

TABLA DE CONTENIDO

Lista de Tablas

Lista de Figuras

	Pág.	
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES		
1.1	Introducción	1-1
1.2	Estructuración del estudio	1-1
1.3	Marco de referencia	1-8
1.4	Base de los modelos de evaluación de amenaza aplicados	1-22
1.5	Fuentes de consulta	1-29
CAPÍTULO 2: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO		
2.1	Introducción	2-1
2.2	Método de trabajo	2-1
2.3	Fuentes de consulta	2-3
CAPÍTULO 3: GEOLOGÍA		
3.1	Introducción	3-1
3.2	Método de trabajo	3-1
3.3	Geología regional	3-3
3.4	Geología del área	3-6
3.5	Geología Estructural	3-9
3.6	Aspectos hidrogeológicos	3-10
3.7	Fuentes de consulta	3-11
CAPÍTULO 4: GEOMORFOLOGÍA		
4.1	Introducción	4-1
4.2	Unidades geomorfológicas del área de estudio	4-1
4.3	Identificación y delimitación de procesos	4-4
4.4	Fuentes de consulta	4-6
CAPÍTULO 5: ESTUDIO GEOTÉCNICO		
5.1	Introducción	5-1
5.2	Investigación del Subsuelo	5-2
5.3	Zonificación geotécnica	5-22

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE FACTORES QUE DEFINEN LA AMENAZA GEOTÉCNICA EN LA ZONA DE ESTUDIO

6.1	Introducción	6-1
6.2	Factores intrínsecos del terreno (susceptibilidad)	6-1
6.3	Factores externos	6-9
6.4	Fuentes de consulta	6-27

CAPÍTULO 7: CONDICIONES URBANÍSTICAS Y AMBIENTALES ACTUALES

7.1	Introducción	7-1
7.2	Condiciones urbanísticas actuales	7-1
7.3	Influencia de la zona de estudio sobre el Parque Entrenubes	7-16
7.4	Condiciones ambientales generales de la zona de estudio	7-20
7.5	Consideraciones sobre las condiciones de vulnerabilidad y riesgo del sector	7-22
7.6	Relación de la intervención humana con la estabilidad del terreno	7-24
7.7	Fuentes de consulta	7-25

CAPÍTULO 8: EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA

8.1	Introducción	8-1
8.2	Antecedentes de inestabilidad	8-2
8.3	Susceptibilidad	8-3
8.4	Análisis de estabilidad	8-3
8.5	Evaluación de amenaza	8-9
8.6	Cartas de estabilidad	8-25
8.7	Fuentes de consulta	8-26

CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES FINALES

CAPÍTULO 10: RECOMENDACIONES: PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS

10.1	Introducción	10-1
10.2	Estrategias para la reducción de riesgos en la zona	10-1
10.3	Lineamientos para mejoramiento integral	10-2

LISTA DE TABLAS

	Pág.	
Tabla 1.1	Clasificación de deslizamientos según Varnes	1-13
Tabla 1.2	Métodos de evaluación de amenaza	1-15
Tabla 1.3.	Criterios de clasificación de amenaza con base al factor de seguridad	1-25
Tabla 1.4.	Criterios de clasificación de amenaza con base en desplazamiento	1-26
Tabla 1.5.	Criterios de amenaza con base en la aceleración crítica	1-26
Tabla 1.6.	Criterios de clasificación de amenaza por probabilidad de falla	1-29
Tabla 3.1.	Relación de fotografías aéreas	3-2
Tabla 3.2.	Descripción de unidades geológicas regional	3-6
Tabla 4.1.	Unidades geomorfológicas	4-3
Tabla 5.1.	Resumen de ensayos de laboratorio - apiques	5-13
Tabla 5.2.	Resumen de ensayos de laboratorio - sondeos	5-14
Tabla 5.3.	Zonas geotécnicas homogéneas	5-25
Tabla 5.4.	Subzonas identificadas con base en la pendiente	5-26
Tabla 6.1.	Unidades litológicas en la zona de estudio	6-3
Tabla 6.2.	Estaciones meteorológicas	6-9
Tabla 6.3.	Precipitación multianual	6-10
Tabla 6.4.	Valores totales máximos y mínimos mensuales de precipitación	6-10
Tabla 6.5.	Precipitación máxima y mínima en 24 horas	6-11
Tabla 6.6.	Precipitación máxima estimada para diferentes períodos de retorno	6-12
Tabla 6.7.	Parámetros del suelo	6-14
Tabla 6.8.	Valores de humedad volumétrica	6-14
Tabla 6.9.	Consolidado de predios	6-17
Tabla 6-10.	Distribución de predios según uso	6-19
Tabla 6.11.	Distribución de predios por número de pisos	6-19
Tabla 6.12.	Distribución de predios construídos	6-20
Tabla 6.13.	Distribución según tipología de todos los predios	6-20
Tabla 6.14.	Distribución según tipología de predios construídos	6-20
Tabla 6.15.	Predios con cortes	6-21

Tabla 6.16.	Predios con rellenos	6-21
Tabla 6.16´.	Características mecánicas del flujo	6-25
Tabla 6.17.	Caudales permanentes requeridos para saturar	6-27
Tabla 7.1.	Análisis de alindramiento del Parque Entrenubes	7-17
Tabla 7.2.	Establecimiento del uso del suelo para el Parque Entrenubes	7-18
Tabla 8.1.	Intensidades de lluvia continuas	8-4
Tabla 8.2.	Análisis cinemático de estabilidad en rocas	8-7
Tabla 8.4.	Evaluación de amenaza con base en el factor de seguridad	8-11
Tabla 8.5.	Aceleración crítica y desplazamiento para rellenos antrópicos	8-15
Tabla 8.6.	Evaluación del estado de falla y nivel de estabilidad	8-15
Tabla 8.7.	Aceleración crítica y desplazamiento para taludes de suelo residual de arenisca seco	8-16
Tabla 8.8.	Evaluación del estado de falla y nivel de estabilidad para suelo residual de arenisca seco	8-16
Tabla 8.9.	Aceleración crítica y desplazamiento para taludes de suelo residual de arenisca saturado	8-16
Tabla 8.10.	Evaluación del estado de falla y nivel de estabilidad para suelo residual de arenisca saturado	8-17
Tabla 8.11.	Probabilidad de falla de taludes de suelo residual de arenisca incluyendo suelo orgánico	8-19
Tabla 8.12.	Probabilidad de falla de taludes de suelo residual de arenisca sin incluir suelo orgánico	8-19
Tabla 9.1.	Zonas geotécnicas homogéneas	9-4
Tabla 10.1.	Principales componentes para priorizar las acciones en función de los impactos deseados en el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes.	10-4

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Esquema del proceso general de legalización de predios	1-2
Figura 1.2. Localización general de la zona de estudio	1-12
Figura 1.3. Primeros modelos de amenaza	1-13
Figura 1.4. Relación esfuerzo - deformación para materiales elasto - plásticos	1-23
Figura 3.1. Fotointerpretación geológica	3-4
Figura 5.1. Sección de análisis para rellenos antrópicos	5-19
Figura 5.2. Perfil de análisis para depósitos residuales de arenisca	5-20
Figura 5.3. Perfil de suelos residuales en contrapendiente estructural	5-21
Figura 5.4. Perfil de análisis para depósitos residuales de arcillolitas	5-22
Figura 6.1. Distribución de esfuerzos	6-4
Figura 6.2. Precipitación máxima y mínima mensual	6-11
Figura 6.3. Precipitación máxima y mínima en 24 horas	6-12
Figura 6.4. Intensidad - duración mínima par la saturación	6-15
Figura 6.5. Distribución de predios	6-18
Figura 8.1. Diagrama de cuerpo libre para el análisis de estabilidad	8-8

CAPÍTULO 1.0

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan los aspectos generales del estudio y del contexto del área en que se adelantan los trabajos, con el cual se pretende enmarcar la información detallada de los demás capítulos. Se basa en información obtenida a partir de la investigación en fuentes secundarias y las visitas adelantadas por los profesionales asignados a la ejecución del estudio. Comprende cinco secciones, de las cuales la primera corresponde a la introducción, la segunda registra las características del estudio, en la tercera se presenta el marco general de referencia, en la cuarta se describen las bases de los modelos de evaluación de amenaza empleados en este estudio y en la quinta se incluyen las fuentes de información consultadas.

1.2 ESTRUCTURACIÓN DEL ESTUDIO

El presente "Estudio de Zonificación de Amenaza por Remoción en Masa en los barrios San Ignacio y San Martín de la Localidad de Usme, de la ciudad de Bogotá, D. C." está definido en los términos de referencia elaborados por la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE) de la Secretaría de Gobierno del Distrito Capital, según la invitación pública para contratación directa No. 7302.1 - 03/2002 adelantada por el FOPAE.

El estudio se ubica dentro del Plan de Desarrollo "Bogotá Para Vivir Todos del Mismo Lado" del Alcalde Mayor de Bogotá, Antanas Mockus, en el Proyecto 7302 "Análisis y Evaluación de Riesgos en el Distrito Capital", Componente 1 "Elaboración de Estudios de Zonificación de Amenazas".

Los barrios objeto de estudio se encuentran en proceso de legalización ante las autoridades de planeación distritales, según el esquema mostrado en la **Figura 1.1**. En este proceso es necesario que la DPAE emita conceptos técnicos acerca de las condiciones de amenaza y riesgo de los barrios (señalados con flechas naranja en el esquema), los que son tenidos en cuenta en las instancias de decisión sobre la legalización de estos asentamientos; dichos conceptos se basan en los resultados del presente estudio.

UNIÓN TEMPORAL CONSULTORES EN RIESGOS		CONTRATO CONS - 449 / 02		CAPÍTULO 1 PAG. 1	
VERSIÓN:	1.0	FECHA:	MARZO/03		
ELABORÓ:	CC	REVISÓ:	ODC	APROBÓ:	INGEMÉTRICA LTDA.

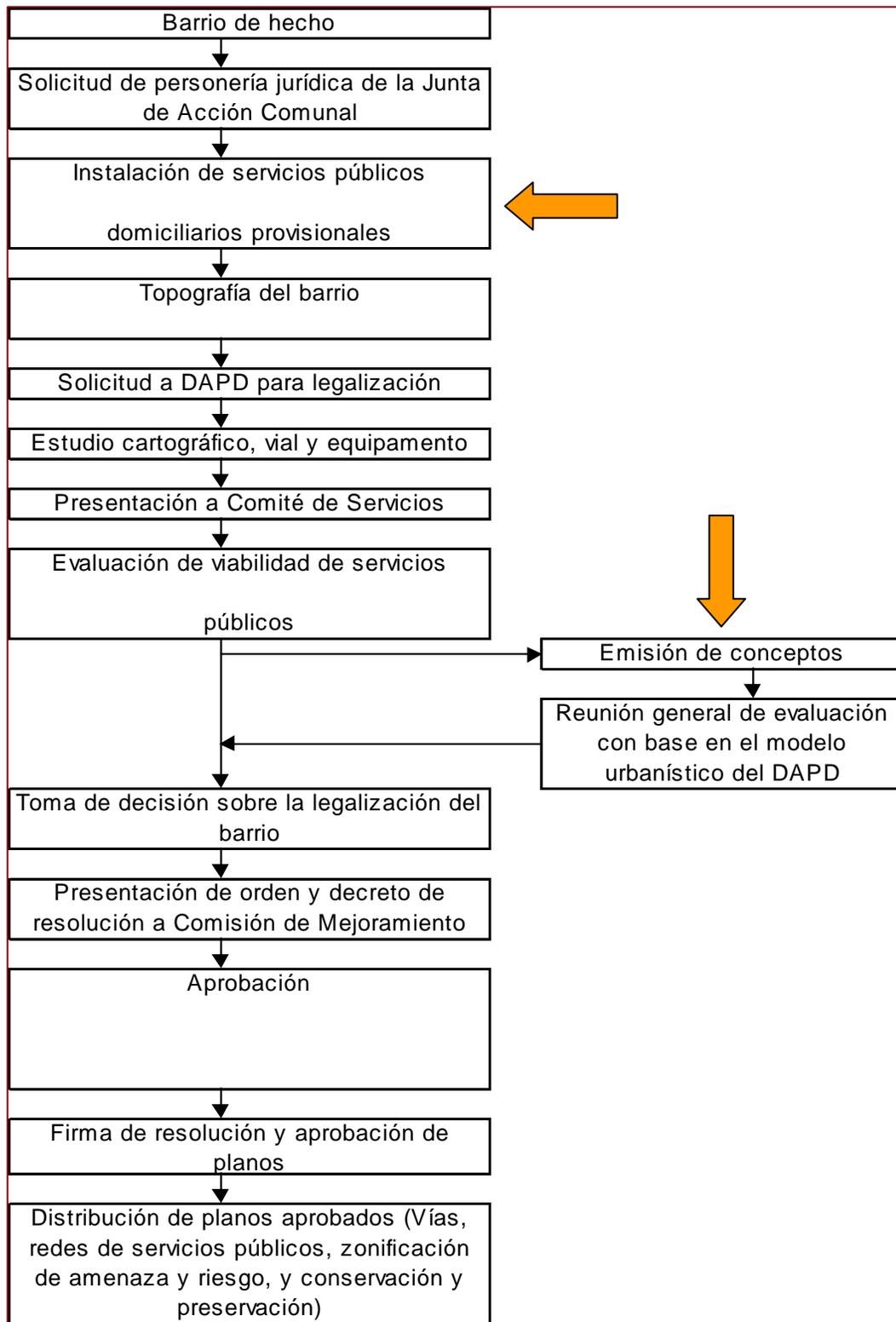


Figura 1.1. Esquema del proceso general de legalización de barrios. Fuente: DPAAE (2000 b)

1.2.1 Definición del estudio

A continuación se presentan las características principales que definen el estudio y los procedimientos para su ejecución.

1.2.1.1 Objeto

El objeto del estudio es efectuar la zonificación de amenaza por remoción en masa de los barrios San Ignacio y San Martín de la Localidad de Usme a escala 1:1.000 y plantear las medidas para el mejoramiento urbanístico y ambiental que permitan reducir el riesgo de la zona, definida según el plano de localización adjunto a los términos de referencia. Mediante el estudio se pretende el logro de objetivos específicos como el levantamiento de información temática de la zona, la evaluación y zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa para condiciones naturales y de intervención urbana, la determinación y evaluación de diferentes alternativas de reducción de amenaza y la formulación de recomendaciones sobre el uso del suelo.

1.2.1.2 Alcance

El trabajo incluye la recopilación de información secundaria, obtención de información primaria, análisis de información, análisis geotécnicos, evaluación de amenaza y formulación de recomendaciones, siguiendo procedimientos preestablecidos en los términos de referencia y en la propuesta del Consultor. Los temas cubiertos por el trabajo involucran topografía, geología, geomorfología, geotecnia, urbanismo, medio ambiente y amenaza por remoción en masa, según los alcances específicos detallados a lo largo del presente estudio.

1.2.1.3 Bases metodológicas

La evaluación de la amenaza se basa en la "Propuesta Metodológica para la Evaluación de Riesgos por Movimientos en Masa a Escala Local", de Cantillo (1998), ajustada a las condiciones específicas del estudio, como marco general y, en forma específica, siguiendo los lineamientos de la metodología de análisis probabilístico de falla, consignada como anexo de la Resolución 364 de 2000 de la DPAE (DPAE, 2002 a) y el método del bloque deslizante. Las investigaciones de campo siguen el modelo general del método científico.

1.2.1.4 Destinatarios

Los destinatarios del estudio son, en primer lugar, las autoridades distritales y locales en materia de prevención de emergencias y desastres, a quienes se les suministran las herramientas para toma de decisiones en lo que corresponde al problema estudiado y los insumos para la emisión de conceptos técnicos de riesgo para la legalización de los barrios objeto de estudio. En segundo lugar, los receptores del informe son los miembros de la comunidad potencialmente afectada con el fin de obtener su participación en las soluciones recomendadas.

1.2.1.5 Documentos básicos y especificaciones de trabajo

El trabajo se adelantó de acuerdo con los siguientes documentos y requerimientos:

- Términos de referencia para la elaboración del estudio elaborados por la DPAE.
- Contrato No. CONS-449/02, suscrito entre FOPAE y la Unión Temporal Consultores en Riesgos.
- Propuesta del Consultor de fecha 21 de noviembre de 2002 y sus posteriores modificaciones aprobadas.
- Requerimientos del Contratante e Interventoría manifestados en las reuniones de coordinación

De estas referencias pueden extractarse las principales especificaciones de trabajo, como son:

- Escala: 1:1000 con curvas de nivel cada 1,0 m
- Nivel de resolución: Local, detallado
- Tipo de decisiones de mitigación que se esperan tomar: Emisión de conceptos de amenaza y riesgo sobre condiciones favorables o desfavorables para la legalización de los barrios por parte de la DPAE y ejecución de medidas de prevención y mitigación para la reducción de riesgos.

1.2.2 Procedimientos para la ejecución del estudio

El estudio se adelantó de acuerdo con una metodología de investigación que contempla las siguientes fases o etapas:

1.2.2.1 Recopilación de información secundaria

Comprende la información disponible en cada uno de los aspectos de interés (medio ambiente, cartografía, topografía, geología, geomorfología, fotografías aéreas, geotecnia, hidroclimatología, usos del suelo, sismología, antecedentes históricos de emergencia en la zona, registros pluviométricos, estudios sociales, de planeamiento y urbanismo y en general, toda la información representativa para el objeto del estudio) en las entidades encargadas de cada tema, como el IGAC, Ingeominas, FOPAE, IDEAM, EAAB, DAPD, DANE y DAMA.

1.2.2.2 Obtención de información primaria

Incluye la información tomada en campo a partir de levantamientos detallados, visitas de inspección, entrevistas y pruebas y ensayos técnicos.

- Levantamientos de topografía

Altimetría y planimetría del sector a escala 1:1.000, incluyendo la localización de viviendas, infraestructura de servicios públicos (agua, luz, gas, teléfonos, etc.), vías, corrientes de agua, accidentes topográficos y en general todo detalle que sea de interés para el presente estudio. El trabajo topográfico está amarrado a placas del IGAC, con referencias materializadas que permitan el replanteo posterior (3 mojones de referencia nuevos más dos existentes). El método de trabajo corresponde a una poligonal cerrada a partir de las placas del IGAC, tomando los detalles sobre dicha poligonal, mediante el empleo de estación topográfica. El levantamiento de predios está referenciado al urbanismo del barrio según plano aprobado por el Departamento Administrativo de Planeación Distrital - DAPD.

- Levantamiento geológico detallado

Levantamiento geológico detallado a nivel de unidad roca (escala 1:500) indicando descripción litológica y caracterización de depósitos recientes. Incluye la cartografía de todas las unidades que a la escala de trabajo son representativas (incluyendo materiales superficiales y el material subyacente), estructuras geológicas como fallas (regionales y locales, si las hay), anticlinales, sinclinales y diaclasas cuando se trate de un macizo rocoso y columnas estratigráficas, así como la correlación de unidades. La geología local se encuentra enmarcada en una geología regional.

- Levantamiento geomorfológico detallado

Caracterización morfométrica, morfológica y morfodinámica que permite efectuar la geomorfología del área de estudio considerando la génesis de las diferentes unidades y su evolución dentro del área de interés. Se definen las unidades que deben tenerse en cuenta en la evaluación de amenaza, describiendo cada unidad en función de sus características morfológicas, composición de los materiales y régimen de agua.

- Inventario de procesos

Análisis y cartografía de los procesos morfodinámicos, incluyendo erosión y procesos de remoción en masa, análisis multitemporal que permite evaluar la dinámica de dichos procesos y su condición de estabilidad, en términos de su estado de actividad, tendencia a la propagación (retrogresividad del proceso), espesor y velocidad a partir de los aspectos básicos identificados en su génesis, (unidades geomorfológicas, geológicas, factor antrópico, etc.), de acuerdo con las condiciones particulares del sector.

- Exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio y campo

Diseño y ejecución del programa de exploración del subsuelo y ensayos con base en el modelo geológico.

- Levantamientos geotécnicos

Reconocimiento geotécnico detallado. Clasificación y caracterización del subsuelo, parámetros geotécnicos para análisis y modelamiento de los mecanismos de falla.

- Levantamiento de redes y drenajes

Levantamiento de drenajes naturales y artificiales, redes de acueducto y redes de alcantarillado.

- Inventario de predios

Caracterización de cada predio, según la codificación registrada en los planos de urbanismo de los dos barrios aprobados por el DAPD, considerando variables como el número de pisos, tipo de construcción y uso.

- Identificación de factores antrópicos

Identificación y caracterización de factores de origen humano que intervienen en los procesos de inestabilidad, tales como cortes, rellenos, sobrecargas, obstrucción de drenajes y vertimientos.

- Otros aspectos

Reconocimientos de campo y observaciones sobre características urbanísticas, ambientales y sociales, entrevistas con los miembros de las Juntas de Acción Comunal de cada barrio.

1.2.2.3 Análisis de información

- Análisis de estabilidad de taludes
- Evaluación de amenaza
- Apreciación general de las condiciones de riesgo del sector
- Estudio de alternativas

1.2.2.4 Resultados y conclusiones

Esta etapa corresponde a una síntesis de los resultados obtenidos.

1.2.2.5 Recomendaciones y propuestas

En esta etapa se incluye la identificación, planteamiento y diseño conceptual de medidas para la reducción de riesgo y mejoramiento urbano y ambiental. El procedimiento para la escogencia de alternativas se basa en los criterios de reducción de la amenaza y la vulnerabilidad y el mejoramiento integral de las

condiciones físicas, ambientales y sociales de la comunidad, teniendo en cuenta la interacción del sector con el Proyecto Parque Entrenubes.

1.2.3 Organización del estudio

El estudio está dividido en 10 capítulos, como se relaciona a continuación:

- Capítulo 1: Generalidades
- Capítulo 2: Levantamiento topográfico
- Capítulo 3: Geología
- Capítulo 4: Geomorfología
- Capítulo 5: Estudio geotécnico
- Capítulo 6: Análisis de factores que definen la amenaza geotécnica en la zona de estudio
- Capítulo 7: Condiciones urbanísticas y ambientales actuales
- Capítulo 8: Evaluación de amenaza
- Capítulo 9: Conclusiones finales
- Capítulo 10: Recomendaciones: Planteamiento de medidas para la reducción de riesgos

1.2.4 Equipo de trabajo

El grupo de trabajo que participó en el presente estudio está conformado por los siguientes profesionales y sus respectivas actividades:

- Ing. Omar Darío Cardona Arboleda: Director. Revisión y dirección.
- Ing. Carlos H. Cantillo Rueda: Gerente de la Unión Temporal y Coordinador del Proyecto. Edición, revisión y síntesis del estudio. Especialista en evaluación de riesgos
- Ing. Carlos Eduardo Rodríguez Pineda: Estudio geotécnico y evaluación de amenaza
- Arq. Sandra Zabala: Estudio Urbanístico
- Ing. Geólogo Gilmar Iván Patiño Barrera: Geología, geomorfología y exploración del subsuelo

- Ing. Nicole Botero Martínez: Estudio hidrológico y climatológico, levantamiento de drenajes y estudio ambiental
- Ing. Oscar Ramírez Parra: Estudio de predios
- Arq. Lina González: Estudio Urbanístico
- Arq. Maribel Moreno: Dibujo AutoCAD
- Ing. Willian León: SIG y dibujo AutoCAD
- Top. Carlos Hernando Moreno Moreno: Levantamientos topográficos
- Sr. Misael Guerra: Laboratorio de suelos

1.3 MARCO DE REFERENCIA

Esta sección registra la información referente al contexto del trabajo utilizando a nivel general información de todos los campos (sociales, físicos, etc.), basada en las fuentes de información relacionadas al final del capítulo y en las visitas de campo efectuadas a la zona de estudio.

1.3.1 Delimitación del área de estudio

El área de estudio comprende los barrios San Ignacio y San Martín, que según la división político administrativa de la ciudad de Bogotá, capital de la República de Colombia, pertenecen a la localidad No. 5 Usme, ubicada en el suroriente de la ciudad.

Con base en las visitas técnicas a la zona de estudio en conjunto con la Interventoría y el plano suministrado en los términos de referencia se demarcó el área de estudio, que se muestra en la **Figura 1.2**. Dicha área se localiza entre las coordenadas 93.400 y 93.840 Norte y 96.770 y 97.270 Este, según el sistema del DACD, limitando al norte con los barrios Canadá, Villabel y La Belleza de la localidad de San Cristóbal, al sur y al oriente con el Parque Ecológico Distrital Entrenubes y al occidente con los barrios La Fiscala, Nueva Esperanza y Buenos Aires de la localidad de Usme y Diana Turbay Cultivos de la Localidad de Rafael Uribe Uribe, en una extensión de 10,15 hectáreas.

1.3.2 Marco conceptual

A lo largo del estudio se utilizan términos que es necesario enmarcar dentro del referente conceptual que a continuación se registra.

1.3.2.1 Conceptos básicos

De acuerdo con Cardona (1997), la amenaza o peligro, o factor de riesgo externo de un sujeto o sistema, está representada por un peligro latente asociado con un

fenómeno físico de origen natural o tecnológico que puede presentarse en un sitio específico y en un tiempo determinado produciendo efectos adversos en las personas, los bienes y/o el medio ambiente, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad en un cierto sitio y en cierto período de tiempo. La amenaza es el potencial de ocurrencia del fenómeno; no es el fenómeno, ni el evento.

La vulnerabilidad puede entenderse como la predisposición intrínseca de un sujeto o elemento a sufrir daño debido a posibles acciones externas. La resiliencia es la capacidad de recuperación de un sistema. (Cardona, 1997).

El medio ambiente es un sistema cuyos elementos se encuentran en permanente interacción, que determina las condiciones de existencia de los mismos y de la totalidad del sistema. Cuando en esa dinámica hay cambios que no son posibles de absorber por falta de flexibilidad o capacidad de adaptación, surge una crisis; dependiendo de la valoración social que la comunidad le asigne, se le denomina “desastre”, siendo en todos los casos un impacto ambiental desfavorable. (Cardona, 1997).

Un desastre es un proceso social que reviste una situación de anormalidad, como consecuencia de la materialización de una amenaza, que implica pérdidas ambientales (humanas y/o materiales), en un contexto determinado por la vulnerabilidad y resiliencia del sistema afectado. El riesgo es el desastre potencial, definido como el daño, destrucción o pérdida esperada obtenida de la convolución de la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos a tales amenazas, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas y sociales en un cierto sitio y en un cierto período de tiempo. (Cardona, 1997).

Nuestro planeta es un sistema dinámico, contando con varios procesos de modelación del paisaje, entre ellos la denudación, inducida por fenómenos climáticos y geológicos naturales, a los cuales, en tiempos recientes de la edad geológica, se ha unido la acción humana que se presenta en varias direcciones: Como agente directo de modificación del paisaje o como generador y/o catalizador de los procesos de denudación. Dentro de los procesos de denudación se encuentran los llamados procesos de remoción en masa (en el presente trabajo se consideran expresiones sinónimas las siguientes: “Movimientos en masa”, “movimientos de falla de taludes”, “inestabilidad de taludes”, “inestabilidad del terreno” y en forma genérica, aunque con reservas por las confusiones que puede generar el término “deslizamientos”), que vienen a constituirse en una de las amenazas más frecuentes y más severas que afectan el territorio colombiano y los cuales pueden ser caracterizados de diversas maneras, según su tipo y su dinámica espacial y temporal. (Cantillo, 1998). Bajo el término “Procesos de Remoción en Masa” se designa a los movimientos de falla del terreno que abarcan un volumen apreciable de material (suelo o roca), incluyendo una gran variedad de movimientos y tipos de materiales. (Castellanos, 1996).

Se utiliza el término deslizamiento en su carácter general, para abarcar casi todas las variedades de movimientos en masa de taludes incluyendo caídas de roca y

suelo, volcamiento, deslizamientos rotacionales y traslacionales, flujos de tierra, detritos y de lodos, algunos de los cuales en rigor presentan poco a ningún movimiento sobre superficie de rotura definida como se concibe un verdadero deslizamiento. Otro término general muy usado en Colombia es el de "derrumbe" que es empleado para referirse a la acumulación de materiales de un talud que han sufrido deslizamientos y quedan en reposo más abajo de su posición original. (García, Manuel, citado por Castellanos, 1996).

El fenómeno de los deslizamientos se basa en que: "Toda masa de suelo situada debajo de la superficie de una ladera o talud natural, o bien debajo de la superficie del talud formado por un desmonte o excavación, tiene tendencia a desplazarse hacia abajo y hacia afuera por efecto de su propio peso. Cuando esta tendencia es contrarrestada por la resistencia al corte de suelo, el talud es estable; en caso contrario, se produce el deslizamiento" (K. Terzaghi, 1950, citado por Castellanos, 1996). Esta definición, aunque sencilla, envuelve un fenómeno cuya naturaleza es compleja, si se consideran sus causas, la diversidad de mecanismos que producen la falla del terreno, las consecuencias de la falla y las consideraciones requeridas para su corrección. (Castellanos, 1996).

El análisis de taludes tradicional considera que las causas de los deslizamientos pueden ser internas y externas; las primeras (que en el presente trabajo se denominarán como factores intrínsecos o inherentes) tienen que ver con la litología (tipo de material), sus condiciones (estado de meteorización, estructura) y la presencia y acción del agua subterránea; casi siempre las causas internas producen cambios sobre la resistencia al corte del terreno.

Las causas externas tienen que ver con las alteraciones bien sea por la acción de fenómenos naturales -lluvias, sismos, pérdida de soporte por socavación de corrientes de agua, volcanes- o por factores antrópicos -sobrecargas en la parte superior de un talud (rellenos, obras), cortes en la base (minería, obras de ingeniería y otras), modificación perjudicial del régimen de drenaje y deforestación-. La mayor influencia de las causas externas se manifiesta en un aumento del esfuerzo cortante aplicado a los materiales que forman el talud.

Es común hacer referencia a la acción de las causas enunciadas, como factores contribuyentes o disparadores. Como factores contribuyentes pueden actuar bien las causas internas o externas en relación con los fenómenos o procesos que hacen susceptible a la falla un talud (Ej. materiales débiles o alterados, la pendiente natural, etc.). Los agentes (o factores) disparadores (o detonantes) son aquellos que actúan de manera tal o en determinado momento que producen la disminución necesaria de resistencia o el aumento suficiente de esfuerzos que dispara la falla, al sobrepasarse el umbral donde el esfuerzo aplicado es menor a la resistencia. (Cantillo, 1998 y Castellanos, 1996).

Para los efectos de este trabajo se define susceptibilidad a los fenómenos de remoción en masa como la potencial actitud o vocación de una masa de suelo o roca en talud, a alterar sus condiciones de estabilidad, ante la acción de uno o varios agentes disparadores. Se acostumbra distinguir zonas de susceptibilidad baja a nula, media y alta. La susceptibilidad es una réplica conceptual de vulnerabilidad

(en este caso el agente disparador actuaría como amenaza y la masa de suelo a manera de elemento expuesto). Las consecuencias de la acción del agente disparador sobre un terreno susceptible, pueden ser potenciales (similitud con el riesgo) o efectivamente presentarse un movimiento en masa (similitud con la concepción de desastre). (Cantillo, 1998).

De acuerdo con González (1990), los movimientos de remoción en masa pueden considerarse como fenómenos de segundo orden, pues son producto de factores naturales o artificiales, los cuales constituyen los eventos de primer orden o causas.

Desde esta óptica, al considerar la acción combinada de una amenaza de primer orden (evento detonante que materializa el proceso de inestabilidad, como por ejemplo lluvias, movimientos sísmicos, erosión natural, efectos de la acción del hombre, o combinaciones de ellos), que encuentra condiciones favorables en la naturaleza y nivel de exposición del terreno (susceptibilidad), se está planteando la primera fase de la cadena del riesgo. Una vez configurado el proceso de inestabilidad, aunque sea potencial, éste se convierte en amenaza para los elementos expuestos (población, edificaciones, infraestructura, actividades y relaciones de la comunidad, etc.), los cuales presentan unas determinadas características tanto de exposición como de resistencia a sus efectos y un nivel de resiliencia, que definirán el nivel potencial de daños o pérdidas (riesgo). (Cantillo, 1998).

Se puede entonces definir la amenaza por deslizamientos como la probabilidad de ocurrencia de un evento geotécnico (proceso de inestabilidad) capaz de producir daño en un espacio e intervalo de tiempo determinado.

En este caso la probabilidad de ocurrencia está asociada a la posibilidad de que se genere un deslizamiento, definiendo la intensidad de la amenaza. Cuando la evaluación define un número que represente la amenaza tal como la probabilidad de falla o el factor de seguridad, la evaluación se conoce como absoluta; por otra parte, cuando la evaluación se hace en términos cualitativos se define la amenaza de manera relativa.

El elemento amenazante es, en este caso, un deslizamiento; este parámetro define el tipo de amenaza. Un mismo talud puede fallar de diferentes formas dependiendo de condiciones intrínsecas (litología, humedad, resistencia, etc.) y del efecto que sobre él ejercen agentes externos (lluvias, sismos, actividad humana).

Para un talud determinado, cada tipo de deslizamiento tiene asociada una probabilidad de ocurrencia diferente dependiendo de los agentes externos (detonantes) e intrínsecos (susceptibilidad).

Cada mecanismo de falla diferente produce daños, sobre los elementos expuestos, igualmente diferentes debido a que la magnitud del elemento amenazante y su forma de actuar es variable. El sistema más común de clasificación de deslizamientos es el propuesto por Varnes (1978), por lo que también ha sido el más utilizado para definir el tipo de amenaza, como se muestra en la **Tabla 1.1**.

La amenaza presenta características relacionadas con el espacio, como es su distribución espacial.

MATERIAL MECANISMO DE FALLA	ROCA	SUELO	
		Fino	Granular
Caídas	Caída de roca	Caídas de suelo	Caídas de detritos
Deslizamiento rotacional	Hundimiento en roca	Hundimiento de suelo	Hundimientos de detritos
Deslizamiento traslacional	Deslizamiento traslacional en roca	Deslizamiento traslacional en suelo	Deslizamiento traslacional de detritos
Flujos	Flujos de roca	Flujos de lodo o flujo de tierra	Flujos de detritos
Propagación lateral	Propagación lateral		
Complejos	Movimientos complejos		

Tabla 1.1. Clasificación de deslizamientos según Varnes (1978).

Para cada talud particular se debe evaluar la amenaza debida a cada tipo de deslizamiento, por lo que a partir de las condiciones regionales (clima, sismicidad, ambiente geológico, etc.) y locales (geometría, cobertura, litología, etc.) se deben definir los escenarios factibles.

La distribución espacial de la amenaza es controlada, en principio, por la susceptibilidad de los taludes a deslizarse. La susceptibilidad se puede definir como la mayor o menor disposición de un talud a deslizarse, la cual es función de las condiciones intrínsecas como inclinación del talud, litología, cobertura, resistencia, condiciones de agua, etc. La susceptibilidad es una variable dinámica debido a que la disposición de un talud a deslizarse es función de elementos variables en el tiempo como el contenido de humedad, resistencia o nivel del agua, entre otros.

Los primeros modelos de zonificación por amenaza se basaron en la determinación de la distribución espacial de la susceptibilidad, definida usualmente por la superposición con o sin ponderación de diferentes parámetros geométricos, litológicos y de cobertura, calibrados a partir de inventarios de deslizamientos en las zonas de estudio.

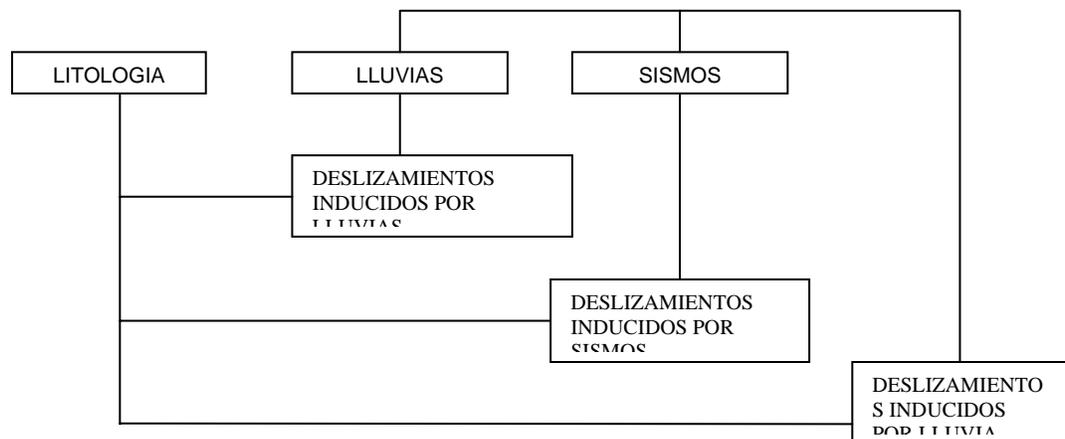


Figura 1.3 Primeros modelos de amenaza

La capacidad de producir daño es considerada como el efecto del deslizamiento sobre los elementos expuestos, parámetro que se define por la magnitud del elemento amenazante.

Cada tipo de deslizamiento puede producir diferente nivel de daño sobre un mismo elemento expuesto. Físicamente esta capacidad está dada por la energía que el deslizamiento puede suministrar al elemento, la cual es función del mecanismo de falla y de las condiciones geométricas particulares (altura de caída, distancia de recorrido, etc.).

Usualmente se emplea una característica física del deslizamiento real o potencial para definir este factor. El mejor parámetro que puede representar la capacidad de daño de un movimiento es la velocidad de desplazamiento, la cual se relaciona directamente con la energía, sin embargo éste parámetro no es fácil de determinar o predecir, por lo que se ha optado por otras propiedades físicas del deslizamiento como el volumen de material o área afectada por el deslizamiento.

La evaluación de amenaza por deslizamiento, por lo tanto, incluye no sólo la determinación de la probabilidad de que se genere un deslizamiento sino que además debe definir el volumen o área potencialmente afectada, esto es la magnitud del elemento amenazante. La relación entre el parámetro seleccionado para definir la magnitud y la capacidad de producir daño es parte del análisis de vulnerabilidad que sigue al análisis de amenaza. En el presente estudio debido a la falta de una base de datos amplia sobre dimensiones de deslizamientos y su relación con eventos detonantes, la única forma de considerar este factor es asumiendo características morfométricas típicas como se reportó en la sección de antecedentes.

Así como la amenaza se puede caracterizar en el espacio, también se puede definir en el tiempo, que corresponde a la distribución temporal de la amenaza. La distribución temporal de la amenaza está controlada por la recurrencia de los eventos detonantes y por la variación temporal de la susceptibilidad.

La relación entre los eventos capaces de inducir deslizamientos y las características de los deslizamientos potenciales se establecen a partir del estudio de casos históricos o de análisis numéricos de la respuesta hidrológica y/o dinámica de taludes.

Con el estudio de casos históricos se pueden establecer los niveles críticos de lluvia o sismo capaces de generar deslizamientos, y del análisis estadístico de los registros de lluvias o sismos se obtiene la recurrencia del evento detonante dentro de un grado de confianza determinado.

(Fuentes: Rodríguez, 1997 y Cantillo, 1998)

1.3.2.2 Taxonomía de los métodos de evaluación de amenaza

Los métodos pueden clasificarse de acuerdo con los siguientes criterios.

➤ **Según la escala de aplicación**

Los estudios de zonificación o evaluación de amenaza pueden clasificarse de la siguiente manera, según la cobertura geográfica y el nivel de detalle. La resolución y aplicabilidad se muestran en la **Tabla 1.2**.

- Nacional: > 1:1.000.000
- Regional: 1:100.000-1:500.000
- Semirregional: 1:25.000-1:50.000
- Local: 1:1.000 - 1:15.000

ESCALA	RANGO	APLICABILIDAD	COBERTURA
Escala Nacional	<1:1.000.000	El inventario general de áreas problemáticas de un país entero que puede ser usada para informar a los encargados de definir políticas de desarrollo y al público en general	Miles de km ²
Escala Regional	1:100.000 a 1:500.000	Empleado por las oficinas de planeación en las fases iniciales de desarrollo regional o por ingenieros que estudian las posibles limitaciones en el desarrollo de grandes proyectos y planes regionales debido a procesos de inestabilidad	≅ 1.000 km ²
Escala Semirregional	1:25.000 a 1:50.000	Determinación de zonas de amenaza en áreas relacionadas con grandes estructuras, vías y urbanizaciones.	Pocos cientos de km ²
Escala Local	1:1.000 a 1:15.000	Investigación del sitio antes de la fase de diseño en proyectos de ingeniería. Esta escala permite la evaluación de la variabilidad del factor de seguridad como una función de las condiciones del talud o bajo la influencia de diferentes eventos detonantes.	Hasta varias decenas de km ²

Tabla 1.2 Métodos de evaluación de amenaza según escala de aplicación (Adaptado de Rodríguez, 2001).

