=84/07 E3D2=60/06 E3D3=123/06 E3D4=148/03 E3D5=10/02 E3D6=01/01 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38			
		E2=195/13 E3=82/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83				
T14	N52W/59SW	E2=195/13 E3=82/07	E2D1=262/05 E2D2=242/08 E2D3=124/04 E2D4=150/09 E2D5=190/13 E2D6=180/13 E3D1=84/07 E3D2=60/06 E3D3=123/06 E3D4=148/03 E3D5=10/02 E3D6=01/01	N. A.	N.A	D3

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS

PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

		D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38			
T15	N52W/56SW	E2=195/13 E3=82/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E2D1=262/05 E2D2=242/08 E2D3=124/04 E2D4=150/09 E2D5=190/13 E2D6=180/13 E3D1=84/07 E3D2=60/06 E3D3=123/06 E3D4=148/03 E3D5=10/02 E3D6=01/01 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68	N. A.	N.A	D3

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS
PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

			D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38			
T16	N48W/51SW	E2=195/13 E3=82/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E2D1=262/05 E2D2=242/08 E2D3=124/04 E2D4=150/09 E2D5=190/13 E2D6=180/13 E3D1=84/07 E3D2=60/06 E3D3=123/06 E3D4=148/03 E3D5=10/02 E3D6=01/01 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38	N. A.	N.A	D3
T17	N57W/82SW		E2D1=262/05 E2D2=242/08 E2D3=124/04	N. A.	D1D4, D1D5, D4D5 (N.A)	D3

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS
PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

			E2D4=150/09 E2D5=190/13 E2D6=180/13 E3D1=84/07 E3D2=60/06 E3D3=123/06 E3D4=148/03 E3D5=10/02 E3D6=01/01 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38			
		E2=195/13 E3=82/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83				
T18	N68E/3968SE	E2=195/13 E3=82/07	E2D1=262/05 E2D2=242/08 E2D3=124/04 E2D4=150/09 E2D5=190/13 E2D6=180/13 E3D1=84/07 E3D2=60/06 E3D3=123/06 E3D4=148/03 E3D5=10/02 E3D6=01/01	N. A.	N.A	N.A.

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS

PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

		D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38			
T19	N68E/73SE	E2=195/13 E3=82/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E2D1=262/05 E2D2=242/08 E2D3=124/04 E2D4=150/09 E2D5=190/13 E2D6=180/13 E3D1=84/07 E3D2=60/06 E3D3=123/06 E3D4=148/03 E3D5=10/02 E3D6=01/01 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68	N. A.	D4D6	N.A.

LNA INGENIERÍA U.T.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS

PARA ESTABILIZAR EL ESCARPE DEL BARRIO GRANJAS DE SAN PABLO DE LA LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE EN BOGOTÁ D.C.

			D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38			
T20	N18W/74NE	E2=195/13 E3=82/07 D1=173/81 D2=332/75 D3=35/75 D4=237/74 D5=280/86 D6=90/83	E2D1=262/05 E2D2=242/08 E2D3=124/04 E2D4=150/09 E2D5=190/13 E2D6=180/13 E3D1=84/07 E3D2=60/06 E3D3=123/06 E3D4=148/03 E3D5=10/02 E3D6=01/01 D1D2=256/42 D1D3=97/60 D1D4=230/74 D1D5=214/78 D1D6=140/79 D2D3=02/73 D2D4=282/68 D2D5=355/73 D2D6=18/68 D3D4=315/35 D3D5=355/73 D3D6=27/74 D4D5=203/70 D4D6=170/53 D5/D6=06/38	N. A.	N.A	D4,D5
T21	N48W/36SW		E2D1=262/05 E2D2=242/08 E2D3=124/04	N. A.	N.A	N.A.

			E2D4=150/09		
			E2D5=190/13		
			E2D6=180/13		
			E3D1=84/07		
			E3D2=60/06		
			E3D3=123/06		
			E3D4=148/03		
		E2=195/13	E3D5=10/02		
		E3=82/07	E3D6=01/01		
		D1=173/81	D1D2=256/42		
		D2=332/75	D1D3=97/60		
		D3=35/75	D1D4=230/74		
		D4=237/74	D1D5=214/78		
		D5=280/86	D1D6=140/79		
		D6=90/83	D2D3=02/73		
			D2D4=282/68		
			D2D5=355/73		
			D2D6=18/68		
			D3D4=315/35		
			D3D5=355/73		
			D3D6=27/74		
			D4D5=203/70		
			D4D6=170/53		
			D5/D6=06/38		

La posibilidad cinemática de falla por volteo, si bien rige a priori los cortes T5 a T9, carece de condiciones para su desarrollo: la primera de ellas está relacionada con la baja persistencia modal, < 3.5 m, y el bajo espaciamiento de las discontinuidades, < 0.55 m, variables que son reflejo directo de la génesis continental de la Formación Regadera; y la segunda radica en la configuración topográfica de las superficies libres (taludes), enmarcada espacialmente por la baja pendiente de las laderas naturales (ausencia de cortes pseudo verticales altos), inferior a 56° en Granjas de San Pablo.

Por último, la movilización de los cuaternarios (i.e. llenos antrópicos y suelos residuales) no está controlada o condicionada por el patrón estructural del macizo. La estratificación aunque evidencia azimuts de buzamiento cercanos a los de las superficies de movilización de los depósitos, su gradiente (buzamiento) es muy bajo < 9°, y los planos de diaclasamiento, en ningún caso son receptores o sirven de superficie de reposo de los cuerpos antrópicos.

6.2 MODELACIÓN DE ESTABILIDAD

Con este tópico se pretende más que obtener valores absolutos del factor de seguridad para condiciones unitemporales (como es el caso de los modelos determinísticos), ilustrar el espectro de posibilidades para el que los cortes pueden mantenerse estables o fallar, procedimiento referido como “el análisis de sensibilidad”. El resultado de la evaluación de estabilidad tiene mayor representatividad cuando se expresa en términos de probabilidad de falla, que cuando reporta un factor de seguridad, el cual no es sino un valor numérico de uno de los múltiples eventos factibles. Por ello, el análisis de estabilidad tiene como objetivo principal servir de insumo para la estimación de la probabilidad condicional de falla. En este orden de ideas, se estudian tanto los estados más críticos de trabajo como los más probables a los que podrían estar sometidas las laderas. El desarrollo de este tema requiere el tratamiento previo de cuatro tópicos básicos denominados hipótesis de trabajo, como son: los parámetros efectivos de resistencia de cada material y su intervalo de variación; los eventos detonantes; el o los mecanismos de falla y el procedimiento de evaluación (modelación).

El primer tópico, parámetros de resistencia, fue obtenido a partir de tres fuentes básicas: 1) ensayos de campo y laboratorio del marco de este proyecto, que fueron consignados en las Tablas 4.7 y 4.10 así como en las Figuras 4.1 a 4.6 y 6.1, 2) información secundaria seleccionada por similitudes litológica y geomorfológica y adoptada de los estudios de: Investigaciones Geotécnicas Ltda (2000 y 2003), Hidrotec Ltda (1997), Hidrogeología y Geotecnia Ambiental Ltda (1999), Indesa (1999) y la Unión Temporal GIA - ATG. Ésta correspondió a los ensayos de corte y SPT en areniscas, arcillolitas y suelos residuales de Regadera, y en los llenos antrópicos; su incorporación facilitó la calibración de los parámetros; 3) retroalimentación, iterativa, de los propios análisis de estabilidad en los cuerpos potencialmente inestables, para los que se adoptó como criterio que la combinación de parámetros geomecánicos mínimos, en estados de no lluvia y no sismo, condujera a una condición estable ($FS \geq 1.0$), tal como lo evidencia la configuración actual del terreno en estos casos.

La tarea así expuesta, involucró estudiar el modelo de falla de los posibles deslizamientos enmarcados en las secciones de análisis, mediante el ensayo de varios juegos de parámetros (véase Anexo D y Figuras 6.1 a 6.3). Las combinaciones y comentarios propios de cada una de las corridas se muestran en las memorias de cálculo del Anexo D.

La deducción de la relación predictiva de los parámetros movilizados en la falla, se realizó además con base en el criterio de la similitud geomorfológica propuesta por Hoek y Bray (1974), que sostiene que es posible obtener los parámetros movilizados en la falla de un talud, a partir de otros, siempre y cuando su litología y mecanismo de falla sean similares, aunque su geometría no lo sea. De esta forma, las curvas c' vs. ϕ' de los taludes, teóricamente deben intersectarse en un sólo punto; sin embargo, las variaciones no identificables en litología o grado de meteorización, y las imprecisiones en el nivel de agua ocasionan dispersiones en los resultados, razón por la cual, se demarca un intervalo de dominio de los parámetros. Intervalo que coadyuda a precisar los coeficientes máximos y mínimos para los materiales involucrados. Este procedimiento fue de gran importancia para extrapolar los valores de resistencia, c' , ϕ' , entre zonas homogéneas y secciones consecutivas.

Adicionalmente, los parámetros geomecánicos en condición dinámica, por lo menos en cuanto hace referencia a los suelos, se calcularon con la formulación propuesta por Ishihara (1996):

$$\phi'_d = \phi'_e$$

$$c'_d = c'_e \left(1 + \frac{\alpha}{0.5} \right)$$

donde:

ϕ'_d = ángulo de fricción para la condición dinámica

ϕ'_e = ángulo de fricción para la condición estática

c'_d = cohesión para la condición dinámica

c'_e = cohesión para la condición estática

$\alpha = a/g$

En la Tabla 6.3 se listan los valores promedio de los parámetros estáticos y dinámicos de resistencia según el tipo de material y se especifica la fuente de donde provienen los valores. Otros espectros de parámetros estudiados se condensan en las tablas del Anexo D y en las Figuras 6.1 a 6.3, ellos fueron rechazados pues no satisfacían el criterio adoptado en la retroalimentación.

Los mecanismos de falla posibles, segundo tópico, semejan: a) deslizamientos rotacionales detonados por saturación o presurización súbita (i.e. cambios drásticos en el régimen de agua) donde los materiales involucrados son rellenos antrópicos, suelos residuales de regadera (NC), o secuencias donde participan ambos; b) Movimientos compuestos en suelo –llenos mixtos (Qa-rm) y residuales–; y c) falla planar en roca a lo largo de la discontinuidad 237/74. Unos y otros deducidos de la evolución morfodinámica especialmente de los eventos del año 2003 (Fotos del Anexo C-4). El modelo de falla progresiva, y la coexistencia de planos de deslizamiento preferenciales -horizontes débiles- fueron descartados pues las laderas a pesar de los cortes en la manzana 52, mantienen sus expresiones morfológicas en los últimos 15 años y carecen de grietas de relajación, si se trata del primero; y los ensayos de penetración estándar develan perfiles de resistencia continuos y crecientes (Véase Anexo C-1) en lo que atañe al segundo caso. En la Tabla 4.22 se establecen para las distintas zonas homogéneas, los mecanismos de falla analizados correspondientes a los materiales que hacen parte de la secuencia estratigráfica.

Los agentes detonantes se establecen como condiciones asociadas a la ocurrencia de lluvias (LI) y sismos (Eq). Tales condiciones son cuatro, y corresponden a la combinación de ocurrencia o no de lluvias críticas y de sismos de diseño. La determinación de sus valores se explica con detalle en el Numeral 6.3.1. El cuarto y último tópico: la modelación, se planteó gracias a los métodos de equilibrio límite, pero como función de los mecanismos evaluados, así: falla planar en roca con ayuda de hojas de cálculo debidamente validadas; y deslizamientos rotacionales, traslacionales y de bloque en suelos, a partir del programa PCStable 6, método

Figura 6.1 Relación c - ϕ

Llenos antrópicos y Suelos residuales de la Arcillolita

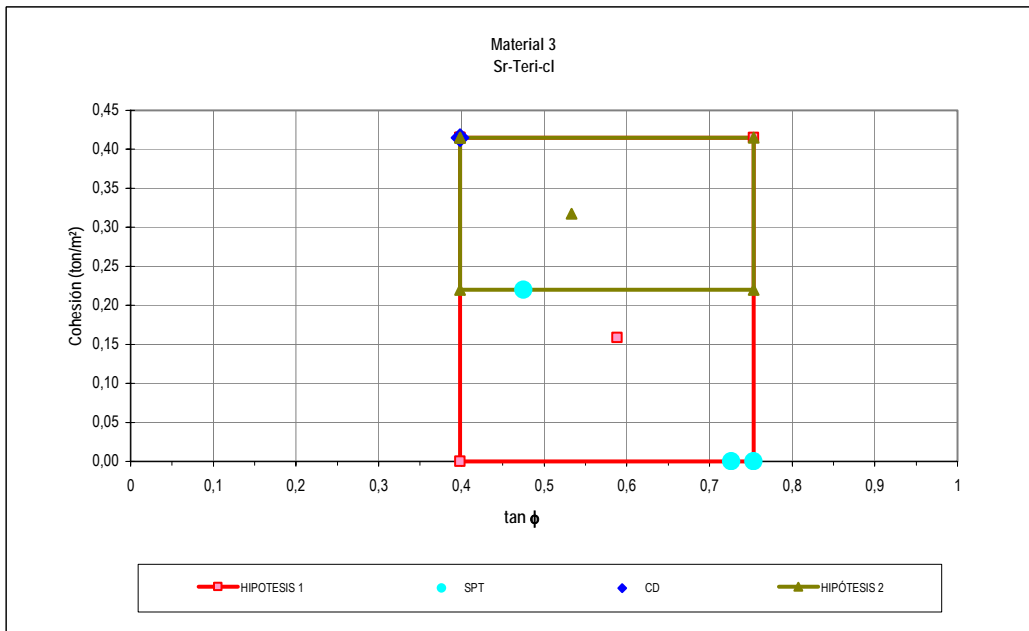
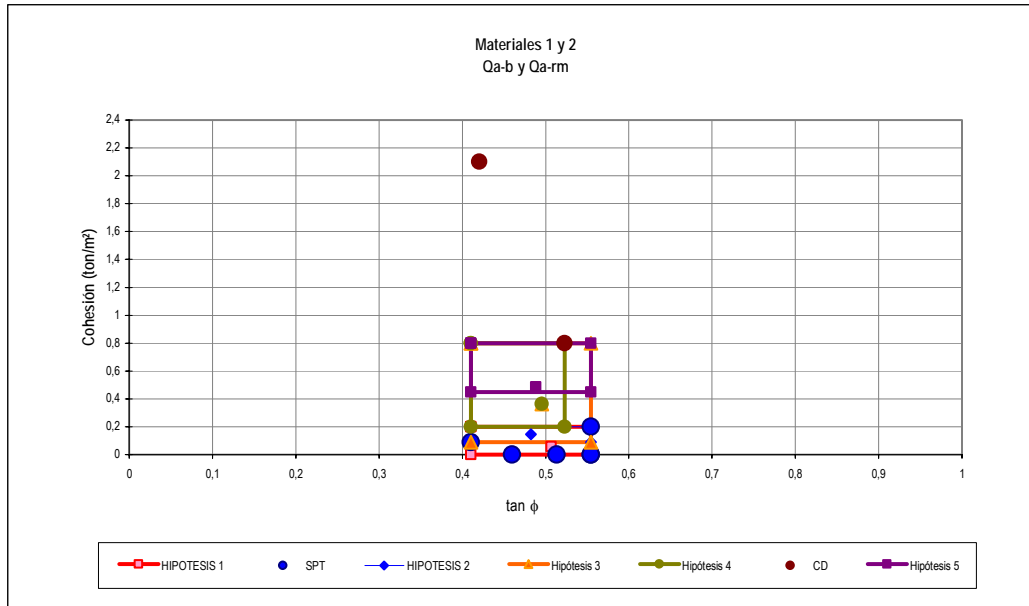


Figura 6.3 Relación c - ϕ

Areniscas de la Formación Regadera

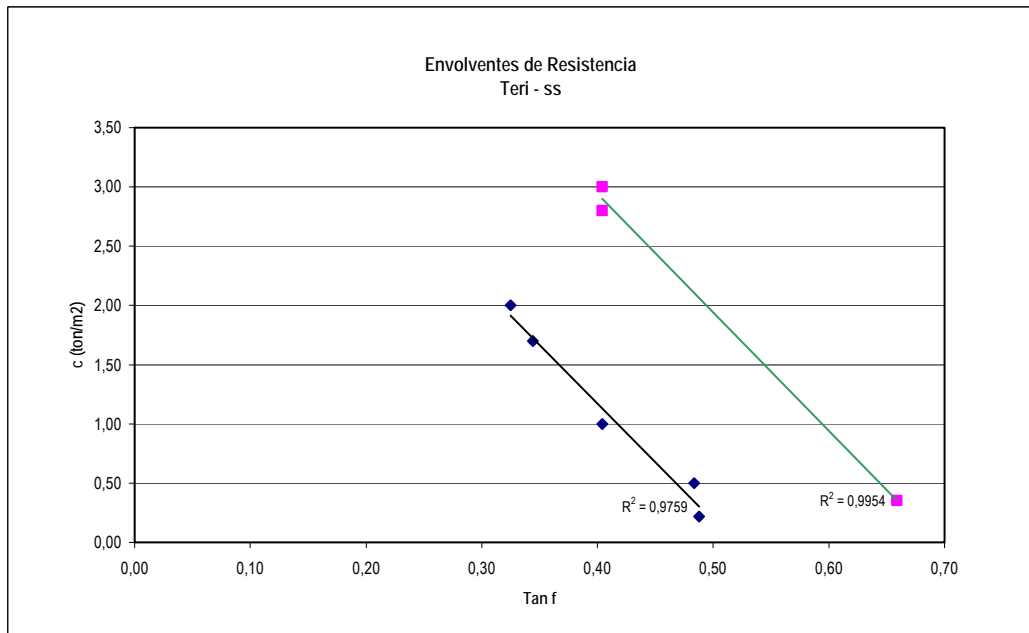
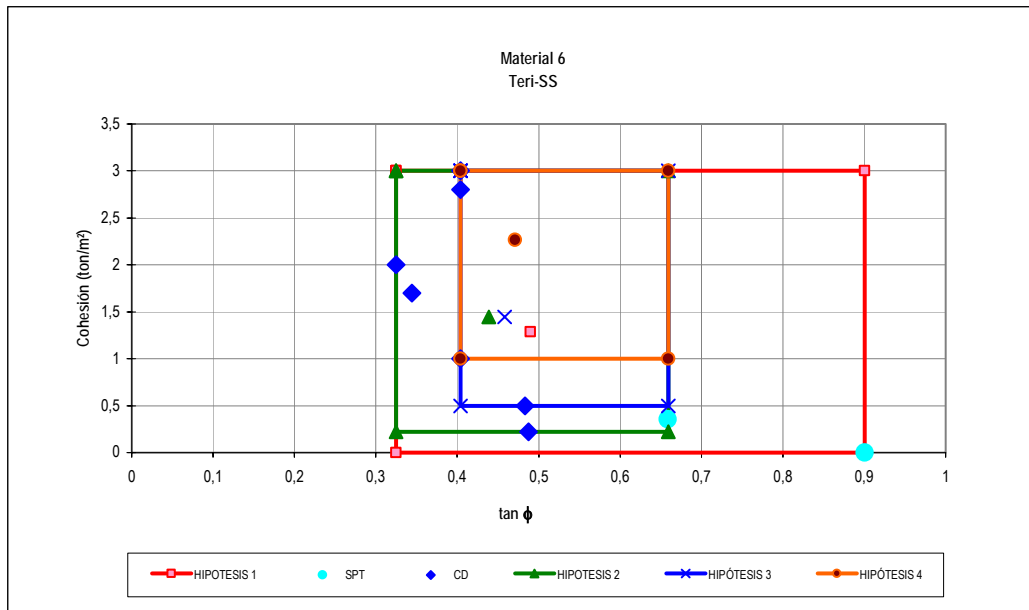


Tabla 6. 3 Parámetros estáticos y dinámicos de resistencia

No.	Nombre	Descripción	γ (Ton/m ³)	SPT		Corte Directo		Valor promedio				Valor mínimo				Valor máximo				Observaciones
				Cohesión (Ton/m ²)	φ (°)	Cohesión (Ton/m ²)	φ (°)	ESTÁTICOS		DINÁMICOS		ESTÁTICOS		DINÁMICOS		ESTÁTICOS		DINÁMICOS		
								Cohesión (Ton/m ²)	φ (°)	Cohesión (Ton/m ²)	φ (°)	Cohesión (Ton/m ²)	φ (°)	Cohesión (Ton/m ²)	φ (°)	Cohesión (Ton/m ²)	φ (°)	Cohesión (Ton/m ²)	φ (°)	
6	Teri-ss	Arenisca de la Formación Regadera	2,143	0,50	25,80	1,00	22,00	2,27	25,2	2,27	25,2	1,00	22,0	1,00	22,0	3,00	33,4	3,00	33,4	Los parámetros promedio se definen como la media aritmética de las muestras estadísticas disponibles y representativas por material. Los máximos y mínimos se calculan con coeficientes de variación de cada universo. Estos últimos se asumen de los materiales con mayor número de pruebas (ensayos de laboratorio) aplicables y se extrapolan al resto .
				0,35	33,38	2,80	22,00													
				0,00	42,00	3,00	22,00													
5	Teri-cl	Arcilloлита de la Formación Regadera	2,163	1,50	23,80	0,80	38,00	2,55	31,1	2,55	31,1	0,80	23,8	0,80	23,8	8,40	38,0	8,40	38,0	
				0,43	28,70	1,60	28,70													
						8,40	35,10													
4	Sr-Teri-s	Suelo residual de la Arenisca - Formación Regadera	2,074	0,35	28,80			0,59	30,0	0,94	30,0	0,36	24,8	0,58	24,8	0,83	34,7	1,33	34,7	
				0,36	27,49															
3	Sr-Teri-cl	Suelo residual de la Arcilloлита - Formación Regadera	2,133	0,00	37,00	0,42	21,71	0,32	28,1	0,51	28,1	0,22	21,7	0,35	21,7	0,42	37,0	0,67	37,0	
				0,00	36,00															
				0,22	25,40															
1 y 2	Qa-rm	Rellenos antropicos mixtos	1,953	0,20	29,00	0,80	27,60	0,48	26,0	0,77	26,0	0,45	22,3	0,72	22,3	0,80	29,0	1,28	29,0	
				0,45	25,00															
				0,09	22,30															

de Jambu como herramienta de trabajo. Para todos los casos, se contempló en primera instancia, la determinación de la geometría de las superficies críticas gracias a los parámetros de resistencia mínimos de los materiales involucrados (Véase Tabla 6.3) y, en segundo lugar el cálculo del factor de seguridad para las diferentes combinaciones (16) de parámetros y eventos detonantes.