➤ **Según el nivel de información disponible**

• **Métodos Grado I: Basados en eventos históricos**

Se fundamentan en el principio de repetitividad de los fenómenos naturales. Toma en cuenta las intensidades sísmicas y pluviométricas, con lo que se puede prever la posibilidad de eventos futuros. No incorpora las características de los suelos, aguas subterráneas ni las condiciones geotectónicas locales. En el caso de la sismicidad, considera las distancias epicentrales a las laderas afectadas; magnitudes, intensidades y grados relativos de destrucción por unidad de área. Para el caso que nos ocupa este tipo de análisis fue el presentado en la sección de antecedentes.

- **Métodos Grado II: Basados en observaciones de campo**

Incorporan la información pluviométrica, sismológica, topográfica, geológica y morfodinámica; se agrega alguna labor de campo, fotointerpretación y la utilización de recursos para el tratamiento de los datos (p. e. SIG).

- **Métodos Grado III: Basados en análisis de estabilidad**

Procedimientos de microzonificación que combinan el análisis geotécnico con las metodologías descritas como grado I y II y se aplican preferentemente en sitios o áreas específicas que requieren un grado de detalle más fino. Los análisis de amenaza de este trabajo se fundamentan en este tipo de modelos, los cuales se aplicaron de manera complementaria para definir la zonificación propuesta.

➤ **Según técnica de análisis**

Pueden establecerse los siguientes métodos:

- **Heurístico**

Con base en la experiencia se determinan relaciones de similitud, en este caso se presenta el análisis de antecedentes como herramienta complementaria al proceso de zonificación.

- **Estadístico**

A partir de bases de datos se determinan relaciones causa - efecto.

- **Determinísticos**

Se emplean análisis de estabilidad con base en una relación causa - efecto directa, considerando solamente algunos puntos específicos de las posibilidades de ocurrencia. Este método constituyó la base de la zonificación propuesta, la cual se basa en análisis de estabilidad de perfiles típicos con base en la zonificación geotécnica obtenida en el capítulo 5.

- **Estocásticos**

Se basan en las probabilidades de falla y también en análisis de equilibrio límite. En el trabajo actual se aplicó este método para verificación de la zonificación determinística. Este se aplicó a las zonas definidas como perfiles residuales de arenisca, para los cuales se puede hacer un análisis en términos drenados y por ende se puede incluir la lluvia como una variable estocástica.

1.3.3 Marco físico natural

La zona de estudio está ubicada en los denominados Cerros Orientales de Bogotá, en la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos, entre las cotas 2.690 y 2.863 m. s. n. m. , en un sector de pendientes pronunciadas.

1.3.3.1 Clima general

En forma general, la temperatura promedio anual de la localidad de Usme es de 13° C, con precipitación promedio anual entre 1.000 y 1.500 mm en el sector de los Cerros Orientales. (Univerciudad, 2002).

La clasificación del clima tiene como fin establecer los tipos climáticos de una región. Esta clasificación se puede realizar en función de los parámetros meteorológicos como la temperatura, humedad relativa, viento, precipitación, entre otros, que, considerados conjuntamente, pueden conducir a nuevos parámetros (como la evapotranspiración) o caracterizar o definir un microclima. El área de estudio está localizada en la unidad bioclimática llamada “Zona Cordillera” que presenta características climáticas que se describen a continuación.

Con base en el análisis de la información climática y la clasificación según Köppen, (Chow, V. T.) el microclima de la zona se puede catalogar como clima frío subpáramo, intermedio entre húmedo (partes altas de la montaña) y seco de la sabana (parte baja de la ladera). Según la clasificación expuesta, el microclima se caracteriza por presentar dos épocas de invierno de períodos cortos de dos o tres meses de escasa precipitación, rara vez superiores a 200 mm y una temperatura promedio de 10° C a 13° C con una oscilación promedio anual no superior a los 13° C. La clasificación Köppen usa la vegetación como un indicador del clima. La flora correspondiente a este microclima es de bosque húmedo montuno y paramuno encontrando especies como *weinmannia ssp* y *Eupatorium ssp*, aunque se encuentra una matriz constituida por vegetación antrópica representada por cultivos homogéneos, misceláneos y pastizales. (Secretaría Distrital de Salud, 1998). Por este tipo de vegetación se puede deducir que los suelos son pobres en contenido de humus y por consiguiente con deficiencias en cationes intercambiables y bajos en capacidad productiva lo que los hace susceptibles a la erosión hídrica superficial. (INGEOMINAS, 1996)

1.3.3.2 Hidrografía

Hidrográficamente la zona pertenece a la cuenca del río Tunjuelito, y a la subcuenca de la quebrada La Chiguaza, denominada La Pichosa por los habitantes del sector.

➤ Río Tunjuelo

El Río Tunjuelo (o Tunjuelito) nace en el Páramo de Sumapaz por encima de los 3.700 m. s. n. m., a partir de tres cauces principales relativamente paralelos que fluyen en dirección predominante de sur a norte, correspondientes a los ríos Chisacá, Mugroso y Curubital, que al unirse conforman el Río Tunjuelo propiamente dicho, el cual continúa en similar dirección hasta la parte baja de la cuenca, donde gira su curso en dirección occidente hasta desembocar en el Río Bogotá, a una cota

aproximada de 2.570 m. s. n. m., recorriendo una distancia total de unos 73 km. (CEI, 1997, citado por Cantillo, 2002).

En el estudio de CEI (ref. cit.) la cuenca se divide en tres tramos o sectores, descritos así:

- "El sector superior o cuenca alta, comprendido entre el nacimiento del río y el sitio de la presa de La Regadera, ubicada a una cota aproximada de 3.140 m. s. n. m.; está caracterizado por una muy pronunciada pendiente que oscila entre el 15% y el 3%, típica de los torrentes de montaña, cubriendo un área de drenaje de unos 140 km², aproximadamente un 35% del área total. Allí la topografía de la cuenca es abrupta, alcanzando pendientes hasta del 75%. En general, la mayor parte del terreno presenta escarpes resultantes de la acción de antiguos glaciares que han dado origen a depósitos morrénicos fluvio-glaciares, configurando valles disectados en forma de "U", como se destaca en los ríos Chisacá, Mugroso y Curubital. Con fines principales de abastecimiento, y en menor proporción para control de inundaciones, esta cuenca alta cuenta con dos embalses; el primero de ellos, el Embalse de Chisacá, recibe los aportes hídricos y sedimentológicos de los ríos Mugroso y Chisacá; cuenta con una capacidad total de 7,0 millones de m³, e introduce al río una regulación del orden del 60%, para un caudal regulado de 0,75 m³/s (frecuencia 1/10 años). La descarga de este embalse, unida a la del Río Curubital, ingresa al segundo de los embalses, el Embalse de La Regadera, el cual posee una capacidad total de 4,0 millones de m³, produce un caudal regulado del orden de 1,35 m³/s, con un 45% de regulación, para una frecuencia de 1/10 años".

- "El segundo sector, o cuenca media, se extiende desde el Embalse de La Regadera, hasta el sitio de Cantarrana donde se ha previsto construir un nuevo embalse, sitio que se localiza aproximadamente a unos 5 km aguas abajo de Usme. El tramo posee una pendiente promedio del orden de un 3%, menor que la anterior, pero aún considerada alta, lo cual garantiza un buen drenaje de la cuenca. Hasta este punto, el área de la cuenca es de unos 267 Km², conservando el área tributaria la característica rural de la porción superior. En este sector, el río presenta un cauce unicanal con importante relleno aluvial torrencial formando terrazas altas constituidas por bloques de arenisca muy heterogéneos en tamaño. El cauce es ligeramente sinuoso, controlado litológicamente en algunos puntos por rocas del Terciario. En el tramo entregan sus aguas varias quebradas, entre las que se destacan la Pasquilla, la Paso Colorado, la Horqueta y la Chuscal, por la margen izquierda; mientras que por la derecha afluyen las quebradas Suate, Chiguaza Alta, Fucha y Yomasa, cuyas cuencas de drenaje se encuentran escasamente intervenidas, si se les compara con las subcuencas de aguas abajo".

- Tercer sector o cuenca baja o inferior: "Es justamente desde las inmediaciones de Cantarrana donde se hace evidente la explotación de grandes canteras en las proximidades del cauce y la urbanización intensiva que caracteriza al tramo final del río, el cual se extiende hasta su desembocadura en el Río Bogotá, siguiendo un trazado meándrico (aunque fuertemente intervenido por la acción del hombre) de casi 10 km de longitud, y con un área tributaria total que alcanza los 390 km². En este afluyen los tributarios mayores de la zona de interés para el estudio, como lo son la Quebrada Chiguaza por la margen derecha y la Quebrada de Limas por la

izquierda. Otras corrientes afluentes de menor relevancia por la reducida extensión de sus áreas de drenaje, son las quebradas Mochuelo, Trompetas y Estrella por la izquierda, y las de La Fiscala y Santa Librada, por la derecha, las cuales incluso, presentan trayectos donde han sido entubadas y prácticamente desaparecidas como drenaje superficial por efecto de la urbanización, y por la ocupación de sus cauces. De todas maneras, las tres corrientes afluentes principales drenan áreas intensamente pobladas e intervenidas por la explotación de laderas para la producción de materiales de construcción".

➤ **Quebrada La Chiguaza**

Como se mencionó, dentro de esta hoya se encuentra la quebrada La Chiguaza (llamada también La Pichosa, por los habitantes de la zona) que es uno de los principales afluentes del Río Tunjuelito. Nace en los cerros orientales a una altitud de 3.506 m.s.n.m. y drena en una dirección predominante NW. En la parte superior de su nacimiento se encuentra el área de estudio que cubre los cerros de Juan Rey y Guacamayas. De acuerdo con la **Figura 3.1** del **Capítulo 3** se puede observar que la Quebrada La Chiguaza posee un patrón de drenaje dendrítico, que es el más frecuente en esta región, presentando una ramificación arborecente donde los tributarios se unen a la corriente principal formando ángulos agudos. Se presenta en zonas de rocas sedimentarias y una pendiente promedio del 16%. (INGEOMINAS, 1996).

Es pertinente indicar que, según registros de prensa, en esta quebrada se han presentado eventos de avalanchas en el pasado, tal como menciona un artículo publicado por el diario El Tiempo el miércoles 24 de febrero de 1999, titulado "La Chiguaza: Riesgo Inminente" En este artículo se relacionan dos episodios de avalanchas en esta quebrada. El primero ocurrió el 19 de mayo de 1994, a las tres de la tarde cuando la quebrada con una carga de lodo, palos y piedras dejó 6 muertos, un desaparecido, 60 casas destruidas y 822 damnificados. El evento se repitió en mayo de 1995, pero con menos estragos. (Geoingeniería, 2002).

1.3.3.3 Geología

En los aspectos geológicos, en el área afloran las areniscas de la Formación Regadera, con delgadas intercalaciones de arcillolitas. Las areniscas cuarzofeldespáticas se caracterizan por ser muy blandas y friables. Además de las rocas de la Formación Regadera también se encuentran en el área depósitos de pendiente tipo *talus*, flujos de tierra en cañadas y rellenos antrópicos efectuados especialmente para la conformación de vías y la construcción de viviendas. Los macizos rocosos se encuentran afectados por juegos de diaclasas y fallas geológicas producto del tectonismo regional. Este tema se trata con mayor profundidad en el **Capítulo 3**.

1.3.4 Marco social

1.3.4.1 Demografía

Con 200.892 habitantes, según el dato de población ajustado para 1993, la población de la localidad representa en este mismo año aproximadamente el 3,69% del total del Distrito Capital, ocupando el puesto número doce dentro de las localidades. La población de la localidad puede calificarse como joven. El grupo de edad con mayor representatividad (65,9%) es el rango de edad menor a 30 años, sobresaliendo la población de 0 a 14 años con una participación aproximada del 38% del total de la población local. Otra característica es la distribución por género de mujeres con el 51% y hombres del 49%, similar al promedio de la ciudad. Manteniendo el perfil joven de la localidad, las mujeres entre 20 y 30 años son el grupo más representativo. Como resultado de esta distribución y del comportamiento del mercado de trabajo, el índice de dependencia económica es del 66 %, frente a un promedio de 51% en Bogotá. En Usme, por cada 100 habitantes en edad productiva dependen 63 personas menores de 15 años y 3,3 mayores de 65, resultado que permite afirmar que la población local se sostiene económicamente del 60% de sus habitantes. (Univerciudad, 2002).

1.3.4.2 Estratificación y condiciones socioeconómicas

De manera general, en la localidad de Usme habitan comunidades de estratos socioeconómicos 1 y 2, con la presencia de varios asentamientos ilegales.

En la zona de estudio se observan asentamientos ilegales en consolidación, los cuales presentan un elevado déficit en todos los servicios. En su gran mayoría la población es de origen rural con altos niveles de analfabetismo y desempleo, la cual sufre los rigores de pobreza generalizada.

1.3.4.3 Procesos de urbanización

Los procesos de urbanización en las localidades de Usme y aledañas se caracterizan por la informalidad y la ilegalidad. Estos barrios tuvieron su origen en urbanizaciones piratas, ya que sus pobladores fueron objeto de engaños por parte de urbanizadores piratas que les vendieron lotes baratos y sin servicios públicos, ubicados en sectores no aptos para la urbanización.

1.3.5 Marco político

Según el Acuerdo 8 de 1977, que reorganiza las alcaldías menores, se determina que la localidad de Usme se encuentra limitando al norte con las localidades de Rafael Uribe Uribe y Tunjuelito, al oriente con la localidad de San Cristóbal y los municipios de Chipaque, Une y Pasca, por el sur con la localidad de Sumapaz y por el occidente con la localidad de Ciudad Bolívar.

La localidad posee una extensión territorial de 11.904,53 hectáreas de las cuales 2.220,35 corresponden al casco urbano; esta extensión la ubica en el sexto lugar entre las localidades del Distrito. (Univerciudad, 2002).

Usme es administrada por el Alcalde Local y la Junta Administradora Local, JAL, compuesta por 9 ediles.

Los barrios objeto de estudio hacen parte de la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) El Danubio, que incluye otros asentamientos como Alaska, el Danubio Azul, El Porvenir, El Porvenir II Sector, La Fiscala II, la Fortuna, la Fiscala Lotes 16 y 16 A, La Fiscala Sector Daza, la Fiscala Sector Los Laureles, la Fiscala Sector Centro, la Fiscala Sector Daza, La Fiscala Sector Norte, La Fiscala Sector Rodríguez, la Morena I y II y Nueva Esperanza. (Univerciudad, 2002).

1.3.6 Marco ambiental

La zona de estudio colinda con el Parque Ecológico Distrital Entrenubes, del cual, según las primeras informaciones, han tomado parte de su territorio.

El Parque Entrenubes tiene una extensión de 629 hectáreas, abarcando la Cuchilla de Guacamayas, Cerro Juan Rey y la Cuchilla El Gavilán. Está ubicado en las localidades de Usme, Rafael Uribe Uribe y San Cristóbal. Lo recorren 7 ríos o quebradas, entre ellas Yomasa, Bolonia, Santa Librada, Seca, Hoya del Ramo, Verejones y a Chiguaza, que hacen parte de la cuenca del río Tunjuelo. Existe en esta zona un bosque primario natural que da origen al subsistema hídrico de la región.

El parque surge en 1992 como "Entre Nubes" después de pasar por varios nombres, el cual fue escogido por la densa niebla que cubre la mayor parte del territorio. El Distrito, a través de un proyecto de cooperación para mejorar la calidad ambiental plantea estrategias de conservación y sostenibilidad en el cual la comunidad es el principal partícipe y beneficiario, por lo que el parque está dedicado a la restauración del bosque primario nativo, la educación ambiental y la recreación compatible con los objetivos primarios de la conservación, el tratamiento para su uso y equipamiento dentro del sistema de áreas protegidas por el Distrito.

En la actualidad la ronda de sus quebradas se encuentra muy afectada por la acción antrópica, por deforestación, desvío de cauces, taponamientos y vertimientos. La explotación minera, la urbanización descontrolada y la deforestación del bosque primario han sido los causantes de la degradación del parque.

(Alcaldía Mayor de Bogotá y KFW, 1999, DAPD, 1999 y DAMA, 2000).

1.3.7 Marco histórico

La localidad de Usme fue fundada en 1650, bajo el nombre de San Pedro de Usme, convirtiéndose en centro de una zona rural dedicada primordialmente a la actividad agrícola, la cual proveía parte importante de los alimentos de la capital. Su nombre proviene de una indígena llamada Usminia (vocablo chibcha), la cual estaba ligada a los romances de los caciques de la época.

Tales romances siguen siendo famosos en etapas posteriores durante la Colonia, como el caso de María Lugarda de Ospina, La Marichuela, quien entabló un tempestuoso amor con el Virrey Solís, motivo por el cual fue desterrada por la sociedad santafereña a las selvas de Usme. El Virrey, para poderla acompañar, fundó la hacienda “Las Manas” en un latifundio relativamente grande, en lo que hoy son los barrios de Santa Lucía, Tunjuelito, Brazuelos y Marichuela, hasta la quebrada Yomasa incluyendo los actuales barrios Santa Marta, La Fiscala, Barranquillita, El Recuerdo y El Pedregal.

En 1911 Usme se convierte en municipio, adoptando dicho apelativo y haciéndose famoso por los conflictos y luchas entre colonos, arrendatarios y aparceros por la tenencia de la tierra. A mediados de siglo la situación cambia por la parcelación de tierras para la explotación de materiales de construcción.

En 1954 mediante la ordenanza 7 de la Asamblea de Cundinamarca, se suprime como municipio y su territorio es incorporado al Distrito Especial de Bogotá y mediante decreto 3640 del mismo año se incorpora dentro de la nomenclatura de Bogotá como la Alcaldía N° 5.

En 1975 se incluye en el perímetro urbano, perteneciendo desde ese momento al circuito judicial, a la circunscripción electoral y al circuito de registro y notariado de Bogotá; más adelante, con el Acuerdo 15 de 1993, el Concejo de Bogotá definió sus límites.

Posteriormente, la Constitución de 1991 le dio a Bogotá el carácter de Distrito Capital; en 1992 la Ley 1ª reglamentó las funciones de las Juntas Administradoras Locales, de los Fondos de Desarrollo Local y de los Alcaldes Locales, y determinó la asignación presupuestal de las localidades. Por medio de los acuerdos 2 y 6 de 1992, el Concejo Distrital, definió el número, la jurisdicción y las competencias de las JAL. Finalmente, el Decreto - Ley 1421 determinó el régimen político, administrativo y fiscal bajo el cual operan hasta hoy las localidades del distrito.

(Univerciudad, 2002).

1.4 BASES DE LOS MODELOS DE EVALUACIÓN DE AMENAZA APLICADOS

A continuación se describen los modelos empleados en el presente trabajo.

1.4.1 Modelos determinísticos (Basados en equilibrio límite)

En los análisis pseudo-estáticos las fuerzas sísmicas se incluyen como unas fuerzas inerciales horizontal y vertical actuando sobre la masa de suelo. Es común considerar sólo la componente horizontal por considerarse la principal y la que tiende a inestabilizar el material. Al hacer el análisis de estabilidad incluyendo esta fuerza inercial, se puede obtener un nuevo factor de seguridad ante deslizamiento; cuando este factor de seguridad sea la unidad, la masa estará en falla y la aceleración asociada es la denominada “aceleración crítica”.

Durante un sismo real, la aceleración máxima solo se presenta en un período de tiempo muy corto, fracciones de segundo, por lo que a pesar que se obtenga un factor de seguridad menor que la unidad, la carga aplicada no tiene el tiempo suficiente para generar el desplazamiento de la masa de suelo. Para obviar este inconveniente se plantea un segundo método de análisis que es el del bloque deslizante. En este caso la masa de suelo o roca se asume como un bloque rígido sobre un plano inclinado sometido a un sismo, el cual está representado por el registro de aceleraciones de diseño.

1.4.1.1 Bases teóricas del método

Este método se basa en asumir que la masa desplazada se comporta como un bloque rígido deslizándose a lo largo de un plano inclinado debido a los desplazamientos causados por las aceleraciones inducidas por un sismo.

Existe para materiales elasto-plásticos una resistencia (F_z) o un desplazamiento límite (u_y) por encima del cual el material es perfectamente plástico. Durante esta etapa la pérdida de energía no es de tipo viscoso sino por fricción, como se muestra en la **Figura 1.4**.

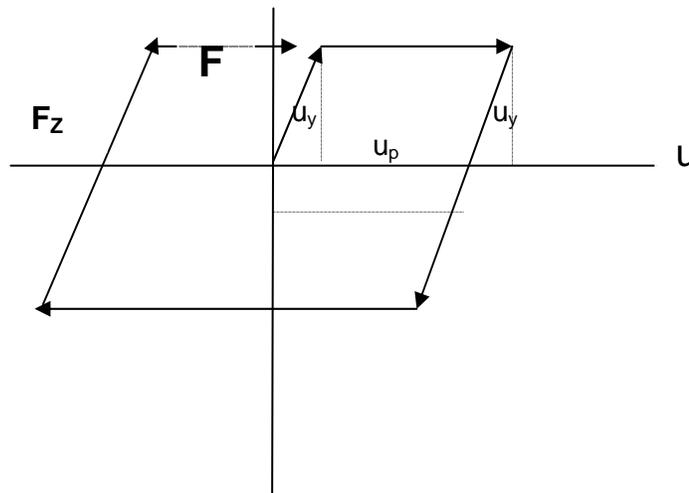


Figura 1.4 Relación esfuerzo - deformación para materiales elasto - plásticos

El comportamiento de la masa de suelo desplazada se caracteriza por los siguientes aspectos:

- El desplazamiento plástico u_p cambia con el número de ciclos
- La rigidez en el rango elástico no cambia
- El sistema es perfectamente plástico
- El límite del rango elástico está dado por una fuerza límite (F_z) o un desplazamiento límite (u_y). Si no hay viscosidad los dos límites coinciden.

La ecuación de movimiento del sistema se puede escribir como:

Fase elástica:

$$\ddot{u} + 2\lambda w_0 \dot{u} + w_0^2 (u - u_p) = -\ddot{x}; |u - u_p| \leq u_y \quad (1.1)$$

Fase plástica:

$$\begin{aligned} \ddot{u} + \frac{F}{m} (\text{sign } \dot{u}) &= -\ddot{x}; |u - u_p| \geq u_y \\ F &= k u_y \text{ o } \frac{F}{m} = w_0^2 u_y \end{aligned} \quad (1.2)$$

El material pasa de la fase elástica a la fase plástica cuando se supera la fuerza límite. En el caso del bloque deslizante, se considera que el material es infinitamente rígido por lo que el movimiento empieza sólo cuando se supera esta carga límite, en cuyo caso la solución de la ecuación de movimiento es del tipo:

$$\ddot{u} = c(\ddot{x} - k_c) \quad (1.3)$$

Donde k_c es la aceleración crítica ($a_c = k_c/g$) para que se presente el desplazamiento del cuerpo rígido. c es una constante que dependerá de la geometría del problema.

De acuerdo con la última expresión cada vez que se supere la aceleración crítica se producen desplazamientos que se van acumulando a lo largo de todo el proceso de carga. En el caso de una carga sísmica el desplazamiento total será la sumatoria de los desplazamientos que se generan por todas las aceleraciones superiores que la crítica, el cual se obtiene por la doble integración del registro de aceleraciones por encima de esta aceleración.

El valor de la aceleración crítica puede ser utilizado como criterio para la zonificación por amenaza; sin embargo, es más común utilizar el mismo desplazamiento como criterio de evaluación. La práctica común define unos niveles de desplazamiento críticos, los cuales están asociados con un mayor o menor nivel de estabilidad; por ejemplo, es común asumir un desplazamiento crítico de 5 o 10 cm por encima del cual se considera se presenta la falla del talud.

El nivel de desplazamiento crítico debe ser una función del tipo de material debido a que cada material presenta un curva esfuerzo - deformación particular de manera que un nivel de deformación diferente puede estar asociado a cada uno.

Con base en el modelo de bloque deslizante se han propuesto varias metodologías de evaluación de amenaza por deslizamientos, las cuales se basan en obtener la aceleración crítica, a partir de relaciones empíricas, como una función del factor de seguridad estático; sin embargo, a través del retroanálisis de casos reales se ha podido comprobar que estas expresiones sobrestiman la aceleración crítica subestimando a su vez los desplazamientos inducidos por un sismo, de manera que tienden a dar una subestimación de la amenaza.

Recientemente se ha establecido una relación semi-empírica entre la aceleración crítica de un talud y su factor de seguridad estático, de donde se obtienen valores más representativos de aceleración, con lo que se obtienen mejores resultados en evaluación de amenaza.

1.4.1.2 Procedimiento metodológico

En el presente trabajo se pretende utilizar el modelo de bloque deslizante con fines de zonificación de la amenaza por deslizamientos a partir de una combinación de criterios resultado del análisis de: El factor de seguridad estático, aceleración crítica, desplazamientos totales.

Para la aplicación del modelo se requiere aplicar la siguiente metodología:

1. Definir secciones típicas en cuanto a geometría y litología (modelo geotécnico del talud).
2. Con base en análisis de equilibrio límite determinar el factor de seguridad en condiciones estáticas del talud. Este factor de seguridad será función, además, de la geometría del talud, de los parámetros de resistencia de los materiales y la posición del nivel freático.
3. Estimar la aceleración crítica del talud como una función del factor de seguridad.
4. Determinar un sismo de diseño. En este caso se propone trabajar con los mismos registros que fueron empleados para el estudio de microzonificación sísmica de Bogotá (Uniandes, Ingeominas, 1997).
5. Calcular los desplazamientos totales por medio de la integración de los registros de diseño sobre el nivel de aceleración crítica.
6. Obtener los niveles de amenaza, por medio de los criterios anexos, en términos del factor de seguridad, aceleración crítica y desplazamientos.

1.4.1.3 Criterios para evaluación de amenaza

- **Método pseudo-estático**

Por medio del método pseudo-estático se obtiene un factor de seguridad, con base en el cual Siyahi y Ansai (1993) proponen la siguiente clasificación de la amenaza:

FACTOR DE SEGURIDAD	NIVEL DE AMENAZA O SUSCEPTIBILIDAD
F.S < 1.0	Alta
1.0 < F.S < 1.5	Moderada
F.S > 1.5	Baja

Tabla 1.3. Criterios de clasificación de amenaza con base en el factor de seguridad (Adaptada de Siyahi y Ansai, 1993)

• **Método del bloque deslizante**

En este caso del método del bloque deslizante se obtiene un desplazamiento final, que es la suma de los desplazamientos producidos por todas las aceleraciones superiores a la aceleración crítica. Legg *et al* (1992) han propuesto la evaluación de la amenaza en términos de la aceleración crítica y de los desplazamientos finales.

Con base en los desplazamientos se puede evaluar la amenaza por medio de los siguientes parámetros:

ESTADO DE FALLA	DESCRIPCIÓN DEL EFECTO	DESPLAZAMIENTO PERMANENTE (cm)
Ligero	Desplazamiento del terreno insignificante, no hay aparente potencial de falla del talud. Efectos solo por el paso de las ondas sísmicas.	$D < 0,5$
Moderado	Falla moderada del terreno, pequeñas grietas se suelen formar.	$0,5 < D < 5$
Fuerte	Falla mayor del terreno, grietas de moderada magnitud y desplazamientos por deslizamientos	$5 < D < 50$
Severo	Falla extrema del terreno, grandes grietas y desplazamientos por deslizamientos	$50 < D < 500$

Tabla 1.4. Criterios de clasificación de amenaza con base en los desplazamientos (Legg *et al*, 1992)

También se puede evaluar el nivel de amenaza por medio del valor de la aceleración crítica, de acuerdo con los siguientes parámetros, según los mismos autores:

ACELERACIÓN CRÍTICA (g)	NIVEL DE ESTABILIDAD
$0,70 \text{ g} \leq A_c$	Muy estable
$0,50 \text{ g} \leq A_c \leq 0,70 \text{ g}$	Estable
$0,30 \text{ g} \leq A_c \leq 0,50 \text{ g}$	Alta
$0,10 \text{ g} \leq A_c \leq 0,30 \text{ g}$	Moderada
$0,01 \text{ g} \leq A_c \leq 0,10 \text{ g}$	Baja
$A_c \leq 0,01 \text{ g}$	Inestable

Tabla 1.5. Criterios de clasificación de amenaza con base en la aceleración crítica (Legg *et al*, 1992)

1.4.2 Método estocástico de evaluación de amenaza

1.4.2.1 Bases teóricas

Los métodos probabilísticos de análisis de amenaza por deslizamientos se basan en la evaluación de la probabilidad de falla de un talud. La falla se explica a través del factor de seguridad, el cual a su vez se define como la relación entre la resistencia disponible y la resistencia movilizada a lo largo de una superficie potencial de falla; en consecuencia la probabilidad de falla puede ser definida como la probabilidad de que el factor de seguridad sea menor que la unidad.

En el caso estático el valor esperado del factor de seguridad se designa por $E(F)$, y la incertidumbre en la determinación de este factor de seguridad viene dada por su desviación estándar σ_F . Los términos $E(F)$ y σ_F pueden combinarse a través del índice de confiabilidad β , el cual se define como:

$$\beta = \frac{E(F) - 1.0}{\sigma_F} \quad (1.4)$$

Si el factor de seguridad responde a una función de distribución normal, la probabilidad de falla $P(f)$ y el índice de confiabilidad se relacionan por:

$$P(f) = 1.0 - \Phi(\beta) \quad (1.5)$$

donde $\Phi(\beta)$ es la función de distribución acumulada de la distribución normal.

Para extender el concepto de probabilidad de falla al caso de taludes sometidos a cargas dinámicas el factor de seguridad se obtiene a través de un análisis pseudoestático en que la carga dinámica se considera como una fuerza inercial horizontal, notando el factor de seguridad dinámico como F^* ; el valor esperado de F^* será $E(F^*)$ y las dos expresiones anteriores son igualmente aplicables.

La función acumulada de distribución puede presentar otro tipo de tendencia, por ejemplo lognormal o Weibuill uniparamétrica, en cuyo caso se cuenta con funciones diferentes para obtener la probabilidad de falla.

El factor de seguridad F^* está asociado a un valor de aceleración horizontal A_h , de manera que la probabilidad de falla $P(f)$ ahora está asociada con la probabilidad de que la aceleración A_h sea mayor que la producida por el sismo A , la cual puede expresarse asumiendo el modelo de Poisson como:

$$P(A \leq A_h) = 1 - e^{-\frac{A}{\tau}} \quad (1.6)$$

donde L es el período de vida útil o período de diseño y T es el período de retorno de la aceleración A_h . La probabilidad de falla $P(f)$ será finalmente la sumatoria de las probabilidades para aceleraciones en un rango entre 0 y A_h .

Debido a que el factor de seguridad es función de la posición del nivel freático y éste, a su vez, de las condiciones de lluvia, en el análisis anterior se puede involucrar también el efecto de las lluvias sobre la probabilidad de falla a través de la probabilidad de ocurrencia de una lluvia crítica LL_c , dada por:

$$P(LL_c \leq LL) = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^L \quad (1.7)$$

En este caso la determinación del factor de seguridad no depende directamente de la cantidad de lluvia, sino que esta se involucra indirectamente a través de la posición del nivel freático, lo que implica que se debe contar con una relación entre estos dos parámetros, la cual puede ser obtenida empíricamente o a través de un estudio de respuesta hidrológica del talud.

Para considerar el efecto combinado de una carga sísmica y unas condiciones climáticas se debe determinar la probabilidad de falla a través de la probabilidad conjugada de las posibles combinaciones de simultaneidad de los factores detonantes; esto conduce a una doble integral de las probabilidades de ocurrencia del sismo y las lluvias de diseño.

La variabilidad de los parámetros de resistencia c' y ϕ' pueden también ser tomados en cuenta en el análisis si se tiene un suficiente número de ensayos que permita definir su valor medio y desviación estándar. La probabilidad de falla, en este caso, puede obtenerse a través de la función de probabilidad de que el factor de seguridad sea menor que la unidad para todas las combinaciones posibles de parámetros de resistencia y de eventos detonantes.

Como puede verse una determinación de la probabilidad de falla que involucre la incertidumbre en todos las variables que intervienen en el problema no es fácil de obtener para todas las combinaciones posibles; es por eso que en la práctica se prefiere determinar la probabilidad de falla con variación de resistencia y eventos detonantes críticos. En este caso se determina la distribución de probabilidad solamente para los valores máximos y mínimos de los parámetros de resistencia y sus posibles combinaciones con la ocurrencia o no, simultánea o no, de los eventos detonantes. Este ejercicio en la práctica lo que hace es discretizar la función de probabilidad para algunos valores específicos intermedios y extremos a partir de la cual se definen unos criterios para evaluación por amenaza.

1.4.2.2 Procedimiento metodológico

En este trabajo se buscó la evaluación de la amenaza definiendo la probabilidad de falla de los diferentes escenarios determinados en la zona. Estos escenarios constituyen la combinación de factores intrínsecos con los factores detonantes. Como factores intrínsecos se consideró la variación en la pendiente del talud y de

los parámetros de resistencia de los diferentes estratos identificados. Por su parte, los factores externos o detonantes considerados fueron las lluvias y los sismos.

En la inclusión de la lluvia como factor detonante en los análisis estocásticos se presentó el problema de que la combinación intensidad - duración capaz de saturar el suelo no puede ser satisfecha con las lluvias que caen en la zona, por lo que la probabilidad de que el suelo se sature con una lluvia es nula, lo que conlleva a la probabilidad combinada a una probabilidad nula de falla por lluvia y sismo simultáneamente, por lo que la probabilidad de falla se debió limitar a la de determinar la probabilidad de que se presente la aceleración de diseño.

1.4.2.3 Criterios para evaluación de amenaza

La amenaza por deslizamientos con este procedimiento se obtiene con la aplicación de los siguientes criterios:

CATEGORIA DE AMENAZA	PROBABILIDAD DE FALLA EN UN PERIODO DE 10 AÑOS
Baja	Menor de 0,12
Media	Mayor o igual a 0,12 y menor a 0,44
Alta	Mayor o igual a 0,44

Tabla 1.6. Criterios de clasificación de amenaza por probabilidad de falla. (Fuente: DPAE, 2000)

1.5 FUENTES DE CONSULTA

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. - Departamento Administrativo de Planeación Distrital (2001). Guía Urbanística de Usme. Bogotá, Colombia

Alcaldía Mayor de Bogotá y KFW (1999). Proyecto Sur con Bogotá. Bogotá, Colombia.

Cantillo R., Carlos (2002) para Fundación San Antonio. Informes sobre Emergencia por Avenidas e Inundaciones del Río Tunjuelito, Nos. 1 y 2. Bogotá, Colombia.

Cantillo R., Carlos (1998). Propuesta Metodológica para la Evaluación de Riesgos por Remoción en Masa a Escala Local. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.

Cardona A., Omar D. (1997). Los Desastres: Eventos Ambientales. Artículo Técnico. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.

Castellanos J., Ramiro N. (1996). Lluvias Críticas en la Evaluación de Amenaza de Eventos de Remoción en Masa. Tesis de Postgrado, Magister en Geotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Chow, Ven Te. Hidrología Aplicada.

CEI Ltda. (1997). Estudio de Saneamiento Ambiental y Control de Crecientes en la Cuenca del Río Tunjuelito. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Bogotá, Colombia.

C.I.C. Consultores de Ingeniería y Cimentaciones Ltda (2002) para FOPAE. Estudio de Riesgos por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar el Antiguo Escarpe de Explotación Frente al Barrio El Portal, Localidad Rafael Uribe Uribe. Bogotá, Colombia.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR (2003). Registros históricos de precipitación. Estación La Picota. Período 1980 - 2000. Bogotá, Colombia.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR (2003). Registros históricos de precipitación diaria, evaporación diaria, temperatura diaria, humedad relativa diaria, brillo solar diario, radiación solar diaria y velocidad del viento. Estación Doña Juana. Período 1989 - 1998. Bogotá, Colombia.

DAMA (2000). Proyecto Parque Entrenubes: Un Plan para la Educación Ambiental. Bogotá, Colombia.

DAPD (1999). POT Distrito Capital, versión preliminar. Bogotá, Colombia.

Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá, DPAE (2000 a). Resolución 364 de 2000. Bogotá, Colombia.

Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá, DPAE (2000 b). Documentos del Sistema de Información para la Gestión de Riesgos y Atención de Emergencias, SIRE.

Duncan, J.M. (2000). *Factors of safety and reliability in Geotechnical Engineering*. ASCE *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol 126, No 4, Págs 307-316.

Geoingeniería (2002) para FOPAE. Evaluación de Riesgos para los Barrios México y Villa Jacqui por Inestabilidad en los Taludes Aledaños a las Gravilleras e Inundación para los Barrios Tunjuelito y Meissen por Desbordamiento del Río Tunjuelito debido al Embalsamiento actual de las Aguas dentro de las Gravilleras. Bogotá, Colombia.

González G., Alvaro J. (1990). Conceptos sobre la Evaluación de Riesgo por Deslizamientos. VI Jornadas Geotécnicas. Sociedad Colombiana de Ingenieros. Bogotá, Colombia.

González, A. J., Zamudio, E, Castellanos, R. (1999). Relación de Precipitación – Duración de Lluvias que Disparan Movimientos en Masa en Santafé de Bogotá, Colombia.

Hudson J. A. y Harrison J. P. (1995). *Engineering Rock Mechanics. An Introduction to the Principles. Final Draft.*

INGEOMINAS (1996). Estudio Geotécnico del Cauce Principal de la Quebrada Chiguaza. Bogotá, Colombia.

Kalinin E. V. y Sheshenin S. V. (1990). *The State of Stress of Anisotropic Rock Mass in Mechanics of Jointed and Faulted Rock.* Rossmanith (Ed.). Págs. 945 a 949.

Nishida K. (1989). *Residual Soils Properties and their Relation to Slope Failure Pattern.* *Journal of Natural Disasters.* Vol. 11 No. 1. Págs. 27 a 41.

Ohmachi T. Midorikawa (1992). *Grand Motion Intensity Inferred from Upthrow of Boulders During the 1984 Western Nagano Prefecture, Japan, Earthquake.* *Bulletin of the Seismological Society of America.* Vol. 82 No. 1 Págs. 44 a 60.

Pradel D. y Raad G. (1993). *Effect of Permeability on Surficial Stability of Homogeneous Slopes.* *ASCE Journal of Geotechnical Engineering.* Vol. 119 No. 2. Págs. 315 a 332.

Rodríguez C. E. (2001). *Hazard Assessment of Earthquakes induce Landslides on Natural Slopes.* *Ph. D. Tesis, Imperial College. London, U. K.*

Rodríguez C. E. (1997). Análisis y Modelación de Torrentes. Tesis de Magister. Universidad Nacional de Colombia.

Secretaría Distrital de Salud (1998). Diagnósticos Locales con Participación Social - Metodología: Usme. Bogotá, Colombia.

Univerciudad (2002). Sitio en Internet: <http://www.univerciudad.net>.

Varnes D. V. (1978). *Slopes Movement, Types and Proceses in Landslides: Analysis and Control.* *Transportation Research Board. National Academy of Sciences. Washington Special Report 176.* Págs. 11 a 33.

CAPÍTULO 2.0

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan los resultados del levantamiento topográfico realizado en el área de estudio, bajo la dirección del Topógrafo Carlos Hernando Moreno Moreno. El trabajo se adelantó entre el 30 de noviembre y el 23 de diciembre de 2002. El capítulo incluye tres secciones, de las cuales la primera corresponde a la introducción, la segunda registra el método de trabajo y en la tercera se incluyen las fuentes de información consultadas.

2.2 MÉTODO DE TRABAJO

Para la realización de la consultoría para la ejecución del "Estudio de Zonificación de Amenaza por Remoción en Masa en los Barrios San Ignacio y San Martín, de la Localidad Usme, en la Ciudad de Bogotá, D. C.", se diseñó una programación de actividades entre las cuales se encuentra el levantamiento topográfico, permitiendo la recopilación de información de las características físicas del terreno.

Durante la ejecución del trabajo se llevaron a cabo las siguientes actividades:

2.2.1 Visita de campo

El día 30 de noviembre de 2002 se realizó la visita de campo por parte del Topógrafo en compañía de los demás profesionales encargados del proyecto, con el objeto de determinar la envergadura del mismo, sus alcances y la planeación de las actividades a desarrollar.

2.2.2 Investigación de placas topográficas y cartografía de la zona

Para realizar el levantamiento topográfico se investigó en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) la ubicación de las placas más cercanas al área del terreno a levantar y la cartografía útil para la ejecución del mismo.

Como resultado de la investigación realizada en dicha institución se encontró que la placa más cercana a la zona es la registrada con el código T-4815 y al no encontrar la placa de referencia, se tomó como señal de azimut la torre de la Iglesia de Monserrate.

UNIÓN TEMPORAL CONSULTORES EN RIESGOS		CONTRATO CONS - 449 / 02		CAPÍTULO 2 PAG. 1	
VERSIÓN:	1.0			FECHA	MARZO/03
ELABORÓ:	CHM - CC	REVISÓ:	ODC	APROBÓ:	INGEMÉTRICA LTDA.

En el **Anexo 2-A** se adjuntan los certificados de cada uno de los puntos de amarre y el plano de localización del punto de arranque.

2.2.3 Levantamiento topográfico

Se efectuó la altimetría y planimetría del sector a escala 1:1.000, con curvas de nivel cada 1,0 m, incluyendo la localización de viviendas, infraestructura de servicios públicos (agua, luz, gas, teléfonos, etc.), vías, corrientes de agua, accidentes topográficos y los detalles de interés para el presente estudio.

El método general de trabajo correspondió a una poligonal cerrada a partir de las placas del IGAC, tomando los detalles sobre dicha poligonal, mediante el empleo de estación topográfica.

Se empleó una Estación Total Electrónica Topcon 301 D y cartera electrónica, cuyas especificaciones y certificado de calibración se adjuntan en el **Anexo 2-B**. En los **Anexos 2-C** y **2-D** se presentan las carteras y esquemas de campo y la cartera de coordenadas. En el **Plano 2.2** del **Anexo 2-F** se incluye la nube de puntos levantados.

Se dejaron 5 referencias materializadas que permiten el posterior replanteo (3 mojones de referencia nuevos más dos existentes). (Ver fotografías en el **Anexo 2-E**). El plano final del levantamiento topográfico se presenta en el **Anexo 2-F (Plano 2.1)**.

2.2.3.1 Poligonal

Partiendo del T-4815 con señal de azimuth a Monserrate, se ubicó una poligonal de cinco deltas con auxiliares para tener mayor facilidad en tomar detalles. La poligonal tiene un error de cierre de 1:37000 con cierre específico 1:10000.

2.2.3.2 Detalles

Partiendo de la poligonal y con la certeza de que tiene el cierre exigido, se tomaron detalles como paramentos, bordes de vía, pozos, cajas, postes y la topografía necesaria para elaborar las curvas de nivel cada metro.

2.2.4 Trabajo de oficina

2.2.4.1 Cálculos

Con ayuda del software de la cartera electrónica se calcularon los puntos tomados tanto en coordenadas como en cota. Con el software Eagle Point se dibujaron las curvas de nivel.

2.2.4.2 Dibujo

Con los puntos calculados se unieron los de igual descripción (como por ejemplo paramentos, bordes de vía, etc.) y se elaboró un plano completo tanto de loteo

como de la zona de trabajo. También se digitalizaron los perímetros de las manzanas de los planos de los barrios que están en proceso de regularización en D.A.P.D. para tener un punto de comparación del loteo en plano y el existente en campo; de acuerdo con este ejercicio las diferencias resultan muy grandes, especialmente en el barrio San Martín, como puede observarse en el **Plano 2.1**.

2.3 FUENTES DE CONSULTA

Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC. Certificaciones de coordenadas de placas.

Valbuena, Fernando (2000). Plano de Urbanismo Barrio San Ignacio. Bogotá, Colombia.

Valbuena, Luz Mery (1994). Plano de Urbanismo Barrio San Martín. Bogotá, Colombia.

CAPÍTULO 3.0

GEOLOGÍA

3.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo contiene el marco geológico regional del área de estudio, al igual que las características geológicas de ésta y el modelo geológico detallado que sirven de base para el estudio geotécnico objeto de la zonificación de amenaza por remoción en masa de los barrios San Ignacio y San Martín de la Localidad de Usme, junto con las características morfológicas del terreno, los procesos que en ellas se desarrollan y los agentes detonantes como lluvias, sismos y la misma actividad antrópica, los cuales se describen en el capítulo 4 del presente estudio.

El marco geológico regional marca especial importancia en el entendimiento de las características estructurales y en el origen de las geoformas, mientras que la geología del área de estudio tiene especial interés en la cartografía de los materiales de superficie sobre los cuales se realiza la zonificación.

Aunque en términos generales el área de estudio está localizada sobre materiales rocosos donde los fenómenos de inestabilidad por causas naturales son poco probables, el terreno es susceptible a la inestabilidad como consecuencia de la actividad antrópica por el desarrollo urbano desordenado y la posición relativa de los materiales que constituyen el suelo y subsuelo; así por ejemplo, el vertimiento de aguas negras sobre las laderas conlleva a la degradación de los materiales rocosos, acelerando el desarrollo de suelos residuales, que al estar en una pendiente relativamente alta podrían entrar en proceso de falla en un lapso de mediano a largo plazo, por lo que se considera que las medidas emprendidas por la DPAE son sumamente oportunas con el objeto de cooperar con el desarrollo urbano ordenado de la ciudad y el sector.

3.2 MÉTODO DE TRABAJO

El desarrollo del estudio geológico se llevó a cabo en tres etapas: Consulta y análisis de información secundaria, trabajos de campo y elaboración de planos e informe. La información consultada fue básicamente la geología regional para enmarcar el área de estudio: Como marco geológico regional se tomó un cuadrángulo del Mapa Geológico del Area Metropolitana de Bogotá, elaborado en enero de 2000 por la firma Geoingeniería Ltda. para el Consorcio Pci – Oyo del Japón. En este mapa se delimitan las diferentes formaciones rocosas y del

UNIÓN TEMPORAL CONSULTORES EN RIESGOS		CONTRATO CONS - 449 / 02		CAPÍTULO 3 PAG. 1	
VERSIÓN:	1.0	FECHA:	MARZO/03		
ELABORÓ:	IP	REVISÓ:	CHCR - ODC	APROBÓ:	INGEMÉTRICA LTDA.

Cuaternario de la Sabana de Bogotá; se considera que este mapa constituye una buena base para enmarcar el área de estudio desde el punto de vista geológico, teniendo en cuenta que antes del estudio en mención no existía un mapa geológico que empalmara las localidades de Usme y Rafael Uribe Uribe a una escala más detallada de la 1:25.000.

En 1998 la firma consultora Investigaciones Geotécnicas Ltda realizó dos estudios de zonificación, para 101 y 27 barrios, respectivamente, de la Localidad de Usme y la geología de estos estudios la presentó a escala 1:25.000; durante el mismo año la firma Ingeocim Ltda realizó el plano geológico a escala 1:10.000 de las localidades de San Cristóbal y Rafael Uribe Uribe como parte integral de los estudios de zonificación por fenómenos de remoción en masa para cinco (5) localidades del Distrito; estos dos mapas geológicos fueron precisamente aquellos con los cuales el Consorcio Pci – Oyo efectuó el empalme entre las localidades de Usme y Rafael Uribe Uribe.

La geología del área de estudio, que corresponde a los alrededores de los barrios San Ignacio y San Martín, se efectuó con base en trabajos de fotointerpretación (**Tabla 3.1**) y reconocimientos de campo a cargo del geólogo vinculado para la ejecución del proyecto; estas visitas técnicas se llevaron a cabo en diferentes oportunidades durante el mes de diciembre de 2002 y el mes de enero de 2003. Los trabajos de exploración de subsuelo que hacen parte del estudio geotécnico merecen mención en el presente capítulo, debido a que permitieron complementar el modelo geológico de la zona de estudio.

Se aclara que los trabajos de exploración consistieron en la realización de 14 perforaciones manuales con profundidades hasta de 5,0 m., ejecución de 2 perfilajes geoeléctricos acompañados de un sondeo eléctrico vertical (SEV) cada uno y 6 pruebas de percolación en los diferentes materiales que constituyen el suelo y subsuelo del área de estudio. El programa de exploración fue aprobado por la interventoría del proyecto, previa presentación de un informe preliminar de geología y de aspectos geomorfológicos y geotécnicos del área de estudio, donde se indicó de manera preliminar las áreas más susceptibles a los procesos morfodinámicos donde era preciso efectuar exploración de subsuelo.

Los trabajos finales relacionados con el estudio geológico, consistieron en la elaboración de los planos y perfiles geológicos del área de estudio a escala 1:1.000 y 1:500 respectivamente.

VUELO	ESCALA	AÑO	FOTOS
SAV 415	1:20.450	1998	103-104
C-619	1:18.000	1952	036-037

Tabla 3.1. Relación de fotografías aéreas consultadas

Como puntos importantes para el levantamiento geológico de la zona de estudio, se consideraron los taludes en roca en los cuales se efectuó la toma de datos estructurales con el objeto de aclarar el modelo y suministrar una base para los análisis de estabilidad de los macizos rocosos.

Aunque no se efectuaron columnas estratigráficas detalladas, se considera que los perfiles litoestratigráficos realizados con base en los resultados de la exploración de subsuelo son suficientes para aclarar el modelo litoestructural de las unidades geológicas de superficie, que en el concepto del consultor, son las que interesan para el modelo de análisis. De otra parte, se considera que en el sector de los barrios San Martín y San Ignacio el aspecto geológico del subsuelo no es relevante dentro del marco de problemas de remoción en masa.

Del análisis de las fotografías aéreas se concluye que el área de estudio (**Figura 3.1**) está cruzada por una falla geológica que presenta una dirección NW y que puede estar alineando el curso de la Quebrada La Chiguaza un poco más hacia el noroccidente de los barrios San Martín y San Ignacio. Además, en el área de estudio dicha falla marca el límite entre los niveles inferior y superior de la Formación Regadera respectivamente (Contacto Fallado). En las fotografías aéreas también se aprecia que la estratificación en general de las rocas de la Formación Regadera presenta un rumbo NW con buzamiento hacia el SW, con pequeños cambios locales por influencia de las fallas geológicas del sector y por un pequeño pliegue sinclinal que se presenta al suroccidente del área de estudio.

De otra parte, al comparar las fotografías aéreas de 1952 y 1998 respectivamente, se aprecia que no existen cambios morfodinámicos relacionados con procesos naturales pero sí alteración del paisaje como consecuencia de las excavaciones para la construcción de viviendas, vías y zonas de areneras.

3.3 GEOLOGÍA REGIONAL

Tal como se muestra en la **Figura 3.1** y en el **Plano 3.1** del **Anexo 3-B**, las rocas que afloran en los alrededores del área estudiada están comprendidas entre el Cretáceo y el Cuaternario. El Cretáceo en la Localidad de Usme, está representado de base a techo por las formaciones Arenisca Dura (Ksgd), Plaeners (Ksgp), Areniscas de Labor y Tierna (Ksgl-t) del Grupo Guadalupe. Además, el Cretáceo abarca buena parte de la Formación Guaduas (K-Tg). El Terciario está representado por la parte superior de la Formación Guaduas (K-Tg), la Formación Cacho (Tpc), la Formación Bogotá (Tpb), la Formación Regadera (Ter) y la Formación Usme (Tmu).

Las rocas de la Formación Regadera son precisamente los sedimentos sobre los cuales se localiza el área de estudio; esta formación se encuentra compuesta por areniscas cuarzofeldespáticas, poco consolidadas, de color gris claro a blanco, de grano frecuentemente grueso, con algunas capas lenticulares de conglomerados finos y matriz arcillosa. El conjunto inferior de la formación (Ter-i) consiste en bancos de arenisca con estratificación cruzada y espesores entre 0,5 y 15,0 metros. Las areniscas alternan con arcillolitas de color gris claro a rosadas y hasta rojizas, con espesores que no sobrepasan los 0,3 m. El conjunto superior de la formación

(Ter -s) está compuesto principalmente por arcillolitas, aunque también se presentan bancos interestratificados de arenisca hacia el tope de la formación. Sin que haya sido propuesta como sección tipo, Acosta y Beltrán (1987) han medido varias secciones en el flanco occidental del sinclinal de Usme (Tunjuelito), al sur de la población de Usme. La potencia máxima medida por estos geólogos es de 345 metros; según Julivert (1963) la formación alcanza los 400 metros de espesor.

El conjunto inferior de la Formación Regadera es un nivel más resistente que el superior y se destaca en la topografía; las areniscas son muy friables, por lo cual se explotan como materiales de construcción. Además, tiene contacto erosivo con la Formación Bogotá. Las arcillolitas del conjunto superior son explotadas para la fabricación de ladrillo.

De acuerdo con la descripción anterior, se concluye que el sector oriental del área de estudio donde se ubica la mayor parte del barrio San Martín se localiza sobre rocas del conjunto inferior de la Formación Regadera, mientras que la parte occidental se localiza sobre sedimentos del conjunto superior, dado que el relieve en este segundo sector es topográficamente más suave y se observan con mayor frecuencia las arcillolitas abigarradas.

ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA EN LOS BARRIOS SAN IGNACIO Y SAN MARTÍN DE LA LOCALIDAD DE USME DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, D. C.

EDAD GEOLÓGICA		UNIDAD GEOLÓGICA	CONVENCIÓN EN EL PLANO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
CUATERNARIO		Relleno Antrópico, Basuras	Rab	Depósitos de basuras conformados técnicamente o dispuestos en los lechos de quebradas
		Depósitos de Pendiente	Qdp	Depósitos matriz-soportados. Guijos y bloques de arenisca cuarzosa, embebidos en matriz arcillosa y arcilloarenosa,, depósitos clasto – soportados: Esencialmente bloques de arenisca
		Formación Sabana, Terraza Alta	Qtb	Limos y arcillas, en partes inorgánicas, que constituyen el relleno más blando de la Sabana de Bogotá
		Formación Sabana, Terraza Alta	Qta	Materiales transportados y depositados en la zona de transición entre las formaciones rocosas y la zona plana
		Formación Sabana, Suelos de la Sabana	Qsb	Limos rojos, marrones y complejo de suelos negros, en las partes altas de los cerros
		Formación Chía	Qch	Arcillas de origen lacustre y/o de inundación, localmente, limos y arcillas diatomíticas
		Formación Tunjuelito (50.000 años)	Qct	Gravas, cantos y bloques redondeados a subredondeados, embebidos en matriz limoarcillosa
		Depósitos Fluvio Glaciares	Qfg	Bloques y cantos de arenisca de formas subredondeadas a angulares, en partes planares, embebidos en matriz limoarcillosa
TERCIARIO – CUATERNARIO	Pleistoceno	Formación Tiltatá	TQt	Arcillas y arenas arcillosas de color blanco, turbas y niveles de guijarros de pequeño tamaño
TERCIARIO	Oligoceno – Mioceno	Formación Usme	Tmu	Intercalaciones de lutitas grises claras con ortocuarcitas blandas
	Eoceno Medio	Formación La Regadera	Ter	El conjunto superior (Ters) está conformado por intercalaciones de areniscas cuarzofeldespáticas y arcillolitas abigarradas, y el conjunto inferior (Teri) por areniscas cuarzofeldespáticas principalmente, de grano grueso a conglomerático, grisáceas
	Paleoceno Superior a Eoceno	Formación Bogotá	Tpb	Lodolitas, limolitas y arcillolitas abigarradas, separadas por bancos de areniscas arcillosas blandas
	Paleoceno Superior	Formación Cacho	Tpc	Arenisca, friable de color pardo a blanco, en estratos hasta de dos metros de espesor
TERCIARIO – CRETACEO	Maestrichtiano Superior a Paleoceno Inferior	Formación Guaduas	K-Tg	Conjunto superior: Arcillolitas abigarradas en mantos delgados de carbón; Conjunto medio: Arenisca guía en la base y Arenisca Lajosa en el techo, separadas por arcillolitas compactas que contienen mantos

				de carbón; Conjunto Inferior: Arcillolitas grises oscuras
CRETACEO	Maestrichtiano	Grupo Guadalupe, Formación Areniscas de Labor y Tierna	Ksgl-t	Arenisca Tierna: Areniscas de grano grueso a conglomerático, con intercalaciones delgadas de lodolitas, limolitas y arcillolitas; Arenisca de Labor: Areniscas de grano fino, arcillosas, compactas, separadas por capas finas de arcillolitas
	Maestrichtiano Inferior	Grupo Guadalupe, Formación Plaeners	Ksgp	Limolitas silíceas, porcelanitas, liditas y areniscas de grano fino
	Coniasiano Superior a Campaniano	Grupo Guadalupe, Formación Arenisca Dura	Ksgd	Areniscas en bancos muy gruesos con delgadas intercalaciones de limolitas, lodolitas y arcillolitas

Tabla 3.2. Descripción de las unidades geológicas a nivel regional. Fuente: Geología del Area Metropolitana de Bogotá D.C., PCI – OYO, 2000.

A partir de la Formación Guaduas se presentan discordancias que indican el inicio del levantamiento de la Cordillera Oriental de Colombia. Discordantemente sobre las rocas cretáceas y terciarias aparecen importantes depósitos cuaternarios que incluyen depósitos torrenciales, sedimentos lacustres y otros depósitos no consolidados como los depósitos de pendiente tipo coluvión y talus (**Tabla 3.2**).

Los depósitos cuaternarios cartografiados son, del más antiguo al más reciente, Formación Tilatá (TQt), Formación Chía (Qch), Conos de Tunjuelito, Formación Río Tunjuelito o también llamada Formación Marichuela (Qct), Depósitos Fluvio Glaciares (Qfg), Formación Sabana: Terraza alta (Qta) y Terraza baja (Qtb), Depósitos de pendiente (Qdp) y depósitos antrópicos (Rab) entre otros.

3.4 GEOLOGÍA DEL ÁREA

La geología del área de estudio se realizó sobre la base topográfica del proyecto a escala 1:1.000 y consiste básicamente en la cartografía y descripción de las unidades geológicas de superficie y de los perfiles litoestratigráficos elaborados con base en los afloramientos de materiales existentes en la zona, como consecuencia de los cortes efectuados para la construcción de vías y viviendas y con base en los resultados de la exploración realizada para el presente estudio: Apiques, Sondeos mecánicos y exploración geoelectrica. A continuación se describen los materiales existentes en el área, los cuales se presentan en el **Plano 3.2** del **Anexo 3-B**.

En el presente estudio se consideró relevante distinguir mejor los afloramientos rocosos arcillosos y los arenosos o de areniscas, más que hablar del Conjunto Inferior o Conjunto Superior de la Formación Regadera; en consecuencia, los afloramientos de areniscas se indican en el mapa como Ter-a, mientras que las arcillolitas se indican con las letras Ter-ar, aclarándose que hacia el costado oriental de la falla geológica predominan las areniscas sobre las arcillolitas (Conjunto

Inferior) y hacia el costado oriental predominan las arcillolitas sobre las areniscas (Conjunto Superior).

3.4.1 Areniscas de la Formación Regadera (Ter – a)

A esta unidad corresponden las areniscas que predominan en la mayor parte del área, especialmente en el sector donde se localiza el barrio San Martín, las cuales se encuentran formando pendientes estructurales y escarpes en contrapendiente, generalmente cubiertas por suelos orgánicos de color negro. Sin embargo, estos materiales de composición feldespática principalmente son de característica friable o deleznable, razón por la cual son altamente sensibles al proceso de erosión hídrica. De otra parte, las areniscas son fácilmente excavables manualmente, por lo que no ofrecen ninguna dificultad para las explanaciones que se conforman a menudo con el propósito de construir viviendas.

Tal como se mencionó en la sección de geología regional, las areniscas son cuarzofeldespáticas, poco consolidadas, de color gris claro a blanco aunque por oxidación toman un aspecto amarillento, de grano frecuentemente grueso, con algunas capas lenticulares de conglomerados finos y matriz arcillosa. La estratificación de las areniscas es cruzada y el espesor de los bancos en el área de estudio está entre 3 y 5 metros. Los mejores afloramientos de estos materiales en lo que respecta al área de estudio, se presentan en los taludes de las vías de acceso a la parte alta del barrio San Martín.

3.4.2 Arcillolitas de la Formación Regadera (Ter – ar)

En la parte media del área de estudio en sentido oriente – occidente (barrios San Martín y San Ignacio), afloran arcillolitas abigarradas hacia la base de estratos de areniscas conglomeráticas; al reconstruir el perfil estratigráfico del subsuelo (ver perfiles del **Plano 3.3**) se deduce que entre las areniscas que conforman la pendiente estructural (costado oriental del área de estudio) y la contrapendiente (costado occidental del área de estudio) se encuentra una secuencia arcillosa que ha “desaparecido” superficialmente como consecuencia del proceso de erosión diferencial que se evidencia en los afloramientos donde aparecen, como en el sector suroccidental de la zona. Sin embargo, también es posible que la erosión concentrada se deba al alto grado de fracturamiento de los materiales rocosos de la parte media del área, debido a la presencia de una falla geológica. Se aclara que las arcillolitas se encuentran altamente fisuradas (ver **Fotografía No. 3 del Anexo 3-A**).

Las arcillolitas son limosas y a juzgar por los afloramientos observados en campo, presentan espesores hasta de 5 m y se localizan hacia el costado occidental de la falla geológica que pasa por el área, es decir en el Conjunto Superior de la Formación Regadera; aunque también aparecen en el costado oriental del barrio San Martín, pues en el Conjunto Inferior de la Formación Regadera también se presentan arcillolitas, pero predominan las areniscas.

3.4.3 Suelos residuales (Qsr)

Los suelos residuales presentes en el área de estudio son de carácter arcilloarenoso (producto de la meteorización y alteración de areniscas) y arcillo-limosos (producto de la meteorización y alteración de arcillolitas limosas). De acuerdo con los resultados de exploración del subsuelo, el espesor de los suelos residuales es muy variable, oscilando entre 1 y 5 metros aproximadamente, sin que exista un contacto neto con el manto rocoso. Estos materiales se presentan especialmente sobre la ladera de pendiente estructural, aunque el mayor desarrollo de los mismos se da en las zonas depresivas o de cañadas, donde se encuentran cubiertos por suelos negros. Sin embargo, en dichos sectores se cartografiaron como una unidad litológica diferente, teniendo en cuenta que allí han experimentado deformación o mayor grado de alteración.

3.4.4 Depósitos fluvioglaciares (Qdb)

Sobre las partes media alta y baja de la zona de estudio respectivamente, se presentan dos depósitos constituidos por enormes bloques de arenisca cuarzosa dura (**Fotografía No. 2, Anexo 3-A**) embebidos parcialmente en matriz arcillolimosa. Teniendo en cuenta la composición y textura de los bloques de arenisca, se puede afirmar que estos provienen de rocas del Grupo Guadalupe, razón por la cual se piensa que estos corresponden a un depósito fluvioglacial muy antiguo.

Los bloques de roca de formas angulares hasta subredondeadas que se observan en superficie tienen diámetros hasta de 5 m; sin embargo, este puede llegar a ser mayores, si se tiene en cuenta que durante los trabajos de exploración de subsuelo mediante métodos geofísicos, se determinó que el espesor máximo del depósito de aguas abajo es del orden de 9 m. La exploración geofísica, que se presenta en el **Anexo 5-D, del Capítulo 5**, consistió en la ejecución de dos sondeos eléctricos verticales (SEV) acompañados de un perfilaje geoelectrónico en cada uno de ellos y se enfocó básicamente hacia la determinación del espesor del depósito de bloques y la determinación del nivel freático.

3.4.5 Suelos orgánicos negros (Qsn)

Con este nombre se denominan a los suelos grises oscuros de característica limoarenosa que cubren parcialmente el área de estudio, los cuales presentan un espesor promedio de 50 cm, aunque en algunos sitios puede ser mayor de 1 m. Lo cotidiano es que las viviendas se construyan por debajo del piso de estos materiales; sin embargo algunas de ellas se encuentran cimentadas directamente sobre los mismos. El origen de los suelos negros puede ser volcánico (especialmente el nivel base de los mismos que no supera los 10 cm de espesor).

3.4.6 Suelos deformados y/o alterados en zonas de cañadas (Qsd)

Estos materiales (ver **Fotografía No. 1 del Anexo 3-A**) consisten básicamente en suelos negros o suelos residuales arcilloarenosos y arcillolimosos de color amarillento, localizados en áreas de cañadas, los cuales han experimentado

deformación como consecuencia de la afluencia de aguas de escorrentía superficial y estar localizados en un terreno de pendiente media - alta. Los mayores espesores de suelo en el área de estudio precisamente se presentan en las zonas de cañada; pues a juzgar por los resultados de la exploración de subsuelo, el espesor de los mismos es hasta de 5 metros, los cuales incluyen el espesor de los suelos negros que los recubren.

3.4.7 Rellenos Antrópicos (Qra)

Consisten en llenos de vertido libre, los cuales son producto de los cortes o explanaciones para la construcción de viviendas; durante el programa de exploración de subsuelo realizado especialmente para el presente proyecto se hizo énfasis en la determinación de su espesor, el cual en la mayoría de los casos es de menos de un metro, aunque existen excepciones donde el espesor de los mismos es del orden de 5 m. De otra parte, algunos de estos rellenos se encuentran dispuestos directamente sobre zonas potencialmente inestables, como en el caso del relleno existente hacia la parte media - alta del barrio San Martín, en el talud inferior de la vía de acceso.

Los rellenos están constituidos principalmente por arenas limosas y arcillosas producto de las excavaciones para la construcción de viviendas, aunque también contienen eventualmente escombros de construcción tipo ladrillo, piedra y concreto.

3.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En lo que respecta a la geología estructural, el área de estudio se localiza regionalmente entre el Sinclinal Usme – Tunjuelito al occidente y la Falla de Bogotá al oriente. El sinclinal de Usme es un pliegue muy importante en el área ya que esta estructura es la terminación sur de la depresión tectónica de la Sabana de Bogotá. El eje de plegamiento tiene dirección aproximada N-S, se extiende hacia la parte meridional por más de 20 kilómetros y su eje se inclina de sur a norte. El flanco occidental está en posición normal con buzamientos hasta de 45°, mientras que el flanco oriental se encuentra invertido. El núcleo está ocupado por la Formación Usme y depósitos cuaternarios. El contacto de la Formación Usme con las rocas infrayacentes es diferente en los dos flancos del plegamiento, porque los esfuerzos de compresión se producen antes y durante la sedimentación de esta formación.

La Falla de Bogotá fue reconocida inicialmente con el nombre de Falla de Monserrate; como este nombre, de connotación local, no ha tenido aceptación alguna, puede considerarse en desuso y aceptar en cambio el nombre de Falla de Bogotá que tiene significado geográfico más extenso. Esta Falla se extiende desde el límite sur de la ciudad hasta aproximadamente Santa Ana Oriental (Usaquén). Se trata de una falla inversa con buzamiento hacia el Este. Pone en contacto en la mayor parte de su recorrido, rocas del Grupo Guadalupe con rocas de la Formación Guaduas. La inversión del flanco occidental del Anticlinal de Bogotá pareciera estar relacionada con la Falla de Bogotá, pero si así fuera, al desaparecer las inversiones debiese también desaparecer la falla. Sin embargo, la falla está presente aún en los tramos normales del flanco occidental del Anticlinal de Bogotá (Cerro El Zuque - Cerro Guadalupe).

Tanto el Sinclinal de Usme como la Falla de Bogotá están afectados por fallas perpendiculares y oblicuas a su dirección general, entre las que se destaca la Falla El Zuque, que consiste en una estructura de rumbo, de movimiento lateral izquierdo que, de acuerdo con su traza, tiene plano de falla sensiblemente vertical. Además de los desplazamientos sobre la Falla de Bogotá y de algunos contactos intraformacionales, es notorio el control fisiográfico en el límite sur del Cerro El Zuque (Localidad de Uribe Uribe).

Otra estructura de estas características es la falla que marca el alineamiento de la quebrada que pasa por el costado sur del área de estudio que aquí se ha denominado como “Falla El Danubio”; dicha falla genera leves desplazamientos de la estratificación y crea zonas de debilidad donde los sedimentos de la formación se hacen más susceptibles a los procesos erosivos.

También se presentan otras fallas geológicas ligeramente paralelas a las dos estructuras principales (Falla de Bogotá y Sinclinal de Usme – Tunjuelito), como la Falla Juan Rey y la Falla La Fiscala próxima a la zona de estudio, las cuales son estructuras de tipo inverso que tienden a “repetir” las secuencias litoestratigráficas.

Otras características estructurales de importancia especialmente en el área de estudio son la estratificación y el diaclasamiento.

En la ladera del costado oriental del área de estudio la estratificación es N30-40°W/35°SW, mientras que en la ladera del costado occidental, esta se encuentra algo basculada, aunque en general, se mantiene el buzamiento de la estratificación de aproximadamente 35°. Esta característica se debe a una falla geológica de tipo inverso así como se muestra en el perfil 3-3 del **Plano 3.3** del **Anexo 3-B**. Además del basculamiento de la estratificación se pueden mencionar otras evidencias como lo son la silleta topográfica localizada en el extremo sur del área de estudio y la posible continuación de la falla alineando un tramo de la Quebrada La Chiguaza en sedimentos tanto de la Formación Tiltatá como de la Formación Regadera. Este alineamiento guarda cierto paralelismo con las fallas mencionadas anteriormente.

Los principales juegos de diaclasas son: N50°E/70-80°NW, N82°W/73°SW, N15°-30°W/45°70°NE, N70°-80°E/80°-85°NW. Además se presentan zonas de cizalla o pequeñas fallas con desplazamiento vertical de menos de 1,0 m, como la que se observa en el talud en roca del extremo norte del área de estudio.

3.6 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

Desde el punto de vista hidrogeológico, las areniscas feldespáticas de la Formación Regadera se podrían clasificar como rocas acuífero, mientras que las arcillolitas se podrían clasificar como acucierres o acuitardos, debido a que estas “sólo permiten el almacenamiento pero no el flujo del agua subterránea”. No obstante, las características topográficas del terreno y la misma litología en particular del subsuelo son realmente los que permiten establecer las condiciones de acuíferos o

acuicierres. Así por ejemplo, las arcillolitas de la Formación Regadera pueden constituir acuicierres en tanto que las areniscas de esta misma formación pueden dar lugar a acuíferos en las situaciones topográficas relativamente bajas en el área de estudio.

En términos generales y teniendo en cuenta los resultados de la exploración geofísica realizada especialmente para el presente proyecto, se puede afirmar que a menos de 25 m de profundidad hacia la zona de valle considerado en el área de estudio, no se encuentra agua subterránea, pese a que en dicha zona predominan las arcillolitas fisuradas de la formación. Llama la atención un apozamiento de aguas que se encuentra en el sector de la capilla del barrio San Martín; parece que esta fuente de agua es permanente; sin embargo, se puede tratar de un nivel freático colgado o simplemente el flujo de agua a través del contacto entre el depósito de bloques y el suelo residual presente en sector. Se aclara que durante los trabajos de exploración de subsuelo en las zonas de cañada donde se identifican flujos de tierra incipientes, se encontraron zonas húmedas, inclusive por encima de estratos o niveles de suelo secos, estos horizontes de suelo saturado desaparecen hacia profundidad. Naturalmente, el flujo de aguas subsuperficiales se debe a la pendiente del terreno que está controlada por el buzamiento de la estratificación.

Lo anterior confirma que los suelos que cubren las rocas del sector permiten la infiltración y conducción de las aguas de infiltración las cuales tienen su descarga a través de las diferentes interfaces del mismo suelo o entre éste y la roca infrayacente (arcillolita o arenisca).

3.7 FUENTES DE CONSULTA

Además de las fotografías aéreas citadas anteriormente, se consultó la siguiente información con el objeto de localizar el área de estudio desde el punto de vista geológico a nivel regional:

Acosta, J.E. y Beltrán, W.E. (1987). Estratigrafía de la Formación Regadera en el Flanco Occidental del Sinclinal de Usme. Trabajo de grado No. 182, Departamento de Geociencias, U.N. Bogotá, Colombia.

Consortio Pci – Oyo (2000). Geología para la Zonificación Sísmica del Área Metropolitana de Bogotá, planos geológicos a escala 1:50.000. Bogotá, Colombia.

Investigaciones Geotécnicas Ltda. (1998) para FOPAE. Geología para la Zonificación de Riesgo por Movimientos de Remoción en Masa en 101 Barrios de la Localidad de Usme, planos geológicos a escala 1:25.000. Bogotá, Colombia.

Ingeocim Ltda. (1998) para FOPAE. Geología para la Zonificación por Fenómenos de Remoción en Masa de las localidades de Rafael Uribe Uribe y San Cristóbal, planos geológicos a escala 1:10.000. Bogotá, Colombia.

Ingeominas (1995). Evaluación de Susceptibilidad y Amenaza Preliminar en las Localidades de Ciudad Bolívar, Rafael Uribe Uribe, Usme y San Cristóbal. Bogotá, Colombia.

Ingeominas (1997). Proyecto Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá. (Mapa Geológico a Escala 1:50.000). Bogotá, Colombia.

Julivert, M. (1963). Los Rasgos Tectónicos de la Región de la Sabana de Bogotá y los Mecanismos de Formación de las Estructuras. Boletines Geológicos UIS, Nos. 13-14, Bucaramanga, Santander, Colombia.

Peña, M. A. y Franco, R. (1989). Geología y Geomorfología 1:10.000 de 49 Km² entre Usme y Buenavista, al Sur de la Sabana de Bogotá. Trabajo de grado No. 217, Departamento de Geociencias, U.N., Bogotá, Colombia.

Renzoni, G. (1962). Apuntes acerca de la Litología y Tectónica de la Zona al Este Sureste de Bogotá. Boletín Geológico, Servicio Geológico Nacional, Volumen X, Nos. 1-3, pp. 59-79, Bogotá, Colombia.

CAPÍTULO 4.0

GEOMORFOLOGÍA

4.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se describen los aspectos geomorfológicos del área de estudio, en lo relacionado con las geoformas y las características de las mismas (pendiente del terreno, materiales que las constituyen y procesos morfodinámicos característicos de cada una de ellas)

Este trabajo contribuye con el conocimiento respecto al comportamiento geotécnico del terreno, de acuerdo con los fenómenos de inestabilidad activos y/o potenciales presentes en algunas de las laderas del área en general.

4.2 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

En el presente estudio se han identificado tres grandes geoformas, las cuales se determinaron con base en el mapa topográfico del área de estudio, a partir del cual se elaboró el mapa de pendientes¹ que se presenta en el **Plano 4.1**, del **Anexo 4-B**, y con base en el mapa geológico. Dos de las geoformas que se describen a continuación son de origen denudacional mientras que la tercera es de origen denudacional – agradacional o depositacional (Ver **Tabla 4.1**).

4.2.1 Laderas de Pendiente Estructural (PE)

El sector oriental del área de estudio, donde se localiza la mayor parte del barrio San Martín, consiste en una ladera cuya pendiente está controlada por el buzamiento de la estratificación de las areniscas del conjunto inferior de la formación Regadera, que está entre 30 y 35° aproximadamente (ver **Plano 4.2** del **Anexo 4-B** y **Tabla 4.1**). Con base en las fotografías aéreas de 1950 y 1998, respectivamente, consultadas para la realización del presente estudio, se puede afirmar que la ladera con pendiente estructural no presenta grandes problemas por remoción en masa bajo condiciones naturales; salvo hacia las zonas de pequeñas

¹ Es importante registrar que en la elaboración del mapa de pendientes se utilizó el *software* ArcView versión 3.2, módulo *3D Analysis Spatial* de la siguiente forma: Teniendo como base los 2000 puntos obtenidos mediante el levantamiento en terreno, se convirtieron en archivo .shp y mediante la extensión *sourface* del programa se generó el modelo TIN. Esta herramienta, mediante interpolación, determina un modelo aproximado del terreno, a partir del cual se obtuvo el *slope* o pendientes, de acuerdo con los rangos previamente establecidos en conjunto con la Interventoría del proyecto.

UNIÓN TEMPORAL CONSULTORES EN RIESGOS		CONTRATO CONS - 449 / 02		CAPÍTULO 4 PAG. 1	
VERSIÓN:	1.0			FECHA:	MARZO/03
ELABORÓ:	IP	REVISÓ:	CHCR - ODC	APROBÓ:	INGEMÉTRICA LTDA.

cañadas donde se presentan flujos de tierra y deslizamientos pequeños que se han formado como consecuencia de la afluencia de aguas de escorrentía superficial y subsuperficial.

Las condiciones de estabilidad han desmejorado debido a la construcción desordenada de viviendas en la zona; la actividad antrópica que se manifiesta mediante la conformación de cortes y rellenos a media ladera y el vertimiento de aguas servidas, ha contribuido con el desconfinamiento parcial de los suelos que cubren las areniscas y se ha acelerado el desarrollo de suelos residuales en las zonas de cañadas como consecuencia de la afluencia de aguas de escorrentía superficial (estos pueden alcanzar espesores hasta de 5 m). El agravante del problema son los rellenos antrópicos que en la mayoría de los casos no superan el metro de espesor, pero que representan algún grado de peligro, debido a que algunas viviendas se encuentran construidas parcialmente sobre dichos materiales (ver fichas 4, 15, 33 y 34 de inventario de procesos en el **Anexo No. 4-A**).

Debido a la presencia de suelos orgánicos (suelos negros) que cubren las areniscas o los suelos residuales que se desarrollan en las zonas de cañada y a la afluencia de aguas de escorrentía superficial, se presentan flujos de tierra incipientes, los cuales en algunos casos pueden evolucionar a deslizamientos, como el que se presenta en el sector noreste del barrio San Martín. Por la vía de acceso a la parte alta del barrio también se presenta un desprendimiento (deslizamiento pequeño) en una zona de flujos. Es de anotar que en la parte baja de las cañadas se ha construido la mayor parte de las viviendas dentro de las zonas de flujo, seguramente retirando los materiales potencialmente inestables (suelos negros y suelo residual arcilloso blando).

4.2.2 Laderas en contrapendiente estructural (CE)

Se denominan laderas y/o escarpes en contrapendiente estructural a las laderas cuya pendiente está orientada en sentido opuesto al buzamiento de la estratificación o simplemente a taludes naturales en roca que son transversales al buzamiento de la estratificación. La contrapendiente estructural más representativa del área de estudio es la que se presenta en el sector occidental (parte alta del barrio San Ignacio), allí las pendientes superan en algunos casos el 100%.

Los procesos morfodinámicos que se desarrollan en esta unidad, a diferencia de la pendiente estructural, son la caída de bloques, en algunos casos por efectos de la erosión diferencial. Una característica importante de la ladera es que actualmente se encuentra cubierta por vegetación del tipo rastrojo bajo y pastos, lo que contrarresta enormemente el efecto erosivo; también se destaca que hasta la fecha la intervención antrópica ha sido mínima. Sin embargo, los problemas de inestabilidad aparecen tan pronto como se empiezan a efectuar vertimientos de aguas negras; tal es el caso del flujo de tierras localizado en el extremo noroccidental del área de estudio (Ficha 33 del **Anexo 4-A**), el cual fue cortado por la vía de acceso que va por la parte superior del barrio San Ignacio; dicha zona de flujo también fue cortada mediante las explanaciones para la construcción de las viviendas que se encuentran abajo de la vía en mención.

ORIGEN DE LA GEOFORMA	NOMBRE DE LA GEOFORMA	NOMEN - CLATURA	PENDIENTE MEDIA DEL TERRENO	MATERIALES	PROCESOS MORFODINAMICOS
DENUDATIVO	CONTRAPENDIENTE E ESTRUCTURAL	CE	60% - 150%	Rocas de Formación Regadera: Areniscas feldespáticas intercaladas con arcillolitas abigarradas	<ul style="list-style-type: none"> Erosión diferencial Reptación de suelos Cortes y rellenos a media ladera Flujos de tierras por afluencia de aguas negras y aguas lluvias Deslizamientos Desprendimientos
	PENDIENTE ESTRUCTURAL	PE	50% - 60%	Rocas de Formación Regadera, principalmente areniscas feldespáticas	<ul style="list-style-type: none"> Erosión laminar y en surcos Reptación de suelos Flujos de tierras en cañadas por afluencia de aguas negras y aguas lluvias Cortes y rellenos a media ladera Deslizamientos Desprendimientos
	VALLE EROSIONAL RESIDUAL Y DEPOSITACIONAL	V(ER)	25% - 40%	Suelos residuales arcillosos, algo arenosos, sobre los cuales se presentan eventualmente bloques de arenisca silícea	<ul style="list-style-type: none"> Caída potencial de bloques y/o deslizamiento de bloques Erosión laminar y en surcos Cortes y rellenos en laderas de pendiente relativamente suave

Tabla 4.1. Unidades geomorfológicas del área de estudio

Se considera que, a futuro, los problemas de inestabilidad serán mucho mayores en la contrapendiente estructural, de llegar a continuar el desarrollo urbano desordenado en el sector.