Bajo los lineamientos anteriores, y con el fin de adelantar la tarea de evaluación de estabilidad, se establecieron 7 secciones de trabajo (1-1' a 7-7') que se muestran en planta en el Plano 6 y en perfil, en los Planos 7 y 8. Las secciones se subdividieron con base en las zonas homogéneas y en los materiales susceptibles; sobre los tramos resultantes se evaluaron los cuerpos potencialmente inestables según su dirección probable de movilización. A cada análisis se le asignó un código alfa numérico entrelazado a la nomenclatura del sitio (GSP); éste diferencia sucesivamente la hipótesis de trabajo, el tipo de material, y la sección de análisis. Así por ejemplo, el archivo GSP5QM1 representa la hipótesis 5, sobre relleno mixto para la sección 1-1'.

Se asume, entonces, que el grado de estabilidad de cada una de las secciones (o sus partes) es atribuible a la región homogénea a la cual pertenece, salvo si se destacan variaciones importantes entre cortes contiguos de la misma zona p.e: entre la 1-1', 3-3' y 4-4'. El lector puede apreciar, de los modelos ilustrados en los Planos 7 a 8, el papel secundario del patrón estructural en las condiciones de trabajo actual de los llenos y de la Tabla 6.4 y la Tabla 6.5 los factores de seguridad obtenidos haciendo uso de los parámetros de resistencia promedio para los mecanismos a) planar: zonas homogéneas Lea-ss-2 y Lea-ss-3 y b) rotacional, en las regiones Ea-qa-2, La-qa-3, Ea-cl-3, y Ea-qa-3; con ellos se establecen las superficies críticas del Anexo D.3.

Así entonces, a la luz de los *FS* obtenidos, se concluye que la mayoría de los taludes son inestables, bajo acción individual o conjunta del agua o de la aceleración sísmica. Los *FS*, salvo para las secciones 2 y 3, apenas bordean en el mejor de los casos el 0.90. En este sentido, se espera la falla de las laderas, en un modelo de disminución súbita (rápida) de los esfuerzos efectivos o progresiva de los parámetros de resistencia por reblandecimiento, producto de la acción dinámica de flujo –i.e. presurización de un horizonte de suelo – o gracias a la labor continuada de las aguas de infiltración provenientes del régimen hidrogeológico (nivel piezométrico por aumento de presión en los niveles saturados –resultado de las aguas lluvias–) o de la red de alcantarillado. Los cuerpos que primero expondrían este tipo de trabajo son los llenos antrópicos (Qa-rm) y los suelos residuales arenosos y areno-arcillosos (Sr-Ter-ss).

Los deslizamientos críticos en tales materiales son rotacionales; principalmente locales, y pueden ocurrir indiferentemente en todas las unidades, aunque con mayor hincapié en las regiones Ea-qa-2, secciones 1-1', 4-4' y 5-5' y La-qa-3, ladera 7-7'. La movilización en el cuaternario se realizaría cerca al contacto con la roca si se trata de los suelos residuales, o involucra exclusivamente el depósito para los cuerpos antrópicos (Qa-b y Qa-rm). Las consecuencias de la activación de los cuerpos, se cree, pueden ser parciales y de mediana magnitud; las masas potenciales cualquiera sea su disposición, reposarían una vez deslizadas, o en las edificaciones vecinas – manzana 52, unidades 28 a 38 y vivienda 106 y casa de lata (111) del bloque 69 – sin espacios de amortiguamiento.

La falla planar en roca, sólo puede esperarse por: desconfinamiento; en él juega papel trascendental la erosión antrópica: excavaciones; o por reblandecimiento de los planos de discontinuidad (lavado). Los factores de seguridad bajo la acción individual o conjunta del agua y sismo críticos son próximos a 0.90 [0.60-0.88] si los parámetros operativos implican la cohesión mínima, cualquiera sea el ángulo de fricción (véase la

Tabla 6. 4 Valores de esperanza (Qa - rm)

Archivo	Mecanismo	Material	VARIABLES DE ANÁLISIS				FS _{prom}
			ϕ_{prom}	c (T/m ²)	Lluvia	Sismo	
GSP5QM1	Rotacional	Qa - rm	26,0	0,48	No	No	1,265
		Sr - Teri - ss	30,0	0,59	No	Si	0,849
		Teri - ss	25,2	2,27	Si	No	0,803
					Si	Si	0,487
GSP5QM2	Rotacional	Qa - rm	26,0	0,48	No	No	1,967
		Sr - Teri - ss	30,0	0,59	No	Si	1,43
		Teri - ss	25,2	2,27	Si	No	1,571
					Si	Si	1,116
GSP5QM3	Rotacional	Qa - rm	26,0	0,48	No	No	2,17
		Sr - Teri - ss	30,0	0,59	No	Si	1,53
		Teri - ss	25,2	2,27	Si	No	1,612
					Si	Si	1,098
GSP5QM4	Rotacional	Qa - rm	26,0	0,48	No	No	1,27
		Sr - Teri - ss	30,0	0,59	No	Si	0,811
		Teri - ss	25,2	2,27	Si	No	0,71
					Si	Si	0,391
GSP5QM5	Rotacional	Qa - rm	26,0	0,48	No	No	1,194
		Sr - Teri - ss	30,0	0,59	No	Si	0,885
		Teri - ss	25,2	2,27	Si	No	0,689
					Si	Si	0,449
GSP5QM6	Rotacional	Qa - rm	26,0	0,48	No	No	1,667
		Sr - Teri - cl	28,1	0,32	No	Si	1,09
		Teri - ss	25,2	2,27	Si	No	1,099
		Teri - cl	31,1	2,55	Si	Si	0,669
GSP5QM7A	Rotacional	Qa - rm	26,0	0,48	No	No	1,897
		Sr - Teri - ss	30,0	0,59	No	Si	1,172
		Teri - ss	25,2	2,27	Si	No	1,326
		Teri - cl	31,1	2,55	Si	Si	0,782
GSP5QM7B	Rotacional	Qa - rm	26,0	0,48	No	No	1,471
		Sr - Teri - ss	30,0	0,59	No	Si	0,877
		Teri - ss	25,2	2,27	Si	No	0,881
		Teri - cl	31,1	2,55	Si	Si	0,466

Tabla 6.7) y la superficie de despegue tiene su origen 0.80 m tras la corona de la superficie libre. Lo anterior deja al descubierto que los daños en las viviendas 01, 61, 52 y 53 de la manzana 52, no son causados por fenómenos generales de remoción en masa, en donde coexisten el macizo y el cuaternario.

Tales daños son provocados bien como eventos en cadena, gracias a la relajación de esfuerzos toda vez que las masas locales de tierra (en el Qa-rm) se movilizan, o bien por el colapso del suelo de fundación, especialmente del residual de Regadera (Sr - Teri), causado por el aporte de agua de escorrentía. Flujo que puede provenir de fugas del sistema de drenaje de la Diagonal 37 o de las redes domiciliarias. En este sentido queda explícita, desde ya la necesidad de interceptar las aguas de infiltración, drenar los horizontes presurizados, es decir el lleno antrópico y el suelo residual, y corregir o mejorar la red hidrosanitaria.

6.3 EVALUACIÓN DE AMENAZA ACTUAL POR REMOCIÓN EN MASA

La amenaza, entendida como la probabilidad de excedencia de un parámetro específico durante un tiempo de exposición determinado, puede describirse en el caso de deslizamientos, mediante la evaluación del factor de seguridad FS como parámetro específico de estabilidad (Sánchez, 2000). Pero para estimar la probabilidad de falla es necesario conocer la distribución estadística del factor de seguridad (González, 2001) específicamente sus dos primeros momentos: μ_{FS} y σ_{FS} .

La solución a la relación existente entre estas dos variables y la obtención de las mismas, se plantea aquí con el soporte de los lineamientos metodológicos de los Estimativos Puntuales, PEM (Rosenblueth, 1975 y Harr, 1987). En consecuencia, la probabilidad de ocurrencia de un evento particular (FRM) se evalúa en términos de sus eventos condicionantes a través de la ley de probabilidades totales; de tal manera la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento está definida por la siguiente ecuación:

$$p(D) = P(D/LS)p(LS) + P(D/L\bar{S})p(L\bar{S}) + P(D/\bar{L}S)p(\bar{L}S) + P(D/\bar{L}\bar{S})p(\bar{L}\bar{S})$$

Dicha probabilidad, como lo expresan sus términos, es función de las probabilidades condicionales de presentarse el deslizamiento para todas las posibles combinaciones de lluvia y sismo, así:

- $p(D)$: Es la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento
- $P(D/LS)$: Es la probabilidad condicional de que tenga lugar el deslizamiento dado que haya lluvia y sismo
- $p(LS)$: Es la probabilidad de que se presenten la lluvia y el sismo simultáneamente
- $P(D/L\bar{S})$: Es la probabilidad condicional de que se genere el deslizamiento dado que haya lluvia y no se presente sismo
- $p(L\bar{S})$: Es la probabilidad de que haya lluvia y no se produzca sismo
- $P(D/\bar{L}S)$: Es la probabilidad condicional de que ocurra el deslizamiento dado que se presente el sismo y que no haya lluvia.
- $p(\bar{L}S)$: Es la probabilidad de que se presente sismo, pero no lluvia
- $P(D/\bar{L}\bar{S})$: Es la probabilidad condicional de ocurra el deslizamiento dado que no haya lluvia ni sismo
- $p(\bar{L}\bar{S})$: Es la probabilidad de que no se presenten ni el sismo ni la lluvia

El PEM permite, conocidas las distribuciones estadísticas de los n parámetros que intervienen en el problema, combinados en un algoritmo que resulta en un factor de seguridad, obtener el promedio y la desviación estándar de dicho FS y por ende, la probabilidad condicional.

Bajo el marco teórico expuesto, la evaluación de amenaza requiere entonces como insumos: los mecanismos de falla, en este sentido, se recurre a los tratados en el Numeral 6.2; y a las funciones de probabilidad de las variables involucradas. Estos elementos, coligados con los resultados del análisis de estabilidad para las distintas combinaciones permiten determinar las curvas de probabilidad de falla para cada uno de los taludes en estudio. Cabe destacar que durante el trabajo se hizo énfasis en la modelación de los llenos antrópicos y los horizontes de suelo residual por ser los materiales con mayor posibilidad de movilización.

6.3.1 VARIABLES ALEATORIAS: LÍMITES Y DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD

Se consideraron como variables aleatorias o fuentes de incertidumbre: la cohesión, el ángulo de fricción, el nivel de agua (relacionado con la lluvia) y la aceleración sísmica. Las dos primeras, denominadas endógenas, se estimaron para cada material y las dos últimas, entendidas como los eventos condicionantes o exógenos, recibieron tratamiento basado en los registros históricos disponibles. Todos los demás parámetros se suponen conocidos y con muy baja variabilidad, es decir, determinísticos.

Los límites de los intervalos de las variables endógenas, se definieron con ayuda del criterio utilizado en DPAE (2000) así: los parámetros promedio por material se obtienen como la media aritmética de la información fuente disponible (primaria o secundaria) para cada uno. Los valores máximos y mínimos esperados, se calculan mediante la suma y sustracción de los coeficientes de variación (cv) para c' y para $tg \phi'$, deducidos éstos para los materiales que disponen de la mayor cantidad de ensayos, i.e. las arcillolitas de la Formación Regadera (Teri-cl), los llenos mixtos (Qa-rm) y las areniscas de la Formación Regadera (Teri-ss) y extrapolados a los restantes (véase la Tabla 6.3); empero, justificados los extremos del dominio con partes del espacio muestral, es decir con parejas c' , ϕ' provenientes de cortes directos o ensayos de penetración estándar; tal procedimiento implicó trabajar, en ocasiones, las endógenas como variables independientes (supuesto no siempre valido), así: .

$$\begin{aligned} c'_{\max} &= c'_{prom} + c.v_c * c'_{prom} \\ c'_{\min} &= c'_{prom} - c.v_c * c'_{prom} \\ \\ tg \phi'_{\max} &= tg \phi'_{prom} + c.v_t \cdot tg \phi'_{prom} \\ tg \phi'_{\min} &= tg \phi'_{prom} - c.v_t \cdot tg \phi'_{prom} \end{aligned} \quad (a)$$

o lo que es lo mismo:

$$\begin{aligned} c'_{prom} &= \frac{c'_{\max}}{(1 + c.v_c)} & c'_{prom} &= \frac{c'_{\min}}{(1 - c.v_c)} \\ \\ tg \phi'_{prom} &= \frac{tg \phi'_{\max}}{(1 + c.v_t)} & tg \phi'_{prom} &= \frac{tg \phi'_{\min}}{(1 - c.v_t)} \end{aligned} \quad (b) \quad (c)$$

En la definición de los agentes exógenos, la mayor incertidumbre radica en la relación entre la ocurrencia de las lluvias y la presencia del agua al interior del talud; en este sentido, se asumieron como indicativos máximos los niveles piezométricos deducidos tanto de la exploración del subsuelo como de los fenómenos antecedentes (véanse Fotografías Anexo C-4); ésto implicó suposiciones adicionales, la primera: la saturación de las capas de suelo – llenos y residuales–, pero bajo condiciones de flujo libre, gestados por la rotura de redes de servicio o periodos invernales; la segunda: el trabajo parcialmente saturado de los paquetes de roca $r_u=0.10$ (véase Plano 9); y la tercera: la reducción en el periodo de recurrencia de la lluvia a 10 años, hipótesis adoptada de la influencia antrópica en el sistema (laderas) y abstraída de los ciclos de rotura de las redes de acueducto y alcantarillado (legales o no)

El agente exógeno sismo tomó como base el “Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá” en el cual se evaluaron para las diferentes partes de la ciudad el espectro probable de respuesta, es decir se define la aceleración pico efectiva A_g y la aceleración mínima A_d , con sus periodos de retorno y recurrencia. Para la Zona 1 - Cerros, universo espacial al que pertenecen los barrios San Jorge Alto y Granjas de San Pablo. El referido estudio reporta valores de aceleración pico $0.30g$ para un periodo de retorno de 475 años. De las secciones de análisis se abstrajo por similitud morfológica, que la aceleración máxima en roca utilizada en los análisis pseudo estáticos es equivalente a la aceleración pico. Los valores mínimos son siempre nulos.

Finalmente, la probabilidad de ocurrencia y de no ocurrencia de todas las combinaciones de sismo y lluvia críticos se calculó con base en su periodo de retorno (T) únicamente y teniendo en cuenta tres escenarios, el actual (un año), a mediano plazo (10 años) y a largo plazo (25 años) según las expresiones que aparecen a continuación. Los resultados de la formulación se muestran en la Tabla 6.6.

$$P^+ = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

$$P^- = 1 - P^+$$

donde:

- P^+ = probabilidad de ocurrencia del evento crítico
- P^- = probabilidad de no ocurrencia del evento crítico
- T = periodo de retorno
- n = periodo de análisis

Tabla 6. 6 Probabilidades de agentes exógenos

Período de Análisis	Actual (1año)		Mediano Plazo (10 años)		Largo Plazo (25 años)	
	Ocurrencia	No ocurrencia	Ocurrencia	No ocurrencia	Ocurrencia	No ocurrencia
Agua, $T = 10$ años	0.095	0.905	0.632	0.368	0.918	0.082
Sismo, $T = 475$ años	0.002	0.998	0.021	0.979	0.051	0.949

6.3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Fijos los comportamientos de las fuentes incertidumbre y la probabilidad de sus valores extremos, se obtuvieron los valores de FS para las 16 posibles combinaciones de los 4 parámetros críticos involucrados (cohesión, ángulo de fricción, sismo y lluvia). Con los valores de la media y la desviación estándar del FS , se calculó la probabilidad de falla, como la probabilidad de que el FS sea menor que 1.0. En la Tabla 6.7 y en la Tabla 6.8 se sintetizan los FS de las diferentes combinaciones, las probabilidades condicionales y máximas para los horizontes de diseño de 1, 10 y 25 años.

Los resultados patentizan que a corto plazo (1 año), la posibilidad de movilización del material en la mayor parte del barrio es baja, las probabilidades condicionales oscilan entre 8.67% y 0.0001%; las laderas más susceptibles de movilización ocupan la periferia de la manzana 52 (1-1' y 5-5') y de la Diagonal 37A Sur. A mediano plazo (periodo de exposición de 10 años) la posibilidad de falla aumenta sustancialmente en las regiones Ea-qa-2 y La-qa-3, superficies libres 1-1', 4-4', 5-5', 6-6' y 7-7', con probabilidades condicionales del orden de 0.5907, 0.4838, 0.4940, 0.4063 y 0.2919 respectivamente. Los cuerpos potencialmente inestables son locales, las fallas rotacionales y los materiales involucrados son los llenos mixtos (Qa-rm) y los suelos residuales de la formación regadera (Sr-Teri-ss); los deslizamientos pueden tener lugar con periodos de retorno de 1 cada 2 o 3 años, y en la masa principal (zona de influencia directa) está involucrada por lo menos una vivienda.

Los movimientos generales en suelo o roca, indistinto de la zona homogénea, si bien pueden acaecer, su probabilidad condicional no supera el 2.73 % (Secciones 6-6', 7-7' y 4-4') indistinto del periodo de diseño o exposición. El desprendimiento y arrastre del residual posee especial trascendencia en la gestación de focos locales de inestabilidad; esto da lugar a puentes de suelo, al colapso en el lleno superior, y colateralmente, al daño en las viviendas producto del reacomodo de la cimentación (pues esta descansa en el cuerpo antrópico).

De otro lado, los resultados referidos concuerdan con la dinámica de la vertiente representada en la concentración de evidencias de actividad en las unidades geomorfológicas Ea-qa, costado suroccidental del cuadrángulo (específicamente entre los cortes 3-3' y 5-5') donde es notoria la formación de deslizamientos de tierra, el avance de los frentes erosivos y los flujos locales. Los deslizamientos esperados son rotacionales, simples, con profundidades hasta de 2.50 m, y longitud con dominio [4.00 m – 30.00 m], sin embargo, no se descartan los desprendimientos y deslizamientos locales de bloque, estos últimos concentrados en el escarpe principal –manzana 52– ya como respuesta de la erosión antrópica (desconfinamiento), de flujos locales de agua, o de pérdida de resistencia en la pared de la discontinuidad.

El agua es el agente más influyente en la aparición de los fenómenos de remoción en masa, más aún, si se destaca que la actividad de la masa tiene lugar bajo de saturación, razón por la cual es en el manejo de las aguas superficiales y subsuperficiales, en donde radica el primer paso para la reducción de los estados de amenaza y por qué no, la mitigación del riesgo.

6.4 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA

Conocidas la composición geotécnica de cada ladera y las probabilidades condicionales, el último paso para obtener el mapa de Zonificación de Amenaza consiste en determinar las zonas de afectación esperadas de los procesos. Dichas áreas fueron demarcadas una vez estimadas las distancias probables de viaje de las masas, labor que se llevó a cabo gracias a la implementación del modelo establecido por P.J. Finlay et al (1998), el cual toma como variables relevantes: la morfometría del talud, la altura y la pendiente, y la profundidad de la masa involucrada. La **Tabla 6.9** condensa las longitudes máximas y medias para todos y cada uno de los cuerpos potencialmente inestables discriminados por sección y tipo de geoforma (ya sea corte o relleno).

Conjugados los datos obtenidos tanto del PEM como del modelo de Finlay, pudo dividirse el área en tres categorías de similar condición de amenaza: Baja, Media y Alta, para dos horizontes temporales: actual y

mediano plazo –25 años- (Véanse Plano 9 y Plano 10, respectivamente). La clasificación de las zonas se realizó con base en la escala propuesta por González y Millán (1999) para el “Estudio de Zonificación de Santa Fe de Bogotá” pero adaptada al caso en estudio, y que versa en la Tabla 6.10.