Sin que forme parte del área de estudio pero siendo determinante para la estabilidad relativa de la zona en general (divisoria de aguas barrio San Martín), existe una ladera en contrapendiente hacia el límite occidental del área de estudio, donde se presentan problemas de inestabilidad relacionados con flujos de tierra, los cuales pueden evolucionar a deslizamientos si no se acometen las medidas correctivas y preventivas para el control de la estabilidad.

4.2.3 Valle erosional – depositacional (VER)

A esta geoforma corresponde la franja de terreno comprendida entre las geoformas de Pendiente Estructural y Contrapendiente Estructural respectivamente. La geoforma es alargada en el sentido norte sur; ésta se originó como consecuencia de la erosión de una zona de debilidad, donde los macizos rocosos se encuentran afectados debido a la existencia de una falla geológica, donde posteriormente se acumularon los materiales considerados en el presente estudio como de origen fluvio-glaciar. Se ha denominado valle erosional porque el terreno está constituido principalmente por suelos residuales arcillosos y depositacional porque existen

remanentes del depósito de bloques muy antiguo (fluvioglacial), los cuales han sido retirados parcialmente para la construcción de viviendas. La pendiente media longitudinal de esta geoforma es del 25%, aunque localmente se presentan pendientes transversales hasta del 60%.

Aunque aparentemente suene inconsistente, sobre esta unidad se puede presentar deslizamiento de bloques de arenisca cuarzosa que yacen sobre los suelos residuales, especialmente bajo condición pseudoestática (ver fichas 7 y 31 de inventario de procesos en el **Anexo 4-A**).

Otro proceso morfodinámico que se desarrolla en esta unidad es la erosión concentrada, debido a que todas las aguas lluvias del sector confluyen a este “valle colgado” acelerando la formación de surcos y cárcavas, razones por las cuales se considera conveniente el diseño y construcción de canales de recolección de aguas lluvias y el manejo de aguas negras mediante alcantarillado, con el propósito de mantener el buen estado de las vías principales de acceso y mejorar las condiciones geotécnicas del terreno en general.

Sobre el extremo norte de la unidad se encuentra un talud en roca (bancos de arenisca hasta de 6 m de espesor, que yacen sobre un estrato de arcillolitas abigarradas) donde se presenta erosión diferencial y por consiguiente caída de bloques. La altura del talud es de aproximadamente 10. Allí se considera conveniente el pernaje de los bloques de roca potencialmente inestables y la protección del estrato de arcillolita para contrarrestar el efecto erosivo.

4.3 IDENTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE PROCESOS

De acuerdo con lo descrito en el numeral 4.2 cada geoforma se encuentra caracterizada por determinados tipos de procesos morfodinámicos; no obstante los procesos no son excluyentes entre unidades; es decir un proceso morfodinámico se puede presentar en más de una unidad, o en toda el área como lo es el proceso de erosión laminar.

El inventario de procesos morfodinámicos presentados en las fichas del **Anexo 4-A** se llevó a cabo con base en el formato del MOPT del Inventario Vial de Deslizamientos de 1995, ajustando la ficha a las condiciones del estudio, tal como lo han efectuado los distintos consultores en trabajos elaborados para la DPAE. En la ficha se presenta la localización del proceso, la condición de estabilidad de la ladera, los daños causados, la descripción general del proceso, la geología local, las características del drenaje, el uso del suelo, la morfometría del talud, el grado de actividad del proceso y las posibles causas con las recomendaciones de medidas a corto mediano plazo para mejorar las condiciones de estabilidad geotécnica del área en general. Adicionalmente la ficha contiene un esquema del sitio y un registro fotográfico. Cada uno de los 39 procesos inventariados se localiza en el **Plano 4.2 Anexo 4-B**.

A continuación se describen los procesos morfodinámicos más relevantes del área de estudio:

4.3.1 Reptación

En el área de estudio el proceso de reptación se desarrolla en las laderas donde se presentan suelos orgánicos, denominados en el presente estudio como suelos negros, los cuales presentan un espesor aproximado de 0,5 m. En términos generales, el proceso de reptación es incipiente en la actualidad bajo condiciones naturales; no obstante, ya que algunas viviendas del área se encuentran construidas sobre dichos materiales, puede presentarse un factor potencial de inestabilidad.

4.3.2 Flujos de tierra

Los flujos de tierra incipientes están limitados a zonas de cañadas o de pequeños drenajes intermitentes donde se presenta escorrentía superficial (afluencia de aguas negras y aguas lluvias) y afectan los suelos orgánicos (suelos negros) y los suelos residuales arcillo arenosos y limo arcillosos que los subyacen, los cuales han experimentado algún grado de deformación debido a la humedad y la pendiente del terreno en la cual se encuentran expuestos.

Las áreas consideradas en el presente estudio como flujo de tierra se localizan principalmente en la ladera de pendiente estructural, donde se encuentran rocas arcillosas estratificadas con las areniscas, aunque también se presenta un flujo de tierras en la ladera de contrapendiente estructural en el costado noroccidental de la zona de estudio. Se aclara que estos procesos se encuentran cortados o interrumpidos, debido a la construcción de vías y viviendas, aumentándose de esta manera el potencial de inestabilidad.

4.3.3 Deslizamientos

De acuerdo con lo visto durante el inventario de procesos, se presenta un deslizamiento colapsado y con evidencias de actividad, el cual es de pequeña magnitud tanto en volumen como en área; se localiza hacia la mitad del flujo de tierras de la zona media del área de estudio, por la vía de acceso a la parte alta del barrio San Martín. Este pequeño deslizamiento de unos 30 m³ de tierra puede llegar a afectar la vía en mención; por consiguiente, se considera conveniente implementar medidas para el control de la estabilidad, las cuales pueden consistir en obras de drenaje superficial y un muro de gaviones o en concreto hacia la pata del deslizamiento.

Así como el caso del deslizamiento descrito anteriormente, donde se aprecia cómo un flujo de tierras puede evolucionar localmente a deslizamiento, se presentan otros sitios en los cuales estos flujos se encuentran avanzados (costado nororiental del área de estudio, donde se observan grietas longitudinales y de menos de 1,0 m de profundidad). En las fichas 27 y 35 se describen dos zonas donde se presentan deslizamientos incipientes de materiales.

4.3.4 Caída de bloques

La caída de bloques en el área de estudio, está más relacionada con los bloques del depósito “fluvioglacial” que con los taludes en roca (aunque también los hay). El

proceso de caída de bloques podría ocurrir mediante el desconfinamiento lateral de los mismos y como consecuencia de un factor detonante adicional (lluvia o sismo). Es de aclarar que los bloques presentes del “fluvioglacial” son muy grandes, algunos hasta de 5,0 m de diámetro y que en caso de colapso, su poder destructivo es muy alto, como quiera que estos se encuentran expuestos en laderas y/o valles de pendiente alta. Se considera que los bloques que representan un mayor potencial de inestabilidad se localizan en el sector de la capilla del barrio San Martín y un poco más aguas arriba (talud superior de la vía de acceso a la parte alta del barrio).

4.3.5 Erosión

En términos generales, la erosión presente en la zona es del tipo laminar, aunque localmente se presentan rasgos de erosión concentrada en surcos, especialmente en áreas desprovistas de vegetación y sobre la superficie de rellenos antrópicos. La erosión es el proceso morfodinámico más relevante del área de estudio; no obstante, el proceso es poco notorio debido a la presencia de viviendas y a que las áreas no urbanizadas están cubiertas de pasto.

Otro tipo de erosión relevante es la erosión diferencial en taludes constituidos por roca de diferente resistencia (areniscas y arcillolitas), como los presentes en la parte alta (costado occidental) y parte baja (costado norte) del área de estudio.

4.3.6 Procesos antrópicos

Los procesos antrópicos están relacionados principalmente con los cortes y rellenos a media ladera, es decir, se pueden relacionar con las explanaciones realizadas para la construcción de viviendas y la conformación de vías de acceso. En general los cortes son verticales y de poca altura (< 3 m) y los rellenos poco compactos y de poco espesor (1-2 m). Otro proceso antrópico consiste en el vertimiento de aguas negras, lo que contribuye con el desarrollo de suelos residuales en las zonas de cañadas y la detonación de procesos como flujos de tierra y deslizamientos (desprendimientos). A la escala de trabajo no es preciso presentar las geoformas antrópicas (terraceos o explanaciones), aunque la mayor parte de las viviendas construidas a media ladera estarían indicando la localización de una de estas geoformas.

La recarga y el corte de taludes, además del vertimiento de aguas a las zonas de cañadas pueden ser considerados como factor detonante de la inestabilidad y sin lugar a duda, los que permitirán definir el grado de amenaza actual que a la postre es cambiante con el tiempo.

4.4 FUENTES DE CONSULTA

Además de las fotografías aéreas citadas en el **Capítulo 3** (Estudio Geológico), para la realización del mapa geomorfológico y de procesos morfodinámicos se usó el mapa topográfico a escala 1:1000 realizado especialmente para el presente proyecto.

CAPÍTULO 5.0

ESTUDIO GEOTÉCNICO

5.1 INTRODUCCIÓN

Un estudio de amenaza por deslizamientos debe identificar las características básicas de esa amenaza como son: Tipo, distribución espacial, distribución temporal, intensidad de la amenaza y magnitud del evento amenazante. Esto implica que el primer paso a seguir es la identificación de los escenarios de amenaza posibles actual y futuro que puede determinar la ocurrencia de los deslizamientos o en general de los procesos de degradación del suelo.

Los escenarios son definidos por condiciones intrínsecas como geología, topografía, cobertura, régimen de aguas superficiales y subsuperficiales, entre otras; y por factores externos como lluvias, sismos y la intervención antropogénica. El objeto principal de este capítulo es la identificación de estos factores y por ende de los posibles escenarios de amenaza en la zona. Para esto se debe estudiar la relación entre los diferentes elementos y la ocurrencia o no de procesos de degradación. Para lograr estos propósitos se requiere de la identificación de las relaciones entre los diferentes elementos para definir el método de análisis apropiado tanto de estabilidad como de amenaza.

Los elementos geológicos en un marco general se han establecido en los capítulos anteriores y los de carácter hidrogeológico y sismológico serán analizados en capítulos posteriores, de manera que los alcances del presente capítulo se limitarán a la determinación de los factores intrínsecos relacionados con el comportamiento de las unidades litológicas identificadas con especial énfasis en su influencia en la estabilidad de laderas naturales, taludes de relleno y cortes. La interrelación de todos estos elementos constituye la esencia del análisis de amenaza.

La determinación del comportamiento de materiales térreos debe ser definida en lo posible por un extenso programa de experimentación tanto de campo como de laboratorio; sin embargo la escasez de recursos no permite que en la práctica común en nuestro medio se dé por completo esta base experimental, por lo que se requiere reforzar el análisis con la experiencia basada en relaciones de causalidad en condiciones geológicas similares. En este capítulo se describe en detalle el comportamiento de las unidades litológicas identificadas con base en los resultados de la experimentación de campo y laboratorio adelantada y complementada con información secundaria de unidades similares en la zona y a través de relaciones empíricas adecuadas para los materiales encontrados.

UNIÓN TEMPORAL CONSULTORES EN RIESGOS		CONTRATO CONS - 449 / 02		CAPÍTULO 5 PAG. 1	
VERSIÓN:	1.0	FECHA:	15/02/03		
ELABORÓ:	CERP	REVISÓ:	CHCR - ODC	APROBÓ:	INGEMÉTRICA LTDA.

5.2 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

La caracterización del subsuelo en la zona se basó en dos técnicas fundamentalmente: Exploración directa e indirecta. La exploración directa la constituyen aquellas técnicas que permiten un contacto directo con el material que se pretende modelar, mientras que la exploración indirecta no permite la observación del material. En el presente estudio la exploración directa se basó en el levantamiento de perfiles en afloramientos disponibles por corte y en la obtención de muestras alteradas e inalteradas a través de sondeos y apiques manuales. La exploración indirecta se obtuvo por la implementación de sondajes geoelectrónicos (SEV) y mecánicos (SPT); este último es una combinación de las dos técnicas, indirecto en el momento del ensayo, pero con posibilidad de observar el material alterado después de ensayado.

Los apiques son un método de exploración con avance y limpieza mecánica adelantados manualmente, por lo que su profundidad de exploración es limitada; sin embargo se aprovecharon los cortes artificiales de la zona para alcanzar el muestreo del material en forma de bloques que suministraron material inalterado para su posterior ensayo en laboratorio; en particular esta técnica se utilizó para obtener muestras para ensayos de resistencia de corte directo.

La observación directa de los cortes y rellenos en la zona permitió la identificación visual de las unidades litológicas y la obtención de datos estructurales de las unidades rocosas para adelantar análisis cinemáticos para identificar posibles mecanismos de falla en las condiciones actuales y futuras. Esta observación directa, además, es la base para la determinación de las características geológicas y geomorfológicas locales.

Los sondeos manuales adelantados fueron de avance mecánico a través de golpeo y limpieza por medio de barrenos helicoidales. El avance se aprovechó para llevar a cabo los ensayos de penetración con cuchara partida, lo que permite la obtención de muestras alteradas para su identificación y clasificación en laboratorio. Esta técnica permitió avanzar hasta los contactos de suelo y roca. En el presente estudio no se contó con los recursos suficientes para avanzar las perforaciones en el manto rocoso, por lo que los sondeos avanzaron hasta donde el equipo lo permitió. Las muestras alteradas obtenidas se identificaron y referenciaron para enviar a laboratorio y proceder a su clasificación. Los resultados de esta clasificación y la descripción de los materiales sirvieron de guía para obtener parámetros de resistencia a partir de correlaciones empíricas de acuerdo con el tipo de material encontrado.

El sondaje geoelectrónico permite, a través de características eléctricas de los materiales, la identificación de su localización y extensión así como la determinación de la presencia o no de aguas subsuperficiales. En este estudio en particular se consideró importante aplicar esta técnica con el fin de dilucidar la naturaleza de los depósitos del fondo de la ladera que se estudia, su espesor y extensión lateral y la presencia del agua subsuperficial. Esta técnica se debe complementar con observación directa y con los resultados de los sondeos manuales con el fin de generar un modelo geológico de la zona.

Se determinó que un factor importante en el análisis de estabilidad y de amenaza por deslizamientos era la infiltración de aguas servidas y lluvias, por lo que se hizo necesario determinar la permeabilidad de los diferentes depósitos superficiales, para lo cual se programaron seis ensayos de percolación con pared revestida.

En los siguientes numerales se describen los datos, resultados y análisis provenientes de las técnicas de exploración aplicadas con énfasis en identificar la incidencia del comportamiento mecánico e hidráulico de los materiales en la estabilidad de laderas naturales, cortes y rellenos.

5.2.1 Exploración

A continuación se describen los alcances y resultados de la exploración adelantada en la zona de estudio.

5.2.1.1 Apiques

El objetivo principal de los apiques programados fue la obtención de muestras en bloque inalteradas para adelantar sobre ellas ensayos de corte directo consolidados drenados. Estos apiques se localizaron sobre escarpes que permitieran un rápido acceso a los materiales que se querían muestrear. Con base en las observaciones de campo, se identificaron cuatro materiales diferentes: Suelos orgánicos negros, suelos residuales arenosos, suelos residuales arcillosos y rellenos antrópicos. En el **Plano 5.1** se muestra la localización de los apiques programados, los cuales se identificaron como A.P.-01 a A.P.-03.

- **Apique A.P.-01**

Este apique se programó para muestrear el suelo residual de arcillolita, la cual se alcanzó a una profundidad de 1,6 m por debajo de unos depósitos de relleno antrópico y suelos orgánicos (Ver registro de exploración A.P.-01 en el **Anexo 5-A**). A una profundidad de 1,8 m se tomó la muestra en bloque, la cual se identificó, referenció y empacó para ser enviada a laboratorio. El material muestreado corresponde a una arcilla café con raíces y rastros de arena fina, y presencia de cantos de arenisca muy meteorizada con diámetros hasta de 15 cm. Sobre esta muestra se realizaron ensayos de clasificación y corte directo.

- **Apique A.P.-02**

Este apique se programó para muestrear la matriz del depósito fluvio-glacial, el cual se alcanzó a una profundidad de 1,3 m. Por encima de este estrato se encontró el manto de suelo orgánico negro que domina la zona (Ver registro de perforación A.P.-02 en el **Anexo 5-A**). La muestra se obtuvo a una profundidad de 1,5 m, la cual puede describirse como una arcilla limo arenosa negra a gris algo orgánica; este depósito se encontró alrededor de grandes bloques de hasta 3,0 m de diámetro. Con esta muestra se caracterizó el material y se adelantó una prueba de corte directo.

- **Apique A.P.-03**

Con este apique se buscaba muestrear el suelo residual de arenisca, el cual se encontró a una profundidad de 0,8 m sobreyacido por el estrato de suelo orgánico que domina el sector (Ver registro de perforación A.P.-03, **Anexo 5-A**). Una primera muestra se tomó a una profundidad de 1,0 m, la cual se puede describir como una arcilla gris oscura con vetas café con presencia de arena fina. Una segunda muestra se obtuvo a una profundidad de 1,7 m, y se describe como una arena fina arcillosa color rojizo con vetas grises y con presencia de algunas raíces. Sobre estas muestras también se llevaron a cabo ensayos de clasificación y corte directo.

5.2.1.2 Perforaciones

El objeto principal de las perforaciones manuales que se programaron fue:

- Determinar el perfil del subsuelo en diferentes puntos de la zona de estudio.
- Obtener muestras alteradas para ser identificadas, referenciadas y enviadas al laboratorio para ser ensayadas.
- Adelantar ensayos de penetración con cuchara partida con el fin de complementar la caracterización de laboratorio.
- Determinar la presencia de agua en la zona.

El número de perforaciones programadas fue definido con base en el presupuesto disponible para esta tarea y los requerimientos técnicos respectivos. En total se ejecutaron 14 perforaciones, cuya localización se observa en el plano de localización de los puntos de exploración (**Plano 5.1**) con una profundidad promedio de 3 m, las cuales se describen a continuación.

- **Sondeo SM1**

Este sondeo alcanzó una profundidad de 3,0 m y de él se obtuvieron cinco muestras alteradas con muestreador de pared gruesa, las cuales provienen de los ensayos de penetración ejecutados cada 45 cm. Los resultados de la perforación, de los ensayos de campo y los ensayos de laboratorio se resumen en el registro de perforación P-1 (Ver **Anexo 5-A**).

En esta perforación se encontró en el primer metro un relleno limo arenoso de color negro con presencia de fragmentos de arenisca altamente meteorizada y friable, igualmente se observó presencia de raíces. Por debajo de este relleno entre las profundidades de 1,0 m y 1,6 m se encontró un estrato de suelo orgánico descrito como limo arcilloso de color negro y consistencia media a blanda. Entre 1,6 m y 2,15 m se encontró un limo areno arcilloso color café, plástico y consistencia media con presencia de raíces y oxidaciones.

Un depósito de roca se observó desde una profundidad de 2,15 m hasta 3,0 m; este material se describe como una arenisca altamente meteorizada entre limos arenosos con algo de plasticidad. Finalmente a una profundidad de 3,0 m en adelante se alcanzó el manto rocoso de arenisca de la Formación Regadera. Se

aprecia de la anterior secuencia que la descripción corresponde al perfil de meteorización de la arenisca sobreyacida por depósitos antrópicos.

Para esta perforación se adelantaron ensayos de laboratorio para clasificación e identificación en muestras obtenidas entre 1,0 y 1,5 m y entre 1,5 y 2,0 m. Los resultados se pueden observar en los registros de ensayo S1-M2 y S1-M3 (**Anexo 5-C**).

- **Sondeo SM2A**

Este sondeo no superó el metro de profundidad; sin embargo, de él se obtuvieron dos muestras con muestreador de pared gruesa, a través del ensayo de penetración, ejecutado cada 45 cm (Ver registro de perforación S2B, **Anexo 5-A**).

En la parte superior de la perforación se encontró un suelo orgánico de color café el cual se describe como un limo arenoso con presencia de fragmentos finos de arenisca; también se observó la presencia de raíces.

Por debajo de este suelo orgánico se presentó un suelo residual limo arcilloso proveniente de la arenisca. La perforación no se pudo continuar después de 1,0 m. Esta perforación también corresponde al perfil de meteorización de la arenisca sobreyacido por un relleno antrópico de poco espesor. Sobre las muestras obtenidas en esta perforación no se hizo ningún tipo de ensayo.

- **Sondeo SM2B**

Este sondeo alcanzó una profundidad total de 1,9 m y a lo largo de él se adelantó el ensayo de penetración obteniéndose muestras de pared gruesa (Ver registro de perforación S2B, **Anexo 5-A** y **Foto SM2B**).

Inicialmente se encontró un limo areno arcilloso de color café oscuro a negro con fragmentos finos de arenisca correspondiente a un relleno antrópico de poco espesor. Este estrato presenta una humedad media y se observaron raíces; este material aparece hasta una profundidad de 0,9 m. Por debajo de este limo y hasta una profundidad de 1,4 m se encontró un limo arcilloso de color gris claro a amarillo con algunas oxidaciones e igualmente presenta algunos fragmentos de arenisca oxidados. Finalmente se tiene un suelo residual de arcillolita con alta plasticidad y tonalidades violáceas, el cual se observó hasta una profundidad de 1,9 m donde se suspendió el sondeo.

De este sondeo se obtuvieron tres muestras, de las cuales se hicieron ensayos de laboratorio sólo para las obtenidas a 0,4 y 0,9 m (Ver resultados de laboratorio S2B-M1 y S2B-M2, **Anexo 5-C**). En este caso el perfil corresponde al residual de arcillolita.

- **Sondeo SM3**

En este sondeo se alcanzó el manto rocoso a una profundidad de 5,0 m. Los primeros 3,2 m corresponden a un relleno antrópico de consistencia firme, en el

cual se observa la presencia de fragmentos de arenisca embebidos en una matriz areno limosa de color café. De este material de relleno se obtuvieron dos muestras alteradas con muestreador de pared gruesa. Las muestras obtenidas en este sondeo no fueron ensayadas.

Por debajo del relleno se encontraron unos limos arenosos de color café oscuro a negro correspondientes a un suelo orgánico el cual contiene fragmentos finos de arenisca; tal depósito en este sondeo presentó un espesor de 1,3 m; de este depósito se obtuvieron dos muestras. Subyaciendo este suelo orgánico se encontró un estrato de arenisca de grano fino meteorizada color amarillento a naranja; este manto rocoso aparece desde una profundidad de 4,5 m hasta el fin de la perforación que fue de 5,0 m; del ensayo de penetración también se obtuvo material alterado de este depósito. Según la descripción anterior este sondeo registra un perfil de meteorización poco profundo de la arenisca sobreyacido por un relleno de gran espesor.

- **Sondeo SM4**

En este sondeo sólo se pudo avanzar hasta una profundidad de 3,0 m, a la cual se encontró el manto rocoso de arenisca. En este caso también aparece en la parte superior un relleno antrópico de 2,0 m de espesor, por debajo del cual aparece el suelo orgánico limo arenoso de color negro y alta plasticidad con un espesor de 0,8 m; finalmente se tiene el suelo residual de la arenisca que corresponde a un limo arcilloso.

En esta perforación, como en todas las demás, se avanzó con el ensayo de penetración de muestreador de cuchara partida obteniéndose cinco muestras alteradas, tres del relleno, dos del suelo orgánico y una del residual; de estas muestras solamente se ensayó la muestra S4-M3, que corresponde a la parte inferior del relleno antrópico.

- **Sondeo SM4B**

Este sondeo complementa la caracterización del depósito descrito en el sondeo SM4; estos dos sondeos se localizaron a lo largo de una de las zonas que se identificaron como propensas a flujos de tierra. En este caso se tiene un relleno antrópico hasta una profundidad de 0,8 m, por debajo del cual no se recuperó muestra; presumiblemente se trata del mismo relleno pero en una condición más suelta y húmeda que no permitió recobro. Este segundo estrato se prolongó hasta una profundidad de 1,3 m en la cual aparece un suelo residual limo arcilloso proveniente de meteorización de la arenisca. Por debajo de éste, desde una profundidad de 1,8 m, se presenta un limo arenoso seco color café oscuro con presencia de fragmentos finos de arenisca y raíces. Desde los 2,3 m se tiene un limo arcilloso color amarillo claro a grisáceo, el cual sobreyace el manto rocoso de arenisca.

En esta secuencia se observa una inconsistencia al encontrarse un suelo residual sobre el estrato de suelo orgánico; posiblemente en lugar de un depósito residual es la continuación del relleno antrópico superior. De este sondeo se recuperó material

con el tubo de pared gruesa entre los 1,3 y 1,8 m y los 1,8 y 2,3 m; esta segunda muestra se empleó para clasificación del material.

- **Sondeo SM5**

El sondeo SM5 se programó con el fin de caracterizar la ladera de contra pendiente estructural hacia el occidente del área de estudio. En esta perforación se encontró un relleno antrópico de 0,6 m de espesor sobreyaciendo el suelo orgánico negro, el cual en esta locación presentó un espesor de 0,9 m. Por debajo de los 1,5 m se tiene un suelo residual descrito como un depósito altamente alterado de arcillolita-arenisca; por debajo de los 2,0 m ya aparece el estrato rocoso de arenisca (ver **Foto SM5**).

En este sondeo se recuperaron tres muestras con tubo de pared gruesa, de las cuales una se utilizó para caracterizar la obtenida entre los 0,5 y 1,0 m que corresponde al suelo orgánico, en este caso muy arenoso.

- **Sondeo SM6**

Este sondeo se localizó para caracterizar el depósito susceptible a flujos de tierra en el sector norte de la zona. La perforación alcanzó una profundidad de 2,5 m en donde se encontró la roca (ver **Foto SM-6**).

En este caso superficialmente apareció el suelo limoso orgánico negro el cual presenta oxidaciones y raíces; el espesor del estrato en este punto es de 1,2 m, luego aparece un suelo residual arcillo arenoso de color amarillo a café con presencia de fragmentos de arenisca altamente meteorizada y raíces. Este segundo estrato va desde 1,2 m hasta 2,3 m, en donde encuentra un depósito de arcillolita limosa.

Se obtuvieron tres muestras de esta perforación (Ver registro de perforación SM6, **Anexo 5-A**), de las cuales se utilizó la que se obtuvo entre 1,0 y 1,5 para clasificación.

- **Sondeo SM7**

Al igual que el sondeo SM6 se pretende caracterizar el material de la zona de potenciales flujos de tierra al norte del área. En esta ocasión se observó un relleno antrópico hasta una profundidad de 1,2 m; por debajo de este relleno se presentó el suelo orgánico limo arenoso de color negro plástico y humedad media y presencia de raíces. Entre los 2,3 y los 4,0 m se encontró un depósito de arenisca meteorizada con presencia de fragmentos de arenisca tamaño grava; por debajo de los 4,0 m se alcanzó el manto rocoso de arcillolita.

En total de esta perforación se recuperaron siete muestras alteradas (Ver registro de perforación SM7, **Anexo 5-A**), de las cuales solamente 3 se utilizaron para clasificación correspondientes a las muestra 3, 4 y 7, cuyos resultados se presentan en los registros de laboratorio SM7-M3, SM7-M4 y SM7-M7 (**Anexo 5-C**). Con base

en la anterior descripción esta perforación se localiza sobre un perfil de meteorización de la arenisca que sobreyace un manto de arcillolita.

- **Sondeo SM7A**

Este sondeo se localizó junto con el apique AP-03 cerca del tanque de agua de la parte superior del costado norte de la zona. Esta perforación alcanzó una profundidad de 5,0 m hasta encontrar manto rocoso de arenisca.

En la parte superior se observó un relleno antrópico tipo limo areno-arcilloso color negro con presencia de raíces, que corresponde al depósito de material de excavación del suelo orgánico que domina la zona. Entre los 1,9 m y 2,4 m se encuentra el suelo orgánico *in situ* descrito como un limo orgánico color negro con presencia de raíces. Entre los 2,4 m y 3,5 m se tiene un suelo residual areno arcilloso de color café con fragmentos finos de arenisca alterada. A partir de una profundidad de 3,5 m y hasta los 4,5 m se observa un estrato de arenisca altamente meteorizada evolucionando a arcillas arenosas; después de los 4,5 se alcanzó el manto de arenisca. En esta perforación se encontró el nivel freático a 1,8 m de profundidad.

De este sondeo se recuperaron cuatro muestras alteradas, de las cuales sólo la muestra SM7A-M4 a una profundidad de 3,0 se empleó para fines de clasificación. Por las observaciones se tiene un perfil de meteorización de arenisca.

- **Sondeo SM8**

El sondeo SM8 se programó para caracterizar los rellenos antrópicos de la parte central del área; en este caso se encontró un relleno de una profundidad de 1,5 m sobreyaciendo el manto de arenisca altamente meteorizada, por lo que la profundidad total del sondeo no superó los 2,0 m. El relleno se describe como el producto de excavaciones de suelo residual de arenisca (Ver registro de perforación SM8, **Anexo 5-A**).

Las dos muestras obtenidas de esta perforación fueron empleadas para clasificación del material (Ver registro de laboratorio SM8-M1 y SM8-M2, **Anexo 5-C**).

- **Sondeo SM9**

El sondeo SM9 se localizó junto al apique A.P-01, buscando caracterizar la zona de potenciales flujos de tierra en el costado norte del sector en estudio. En este sondeo se identificó el relleno antrópico constituido por arenas finas limosas de color amarillo a negro con lentes de arcilla arenosa y fragmentos finos de arenisca. Entre los 1,5 m y los 2,3 m se tiene un suelo orgánico negro arcilloso con presencia de raíces, muy plástico y húmedo. Por debajo de este suelo orgánico se encontró un suelo residual arcillo limoso de color café oscuro con fragmentos de arenisca altamente meteorizada. La perforación solo se pudo adelantar hasta una profundidad de 3,0. A una profundidad de 2,0 m se encontró el nivel freático (Ver registro de perforación SM9, **Anexo 5-A**).

Un total de 4 muestras fueron recuperadas de este sondeo, de las cuales 3 fueron utilizadas para clasificación de acuerdo con los resultados presentados en los registros de laboratorio SM9-M2, SM9-M3 y SM9-M4, del **Anexo 5-C**.

- **Sondeo SM10**

El sondeo SM10 se programó para caracterizar el material de la parte baja de la zona donde potencialmente se pueden presentar flujos de tierra en el sector central del área (Ver plano de localización de puntos de exploración, **Plano 5.1**). Esta perforación alcanzó una profundidad total de 3,5 m. Superficialmente se encontró un relleno antrópico consistente en arenas arcillosas y arcillas grises con presencia de raíces; este relleno tiene un espesor de 1,6 m. Por debajo del relleno se tiene un suelo limo arcilloso orgánico color negro con un espesor de 0,4 m. Entre los 2,0 y los 3,0 m se observa un depósito de arenas arcillosas de grano fino con fragmentos de arenisca; finalmente en la base de la perforación se encontró el manto de arenisca arcillosa y arcillolitas.

De acuerdo con esta descripción el perfil es un depósito de residual de arenisca descansando sobre arcillolita y sobreyacido por un relleno antrópico. El nivel freático apareció a una profundidad de 1,3 m por debajo de la superficie del terreno. Un total de seis muestras fueron recuperadas de esta perforación, de las cuales dos se emplearon para clasificación, como fueron las denominadas SM10-M3 y SM10-M4 (Ver registros de laboratorio, **Anexo 5-C**).

- **Sondeo SM11**

Este sondeo sólo alcanzó avanzar hasta 1,5 m, de los cuales los primeros 0,8 m corresponden a un relleno antrópico limo arenoso color negro con fragmentos de arenisca altamente meteorizada. Entre los 0,8 m y los 1,5 m se encontró un suelo residual areno limoso sobreyaciendo el manto de arenisca. En esta perforación no se identificó nivel freático. De este sondeo no se obtuvieron muestras.

- **Sondeo SM12**

Este sondeo se programó para identificar y caracterizar los depósitos del sector de contra pendiente estructural en la parte baja del Barrio San Ignacio (Ver plano de localización, **Plano 5.1**). Este sondeo sólo pudo avanzar 2,0 m. Los primeros 0,8 m corresponden a un relleno antrópico yaciendo sobre un suelo limoso orgánico de color negro de un espesor de 0,6 m. Finalmente, desde una profundidad de 1,4 m hasta los 2,0 m se identificó el manto de arcillolita grisácea con tonalidades violeta. En este sondeo tampoco se localizó nivel freático ni se recuperaron .

5.2.1.3 Sondajes geoelectrónicos (perfilajes)

Con el fin de determinar espesores de los depósitos encontrados en la zona, identificar la posición del nivel freático y en particular para identificar la naturaleza del depósito de la parte inferior del valle, se programaron dos perfilajes

geoeléctricos (tomografías), las cuales se calibraron cada una con un Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) con un esquema tipo Schlumberger. Uno de los sondeos se programó en la parte baja de la zona y el otro en la parte alta para poder referenciarlos y asociarlos con los demás resultados de exploración.

- **Sondaje PEC-01**

Corresponde al perfilaje de la parte alta de la zona, en el Barrio San Martín (Ver plano de localización de puntos de exploración, **Plano 5.1**) y se calibró con el SEV-01. Los resultados de este sondeo se observa en la gráfica PEC-01 y el SEV de calibración en el registro SEV-01 (**Anexo 5-D**).

Con este sondeo se identificó un nivel compuesto principalmente por bloques de gran diámetro, con un espesor aproximado de 5,5 m, el cual reposa sobre rocas sedimentarias, intercalaciones de arenisca y arcillolita. De acuerdo con el perfil, este nivel de bloques se encuentra parcialmente cubierto por un nivel de suelo. Con el sondeo no se identificó presencia de aguas subterráneas.

- **Sondaje PEC-02**

Este sondeo se ejecutó en la parte baja de la zona, en el Barrio San Ignacio (Ver plano de localización de puntos de exploración, **Plano 5.1**) y se calibró con el SEV-02. Los resultados se pueden observar en los registros PEC-02 y SEV-02 en los anexos del presente capítulo. (**Anexo 5-D** y Foto **PEC-02**).

La respuesta eléctrica del depósito en este sondeo es similar al del primero interpretándose como la presencia de grandes bloques en un depósito de aproximadamente un espesor total de 7,5 m, el cual se encuentra cubierto por un depósito de material homogéneo, principalmente finos, que puede alcanzar hasta los 6,0 m de espesor. Estos depósitos se desarrollan sobre rocas sedimentarias, intercalaciones de arenisca y arcillolita. En este registro tampoco se identifica la presencia de aguas subterráneas.

5.2.1.4 Ensayos de percolación

Debido a la importancia de las aguas servidas y los desagües de aguas lluvias y negras, se consideró importante determinar la permeabilidad de los diferentes depósitos de suelo identificados en las observaciones de campo. Con el fin de obtener un orden de magnitud de la permeabilidad a un bajo costo se programaron seis ensayos de percolación con pared revestida, de modo que se cubrieran los diferentes horizontes, los cuales se localizan en el plano de exploración con símbolos E.P-01 a E.P-06. En este caso se utilizó tubería de PVC de 4 pulgadas de diámetro. Los datos y resultados de estos ensayos se observan en los registros de percolación 1 a 6 de los anexos (**Anexo 5-E** y **Foto E.P.-01** y **E.P.-02**).

La permeabilidad fue calculada a través de aplicar la ecuación de infiltración de Green-Ampt, para lo cual se asume que la infiltración es vertical, que la permeabilidad del estrato es igual a la velocidad de infiltración y que el caudal que ingresa al suelo es igual a diferencia de cabeza de posición en el tubo de ensayo

por el área del tubo por el tiempo entre dos lecturas sucesivas. El valor de permeabilidad entre dos lecturas sucesivas se determina para cada intervalo de tiempo y la del estrato se obtiene por el promedio de todas las lecturas efectuadas. Aunque el cálculo de la permeabilidad se hace bajo suposiciones importantes, este procedimiento da una buena aproximación del orden de magnitud de este parámetro.

5.2.1.5 Toma de datos estructurales

Debido a la presencia de afloramientos de roca fracturada sobre algunas viviendas, se hace importante en el estudio de amenaza el análisis cinemático de los bloques que se forman por las familias de discontinuidad en cada zona. Los datos estructurales requeridos para este fin se obtuvieron de los afloramientos rocosos que han sido dejados por labores de excavación en la zona. En total se tomaron datos en seis locaciones, las cuales se identifican en el plano como puntos T-I a T-VI. El registro de datos se consignan en las hojas anexas a este capítulo. (**Anexo 5-F**).

Los análisis cinemáticos y de estabilidad se presentarán en el capítulo de amenaza, por lo que en este se presentan únicamente los datos obtenidos en campo.

5.2.2 Caracterización geotécnica

Una vez identificados los diferentes depósitos presentes en la zona a partir de observaciones de campo, ensayos de campo y laboratorio, se requiere definir las características físicas y mecánicas de las diferentes unidades que serán empleadas en los análisis de estabilidad y de amenaza como se describe en la siguiente sección.

Las principales unidades de suelo identificadas son: Rellenos antrópicos (Qra), suelo orgánico limoso color negro (Qsn), suelo residual arenoso producto de la meteorización de las areniscas, suelo residual arcilloso por meteorización de la arenisca, y suelos residuales arcillosos provenientes de la meteorización de las arcillolitas, todos estos últimos agrupados como una sola unidad designada como Qsr. A continuación se describen las principales características físicas y mecánicas de cada una de estas unidades, las cuales se obtuvieron del análisis comparativo y complementario de los resultados de la identificación en la etapa de exploración, de los resultados de las pruebas de campo interpretadas con ayuda de relaciones empíricas y de los resultados de las pruebas de laboratorio. En las **Tablas 5.1 y 5.2** se presentan los cuadros resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio adelantados y los ensayos en el **Anexo 5-C**.

5.2.2.1 Rellenos antrópicos (Qra)

Estos depósitos se han identificado como limos arcillosos o arcillas limosas de color negro con presencia de fragmentos de areniscas y raíces de espesor variable entre 0,5 a 3,0 m. El contenido de humedad de estos depósitos es variable, sin embargo, se encuentra que en las zonas bajas de las cañadas los contenidos de humedad son mayores que en los depósitos en las crestas y bordes de la ladera. El origen de

estos rellenos es la disposición de los desechos producto de excavaciones realizadas para construcción de vías y viviendas, los cuales se han depositado por simple volteo y no se han sometido a ningún proceso de estabilización, por lo que se encuentran muy sueltos.

- **Propiedades físicas**

En general los rellenos antrópicos se caracterizan por presentar un alto contenido de arcilla (mayor al 85% en peso seco), cuando provienen de la excavación del suelo orgánico superior, por lo que su comportamiento dependerá del contenido de humedad y su relación con los límites de consistencia. Algunos de estos rellenos son producto de excavaciones de suelo residual de arenisca en cuyo caso el contenido de arcilla disminuye; sin embargo, siempre es superior a 45%. La humedad natural para la época de la exploración de campo, época seca, fluctúa entre el 15 y 25% y como se comentó anteriormente el contenido de humedad aumenta para las zonas bajas de las hondonadas en la zona.

Los rellenos provenientes del suelo orgánico clasifican como CL según el sistema de clasificación de la USCS, el cual proviene de presentar un límite líquido entre 27 y 30%, un límite plástico entre 14 y 16% y un índice de plasticidad de alrededor de 13%. Según estos índices, la humedad natural está alrededor del límite plástico por lo que son depósitos de consistencia firme a media en época seca; sin embargo, con el aumento de la humedad, el material reblandece al pasar la humedad hacia los niveles del límite líquido, por lo que se espera que estos materiales en épocas invernales se inestabilicen fácilmente.

Los rellenos provenientes del suelo residual de arenisca clasifican como SC en el sistema USCS, por tener un alto contenido de arcilla cuyo límite líquido es de aproximadamente 26%, límite plástico de 14% y humedad natural de 19%.

El peso unitario de estos rellenos en general es muy bajo. Se reporta un peso unitario de 21 kN/m³ para uno de los materiales ensayados; sin embargo, pueden esperarse valores muy diversos por depender del grado de compactación en que se encuentren.