La calibración del Mapa de Amenaza se llevó a cabo por contrastación con los procesos de remoción en masa actuales y pasados, parte importante de este estudio y tratados en el Capítulo 3

Tabla 6. 10 Categorización de la Amenaza (adaptado de González y Millán, 1999)

FACTOR DE SEGURIDAD		PROBABILIDAD DE FALA		NIVEL DE AMENAZA	
DE	A	DE	A		
0.1954	1.1000	0.9569	0.4430	ALTA	A
1.1000	1.9362	0.4430	0.1259	MEDIA	M
1.9362	4.8764	0.1259	0.0040	BAJA	B

En cuanto al primer horizonte, o actual, la mayor parte de la vertiente posee amenaza baja; allí donde la pendiente es plana o no supera los 30° y la morfología la demarcan las intercalaciones de areniscas y arcillolitas (zonas homogéneas Ea-ss-1, Ea-ss-2 y Ea-ss-3) se circunscribe tal respuesta. Rompen esta armonía, cuatro elongados parches, residentes en el alto relieve de las manzanas 52 y 69, y enmarcados en estados de probabilidad de falla media y alta. El primero y el segundo, surcan los predios 50 a 53, 56 a 61, 01, 02, 37 a 41, y 28 a 31 de la manzana 52, cobijan algunos de los reductos más importantes de llenos y son por su mayor amenaza, los espacios preferenciales para la gestación de fenómenos de remoción en masa. El tercero y cuarto aunque propios de zonas homogéneas diferentes y distantes –Ea-qa-1, Ea-qa-2 y Ea-qa-3– tienen en común: la morfología, el material constitutivo superficial: llenos mixtos, y la categoría de probabilidad condicional: media. Uno entalla el cinturón entre las residencias 41 a 45 y 47 a 50 del barrio San Jorge Alto (también denominado Talud 1) y el otro conjuga espacios habitados y laderas próximas a la diagonal 37 A Sur (en esencia las viviendas 05 a 08, 111 y 101 y superficies libres del bloque 69).

El entorno se amplía drásticamente al aumentar el tiempo de exposición a 25 años, es decir, en el análisis a mediano plazo; las regiones Ea-cl-3, y Ea-qa-2 pasan de un estado de amenaza esencialmente medio a alto y acentúa su condición, al punto de describir posibilidades irreparables de movilización.

Es imprescindible hacia el futuro preservar sin intervención antrópica las superficies libres, evitar el aporte de aguas (servidas o blancas) y proteger las superficies expuestas, pues de lo contrario la condición de amenaza puede empeorar. Los procesos constructivos, deben ser igualmente replanteados; los llenos de conformación para las viviendas deben limitarse y el nivel de cimentación profundizarse hasta los 2 metros, además se requiere disponer de sistemas de drenaje, subdrenaje y contención local para evitar el colapso tanto de las laderas como de las unidades residenciales.

**Tabla 6.7 Resumen de los factores de seguridad y de la probabilidad de falla condicional
Relleno Mixto - Condición Estática - Tr de la Lluvia 10 años**

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL									
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS									
				SEC 1	SEC 2	SEC 3	SEC 4	SEC 5	SEC 6	SEC 7	SEC 7	SEC 4	
				Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Teri - ss	
Fricción	Cohesion (T/m ²)	Lluvia	Sismo	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Planar	
				F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	
ϕ_{max}	C _{max}	Sin	Sin	1,749	2,895	3,276	1,749	1,651	2,383	2,672	1,979	3,545	
ϕ_{min}	C _{max}	Sin	Sin	1,549	2,680	3,088	1,547	1,523	2,164	2,397	1,718	3,472	
ϕ_{max}	C _{min}	Sin	Sin	1,320	1,988	2,163	1,329	1,217	1,711	1,962	1,555	1,308	
ϕ_{min}	C _{min}	Sin	Sin	1,121	1,775	1,972	1,124	1,086	1,491	1,689	1,293	1,235	
ϕ_{max}	C _{max}	Sin	Con	1,211	2,147	2,372	1,155	1,265	1,603	1,693	1,212	3,082	
ϕ_{min}	C _{max}	Sin	Con	1,097	2,016	2,276	1,047	1,199	1,489	1,546	1,076	3,085	
ϕ_{max}	C _{min}	Sin	Con	0,872	1,429	1,502	0,835	0,886	1,102	1,196	0,914	1,022	
ϕ_{min}	C _{min}	Sin	Con	0,759	1,298	1,403	0,724	0,814	0,983	1,052	0,777	1,025	
ϕ_{max}	C _{max}	Con	Sin	1,225	2,445	2,639	1,105	1,077	1,732	2,019	1,304	2,844	
ϕ_{min}	C _{max}	Con	Sin	1,162	2,348	2,615	1,067	1,092	1,680	1,913	1,217	2,997	
ϕ_{max}	C _{min}	Con	Sin	0,795	1,537	1,532	0,696	0,648	1,070	1,314	0,888	0,686	
ϕ_{min}	C _{min}	Con	Sin	0,732	1,442	1,502	0,651	0,655	1,012	1,209	0,796	0,838	
ϕ_{max}	C _{max}	Con	Con	0,799	1,791	1,874	0,665	0,765	1,119	1,246	0,738	2,450	
ϕ_{min}	C _{max}	Con	Con	0,791	1,752	1,905	0,680	0,821	1,126	1,213	0,720	2,659	
ϕ_{max}	C _{min}	Con	Con	0,462	1,071	1,014	0,362	0,396	0,628	0,755	0,452	0,457	
ϕ_{min}	C _{min}	Con	Con	0,454	1,034	1,037	0,368	0,440	0,627	0,723	0,430	0,666	
Nombre de archivo				GSP5QM1.SI	GSP5QM2.SI	GSP5QM3.SI	GSP5QM4.SI	GSP5QM5.SI	GSP5QM6.SI	GSP5QM7A.SI	GSP5QM7B.SI		
Material				Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Teri - ss	
				ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	
Valores paramétricos empleados en cada sección		ϕ_{max}		29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	33,4	
		ϕ_{min}		22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,0	
		C _{max} (ton/m ²)		0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	3,00
		C _{min} (ton/m ²)		0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	1,00
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM			Ln	0,0720	0,0004	0,0006	0,0862	0,1040	0,0122	0,0022	0,0440	0,0905	
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			Ln	0,3837	0,0039	0,0055	0,4838	0,4940	0,0864	0,0210	0,2919	0,2057	
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM			Ln	0,5564	0,0088	0,0117	0,6978	0,7044	0,1414	0,0455	0,4349	0,2702	

**Tabla 6.8 Resumen de los factores de seguridad y de la probabilidad de falla condicional
 Suelos Residuales y Roca - Condición Estática - Tr de la Lluvia 10 años**

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL											
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS											
				SEC 1	SEC 2	SEC 3	SEC 4	SEC 5	SEC 6	SEC 6	SEC 6	SEC 7	SEC 7	SEC 7	
				Sr - Teri - ss	Sr - Teri - ss	Sr - Teri - ss	Sr - Teri - ss	Sr - Teri - ss	Sr - Teri - cl	Teri-ss	Teri-cl	Teri-cl	Teri-ss	Teri-ss	
				Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional		
Fricción	Cohesion (T/m ²)	Lluvia	Sismo	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	1,715	2,625	2,092	1,738	5,689	2,271	2,045	6,397	9,128	3,385	2,755	
ϕ_{min}	C _{max}	Sin	Sin	1,297	2,198	1,670	1,517	4,876	1,334	1,563	5,298	8,359	2,902	1,965	
ϕ_{max}	C _{min}	Sin	Sin	1,458	2,242	1,674	1,540	4,967	2,154	1,639	3,090	2,696	2,018	2,405	
ϕ_{min}	C _{min}	Sin	Sin	1,040	1,814	1,252	1,316	4,153	1,218	1,150	1,986	1,924	1,513	1,611	
ϕ_{max}	C _{max}	Sin	Con	1,038	1,844	1,473	1,015	2,952	1,152	1,208	3,160	5,490	2,126	1,331	
ϕ_{min}	C _{max}	Sin	Con	0,803	1,568	1,196	0,909	2,544	0,691	0,938	2,682	5,102	1,880	0,957	
ϕ_{max}	C _{min}	Sin	Con	0,851	1,559	1,149	0,884	2,561	1,081	0,925	1,405	1,446	1,179	1,135	
ϕ_{min}	C _{min}	Sin	Con	0,616	1,283	0,872	0,775	2,152	0,621	0,651	0,921	1,055	0,910	0,757	
ϕ_{max}	C _{max}	Con	Sin	1,011	2,154	1,592	1,080	4,830	1,249	1,827	6,085	8,851	3,206	2,993	
ϕ_{min}	C _{max}	Con	Sin	0,828	1,862	1,334	0,983	4,173	0,792	1,406	5,097	8,171	2,791	2,121	
ϕ_{max}	C _{min}	Con	Sin	0,754	1,775	1,176	0,890	4,110	1,133	1,423	2,777	2,422	1,841	2,627	
ϕ_{min}	C _{min}	Con	Sin	0,570	1,482	0,916	0,787	3,450	0,676	0,996	1,784	1,741	1,404	1,751	
ϕ_{max}	C _{max}	Con	Con	0,527	1,487	1,081	0,556	2,481	0,535	1,065	2,992	5,318	2,000	1,423	
ϕ_{min}	C _{max}	Con	Con	0,463	1,313	0,932	0,534	2,159	0,365	0,838	2,573	4,986	1,802	1,017	
ϕ_{max}	C _{min}	Con	Con	0,342	1,207	0,758	0,438	2,091	0,466	0,786	1,236	1,279	1,056	1,221	
ϕ_{min}	C _{min}	Con	Con	0,277	1,032	0,607	0,407	1,767	0,297	0,554	0,811	0,946	0,833	0,811	
Nombre de archivo				GSP3SR1.SI	GSP3SR2.SI	GSP3SR3.SI	GSP3SR4.SI	GSP3SR5.SI	GSP1SR6.SI	GSP3SS6.SI	GSP1CL6.SI	GSP1CL7.SI	GSP3SS7A.SI	GSP3SS7B.SI	
Material				Sr - Teri - ss	Sr - Teri - ss	Sr - Teri - ss	Sr - Teri - ss	Sr - Teri - ss	Sr - Teri - cl	Teri-ss	Teri-cl	Teri-cl	Teri-ss	Teri-ss	
				ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	
Valores paramétricos empleados en cada sección		ϕ_{max}		34,7	34,7	34,7	34,7	34,7	37,0	33,4	38,0	38,0	33,4	33,4	
		ϕ_{min}		24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	21,7	22,0	23,8	23,8	22,0	22,0	
		C _{max} (ton/m ²)		0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,42	3,00	8,40	8,40	3,00	3,00	
		C _{min} (ton/m ²)		0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,22	1,00	0,80	0,80	1,00	1,00	
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM			Ln	0,1264	0,0000	0,0166	0,0721	0,0000	0,0867	0,0184	0,0021	0,0146	0,0037	0,0010	
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			Ln	0,5907	0,0006	0,1033	0,4774	0,0000	0,4063	0,0589	0,0063	0,0213	0,0096	0,0079	
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM			Ln	0,8352	0,0027	0,1661	0,6944	0,0000	0,5826	0,0974	0,0121	0,0273	0,0173	0,0174	

Tabla 6.9 Distancias de viaje

CONDICIONES GEOMÉTRICAS DEL TALUD				DISTANCIA DE VIAJE DE DESLIZAMIENTO									
Sección	Análisis	Altura del Talud	Angulo del Talud	Coeficientes				Variables				Distancia de viaje	Distancia de viaje adoptada
		H (m)	A (°)	Estados	Co	C1	C2	I1	TAN (A)	I2	Log L	DV (m)	DV (m)
1-1'	GSP5QM1	4,6	36,5	Promedios	0,109	1,01	-0,51	0,66	0,74	-0,1308	0,84	6,99	8,21
		4,6	36,5	Máximos	0,156	1,055	-0,45	0,66	0,74	-0,1308	0,91	8,21	
2-2'	GSP5QM2	2,3	34,0	Promedios	0,109	1,01	-0,51	0,36	0,67	-0,171	0,56	3,64	4,12
		2,3	34,0	Máximos	0,156	1,055	-0,45	0,36	0,67	-0,171	0,62	4,12	
3-3'	GSP5QM3	3,7	34,0	Promedios	0,109	1,01	-0,51	0,57	0,67	-0,171	0,77	5,88	6,81
		3,7	34,0	Máximos	0,156	1,055	-0,45	0,57	0,67	-0,171	0,83	6,81	
4-4'	GSP5QM4	4	42,5	Promedios	0,109	1,01	-0,51	0,60	0,92	-0,0379	0,74	5,45	6,43
		4	42,5	Máximos	0,156	1,055	-0,45	0,60	0,92	-0,0379	0,81	6,43	
5-5'	GSP5QM5	6,2	57,0	Promedios	0,109	1,01	-0,51	0,79	1,54	0,18748	0,81	6,52	8,07
		6,2	57,0	Máximos	0,156	1,055	-0,45	0,79	1,54	0,18748	0,91	8,07	
6-6'	GSP5QM6	9,4	31,0	Promedios	0,109	1,01	-0,51	0,97	0,60	-0,2212	1,20	15,99	19,19
		9,4	31,0	Máximos	0,156	1,055	-0,45	0,97	0,60	-0,2212	1,28	19,19	
7-7'	GSP5QM7A	5	35,0	Promedios	0,453	0,547	0,31	0,70	0,70	-0,1548	0,79	6,14	14,50
		5	35,0	Máximos	0,693	0,768	0,44	0,70	0,70	-0,1548	1,16	14,50	
7-7'	GSP5QM7B	12	31,0	Promedios	0,109	1,01	-0,51	1,08	0,60	-0,2212	1,31	20,46	24,83
		12	31,0	Máximos	0,156	1,055	-0,45	1,08	0,60	-0,2212	1,39	24,83	
1-1'	GSP3SR1	4,5	36,5	Promedios	0,109	1,01	-0,51	0,65	0,74	-0,1308	0,83	6,84	8,03
		4,5	36,5	Máximos	0,156	1,055	-0,45	0,65	0,74	-0,1308	0,90	8,03	
2-2'	GSP3SR2	2,4	39,0	Promedios	0,109	1,01	-0,51	0,38	0,81	-0,0916	0,54	3,46	3,97
		2,4	39,0	Máximos	0,156	1,055	-0,45	0,38	0,81	-0,0916	0,60	3,97	
3-3'	GSP3SR3	4,7	35,0	Promedios	0,109	1,01	-0,51	0,67	0,70	-0,1548	0,87	7,35	8,62
		4,7	35,0	Máximos	0,156	1,055	-0,45	0,67	0,70	-0,1548	0,94	8,62	
4-4'	GSP3SR4	6,2	46,0	Promedios	0,109	1,01	-0,51	0,79	1,04	0,01516	0,90	7,97	9,66
		6,2	46,0	Máximos	0,156	1,055	-0,45	0,79	1,04	0,01516	0,99	9,66	
5-5'	GSP3SR5	5,8	57,0	Promedios	0,109	1,01	-0,51	0,76	1,54	0,18748	0,79	6,10	7,52
		5,8	57,0	Máximos	0,156	1,055	-0,45	0,76	1,54	0,18748	0,88	7,52	
6-6'	GSP3SR6	7,4	30,0	Promedios	0,109	1,01	-0,51	0,87	0,58	-0,2386	1,11	12,81	15,18
		7,4	30,0	Máximos	0,156	1,055	-0,45	0,87	0,58	-0,2386	1,18	15,18	

CAPÍTULO 6 - ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

CONTENIDO

6.1	ANÁLISIS CINEMÁTICO	1
6.2	MODELACIÓN DE ESTABILIDAD	26
6.3	EVALUACIÓN DE AMENAZA ACTUAL POR REMOCIÓN EN MASA	35
6.3.1	Variables aleatorias: límites y distribución de probabilidad	36
6.3.2	Análisis de Resultados	37
6.4	ZONIFICACIÓN DE AMENAZA	38

LISTA DE TABLAS

Tabla 6. 1	Características de taludes estudiados	2
Tabla 6. 2	Resumen de análisis cinemático	3
Tabla 6. 3	Parámetros estáticos y dinámicos de resistencia	31
Tabla 6. 4	Valores de esperanza (Qa – rm)	33
Tabla 6. 5	Valores de esperanza (Teri – ss, Teri – cl, Sr – Teri – ss, Sr – Teri – cl)	34
Tabla 6. 6	Probabilidades de agentes exógenos	37
Tabla 6. 7	Resumen de los Factores de Seguridad y Probabilidades Condicionales (Relleno Mixto)	15
Tabla 6. 8	Resumen de los Factores de Seguridad y Probabilidades Condicionales (Residuales y Roca)	19
Tabla 6. 9	Distancias de Viaje	23
Tabla 6.10	Categorización de la Amenaza	21

LISTA DE FIGURAS

Figura 6. 1	Relación c' y ϕ' (Llenos antrópicos y Suelos Residuales de la Arcillolita)	11
Figura 6. 2	Relación c' y ϕ' (Suelos Residuales y Arcillolitas de la Formación Regadera)	12
Figura 6. 3	Relación c' y ϕ' (Areniscas de la Formación Regadera)	13

LISTA DE ANEXOS

ANEXO D	AMENAZA
Anexo D1	Análisis Cinemático
Anexo D2	Memorias Análisis de Parámetros
Anexo D3	Superficies Críticas
Anexo D4	Calibración de Parámetros

LISTA DE PLANOS

Plano 9	Mapa de Zonificación de Amenaza – Escenario Actual
Plano 10	Mapa de Zonificación de Amenaza Futura

CAPÍTULO 7

EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO

7.1 VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad, entendida como la susceptibilidad a daño de un grupo social y de sus lugares de habitación ante un evento, se define como una función de la exposición y de la resistencia, variables dependientes a su vez de la solicitud v.g. un deslizamiento. Es medible al grado de severidad de las consecuencias esperadas; su cuantificación está dada por dos connotaciones: una en términos de costos por el daño físico y otra por el peso específico de las variables que inciden en la función socioeconómica (Millán, J.A.,-2000). Su estudio tiene como objetivo analizar la respuesta de los elementos frente a los diferentes fenómenos de remoción en masa potenciales y actuales y, junto con la evaluación de amenaza, dilucidar el(los) tratamiento(s) por adelantar. Dentro del referido contexto, por ejemplo, si las viviendas 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 estabilidad o a programas de reubicación.

7.1.1 METODOLOGÍA

7.1.1.1 CRITERIOS APLICADOS

De acuerdo con la concepción de vulnerabilidad asimilada para este proyecto, la determinación de un índice que permita evaluarla, involucra las variables: resistencia y solicitud; cuya asignación trae consigo grados de incertidumbre que aunado a la ausencia de modelos objetivos, universales y de apropiado sustento teórico, hacen que esta tarea tenga algún nivel de subjetividad. Sin embargo, y en aras de subsanar éstas limitaciones, la metodología empleada en este estudio, está fundamentada en la propuesta de LEONE (1996) con algunas modificaciones del consultor. Este procedimiento expresa la vulnerabilidad en función de los posibles daños que pudiesen llegar a sufrir los elementos expuestos situados en la zona de afectación previsible por el fenómeno, y que se encuentran definidos en formas teórica y porcentual, a partir de las intensidades de daño. Aunque el autor categoriza los niveles de resistencia con base en los sistemas estructurales de las unidades residenciales, en este caso se tuvieron en cuenta además otras variables como: calidad de la construcción, sistemas de cimentación y daños en la construcción que se consideraron importantes, y las cuales fueron ponderadas (véanse **Tabla 7.1 a 7.4**).

Tabla 7. 1 Evaluación de la capacidad de respuesta de la edificación

CALIFICACIÓN DEL NIVEL DE RESISTENCIA				
VARIABLE	SISTEMA ESTRUCTURAL	DAÑO EN LA CONSTRUCCIÓN	CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN	CALIFICACIÓN
PESO IMPORTANCIA(%)	40	30	30	A, B, C, D, E, F o G.

Tabla 7. 2 Calificación para variable: Sistema estructural

SISTEMA ESTRUCTURAL		
CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	PONDERACIÓN (%)
Bueno	Pórtico, mampostería estructural, muros confinados	40
Regular	Muros portantes no confinados o combinación de confinados y pórtico con muros no confinados	28
Malo	Vivienda de 3 pisos con muros portantes no confinados, estructuras en materiales de recuperación o viviendas prefabricadas.	12

Tabla 7. 3 Calificación para variable: Daño en la construcción

DAÑO EN LA CONSTRUCCIÓN		
CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	PONDERACIÓN (%)
Ninguno	Sin fisuras , ni tipo de fractura alguno	30
Leve	Fisuras tipo o grietas catalogadas como leves de acuerdo con el instructivo.	27
Moderado	Existen grietas catalogadas como intermedias en el instructivo.	23
Alto parcial	Grietas en un solo elemento estructural o no estructural	15
Alto total	Aparición de grietas que representan daño alto, en varios elementos de la estructura.	6
Severo parcial	Aparición de grietas de daño severo, en un solo elemento estructural o no estructural	12
Severo total	Aparición de grietas de daño severo, en varios elementos de la estructura.	2

Tabla 7. 4 Calificación para variable: Calidad de la construcción

CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN		
CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	PONDERACIÓN (%)
Buena	Muros plomados, elementos estructurales definidos geoméricamente.	23
Regular	Muros con desplome, con elementos estructurales y no estructurales no definidos, hormigúeo, losas irregulares.	15
Mala	Hormigúeo intenso, muros con inclinaciones severos, con juntas totalmente irregulares.	8

De esta forma, la capacidad de respuesta de la estructura o los niveles de "resistencia" fueron clasificados como:

NIVEL A: Viviendas que cumple con parámetros mínimos de rigidez y solidez estructural, tipo pórtico o de mampostería estructural, exenta de daños o con leves daños, y buena calidad de la construcción.

NIVEL B: Unidades residenciales que cumplen con parámetros mínimos de rigidez y solidez estructural, tipo pórtico o de mampostería estructural, pero su resistencia se ve disminuida por la regular calidad de la construcción o daños catalogados desde leves hasta moderados.

NIVEL C: El sistema estructural es de muros portantes no confinados o combinación de éste con muros portantes confinados, con daños desde leves hasta moderados y calidad regular de la construcción

NIVEL D: Encierra muros portantes no confinados o combinación de éste con muros portantes confinados, con daños altos parciales o severos parciales.

NIVEL E: El sistema estructural es de muros portantes no confinados o combinación de éste con muros portantes confinados, con daños altos totales o severos totales.

NIVEL F: Viviendas hechas de materiales de recuperación: cartón, zinc, madera etc.

NIVEL G: Lo comprenden edificaciones en proceso de construcción y lotes vacíos.

7.1.1.2 INFORMACIÓN PRIMARIA

La recopilación de los datos que permitieran evaluar la capacidad de respuesta de la estructura y determinar el nivel de daño de sus alrededores, se solventó a través del inventario de las 63 viviendas que hacen parte de la zona de estudio. En tanto que la fijación de la solicitud se fundamentó en los resultados del análisis de amenaza descrito en el Capítulo 6.0.

- **Inventario de viviendas**

El estudio de la vulnerabilidad de los elementos expuestos, en este caso las viviendas, se realizó utilizando como instrumento de recolección el "Formulario para la evaluación de daños y estado en edificaciones por fenómenos de remoción en masa". El formato está conformado por 4 secciones: La primera de ellas denominada: Datos Generales, comprende información concerniente al propietario, a la ubicación espacial y catastral de los predios y a las características orgánicas de las viviendas. La segunda: Condición Estructural, indaga acerca de las características de fundación y de estructura de las construcciones así como de su calidad constructiva. La tercera titulada: Daños, se enfoca hacia la categorización de las averías o expresiones "patológicas" (a priori) en elementos estructurales y no estructurales, a la auscultación sobre filtraciones, y al planteamiento de alguna medida a priori de acuerdo con lo observado. Y la última condensa datos enmarcados en el contexto social. Finalmente, contiene un espacio para observaciones, en las que se plasman comentarios de los habitantes o apreciaciones del aforador que en alguna medida contribuyen al estudio. En el **Anexo D2** se disponen el formato de campo con el instructivo que sirvió como guía para su utilización.

- **Definición del tipo de solicitud**

A partir de la evaluación de estabilidad descrita en el capítulo 6.0 y de los resultados de amenaza, se determinaron los probables tipos de solicitudes a los que están expuestas o se expondrían las unidades residenciales, y resumidas en empujes y desplazamientos verticales. (véase **Tabla 7.5** - columna solicitud).

7.1.2 VULNERABILIDAD SOCIAL

La vulnerabilidad en este contexto, se define como la susceptibilidad de un grupo social ante la ocurrencia de un desastre que ocasione daños físicos en las edificaciones, vías y elementos urbanísticos, lesiones personales, pérdidas humanas o daños, o alteraciones permanentes o temporales en la estructura orgánica y funcionamiento de una comunidad; es una medida indirecta de su capacidad de respuesta. Así las cosas, aunque su evaluación es muy subjetiva, se pueden examinar variables que la revelen en alguna medida. En este orden de ideas, el acopio de datos involucró tópicos como: la capacidad económica de los pobladores, la cobertura de los 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.

El referido abanico de variables permite entonces, dilucidar y plantear la "línea base" del grupo social, plataforma indispensable, si se desea cuantificar de manera alguna la vulnerabilidad social; estimar el tiempo de recuperación de los habitantes en caso de un desastre y la ayuda necesaria del estado.

- **Capacidad económica de los Pobladores**

El nivel de ingresos de la población en general se puede concebir como medio-bajo, entendido éste como el suficiente para surtir las necesidades básicas de supervivencia. De acuerdo con la percepción en el aforo de las unidades residenciales, los ingresos mensuales alcanzan el salario mínimo en el 60% de los casos, el 32% recibe desde \$380,000 hasta \$760,000, y sólo el 8% supera los dos salarios mínimos. El valor comercial de las viviendas oscila entre 25 y 30 millones, para el 35% de las unidades, y entre 35 y 40 millones para el 25%; otros intervalos se pueden apreciar en la **Figura 7.5**.

- **Cobertura de Servicios Públicos**

Todas las familias poseen energía eléctrica. Más del 95% cuenta con acueducto y alcantarillado oficial; mientras que la cobertura del servicio telefónico alcanza el 90% y la del gas natural el 84%. El 86% de las calles están pavimentadas (**Figura 7.2**).

- **Organizaciones Cívicas**

El sector cuenta con una Junta de Acción Comunal que vela por los intereses de la comunidad, sin embargo, las inquietudes suscitadas entre sus habitantes ante la aparición de grietas en algunas de las casas, fueron recibidas como comentarios individuales, y en ningún caso tramitadas ante las entidades gubernamentales. Si bien las juntas propenden por el bienestar social, sus temas de interés se centran en: educación, cultura, urbanismo y políticas de desarrollo. La seguridad social tiene foco direccional a hospitalización y salud; la prevención y atención de emergencias no son temas prioritarios, y el soslayo es común.

Aún cuando 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.

- **Tipología de las viviendas**

Aunque 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 la calidad de vida de los habitantes. El 32 de las edificaciones exhiben un sistema estructural aporticado, el 30% está conformado por muros portantes no confinados, i.e. ausencia de columnas; el 22% combina éste con una simulación de pórtico (i.e. muros confinados o pórticos en el primer nivel, y no confinados en niveles superiores), y el 13% consiste en estructuras de muros portantes confinados. Casas prefabricadas y otros sistemas de baja respuesta, componen el restante 4% (véase **Figura 7.3**)

- **Percepción del Peligro**

El 54% de la comunidad no vislumbra algún tipo de peligro que se pueda generar en su vivienda a partir de un proceso morfodinámico. Aunque cerca de la mitad (46%) reporta percepción del peligro, en la mayoría de estos casos la percepción apenas existe, es decir, es baja (véase **Figura 7.6**).

- **Daños generales de la construcción**

Se estableció el nivel de daño general en las viviendas con base en las características geométricas de las grietas en los elementos de las estructuras, en su ubicación y su cantidad. Esta información se obtuvo a partir de la observación directa en las unidades residenciales, y de los comentarios de sus habitantes. Los criterios encaminados a establecer el nivel de daño general de las estructuras, se consigna en el instructivo del formato de recolección, dispuesto en el **Anexo E2**. En la **Figura 7.4** se exponen los resultados de éste ítem y de ella se puede extraer que el 63% de las viviendas no registran alguna clase de daño, el 22% expone daños leves, el 5% moderado, el 6% alto parcial, el 6% alto total, el 3% severo parcial y ninguna severo total.

En conclusión, en el evento en el que ocurriera un desastre, reponerse en términos económicos resultaría muy lento, posiblemente entre y 20 y 40 años, y difícil, pues si bien la población cuenta con sus servicios básicos y sus viviendas son aceptables como domicilios -aunque los sistemas estructurales de acuerdo con la NSR98 no los cataloga como los más apropiados-; los habitantes en más del 60% de los casos, sólo disponen de lo estrictamente necesario para solventar sus necesidades esenciales. La **Figura 7.7** y la **Figura 7.8** realzan tales apreciaciones; ellas contrastan las pérdidas potenciales, constituidas como el patrimonio familiar, con la capacidad económica, incluida la intervención estatal, estimada en \$7'000000 (18.4 2 SMMLV). La presunción del patrimonio familiar, consideró una valoración anual del 6% para el inmueble con una tasa de depreciación del 5% anual; los muebles y enseres, se deprecian 10% anual, pero se renuevan cada 20 años; por su parte, la capacidad económica se dedujo proporcional al potencial de endeudamiento del núcleo familiar, al tener en cuenta un ahorro potencial del 25% del ingreso mensual. Como la gráfica es susceptible ante la estimación del ingreso familiar, se elaboraron dos: la **Figura 7.7** para el salario medio, y la **Figura 7.8** para el salario máximo esperado (i.e. el salario medio incrementado en la desviación estándar).

Bajo este ejercicio, la recuperación del nivel de base actual sólo se lograría en 36 años si el salario esperado es igual al promedio, y el estado no participa; o en 25 años para el mismo ingreso pero con la participación del gobierno. Cuando la plataforma se desarrolla con el salario máximo los horizontes encierran 32 años y 20 años respectivamente.

Así mismo, dentro del contexto emocional, la pérdida o afectación considerable de las viviendas, sería traumático, la mayoría de sus residentes son propietarios y tienen planeado vivir a largo plazo en ellas, han hecho reformas y ampliaciones y se constituyen en el máspreciado de sus bienes.

En cuanto a la respuesta de la población durante la ejecución del proyecto, fue positiva: en la mayoría de los casos consintió en que el aforador observara los elementos interiores de sus casas; aportaron información pertinente; y se mostraron inquietos por conocer los motivos que llevaron a la DPAE para la realización de un estudio de este tipo, en los terrenos que atañen sus domicilios. Lo anterior es indicativo del liderazgo de la Junta y de su potencial en campañas tendientes a instruir a la población sobre: evidencias de daños, y medidas apropiadas de reacción ante la ocurrencia de un desastre de ésta naturaleza, y prever que la comunidad sea empática con los programas de educación.

7.1.3 VULNERABILIDAD FÍSICA

La vulnerabilidad física –viviendas-, se expresa como una medida porcentual de los costos de las averías originadas por un agente destructor, en este caso los Fenómenos de Remoción en Masa (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 estudió con base en las posibles longitudes de viaje, y el segundo con la tipología de viviendas, como se explica a continuación: la **Tabla 7.5** condensa los datos que conllevan al hallazgo del índice de vulnerabilidad.

Tabla 7. 5 Evaluación de vulnerabilidad y riesgo

Área expuesta m2	Tasa de daño	Ingresos mensuales en miles de \$	Vr Inmueble en miles de \$	Costo de falla	IVF	Nivel de vulnerabilidad	Indice de Riesgo	Categoría de Riesgo
70,82	0,60	400	25000	15000	0,60	Alto	0,2964	Alto
48,99	0,18	380	35000	6300	0,18	Bajo	0,08892	Medio
0	0,00	720	28000	0	0,00	Bajo	0	Bajo
0,00	0,00	400	42000	0	0,00	Bajo	0	Bajo
22,373	0,45	200	25000	11250	0,45	Medio	0,21771	Medio
19,01	0,45	100	15000	6750	0,45	Medio	0,21771	Medio
21,81	0,45	750	30000	13500	0,45	Medio	0,21771	Medio
25,44	0,36	380	25000	9000	0,36	Medio	0,174168	Medio
26,21	0,36	200	15000	5400	0,36	Medio	0,037188	Bajo
34,33	0,36	380	35000	12600	0,36	Medio	0,037188	Bajo
43,56	0,36	380	28000	10080	0,36	Medio	0,037188	Bajo
41,03	0,18	400	28000	5040	0,18	Bajo	0,018594	Bajo
35,55	0,06	1000	35000	2100	0,06	Bajo	0,006198	Bajo
32,21	0,18	300	35000	6300	0,18	Bajo	0,069066	Medio
25,06	0,18	200	15000	2700	0,18	Bajo	0,069066	Medio
25,20	0,09	380	28000	2520	0,09	Bajo	0,034533	Bajo
0	0,00	760	42000	0	0,00	Bajo	0	Bajo
30,48	0,03	400	28000	840	0,03	Bajo	0,011511	Bajo
73,93	0,10	380	20000	2000	0,10	Bajo	0,03837	Bajo
72,82	0,10	800	27000	2700	0,10	Bajo	0,03837	Bajo
76,69	0,10	720	30000	3000	0,10	Bajo	0,03837	Bajo
34,26	0,06	500	30000	1800	0,06	Bajo	0,023022	Bajo
0	0,03	380	27000	810	0,03	Bajo	0	Bajo
12,20	0,03	380	30000	900	0,03	Bajo	0,011511	Bajo
22,72	0,06	800	23000	1380	0,06	Bajo	0,023022	Bajo
26,77	0,06	380	42000	2520	0,06	Bajo	0,023022	Bajo
106	0,30	760	20000	6000	0,30	Medio	0,17721	Medio
44,30	0,30	380	18000	5400	0,30	Medio	0,17721	Medio
46,16	0,60	1200	25000	15000	0,60	Alto	0,35442	Alto
44,01	0,60	300	15000	9000	0,60	Alto	0,35442	Alto
42,77	0,60	760	25000	15000	0,60	Alto	0,35442	Alto
51,00	0,30	200	40000	12000	0,30	Medio	0,14514	Medio
58,26	0,30	380	30000	9000	0,30	Medio	0,14514	Medio
57,15	0,30	380	35000	10500	0,30	Medio	0,14514	Medio
68,09	0,30	380	30000	9000	0,30	Medio	0,14514	Medio
67,12	0,30	380	20000	6000	0,30	Medio	0,14514	Medio
39,76	0,30	800	25000	7500	0,30	Medio	0,14514	Medio
53,50	0,36	380	30000	10800	0,36	Medio	0,17784	Medio
0	0,09	500	30000	2700	0,09	Bajo	0	Bajo
0,00	0,18	400	25000	4500	0,18	Bajo	0	Bajo
0,00	0,09	760	32000	2880	0,09	Bajo	0	Bajo
12,25	0,09	500	18000	1620	0,09	Bajo	0,026271	Bajo
4,05	0,09	0	13000	1170	0,09	Bajo	0,026271	Bajo
114,87	0,30	380	25000	7500	0,30	Medio	0,12189	Medio
16,78	0,18	380	25000	4500	0,18	Bajo	0,073134	Medio
13,76	0,09	380	28000	2520	0,09	Bajo	0,036567	Bajo
0,00	0,18	380	18000	3240	0,18	Bajo	0	Bajo
0,00	0,00	380	27000	0	0,00	Bajo	0	Bajo
0,00	0,00	380	25000	0	0,00	Bajo	0	Bajo
0,00	0,03	380	40000	1200	0,03	Bajo	0	Bajo
0,00	0,00	600	18000	0	0,00	Bajo	0	Bajo
111,69	0,10	380	15000	1500	0,10	Bajo	0,04063	Medio
0,00	0,03	760	30000	900	0,03	Bajo	0	Bajo
0,00	0,00	380	35000	0	0,00	Bajo	0	Bajo
0,00	0,00	380	25000	0	0,00	Bajo	0	Bajo
0,00	0,00	380	17000	0	0,00	Bajo	0	Bajo
0,00	0,00	380	17000	0	0,00	Bajo	0	Bajo
0,00	0,09	380	15000	1350	0,09	Bajo	0	Bajo
0,00	0,03	380	20000	600	0,03	Bajo	0	Bajo
0,00	0,00	280	17000	0	0,00	Bajo	0	Bajo
0,00	0,00	380	25000	0	0,00	Bajo	0	Bajo
0,00	0,00	380	35000	0	0,00	Bajo	0	Bajo
24,69	0,54	380	10000	5400	0,54	Alto	0,219402	Medio