- **Propiedades mecánicas**

Del ensayo de percolación se estimó una permeabilidad promedio de este estrato del orden de 2×10^{-5} cm/seg. Los ensayos de penetración estándar en campo muestran que, en general, los rellenos reportan, en promedio, un número de golpes entre 3 y 9 con una moda de 4, lo que muestra su estado suelto de compactación, lo que los hace muy susceptibles a deslizarse. Con base en correlaciones empíricas y después de corregir por energía y por nivel de confinamiento el número de golpes/pie y normalizado al 60% de la energía teórica, se obtiene que a estos materiales cuando son esencialmente arenosos se les puede asignar un ángulo de fricción de 28° , mientras que cuando son arcillosos se les puede asignar una resistencia al corte no drenada de aproximadamente 30 kN/m². En el **Anexo 5-G** se presentan las tablas de determinación de parámetros de resistencia a partir de los ensayos de penetración.

5.2.2.2 Suelo orgánico color negro (Qsn)

En los sondeos y en las observaciones de campo se identificó un suelo limoso orgánico color negro, el cual corresponde a un horizonte de suelo completamente meteorizado con espesores entre 0,5 y 1,5 m. Estos depósitos en algunas áreas se encuentran deformados dentro de cañadas u hondonadas, presentando contenidos de humedad mayores y resistencia al corte menor. Estos últimos fueron clasificados de manera diferente en el mapa geológico (Qsd), sin embargo desde el punto de vista geotécnico corresponden al mismo material.

- **Propiedades físicas**

El contenido de arcilla de este estrato es muy variable oscilando entre 45% y 90%. Presumiblemente estas variaciones están asociadas con el tipo de material parental del que provienen, siendo los de mayor contenido de material arcilloso aquellos asociados con meteorización de arcillolita, mientras que aquellos más arenosos y con fragmentos de arenisca están asociados con perfiles de meteorización de areniscas.

Los depósitos más arcillosos se clasifican, en general, como materiales CL en el sistema de clasificación USCS. En promedio muestran un límite líquido entre 35 y 42%, un límite plástico entre 20 y 32%, con índices de plasticidad promedio de 20% con contenidos de humedad variables entre 6 y 25%, siendo más húmedas aquellas localizadas en hondonadas. Los depósitos más arenosos clasifican como SC, su fracción fina presenta un límite líquido de alrededor de 25%, un límite plástico de 13% y un índice de plasticidad de 12%. El contenido de humedad de estos suelos también es variable con valores del orden de 16%. El peso unitario de estos suelos es del orden de 22 kN/m³.

- **Propiedades mecánicas**

Para este depósito se estimó una permeabilidad del orden de 8×10^{-6} cm/seg. Estos materiales reportan una resistencia al ensayo de penetración estándar entre 6 y 24 golpes/pie, con un promedio de 12 golpes/pie. Los valores inferiores están

asociados con contenidos de humedad mayores. Con base en los resultados del ensayo y una vez realizada la corrección y normalización se obtuvo para los materiales más arenosos un ángulo de resistencia entre 28 y 32°, mientras que para los más arcillosos se tiene una resistencia al corte no drenada entre 28 y 37 kN/m².

De los ensayos de corte directo consolidados drenados ejecutados se pueden asignar los siguientes parámetros de resistencia drenada: Suelos arenosos (SC), $c'=18$ kN/m², $\phi'=27^\circ$; suelos arcillosos (CL), $c'=62$ kN/m², $\phi'=12^\circ$.

5.2.2.3 Suelo residual de arenisca (Qsr)

Dentro del perfil de meteorización de la arenisca se distinguen dos tipos de material dependiendo del grado de meteorización. Un primer tipo corresponde a suelos arenosos con menor grado de meteorización, mientras que en un estado más avanzado de alteración se puede distinguir un suelo más arcilloso. El espesor de estos depósitos residuales en promedio está entre 0,2 m y 1,7 m con una media entre 0,5 y 0,8 m. En los ensayos de percolación no se distingue claramente el estrato para el cual se determinó la permeabilidad, por lo que se asume el mismo valor para juntos horizontes igual a 1.5×10^{-6} cm/seg.

- **Suelos arenosos**

Los depósitos arenosos producto de la meteorización de la arenisca se caracterizan como materiales SC en el sistema de la USCS, con un contenido de material fino entre 35 y 45%, el cual presenta un límite líquido entre 18 y 20%, un límite plástico entre 10 y 12%, con índices de plasticidad entre 6 y 8% y humedad natural entre el 7 y 10%. El peso unitario es en promedio de 23 kN/m³.

Por otra parte los ensayos de penetración estándar arrojaron para estos depósitos valores de resistencia entre 18 y 30 golpes/pie con media entre 20 y 22 golpes/pie. Con base en estos valores se estima un ángulo de resistencia entre 32 y 37°. El ensayo de corte sobre este material arroja unos parámetros de resistencia drenada de: $c'=38$ kN/m², $\phi'=28^\circ$.

- **Suelos arcillosos**

Los estratos arcillosos de la meteorización de la arenisca, por su parte, clasifican como un material CL con un contenido de finos superior al 90%, límite líquido entre 36 y 45%, límite plástico entre 19 y 20%, índice de plasticidad entre 17 y 25% y una humedad natural alrededor de 18%. El peso unitario de este suelo también es del orden de 23 kN/m³.

La resistencia por el ensayo de penetración estándar da un valor entre 13 y 27 golpes/pies con un valor medio de 18 golpes/pie. Con base en los resultados del ensayo de penetración, se estima una resistencia al corte no drenada del orden de 70 kN/m². Por otra parte, del ensayo de corte directo se estiman unos parámetros de resistencia drenada de: $c'=39$ kN/m², $\phi'=25^\circ$.

5.2.2.4 Suelo residual de arcillolita (Qsr)

- **Propiedades físicas**

Los depósitos de suelo residual de las arcillolitas clasifican como materiales CH en el sistema de la USCS, con un contenido de finos superior al 90%, los cuales presentan un límite líquido de 60%, límite plástico de 35%, índice de plasticidad de 25% y una humedad natural de 35%, lo que la caracteriza por su consistencia muy firme. El peso unitario de este material es de 23 kN/m³.

- **Propiedades mecánicas**

La permeabilidad promedio de este estrato se estimó del orden de 2.5×10^{-4} cm/seg. En el ensayo de penetración estándar estos materiales mostraron una resistencia entre 30 y 34 golpes/pie lo que representa una resistencia al corte no drenada del orden de los 120 kN/m².

5.2.2.5 Areniscas de la Formación Regadera (Ter-a)

Con base en los resultados encontrados en los informes regionales de amenaza, se pueden adoptar las siguientes características para los estratos rocosos de arenisca de la Formación Regadera

- **Propiedades físicas**

El peso unitario varía entre 1,8 y 2,2 t/m³, mientras que se reportan valores de peso específico de sólidos entre 1,8 y 2,2.

- **Propiedades mecánicas**

Se han reportado valores de resistencia a la compresión confinada entre 50 y 120 kN/m². Por otra parte se pueden tomar como valores de parámetros de resistencia drenados $c = 0,8-1,0$ kg/cm² y $\Phi = 29,5-33,5^\circ$.

5.2.2.6 Arcillolitas de la Formación Regadera (Ter-ar)

Al igual que en el caso de las areniscas de la Formación Regadera, las características físicas y mecánicas de las arcillolitas se tomaron de informes regionales.

- **Propiedades físicas**

Para este material se reporta un peso unitario entre 1,5 y 2,1 T/m³, con un peso específico de sólidos entre 1,6 y 2,4.

- **Propiedades mecánicas**

Se pueden tomar como valores de parámetros de resistencia drenados $c = 0,4-0,8$ kg/cm² y $\Phi = 25-30^\circ$.

5.2.3 Perfiles de análisis

Con base en las secciones geológicas típicas de la zona, de la caracterización geotécnica de las diferentes unidades de suelo encontradas, de las características topográficas y de la posible alteración de las condiciones actuales por la intervención humana, se han identificado los siguientes escenarios de estudio de estabilidad y de amenaza:

- Rellenos antrópicos
- Perfil de meteorización de arenisca sin intervención humana
- Perfil de meteorización de arenisca sometido a cortes
- Perfil de meteorización de arcillolita sin intervención humana
- Perfil de meteorización de arcillolita sometido a cortes
- Afloramientos rocosos
- Bloques individuales pertenecientes al depósito fluvio glacial en la base del valle

A continuación se describe brevemente cada uno de estos escenarios y los métodos de análisis de estabilidad y de evaluación de amenaza aplicables en cada caso. La influencia de las lluvias se analizará considerando diferencias en la posición del nivel freático. Para la influencia de los sismos se tomarán los parámetros sísmicos y sismos de diseño utilizados en el estudio de amenaza sísmica de la ciudad.

5.2.3.1 Rellenos antrópicos

Como se observó en la descripción de los perfiles del subsuelo y de las observaciones de campo, los rellenos antrópicos son de muy diversa naturaleza y morfometría, por lo que es conveniente analizar un amplio rango de posibilidades.

En este caso se analizarán rellenos con diferente espesor e inclinación con el fin de determinar alturas y ángulos de inclinación de la cara de los rellenos críticos tanto para las condiciones actuales y futuras, de manera que se considere la influencia de las lluvias, y los sismos en su estabilidad.

Los análisis de estabilidad para estos materiales se harán por medio del método de equilibrio límite. Por su composición y naturaleza, es de esperar que estos materiales fallen en mecanismos rotacionales o como flujos de tierra cuando se saturan. A partir de la variación de los parámetros que influyen en el proceso de inestabilidad se plantearán cartas de estabilidad de estos rellenos, con base en las cuales se evaluará el nivel de amenaza de los rellenos actuales y se contará con una carta de amenaza para situaciones potenciales futuras.

Las cartas de amenaza serán construidas a partir de definir amenaza en términos del Factor de Seguridad (F. S.), para condiciones sísmicas de diseño, se obtendrá una carta de amenaza a partir del método del bloque deslizante con base en los desplazamientos esperados.

La sección típica de análisis se muestra esquemáticamente en la **Figura 5.1**, para la cual se considerarán los parámetros de resistencia y peso unitario promedio descritos en la sección anterior. Como inclinación del terreno natural se tomará la pendiente media de la ladera de pendiente estructural.

Las secciones 3-3, 5-5 y 6-6 marcadas en el **Plano 3.2** (Plano Geológico), muestran cortes reales de algunos de los depósitos antrópicos existentes.

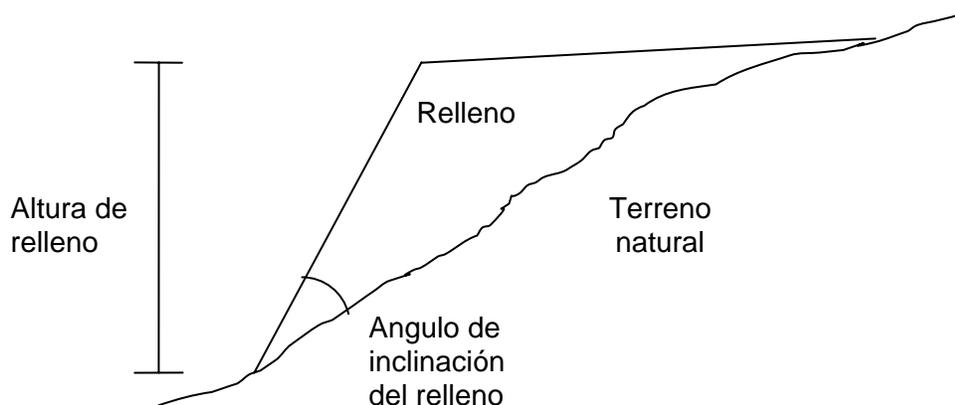


Figura 5.1. Sección típica de análisis para rellenos antrópicos.

5.2.3.2 Perfil de meteorización de arenisca

Los perfiles típicos de meteorización de arenisca que se describieron en la sección anterior muestran que estos se componen de tres unidades por encima de la roca sana a saber: Roca meteorizada de tipo arenoso, roca altamente meteorizada de tipo arcilloso y suelo orgánico. Con base en los sondeos manuales y los resultados de los ensayos de campo y laboratorio se definen las características promedio de cada una de estos estratos para ser empleados en análisis de estabilidad y de amenaza, tanto en condición drenada como no drenada.

Los análisis de estabilidad de este tipo de depósito se basa en equilibrio límite de falla planar en condiciones en que se tiene la ladera sin intervención humana (sin cortes ni rellenos). Par las condiciones futuras, sin intervención humana se incluirán en el análisis la influencia de las lluvias y los sismos en este mismo mecanismo de falla. Para análisis de amenaza por sismo se determinarán los desplazamientos por el método del bloque deslizante.

La intervención humana sobre este tipo de depósito se considera primero analizando la estabilidad del depósito bajo la influencia de sobrecargas (peso de

viviendas y rellenos) tanto para condiciones normales como para condiciones de lluvia y sismo. Los análisis conducirán a establecer cartas de estabilidad y de amenaza que tomen en cuenta los diferentes escenarios que surjan de variar los factores que intervienen en el análisis. La **Figura 5.2** muestra el perfil típico de análisis para este tipo de depósito.

Las secciones 1-1 y 4-4 marcadas en el **Plano 3.2** (Plano Geológico), muestran cortes reales de algunos de los depósitos residuales de arenisca existentes que aún presentan el suelo orgánico superficial, mientras que las secciones 2-2 y 3-3 muestran perfiles de depósitos a los que ya se les ha removido dicho estrato.

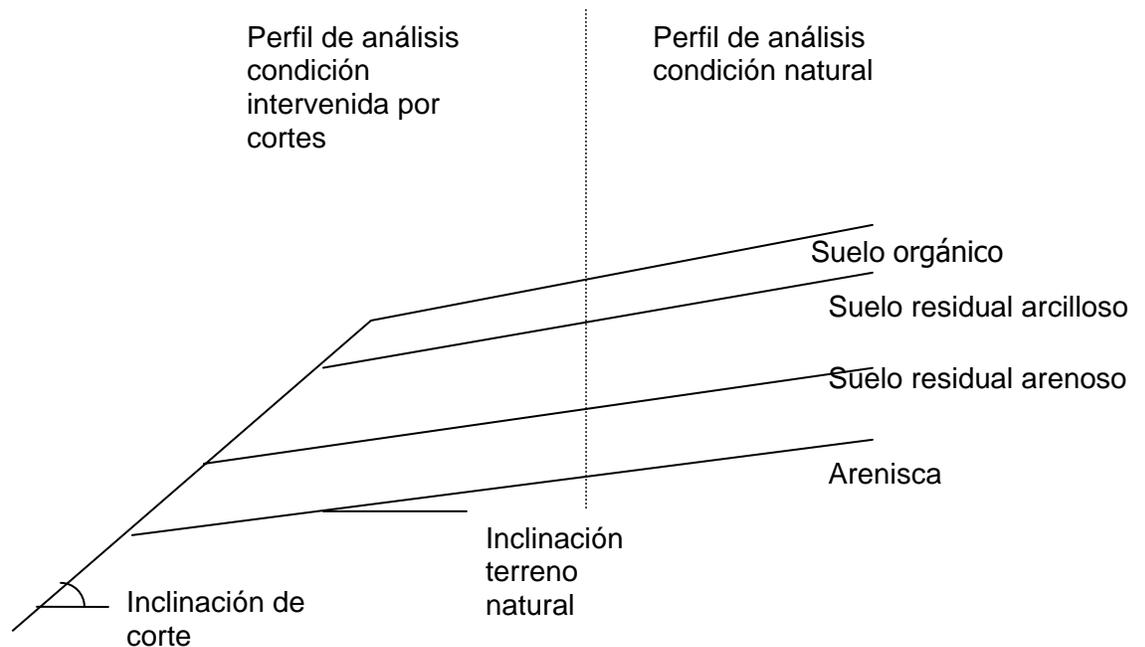


Figura 5.2. Perfil típico de análisis para depósito residual de arenisca

Los perfiles antes mencionados y esquematizados en las **Figuras 5.1 y 5.2** corresponden a las secciones de análisis en las unidades de Pendiente Estructural, para las unidades en Contra Pendiente se pueden esquematizar como aparece en la **Figura 5.3**. Este tipo de perfil puede verse en la sección 3-3 del **Plano 3.2**.

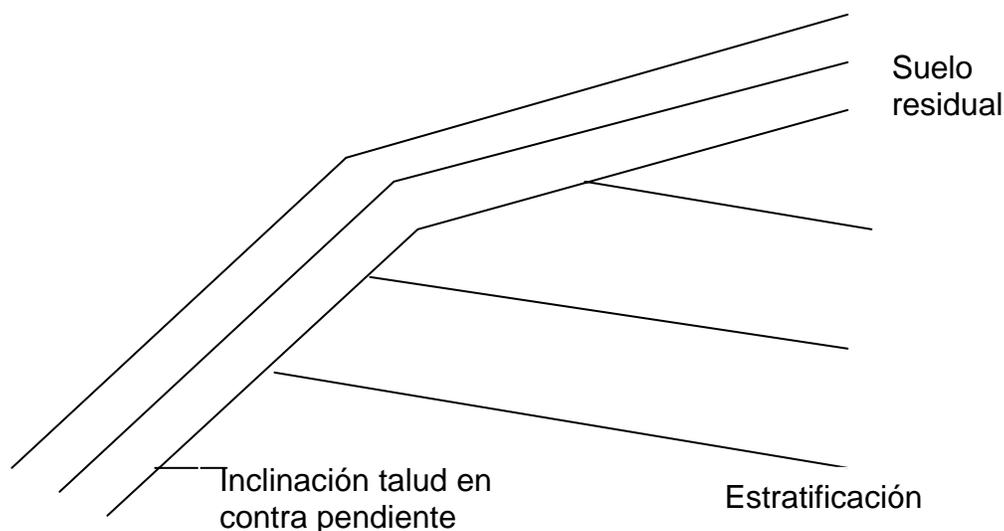


Figura 5.3. Perfil de análisis de suelos residuales en contra pendiente estructural.

Los mecanismos de falla en contra pendiente son similares a los de pendiente estructural, la generación de suelos residuales estratificados sugieren la falla planar a lo largo de las interfaces o rotacionales cuando los espesores son grandes. Se asume que la inclinación del estrato inferior sobre el cual se deslizan los superiores es igual a la inclinación del terreno, lo que corresponde a asumir que la profundidad de meteorización es uniforme a lo largo de todo el talud.

5.2.3.3 Perfil de meteorización de arcillolita

En este caso se identificó que por encima de la arcillolita se presenta un estrato de arcilla producto de la meteorización y por encima de éste el depósito de suelo orgánico negro, de manera que el perfil de análisis es más simple que el de la arenisca y se observa en la **Figura 5.4**. Los análisis y posibles escenarios actuales y futuros son los mismos que los planteados para la arenisca. Una sección real de este tipo de perfil se observa en la parte superior del corte 5-5 del **Plano 3.2**.

5.2.3.4 Afloramientos rocosos

Para los afloramientos rocosos se hace un análisis cinemático para determinar la posibilidad de falla de los cortes en los sitios identificados. En este caso no se hace evaluación de amenaza, se limitará a identificar las direcciones de corte críticas para las condiciones de diaclasamiento y estratificación presentes con base en la posibilidad cinemática de movimiento. Algunos de estos afloramientos se pueden ver en las secciones presentadas en el **Plano 3.2**.

5.2.3.5 Estabilidad de los bloques individuales de fluvio glacial

Se observa que existen algunos bloques individuales en superficie, para los cuales la matriz ha sido erodada natural o artificialmente, por lo que conviene estudiar la posibilidad de que estos bloques se movilicen. Este análisis se basará en equilibrio límite, el cual permite analizar la estabilidad en condiciones sísmicas mediante análisis pseudo estáticos.

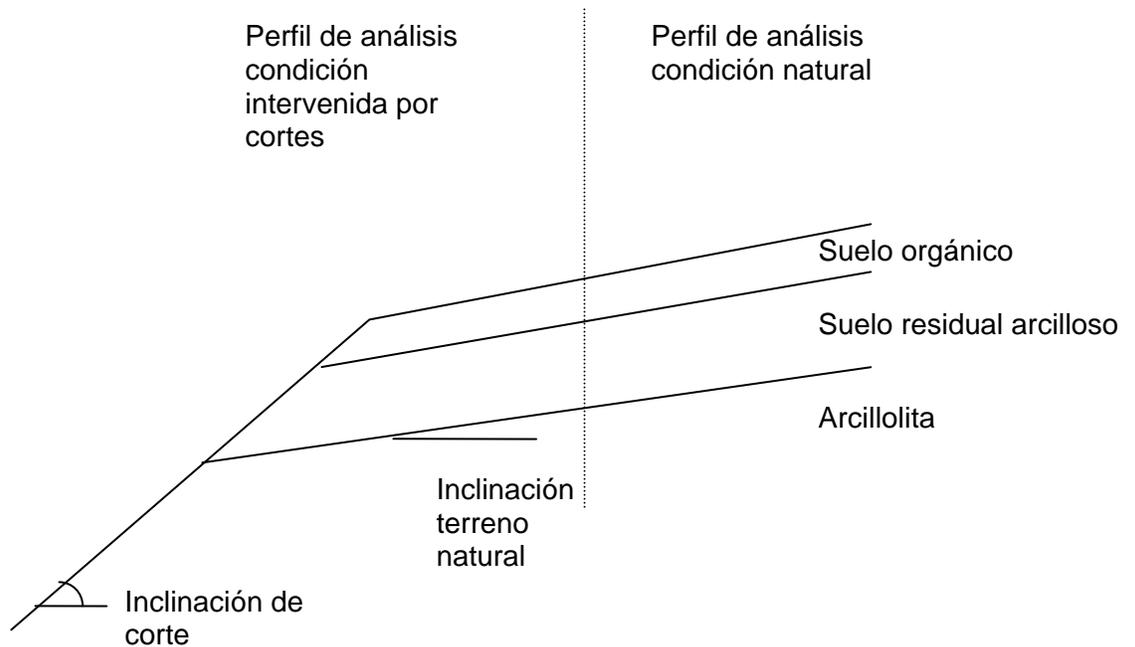


Figura 5.4. Perfil típico de análisis para depósito residual de arcillolita

En el capítulo de amenaza se analizan los escenarios identificados y se presentan los resultados de los análisis de estabilidad y evaluación de amenaza.

5.3 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

Con base en la caracterización geotécnica descrita en el numeral anterior para cada una de las unidades superficiales encontradas en el área de estudio se estableció una zonificación geotécnica preliminar, la cual fue complementada con información sobre relieve en particular con la pendiente y forma en planta.

La distribución espacial del tipo de material superficial y su origen fueron inicialmente establecidos por medio de la información obtenida en el levantamiento geológico de formaciones superficiales, del levantamiento geomorfológico y del inventario de procesos. Esta información fue complementada con la exploración del subsuelo. Como resultado de la combinación de la información se propone una

zonificación de unidades de comportamiento geomecánico similar en cuanto a su respuesta ante procesos de degradación del suelo, tal como se presenta en la **Tabla 5.3**. La distribución espacial de estas unidades se presenta en el **Plano 5.2**.

Zona	Descripción	Propiedades geomecánicas. Estrato controlando estabilidad
Ia	Perfil de meteorización de arenisca, sin presencia de cortes artificiales. Zonas correspondientes a topografía cóncava en planta que origina concentración de flujos. Zona afectada por flujos de tierra y rapamiento. Estabilidad controlada por suelo orgánico superior (Qsn)	<p>Espesor: 0,5-1,5 m. Permeabilidad promedio: $8,0 \times 10^{-6}$ cm/seg. Contenido de finos: 45-90% Límite líquido: SC 25%; CL 35-42% Límite plástico: SC 13%; CL 20-32% Índice de plasticidad: SC 12%; CL 20% Humedad natural: SC 16%; CL 6-25% Peso unitario: 22 kN/m³ Angulo de resistencia (SPT): SC 28-32° Resistencia No drenada: CL 28-37 Kn/m² c'(corte directo): SC 18 kN/m²; CL 39 kN/m² Ø'(corte directo): SC 27°; CL 12°</p>
Ib	Perfil de meteorización de arenisca, con presencia de cortes artificiales. Zonas correspondientes a topografía cóncava en planta que origina concentración de flujos. Zona afectada por flujos de tierra y rapamiento. Estabilidad controlada por suelo orgánico superior (Qsn)	<p>Espesor: 0,5-1,5 m. Permeabilidad promedio: $8,0 \times 10^{-6}$ cm/seg. Contenido de finos: 45-90% Límite líquido: SC 25%; CL 35-42% Límite plástico: SC 13%; CL 20-32% Índice de plasticidad: SC 12%; CL 20% Humedad natural: SC 16%; CL 6-25% Peso unitario: 22 kN/m³ Angulo de resistencia (SPT): SC 28-32° Resistencia No drenada: CL 28-37 Kn/m² c'(corte directo): SC 18 kN/m²; CL 39 kN/m² Ø'(corte directo): SC 27°; CL 12°</p>
Ila	Perfil de meteorización de arenisca, sin presencia de cortes artificiales. Zonas correspondientes a taludes en pendiente estructural. Zonas comúnmente afectas por procesos de erosión laminar y en surcos. Reptamiento. Estabilidad controlada por suelo orgánico superior (Qsn)	<p>Espesor: 0,5-1,5 m. Permeabilidad promedio: $8,0 \times 10^{-6}$ cm/seg. Contenido de finos: 45-90% Límite líquido: SC 25%; CL 35-42% Límite plástico: SC 13%; CL 20-32% Índice de plasticidad: SC 12%; CL 20% Humedad natural: SC 16%; CL 6-25% Peso unitario: 22 kN/m³ Angulo de resistencia (SPT): SC 28-32° Resistencia No drenada: CL 28-37 Kn/m² c'(corte directo): SC 18 kN/m²; CL 39 kN/m² Ø'(corte directo): SC 27°; CL 12°</p>
Ilb	Perfil de meteorización de arenisca, con presencia de cortes artificiales. Zonas correspondientes a taludes en pendiente estructural. Zonas comúnmente afectas por procesos de erosión laminar y en surcos. Reptamiento. Estabilidad controlada por suelo orgánico superior (Qsn). Los análisis de estabilidad se hicieron	<p>Espesor: 0,5-1,5 m. Permeabilidad promedio: $8,0 \times 10^{-6}$ cm/seg. Contenido de finos: 45-90% Límite líquido: SC 25%; CL 35-42% Límite plástico: SC 13%; CL 20-32% Índice de plasticidad: SC 12%; CL 20% Humedad natural: SC 16%; CL 6-25% Peso unitario: 22 kN/m³ Angulo de resistencia (SPT): SC 28-32°</p>

ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA EN LOS BARRIOS SAN IGNACIO Y SAN MARTÍN DE LA LOCALIDAD DE USME DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, D. C.

Zona	Descripción	Propiedades geomecánicas. Estrato controlando estabilidad
	adoptando el perfil de análisis correspondiente a	Resistencia No drenada: CL 28-37 Kn/m2 c'(corte directo): SC 18 kN/m2; CL 39 kN/m2 Ø'(corte directo): SC 27°; CL 12°
IIIa	Perfil de meteorización de arenisca, sin presencia de cortes artificiales. Zonas correspondientes a taludes en contra pendiente estructural. Zonas comúnmente afectas por procesos de erosión laminar y en surcos. Reptamiento. Estabilidad controlada por suelo orgánico superior (Qsn)	Espesor: 0,5-1,5 m. Permeabilidad promedio: $8,0 \times 10^{-6}$ cm/seg. Contenido de finos: 45-90% Límite líquido: SC 25%; CL 35-42% Límite plástico: SC 13%; CL 20-32% Índice de plasticidad: SC 12%; CL 20% Humedad natural: SC 16%; CL 6-25% Peso unitario: 22 kN/m3 Angulo de resistencia (SPT): SC 28-32° Resistencia No drenada: CL 28-37 Kn/m2 c'(corte directo): SC 18 kN/m2; CL 39 kN/m2 Ø'(corte directo): SC 27°; CL 12°
IIIb	Perfil de meteorización de arenisca, con presencia de cortes artificiales. Zonas correspondientes a taludes en contra pendiente estructural. Zonas comúnmente afectas por procesos de erosión laminar y en surcos. Reptamiento. Estabilidad controlada por suelo orgánico superior(Qsn)	Espesor: 0,5-1,5 m. Permeabilidad promedio: $8,0 \times 10^{-6}$ cm/seg. Contenido de finos: 45-90% Límite líquido: SC 25%; CL 35-42% Límite plástico: SC 13%; CL 20-32% Índice de plasticidad: SC 12%; CL 20% Humedad natural: SC 16%; CL 6-25% Peso unitario: 22 kN/m3 Angulo de resistencia (SPT): SC 28-32° Resistencia No drenada: CL 28-37 Kn/m2 c'(corte directo): SC 18 kN/m2; CL 39 kN/m2 Ø'(corte directo): SC 27°; CL 12°
IV	Depósito de detritos producto de meteorización y colapso de suelo residual de arenisca, identificado en el plano geológico como zonas con flujos de tierra (Qft), por verse actualmente sometidos a este tipo de movimiento.	Espesor: 0,5 -1,0 m Permeabilidad promedio: $1,5 \times 10^{-6}$ cm/seg. Contenido de finos: SC 35-45%; CL 90% Límite líquido: SC 18-20%; CL 36-45% Límite plástico: SC 10-12%; CL 19-20% Índice de plasticidad: SC 6-8%; CL 17-25% Humedad natural: SC 7-10%; CL 18% Peso unitario: 23 kN/m3 Angulo de resistencia (SPT): SC 32-37° Resistencia No drenada: CL 70 Kn/m2 c'(corte directo): SC 38 kN/m2; CL 39 kN/m2 Ø'(corte directo): SC 28°; CL 25°
Va	Perfil de meteorización de arenisca sin presencia del suelo orgánico y sin presencia de cortes artificiales. Zonas correspondientes a taludes en pendiente estructural. Zonas comúnmente afectas por procesos de erosión laminar y en surcos. Reptamiento. Estabilidad controlada por suelo residual de arenisca (Qsr)	Espesor: entre 0,2 y 1,7 m. Permeabilidad promedio: $1,5 \times 10^{-6}$ cm/seg. Contenido de finos: SC 35-45%; CL 90% Límite líquido: SC 18-20%; CL 36-45% Límite plástico: SC 10-12%; CL 19-20% Índice de plasticidad: SC 6-8%; CL 17-25% Humedad natural: SC 7-10%; CL 18% Peso unitario: 23 kN/m3 Angulo de resistencia (SPT): SC 32-37° Resistencia No drenada: CL 70 Kn/m2

ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA EN LOS BARRIOS SAN IGNACIO Y SAN MARTÍN DE LA LOCALIDAD DE USME DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, D. C.

Zona	Descripción	Propiedades geomecánicas. Estrato controlando estabilidad
		c'(corte directo): SC 38 kN/m ² ; CL 39 kN/m ² Ø'(corte directo): SC 28°; CL 25°
Vb	Perfil de meteorización de arenisca sin presencia del suelo orgánico pero con presencia de cortes artificiales. Zonas correspondientes a taludes en pendiente estructural. Zonas comúnmente afectas por procesos de erosión laminar y en surcos. Reptamiento. Estabilidad controlada por suelo residual de arenisca (Qsr)	Espesor: entre 0,2 y 1,7 m. Permeabilidad promedio: $1,5 \times 10^{-6}$ cm/seg. Contenido de finos: SC 35-45%; CL 90% Límite líquido: SC 18-20%; CL 36-45% Límite plástico: SC 10-12%; CL 19-20% Índice de plasticidad: SC 6-8%; CL 17-25% Humedad natural: SC 7-10%; CL 18% Peso unitario: 23 kN/m ³ Angulo de resistencia (SPT): SC 32-37° Resistencia No drenada: CL 70 Kn/m ² c'(corte directo): SC 38 kN/m ² ; CL 39 kN/m ² Ø'(corte directo): SC 28°; CL 25°
VI	Rellenos antrópicos (Qra) Estos depósitos tienden a fallar por hundimientos y posterior flujo de destritos. También se evidencia reptamiento y erosión laminar y en surcos.	Espesor: 0,5-3,0 m. Permeabilidad promedio: $2,0 \times 10^{-5}$ cm/seg. Contenido de finos: > 45% Límite líquido: SC 26%; CL 27-30% Límite plástico: SC 14%; CL 19-20% Índice de plasticidad: SC 12%; CL 13% Humedad natural: SC 19%; CL 15-25% Peso unitario: 21 kN/m ³ Angulo de resistencia (SPT): SC 28° Resistencia No drenada: CL 30 Kn/m ²
VII	Macizo rocoso con afloramiento de areniscas (Ter-a). En estos depósitos se pueden presentar caídas de roca y fallas en cuña según inclinación y dirección de corte.	Espesor y altura variables alcanzando los 15-20 metros en algunos puntos. Peso Unitario: 18-22 kN/m ³ Angulo de resistencia: 29,5-33,5° Cohesión: 8-10 kN/m ² Resistencia a la compresión inconfinaada: 50-120 kN/m ² .
VIII	Perfil de meteorización de arcillolitas (Ter-ar) consiste básicamente de arcillas firmes. Se puede presentar falla planar a lo largo de interfase y rotacionales cuando son de espesor profundo.	Espesor: 0,5-3,0 m. Permeabilidad promedio: $2,0 \times 10^{-5}$ cm/seg. Contenido de finos: > 90% Límite líquido: 60% Límite plástico: 35% Índice de plasticidad: 25% Humedad natural: 35% Peso unitario: 23 kN/m ³ Resistencia No drenada: 120 Kn/m ²
IX	Depósitos fluvio glaciares (Qdb). Está zona presenta grandes bloques de arenisca dura que pueden fallar por volcamiento.	

Tabla 5.3. Zonas geotécnicamente homogéneas

Para las unidades I, II, III, V, VI y VIII se identificaron adicionalmente subzonas de acuerdo con la inclinación del terreno, tal como se observa en el **Plano 5.2**; estas subzonas son clasificadas entre 1 y 6 según las siguientes pendientes:

SUBZONA	PENDIENTE
1	< 3%
2	3-7%
3	7-14%
4	14-35%
5	35-75%
6	>75%

Tabla 5.4. Subzonas identificadas con base en la pendiente

CAPÍTULO 6.0

ANÁLISIS DE FACTORES QUE DEFINEN LA AMENAZA GEOTÉCNICA EN LA ZONA DE ESTUDIO

6.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se identifican y caracterizan los factores que intervienen en la estabilidad de las laderas y cortes en los materiales de la zona de estudio. Los factores contribuyentes son aquellos que condicionan la posibilidad de un talud a desplazarse por la acción de los factores detonantes. Entre los factores contribuyentes están la litología, pendiente, cobertura, y en general todos los factores intrínsecos del talud, los cuales definen su susceptibilidad, mientras que los factores detonantes son los elementos externos que inducen la falla del talud, entre los que se destaca el efecto de las lluvias, los sismos y la intervención humana.

El capítulo comprende cuatro secciones, de las cuales la primera es introductoria, la segunda se ocupa de los factores internos del terreno, la tercera de los factores externos y la última registra las fuentes de información consultadas.

6.2 FACTORES INTRÍNSECOS DEL TERRENO (SUSCEPTIBILIDAD)

Como se ha mencionado, la susceptibilidad es un término usado para definir el potencial de un talud a deslizarse. Una de las formas convencionales de definir la susceptibilidad de un talud se basa en un inventario de casos pasados y la determinación de los parámetros internos que han condicionado su falla; este tipo de análisis es el que se denominó como método de Grado I de evaluación de amenaza.

Una vez identificados los factores que intervinieron en el proceso de inestabilidad o erosión, se determina la forma como estos factores se interrelacionan para generar las condiciones críticas anteriores a la falla del talud. Este método se basa en la suposición de que la distribución de deslizamientos o erosión refleja la combinación desfavorable de los factores que intervienen. Si estos factores pueden ser identificados, medidos y mapeados, entonces la comparación de la distribución de los diferentes factores permite la identificación de áreas con diferente grado de susceptibilidad.

Los parámetros comúnmente considerados en la evaluación de susceptibilidad son:

UNIÓN TEMPORAL CONSULTORES EN RIESGOS		CONTRATO CONS - 449 / 02		CAPÍTULO 6 PAG. 1	
VERSIÓN:	1.0			FECHA:	MARZO/03
ELABORÓ:	NB - OR - CC - CR	REVISÓ:	CHCR - ODC	APROBÓ:	INGEMÉTRICA LTDA.

- Geología: Litología, estructuras y condiciones de agua, grado de meteorización.
- Topografía: Pendiente, forma en planta y forma en perfil.
- Geotecnia: Parámetros mecánicos del material, condiciones iniciales de esfuerzos.

A continuación se describen brevemente los anteriores parámetros y se identifica su influencia sobre la estabilidad en la zona de estudio.

6.2.1 Factores geológicos

Las principales condiciones geológicas que intervienen en la posibilidad de generación de deslizamientos en el sector de estudio se registran a continuación.

6.2.1.1 Litología

Un gran porcentaje de la debilidad intrínseca de los materiales es atribuible a la fábrica y a la composición mineralógica de la roca, especialmente cuando están presentes minerales fácilmente alterables como el caolín, la montmorillonita y los ferromagnesianos. La relación entre el tamaño, la forma y la orientación de las partículas y su cohesión determina la resistencia y la deformabilidad de los diferentes materiales. Para macizos rocosos de origen sedimentario la resistencia y la deformabilidad varían en el caso de rocas cementadas, dependiendo principalmente de la calidad del material cementante y la porosidad; en el caso de las lutitas, varía según el grado de consolidación.

En el caso de unidades de suelo, la resistencia está determinada por las características de la matriz en cuanto a su naturaleza, resistencia y alterabilidad. Tomando como base la cartografía geológica y la descripción de las unidades cartografiadas se identificaron diferentes unidades con características litológicas propias que se resumen en la **Tabla 6.1**.

6.2.1.2 Estructura

Según el levantamiento de datos estructurales en los afloramientos de la zona se identificaron seis familias de discontinuidades principales (ver **Capítulo 5**), las cuales presentan condiciones críticas de estabilidad para los cortes empinados en la zona. La presencia, espaciamiento y continuidad de las diaclasas muestra el alto grado de fracturamiento en que se encuentran las unidades de roca del sitio. Como podrá observarse en el capítulo de análisis de estabilidad, estas diaclasas y estratificación imponen un grado de susceptibilidad a caídas de bloques y deslizamientos en cuña muy alta debido a que la inclinación de los cortes actuales supera el máximo seguro y a que las discontinuidades afloran en la cara del talud, condición que ha sido identificada como uno de los principales condicionantes de inestabilidad ante cargas sísmicas (Rodríguez, 2001).

ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA EN LOS BARRIOS SAN IGNACIO Y SAN MARTÍN DE LA LOCALIDAD DE USME DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, D. C.

UNIDAD GEOLÓGICA	CARACTERIZACIÓN
Areniscas de la Formación Regadera (Ter - a)	Estos materiales de composición feldespática principalmente son de característica friable o deleznable, razón por la cual son altamente sensibles al proceso de erosión hídrica. Es muy probable que algunos de los grandes "zanjones" que se encuentran a nivel regional no estén alineados por fallas geológicas (en zonas de relajación de esfuerzos donde los materiales se encuentran más fracturados y meteorizados), sino que se deban simplemente a la profundización de valles como consecuencia del proceso erosivo. De otra parte, las areniscas son fácilmente excavables manualmente, por lo que no ofrecen ninguna dificultad para las explanaciones que se conforman a menudo con el propósito de construir viviendas.
Arcillolitas de la Formación Regadera (Ter - ar)	Entre las areniscas que conforman la pendiente estructural (costado oriental del área de estudio) y la contrapendiente (costado occidental del área de estudio) se encuentra una secuencia arcillosa que ha "desaparecido" superficialmente como consecuencia del proceso de erosión diferencial que se evidencia en los afloramientos donde aparecen, como en el sector suroccidental del área de estudio. Se resalta que las arcillolitas se encuentran altamente fisuradas
Suelos residuales (Qsr)	Los suelos residuales presentes en el área de estudio son de carácter arcillo-arenoso (producto de la meteorización y alteración de areniscas) y arcillo-limosos (producto de la meteorización y alteración de arcillolitas limosas). Estos materiales son de consistencia media a firme en la mayoría de los casos y se aprecia poca agua subsuperficial en los perfiles dominados por ellos.
Depósito fluvioglaciares (Qdb)	Sobre las partes media alta y baja de la zona de estudio respectivamente, se presentan dos depósitos constituidos por enormes bloques de arenisca cuarzosa dura embebidos parcialmente en matriz arcillolimoso. Teniendo en cuenta la composición y textura de los bloques de arenisca, puede afirmarse que estos provienen de rocas del Grupo Guadalupe, razón por la cual se piensa que estos pueden corresponder a un depósito fluvioglacial muy antiguo. Los bloques de roca de formas angulares hasta subredondeadas que se observan en superficie tienen diámetros hasta de 5 m; sin embargo, pueden llegar a ser mayores, si se tiene en cuenta que durante los trabajos de exploración del subsuelo mediante métodos geofísicos, se determinó que el espesor máximo del depósito de aguas abajo es del orden de 9 m.
Suelos orgánicos negros (Qsn) y suelos deformados y/ alterados en zonas de cañada (Qsd)	Con este nombre se denominan a los suelos oscuros que cubren parcialmente el área de estudio, los cuales presentan un espesor promedio de 50 cm.
Rellenos antrópicos (Qra)	Consisten en llenos de vertido libre, los cuales son producto de los cortes o explanaciones para la construcción de viviendas; durante el programa de exploración de subsuelo realizado especialmente para el presente proyecto se hizo énfasis en la determinación de su espesor, el cual en la mayoría de los casos es de menos de un metro, aunque existen excepciones donde el espesor de los mismos es del orden de 5 m.