Vulnerabilidad	Baja	65%
	Media	27%
	Alta	8%

Riesgo	Baja	62%
	Media	32%
	Alta	6%

Figura 7.1 Capacidad económica

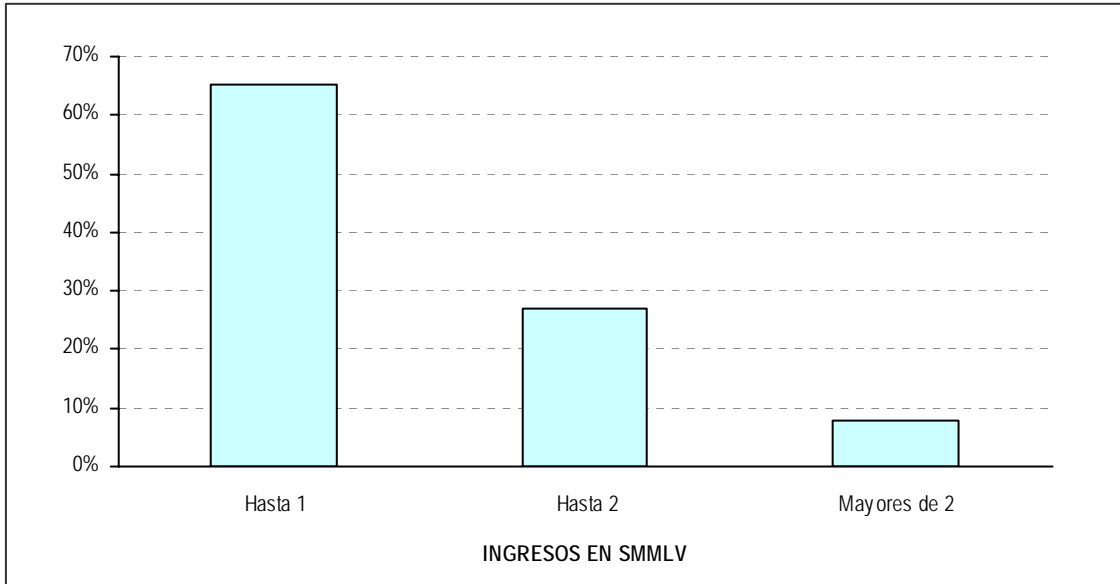


Figura 7.2 Cobertura de servicios públicos

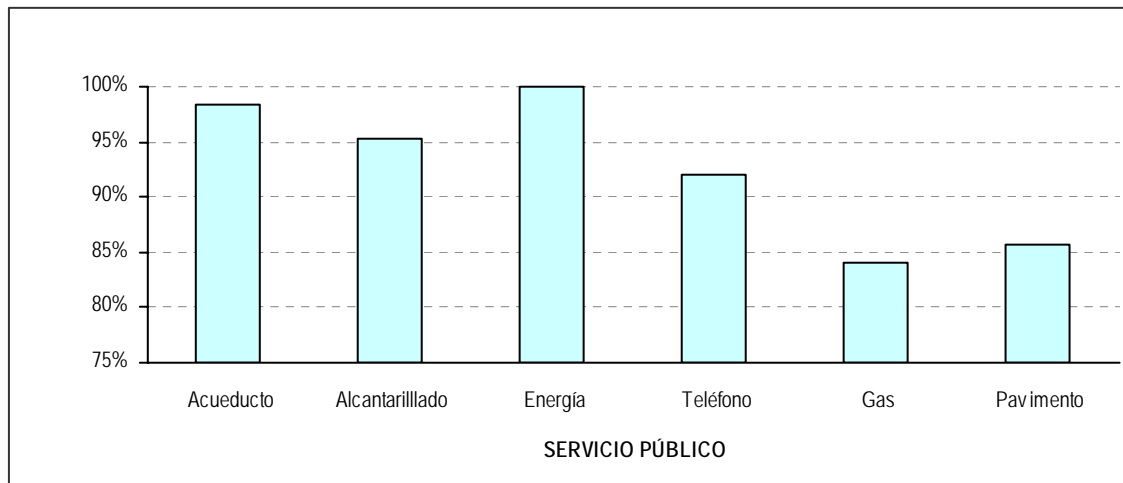


Figura 7.3 Sistema estructural

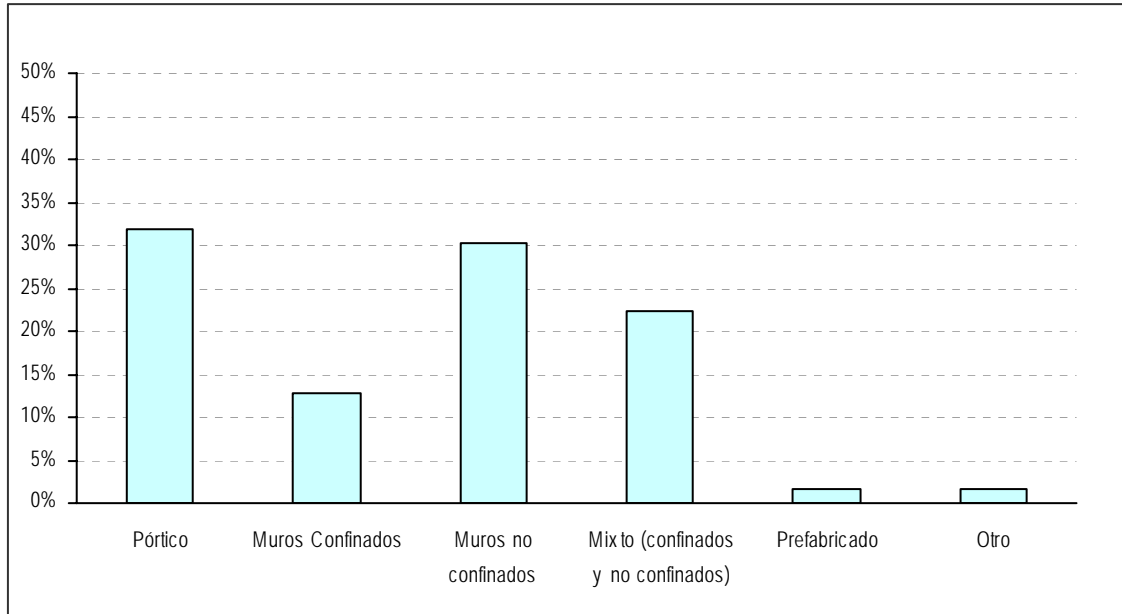


Figura 7.4 Daños generales de la construcción

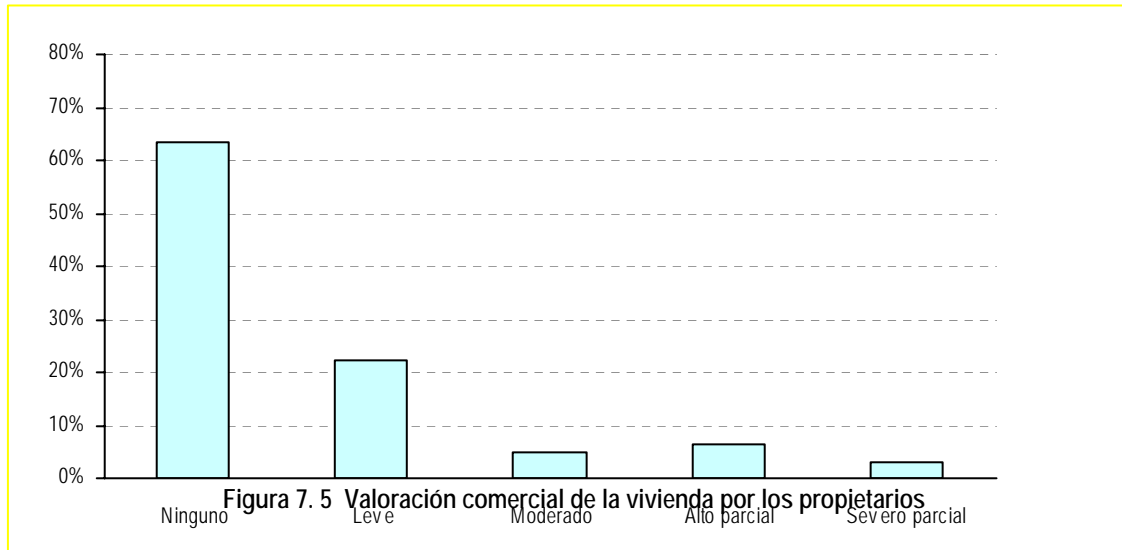


Figura 7.5 Valoración comercial de la vivienda por los propietarios

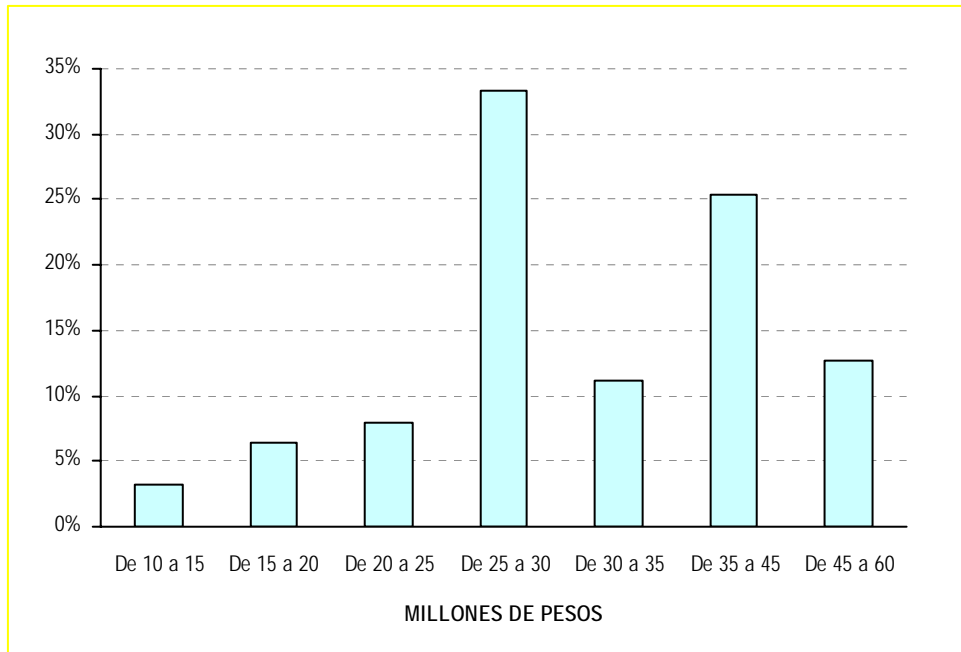


Figura 7.6 Percepción del peligro

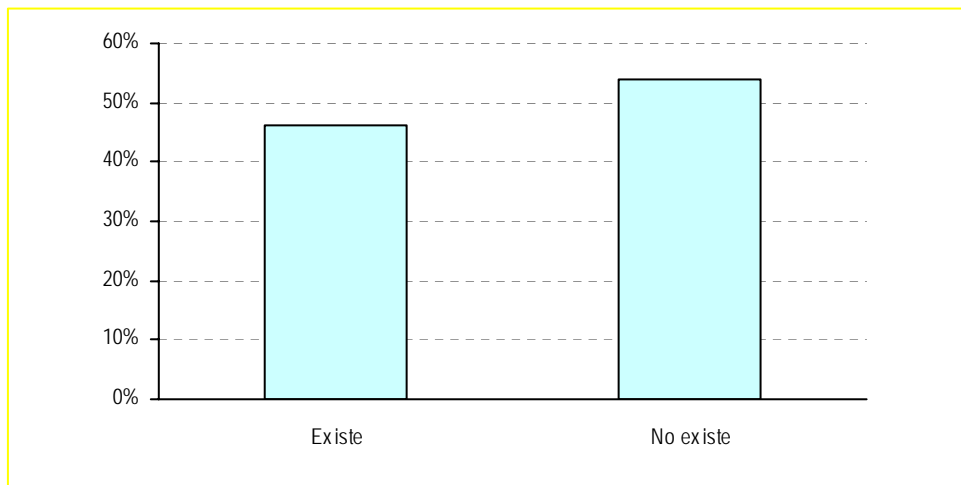


Figura 7.7 Recuperación social (salario medio)

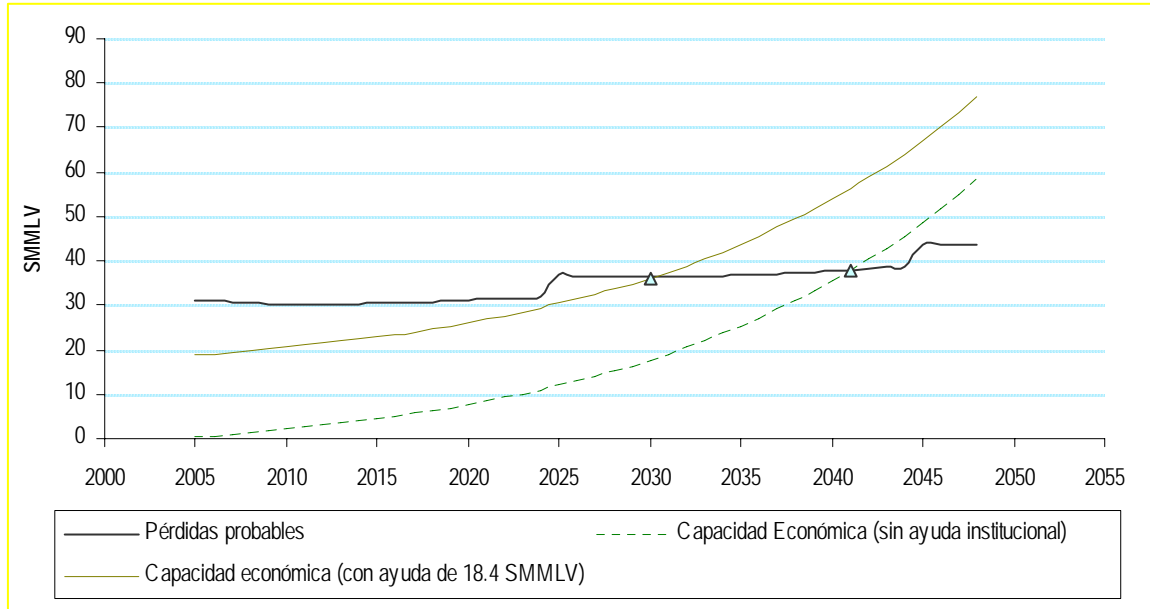
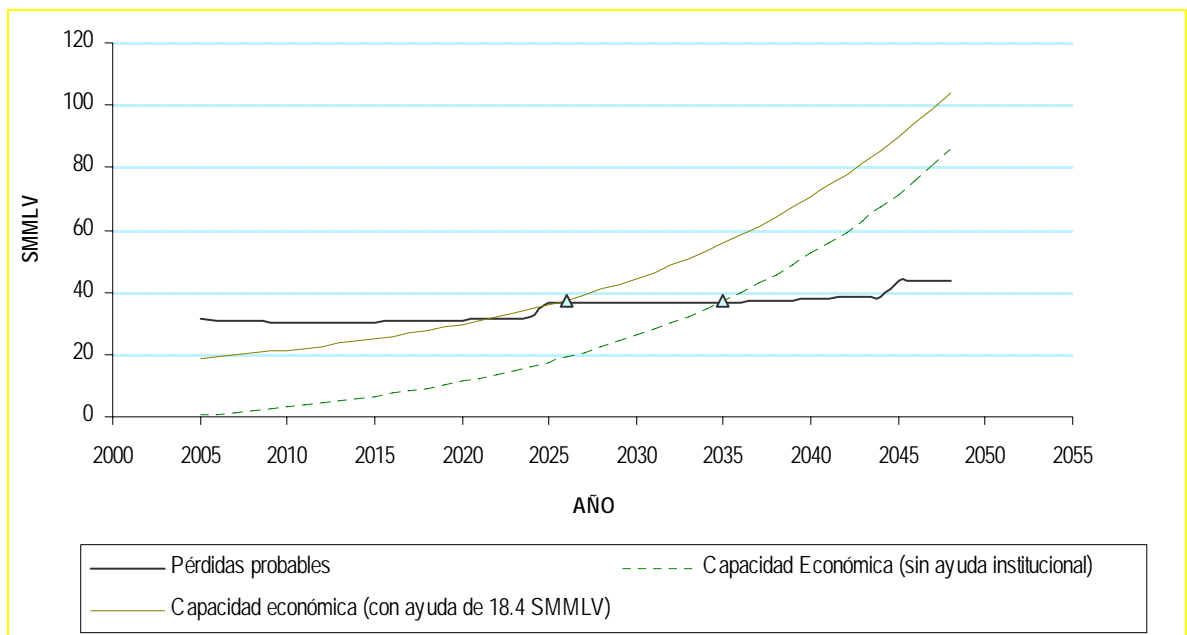


Figura 7.8 Recuperación social (salario máximo)



▪ **Cualificación de los daños**

Los perjuicios que se producirían sobre las unidades, están condicionados por dos grupos de variables: el de exposición y el de resistencia. El primero involucra el tipo de evento (deslizamientos traslacionales o rotacionales, flujos, caídas de bloques, etc.), la localización de las viviendas con respecto al mismo y la sollicitación que el proceso ejerza sobre los componentes; el segundo, cubre 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 para este estudio se registra en la matriz de intensidad de daño **Tabla 7.6**. La asociación de la intensidad con una descripción cualitativa del perjuicio y con una tasa de daño, se hizo de acuerdo con la tabla propuesta por el DRM (DELEGATION AUX RISQUES MAJEURS) y presentada por LEONE, 1996. (véase **Tabla 7.7**).

Tabla 7.6 Matriz de Intensidad de daño

SOLICITACIÓN	A	B	C	D	E	F	G
Desplazamiento vertical bajo (<1cm)	1	1	2	2	3	3	4
Desplazamiento vertical medio (>1cm)	1	2	2	3	3	4	4
Desplazamiento vertical alto (>1cm)	2	2	3	3	4	5	5
Empuje bajo (<1/3 h)	1	1	2	3	3	3	4
Empuje medio (2/3<h<1/3 h)	1	2	2	3	3	4	4
Empuje(>2/3 h)	2	3	3	4	4	5	5

Tabla 7.7 Tabla de clasificación de daños propuesta por DRM

INTENSIDAD DE DAÑO	MODOS DE DAÑO	PORCENTAJE DE DAÑO
1	Daños ligeros no estructurales. Estabilización no afectada.	0.01 – 0.1
2	Fisuración de muros. Reparaciones no urgentes.	0.2 – 0.3
3	Deformaciones importantes. Fisuras en elementos estructurales.	0.4 – 0.6
4	Fracturación de la estructura. Evacuación inmediata.	0.7 – 0.8
5	Derrumbe parcial o total de la estructura	0.9 – 1.0

▪ **Área de afectación**

Es la medida de la zona averiada en la ocurrencia del evento, y es siempre mayor al área de exposición (véase Tabla 7.8).

Tabla 7. 8 Área de afectación según área de exposición

ÁREA AFECTADA	
ÁREA EXPUESTA (En tanto por uno)	ÁREA AFECTADA (En tanto por uno)
<=0.20	0.3
0.21-0.40	0.6
>0.40	1

- **Tasa de daño**

La tasa de daño (TD) representa el porcentaje de destrozos en la vivienda y se obtiene tomando el índice de daño -en términos de porcentaje de daño- multiplicado por el área de afectación.

$$TD = \% \text{daño} \times A_{\text{afectación}}$$

- **Costo de daños o Costo de falla**

El costo de los daños, C_f expresado en pesos, se totaliza al sintetizar el valor inicial del inmueble, VII (también en pesos) y la tasa de daño, TD, así:

$$C_f = VII \times TD$$

- **Índice de vulnerabilidad física**

Es entendido como el porcentaje de pérdida esperado, y se evalúa en función del valor inicial de la vivienda antes del evento y el valor final una vez que ocurre el daño.

$$IVF = \frac{C_f}{VII}$$

C_f : Costo de falla

VII : Valor inicial de inmueble

La **Tabla 7.7** muestra los diferentes componentes del análisis y el índice de vulnerabilidad para el abanico completo de viviendas; por su parte la **Tabla 7.10** categoriza los niveles de vulnerabilidad desde Bajo hasta Alto.

Tabla 7. 9 Categorización de los niveles de vulnerabilidad

NIVEL DE VULNERABILIDAD	INTERVALOS DE LOS ÍNDICES
Bajo	≤ 0.25
Medio	0.25 – 0.50
Alto	> 0.50

7.1.4 ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD

A partir de los resultados arrojados en la **Tabla 7.5**, se infiere, que el 8% de las viviendas manifiestan vulnerabilidad alta y el 27%, media. El 65% restante ostentan niveles bajos. Este fenómeno encuentra explicación en las bajas tasas de daño, dado que si bien los sistemas estructurales no cumplen satisfactoriamente las exigencias de la Norma Sismorresistente Colombiana (NSR-98), el mayor porcentaje de residencias están exentas de daños, poseen tolerable calidad de las construcciones, la existencia de cubiertas y entresijos y de sistemas de cimentación aceptables, e índices de daño asignados para las sollicitaciones de empuje y desplazamiento vertical, bajos. En este orden de ideas, los niveles altos de vulnerabilidad coinciden con las viviendas más deterioradas, es decir los predios 01, 52, 53 y 54 de la manzana 52 y 111 de la manzana 69; los 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 50, 51, 55, 56, 57, 58, 59, 60 y 61 de la manzana 52 y el 6 de la manzana 69, todos ellos con medio, y los restantes con bajo.

7.2 RIESGO

El riesgo incurrido en una zona o elemento, se asimila como las probables pérdidas de una estructura, y frente a una solicitud determinada, se puede expresar al combinar la probabilidad de ocurrencia de la solicitud (amenaza actual-Pf) con las pérdidas potenciales. Para el presente trabajo las pérdidas potenciales corresponden a las pérdidas directas en viviendas y enseres, las cuales se pueden calcular multiplicando los costos de capital por el índice de vulnerabilidad física. El riesgo queda de esta manera; definido en términos de pesos.

$$Riesgo = P_f \times C_f$$

P_f : Probabilidad de falla

C_f : Costo de falla

Con el fin obviar el subjetivo contexto de los costos de capital, no comparables en un marco global ya que ellos son el resultado de las diferencias de los montos de inversión en cada vivienda, es mejor recurrir al índice de riesgo, puesto que esta situación podría conducir a tergiversaciones y vicios en el concepto, tales como que las pérdidas en viviendas de cuantiosa inversión aparecerían con un valor de perjuicio potencial elevado con respecto a unas más modestas aunque su condición de riesgo fuera semejante. Por lo tanto, por simplicidad en la presentación de los resultados, se abstrajeron los costos de capital.

El índice de riesgo se define como:

$$IR = P_f \times IVF$$

IR : Índice de riesgo

P_f : Probabilidad de falla

IVF : Índice de vulnerabilidad física

Para este caso se obtuvieron los intervalos de cualificación de las pérdidas probables a partir de la conjugación –producto punto- de los niveles de vulnerabilidad y de amenaza aplicados al proyecto, pero asumida cada una como variable independiente (Véase **Tabla 7.10**).

Tabla 7. 10 Categorización del riesgo

NIVEL DE RIESGO	INTERVALOS DE LOS ÍNDICES
Alto	0.2215– 1.000
Medio	0.041 – 0.2215
Bajo	0.000 – 0.041

7.3 ZONIFICACIÓN DEL RIESGO

Como se deduce de la **Tabla 7.5**: el 62% de las viviendas expone riesgo bajo, el 32% medio y el 6% (cuatro viviendas) alto. Esta distribución se justifica en el alto porcentaje de casas con pequeños niveles de vulnerabilidad, y en los bajos grados de exposición de los domicilios, es decir, es muy reducida la fusión de niveles medios o altos de vulnerabilidad, con zonas de amenaza media o alta.

El resultado del análisis revela que las unidades con mayor probabilidad de daño son: la 01, 52, 53 y 54 de la manzana 52. A pesar de arrojar un nivel de riesgo medio, las construcciones 28, 29 y 30 de la manzana 52, y la 111 de la manzana 69 (véanse los IR de las citadas unidades en la **Tabla 7.5**), poseen índices muy cercanos al límite inferior de la categoría de riesgo alto, i.e. 0.2215, situación para considerar. Las viviendas en la corona del Talud 1, es decir, la 50, la 51, y desde la 55 hasta la 61 en la manzana 52 exhiben riesgo medio, evidenciado más por la probabilidad de movillización de los materiales. Lo mismo ocurre con las 02, 37 y 38 en la base de los cortes. En el Talud 2, las construcciones 06 y 07 tienen riesgo medio, a merced de su área de exposición; la número 101, con nivel medio, conserva un IR muy cercano al límite inferior de la categoría media. Las restantes viviendas se exponen a riesgo bajo.

En concordancia, las alternativas de solución estarán destinadas a la reducción del riesgo, mediante mejoras en los niveles de vulnerabilidad (correcciones en las viviendas o submuración), a la disminución de las categorías del riesgo, como la disposición de drenajes, la construcción de estructuras de confinamiento de los materiales, o eventualmente, la evacuación y reubicación de las unidades en alto riesgo.

CAPÍTULO 7 – ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO
CONTENIDO

7.1	VULNERABILIDAD	1
7.1.1	METODOLOGÍA	1
7.1.2	VULNERABILIDAD SOCIAL	4
7.1.3	VULNERABILIDAD FÍSICA	6
7.1.4	ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD	14
7.2	RIESGO	14
7.3	ZONIFICACIÓN DEL RIESGO	15

LISTA DE TABLAS

Tabla 7. 1	Evaluación de la capacidad de respuesta de la edificación	2
Tabla 7. 2	Calificación para variable: Sistema estructural	2
Tabla 7. 3	Calificación para variable: Daño en la construcción	2
Tabla 7. 4	Calificación para variable: Calidad de la construcción	3
Tabla 7. 5	Evaluación de vulnerabilidad y riesgo	7
Tabla 7. 6	Matriz de Intensidad de daño	12
Tabla 7. 7	Tabla de clasificación de daños propuesta por DRM	12
Tabla 7. 8	Área de afectación según área de exposición	13
Tabla 7. 9	Categorización de los niveles de vulnerabilidad	13
Tabla 7. 10	Categorización del riesgo	15

LISTA DE FIGURAS

Figura 7. 1	Capacidad económica	8
Figura 7. 2	Cobertura de servicios públicos	8
Figura 7. 3	Sistema estructural	9
Figura 7. 4	Daños generales de la construcción	9
Figura 7. 5	Valoración comercial de la vivienda por los propietarios	9
Figura 7. 6	Percepción del peligro	10
Figura 7. 7	Recuperación social (salario medio)	11
Figura 7. 8	Recuperación social (salario máximo)	11

LISTA DE PLANOS

Plano 11	Zonificación de vulnerabilidad- Escenario actual
Plano 12	Zonificación de riesgo-Escenario actual

LISTA DE ANEXOS

ANEXO E
ANEXO E1
ANEXO E2
ANEXO E3
ANEXO E4

VULNERABILIDAD Y RIESGO
FICHAS INVENTARIO DE VIVIENDAS
FORMATO DE CAMPO-INSTRUCTIVO
RESULTADO DEL INVENTARIO DE VIVIENDAS
REGISTRO FOTOGRÁFICO DE DAÑOS

CAPÍTULO 8

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

8.1 ANÁLISIS Y CONSIDERACIONES GENERALES

Tal vez el mayor beneficio del análisis de amenaza actual radica en la formulación de un plan de acción que permita atenuar las consecuencias de los procesos existentes en los barrios San Jorge Alto y Granjas de San Pablo. Así las cosas, las obras pretenden mitigar, conservar o controlar los niveles de amenaza, y disminuir la influencia de los agentes detonantes y contribuyentes.

A la luz del objeto de este proyecto, surge entonces la necesidad de estudiar en adelante el papel de un abanico de medidas que emergieron de los temas tratados en los capítulos anteriores. Los criterios de decisión tienen como fundamento un análisis comparativo entre la condición actual y los escenarios con la implementación de las obras, incluido el valor de las mismas.

La definición de la amenaza, sin embargo, implica determinar explícitamente la eficiencia y eficacia de las alternativas en la reducción de los potenciales estados. Como la condición de amenaza es media a alta si el escenario es a 25 años, parecería lógico suponer que la puesta en marcha de obras de mitigación y rehabilitación es entonces prioritaria. Por lo tanto, las soluciones a proponer aunque tendrán un alto contenido de subjetividad, su función principal será conservar, al menor costo, la condición de amenaza actual.

Las medidas propuestas se enmarcan dentro de la capacidad operativa y económica, no sólo de la DPAE, sino de las demás entidades distritales que tienen ingerencia activa y continua en las condiciones de habitabilidad y seguridad en el Distrito Capital, tales como el DAPD, la EAAB y el IDU.

8.2 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

A partir de los resultados de la evaluación de amenaza, se consideraron las siguientes alternativas para cada uno de los taludes estudiados.

8.2.1 TALUD-1

Abarca el sector noroccidental del área estudiada –barrio San Jorge Alto-; y específicamente en el sector donde el talud de un antiguo frente de explotación, se encuentra expuesto y separa dos franjas de casas. La

superior compuesta por las viviendas 1 y de la 51 a la 61; y la inferior por la 2 y de la 28 a la 39. Éstas cuentan con sistemas estructurales mixtos (pórticos y no confinados), y se hallan sometidas a estados de amenaza alto.

Los procesos potenciales corresponden a mecanismos de falla de tipo rotacional y traslacional en los rellenos y suelos residuales, localizados en la parte alta de la ladera, que pueden saturarse en los períodos lluviosos o por posibles fugas de las tuberías de las redes de servicios públicos (acueducto y alcantarillado); también corresponden a la caída de bloques debido a la erosión diferencial, en el sector inferior del talud. Bajo estas condiciones la cimentación de algunas de las viviendas de la franja superior se debilitarían y las casas de la franja inferior quedarían expuestas a las masas movilizadas.

Al considerar los aspectos anteriormente exhibidos, se plantean las medidas que se resumen en la **Tabla 8.1** y que a continuación se describen.

- ◆ **Alternativa 1.** Dejar una zona de aislamiento de 4 metros de ancho, tanto en la franja superior de viviendas como en la inferior, al comprar y demoler la parte de los predios que limitan con el talud; perfilar los rellenos y empedrar la nueva superficie; e instalar una malla en la parte baja de la ladera para evitar la caída de bloques. Estas medidas permiten mover el lindero de las viviendas de la franja superior, hacia el sector donde predomina la roca; y disminuir la amenaza en la franja inferior de casas, ante fenómenos de remoción en masa.
- ◆ **Alternativa 2.** Reubicar las viviendas que componen la franja superior, terracear y empedrar el talud en la parte alta de la ladera, e instalar una malla en los sectores donde el talud quede expuesto en roca y con pendiente alta. Bajo estas condiciones se busca retirar totalmente los materiales susceptibles a fallar por saturación –rellenos y suelos residuales-, restringir la movilización de bloques y disminuir la amenaza en la franja inferior de casas.
- ◆ **Alternativa 3.** Construir una pantalla en voladizo, paralela y recostada contra las viviendas de la franja superior, a manera de estructura de contención; para mejorar la cimentación de las mismas y permitir el perfilamiento de los rellenos, sin que se vea afectada. Además, reducir la amenaza por caída de bloques, al colocar una malla en los sectores donde aflora la roca y la pendiente del talud sea alta.
- ◆ **Alternativa 4.** No llevar a cabo ningún tipo de medida sobre el talud. Disminuir la vulnerabilidad de las viviendas. En la franja superior se propone el recalce de la cimentación de las casas que estén fundadas en relleno o suelo residual; y en la franja inferior se plantea la conformación de una estructura de amortiguamiento que soporte las masas movilizadas. Esta última consiste en la construcción de una losa en concreto sobre todas las estructuras familiares, a 7.5 metros de altura; de cinco metros de ancho; recostada contra el talud; apoyada sobre columnas, en los extremos longitudinales y espaciadas 6 o 6.5 metros de acuerdo con los límites de las viviendas; y con acceso vehicular para retirar los materiales colapsados.
- ◆ **Alternativa 5.** Emplazar una malla elástica en todo el talud, que soporte los materiales que se movilicen tanto de la parte superior como de la inferior, mientras que son retirados. Y recalzar las viviendas de la franja superior que no estén cimentadas en roca.

- ◆ **Alternativa 6.** Instalar drenes tipo francés y trincheras drenantes en los rellenos para evitar que se saturen; y recubrir el talud expuesto en roca, con una malla que contenga los bloques que puedan movilizarse. De esta manera se reduce la amenaza por los fenómenos de remoción en masa.
- ◆ **Alternativa 7.** Construir micropilotes preexcavados, en tubería metálica y de máximo 3" de diámetro al considerar la dificultad constructiva, alineados con los paramentos de las viviendas de la franja superior que quedan expuestos al talud, para que funcionen como estructura de contención de los llenos. Retirar los llenos que queden expuestos sobre el talud, empujarlos y disponer una malla sobre el sector de la ladera expuesto en roca y con pendientes altas. Estas medidas con el fin de reducir la amenaza de todas las viviendas involucradas los análisis.
- ◆ **Alternativa 8.** Configurar muros en concreto de 8 metros de altura en el trasdos de las viviendas de la franja inferior, que funcionen como estructura de contención en el evento de un deslizamiento del relleno o suelo residual, o de desprendimiento de bloques. Y recalzar la cimentación de las viviendas de la franja superior. Planteamiento con el que se disminuye la amenaza en ambas franjas (superior e inferior).
- ◆ **Alternativa 9.** Dejar una estructura reticulada de concreto reforzado, compuesta por columnas y vigas, y ubicada en la parte posterior de las viviendas que componen la franja inferior, con la función de contener los materiales que se deslicen o rueden del talud; además debe constar de tensores en los nodos que queden anclados al talud para garantizar su estabilidad, si se considera que por su altura (8 m) quedaría esbelta. También se requiere el recalce de la cimentación de las casas de la franja superior, para disminuir la amenaza en todas las unidades involucradas en el estudio del talud.
- ◆ **Alternativa 10.** Es una solución integral. Recopila gran parte de las medidas planteadas anteriormente como: el retiro de los llenos; la reubicación parcial de las viviendas en la manzana 52 (1, 51, 52 y 54); el recalce de la cimentación de viviendas o la contención de éstas con pantallas en voladizo; y la instalación de la malla en la superficie expuesta para restringir la movilización de bloques. Además, involucra el manejo de las aguas negras provenientes de las viviendas y que descargan al talud directamente o lo atraviesan mediante tuberías. Para esta última, se propone eliminar los baños y cocinas o cualquier otra fuente de generación de efluentes domésticos dispuesta por debajo del nivel de la Diagonal 37A Sur; y redistribuirlos por encima de la citada diagonal, a fin de hacer su entrega directamente a la red de alcantarillado.

Todas las alternativas, excepto las cuatro, cinco, ocho y nueve se deben complementar con el manejo de las aguas lluvias tanto del talud, como de las viviendas de la franja superior. De esta manera, se propone recurrir a cunetas que desagüen en la Carrera 16 Bis y recolectar las aguas provenientes de las cubiertas y direccionarlas hacia la Diagonal 37A Sur. Las ventajas y desventajas de cada una de las medidas planteadas se recopilan en la Tabla 8.1.

De todas las alternativas planteadas, se descartaron en primera instancia aquellas que por su resultado final era similar a otras, p.e.: la 7 y la 9; o las que no eran viables por su proceso constructivo, 8 y 6 respectivamente.

8.2.2 TALUD-2

Cubre el extremo suroriental del sector y corresponde al barrio Granjas de San Pablo, está en el intervalo de dominio de la amenaza alta a baja y los procesos corresponden potenciales deslizamientos rotacionales de los llenos que cubren la ladera. Éstos pueden ser detonados por los vertimientos de aguas o por la concentración de las aguas lluvias en los periodos invernales. Como consecuencia las viviendas 4 a 8, cimentadas al nororiente de la Diagonal 37A Sur, perderían el acceso y su estructura comprometida por el desconfinamiento como efecto en cadena. Las casas 106, 32 y 35 se verían afectadas al recibir una parte de las masas movilizadas.

Bajo el panorama reseñado se proponen las siguientes acciones para reducir el nivel de riesgo de las unidades residenciales.

◆ Alternativa 1

Para el talud del costado norte se prevé el perfilado del mismo, emhradizar la nueva superficie, construir obras de drenaje para el control de escorrentía y emplazar un muro en gaviones en la parte superior, para confinar las cimentaciones y asegurar el acceso a las viviendas. En el costado sur se propone terracear y emhradizar el talud, y configurar obras de drenaje que descarguen en la Carrera 16. Esta alternativa representa un costo de \$55'0000.000.

◆ Alternativa 2

Está encaminada a retirar los elementos expuestos (viviendas 4 a 8, 106, 35 y 32) y no realizar ninguna medida en los taludes; lo que significa un costo de \$182.000.000.

8.3 AMENAZA FUTURA

Las condiciones de amenaza actual, oscilantes entre media y alta, son el reflejo de las particulares condiciones topográficas, morfológicas y estratigráficas del sector, con dominio de materiales poco susceptibles a fenómenos de inestabilidad (Qa-rm y Sr-Teri-ss), colapsables (Sr-Teri-ss) con pendientes desde 30° hasta 80°, y laderas antrópicas-denudativas. El irregular sistema de transporte de agua, la importante recarga de escorrentía y la cimentación de las viviendas en los horizontes de los llenos mixtos (Qa-rm), son otros de los componentes que repercuten ampliamente en el nivel de riesgo.

El especial matiz de la amenaza actual y la susceptibilidad de los elementos dispuestos sobre las áreas de los potenciales procesos de inestabilidad hacen del tratamiento de las zonas un marco de relativa compleja solución. Por una parte las obras tendientes a la reducción de la amenaza, pe: retiro de material, deben ser de fácil maniobrabilidad y construcción sin requerir espacios amplios para su ejecución, y por otra parte deben garantizar una reducción de la probabilidad de falla con bajos presupuestos, premisa que desde ya, hace de la reubicación una alternativa poco viable, excepto para algunos predios para los cuales la medida es la más apropiada.

La valoración de tales medidas de mitigación contempla así la determinación de su capacidad reductora de la probabilidad de falla. 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 6. Por lo tanto la estimación de la probabilidad de falla implicó la determinación de los factores de seguridad de cada sección de análisis con la incorporación de la medida correctiva para los parámetros de resistencia y las variables ambientales esperadas (lluvia y sismo) con el procedimiento referido en el numeral 6.3 del Capítulo 6.

Bajo el marco teórico expuesto, la evaluación de amenaza futura obviamente se concentró al análisis del comportamiento de las regiones: Ea-ss-2, Ea-qa-2, Lea-ss-2, Ea-qa-3, La-qa-3 y Ea-cl-3, frente a las diferentes medidas de mitigación. No obstante, como parte de las alternativas de solución tienden a la reducción del área de exposición, al mejoramiento de la resistencia de los elementos y a la convivencia con el problema, el análisis de amenaza formulado en el capítulo 6 sigue siendo válido. Así entonces, es claro que la posibilidad de falla para las alternativas es equivalente a la probabilidad condicional de los taludes para las solicitaciones actuales (Véase la **Tabla 8. 2**).

La alternativa con mayores beneficios en el control de los fenómenos potenciales, consiste en la implementación de sistemas de subdrenaje. Ella produce un notable aumento del factor de seguridad y por ende una reducción de la probabilidad de falla; esta última pasa a valores inferiores al 3% y al 6% para todas las secciones, con mecanismos de falla rotacionales en los rellenos mixtos (Qa-rm) y suelos residuales (Sr-Teri-ss), respectivamente; comportamiento similar expone la superficie libre 4-4' si se trata de deslizamientos planares en roca, pues la probabilidad condicional llega al 7% (Véase la **Tabla 8. 3**); así que la condición de amenaza a 10 años sería baja.

El efecto de perfilar los llenos no visualiza una mejoría en la estabilidad, ya que los valores de probabilidad para los suelos residuales Sr-Teri-ss mantienen un mismo orden de magnitud -59%-, en otras palabras la amenaza sigue siendo alta para 10 años.

El trabajo de las obras de reforzamiento estructural, si bien no producen cambio alguno en la estabilidad de las laderas si repercute en un mejor funcionamiento de las viviendas calificadas en medio y alto riesgo frente a la acción sísmica y minimiza la amenaza frente al colapso del suelo de fundación. Bajo este mismo orden de ideas, implementar una zona de aislamiento permite disminuir la exposición de las viviendas y de hecho su vulnerabilidad, en el evento que se desplacen las masas movilizadas hacia ellas.

De esta forma, la implementación de trincheras de subdrenaje, el manejo de las aguas lluvias, la conformación de zonas de aislamiento y el reforzamiento estructural de carácter puntual de las viviendas apunta desde ya a ser la alternativa más viable técnicamente. Su selección como la propuesta recomendada será función exclusiva de su beneficio económico frente a las otras alternativas.

8.4 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

El modelo de decisión probabilístico, es uno de los múltiples mecanismos que permite al diseñador seleccionar entre diversas alternativas de solución, sin caer en un marco subjetivo, donde predomine el juicio del experto, este modelo contiene como variables relevantes: la probabilidad de falla, el costo de la solución, la aplicabilidad ambiental y su disponibilidad operativa. Dichos modelos están basados en un análisis

comparativo entre el nivel de riesgo alcanzado por una medida de mitigación y el costo esperado en pesos para la misma.

Uno de los procedimientos de análisis de decisión más claros y simples es el conocido como "Árboles de decisión hipotéticos". 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:

$$R = P_f C_f$$

donde:

R = Riesgo Esperado

P_f = Amenaza o probabilidad de falla de un talud y,

C_f = Consecuencia o costo de falla

Para el caso en estudio, la evaluación de probabilidad de falla, para cada tipo de fenómeno y solicitud, se encuentra compilado en el numeral 6.3. Por su parte, el costo de falla, se consideró como:

$$C_f = ID \times C_0$$

donde:

ID = Índice de daño de la unidad expuesta

C_0 = Valor inicial de la alternativa

El costo inicial corresponde al valor presente de la obra pues no existen otros elementos físicos que puedan incorporarse. Las pérdidas potenciales (o costo de falla), en caso de deslizamiento, son iguales a una fracción del presupuesto de cada alternativa, deducido como un índice que conjuga la eficiencia de la alternativa con el amortiguamiento del daño de las unidades residenciales, sumado al valor de la atención de la emergencia, y toda vez que no ocurra fenómeno alguno recaerá en el costo de inversión del proyecto (alternativa). El monto individual de reubicación se dedujo del inventario de viviendas efectuado por el consultor.

Cabe señalar que el complejo social y la consolidación urbana, hace poco viable apelar a la elusión y a la reubicación total como alternativas viables, máxime si se aprecia que la probabilidad de falla, en caso del retiro de llenos, el reforzamiento estructural con zapatas (y prolongación de columnas) y la construcción de la malla en la cubierta de explotación es alto, próximo al 20 %.

Es pertinente mencionar que el planteamiento del reforzamiento estructural de las viviendas repercute no sólo en mejorar la calidad de vida de los pobladores, sino que minimiza escenarios futuros de riesgo, opción con dimensión económica; empero esta solución no podrá ser adelantada por la DPAAE, pues se trata de espacios privados, en consecuencia estarán a cargo de los propietarios.

La reubicación como caso excepcional se aplicaría a las viviendas 52 y 53 de la manzana 52 cuyo estado de deterioro y afectación es avanzado, su costo estimado es de \$ 25.000.000. La **Figura 8.1** contiene el árbol de decisión obtenidos para períodos de diseño a valor presente. De ella, se puede apreciar que la alternativa que involucra el menor nivel de riesgo esperado, es 1. Si bien, las alternativas 3, 7 y 10 delimitan un nivel de riesgo similar al de la 1, en construcción son operativamente más complejas. No obstante, en caso tal de tener que recurrir a una de ellas se prefiere la número 10.

8.5 PLAN DE ACCIÓN RECOMENDADO

Si bien en el numeral 8.4 el modelo de decisión probabilístico confiere el menor nivel de riesgo esperado a la Alternativa 1, después de evaluar elementos adicionales como el impacto social, se considera la Alternativa 10 como la óptima para dar manejo a la urbanización bajo un marco general técnico y social, con atención a la reducción de los escenarios y condiciones de riesgo, y permitir el continuo desarrollo de la comunidad. Así, se involucra: Reubicar las familias que habitan algunas de las viviendas que componen la franja superior, terracear y empedrar el talud en la parte alta de ambas ladera, manejar las aguas lluvias y sanitarias, e instalar una malla en los sectores donde el talud quede expuesto en roca y con pendiente alta.

a) Reubicación: Prevé la compra de predios, su posterior demolición y consecuente disposición con el fin de evitar su reocupación en el futuro

b) Perfilado de llenos y empedramiento: Implica el retiro parcial de los materiales cuaternarios y la protección de la superficie expuesta con biomanto.

c) Manejo de aguas lluvias: Envuelve la modificación de la red hidrosanitaria de algunas de las viviendas que tienen desagüe en la cara del talud, y que no tienen conexión directa a la red legal.

d) Malla para contención: Comprende la colocación de una malla, con el fin de evitar la caída de bloques que puedan afectar las viviendas de la franja inferior.

Tabla 8. 1 Planteamiento de Alternativas para el Talud 1

Alternativa	Descripción	Costos	Ventajas	Desventajas	Observaciones
1	Zona de aislamiento en las viviendas, tanto de la franja superior como de la inferior; perfilado de los llenos y empedradización, manejo de las aguas lluvias y colocación de malla que contenga los bloques en el sector inferior del talud.	\$283,345,000	<ul style="list-style-type: none"> - Un porcentaje alto de las viviendas de la franja superior quedarían cimentadas en roca y se mejoraría el nivel de fundación. - Disminuir la amenaza de las casas de la franja inferior ante los fenómenos de remoción en masa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se generaría un impacto social al recortar las viviendas, ya que implicaría reorganizar su distribución. 	
2	Reubicación de las viviendas de la franja superior del talud, terráceo del talud para retirar los llenos y suelos residuales, empedradización del mismo e instalación de una malla que restringa la caída de bloques en el tramo inferior de la ladera y manejo de las aguas lluvias.	\$419,205,000	<ul style="list-style-type: none"> - Se retirarían en su totalidad los materiales potencialmente inestables -suelo residual y relleno- de la parte alta del talud. - Disminuir la amenaza de las casas de la franja inferior ante los fenómenos de remoción en masa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se generaría un impacto social alto al tener que reubicar las familias de las viviendas de la franja superior. 	
3	Pantalla anclada paralela a los predios de la franja superior de la ladera, a manera de confinamiento de la cimentación, perfilado y empedradización del talud en el sector de los llenos, manejo de las aguas lluvias y disposición de una malla sobre la superficie expuesta en roca para evitar la movilización de fragmentos de roca.	\$176,602,600	<ul style="list-style-type: none"> - Se continuaría la cimentación de las viviendas de la franja superior, lo que permite retirar los rellenos expuestos sobre el talud, sin desplazar los linderos de las viviendas o llevar a cabo la reubicación. - Disminuir la amenaza de las casas de la franja inferior ante los fenómenos de remoción en masa. 		
4	No realizar medida alguna de mitigación sobre el talud. En su reemplazo construir una losa en concreto a manera de protección, sobre las viviendas de la franja inferior y hacia la parte posterior de las mismas; y recalzar la cimentación de las casas localizadas en la franja superior de la ladera.	\$183,209,000	<ul style="list-style-type: none"> - Se reduce la vulnerabilidad de las viviendas tanto de la franja superior como de la inferior. - No se requiere recortar las viviendas o la reubicación de las casas de la franja superior. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se permite la movilización de los rellenos, suelos residuales y bloques. - Se deben retirar las masas que se depositen sobre la losa de protección. - Se generarían conflictos sociales al restringir la iluminación de las viviendas de la franja inferior, en su parte posterior. 	
5	Conservar las condiciones actuales del talud, recalzar las viviendas de la franja superior y emplazar una malla elástica sobre la superficie de la ladera que permita la acumulación de los materiales movilizados sin fallar, durante un periodo de tiempo mientras se realiza la limpieza.	\$280,068,200	<ul style="list-style-type: none"> - Disminuir la amenaza de las casas de la franja inferior ante los fenómenos de remoción en masa. - No se requiere recortar las viviendas o la reubicación de las casas de la franja superior. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se permite la movilización de los rellenos, suelos residuales y bloques. - Se deben retirar las masas que se depositen en la malla elástica. 	
6	Drenar los rellenos mediante drenes francés y trincheras drenantes, manejo de las aguas lluvias y dejar una malla en la parte inferior del talud para soportar los bloques que puedan movilizarse.	-----	<ul style="list-style-type: none"> - Se reduciría la posibilidad de movilización de los rellenos y suelos residuales, al restringir su saturación por aguas lluvias. 	<ul style="list-style-type: none"> - Independientemente del drenaje subsuperficial y superficial, no se podría controlar la saturación por la rotura de redes de alcantarillado o del acueducto. 	Se descarta por que no hay forma de controlar las redes del acueducto y el alcantarillado.
7	Dejar una cortina de micropilotes en tubería metálica, de máximo 3" de diámetro y preexcavados, paralelamente y junto al lindero de las viviendas de la franja superior, a manera de contención de la cimentación. Retirar los llenos, empedrar, manejar las aguas lluvias y dejar una malla en la parte inferior del talud para evitar la caída de bloques.	-----	<ul style="list-style-type: none"> - Se continuaría la cimentación de las viviendas de la franja superior, lo que permite retirar los rellenos expuestos sobre el talud, sin desplazar los linderos de las viviendas o llevar a cabo la reubicación. - Disminuir la amenaza de las casas de la franja inferior ante los fenómenos de remoción en masa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Al tener que realizarse micropilotes de pequeño diámetro y al considerar que la separación entre éstos está dada por el efecto de arco, se requería que quedarán casi unidos. 	Se descarta, por que al quedar tan unidos los micropilotes quedarían actuando como una pantalla.
8	Muro en concreto de 8 m de altura, a manera de contención, en la parte inferior del talud y recalce de la cimentación de las viviendas de la franja superior. No llevar a cabo ninguna acción sobre el talud.	-----	<ul style="list-style-type: none"> - Disminuir la amenaza de las casas de la franja inferior ante los fenómenos de remoción en masa. - No se requiere recortar las viviendas de la franja superior o su reubicación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se permite la movilización de los rellenos, suelos residuales y bloques. - Para la construcción del muro es necesario recortar las viviendas de la franja inferior, para realizar la cimentación del mismo, lo que generaría impactos sociales. 	Se descarta, por que no hay el espacio suficiente para realizar el muro y se requería recortar como mínimo el 50% de las viviendas en su longitud.
9	Construir una estructura reticulada en concreto -vigas y columnas-, como contención, en la parte posterior de las casas de la franja inferior, de 8 m de altura y con tensores en los nodos que se anclan al talud; recalzar la cimentación de las viviendas de la franja superior; y mantener el talud con las condiciones actuales.	-----	<ul style="list-style-type: none"> - Disminuir la amenaza de las casas de la franja inferior ante los fenómenos de remoción en masa. - No se requiere recortar las viviendas de la franja superior o su reubicación. 	<ul style="list-style-type: none"> - La separación entre los elementos estructurales debe ser mínima para permitir que la estructura cumpla con su objeto de contención. - La estructura quedaría muy esbelta y requiere de tensores anclados al talud, lo que dificultaría su construcción. 	Se descarta, por que se requiere que los elementos estructurales queden muy unidos y en este caso se asemejaría a un muro.
10	Retirar los rellenos expuestos en el talud; de acuerdo con los espesores de rellenos y suelos residuales recalzar las viviendas de la franja superior o construir pantallas en cantiliver -por unidad- paralelas a los paramentos; dejar una malla en la parte inferior del talud para evitar la movilización de bloques, controlar las aguas lluvias y manejar las aguas negras de la parte alta del barrio.	\$184,291,750	<ul style="list-style-type: none"> - La solución es integral y se acomoda a las condiciones de cimentación de cada una de las casas de la franja superior. - Disminuir la amenaza de las casas de la franja inferior ante los fenómenos de remoción en masa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Generaría conflictos sociales en los habitantes de las casas de la franja superior, al tener que realizar reubicaciones parciales y al eliminar las unidades que generen aguas servidas en los pisos de las viviendas que estén por debajo de la Diagonal 37A Sur. 	