Tabla 6.1. Unidades litológicas en la zona de estudio.

Con referencia a los estratos de suelo conformando el perfil de meteorización, se observa que la actitud de las laderas en el costado occidental de la zona es coincidente con la dirección del buzamiento de las unidades de roca y a su vez con la inclinación de las interfaces de los diferentes horizontes del suelo, lo que genera una alta posibilidad cinemática al movimiento de los suelos. Esta característica condiciona la posibilidad de una falla planar de las laderas naturales que no han sufrido intervención humana.

Debido a la estratificación definida de los estratos en el perfil de suelo, se produce la posibilidad de que se generen niveles de agua colgados por la diferencia marcada de permeabilidades entre los estratos superiores más porosos con respecto a los densos y arcillosos de la base de los perfiles. Esta característica es muy importante para identificar el posible efecto de las infiltraciones de agua provenientes de las redes de abastecimiento y desagüe de la zona, debido a que, como se explicará

más adelante, las condiciones de pluviosidad del área no son capaces de producir la saturación del suelo.

La actitud estratigráfica también controla el estado de esfuerzos iniciales, tal como se observa en la **Figura 6.1**, donde se nota que en taludes donde la estratificación va en el mismo sentido que la cara del talud se presenta concentración de esfuerzos hacia la base del mismo, mientras que en taludes donde la estratificación va contraria a la dirección del talud se presenta una reducción importante en la concentración de esfuerzos. Para el caso en particular esto significa que las pendientes estructurales son más susceptibles que la contrapendiente estructural.

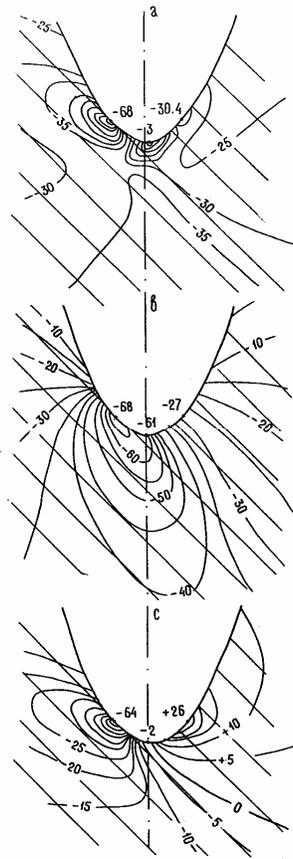


Figura 6.1. Distribución de los esfuerzos a) Verticales, b) Horizontales y c) Cortantes a ambos lados de un vale estratificado (Kalinin y Sheshenin, 1990)

6.2.1.3 Condiciones de agua

El sentido de la estratificación también controla la condición de aguas en la zona. Como se observó en la exploración geoelectrica, bajo la base del valle inferior de la zona no se identifica la presencia de aguas subterráneas; de igual forma los estratos de arenisca y arcillolitas de la Formación Regadera no se han clasificado como fuentes acuíferas, por lo que la presencia de agua en algunas de la perforaciones debe interpretarse como la influencia de aguas superficiales y subsuperficiales. Como se verá más adelante la posibilidad de saturación por aguas lluvias es

mínima, por lo que se puede asumir que la presencia de aguas de escorrentía provenientes de redes de suministro y desagüe, y por otra parte, de riegos, puede ser la fuente de estos niveles de agua.

Como puede extraerse de los registros de perforaciones, los niveles de agua aparecen relativamente superficiales, pero casi siempre reportados dentro de los niveles de suelo orgánico y rellenos antrópicos, los cuales presentan una mayor permeabilidad que los depósitos inferiores. Esto sugiere que se trata de niveles colgados por encima de los estratos poco permeables de suelo residual. Es importante mencionar que estos niveles de agua están también relacionados con taludes con formas convergentes en planta, lo que muestra la importancia de la concentración de flujos no solo por la estratigrafía sino también por la topografía superficial.

6.2.1.4 Grado de meteorización

La meteorización por ser un proceso de degradación de las rocas y suelos influye directamente en las condiciones geotécnicas de los materiales presentes. A mayor meteorización menor resistencia y mayor deformabilidad.

Por otra parte, el grado de meteorización define la profundidad del depósito de suelo sobre el manto rocoso, característica que a su vez condiciona el tipo de mecanismo de falla que puede presentarse en ellos.

Suelos de escaso espesor y gran pendiente como los que tenemos en la zona tenderán a fallar de manera planar a lo largo de las interfaces entre los diferentes horizontes del perfil de meteorización, en especial bajo las condiciones de aguas colgadas. Cuando el material es muy húmedo se pueden generar pequeños hundimientos y flujos como los que se presentan en las hondonadas de la zona.

6.2.2 Factores de topografía

6.2.2.1 Pendiente

La pendiente del talud es uno de los factores más importantes en la susceptibilidad a deslizamiento.

El análisis de las expresiones de equilibrio límite manifiesta claramente el efecto de la inclinación sobre la estabilidad debido a que al aumentar la inclinación del suelo o roca se incrementa la componente inestabilizante tanto del peso propio como de otras fuerzas inerciales como la carga sísmica.

La pendiente del talud controla el estado de esfuerzo inicial del suelo o roca, de manera que a mayor pendiente más cercano estará el estado de esfuerzos de la condición de falla requiriéndose menores incrementos de esfuerzos o presiones de poros para inducir la inestabilidad. Por otra parte, se ha identificado que ciertos tipos de falla están íntimamente relacionados con la inclinación del talud; es así como las caídas de roca se suelen presentar para taludes con inclinaciones superiores a 35°,

mientras que avalanchas en suelo han sido reportadas para pendientes superiores a los 40°.

La inclinación del talud también puede correlacionarse con las características de resistencia del material, de modo que a mayor resistencia el material tiende a ser estable para mayores inclinaciones y alturas.

6.2.2.2 Forma en planta

Un talud según su forma en planta se puede clasificar como convergente, divergente o uniforme. Esta característica es muy importante en el análisis de respuesta hidrológica y dinámica del talud. Un talud convergente tiende a concentrar flujo hacia el centro del mismo mientras que el mismo talud tiende a dispersar las ondas sísmicas; estos dos efectos como se ve conducen a interacciones complejas de respuesta del talud ante los factores detonantes.

Contrario a lo que ocurre con un talud convergente, los taludes divergentes producen flujos hacia afuera del talud reduciendo su contenido de humedad y aumentando su resistencia; por otra parte, tienden a concentrar ondas sísmicas por lo que pueden esperarse amplificaciones altas por este efecto.

La convergencia también controla el tipo de cobertura vegetal y profundidad del depósito, siendo más profundos los depósitos convergentes que los divergentes, lo que conlleva a generar condiciones propicias para diferentes tipos de especies vegetales.

6.2.2.3 Forma en perfil

Por la forma en perfil los taludes pueden clasificarse como cóncavos, convexos y rectilíneos. Al igual que la convergencia, las formas cóncavas tienden a concentrar flujos y dispersar ondas sísmicas, produciéndose el efecto contrario en taludes convexos.

6.2.3 Condiciones geotécnicas

Hay varios parámetros geotécnicos que influyen directamente sobre la susceptibilidad de un talud ante deslizamiento tales como el comportamiento mecánico del material en condiciones estáticas y dinámicas, estado inicial de esfuerzos y trayectoria de esfuerzos, generación de presiones de poros, entre otros. A continuación se describe brevemente cada uno de estos factores.

6.2.3.1 Comportamiento del suelo

La estabilidad de un talud está controlada por el comportamiento mecánico del material, el cual depende del nivel de deformación a que haya estado sometido el material. Antes de la falla el comportamiento depende de factores como el estado inicial de esfuerzos, la trayectoria de esfuerzos y la tasa de deformación.

Las curvas esfuerzo - deformación obtenidas para los materiales residuales en la zona de estudio muestran un comportamiento frágil, lo que se manifestará en fallas súbitas de talud, lo cual incrementa el riesgo por deslizamientos al ser más difícil prevenir y controlar su falla. Por otra parte, estos materiales muestran una alta rigidez y resistencia, lo que muestra una baja susceptibilidad a deslizamientos y como se verá más adelante restringe la amenaza por deslizamientos. Después de la falla estos materiales mostraron una resistencia residual muy alta, lo que muestra la importancia de la componente granular del material en la resistencia y deformabilidad.

En cuanto a la respuesta hidrológica si bien es cierto para estos materiales que el aumento en el contenido de agua reduce significativamente su resistencia, la baja permeabilidad no posibilita la saturación, haciendo más importante la influencia de las aguas de redes de suministro, desagües y riegos en la respuesta mecánica por la presencia de niveles freáticos colgados.

En cuanto a la respuesta dinámica estos materiales muestran una gran rigidez a bajo nivel de esfuerzos, pero su degradación es más acelerada conduciendo a que su resistencia y rigidez se reduzcan considerablemente durante y después de cargas dinámicas. Debido a que en la zona tenemos suelos firmes de poco espesor no se esperan amplificaciones sísmicas importantes por efecto de impedancia.

Para los depósitos de roca, se puede inferir que el comportamiento va a ser controlado más por las discontinuidades que por la resistencia del material rocoso. Como se explicará en la sección sobre análisis de estabilidad, en la zona las familias de discontinuidad y estratificación generan condiciones muy críticas para garantizar la estabilidad de los cortes en roca. Las discontinuidades causan que un bloque de roca tenga una resistencia a la tensión nula, lo que incrementa su susceptibilidad ante cargas dinámicas, las cuales en superficie generan esfuerzos de tracción importantes que normalmente inducen a la falla por caída de bloques de roca.

6.2.3.2 Estado inicial de esfuerzos y trayectoria de esfuerzos

El estado inicial de esfuerzos depende del proceso de formación del suelo y del régimen de agua reinante. Para la zona de estudio se puede ver claramente que el proceso de formación ha sido la meteorización del material, aunque no se tiene un procedimiento claro de cómo determinar el estado inicial de esfuerzos en este tipo de materiales, normalmente basta con definir el estado de esfuerzos de un medio estratificado inclinado aplicando los principios de la mecánica del medio continuo, a partir de lo cual se obtiene fácilmente el estado de esfuerzos en superficies potenciales de falla planares paralelas a la superficie del terreno.

Como es de esperar este estado inicial de esfuerzos no es una condición de esfuerzos principales por lo que se espera que el estado de esfuerzos se aproxime a la envolvente de falla a medida que se incrementa la inclinación del terreno.

Una condición importante en suelos residuales como los encontrados es la contribución de los enlaces entre las partículas, los cuales le imparten el carácter

frágil mencionado anteriormente. Estos enlaces producen una ampliación de la superficie de fluencia del material mejorando sus condiciones de resistencia y deformabilidad en el rango elástico; sin embargo, después de superada la resistencia de los enlaces, el material cambia completamente de comportamiento volviéndose más dúctil y deformable. Este efecto también puede ser ocasionado por la permanente presencia de agua en el suelo que disuelve los enlaces y cambia el comportamiento del material.

La trayectoria de esfuerzos depende del efecto de los agentes detonantes sobre el suelo. El efecto de las lluvias por lo general se puede modelar como una condición de cortante constante, donde la falla se presenta por el incremento de la presión de poros por el ingreso de agua al suelo; esto establece una trayectoria de esfuerzos horizontal, de manera que el incremento de presión de poros requerido para producir la falla depende directamente del estado inicial de esfuerzos del suelo. Es así como suelos más pendientes requieren intensidades de lluvia menores para hacer fallar el material; sin embargo, para taludes pendientes la intensidad de las lluvias debe ser mayor para que ingresen al suelo por incrementarse la escorrentía superficial.

Para el caso de cargas dinámicas, la trayectoria de esfuerzos además de depender del estado inicial de esfuerzos, es función del incremento en esfuerzo cortante que imparte el sismo al suelo, el cual depende de la magnitud del sismo, de la trayectoria que recorran las ondas sísmicas y de las condiciones locales de geología y topografía, las cuales definen la amplitud de la energía sísmica. Por otra parte el efecto sísmico sobre taludes también depende del contenido frecuencial que impartan las ondas sísmicas al talud; un mismo talud responde de diferente forma a sismos de alta frecuencia que a sismos de baja frecuencia, lo que a su vez depende del período natural de vibración del suelo, el cual es función de la profundidad del estrato y la velocidad de ondas de corte. Para el caso de los depósitos que se encuentran en la zona se espera que tengan unos períodos naturales de respuesta muy bajos por ser poco profundos y firmes. Esto implica que los depósitos serán más susceptibles a sismos de períodos predominantes altos, lo cual se puede dar para sismos lejanos.

6.2.3.3 Generación de presiones de poros

Como se ha venido explicando, por la condición de baja permeabilidad y alta pendiente no se espera una condición saturada del suelo, por lo que tampoco se debe esperar un incremento marcado en las presiones de poros por lluvias o sismo. No obstante, por la presencia de niveles colgados, su mayor influencia son los incrementos en presiones de poros por el flujo subsuperficial, el cual se manifiesta en un incremento en las fuerzas de arrastre del agua sobre el suelo.

Debido a que se tienen suelos firmes, que pueden asimilarse a suelos sobreconsolidados, estos materiales pueden fallar por tracción en condiciones activas de presión de tierras, por lo que generalmente se encuentran figurados incrementando la posible influencia del agua en la fracturas más que en los poros mismos del suelo.

6.3 FACTORES EXTERNOS

Los principales factores externos que contribuyen a la generación de deslizamientos o son sus detonantes son las lluvias, los sismos y la acción antrópica y en general se debe considerar su efecto combinado en la evaluación de la amenaza por deslizamientos. El análisis de las lluvias y los sismos utilizados para generar el mapa de amenaza en el presente estudio son presentados a continuación.

6.3.1.1 Lluvias

➤ Características hidrológicas de la zona de estudio

Para el análisis de los parámetros hidrometeorológicos se tuvieron en cuenta dos estaciones meteorológicas ubicadas en las cercanías del área de estudio ya que los barrios San Ignacio y San Martín no poseen una estación propia, como se muestra en la **Tabla 6.2**.

Entidad	Categoría	Parámetro*	Nombre de la Estación	Años de Registros	E (m)	N (m)
22 CAR	PG	P	La Picota: 2120156	20	994.600	995.500
22 CAR	CP	Ev, Hr, T, Br, Rs, V	Doña Juana: 2120630	13	993.700	992.300

*P: Precipitación (mm), Ev: Evaporación (mm), Hr: Humedad Relativa (%), T: Temperatura (°C), Br: Brillo Solar (h), Radiación Solar: (Rs), V: Viento (m/s)

Tabla 6.2. Identificación de las estaciones meteorológicas seleccionadas (CAR, 2003)

La zona de estudio se encuentra ubicada dentro del área de influencia de la estación La Picota, que es operada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR desde junio de 1980. La información obtenida de la CAR de esta estación es pluviográfica - PG, lo cual quiere decir que posee información de precipitaciones medias y máximas.

La precipitación media anual registrada en la estación de La Picota para el período comprendido entre junio de 1980 a 2000 es de 564,7 mm, presentándose una precipitación máxima anual de 871,9 mm en el año de 1986 y una mínima de 222,7 en 1.992 (Correspondiente a la Oscilación del Niño). El promedio anual registrado es de 533,1mm

AÑO	PRECIPITACIÓN ANUAL	AÑO	PRECIPITACIÓN ANUAL
1.980	397,9	1.991	390,9
1.981	717,8	1.992	222,7
1.982	616,2	1.993	594,7
1.983	614,4	1.994	513,7
1.984	733,8	1.995	341,6
1.985	579,2	1.996	439,7
1.986	871,9	1.997	415,5
1.987	685,2	1.998	458,2
1.988	355,5	1.999	612,5
1.989	442,3	2.000	545,8
1.990	646,2	Promedio	533,1

Tabla 6.3 Registros históricos de la estación La Picota (CAR, 2.003) de precipitación multianual

La precipitación máxima mensual registrada fue de 178,8 mm en el mes de octubre de 1986 y la mínima mensual de 0,0 mm en el mes de enero de 1998 como se muestra en la **Tabla 6.4**.

MES	PRECIPITACIÓN MÁXIMA MENSUAL (mm/mes)	PRECIPITACIÓN MÍNIMA MENSUAL (mm/mes)
Enero	69,0	0,0
Febrero	77,2	2,7
Marzo	118,9	6,9
Abril	154,1	14,4
Mayo	132,1	5,7
Junio	94,0	15,1
Julio	81,7	1,6
Agosto	65,6	12,1
Septiembre	64,5	0,2
Octubre	178,8	5,7
Noviembre	127,4	33,6
Diciembre	72,5	3,2

Tabla 6.4. Registros de valores totales máximos y mínimos mensuales de precipitación en la estación La Picota (CAR, 2003)

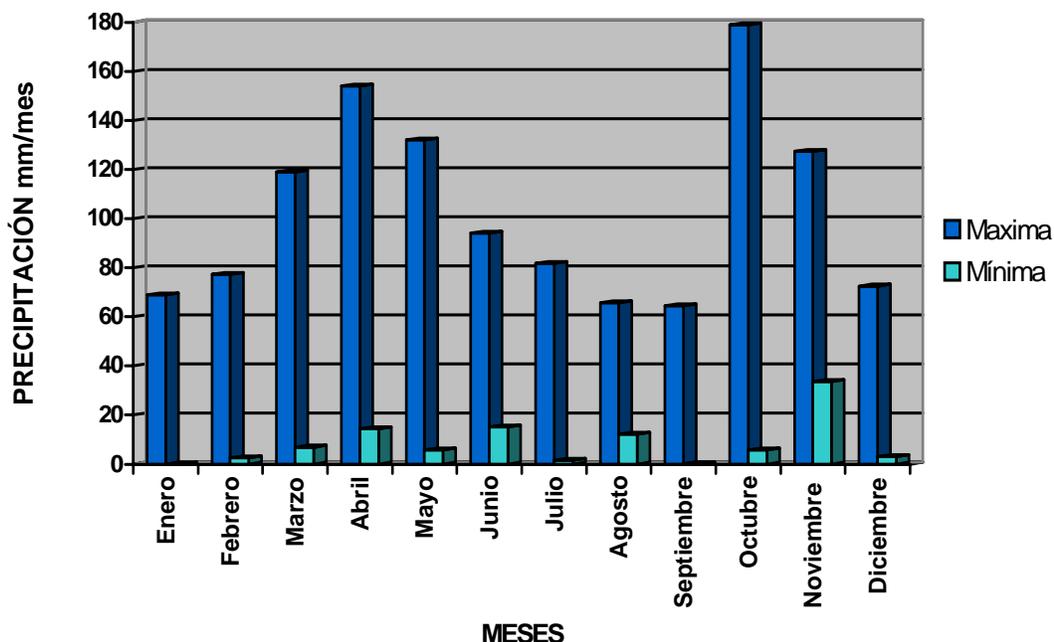


Figura 6.2. Precipitación máxima y mínima mensual registradas en la estación La Picota. Período 1980 – 2000 (CAR, 2003).

Para el análisis de la precipitación máxima en 24 horas se utilizaron los registros de valores totales diarios de precipitación de la estación La Picota, observándose un valor máximo de 51,7 mm/día en el mes de octubre y un mínimo de 0,0 mm/día en los meses de enero, septiembre y octubre.

MESES	PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS	PRECIPITACIÓN MÍNIMA EN 24 HORAS
Enero	28,9	0,0
Febrero	36,7	0,8
Marzo	35,5	4,9
Abril	44,6	4,5
Mayo	30,9	2,5
Junio	31,3	3,0
Julio	24,2	1,6
Agosto	20,2	3,7
Septiembre	18,4	0,0
Octubre	51,7	0,0
Noviembre	38,4	9,0
Diciembre	32,8	1,5

Tabla 6.5 Valores de precipitación mínima y máxima en 24 horas de la estación La Picota (CAR, 2003)

ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA - BARRIOS SAN IGNACIO Y SAN MARTÍN - USME

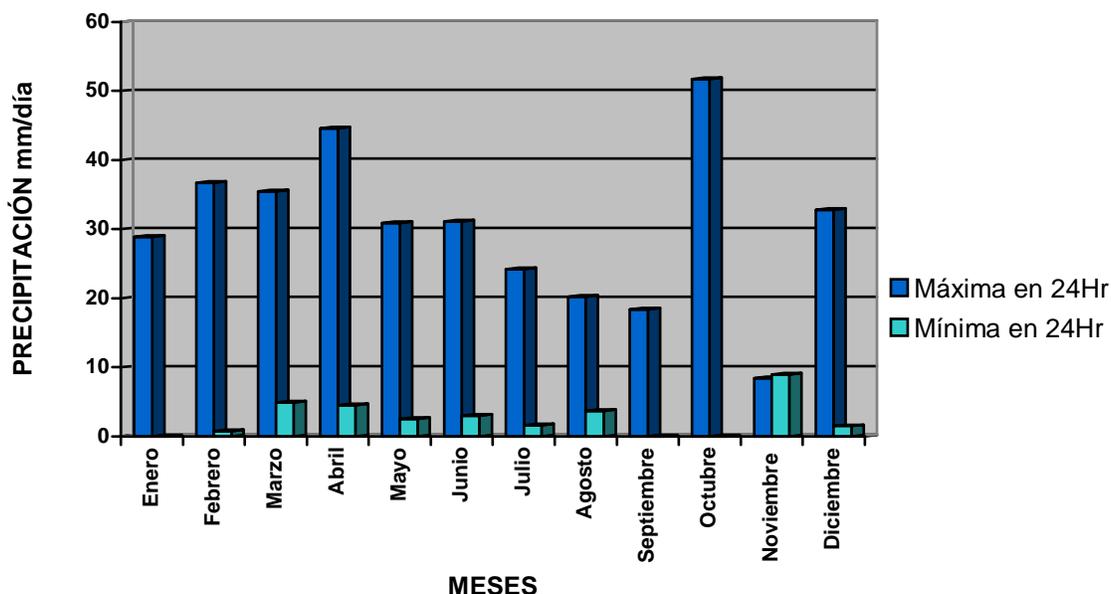


Figura 6.3 Precipitación mensual máxima en 24 horas de la estación La Picota. Período 1980 – 1998 (CAR, 2003).

En el análisis hidrológico para obtener la precipitación máxima en diferentes períodos de retorno se utilizó el método de Gumbel, el cual se ajusta particularmente bien al conjunto de datos registrados de precipitación máxima en 24 horas en la estación La Picota.

TIEMPOS DE RETORNO	VALORES DE “K” PARA DISTRIBUCIÓN GUMBEL	PRECIPITACIÓN MÁXIMA ESTIMADA (mm)
10	1,637	47,8
25	2,319	54,7
50	3,202	63,6
100	3,863	70,3

Tabla 6.6. Valores de precipitación máxima estimada para diferentes períodos de retorno.

Con base en el Estudio de Análisis y Caracterización de Tormentas en la Sabana de Bogotá de IRH Ltda. (citado por C.I.C., 2002) que analiza los aguaceros más intensos registrados en Bogotá en las diferentes estaciones pluviográficas, se estableció que el área de estudio se encuentra en la zona 4, dentro de la zonificación de redes de estaciones (Nota: No se realizó consulta directa al Estudio de Análisis y Caracterización de Tormentas de la Sabana de Bogotá, ya que la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá no lo permitió). Para el estudio de caudales de escorrentía se utilizó el Método Racional el cual requiere como

insumo fundamental la determinación de la intensidad, variable que puede evaluarse utilizando curvas IDF (Intensidad - Duración - Frecuencia).

➤ **Análisis de la respuesta hidrológica**

El análisis de la respuesta hidrológica de los taludes en estudio se hizo siguiendo los lineamientos conceptuales propuestos por Pradel y Raad (1993), quienes con base en las ecuaciones de infiltración de Green y Ampt obtienen la combinación de intensidades y duración requeridas para saturar un depósito de suelo homogéneo. Considerando que la respuesta hidrológica de un suelo estratificado puede simularse a partir de la superposición de capas homogéneas, en este trabajo se determinaron las combinaciones de intensidad y duración que permiten saturar a los diferentes estratos de suelo.

Las ecuaciones básicas empleadas fueron las siguientes:

$$T_w = \frac{\mu}{k_w} \left[z_w - S \ln \left(\frac{S + z_w}{S} \right) \right]$$

$$v_i = k_w \frac{z_w + S}{z_w}$$

Donde T_w es el tiempo necesario para que el agua de infiltración llegue a una profundidad z_w ; μ es el volumen que puede ser llenado de agua que puede determinarse como la diferencia entre la humedad volumétrica saturada sobre menos la humedad volumétrica en condición actual; S es la succión capilar del frente húmedo; k_w es la permeabilidad del suelo; v_i es la velocidad de infiltración del agua en el suelo.

Para que el suelo se sature a una profundidad z_w se requiere cumplir dos condiciones simultáneamente:

- a. La intensidad de la lluvia debe ser mayor que la velocidad de infiltración del suelo.
- b. La duración de la precipitación debe ser mayor que el tiempo requerido para saturación.

Estas dos condiciones conducen a que las ecuaciones 8.8 y 8.9 puedan ser fusionadas para definir las combinaciones mínimas requeridas para que el suelo se sature, obteniendo la siguiente expresión:

$$I_{\min} = \frac{\mu}{T_{\min}} \left[z_w - S \ln \left(\frac{S + z_w}{S} \right) \right] \left(\frac{z_w + S}{z_w} \right)$$

Los parámetros del suelo asumidos según las recomendaciones de Pradel y Raad (1993) se presentan en la **Tabla 6.7**.

Tipo de material	Succión capilar S (mm)	Profundidad Saturada Z_w (mm)
Suelo orgánico	800	1.500
Suelo residual arenoso	850	2.750
Suelo residual arcilloso	900	3.250

Tabla 6.7 Parámetros del suelo para análisis de respuesta hidrológica

El parámetro μ se determinó a partir de las relaciones de fase de cada uno de los estratos en condición actual, de donde se obtuvieron los valores presentados en la **Tabla 6.8**.

TIPO DE MATERIAL	HUMEDAD VOLUMÉTRICA (%)		
	Seco	Actual	Saturado
Suelo orgánico	0	69	83
Suelo residual arenoso	0	27	33
Suelo residual arcillosos	0	49	59

Tabla 6.8 Valores de humedad volumétrica calculada para cada uno de los estratos en estudio

En este caso se toma z_w como la profundidad desde la superficie del terreno. Para el estrato 1 de suelo orgánico la relación entre intensidad y duración es directa con la ecuación. Sin embargo, para los otros dos estratos se empleó la superposición lineal de efectos, lo que condujo a obtener varias combinaciones de intensidad - duración mínimas para saturación de cada estrato como se muestra en la **Figura 6.4**.

Como se observa en la figura los valores de intensidad - duración requeridos para saturación de los estratos 2 y 3 son muy altos y no pueden ser obtenidos por ninguna de las lluvias normales o extraordinarias en la zona de estudio. La razón de esto es la baja permeabilidad y alta succión que presentan este tipo de suelos.

Para el estrato 1 se identifican las combinaciones Intensidad-Duración que pueden saturarlo. Estas combinaciones corresponden a los intersechos de las curvas Intensidad - Duración - Frecuencia de la zona IV establecida en el Estudio de Tormentas de la EAAB, que es la que corresponde al área de estudio. Los períodos de retorno de estas combinaciones fueron empleadas para la evaluación de la amenaza por el método estocástico utilizado.

Un análisis entre deslizamientos y lluvias críticas no puede adelantarse en este momento debido a la escasez de datos, por lo que se tomaron los valores presentados por González *et al* (2000), los cuales adolecen de la misma limitación, sin embargo sirven de punto de referencia para el análisis de las lluvias como detonante. En la **Figura 6.4** se observa la combinación de Intensidad y Duración crítica definida por González *et al.* (2000). Como puede verse, esta lluvia crítica presenta valores muy superiores a los encontradas con el estudio de respuesta hidrológica del talud. Tal como se observa en la gráfica, la posibilidad de que se presente esta lluvia crítica en la zona es muy baja o nula coincidiendo con la evaluación efectuada en este estudio.

INTENSIDAD Y DURACION MINIMA PARA SATURACION

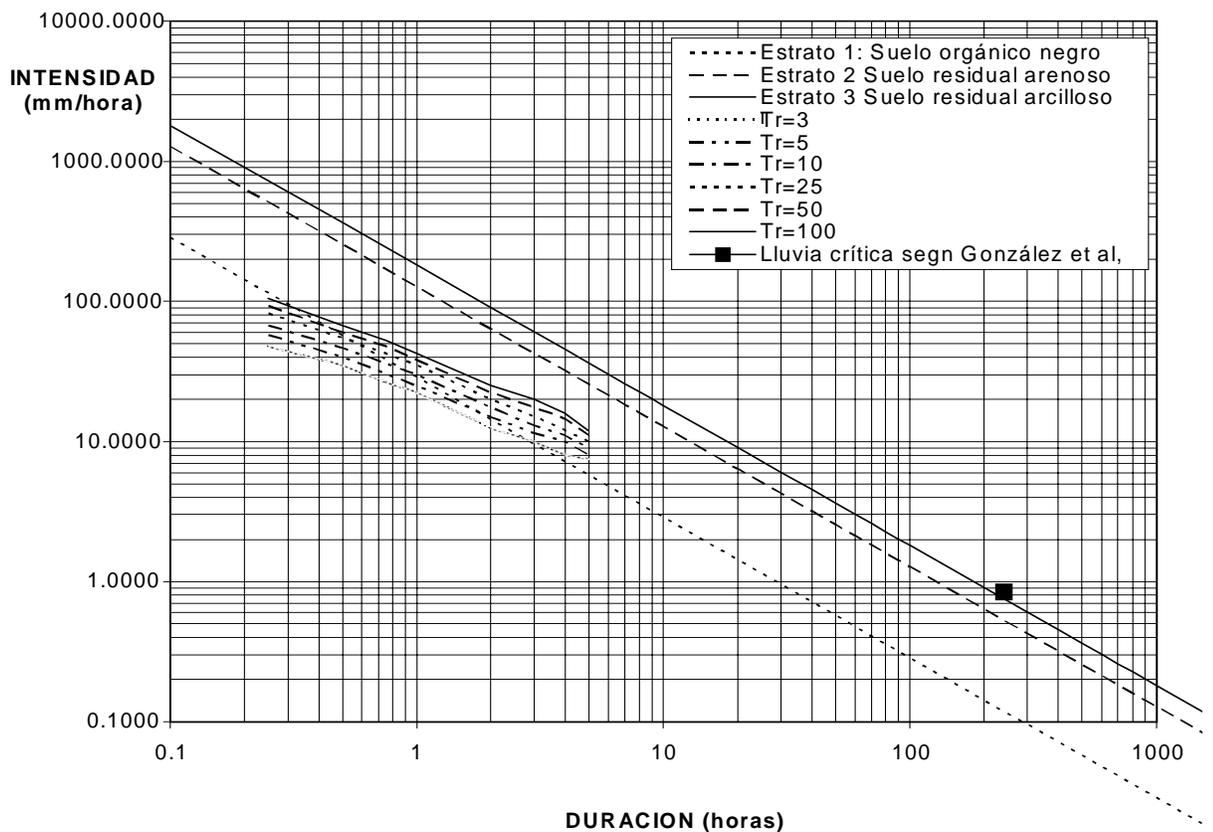


Figura 6.4 Intensidad - duración mínimas para saturación de los diferentes estratos.

6.3.1.2 Carga sísmica

Para evaluar el grado de afectación que produce un evento sísmico en la estabilidad de las laderas se estudió la incidencia de la aceleración horizontal, tomada como una fuerza inercial horizontal, sobre un elemento infinito del talud. Con base en el estudio estadístico de diferentes sismos en el territorio colombiano se ha determinado que las aceleraciones verticales alcanzan a ser dos terceras partes de la aceleración horizontal, por lo que en los análisis se involucró también la fuerza vertical. La aceleración horizontal está determinada por la magnitud máxima de un evento sísmico en un período de retorno determinado. Para este estudio se tomaron los valores del Estudio de Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá desarrollado por Ingeominas y la Universidad de los Andes (1997).

En los análisis de estabilidad se tomaron aceleraciones horizontales de 0,10 g y 0,25 g con sus correspondientes aceleraciones verticales de 0,07 g y 0,17 g. En la mayoría de los casos de estabilidad, debido a los altos valores de resistencia de los suelos y pendientes moderadas, se obtuvieron valores de factor de seguridad bastante altos, que representa una aceleración crítica superior a la unidad, lo que imposibilitó la aplicación del modelo de bloque deslizante para la mayoría de los casos. Sin embargo, para los casos en que se pudo hacer este tipo de análisis se adoptaron los sismos de diseño sugeridos por el Estudio de Microzonificación (ref. cit.). Para el caso de sismo lejano se tomó el registro de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) durante el sismo de Michoacán en 1985; para modelar un sismo proveniente de la falla frontal, se tomó el sismo sintético desarrollado para tal fin, y por último, el sismo cercano fue modelado por medio del registro escalado de la Estación Corralitos durante el sismo de Loma Prieta en 1994. Este último registro fue escalado en amplitud a una aceleración máxima de 0,25 g.

Para los análisis estocásticos se determinó la probabilidad de que se presenten las aceleraciones analizadas en un lapso de 10 años, para lo cual se empleó la distribución de probabilidad de Poisson y los períodos de retorno dados por el Estudio de Microzonificación de Bogotá, con lo cual se obtuvo una probabilidad de excedencia de 0,154 para una aceleración de 0,10 g en un período de 10 años y de 0,007 para una aceleración de 0,25 g en el mismo período.

6.3.1.3 Factor antrópico

Como factores antrópicos de inestabilidad se estudiaron tres condiciones: Cortes artificiales, rellenos y saturación por infiltraciones de aguas servidas. Debido a que la intervención antrópica no es una variable aleatoria, su inclusión en el análisis estocástico no es factible, por lo que la influencia de este factor en la amenaza se analizó con base en los métodos de equilibrio límite tal como se explica en el **Capítulo 8**.

➤ **Inventario de construcciones**

En esta sección se presenta el levantamiento de información efectuada en los barrios San Ignacio y San Martín relacionada con las construcciones existentes y algunas de sus características más importantes.

Durante la realización del inventario de predios se verificó la localización de las construcciones obtenida a partir del levantamiento topográfico y se recolectó la información buscada, incluyendo variables del desarrollo de los barrios relacionadas con la estabilidad del terreno como cortes, rellenos antrópicos, sobrecargas y manejo y disposición de aguas. Además se levantó información acerca de los sitios con concentración masiva de personas y almacenamiento o tenencia de sustancias peligrosas, con el fin de completar el panorama de efectos colaterales que pudieran desprenderse de un eventual movimiento en masa del terreno.

La metodología empleada se dividió en tres etapas: En la primera se definió la información a levantar y se diseñó el formulario para tal fin, que se presenta en el **Anexo 6-A**. En la segunda etapa se recolectó la información en campo, cuya base de datos se presenta impresa en el **Anexo 6-B**. Finalmente, en la tercera fase se consolidó y analizó la información.

Cada variable puede tomar un valor de una lista definida de antemano a fin de facilitar el trabajo de campo. La definición de esas listas y la descripción de los valores que puede adoptar cada una de las características de interés se presenta en el **Anexo 6-A**.

En el **Plano 6.1** se presentan las construcciones inventariadas, y se muestran algunas de sus características. Es importante anotar que se adoptó la misma nomenclatura predial de los planos de DAPD.

Los resultados del inventario de construcciones son los siguientes:

- Número total de predios

El total de predios inventariados en los dos barrios fue de 698, de los cuales 335 corresponden al barrio San Ignacio y 363 a San Martín. La desagregación de datos tanto por barrio como por su carácter de construidos o no se presenta en la **Tabla 6.9** y en la **Figura 6.5**.

BARRIO	Predios Construidos		Predios No Construidos		Total Predios
	Número de Predios	Porcentaje por Barrio	Número de Predios	Porcentaje por Barrio	
SAN IGNACIO	205	61,2%	130	38,8%	335
SAN MARTÍN	155	42,7%	208	57,3%	363
Total	360		338		698

Tabla 6.9. Consolidado de predios levantados

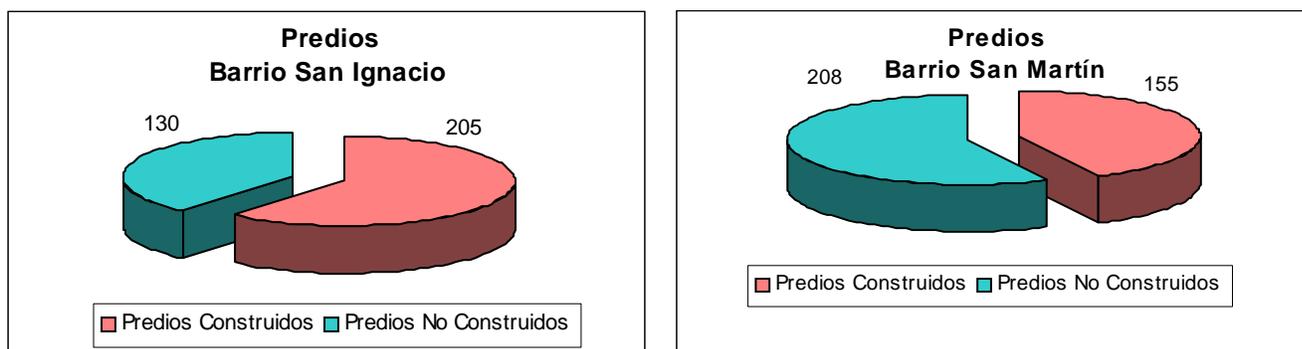


Figura 6.5 Distribución de predios construidos y no construidos en cada barrio.

Los resultados muestran una mayor consolidación del barrio San Ignacio, en el que el 61,2% de los predios se encuentran construidos, frente a un 42,7% de San Martín.

Es importante registrar, como ya se había mencionado en el **Capítulo 2** del presente informe, que los planos entregados por la comunidad al Departamento Administrativo de Planeación Distrital (DAPD) difieren bastante de la conformación encontrada. Si todos los lotes que figuran en dichos planos estuviesen construidos, la estructura de los barrios perdería varias vías y zonas públicas. Esto se puede visualizar tanto en el plano topográfico (**Plano 2.1**) como en el **Plano 6.1**.

- Densidad de construcción

Si se toma el área de estudio, de 10,15 has., como el área de los dos barrios, se obtiene una densidad de 68,77 predios por hectárea y 35,47 construcciones por hectárea.

Tomando cada barrio por separado, se tiene que San Ignacio presenta una densidad de 99,27 predios por hectárea de terreno y 60,75 construcciones por hectárea, mientras que San Martín tiene 100,36 predios/ha y 42,85 construcciones/ha.

El POT, para vivienda de interés social, considera una densidad de 55 viviendas por hectárea. En la actualidad San Ignacio ya superó este valor y San Martín se sitúa un poco arriba del 75% del referente del POT, pero si llegaran a levantarse edificaciones en todos los predios se llegaría al 125%. Desde este punto de vista es conveniente intervenir en el presente el desarrollo urbanístico, antes de que se generen conflictos.

- Distribución según el uso principal

En el barrio San Ignacio la mayoría de los predios (61%) tienen como uso principal la vivienda; en San Martín, en cambio, predominan los predios sin destinación específica (lotes). Estos resultados se muestran en la **Tabla 6.10**.