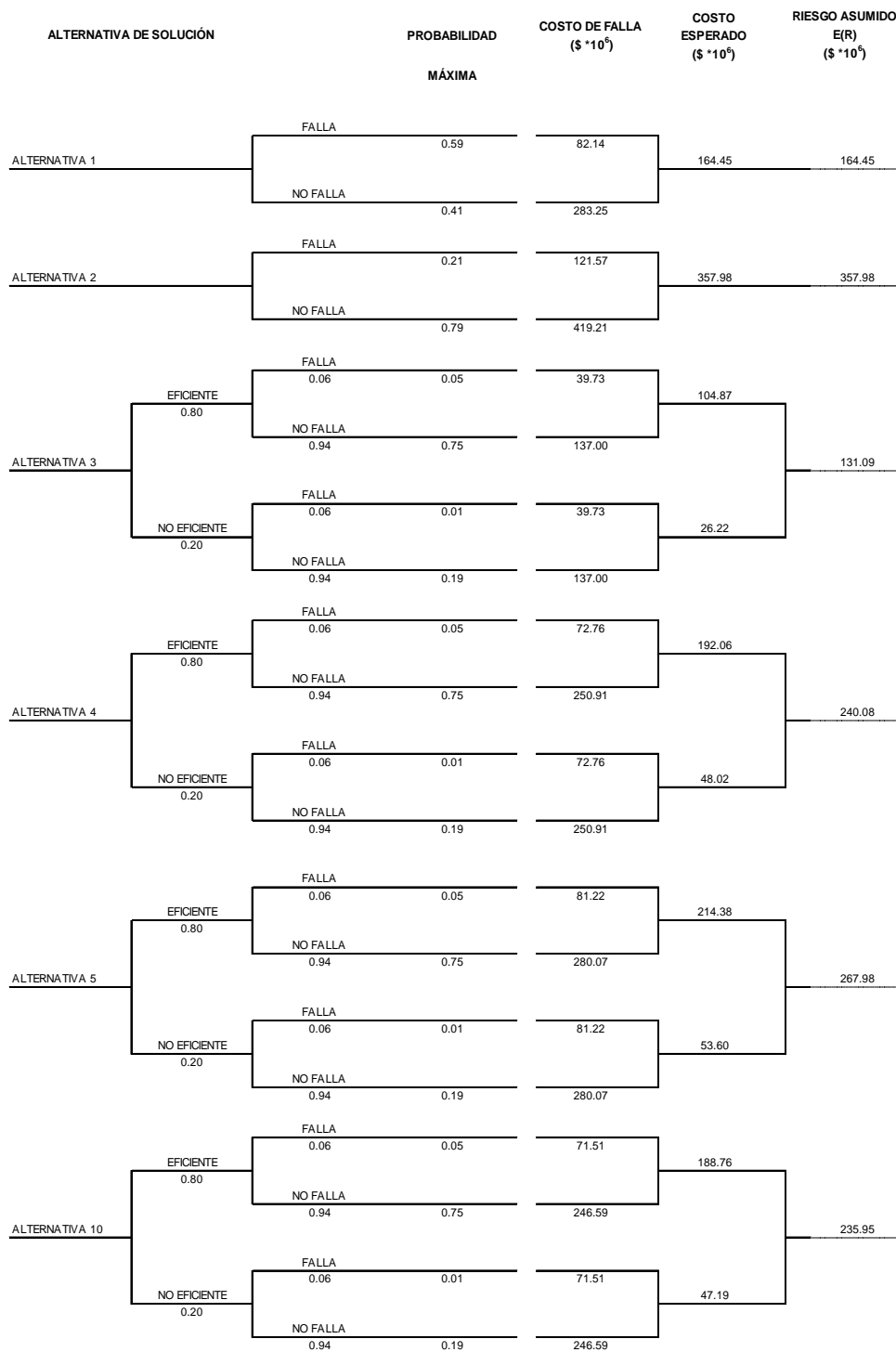
Tabla 8. 2 Resumen factores de seguridad y probabilidad de falla condicional – Relleno Mixto

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL									
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS									
				SEC 1	SEC 2	SEC 3	SEC 4	SEC 5	SEC 6	SEC 7	SEC 7	SEC 4	
				Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Teri - ss	
		Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Planar			
Fricción	Cohesión (T/m ²)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.		
φ _{max}	C _{max}	Sin	Sin	1.749	2.895	3.276	1.749	1.798	2.383	2.672	1.979	3.545	
φ _{min}	C _{max}	Sin	Sin	1.549	2.680	3.088	1.547	1.662	2.164	2.397	1.718	3.472	
φ _{max}	C _{min}	Sin	Sin	1.320	1.988	2.163	1.329	1.368	1.711	1.962	1.555	1.308	
φ _{min}	C _{min}	Sin	Sin	1.121	1.775	1.972	1.124	1.226	1.491	1.689	1.293	1.235	
φ _{max}	C _{max}	Sin	Con	1.211	2.147	2.372	1.155	1.397	1.603	1.693	1.212	3.082	
φ _{min}	C _{max}	Sin	Con	1.097	2.016	2.276	1.047	1.320	1.489	1.546	1.076	3.085	
φ _{max}	C _{min}	Sin	Con	0.872	1.429	1.502	0.835	1.022	1.102	1.196	0.914	1.022	
φ _{min}	C _{min}	Sin	Con	0.759	1.298	1.403	0.724	0.938	0.983	1.052	0.777	1.025	
φ _{max}	C _{max}	Con	Sin	1.749	2.895	3.276	1.749	1.798	2.383	2.672	1.979	3.492	
φ _{min}	C _{max}	Con	Sin	1.549	2.680	3.088	1.547	1.662	2.164	2.397	1.718	3.439	
φ _{max}	C _{min}	Con	Sin	1.320	1.988	2.163	1.329	1.368	1.711	1.962	1.555	1.255	
φ _{min}	C _{min}	Con	Sin	1.121	1.775	1.972	1.124	1.226	1.491	1.689	1.293	1.202	
φ _{max}	C _{max}	Con	Con	1.211	2.147	2.372	1.155	1.397	1.603	1.693	1.212	3.033	
φ _{min}	C _{max}	Con	Con	1.097	2.016	2.276	1.047	1.320	1.489	1.546	1.076	3.055	
φ _{max}	C _{min}	Con	Con	0.872	1.429	1.502	0.835	1.022	1.102	1.196	0.914	0.974	
φ _{min}	C _{min}	Con	Con	0.759	1.298	1.403	0.724	0.938	0.983	1.052	0.777	0.995	
Nombre de archivo				GSP5QM1.SI	GSP5QM2.SI	GSP5QM3.SI	GSP5QM4.SI	GSP5QM5.SI	GSP5QM6.SI	GSP5QM7A.SI	GSP5QM7B.SI		
Material				Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Qa - rm	Teri - ss	
				ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g		
Valores paramétricos empleados en cada sección	φ _{max}			29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	33.4	
	φ _{min}			22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.0	
	C _{max} (ton/m ²)			0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	3.00	
	C _{min} (ton/m ²)			0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	1.00	
Probabilidad de falla (P _f) a 1 año Método PEM		Ln		0.0183	0.0000	0.0000	0.0170	0.0040	0.0005	0.0001	0.0019	0.0708	
Probabilidad de falla (P _f) a 10 años Método PEM		Ln		0.0286	0.0002	0.0001	0.0292	0.0075	0.0027	0.0012	0.0121	0.0752	
Probabilidad de falla (P _f) a 25 años Método PEM		Ln		0.0454	0.0004	0.0003	0.0490	0.0133	0.0063	0.0029	0.0287	0.0809	

Tabla 8. 3 Resumen de factores de seguridad y probabilidad de falla condicional – Residuales y Roca

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL										
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS										
				SEC 1	SEC 2	SEC 3	SEC 4	SEC 5	SEC 6	SEC 6	SEC 6	SEC 7	SEC 7	
				Sr - Teri - ss	Sr - Teri - ss	Sr - Teri - ss	Sr - Teri - ss	Sr - Teri - ss	Sr - Teri - cl	Teri-ss	Teri-cl	Teri-ss	Teri-ss	
				Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	Rotacional	
Fricción	Cohesion (T/m ²)	Lluvia	Sismo	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	1.715	2.625	2.092	1.738	5.689	2.271	2.045	6.397	9.128	3.385	2.755
φ _{min}	C _{max}	Sin	Sin	1.297	2.198	1.670	1.517	4.876	1.334	1.563	5.298	8.359	2.902	1.965
φ _{max}	C _{min}	Sin	Sin	1.458	2.242	1.674	1.540	4.967	2.154	1.639	3.090	2.696	2.018	2.405
φ _{min}	C _{min}	Sin	Sin	1.040	1.814	1.252	1.316	4.153	1.218	1.150	1.986	1.924	1.513	1.611
φ _{max}	C _{max}	Sin	Con	1.038	1.844	1.473	1.015	2.952	1.152	1.208	3.160	5.490	2.126	1.331
φ _{min}	C _{max}	Sin	Con	0.803	1.568	1.196	0.909	2.544	0.691	0.938	2.682	5.102	1.880	0.957
φ _{max}	C _{min}	Sin	Con	0.851	1.559	1.149	0.884	2.561	1.081	0.925	1.405	1.446	1.179	1.135
φ _{min}	C _{min}	Sin	Con	0.616	1.283	0.872	0.775	2.152	0.621	0.651	0.921	1.055	0.910	0.757
φ _{max}	C _{max}	Con	Sin	1.715	2.625	2.092	1.738	5.689	2.271	2.045	6.397	9.128	3.385	2.755
φ _{min}	C _{max}	Con	Sin	1.297	2.198	1.670	1.517	4.876	1.334	1.563	5.298	8.359	2.902	1.965
φ _{max}	C _{min}	Con	Sin	1.458	2.242	1.674	1.540	4.967	2.154	1.639	3.090	2.696	2.018	2.405
φ _{min}	C _{min}	Con	Sin	1.040	1.814	1.252	1.316	4.153	1.218	1.150	1.986	1.924	1.513	1.611
φ _{max}	C _{max}	Con	Con	1.038	1.844	1.473	1.015	2.952	1.152	1.208	3.160	5.490	2.126	1.331
φ _{min}	C _{max}	Con	Con	0.803	1.568	1.196	0.909	2.544	0.691	0.938	2.682	5.102	1.880	0.957
φ _{max}	C _{min}	Con	Con	0.851	1.559	1.149	0.884	2.561	1.081	0.925	1.405	1.446	1.179	1.135
φ _{min}	C _{min}	Con	Con	0.616	1.283	0.872	0.775	2.152	0.621	0.651	0.921	1.055	0.910	0.757
Nombre de archivo				GSP3SR1.SI	GSP3SR2.SI	GSP3SR3.SI	GSP3SR4.SI	GSP3SR5.SI	GSP1SR6.SI	GSP3SS6.SI	GSP1CL6.SI	GSP1CL7.SI	GSP3SS7A.SI	GSP3SS7B.SI
Material				Sr - Teri - ss	Sr - Teri - ss	Sr - Teri - ss	Sr - Teri - ss	Sr - Teri - ss	Sr - Teri - cl	Teri-ss	Teri-cl	Teri-cl	Teri-ss	Teri-ss
				ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	ah=0.3 g	
Valores paramétricos empleados en cada sección	φ _{max}	34.7												
	φ _{min}	24.8												
	C _{max} (ton/m ²)	0.83												
	C _{min} (ton/m ²)	0.36												
Probabilidad de falla (P _f) a 1 año Método PEM		Ln	0.0453	0.0000	0.0030	0.0019	0.0000	0.0317	0.0137	0.0018	0.0137	0.0032	0.0010	
Probabilidad de falla (P _f) a 10 años Método PEM		Ln	0.0608	0.0006	0.0070	0.0185	0.0000	0.0446	0.0260	0.0038	0.0153	0.0058	0.0079	
Probabilidad de falla (P _f) a 25 años Método PEM		Ln	0.0860	0.0020	0.0135	0.0456	0.0000	0.0656	0.0460	0.0071	0.0179	0.0100	0.0174	

Figura 8. 1 Árbol de decisión para mitigación (10 años)



CAPÍTULO 8- MEDIDAS DE MITIGACIÓN
CONTENIDO

8.1	ANÁLISIS Y CONSIDERACIONES GENERALES	1
8.2	PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS	1
8.2.1	TALUD-1	1
8.2.2	TALUD-2	4
8.3	AMENAZA FUTURA	4
8.4	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	5
8.5	PLAN DE ACCIÓN RECOMENDADO	7

LISTA DE TABLAS

Tabla 8. 1	Planteamiento de Alternativas para el Talud 1	8
Tabla 8. 2	Resumen factores de seguridad y probabilidad de falla condicional – Relleno Mixto	9
Tabla 8. 3	Resumen de factores de seguridad y probabilidad de falla condicional – Residuales y Roca	10

LISTA DE FIGURAS

Figura 8. 1	Árbol de decisión para mitigación (10 años)	11
-------------	---	----

CAPÍTULO 9

DISEÑO DE OBRAS

Con base en las consideraciones hechas en los capítulos anteriores y a partir de los resultados de los análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, se seleccionaron las obras para el control, la estabilización y/o rehabilitación de las viviendas en los barrios San Jorge Alto y Granjas de San Pablo. El manejo de los procesos potenciales de inestabilidad, atiende la reducción de los escenarios y condiciones de riesgo que posee y se concentra fundamentalmente en la construcción de obras de contención, la implementación de sistemas de reforzamiento estructural, el manejo de redes hidrosanitarias y la reubicación.

9.1 DISEÑO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

Los cinturones residenciales exhiben una marcada problemática asociada a la caída del material rocoso, al colapso del suelo residual y a la movilización de los depósitos cuaternarios, y agravada por su proximidad a estas masas. De esta forma, una combinación entre la contención del material rocoso y la remoción de los llenos, cobra relevancia si se pretende mejorar las condiciones de estabilidad y reducir las pérdidas probables. La localización de las obras se muestran en el Plano 13 y los diseños en los Planos 14 y 15, mientras que las memorias de diseño y las Especificaciones Técnicas de Construcción se dejaron consignadas en el Anexo H y Anexo I, respectivamente.

Aunque las medidas propuestas se enmarcan dentro de la capacidad operativa y económica de las entidades distritales involucradas, i.e. DPAAE, El Acueducto, Planeación y El IDU. Debe resaltarse los atenuantes que envuelven su puesta en marcha; tales son: la propiedad de las áreas a intervenir (tanto de las abiertas – verdes– como de las residencias), el limitado espacio de trabajo (i.e. de los frentes de obra), con implícita heterogeneidad de los sistemas estructurales y espesores de los materiales constitutivos de las laderas que ellas vierten. Esto se traduce en sobre costos; imposibilidad de empleo de maquinaria como es el caso del **Talud 1**, irregularidad de las medidas planteadas, que si bien pueden enmarcarse en un contexto general, bajo las premisas de descarga y cobertura, varían de punto a punto dentro de las áreas de trabajo; y lo más importante, la actuación sobre predios privados, por lo que debe vincularse a nivel de decisión e inversión a la comunidad.

De lo anterior se desprende que la entidad contratante y el contratista deben tener en cuenta, de un lado, la drástica disminución de los rendimientos, y de otro, que el cálculo de las cantidades de obras en lo que atañe a las acciones sobre las viviendas, tiene como marco de referencia una unidad residencial tipo, premisa sólo comprobable en campo; por lo tanto, las cantidades de obras y presupuestos, si bien, se ajustan bajo el anterior precepto, deben ser entendidas sólo como una aproximación, y en este particular caso, pueden sufrir drásticos cambios durante la ejecución de la obra.

9.2 DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

9.2.1. Replanteo

Corresponde a la localización, nivelación y control de las obras a ejecutar. Se hará tomando como base los mojones de referencia dejados durante el levantamiento topográfico y puede incluir la participación parcial o permanente de la comisión de topografía.

9.2.2. Reconformación de laderas

Implica el retiro parcial de los depósitos cuaternarios y en algunos casos de los residuales. Los cortes se llevarán acabo con pendientes desde 15° hasta 45°, y las superficies expuestas se protegerán mediante empradización con biomanto en los taludes y cespedón en las bermas.

9.2.3. Manejo de aguas hidrosanitarias

Abarca la reubicación de las redes de servicios públicos (acueducto y alcantarillado), propias de las unidades residenciales de la manzana 52, para poder conectarla con la red principal que discurre a lo largo de la Calle 40 sur. Su importancia recae en evitar el reblandecimiento de los materiales subyacentes a las viviendas, y por ende daño en sus cimentaciones.

9.2.4. Contención

Comprende dos componentes: el primero, la construcción de muros en gaviones en la vecindad a las viviendas 4 a 6 de la manzana 69, en el **Talud 2**, y el segundo, la colocación de una malla, para mitigar las consecuencias de la caída de bloques en las residencias de la franja inferior al **Talud 1**. Unos y otros estarán cimentados en los paquetes arenosos de regadera, y su objetivo primordial es la contención de los depósitos cuaternarios y suelos residuales, y permitir el acceso a las viviendas o confinar las masas expuestas. La altura promedio de los gaviones es de 3 metros y en total suman 32 metros de longitud, en cuanto la malla, recubrirá un área aproximada de 286 m².

9.2.5. Reforzamiento estructural

Pretende reducir la vulnerabilidad de los elementos expuestos, no solo frente a los fenómenos de remoción en masa, sino ante la amenaza sísmica. Conjuga exclusivamente la submuración de las viviendas 01, 51, y 55 a 61 del bloque 52 (**Talud 1**) hasta 4.0 m de profundidad. Se dispondrá en los puntos de intersección y vértices del conjunto estructural de las edificaciones para incrementar tanto su resistencia a fuerzas de cillazamiento como a cambios de rigidez de los materiales, y estarán unidos entre sí mediante un muro pantalla de 0.10 m de espesor, embebido aproximadamente 0.10 m en la roca.

9.2.6. Reubicación

Debido al avanzado estado de deterioro estructural (i.e. a su alta vulnerabilidad) y al nivel de amenaza no mitigable al que se exponen las viviendas 01, 52, 53 y 54 de la manzana 52, se hace necesaria la reubicación de las familias que las habitan. El espacio ocupado por las habitaciones será destinado a recreación pasiva y en ningún caso podrán ser reocupados.

9.3 CONSIDERACIONES ESPECIALES

9.3.1. Talud 1

Antes de iniciar las obras se deberá verificar el tipo de cimentación de cada vivienda y el material de funación, con el fin de facilitar las labores de submuración. Además, se instalará una malla de cerramiento provisional en toda el área afectada por la obra.

Para facilitar las actividades de construcción y el almacenamiento de los materiales, se deberá realizar en primera instancia la reubicación de las familias, con posterior demolición de las viviendas.