USO PRINCIPAL	BARRIO				TOTAL ÁREA DE ESTUDIO	
	SAN IGNACIO		SAN MARTÍN		Número de predios	Porcentaje
	Número de predios	Porcentaje	Número de predios	Porcentaje		
Vivienda	204	60,9%	153	42,1%	357	51,1%
I. Educativa	1	0,3%	1	0,3%	2	0,3%
I. Cultural y Social	0	0,0%	1	0,3%	1	0,1%
Lote (Sin Uso)	130	38,8%	208	57,3%	338	48,4%
TOTAL	335	100,0%	363	100,0%	698	100,0%

Tabla 6.10. Distribución de predios según el uso principal

Al considerar toda el área de estudio prevalece la destinación para vivienda con un poco más del 51%. Si solamente se toman los predios construidos, la vivienda es el uso principal en más del 99% de los casos.

Es de destacar que en los dos barrios no existen sino dos edificaciones destinadas a la prestación de la educación y uno para uso social. En el barrio San Ignacio, al momento de efectuar la investigación estaba en proceso de construcción un comedor comunitario, el cual se agregaría a la infraestructura cultural y social.

En estos barrios no hay infraestructura para prestación de servicios de salud, de seguridad o recreación. Respecto a este último aspecto, debe registrarse que el único sitio en la zona destinado a diversión nocturna de adultos, funciona como discoteca en la noche y en el día como un expendio de gas.

- Distribución de predios según número de pisos

En términos generales, predominan los lotes y las construcciones de un piso. Si se consideran únicamente los predios construidos, la mayoría es de un solo piso, como se muestra en las tablas siguientes.

Número de Pisos	BARRIO				TOTAL ÁREA DE ESTUDIO	
	SAN IGNACIO		SAN MARTÍN		Número de Predios	Porcentaje
	Número de Predios	Porcentaje	Número de Predios	Porcentaje		
Un (1) Piso	173	51,6%	147	40,5%	320	45,8%
Dos (2) Pisos	28	8,4%	8	2,2%	36	5,2%
Tres (3) Pisos	4	1,2%	0	0,0%	4	0,6%
Lote (Sin Uso)	130	38,8%	208	57,3%	338	48,4%
TOTAL	335	100,0%	363	100,0%	698	100,0%

Tabla 6.11. Distribución de predios por número de pisos

Número de Pisos	BARRIO				TOTAL ÁREA DE ESTUDIO	
	SAN IGNACIO		SAN MARTÍN		Número de construcciones	Porcentaje
	Número de construcciones	Porcentaje	Número de construcciones	Porcentaje		
Un (1) Piso	173	84,4%	147	94,8%	320	88,9%
Dos (2) Pisos	28	13,7%	8	5,2%	36	10,0%
Tres (3) Pisos	4	2,0%	0	0,0%	4	1,1%
TOTAL	205	100,0%	155	100,0%	360	100,0%

Tabla 6.12. Distribución de predios construidos según el número de pisos

Se resalta que en el área de estudio, solamente hay 40 edificaciones de más de un piso, lo que también indica un bajo nivel de consolidación de estos barrios.

- Tipología de las construcciones

En San Ignacio predomina la mampostería confinada, mientras que en San Martín predomina una tipología mixta, especialmente las construcciones de lámina y madera, seguidas por las de mampostería confinada.

TIPOLOGÍA	BARRIO				ÁREA DE ESTUDIO	
	SAN IGNACIO		SAN MARTÍN		Número de Predios	Porcentaje
	Número de Predios	Porcentaje	Número de Predios	Porcentaje		
Sin Construir	130	38,8%	208	57,3%	338	48,4%
T2_Pórticos en Concreto con Muros en Ladrillo	1	0,3%	0	0,0%	1	0,1%
T4_Mampostería Confinada	113	33,7%	46	12,7%	159	22,8%
T5_Mampostería Simple	25	7,5%	19	5,2%	44	6,3%
T6_Madera	24	7,2%	19	5,2%	43	6,2%
T7_Vivenda Prefabricada	5	1,5%	6	1,7%	11	1,6%
T8_Otro o mixto	37	11,0%	65	17,9%	102	14,6%
TOTAL	335	100,0%	363	100,0%	698	100,0%

Tabla 6.13. Distribución según tipología de todos los predios

TIPOLOGÍA	SAN IGNACIO		SAN MARTÍN		ÁREA DE ESTUDIO	
	Número de construcciones	Porcentaje	Número de construcciones	Porcentaje	Número de construcciones	Porcentaje
T2_Pórticos en Concreto con Muros en Ladrillo	1	0,5%	0	0,0%	1	0,3%
T4_Mampostería	113	55,1%	46	29,7%	159	44,2%
T5_Mampostería Simple	25	12,2%	19	12,3%	44	12,2%
T6_Madera	24	11,7%	19	12,3%	43	11,9%
T7_Vivenda Prefabricada	5	2,4%	6	3,9%	11	3,1%
T8_Otro o mixto	37	18,0%	65	41,9%	102	28,3%
TOTAL	205	100,0%	155	100,0%	360	100,0%

Tabla 6.14. Distribución según tipología de los predios construidos

- Cortes en el terreno y rellenos para construcción de viviendas

Un volumen apreciable de las construcciones han efectuado cortes para efectos de explanación. En San Ignacio el 40,9% y en San Martín el 35,8% de los predios han efectuado algún tipo de corte en el terreno. Los resultados se muestran en la **Tabla 6.15**

ALTURA APROXIMADA DE LOS CORTES (m)	BARRIO				ÁREA DE ESTUDIO	
	SAN IGNACIO		SAN MARTÍN		Número de Predios	Porcentaje
	Número de Predios	Porcentaje	Número de Predios	Porcentaje		
Sin cortes	198	59,1%	233	64,2%	431	61,7%
Menor o igual a 1,0 m.	36	10,7%	47	12,9%	83	11,9%
Mayor de 1,0 m. y menor o igual a 2,0 m.	77	23,0%	75	20,7%	152	21,8%
Mayor de 2,0 m. y menor o igual a 3,0 m.	21	6,3%	6	1,7%	27	3,9%
Mayor de 3,0	3	0,9%	2	0,6%	5	0,7%
TOTAL	335	100,0%	363	100,0%	698	100,0%

Tabla 6.15 Predios con cortes, y sus respectivas alturas

En lo relacionado con los rellenos, inicialmente no se había contemplado la necesidad de hacer un inventario predio a predio, pero ante la presencia de algunos rellenos locales detectados durante las diversas actividades de campo, se optó por adelantar el inventario detallado, (razón por la cual no figura como columna en la ficha de inventario), cuyos resultados se presentan en la **Tabla 6.16**.

RELLENOS EN PREDIOS	BARRIO				ÁREA DE ESTUDIO	
	SAN IGNACIO		SAN MARTÍN		Número de Predios	Porcentaje
	Número de Predios	Porcentaje	Número de Predios	Porcentaje		
Con rellenos	71	21,2%	71	19,6%	142	20,3%
Sin rellenos	264	78,8%	292	80,4%	556	79,7%
TOTAL	335	100,0%	363	100,0%	698	100,0%

Tabla 6.16. Predios con rellenos

➤ Drenaje natural en el área de estudio

De acuerdo con observaciones efectuadas sobre las fotografías aéreas pudo establecerse la existencia, en épocas pasadas, de una corriente hidrográfica drenando con una dirección predominante hacia el noroccidente, cuyo nacimiento, según se alcanza a vislumbrar, se localiza en la zona del actual barrio San Martín. Esta corriente atraviesa esta ladera, para proceder a tomar aproximadamente el mismo trazado de la falla identificada en el **Capítulo 3**, pasando luego por los barrios actuales de Cultivos, Diana Turbay y San Agustín. En este último punto entrega sus aguas a la quebrada La Chiguaza por su margen izquierda. Por este trazado se puede establecer que esta corriente corresponde a un ramal de la

quebrada Cultivos identificada en el estudio del barrio El Portal, elaborado por C. I. C. para FOPAE en el año 2000.

En la actualidad solamente se observan algunos rasgos parciales de esta quebrada, en lo que se refiere al área de estudio, debido a la intervención humana del sector, por lo cual resulta muy difícil establecer su recorrido a escala 1:1000.

Hoy en día, el drenaje natural de la zona de estudio está conformado únicamente por la escorrentía, ya que no se observan corrientes de agua, como ríos o quebradas, como se mencionó anteriormente. Los drenajes naturales se mezclan con los artificiales de manera desordenada, según los rasgos locales de topografía y actividad humana, lo que agregó nuevas dificultades para un inventario detallado.

Por todos estos motivos el levantamiento del drenaje natural se estableció con base en la distribución de la escorrentía, la cual se muestra en el **Plano 6.2**. Dicha escorrentía tiene un patrón de drenaje paralelo a subparalelo de origen denudativo, donde la escorrentía es baja, la pendiente que predomina es media, el número de corrientes es bajo y la separación entre ellas es relativamente baja. Es propio de laderas estructurales (pendiente o contrapendiente estructural) de rocas sedimentarias.

➤ **Modificación de drenajes naturales**

El sector poseía un sistema de drenaje natural como se menciona en la sección anterior, que captaba las aguas lluvias para ser conducidas a la parte baja de la ladera. Este sistema se conectaba en la parte inferior del barrio San Ignacio, en límites con Diana Turbay - Cultivos, en un drenaje natural del cual aún se observan rastros y que fue interrumpido por las construcciones que se adelantaron durante los últimos años.

La ocupación desordenada de la ladera ha permitido la ocupación de las zonas de drenajes, producto de los rellenos antrópicos destinados para la construcción o por la desviación del cauce que le permita al terreno ser apto para otros fines.

En la actualidad, tanto en el barrio San Ignacio como San Martín, las aguas lluvias fluyen ladera abajo entre los cortes de las casas y las vías, tomando también como vía de evacuación la red de cunetas adecuadas por la comunidad para la salida de las aguas residuales, caso éste que se presenta en el barrio San Martín. (Ver **Plano 6.2**).

➤ **Inventario de redes y sistemas artificiales de drenaje**

En desarrollo del presente trabajo se adelantó un inventario de redes y sistemas de drenaje tanto naturales como artificiales presentes en los barrios San Ignacio y San Martín, cuyos resultados se muestran en el **Plano 6.2** y se resumen a continuación.

- Red de suministro de agua potable

En la actualidad, las comunidades de estos barrios toman el agua a partir de un punto que presta la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), la cual surte dos tanques (uno en San Ignacio y otro en San Martín, como se muestra en el **Plano 6.2 y Fotografías 7.12 y 7.13**). A partir de estos tanques y mediante gravedad, el agua se distribuye a través de un sistema de mangueras que en su mayor parte son aéreas (aunque hay tramos en superficie y unos pocos enterrados), sostenidas en los postes de la energía o en postes hechizos u horquetas, en una configuración relativamente compleja y cuyo único criterio de trazado es el de conectar directamente y surtir del preciado líquido cada una de las construcciones allí presentes. De esa manera se obtiene que el espacio aéreo en esta zona se encuentra totalmente invadido por el sistema de suministro de agua potable y resulta de suma dificultad reflejar en un plano la localización real de todo el sistema (**Fotografías 7.14 y 7.15**), por lo cual se optó por marcar en el plano únicamente la dirección aproximada de la red principal y en ella resaltar los puntos en que se presentan las fugas principales del sistema.

Las fugas se presentan principalmente en las zonas de unión de mangueras, ya que estas se encuentran unidas entre sí por "remiendos" que no aseguran un adecuado transporte del fluido y generan pérdidas en el sistema. Tales pérdidas corresponden a goteos permanentes que caen directamente sobre el terreno, sin que existan estructuras que recojan y evacúen tales aguas, y pérdidas de energía lo que conlleva a utilizar varias mangueras para una sola edificación, repitiéndose el mismo problema en las uniones.

En la manzana G, en el poste de energía lateral a la casa 10 del barrio San Ignacio, se encuentra el punto de fuga más crítico del sector, ya que en este poste convergen varias mangueras aéreas que están unidas por retazos de telas, lo que conlleva a que las pérdidas que se observan sean significativas. Otras fugas de menor consideración en el barrio San Ignacio se encuentran en la manzana L, en una horqueta localizada al frente de la casa 4. Otra fuga se localiza en la manzana X entre las casas 1 y 2, y por último en la manzana J en un lote baldío entre las casas 6 y 3 se encuentra un poste eléctrico con varias mangueras con uniones defectuosas.

- Sistema de drenaje artificial de escorrentía

En el barrio San Martín se encuentran contruidos drenajes superficiales tipo zanjas que son destinados al transporte de aguas residuales y aguas lluvias (en menor caudal). Estas zanjas fueron adecuadas por los habitantes del barrio sin ningún tipo de diseño, ni especificaciones técnicas de construcción y, mucho menos, con las debidas precauciones para evitar las posibles infiltraciones de aguas a los suelos (**Fotografías 7.16 y 7.17**).

En San Martín se encuentran 20 cunetas distribuidas a lo largo del barrio que descargan sus aguas a una cuneta principal localizada a lo largo de la vía de acceso al barrio (Ver **Plano 6.2**). Las edificaciones que se encuentran junto a esta vía hacen sus vertimientos directamente a la cuneta principal (**Fotografía 7.18**). El

destino final, de gran parte de estas aguas residuales conducidas por este sistema abierto es el Parque Distrital Entrenubes; las aguas restantes son recolectadas por el pozo de inspección número 11 del sistema de alcantarillado ubicado en la vía de las manzanas J del barrio San Ignacio y R del barrio San Martín como se puede observar en el plano antes mencionado.

El sistema de drenajes artificiales del barrio San Ignacio consiste en cunetas excavadas en los bordes de las vías y que conducen aguas lluvias, sustituyendo así el drenaje natural de la ladera. En la zona se observa que las aguas de escorrentía que vienen de la parte alta del barrio, tienen una trayectoria difícil para su flujo, por lo que el agua utiliza caminos diferentes, como recorrer los lotes que se encuentran sin ocupación y como los linderos laterales de las viviendas en las cuales se perciben rastros de humedad.

El sistema de drenaje de la zona de estudio presenta tres direcciones de descarga: Una en la parte inferior del barrio San Ignacio, otra hacia el sector oriental, barrio Nueva Esperanza y otra hacia el parque Entrenubes, como se muestra en el plano, marcándose las divisorias de estas zonas.

Dentro las características mecánicas que presenta el flujo se pueden mencionar algunas que se resumen en la **Tabla 6.16**. Además se describen algunas características fisicoquímicas que pudieron apreciarse de las aguas que conducen estas cunetas, aclarando que no se hicieron análisis de laboratorio que determinen realmente la calidad del agua, ya que esto se encuentra fuera del alcance del estudio.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL FLUJO	
Clasificación	Características y descripción
Flujo Turbulento	Partículas que siguen una trayectoria muy irregular ocasionando transformaciones en el movimiento. Esto ocurre porque las cunetas por las cuales fluye el agua presentan características de rugosidad y cambios de dirección drásticos condicionadas por el tipo de cuneta y el tipo de terreno.
Flujo No Permanente	Las condiciones de volumen y velocidad varían con el tiempo; esto se debe a los cambios que se suceden en su trayectoria que afectan la velocidad, y a los vertimientos puntuales que no son continuos, que afectan directamente el volumen
Flujo Variado	El caudal varía con el tiempo y disminuye durante su trayectoria. Se presenta por la variación de los picos en los vertimientos puntuales y por las características de la cuneta, ya que la absorción del suelo representa una pérdida de carga y volumen.
Flujo Rotacional	La presencia de residuos sólidos inorgánicos de tamaño visible que rotan sobre su eje es producto de la trayectoria y la velocidad a la que son sometidos dadas las características de las cunetas y del terreno.
Trayectoria del Flujo	Está determinada por la pendiente del terreno y por la adecuación de las cunetas en él.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL AGUA	
Color Aparente	Puede tener origen orgánico o inorgánico. Se aprecia que el agua posee unidades de color bajas
Olor	Aunque es un parámetro subjetivo, demuestra la presencia de materia orgánica en proceso de depuración. Esta agua presenta olores que son más persistentes en los días de sol y en las horas de la tarde.
Sólidos	Se puede observar que el agua presenta materia suspendida mas no materia disuelta, pero conocida la fuente se puede visualizar que su contenido de sólidos totales se encuentra dentro del rango de aguas residuales domésticas
Turbiedad	La absorvancia en el agua no es fácil de medir sin los equipos especializados, mas se puede inferir que con la presencia de color y sólidos, el agua debe presentar una trayectoria de luz (absorvancia) baja lo cual es un indicador de turbiedad.
Aceites y Grasas	Es común encontrar este parámetro orgánico en aguas residuales domésticas, ya que los aceites y las grasas son generadas normalmente en las actividades cotidianas de la población. En el agua de las cunetas del Barrio San Martín se puede observar que la presencia de estos compuestos orgánicos se refleja en la capa brillante que superpone la superficie libre del flujo.

Tabla 6.16. Características mecánicas del flujo en las cunetas y algunas características fisico-químicas del fluido presentes en el barrio San Martín

Por lo anterior se puede concluir que el flujo tiene un comportamiento que se puede describir, según su movimiento, como turbulento, variado y no permanente. Las características fisico-químicas descritas anteriormente, hacen referencia a aguas residuales domésticas con bajo grado de contaminación inorgánica y contaminación orgánica apreciable.

- Sistema de alcantarillado

El barrio San Martín no posee sistemas de alcantarillado sanitario ni alcantarillado pluvial. La conducción de las aguas residuales se realiza por medio de cunetas superficiales. Dentro de este rústico sistema se encontraron 21 descargas puntuales, es decir, vertimientos provenientes de una vivienda que tiene como conductor una sola tubería y 10 descargas directas. Estas dispersiones directas están relacionadas con las liberaciones de aguas residuales provenientes de varios vertimientos puntuales sobre la cuneta principal localizada en la vía de acceso al barrio.

En el barrio San Ignacio hay un sistema de alcantarillado sanitario, del cual sólo se tiene referencia por la observación exterior de 17 pozos de inspección, de los cuales sólo se pudieron inspeccionar detalladamente ocho de ellos (Ver registros en **Anexo 6-C**), de los cuales uno se encuentra fuera del área de estudio, ya que los otros

nueve pozos se encontraban tapados por abundante material, producto del transporte por las lluvias.

En esta zona también se pudieron observar bajantes, tuberías de conexión y cajas de inspección domiciliarias que corroboran la existencia de un alcantarillado sanitario. La presencia de estas bajantes, tuberías y cajas de inspección es común en las viviendas del barrio San Martín.

De acuerdo con los testimonios de los habitantes, el alcantarillado fue construido por la misma comunidad y es de tipo artesanal, con tubería de gres de diámetros de 6" a 10", con pozos en ladrillo, sin responder a un diseño formal de la EAAB. (**Fotografías 7.18 y 7.19**). Algunos de los pozos inventariados presentan colmatación por sedimentación debido a que no se les realiza oportunamente el mantenimiento adecuado para su buen funcionamiento. Uno de los pozos que mayor grado de colmatación presenta es el número 11, exteriorizando un rebose considerable de aguas residuales que contienen un gran volumen de sedimentos provenientes del sistema abierto de alcantarillado del barrio San Martín (**Fotografía 7.18**). El receptor final del alcantarillado de San Ignacio es el pozo de inspección No. 8 (Ver **Anexo 6-C**) que corresponde al alcantarillado de Diana Turbay - Cultivos construido por la EAAB.

San Ignacio no posee alcantarillado pluvial. Sin embargo, unas cuadras más abajo, en Diana Turbay - Cultivos, se encuentran sumideros transversales que recogen las aguas lluvias de la zona en estudio. Este barrio tiene alcantarillado combinado ya que no se encontraron pozos de inspección paralelos.

➤ **Consideración de estos factores en los análisis de estabilidad**

Con relación a los rellenos y cortes, se tuvieron en cuenta para los análisis de amenaza los referidos en el Capítulo 3, por ser los de mayor relevancia.

De otra parte, el efecto de las aguas de infiltración es la posibilidad de saturación del suelo por lo que puede acelerar los procesos de inestabilidad. Debido a que no es fácil estimar los caudales de infiltración en la zona de estudio por la baja homogeneidad en la distribución de las líneas de suministro y desagüe, en el presente estudio se determinó el caudal de infiltración requerido para que se presente la saturación de los diferentes estratos del perfil de meteorización de la arenisca considerando continuidad de flujo entre el caudal de entrada y el flujo subsuoficial.

Los resultados de este análisis se presentan en la **Tabla 6.17**.

Inclinación Terreno Natural (°)	Profundidad de saturación h_w (cm)	Caudal permanente Para Saturación (lt/seg)
2	150	1,1
	275	1,98
	325	2,34
4	150	2,51
	275	4,60
	325	5,40
8,5	150	5,30
	275	9,80
	325	12,0
19	150	12,0
	275	22,0
	325	26,0
37	150	22,0
	275	40,0
	325	47,0

Tabla 6.17 Caudales permanentes requeridos para saturar los diferentes horizontes de suelo residual de arenisca.

6.4 FUENTES DE CONSULTA

Chow, Ven Te. Hidrología Aplicada.

C.I.C. Consultores de Ingeniería y Cimentaciones Ltda (2002) para FOPAE. Estudio de Riesgos por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar el Antiguo Escarpe de Explotación Frente al Barrio El Portal, Localidad Rafael Uribe Uribe. Bogotá, Colombia.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR (2003). Registros históricos de precipitación. Estación La Picota. Período 1980 - 2000. Bogotá, Colombia.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR (2003). Registros históricos de precipitación diaria, evaporación diaria, temperatura diaria, humedad relativa diaria, brillo solar diario, radiación solar diaria y velocidad del viento. Estación Doña Juana. Período 1989 - 1998. Bogotá, Colombia.

Duncan, J.M. (2000). *Factors of safety and reliability in Geotechnical Engineering*. ASCE *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol 126, No 4, Págs 307-316.

DPAE (2000). Resolución 364 de 2000.

Geoingeniería (2002) para FOPAE. Evaluación de Riesgos para los Barrios México y Villa Jacqui por Inestabilidad en los Taludes Aledaños a las Gravilleras e Inundación para los Barrios Tunjuelito y Meissen por Desbordamiento del Río Tunjuelito debido al Embalsamiento actual de las Aguas dentro de las Gravilleras. Bogotá, Colombia.

González, A. J., Zamudio, E, Castellanos, R. (1999). Relación de Precipitación – Duración de Lluvias que Disparan Movimientos en Masa en Santafé de Bogotá, Colombia.

Hudson J. A. y Harrison J. P. (1995). *Engineering Rock Mechanics. An Introduction to the Principles. Final Draft.*

Kalinin E. V. y Sheshenin S. V. (1990). *The State of Stress of Anisotropics Rock Mass in Mechanics of Jointed and Faulted Rock.* Rossmanith (Ed.). Págs. 945 a 949.

Nishida K. (1989). *Residual Soils Properties and their Relation to Slope Failure Pattern.* *Journal of Natural Disasters.* Vol. 11 No. 1. Págs. 27 a 41.

Ohmachi T. Midorikawa (1992). *Grand Motion Intensity Inferred from Upthrow of Boulders During the 1984 Western Nagano Prefecture, Japan, Earthquake.* *Bulletin of the Seismological Society of America.* Vol. 82 No. 1 Págs. 44 a 60.

Pradel D. y Raad G. (1993). *Effect of Permeability on Surficial Stability of Homogeneous Slopes.* *ASCE Journal of Geotechnical Engineering.* Vol. 119 No. 2. Págs. 315 a 332.

Rodríguez C. E. (2001). *Hazard Assessment of Earthquakes induce Landslides on Natural Slopes.* *Ph. D. Tesis, Imperial College. London, U. K.*

Rodríguez C. E. (1997). *Análisis y Modelación de Torrentes.* Tesis de Magister. Universidad Nacional de Colombia.

CAPÍTULO 7.0

CONDICIONES URBANÍSTICAS Y AMBIENTALES ACTUALES

7.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan y discuten los aspectos relacionados con las condiciones urbanísticas y ambientales actuales en la zona de estudio, haciendo énfasis en aspectos fundamentales como la situación urbanística de la zona, la influencia de la zona de estudio sobre el Parque Entrenubes, condiciones específicas del medio ambiente en la zona de estudio y situación de vulnerabilidad y riesgo en el sector.

Su importancia radica en que, además de resaltar estos aspectos fundamentales, se puede visualizar con mayor integralidad la problemática de las amenazas geotécnicas y su interrelación con otros aspectos igualmente importantes de la zona, que, tradicionalmente, en estudios de este corte, se relegan; cuando esto último ocurre, las posibles soluciones propuestas tienen sesgos disciplinarios, que impiden la formulación de propuestas integrales y viables.

Por lo anterior, sin desconocer la importancia de los aspectos netamente geotécnicos, y aunque varios aspectos del capítulo no responden a una exigencia específica de los términos de referencia, el Consultor ha optado por incluir estas consideraciones, con el fin de aportar, en la medida de lo posible, un enfoque holístico en la ejecución de este tipo de trabajos.

El capítulo comprende siete secciones, de las cuales la primera corresponde a la introducción, la segunda registra las condiciones urbanísticas, la tercera la influencia de la zona sobre el parque Entrenubes, la cuarta las condiciones ambientales, la quinta algunas consideraciones sobre la situación de vulnerabilidad y riesgo en el sector, la sexta una breve discusión sobre la intervención humana y su relación con los procesos de inestabilidad y en la séptima y última se incluyen las fuentes de información consultadas.

7.2 CONDICIONES URBANÍSTICAS ACTUALES

En este aparte se presentan los aspectos generales del tema urbano del área de estudio, en relación con la ciudad y su contexto, con el fin de identificar la problemática actual y partir de esta definir los lineamientos para el mejoramiento integral de la zona, de acuerdo con las políticas y proyectos adelantados por la

UNIÓN TEMPORAL CONSULTORES EN RIESGOS		CONTRATO CONS - 449 / 02		CAPÍTULO 7 PAG. 1	
VERSIÓN:	1.0	FECHA:	MARZO/03		
ELABORÓ:	SZ - LG - NB - CC	REVISÓ:	ODC	APROBÓ:	INGEMÉTRICA LTDA.

administración distrital y en especial lo dispuesto en el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá.

El propósito fundamental es definir los lineamientos para la consolidación de la zona dentro de criterios claros para su mejoramiento integral y permitir su adecuada integración al contexto ecológico y urbano que la rodea, con el fin de contribuir en el reordenamiento de los barrios en estudio y en la mitigación de las amenazas detectadas.

Este producto está basado en la información obtenida en las reuniones con funcionarios de distintas entidades distritales, la revisión del POT de Bogotá con respecto al área de estudio, el estudio de otras consultorías que han desarrollado estudios en la zona, visitas al lugar y la experiencia de los consultores.

El tema urbano, en el presente estudio, se divide en dos subcapítulos. El primero, Condiciones Urbanísticas Actuales, que se encuentra a continuación, describe las condiciones urbanas del área con el fin de caracterizarla en cada uno de los temas urbanos, los cuales se relacionan con los sistemas generales de la ciudad definidos en el POT. En el segundo subcapítulo, Lineamientos para el Mejoramiento Integral, que hace parte del capítulo final donde se describen las recomendaciones para el área de estudio, se incluye la parte propositiva a manera de criterios generales y esquema básico, de tal forma que los barrios en este estudio puedan integrarse a la estructura ecológica y urbana del contexto. Esta propuesta se basará principalmente en los resultados del diagnóstico descrito a continuación y de la zonificación objeto de este contrato.

Es importante aclarar que el diagnóstico se realiza a nivel general de tal forma que con la caracterización la zona sea posible definir algunos lineamientos de actuación urbana orientados hacia el mejoramiento barrial, que complementen los estudios técnicos objeto de esta consultoría.

7.2.1 Relación del área de estudio con la ciudad

7.2.1.1 El área de estudio

La porción de ciudad hacia el costado sur oriental, constituye el punto de articulación entre el amplio territorio de la Sabana con el valle del río Tunjuelo, enmarcado por las cadenas de montañas pertenecientes a los Cerros Orientales y los cerros del sur. Su crecimiento se estructura a partir de las singularidades geomorfológicas y los elementos de alto valor ambiental y paisajístico pertenecientes al sistema ambiental regional (la cuchilla del Gavilán, los cerros de Guacamayas, Juan Rey, Doña Juana y los cerros del sur, articulados al sistema hídrico de la cuenca del río Tunjuelo). Estos elementos conforman una barrera física que aísla el área desvinculando el sector del resto del territorio.

Precisamente sobre elementos naturales como los cerros, que en algún momento conformaron una barrera física, se localizan los barrios San Martín y San Ignacio. La desarticulación espacial del sur con el resto de la ciudad ha sido acompañada por el rápido crecimiento poblacional experimentado en las últimas tres décadas, lo que ha inducido nuevas formas de apropiación del territorio caracterizados en su mayoría

por la ocupación ilegal y la ausencia total de planeamiento. La alta montaña, así como las zonas inundables de los ríos, es invadida por fuera casi siempre del perímetro de servicios. Por lo general, los barrios de origen ilegal, conforman sectores independientes en condiciones problemáticas para su integración al sistema continuo de la ciudad (sistemas generales). La conexión de estos barrios con la ciudad se realiza por senderos y carreteras que más tarde se convertirán en las vías primarias del Plan Vial.

Es característico de este tipo de barrios, la escasez de espacio público como parques, espacios de recreación, vías, así como de edificios para equipamientos de apoyo a la comunidad. Todo esto hace parte de un proceso continuo de racionalización para sacar el máximo provecho del suelo urbanizable.

El bajo nivel de consolidación de las viviendas en los barrios San Ignacio y San Martín, especialmente, permite establecer que el sector es de reciente conformación. Esta situación, así como la incertidumbre que genera en la comunidad el hecho de que el barrio aún no esté legalizado, ha favorecido la subsistencia de vacíos o zonas sin ocupar que podrán ser empleadas como áreas de oportunidad para proyectos que permitan el mejoramiento barrial, como la definición de equipamientos de carácter barrial o áreas libres para la recreación, en el caso de predios localizados en zonas de amenaza alta, antes de su posible ocupación.

Estos barrios, además, requieren acciones que permitan su vinculación y articulación con el resto de la ciudad, que incluyen, proyectar y estructurar la malla vial local, diseñar y desarrollar la infraestructura de servicios públicos (redes troncales de acueducto y alcantarillado) y realizar una planeación de la dotación de equipamientos de escala local.

(Ver **Fotografía 7.20**)

7.2.1.2 La localidad

La localidad 5, Usme, se encuentra al sur de la ciudad. Limita hacia el norte con las localidades San Cristóbal y Rafael Uribe Uribe, localidades que colindan con el área de estudio. Con una extensión de 2.220,35 hectáreas alberga hoy una población de 244.270 habitantes, que para el año 2010 podrían llegar a 323.571. Aunque los barrios San Martín y San Ignacio son de estrato 1, en la localidad predomina el estrato 2 .

De acuerdo con el POT, el objetivo de ordenamiento urbano en esta parte de la ciudad, está centrado en el fortalecimiento de la Estructura Ecológica Principal a través de la articulación del Parque Entrenubes y la ronda del río Tunjuelo. Mediante los programas y proyectos identificados para la localidad, se incentivará la oferta de vivienda de interés social y la consolidación de las centralidades Nuevo Usme, Danubio, Alfonso López y Centro Usme, y el Nodo de Servicios Regionales Puerta al Llano.

A continuación se describe el área de estudio con respecto a los componentes del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá (POT).

7.2.1.3 La pieza urbana

Las Piezas Urbanas son grandes partes de la ciudad diferenciadas por su morfología, su relación con otras partes de la ciudad, la distribución de los usos y su función en el Modelo de Ordenamiento. Las Piezas constituyen la base de las intervenciones en la estructura urbana.

Los barrios San Ignacio y San Martín se encuentran dentro de la Pieza Urbana Ciudad Sur, la cual configura el extremo sur de la ciudad con una zona de vivienda popular, y punto de relación con las áreas rurales del Distrito y la región de los Llanos Orientales. Su consolidación se prevé a partir de sus elementos geográficos predominantes y las singularidades de su topografía, poniendo en valor la calidad ambiental y paisajística de la Estructura Ecológica Principal y los elementos que la conforman.

La Ciudad Sur ofrece una considerable reserva de áreas aptas para el desarrollo de nuevo suelo que puede aprovecharse para generar procesos de mejoramiento y dotación con servicios complementarios (infraestructuras, vialidad, equipamientos, espacios públicos, etc.) de las áreas urbanas de desarrollo incompleto existentes para proporcionar una mejor calidad de vida.

7.2.1.4 El área funcional

En la Ciudad Sur hay tres territorios que responden a las particularidades funcionales, morfológicas y la presencia de sus principales elementos naturales. Estas zonas establecen relaciones urbanas que requieren algún grado de articulación interna para mejorar su permeabilidad y facilitar su equilibrio funcional.

La zona de estudio se encuentra en el área funcional **Entrenubes - Usme**, la cual se configura como un gran territorio vinculado al Valle del Tunjuelo, que se articula a la ciudad a través de la troncal de la Avenida Caracas y la Avenida Darío Echandía (Carrera 10ª). Sus áreas residenciales gravitan en torno a las centralidades urbanas (Danubio, San Carlos y Centro Usme), siendo Danubio la más cercana al área de estudio. Estas zonas son de gran atracción debido a las demandas considerables que imponen las áreas de urbanización incompleta y las nuevas áreas de vivienda. Se integran funcionalmente a esta área los cerros de Juan Rey, Guacamayas y la Cuchilla del Gavilán, que a través de su adecuación como Parque urbano (Entrenubes), transformarán la estructura de espacio público de su entorno. De otra parte, la Avenida de La Victoria se fortalecerá como principal corredor de relación de los barrios de ladera con las áreas centrales, potenciando la centralidad zonal de la Victoria, en donde confluirán rutas alimentadoras de transporte .

7.2.1.5 Las operaciones estructurantes

Las operaciones estructurantes son el conjunto de actuaciones y acciones urbanísticas sobre áreas y elementos estratégicos de cada Pieza Urbana,

necesarias para cumplir sus objetivos de ordenamiento. Para la Ciudad Sur el POT estableció 5 operaciones estructurantes, todas estas relacionadas directa o indirectamente con el área de estudio.

1. Operación Río Tunjuelo. Integra proyectos enfocados a convertir el río Tunjuelo en una oportunidad para transformar la estructura urbana primaria de la zona, mediante cuatro suboperaciones: parque Ronda Río Tunjuelo, centralidad Tunal - Santa Lucía, Tunjuelo Medio - Parque Minero Industrial y centralidad El Ensueño. Al ser la principal operación por medio de la cual se estructura la pieza, y donde confluirán gran parte de los recorridos y actividades dotacionales de la Ciudad Sur, sus barrios mejorarán en cuanto a condiciones ambientales y dotación de servicios comunitarios a partir de su desarrollo. Los proyectos como la alameda de la Chiguaza, que conectan el parque Entrenubes con el río Tunjuelo, relacionarán los barrios San Ignacio y San Martín con los proyectos de esta operación estructurante.

2. Operación Entrenubes. Esta operación se encuentra directamente relacionada con el área de estudio, ya que se encuentra en laderas que anteriormente eran parte del parque Entrenubes. Propende por la conservación ecológica y la definición del borde urbano que delimite las áreas de valor natural, estableciendo niveles de interacción del espacio protegido con su entorno urbano y promoviendo el uso racional del parque.

Está compuesta por tres suboperaciones, que hacen parte fundamental de la estructura urbana para la zona donde se encuentran los barrios San Ignacio y San Martín, ellas son:

a. Parque Ecológico Entrenubes: Integrará proyectos de preservación ambiental como alamedas, anillos y senderos ecológicos que protejan su borde, articulando el parque a redes de espacio público zonales configuradas sobre las quebradas Chiguaza, Verejón, Santa Librada y Yomasa, a las áreas de vivienda en su entorno. La más cercana a San Ignacio es la quebrada Chiguaza, donde se proyecta una alameda que conectará el parque con el río Tunjuelo (parque Minero y centralidad Tunal – Santa Lucía).

La definición del borde urbano, en el límite entre el área de estudio y el parque, es de especial importancia para controlar la urbanización hacia el interior de las áreas de protección.

b. Centralidad Danubio: Alojará una terminal del corredor troncal Caracas, que induzca, la localización de servicios y dotaciones tanto públicas como privadas que contribuyan a cubrir el territorio oriental de la Pieza hasta Usme.

c. Nodos San Carlos - La Victoria: Estas dos áreas se potenciarán como núcleos de actividad económica y dotacional zonal mediante la ejecución de las avenidas Caracas, Darío Echandía (Carrera 10ª), Guacamayas y de los Cerros, articulando el sector suroriental al Centro Metropolitano y a la región occidental de la pieza Ciudad Sur.

3. Operación Nuevo Usme. Mediante la provisión de agua programada en el mediano plazo y la dotación estratégica de equipamientos se incentivará el desarrollo de las áreas sin urbanizar en el sector de Usme. Esta operación permitirá el desarrollo de la precaria infraestructura del sur de la ciudad.

4. Operación Puerta del Llano. Comprende un conjunto de actuaciones enfocadas hacia la optimización de la accesibilidad a la ciudad, mediante la configuración de un nodo de servicios funcional, donde confluirá la dinámica interregional prevista allí, apoyada en la ejecución de ejes de soporte principales como la Circunvalar del Sur. Esta dinámica interregional generará empleos para los habitantes del sur de Bogotá, mejorando su calidad de vida.

5. Operación Autopista Sur-Soacha. Tiene por objeto resolver las condiciones de acceso a la ciudad por el sur, con énfasis en el ordenamiento funcional y la consolidación del espacio sobre el corredor de acceso, mediante tres suboperaciones: corredor Avenida del Sur, cementerio el Apogeo y la estación de intercambio regional las Delicias. Esta es la operación más distante al área de estudio; sin embargo consideramos que al mejorar las condiciones de movilidad del sur de la ciudad, afecta indirectamente los barrios de estudio.

7.2.1.6 La UPZ No. 56 Danubio

"La escala zonal en la planificación del territorio, da cuenta de los elementos determinantes de la estructura de la ciudad en el nivel zonal y permite precisar las decisiones de planeamiento en armonía con las directrices generales de la ciudad y las condiciones específicas de cada zona urbana, en aspectos tales como: los equipamientos, las vías, los espacios libres y demás sistemas generales de escala intermedia". (POT).

El análisis de este conjunto de variables físicas y socioeconómicas permitió caracterizar 117 Unidades de Planeamiento Zonal, que con el objeto de orientar las directrices de planeación y gestión urbana clasificaron de acuerdo con sus características en ocho grupos. La UPZ Danubio, es Residencial de Urbanización Incompleta (tipo 1), es decir, que está conformada por sectores periféricos no consolidados, con uso residencial predominante, de estratos 1 y 2, que presentan deficiencias en infraestructura, accesibilidad, equipamientos y espacio público. Tiene 268,11 hectáreas y cerca de 23.000 habitantes.

Las Unidades de Planeamiento Zonal, corresponden con la división político administrativa de la ciudad. Por esta razón, el área de estudio se encuentra en la UPZ Danubio, de la localidad de Usme, a pesar de depender vial y funcionalmente de la UPZ Diana Turbay, de la localidad de Rafael Uribe Uribe. Su articulación a la zona dependerá de la estructura urbana propuesta para estas dos UPZs así como para la del parque Entrenubes.

7.2.2 Conformación básica del área de estudio y su contexto

Los componentes primarios del Modelo Distrital están constituidos por el medio natural (estructura ecológica Principal), el área urbana (estructura Urbana) y el suelo rural (estructura rural).

7.2.2.1 La estructura ecológica principal

La Estructura Ecológica Principal del Distrito Capital la componen el sistema de áreas protegidas del Distrito, los parques urbanos y el área de manejo especial del río Bogotá, los cuales constituyen el soporte territorial de la biodiversidad y los procesos ecológicos sostenibles. El conjunto de reservas, parques y restos de la vegetación natural de quebradas y ríos son parte esencial de la Estructura Ecológica Principal.

En la Estructura Ecológica Principal propende por la preservación y restauración ecológica de los elementos del sistema hídrico (áreas de recarga del acuífero; rondas de ríos, canales, nacimientos y quebradas; los humedales y sus rondas; y el valle aluvial del río Bogotá y sus afluentes), como principal conector ecológico del territorio urbano y rural.

La finalidad de la Estructura Ecológica Principal es la conservación y recuperación de los recursos naturales, como la biodiversidad, el agua, el aire y, en general, del ambiente deseable para el hombre, la fauna y la flora.

- **Sistema de áreas protegidas**

El Sistema de Áreas Protegidas es el conjunto de espacios con valores singulares para el patrimonio natural del Distrito Capital, la Región o la Nación, cuya conservación resulta imprescindible para el funcionamiento de los ecosistemas, la conservación de la biodiversidad y la evolución de la cultura. Las áreas dentro del Sistema de Áreas Protegidas constituyen suelo de protección y se clasifican en: Santuario Distrital de Flora y Fauna, Reserva Forestal Distrital y Parque Ecológico Distrital.