El terraceo y submuración deberán realizarse manualmente, de forma paralela y por etapas, y en dirección SE-NW, como se indica a continuación:

- El movimiento de tierras inicial se llevará hasta la primera submuración y no deberá excederse, porque los llenos o residuales que estén por debajo de las viviendas se pueden movilizar
- Se dejarán "pelos" de acero en dirección horizontal durante el proceso de submuración, con el fin de poder amarrarlos posteriormente al muro.
- Se continuará con el movimiento de tierras hasta la segunda submuración.
- Se realizará la segunda submuración y se continuará de esta forma hasta barrer todo el talud.

El muro en concreto que va entre las columnas de las submuraciones, se debe fundir por etapas, e inmediatamente después se hayan construido dichos elementos para cada vivienda.

Las bermas que se configuren paralelas a las viviendas se deberán configurar con un bombeo del 0.5% hacia el talud, para facilitar el drenaje. Además, se deberán proteger mediante la empradización con cespiones.

Los taludes producto de los perfilados y remoción de depósitos cuaternarios y suelos residuales, se deben empradizar con biomanto.

La malla de protección que se debe dejar en la parte baja del talud a manera de protección, se deberá instalar inmediatamente después de haber configurado los taludes con la nueva geometría.

Las cocinas o baños que se localicen en los pisos bajos, al igual que los vertimientos de aguas lluvias que desagüen hacia el talud, se deberán reubicar para garantizar que sus cotas mínimas estén por encima del nivel de la vía, y que una vez sean colectadas, puedan conducirse y evacuarse hacia la red pública. No obstante, se deberán vincular al Plan de Mejoramiento de la Caja de Vivienda Popular, con el propósito de garantizar redistribuciones en las viviendas que no estén en detrimento de la calidad de vida de sus habitantes.

Las áreas donde se demuelan las viviendas deberán adecuarse como zonas de sesión para recreación, y en los sectores donde se realicen, se deberán perfilar los escalones remanentes producto de la conformación original de las residencias, con un gradiente de 45° para evitar desprendimientos de material.

9.3.2. Talud 2

También se debe dejar una malla de cerramiento provisional en todo el perímetro del área a estabilizar.

Las excavaciones que se realicen para la construcción de los muros se deben entibar, cuando excedan los 2 m de altura. De otra parte se realizarán máximo de 4 m de longitud y se continuarán una vez se haya conformado el muro, y emplazado el relleno en dicho tramo.

Las bermas en el talud que se va a terracear, se dejarán con un bombeo del 0.5% hacia la parte interna para facilitar el drenaje hacia las cunetas, y el sector donde se llevará a cabo, se deberá declarar zona de sesión para recreación.

Por último a pesar de no hacer parte constitutiva de la zona de estudio, dadas las condiciones observadas por el cuerpo técnico en las labores de campo, se recomienda reubicar la vivienda 111, bajo el panorama de su alta vulnerabilidad ante los fenómenos de remoción en masa.

9.4 CANTIDADES DE OBRA, PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA

En la **Tabla 9. 1** se muestran las Cantidades de Obra para la solución propuesta, que conjuntamente al análisis de precios unitarios consignado en el Anexo H, permiten calcular su presupuesto aproximado, el cual se registra en la **Tabla 9. 2**.

Tabla 9.1 Cantidades de obra

ÍTEM	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD
1	ACTIVIDADES PRELIMINARES		
1.1	Localización y Replanteo	GL	1
1.2	Campamento	GL	1
1.3	Movilización de maquinaria y equipo	GL	1
1.4	Aislamiento y protección de la zona intervenida	ML	508
2	DEMOLICIONES		
2.1	Demolición de vivienda	M2	716
3	EXCAVACIONES		
3.1	Descapote	M3	58.62
3.2	Excavación manual	M3	883.12
3.3	Excavación mecánica	M3	16.59
3.4	Excavación con maquinaria	M3	830.6
3.5	Entibado en madera	M3	200
4	RELLENOS		
4.1	Relleno con material de Base B-200	M3	89.76
5	CONCRETOS		
5.1	Concreto de 2500 psi	M3	17.59
5.2	Concreto de 3000 psi	M3	34.24
5.3	Mortero 1:3 e=5 con malla	M3	0.54
6	ACERO DE REFUERZO		
6.1	Acero de refuerzo	KG	771.5
6.2	Malla Electrosoldada	KG	360.54
7	GAVIONES		
7.1	Muro de Gaviones (incluye Geotextil)	M3	177.3
7.2	Barandas Metálicas	ML	33
7.3	Geomembrana 40 mils	M2	55.28
8	GEOMALLA PERNADA		
8.1	Geomalla Fortgrid BX-35	M2	286
9	OBRAS DE DRENAJE		
9.1	Tubería PVC D=1"	ML	34.7
9.2	Tubería Novafort D=8"	ML	23.1
9.3	Cajas de Inspección	UN	2
9.4	Cuneta trapezoidal en concreto	ML	68.2
9.5	Descole escalonado en concreto	ML	25.3
9.6	Acometida a la red principal	ML	8
10	PERFILAMIENTO DE TALUDES		
10.1	Empradización con césped	M2	151.47
10.2	Empradización con Biomanto	M2	1311.06
10.3	Arborización	UN	63

Tabla 9. 2 Presupuesto aproximado de obra

ÍTEM	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL
1	ACTIVIDADES PRELIMINARES				
1.1	Localización y Replanteo	GL	1	\$ 3,500,842	\$ 3,500,842
1.2	Campamento	GL	1	\$ 1,750,000	\$ 1,750,000
1.3	Movilización de maquinaria y equipo	GL	1	\$ 500,000	\$ 500,000
1.4	Aislamiento y protección de la zona intervenida	ML	508	\$ 8,018	\$ 4,073,144
2	DEMOLICIONES				
2.1	Demolición de vivienda	M2	716	\$ 34,103	\$ 24,417,748
3	EXCAVACIONES				
3.1	Descapote	M3	58.62	\$ 8,403	\$ 492,584
3.2	Excavación manual	M3	883.12	\$ 21,688	\$ 19,152,665
3.3	Excavación mecánica	M3	16.59	\$ 11,300	\$ 187,467
3.4	Excavación con maquinaria	M3	830.6	\$ 9,538	\$ 7,922,263
3.5	Entibado en madera	M3	200	\$ 3,670	\$ 734,075
4	RELLENOS				
4.1	Relleno con material de Base B-200	M3	89.76	\$ 50,350	\$ 4,519,416
5	CONCRETOS				
5.1	Concreto de 2500 psi	M3	17.59	\$ 282,992	\$ 4,977,833
5.2	Concreto de 3000 psi	M3	34.24	\$ 312,116	\$ 10,686,860
5.3	Mortero 1:3 e=5 con malla	M3	0.54	\$ 319,746	\$ 172,663
6	ACERO DE REFUERZO				
6.1	Acero de refuerzo	KG	771.5	\$ 2,938	\$ 2,266,667
6.2	Malla Electrosoldada	KG	360.54	\$ 54,738	\$ 19,735,239
7	GAVIONES				
7.1	Muro de Gaviones (incluye Geotextil)	M3	177.3	\$ 111,511	\$ 19,770,816
7.2	Barandas Metálicas	ML	33	\$ 91,921	\$ 3,033,394
7.3	Geomembrana 40 mils	M2	55.28	\$ 8,385	\$ 463,509
8	GEOMALLA PERNADA				
8.1	Geomalla Fortgrid BX-35	M2	286	\$ 52,281	\$ 14,952,223
9	OBRAS DE DRENAJE				
9.1	Tubería PVC D=1"	ML	34.7	\$ 3,950	\$ 137,065
9.2	Tubería Novafort D=8"	ML	23.1	\$ 40,233	\$ 929,371
9.3	Cajas de Inspección	UN	2	\$ 103,205	\$ 206,410
9.4	Cuneta trapezoidal en concreto	ML	68.2	\$ 44,745	\$ 3,051,618
9.5	Descole escalonado en concreto	ML	25.3	\$ 45,508	\$ 1,151,356
9.6	Acometida a la red principal	ML	8	\$ 123,273	\$ 986,180
10	PERFILAMIENTO DE TALUDES				
10.1	Empradización con césped	M2	151.47	\$ 2,705	\$ 409,726
10.2	Empradización con Biomanto	M2	1311.06	\$ 8,417	\$ 11,034,668
10.3	Arborización	UN	63	\$ 5,370	\$ 338,310

SUB TOTAL	\$ 158,053,267
A. I. U.	\$ 31,610,653
TOTAL	\$ 189,663,921

CAPÍTULO 9- DISEÑO DE OBRAS

CONTENIDO

9.1	DISEÑO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	1
9.2	DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS	2
9.2.1.	Replanteo	2
9.2.2.	Reconformación de laderas	2
9.2.3.	Manejo de aguas hidrosanitarias	2
9.2.4.	Contención	2
9.2.5.	Reforzamiento estructural	2
9.2.6.	Reubicación	3
9.3	CONSIDERACIONES ESPECIALES	3
9.3.1.	Talud 1	3
9.3.2.	Talud 2	4
9.4	CANTIDADES DE OBRA, PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA	4

LISTA DE TABLAS

Tabla 9. 1	Cantidades de obra	5
Tabla 9. 2	Presupuesto aproximado de obra	6

LISTA DE ANEXOS

ANEXO H	CANTIDADES DE OBRA
ANEXO I	ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN

LISTA DE PLANOS

PLANO 13	Localización de obras de estabilización y/o rehabilitación
PLANO 14	Plano de Construcción - Secciones
PLANO 15	Plano de Construcción - Detalles

CAPÍTULO 10

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La posibilidad cinemática de falla por volteo, si bien rige a priori los cortes T5 a T9, carece de condiciones para su desarrollo: la primera de ellas está relacionada con la baja persistencia modal, < 3.5 m, y el bajo espaciado de las discontinuidades, < 0.55 m, variables que son reflejo directo de la génesis continental de la Formación Regadera; y la segunda radica en la configuración topográfica de las superficies libres (taludes), enmarcada espacialmente por la baja pendiente de las laderas naturales (ausencia de cortes pseudo verticales altos), inferior a 56° en Granjas de San Pablo.

La movilización de los cuaternarios (i.e. llenos antrópicos y suelos residuales) no está controlada o condicionada por el patrón estructural del macizo. La estratificación aunque evidencia azimuts de buzamiento cercanos a los de las superficies de movilización de los depósitos, su gradiente es muy bajo $< 9^\circ$, y los planos de diaclasamiento, en ningún caso son receptores o sirven de superficie de reposo de los cuerpos antrópicos.

La mayoría de los taludes son inestables, bajo acción individual o conjunta del agua o de la aceleración sísmica. Los *FS*, salvo para las secciones 2 y 3, apenas bordean en el mejor de los casos el 0.90. En este sentido, se espera la falla de las laderas, en un modelo de disminución súbita (rápida) de los esfuerzos efectivos o progresiva de los parámetros de resistencia por reblandecimiento, producto de la acción dinámica de flujo –i.e. presurización de un horizonte de suelo – o gracias a la labor continuada de las aguas de infiltración provenientes del régimen hidrogeológico (nivel piezométrico por aumento de presión en los niveles saturados –resultado de las aguas lluvias–) o de la red de alcantarillado. Los cuerpos que primero expondrían este tipo de trabajo son los llenos antrópicos (Qa-rm) y los suelos residuales arenosos y areno-arcillosos (Sr-Teri-ss).

Los deslizamientos críticos en tales materiales son rotacionales; principalmente locales, y pueden ocurrir indiferentemente en todas las unidades. La movilización en el cuaternario se realizaría cerca al contacto con la roca si se trata de los suelos residuales, o involucra exclusivamente el depósito para los cuerpos antrópicos (Qa-b y Qa-rm). Las consecuencias de la activación de los cuerpos, se cree, pueden ser parciales y de mediana magnitud; las masas potenciales cualquiera sea su disposición, reposarían una vez deslizadas, o en las edificaciones vecinas – manzana 52, unidades 28 a 38 y vivienda 106 y casa de lata (111) del bloque 69 – sin espacios de amortiguamiento.

La falla planar en roca, sólo puede esperarse por: desconfinamiento; en él juega papel trascendental la erosión antrópica: excavaciones; o por reblandecimiento de los planos de discontinuidad (lavado). Los factores de seguridad bajo la acción individual o conjunta del agua y sismo críticos son próximos a 0.90 [0.60-0.88] si los parámetros operativos implican la cohesión mínima, cualquiera sea el ángulo de fricción y la superficie de despegue tiene su origen 0.80 m tras la corona de la superficie libre. Lo anterior deja al

descubierto que los daños en las viviendas 01, 61, 52 y 53 de la manzana 52, no son causados por fenómenos generales de remoción en masa, en donde coexisten el macizo y el cuaternario.

Tales daños son provocados bien como eventos en cadena, gracias a la relajación de esfuerzos toda vez que las masas locales de tierra (en el Qa-rm) se movilizan, o bien por el colapso del suelo de fundación, especialmente del residual de Regadera (Sr - Teri), causado por el aporte de agua de escorrentía. Flujo que puede provenir de fugas del sistema de drenaje de la Diagonal 37 o de las redes domiciliarias. En este sentido queda explícita, desde ya la necesidad de interceptar las aguas de infiltración, drenar los horizontes presurizados, es decir el lleno antrópico y el suelo residual, y corregir o mejorar la red hidrosanitaria.

Además, los resultados patentizan que a corto plazo (1 año), la posibilidad de movilización del material en la mayor parte del barrio es baja, las probabilidades condicionales oscilan entre 8.67% y 0.0001%; las laderas más susceptibles de movilización ocupan la periferia de la manzana 52 (1-1' y 5-5') y de la Diagonal 37A Sur. A mediano plazo (periodo de exposición de 10 años) la posibilidad de falla aumenta sustancialmente en las regiones Ea-qa-2 y La-qa-3, superficies libres 1-1', 4-4', 5-5', 6-6' y 7-7', con probabilidades condicionales del orden de 0.5907, 0.4838, 0.4940, 0.4063 y 0.2919 respectivamente. Los cuerpos potencialmente inestables son locales, las fallas rotacionales y los materiales involucrados son los llenos mixtos (Qa-rm) y los suelos residuales de la formación regadera (Sr-Teri-ss); los deslizamientos pueden tener lugar con periodos de retorno de 1 cada 2 o 3 años, y en la masa principal (zona de influencia directa) está involucrada por lo menos una vivienda.

Los movimientos generales en suelo o roca, indistinto de la zona homogénea, si bien pueden acaecer, su probabilidad condicional no supera el 2.73 % (Secciones 6-6', 7-7' y 4-4') indistinto del periodo de diseño o exposición. El desprendimiento y arrastre del residual posee especial trascendencia en la gestación de focos locales de inestabilidad; esto da lugar a puentes de suelo, al colapso en el lleno superior, y colateralmente, al daño en las viviendas producto del reacomodo de la cimentación (pues esta descansa en el cuerpo antrópico).

De otro lado, los resultados referidos concuerdan con la dinámica de la vertiente representada en la concentración de evidencias de actividad en las unidades geomorfológicas Ea-qa, costado suroccidental del cuadrángulo (específicamente entre los cortes 3-3' y 5-5') donde es notoria la formación de deslizamientos de tierra, el avance de los frentes erosivos y los flujos locales. Los deslizamientos esperados son rotacionales, simples, con profundidades hasta de 2.50 m, y longitud con dominio [4.00 m – 30.00 m], sin embargo, no se descartan los desprendimientos y deslizamientos locales de bloque, estos últimos concentrados en el escarpe principal –manzana 52– ya como respuesta de la erosión antrópica (desconfinamiento), de flujos locales de agua, o de pérdida de resistencia en la pared de la discontinuidad.

El agua es el agente más influyente en la aparición de los fenómenos de remoción en masa, más aún, si se destaca que la actividad de la masa tiene lugar bajo de saturación, razón por la cual es en el manejo de las aguas superficiales y subsuperficiales, en donde radica el primer paso para la reducción de los estados de amenaza y por qué no, la mitigación del riesgo.

En cuanto al primer horizonte, o actual, la mayor parte de la vertiente posee amenaza baja; allí donde la pendiente es plana o no supera los 30° y la morfología la demarcan las intercalaciones de areniscas y arcillolitas la cual se rompe por cuatro elongados parches, residentes en el alto relieve de las manzanas 52 y 69, y enmarcados en estados de probabilidad de falla media y alta, donde cobijan algunos de los reductos más importantes de llenos y son por su mayor amenaza, los espacios preferenciales para la gestación de fenómenos de remoción en masa, al igual que aquellas zonas de morfología y material constitutivo superficial común (llenos mixtos), y la categoría de probabilidad condicional: media. El entorno se amplía drásticamente al aumentar el tiempo de exposición a 25 años, es decir, en el análisis a mediano plazo; y se destaca hacia futuro preservar sin intervención antrópica las superficies libres, evitar el aporte de aguas (servidas o blancas) y proteger las superficies expuestas, pues de lo contrario la condición de amenaza puede empeorar.

Si llegase a ocurrir un desastre, la población respondería lentamente en términos socioeconómicos. Le tomaría 40 años a la familia media, y en el mejor de los casos 20, pues los habitantes en más del 60% de los casos, sólo disponen de lo estrictamente necesario para solventar sus necesidades esenciales.

Es importante disponer adecuadamente de las zonas libres resultantes de las obras de estabilización. El lugar adolece de espacios de integración comunitaria, y se ofrece la oportunidad de construir destinos de recreación pasiva, mediante el aprovechamiento urbanístico.

Es evidente la influencia de la calidad de la construcción en la calificación por vulnerabilidad, pues algunas a pesar de exponerse poco, resultan en alto riesgo debido a las condiciones estructurales, p.e., la vivienda 01 en la manzana 52.

La alternativa con mayores beneficios en el control de los fenómenos potenciales, consiste en la implementación de sistemas de subdrenaje. Ella produce un notable aumento del factor de seguridad y por ende una reducción de la probabilidad de falla; esta última pasa a valores inferiores al 3% y al 6% para todas las secciones, con mecanismos de falla rotacionales en los rellenos mixtos (Qa-rm) y suelos residuales (Sr-Ter-i-ss), respectivamente; comportamiento similar expone la superficie libre 4-4' si se trata de deslizamientos planares en roca, pues la probabilidad condicional llega al 7%; así que la condición de amenaza a 10 años sería baja.

El efecto de perfilar los llenos no visualiza una mejoría en la estabilidad, ya que los valores de probabilidad para los suelos residuales Sr-Ter-i-ss mantienen un mismo orden de magnitud -59%-, en otras palabras la amenaza sigue siendo alta para 10 años.

El trabajo de las obras de reforzamiento estructural, si bien no producen cambio alguno en la estabilidad de las laderas si repercute en un mejor funcionamiento de las viviendas calificadas en medio y alto riesgo frente a la acción sísmica y minimiza la amenaza frente al colapso del suelo de fundación. Bajo este mismo orden de ideas, implementar una zona de aislamiento permite disminuir la exposición de las viviendas y de hecho su vulnerabilidad, en el evento que se desplacen las masas movilizadas hacia ellas.

El modelo de decisión probabilístico confiere el menor nivel de riesgo esperado a la Alternativa 1; sin embargo, después de evaluar elementos adicionales como el impacto social, se considera la Alternativa 10

como la óptima para dar manejo a la urbanización bajo un marco general técnico y social, con atención a la reducción de los escenarios y condiciones de riesgo, y permitir el continuo desarrollo de la comunidad. Así, se involucra: Reubicar las familias que habitan algunas de las viviendas que componen la franja superior, terracear y empradizar el talud en la parte alta de ambas ladera, manejar las aguas lluvias y sanitarias, e instalar una malla en los sectores donde el talud quede expuesto en roca y con pendiente alta.

Aunque las medidas propuestas se enmarcan dentro de la capacidad operativa y económica de las entidades distritales involucradas, i.e. DPAAE, El Acueducto, Planeación y El IDU. Debe resaltarse los atenuantes que envuelven su puesta en marcha; tales son: la propiedad de las áreas a intervenir (tanto de las abiertas – verdes– como de las residencias), el limitado espacio de trabajo (i.e. de los frentes de obra), con implícita heterogeneidad de los sistemas estructurales y espesores de los materiales constitutivos de las laderas que ellas vierten. Esto se traduce en sobrecostos; imposibilidad de empleo de maquinaria como es el caso del **Talud 1**, irregularidad de las medidas planteadas, que si bien pueden enmarcarse en un contexto general, bajo las premisas de descarga y cobertura, varían de punto a punto dentro de las áreas de trabajo; y lo más importante, la actuación sobre predios privados, por lo que debe vincularse a nivel de decisión e inversión a la comunidad.

De lo anterior se desprende que la entidad contratante y el contratista deben tener en cuenta, de un lado, la drástica disminución de los rendimientos, y de otro, que el cálculo de las cantidades de obras en lo que atañe a las acciones sobre las viviendas, tiene como marco de referencia una unidad residencial tipo, premisa sólo comprobable en campo; por lo tanto, las cantidades de obras y presupuestos, si bien, se ajustan bajo el anterior precepto, deben ser entendidas sólo como una aproximación, y en este particular caso, pueden sufrir drásticos cambios durante la ejecución de la obra

La estimación de las cantidades de obra está limitada por el acceso obtenido en la etapa exploratoria, por la inspección visual, la información de dominio público -consignada en las entidades públicas-, y la suministrada por los habitantes y líderes comunitarios, entre otros. Revisadas algunas escrituras públicas en poder de los propietarios se encontró que los espacios requeridos son privados, lo que hace necesaria su compra. Sin incluir este rubro, el presupuesto requerido para la construcción de las obras, ronda los 227 millones de pesos.