Bogotá cuenta solo con dos Parques Ecológicos, el Parque del Cerro de la Conejera y el Parque Entrenubes, siendo este último el más extenso de la ciudad.

El Parque Ecológico Entrenubes, conformado por la Cuchilla del Gavilán, el Cerro de Juan Rey y la Cuchilla de Guacamayas, en un área de alto valor escénico y/o biológico que por sus condiciones de localización y accesibilidad, se destina a la preservación, restauración y aprovechamiento sostenible de sus elementos biofísicos, así como para la educación ambiental y la recreación pasiva.

En 1984, el parque tenía 1400 hectáreas de las cuales hoy quedan poco más de 600 hectáreas (Sanjinés, 2000), debido a las intervenciones en sus terrenos de urbanizadores piratas, las invasiones y la explotación de canteras. La delimitación que actualmente tiene el Parque Entrenubes corresponde a la establecida en el estudio denominado “Elaboración de la topografía, trazado, estacamiento y registros topográficos del límite del Parque Entrenubes”, realizado por el Departamento Administrativo del Medio Ambiente (DAMA) en abril de 1999. Actualmente se hacen

estudios urbanos y de riesgo por medio de los cuales se busca modificar nuevamente el perímetro del parque para reincorporar áreas de invasión, que por estar desarticuladas con el contexto o en zonas de alto riesgo serán reubicadas. (Ver **Fotografía 7.21**)

El Parque requiere de acciones rápidas que impulsen su desarrollo con el fin de consolidar su borde para evitar la invasión de sus territorios y recuperar ambientalmente la zona. De esta forma cerca de 500 mil habitantes de su área de influencia, aproximadamente 110 barrios, se verán beneficiados.

Los habitantes de los barrios San Martín y San Ignacio se encuentran en una localización privilegiada por estar en la periferia del Parque Entrenubes.

La participación de la comunidad es importante para generar procesos educativos con respecto a la convivencia y la protección en ecosistema, así como la apropiación de la comunidad de su territorio y generar sentido de pertenencia. Por medio de estos talleres, la comunidad podrá aprender a cerca de las características ambientales de sus barrios y participar activamente en la protección del medio ambiente y de los sus bordes de la Zona de Reserva.

- **Parques urbanos**

El segundo componente de la Estructura Ecológica Principal lo establecen los parques urbanos, los cuales agrupan elementos del espacio público, destinados a la recreación la cual puede ser pasiva¹ o activa². Las áreas comprendidas por estos parques también están dentro del suelo de protección. Cerca al área de estudio se encuentra proyectado el Parque Ronda del río Tunjuelo, del cual se beneficiarán también sus habitantes.

- **Zonas sujetas a amenazas y riesgos**

Por ser éste uno de los objetos principales de la presente consultoría, en esta apartado urbanístico se hace mención sólo en lo que se relaciona con la parte que compete al ordenamiento territorial. Los aspectos más específicos y técnicos del tema se desarrollan en los demás capítulos de la consultoría.

Aunque las zonas sujetas a amenazas y riesgos no hacen parte de la Estructura Ecológica principal, están estrechamente ligadas a elementos que la componen, como los subsistemas orográfico e hídrico, y forman parte del “suelo de protección

¹ Recreación pasiva: conjunto de acciones y medidas dirigidas al ejercicio de actividades contemplativas que tienen como fin el disfrute escénico y la salud física y mental, para las cuales tan solo se requiere equipamientos mínimos de muy bajo impacto ambiental, tales como senderos peatonales, miradores paisajísticos, observatorios de avifauna y mobiliario propio de las actividades contemplativas.

² Recreación activa: conjunto de actividades dirigidas al esparcimiento y el ejercicio de disciplinas lúdicas, artísticas o deportivas que tienen como fin la salud física y mental, para las cuales se requiere infraestructura destinada a alojar concentraciones de público. La recreación activa implica equipamientos tales como: albergues, estadios, coliseos, canchas y la infraestructura requerida para deportes motorizados.

por riesgo de remoción en masa e inundación”; por esta razón se trabajan dentro este aparte.

El subsistema orográfico está degradado por el desarrollo de actividades mineras extractivas y por la invasión de viviendas. El sur encierra los más graves problemas de deterioro asociados a los altos niveles de pobreza.

Los cerros de Juan Rey, Guacamayas y cuchilla del Gavilán forman parte de un sistema altamente intervenido. El cerro de Juan Rey, donde se localiza el área de estudio, presenta suelos muy erosionados y es objeto de una fuerte presión de urbanización hasta media ladera por parte de sectores marginales (DAMA, 1999). Tal es el caso de los barrios San Martín y San Ignacio.

En forma general la amenaza alta por remoción en masa se presenta principalmente en las áreas de extracción minera (canteras y chircales), rellenos, las laderas marginales de los cerros y en otros sectores que por condiciones naturales o de actividad antrópica presentan alta probabilidad de deslizamientos.

La marcada topografía en el área de estudio será una fuerte condicionante de las intervenciones urbanas que allí se realicen.

En subsistema hídrico del parque Entrenubes, se encuentra compuesto con siete quebradas que hacen parte de la cuenca del río Tunjuelo, las cuales se encuentran altamente intervenidas por el hombre, invadidas y contaminadas. El elevado nivel de contaminación de las aguas, determina limitantes al aprovechamiento de los mismos tanto en lo que hace a su función biológica como a su potencial paisajístico y urbano.

Para las zonas aledañas a las quebradas en los cerros, se han establecido medidas para la mitigación del riesgo, a través de programas prioritarios enfocadas a la protección y control de los cauces de las quebradas de los cerros, como el programa para el despeje de rondas, el programa para la adecuación y conservación de rondas y la construcción y mejoramiento de las redes de alcantarillado sanitario y pluvial.

En el área de estudio aplican las acciones que hacen parte de estos programas y proyectos. De esta forma deberán delimitarse las rondas³ de quebradas o escorrentías para garantizar su preservación. La propuesta incluirá los lineamientos para el aprovechamiento público de las áreas de reserva de las rondas encontradas en el lugar, las cuales representan un potencial para la conexión entre la zona de protección del parque Entrenubes y la ciudad a través del manejo del espacio verde público de estas rondas.

Las zonas desalojadas mediante el programa de reubicación de familias localizadas en zonas de alto riesgo no mitigable, deberán ser demarcadas y señalizadas por la

³ Es la franja paralela a la línea media del cauce o alrededor de los nacimientos o cuerpos de agua, hasta de 30 metros de ancho (a cada lado), de conformidad con lo dispuesto en el Decreto Ley 2811 de 1974.

Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE), para evitar una nueva ocupación. Estas zonas deberán ser entregadas a las entidades encargadas del control y protección ambiental, para su manejo.

Una vez realizadas las obras de mitigación de riesgo, es posible habilitar nuevo suelo urbano para el desarrollo de áreas urbanas integrales. En los sectores libres se podrá desarrollar actividades recreativas que permitan aliviar parte de las carencias de las zonas de urbanización incompleta allí existentes. Esta consultoría incluirá también los lineamientos para el desarrollo futuro de éstas “áreas de oportunidad”.

7.2.2.2 La estructura urbana

La Estructura Urbana la conforma el suelo habilitado y construido y el que se habilite o construya para la residencia de la población, la localización de las actividades y funciones urbanas, la incorporación de la infraestructura, el equipamiento y el espacio requerido para el disfrute de los habitantes y el adecuado desarrollo de sus actividades. Está compuesta por los diez sistemas generales que la definen. Su relación con el área de estudio se define a continuación.

- **El sistema vial**

El Sistema Vial esta constituido por cuatro mallas jerarquizadas y relacionadas funcionalmente y por las intersecciones generadas entre las mismas. Las cuatro mallas viales son la arterial principal, la arterial complementaria, la vial intermedia y la vial local.

Los corredores de acceso actúan como elementos de soporte y vínculo con zonas productivas de la ciudad y la región. La Autopista al Llano y la Avenida del Sur configuran los corredores de acceso regional.

La relación entre el Centro Metropolitano y el Tejido Residencial Sur está soportado por las Avenidas Caracas y Darío Echandía (apoyadas en la Avenida La Victoria y la Avenida de los Cerros desde la zona de Entrenubes - Usme) y por las Avenidas del Sur, Boyacá y la Autopista al Llano (apoyadas en la Avenida Jorge Gaitán Cortés desde las zonas de Ismael Perdomo - Lucero y el Valle del Tunjuelo).

El río y los cerros del parque Entrenubes fraccionan el espacio urbano, que apenas se articula por un sistema vial en construcción (Avenida Ciudad de Villavicencio y la Alameda del Sur/Guacamayas), y especialmente por el corredor de Transmilenio (Avenida Caracas).

La movilidad y accesibilidad en la zona es precaria. Pocas avenidas de la Malla vial arterial, aún sin condiciones adecuadas a su función, llevan a los barrios, desde donde a través de una malla vial local discontinua y sin planificación se accede a los sectores residenciales perimetrales. En el sur de la ciudad hay muy pocos elementos de la malla vial complementaria y la intermedia carece de continuidad.

Actualmente está planeada la construcción de algunas vías como la Avenida Caracas desde el batallón de Artillería hasta el casco urbano de Usme; la Carrera 10ª desde la avenida Ciudad de Villavicencio hasta la Autopista al Llano; la Avenida Boyacá desde la Avenida Caracas hasta la troncal Juan Rey; la Troncal Juan Rey; la Avenida de la Guacamaya; y la Autopista al Llano, desde la Avenida Carácas hasta el límite del D.C. Estas mejoraran las condiciones movilidad y accesibilidad que hoy existen, aunque es necesario estudiar sistemas alternativos debido al rápido crecimiento de la zona.

En la parte propositiva, se incluirán elementos para conformar una malla local adecuada a las condiciones especialmente topográficas del área de estudio. Esta malla local estará compuesta tanto por algunas vías vehiculares que permitan el acceso de vehículos de servicios públicos como recolección de basuras, bomberos y un corredor para las rutas alimentadoras, así como por una red de vías peatonales continuas que garanticen la accesibilidad a cada vivienda. (Ver **Fotografía 7.22**)

- **El sistema de transporte**

Las dificultades de movilización de la creciente población, están ligadas a los problemas del sistema de transporte actual y a la deficiente malla vial de esta parte de la ciudad.

Estas tendencias poblacionales y el retraso en la construcción de la malla vial empeoran las condiciones del transporte, incidiendo negativamente en la productividad y en la calidad de vida de sus habitantes. Por otro lado, la zona carece de actividades económicas de escala urbana, convirtiéndose un “área dormitorio” con desplazamientos diarios obligados, principalmente hacia el Centro Metropolitano.

El Sistema de Transporte está conformado por diferentes modos de transporte masivo y sus respectivas infraestructuras complementarias, concebidos para lograr un funcionamiento integrado, interdependiente y complementario de la ciudad. El elemento que más incide en el área de estudio el Sistema Integrado de Corredores Troncales de Buses y Rutas Alimentadoras – Transmilenio. Aunque un alto porcentaje de la población del área de estudio se moviliza por el sistema Transmilenio, debido a la carencia de corredores de movilidad local, las Rutas Alimentadores no llegan hasta en área.

Algunas rutas de transporte público que acceden a la zona por la Avenida Darío Echandía, hacen sus recorridos a través del barrio Diana Turbay, hasta las cercanías de los cerros del parque Entrenubes. Estas rutas, localizan sus “terminales”, en áreas periféricas o libres dentro de los barrios, ocupando casi en la totalidad de las veces, los espacios públicos destinados a la recreación o equipamientos comunitarios. Sin embargo, estos “paraderos” siguen siendo relativamente distantes de algunas de las viviendas de los barrios estudiados, ya que es necesario subir a pie desde el sector de Cultivos.

Debido a la difícil topografía, no se ha contemplado el Sistema de Ciclorrutas a nivel local.

- **Los sistemas de servicios públicos**

Los sistemas de Acueducto, Saneamiento Básico, Energía Eléctrica, Telecomunicaciones y Gas Natural Domiciliario se agrupan en este apartado, también de manera general, puesto que varios de ellos ya han sido detallados al inicio de este capítulo.

Con respecto al agua potable, el sistema presenta un cubrimiento del 94% de la ciudad mediante redes matrices y tanques de almacenamiento zonales (POT). Para la zona suroriental de la ciudad, desde Vitelma hasta Juan Rey, existen los Tanques de San Vicente, Alpes, Quindío y Juan Rey, que se alimentan desde Chingaza – Wiesner y Chisacá – La Regadera, con un volumen de 20.000 m³.

En lo que tiene que ver con el alcantarillado, el servicio presenta un atraso considerable respecto a la expansión de las redes matrices de distribución de acueducto. La cobertura del alcantarillado sanitario es del 85% (EAAB, 1998, tomado del POT)⁴. Las aguas servidas son arrojadas a las quebradas por medio de cunetas abiertas, lo cual agrava los problemas de contaminación ambiental y altera las condiciones portantes del suelo.

Los residuos sólidos son dispuestos en lugares establecidos por la comunidad hasta dónde puede acceder el camión de la basura. Sin embargo, estos quedan, con frecuencia, demasiado distantes de las viviendas o, en otras ocasiones, debido a las condiciones de movilidad local es difícil acceder a ellos, razón por la cual las basuras son quemadas cerca de las viviendas, arrojadas a las escorrentías o simplemente dejadas en los espacios libres.

Deben adoptarse medidas para la recuperación del medio ambiente debido a los problemas de contaminación derivados de la falta de alcantarillado para aguas servidas y la disposición inadecuada de los residuos sólidos.

Los barrios San Martín y San Ignacio carecen de la mayor parte de los servicios públicos. Esta es una de las razones por las cuales aumenta el factor antrópico en el área aumentando progresivamente su vulnerabilidad.

Dentro del trámite de legalización adelantado por la comunidad y gestionado por las empresas del Distrito, se realizan actualmente los estudios de factibilidad y viabilidad para la provisión de servicios públicos en los barrios.

Para el barrio San Martín, las respuestas obtenidas por las empresas son: Codensa: Viable; EAAB, acueducto: En proceso; Capitel: Fuera de cobertura; Telecom: Viable; y DPAAE: En estudio (estudio objeto de este contrato).

⁴ El análisis de la inversión 1972-1985 de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá demuestra claramente que esta ha priorizado la prestación del servicio de acueducto, en detrimento de la expansión de las redes de alcantarillado. Tomado del Documento Técnico de Soporte del POT de Bogotá.

Para el barrio San Ignacio, estas son las respuestas obtenidas por las empresas: Codensa: viable; EAAB, acueducto: viable alcantarillado pluvial y aguas negras aunque sin proyectar. Acueducto sin posibilidad técnica; Capitel: fuera de cobertura; Telecom: viable; DPAE: riesgo medio (estudio objeto de este contrato).

Los proyectos planeados por el Acueducto para la localidad, son: El proyecto Regadera II; la red matriz El Dorado I y II; la construcción de tanques el Dorado, Piedra Herrada, la Fiscala, el Paso, los Soches y Mochuelo; la ampliación de Tanques la Laguna y el Uval; y la adecuación de las quebradas Chiguaza, Yomasa, Nutria, Fiscala y Santa Librada.

- **El sistema de equipamientos urbanos**

El Sistema de Equipamientos es el conjunto de espacios y edificios destinados a proveer a los ciudadanos servicios sociales de carácter formativo, cultural, educativo, de salud, de culto, deportivo y recreativo y de bienestar social y prestar apoyo funcional a la administración pública y a los servicios urbanos básicos de la ciudad. Está dirigido a dotar a la ciudad de los servicios necesarios para articular las áreas residenciales con las demás actividades, así como a proveer el soporte social para lograr una adecuada calidad de vida integral en el conjunto de la ciudad (POT).

La zona de los barrios San Martín y San Ignacio tiene muy pocas estructuras para equipamientos, o diferentes a la vivienda, como se detalla en la primera parte de este capítulo. Lugares de reunión espontáneos, así como un salón comunal o comedor, un colegio, son algunos de los escasos equipamientos del área. (Su localización se encuentra en el **Plano No. 2.1**). Será necesario evaluar su estado y cobertura y cualificar tanto las edificaciones, como los espacios que las rodean, para mejorar las condiciones de los servicios que actualmente prestan.

El sistema de equipamientos comunitarios de Bogotá presenta una falta de estructuración como sistema. La baja cobertura y la deficiente calidad del equipamiento público básico se concentran en las zonas donde habita la población más necesitada, como el suroriente de la ciudad.

Los equipamientos se clasifican según la naturaleza de sus funciones y su escala de cobertura en: Equipamiento Colectivo (relacionados directamente con la actividad residencial y con el bienestar civil de los ciudadanos), que se clasifica en educativo, cultural, de salud, bienestar social y culto; Equipamiento Deportivo y Recreativo; y Servicios Urbanos Básicos, que agrupa las actividades de carácter administrativo o de gestión, como Seguridad Ciudadana, Defensa y Justicia, Abastecimiento de Alimentos, Cementerios, Servicios de la Administración Pública y Servicios de Telecomunicaciones.

Con respecto al equipamiento educativo básico, aunque en Bogotá se han hecho grandes esfuerzos por mejorar la calidad y cobertura de la educación preescolar, básica y media en los estratos 1 y 2 se siguen presentando dificultades en la financiación de los gastos de operación del sistema y en el cubrimiento, debido al aumento acelerado de la población de estos estratos. (DAPD, 1999). Se deben realizar estudios sobre los planteles educativos de la zona y los recorridos

necesarios para acceder a estos.

Dentro del sistema de bibliotecas, que hacen parte del equipamiento cultural, también se han realizado proyectos importantes para la población de escasos recursos. La Biblioteca del Tunal, de la Red de Bibliotecas Públicas de Ciudad se localiza muy cerca del área de estudio. Sin embargo en la zona, no hay bibliotecas de escala local.

Los equipamientos de Salud, que presentaban deficiencias en la dotación de las áreas periféricas, están siendo parcialmente cubiertos por equipamientos privados que suponen la implementación de la ley 100. En la zona de estudio, sin embargo, no existe equipamiento alguno en salud.

Las redes de bienestar social están constituidas por centros de desarrollo comunitario y de atención especializada a grupos de población vulnerables como los menores, la tercera edad, los discapacitados y las madres adolescentes.

El servicio de salacuna y guardería en los estratos 1 y 2 se identifica como uno de los espacios de atención estratégica en materia de equipamiento social. El efecto de este servicio, como apoyo a la inserción de la mujer al mercado laboral y a los hogares con mujeres cabeza de familia, es fundamental al desarrollo económico y social de la población más necesitada de la ciudad. La cobertura conjunta del ICBF y el DABS atiende a 122.000 niños, cifra equivalente al 41% de la población entre 0 y 4 años en los estratos 1 y 2 (POT). Este tipo de equipamientos se presenta en la escala barrial, sin embargo actualmente no funciona ninguno en los barrios de estudio.

El equipamiento deportivo y recreativo es altamente valorado por la ciudadanía, en la medida en que contribuye a la oferta de servicios de ocio, que puede dirigirse a la población joven y que ofrece oportunidades de integración social en torno a actividades constructivas. Se estudiará la vocación de las áreas de oportunidad encontradas en el área de estudio para abrir espacios de recreación, ya que en la actualidad existen muy pocos espacios dedicados a este tipo de actividades.

El área de estudio, como se ha mencionado anteriormente, cuenta con muy pocos equipamientos comunitarios; sin embargo un estudio más detallado del contexto permitirá evaluar la cobertura de los equipamientos de escala local, zonal o urbana cercanos, con el fin de evaluar el déficit de equipamientos para la población de esta parte de la ciudad.

- **El sistema de espacio público**

El Sistema de Espacio Público Construido está conformado por los parques distritales y por los espacios públicos peatonales destinados al desplazamiento, encuentro o permanencia de los ciudadanos. Se presentan en las diferentes escalas: Metropolitana, urbana, zonal y vecinal.

Los Parques Distritales, son los espacios verdes de uso colectivo que actúan como reguladores del equilibrio ambiental, garantizan el espacio libre destinado a la

recreación, contemplación y ocio para todos los habitantes de la ciudad. Se organizan jerárquicamente y en forma de red para garantizar el cubrimiento de toda la ciudad, e involucran funcionalmente los principales elementos de la estructura ecológica principal. Van desde los parques de escala regional, hasta los Parques vecinales y de bolsillo. Los parques de escala vecinal, son áreas libres, para la recreación, la reunión y la integración de la comunidad de los barrios. El parque de bolsillo es una modalidad de parque vecinal, que tiene un área inferior a 1.000 m², destinado exclusivamente a la recreación pasiva contemplativa.

Los espacios peatonales son los bienes de uso público destinados al desplazamiento, uso y goce de los peatones. Su función principal es la conexión peatonal de los elementos simbólicos y representativos de la estructura urbana y sus componentes son las plazas y plazoletas, la red de andenes, las vías peatonales, las zonas de control ambiental, los separadores, los retrocesos, los paseos y alamedas y los puentes y túneles peatonales. Además, los complementa el mobiliario urbano, la cobertura vegetal urbana, bosques, jardines, arbolado y prados, los monumentos, entre otros. Usme se encuentra dentro de las localidades que presentan menos de 2m² de parque por habitante. A pesar de que poseen áreas rurales y de potencial ambiental, su espacio público verde carece de condiciones adecuadas para el desarrollo de la convivencia ciudadana cotidiana. No sólo se hace referencia a los parques de barrio como espacios verdes de recreación, sino también a la carencia de espacios públicos como plazas, andenes, jardines, etc.

El sistema de Espacio Público y la malla vial local, son los elementos estructurantes del mejoramiento barrial. Mediante la planeación, diseño y cualificación de los espacios públicos, se garantiza una mejor calidad de vida y la articulación de la zona con el contexto. De acuerdo con la zonificación objeto de este estudio, las áreas no aptas para la edificación serán destinadas a parque, de acuerdo con los lineamientos que se establezcan en el capítulo de Recomendaciones, con el fin de cubrir el déficit del área de estudio. Son proyectos de espacio público para la zona el Parque Ecológico Recreacional Entrenubes; el Bosque de San Carlos; los parques Yomasa, Laureles, Diana Turbay y Santa Lucía; el Canal la Albina; el Canal de Río Seco; las quebradas Chiguaza, Santa Librada, Yomasa y Bolonia.

7.2.2.3 La estructura funcional

La estructura de actividades de mayor jerarquía se organiza con base en tres nuevas centralidades de escala urbana: El Danubio, San Carlos y Las Delicias, potenciadas por los corredores y estaciones de Transmilenio. También se fortalecen las centralidades existentes (El Tunal-Santa Isabel y el casco fundacional de Usme), soportadas por corredores de gran dinámica como la Av. Mariscal Sucre y la Avenida Darío Echandía, apoyo a la Av. Caracas. Estas centralidades se complementan con núcleos menores de cobertura zonal (La Victoria, El Ensueño, San Francisco, entre otros), que recogen los flujos de las zonas con vías de escala intermedia (Avenida La Victoria, la Alameda del Sur/Guacamayas y las Avenidas Mariscal Sucre, San Francisco y General Santander), conectándolos a la estructuras metropolitanas de transporte.

Aunque el área de estudio pertenece a la localidad de Usme, como ya se mencionó anteriormente, se encuentra funcionalmente ligado a la localidad Rafael Uribe Uribe, por donde se accede al lugar.

7.3 INFLUENCIA DE LA ZONA DE ESTUDIO SOBRE EL PARQUE DISTRITAL ENTRENUBES

7.3.1 Marco legal del Parque Entrenubes

El Parque Entrenubes ha sido tema de varios documentos dentro del ordenamiento jurídico del Distrito Capital de Bogotá. Dicho ordenamiento responde a políticas de desarrollo en las cuales la comunidad es un participante activo en el mejoramiento de los espacios de conservación ambiental. (Secretaría Distrital de Salud, 1998)

El primer documento jurídico en referirse a la región que hace parte del actual Parque Entrenubes es el Acuerdo 06 de 1990. Allí se establece, de conformidad con el artículo 63°, que los Cerros Guacamayas y Juan Rey hacen parte del sistema prioritario de la ciudad, fijando sus límites y normas para su preservación, protección y uso adecuado. La Resolución 292 del 5 de mayo de 1992 de DAPD, en su artículo 3°, resuelve delimitar y adoptar como área de preservación el Cerro Guacamayas, y, en su artículo 4°, el Cerro de Juan Rey.

El Acuerdo 02 de 1997 del Concejo de Bogotá, en su artículo 3°, delimita el “área suburbana de preservación Cerro Guacamayas”; “el área suburbana de preservación Cerro Juan Rey” y el “área suburbana de preservación Cuchilla Gavilán”, entre otras. En su artículo 7° establece al Parque Entrenubes como componente de los parques metropolitanos de los Cerros Surorientales, integrando, en su artículo 11°, a los cerros Juan Rey, Guacamayas y Cuchilla Gavilán dentro de este sistema de parques. En su artículo 13°, que se refiere al Sistema de Zonas Verdes y Recreativas, señala al Parque Entrenubes como uno de los parques metropolitanos del borde suroriental de Bogotá. (SAF, 2000)

En 1999, el DAMA realizó un alinderamiento del Parque Entrenubes a partir del Acuerdo 2 de 1997, que establecía unas áreas iniciales, para obtener la delimitación actual. En la **Tabla 7.1** se muestran las áreas iniciales y las propuestas por el DAMA mostrando la comparación de las mismas.

En el Acuerdo antes citado (Acuerdo 2 de 1997) se contempla el Parque Entrenubes como proyecto prioritario del Borde Suroriental (Zonas 5, 6 y 7), en su artículo 20°, donde estipula la "recuperación y preservación de las áreas de reserva ambiental a través de programas de reubicación, estudios geotécnicos para el desarrollo de obras de mitigación de riesgos y planes para la recuperación ambiental de zonas deterioradas con la explotación de canteras". La Cuchilla del Gavilán, el Cerro de Juan Rey y el Cerro de Guacamayas, hacen parte del sistema de áreas protegidas por el Distrito Capital como parte integral del Parque Ecológico Recreacional Entrenubes, y como área protegida se debe reforzar la restauración del bosque nativo Alto - Andino, la educación ambiental y la recreación compatible que no vayan en contra de la conservación, tratamiento y uso de estas áreas.

Así mismo, en el artículo 25°, párrafo 3, se delimita el Parque Ecológico Recreacional Entrenubes partiendo del estudio denominado “Elaboración de la Topografía, Trazado, Establecimiento y Registros topográficos del Límite del Parque Entrenubes” realizado por el DAMA en abril de 1999.

Finalmente, el POT relaciona, en su artículo 26°, los usos adecuados y privativos que se pueden desarrollar en el parque, por establecerse como un parque ecológico, los cuales se nombran en la **Tabla 7.2**.

CERRO ESTUDIADO	ÁREA DEL ACUERDO 2/97	AREA ESTUDIO DEL DAMA	VARIACIONES EN ÁREA
	(ha)	(ha)	(ha)
Guacamayas	33,23	41,21	Aumenta 7,98 ha
Juan Rey	539,71	403,57	Disminuye en 136,14 ha
Cuchilla del Gavilán	138,54	184,61	Aumenta 46,07 ha
TOTALES	<u>711,48</u>	<u>629,39</u>	<u>Disminuye 82,09 ha</u>

Tabla 7.1. Análisis del alinderamiento adoptado por el DAMA desde 1999 comparado con las áreas del Acuerdo 02 de 1997. (Fuente: Urbanismo y Sistemas Marcela Sanjinés, O.U.A del Parque Entrenubes 2001 citado por SAF 2000)

Usos	ACTIVIDAD	OBSERVACIONES
Uso potencial	Recreación pasiva	De acuerdo con los principios de conservación y protección ambiental
Usos compatibles	Ecoturismo	De acuerdo con los principios de conservación y protección ambiental
	Forestal protector	
	Forestal protector productor	
	Institucional educativo	Centros de educación y documentación ambiental
	Institucional de seguridad	CAI, puesto de bomberos, control y vigilancia
Usos condicionados	Agroforestal	Sólo parcelas demostrativas, transferencia de modelos agroforestales y silvopastoriles sin causar reemplazo de la vegetación nativa
	Construcción de infraestructura básica	Actividades que no generen la fragmentación de los hábitats de la fauna nativa y sean paisajísticamente integrales
Usos privativos	Agricultura y pecuario	
	Forestal productor	

	Recreación activa	
	Actividad minera e industrial de todo tipo	
	Residencial de todo tipo	
	Institucional	Con excepción de educativo y de seguridad arriba mencionados

Tabla 7.2. Establecimiento del régimen de usos del suelo para el Parque Ecológico Recreacional Entrenubes, según el artículo 26° del POT (SAF, 2000)

7.3.2 Problemática ambiental del área de influencia directa del Parque Entrenubes

La Localidad de Usme se destaca en Bogotá por ser una de las pocas zonas en las que aún se conservan las riquezas ambientales. Estos recursos están representados por suelos con potencial agrícola, por una considerable disponibilidad de agua y riquezas en biodiversidad de flora y fauna, contando además con grandes capitales de recursos renovables y no renovables. (DAMA, 1993). Esta gran riqueza ambiental se ve amenazada por variados y complejos problemas ambientales, como los que se describen a continuación.

Uno de los grandes problemas que afronta la Localidad, y que se puede apreciar en la zona de estudio, es la migración irregular de población, en buena parte desplazada por la situación de violencia que vive el país, originando asentamientos ilegales, en procesos informales de urbanización y sin la posibilidad de que la Administración pueda satisfacer la demanda de agua potable, alcantarillado, vías, zonas verdes comunales, entre otras, que mejoren la calidad de vida de la población. (Fuente: DAMA, 1993 y SAF, 2000).

El establecimiento de urbanizaciones ilegales consolidadas dentro del área del Parque Entrenubes ha generado grandes inconvenientes ambientales como la ocupación de tierras, deforestación y cambios bruscos del uso del suelo. Como ejemplo, en el barrio San Martín se identificaron dos construcciones invadiendo el parque.

Tal como se pudo observar, la unidad de paisaje que predomina en el Parque Entrenubes y que colinda con la zona de estudio, se denomina “Colinas con cobertura antrópica”. Esta unidad, en términos generales, se caracteriza por estar bañada por una gran cantidad de quebradas y fuentes de aguas menores; posee riquezas de fauna y flora, predominando relictos de bosques, que se consideran como banco germoplásmico, y especies menores en tamaño; su formación ecológica es la de bosque húmedo montano y una matriz constituida por vegetación antrópica de cultivos homogéneos, misceláneos y pastizales, además de poseer en su parte alta formación de bosque alto andino donde predomina el encenillo (*Weinmannia tomentosa*).

Con base en la identificación de la unidad de paisaje, se pueden establecer algunos impactos ambientales que afectan directa o indirectamente los procesos naturales

que se desarrollan en el Parque, de los cuales, el más relevante para el caso de estudio, es el producido por la modernización de los sistemas de usos del suelo, el cual ha promovido la ampliación de la frontera agrícola y la ocupación urbana hasta niveles que desbordan la capacidad de carga del suelo.

El área de influencia directa del Parque Entrenubes en la zona de estudio comprende los barrios San Ignacio y San Martín y una pequeña área del parque. La influencia directa que tienen los barrios de estudio sobre el Parque Entrenubes está condicionada por las actividades cotidianas que desarrolla la comunidad.

El asentamiento de los barrios en este sector ha generado problemas de deterioro ambiental y paisajístico manifestado en la falta de árboles, carencia de prados y jardines, presencia de basuras y aguas residuales, presencia de animales domésticos y plagas, también de roedores e insectos y un aspecto desolador de la colina, al igual que otros barrios ubicados al borde del Parque Entrenubes. (Contraloría de Bogotá, 2002)

El área de influencia directa posee rastros de vegetación paramuna. Las actividades que se realizan en estas colinas, como el descapote para la urbanización desordenada, el vertimiento de aguas residuales, la disposición de residuos sólidos y su quema, han generado la disminución y la casi desaparición de estas especies vegetales.

Otra de las actividades que se desarrollan en el área de influencia directa es el pastoreo. El ganado utiliza como alimento la vegetación típica de la zona y los rebrotes de plantas que han podido surgir en la épocas de lluvia, provocando un cambio en la cobertura vegetal y compactación del suelo por el pisoteo diario del ganado.

La degradación de las colinas genera zonas potencialmente erosionables, por el efecto combinado o individual del manejo inadecuado de las aguas y la deforestación ya que la vegetación alta protege el suelo del viento. Es posible que se estén produciendo otros impactos por la intervención antrópica en esta zona que no se pueden detectar a simple vista, lo que amerita un estudio detallado de evaluación de impacto ambiental.

De lo anterior puede deducirse que:

- La importancia que las autoridades distritales han otorgado al Parque Entrenubes ha venido creciendo, lo que se expresa en los avances normativos y legales.
- De otra parte, existe una fuerte presión por el cambio de uso del suelo, a través de la urbanización informal, que ha reducido el área del parque. En particular, en la zona de interés del presente trabajo, este fenómeno se expresa en la existencia misma de los barrios objeto de estudio, especialmente San Martín.

- Según las observaciones efectuadas en el área de estudio, hay un divorcio entre la norma y la realidad, cuyos efectos inmediatos son el deterioro del parque y la presencia de comunidades en condiciones marginales.

7.4 CONDICIONES AMBIENTALES GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

Los barrios en la zona de estudio presentan un panorama de deterioro ambiental, que, al igual que la situación de amenaza geotécnica descrita en el capítulo anterior, condicionan en gran medida la calidad de vida y seguridad de sus habitantes. A continuación se realiza una breve descripción de los factores ambientales que definen el deterioro mencionado, obtenidos a partir de las observaciones efectuadas en campo y sin estudiarlos en forma detallada, ya que no es el objeto del presente estudio.

7.4.1 Caracterización general de la zona de estudio

Los barrios San Ignacio y San Martín presentan las características ambientales que se explican a continuación:

7.4.1.1 Flora y fauna

La flora de la zona de estudio se caracteriza por la presencia de especies foráneas, tales como eucaliptos y cultivos permanentes y especies nativas como las puyas, además de pastizales. En el área predominan los pastizales de tamaño bajo, cuya distribución espacial es heterogénea, con mayores áreas en el barrio San Martín.

La fauna está representada por perros, roedores e insectos, de los cuales se pudo establecer que hay una superpoblación canina, lo que afecta las condiciones de salud e higiene de la población humana. Con menor participación se pudieron observar vacas y pájaros.

7.4.1.2 Características de producción de residuos sólidos

Los residuos sólidos generados por los habitantes del área de estudio son de tipo doméstico, caracterizándose los residuos orgánicos.

La presentación de los residuos en el barrio San Ignacio se hace al frente de las casas, donde es recolectado, por el servicio regular de aseo.

En contraste, en el barrio San Martín, los habitantes deben desplazar los residuos hasta un lugar de acopio temporal de los mismos, donde son recolectados. Los miembros de la comunidad tienen el compromiso de llevar sus basuras hasta este lugar. Esto indica bajo cubrimiento del servicio de aseo, tanto por la falta de vías adecuadas para los carros recolectores como por la falta de colaboración ciudadana.

La empresa encargada de realizar la recolección y el transporte al Relleno Sanitario Doña Juana es la Empresa Lime, que presta este recorrido dos días a la semana en horas de la mañana.

Los residuos del barrio San Martín que no son llevados al sitio de acopio, son dispuestos en zonas verdes a cielo abierto para su futura quema o simplemente se dejan al descubierto. Esta práctica con la disposición de los residuos genera graves riesgos de salud, tanto por la multiplicación de vectores, como por la producción de olores molestos.

7.4.1.3 Características de manejo de aguas residuales domésticas

Como se mencionó en el **Capítulo 7**, los barrios San Ignacio y San Martín tienen distintos sistemas de evacuación de aguas residuales. El barrio San Ignacio cuenta con alcantarillado sanitario y el barrio San Martín con un sistema de cunetas por donde son transportadas las aguas residuales a diferentes sitios, sistema que acarrea problemas ambientales potenciales si no son controlados y modificados con urgencia.

7.4.2 Problemas de contaminación en la zona de estudio

7.4.2.1 Contaminación atmosférica

Aunque en el área de estudio no hay industrias que perjudiquen la calidad del aire, se puede observar que el *smog* fotoquímico producido en la ciudad afecta esta variable. La niebla es densa y la capacidad visual se disminuye con la distancia.

Se observa que este efecto también es producido por la presencia de partículas suspendidas. Como se registró en capítulos anteriores, hay varios sectores sin una adecuada cobertura vegetal y todas las vías carecen de pavimento; en estas zonas, expuestas a la acción del viento, se producen levantamientos y arrastre de partículas de suelo que constituyen los elementos suspendidos en el aire.

Además de lo anterior, cabe resaltar que se presentan olores, molestos para los residentes y visitantes, originados por las deficientes condiciones de higiene en que vive la población, en especial la comunidad del barrio San Martín, y por la descomposición de aguas y residuos. Dentro de las deficiencias higiénicas observadas se puede hacer referencia a los excrementos de los perros y vacas que están dispersos por todo el barrio y por la disposición inadecuada de los residuos sólidos.

No hay evidencias de contaminación por ruido; durante los trabajos de campo no se observaron fuentes sonoras que pudiesen generar ruidos que sobrepasen el máximo de decibeles permitidos por las normas, aunque en los alrededores de la zona de estudio se ubica la Avenida Caracas. La influencia directa que tiene el parque automotor en esta zona es baja ya que no cuenta con un sistema de transporte definido al cual se le puedan endosar los problemas de contaminación atmosférica.

7.4.2.2 Contaminación hídrica

En la zona de estudio no se encuentra definida ninguna fuente hídrica consolidada a la cual se le esté aportando carga contaminante directamente; sin embargo, la contaminación se observa aguas abajo en la quebrada La Chiguaza, la cual recibe contaminantes como residuos sólidos y aguas residuales.

7.4.2.3 Contaminación de suelos

En primera instancia deben registrarse los procesos descritos en el **Capítulo 4** y siguientes de este informe relacionados con los aspectos geotécnicos que están afectando el suelo.

Pero, de otro lado, los suelos de la zona de estudio presentan contaminación, principalmente por dos factores. El primero, por residuos sólidos, que como se ha dicho en párrafos anteriores, son dispuestos inadecuadamente sobre el recurso suelo, aumentando las áreas afectadas por contaminación de forma continua y progresiva. En segundo lugar, se puede decir que se presenta contaminación por la infiltración de las aguas residuales, por las deficiencias en el sistema de alcantarillado del barrio San Martín.

7.5 CONSIDERACIONES SOBRE LAS CONDICIONES DE VULNERABILIDAD Y RIESGO DEL SECTOR

Ya que, en principio, un lector desprevenido pudiera interpretar las presentes líneas como una desviación del objeto del estudio, es conveniente enfatizar en la estrecha relación entre la vulnerabilidad de una comunidad (y en consecuencia sus riesgos), el deterioro ambiental y los procesos de desarrollo de esa comunidad.

La vulnerabilidad de los asentamientos humanos está íntimamente ligada a los procesos sociales que allí se desarrollan y está relacionada con la fragilidad, la susceptibilidad o la falta de resiliencia de los elementos expuestos ante amenazas de diferente índole. Por otra parte, la vulnerabilidad está íntimamente ligada a la degradación ambiental, no sólo urbana, sino en general del entorno natural intervenido o en proceso de transformación. (Cardona, 2001).

Uno de los procesos sociales más relevantes en la zona de estudio ha sido el de la urbanización. Tal proceso se ha caracterizado por la informalidad, en todas sus etapas. Así, la apropiación de la tierra se realizó por medios irregulares, como la venta de lotes por parte de un urbanizador pirata; la construcción de las viviendas se ejecutó mediante técnicas inapropiadas; los métodos constructivos empleados han conllevado la destrucción, alteración o modificación perjudicial de los componentes ambientales, como se ha descrito en párrafos anteriores.

Se pueden citar otras características del desarrollo en el sector, en las que prevalece la informalidad, pero lo importante es establecer que el desarrollo de los barrios San Ignacio y San Martín ha respondido a un modelo carente de planificación, técnica, control y sostenibilidad.

Este modelo se caracteriza, en lo relacionado con los procesos de inestabilidad del terreno, por la intervención de los drenajes, la degradación del suelo, la ejecución de cortes y rellenos no tecnificados, vertimientos de aguas residuales y otros factores registrados en este trabajo, que elevan los niveles de amenaza⁵. Así mismo la comunidad se encuentra expuesta, con bajos niveles de resistencia y resiliencia, a dichos procesos, lo que constituye altas condiciones de vulnerabilidad y, por ende, de riesgo

Si en vez de aplicar este modelo se hubiese urbanizado en forma planificada y en armonía con las condiciones ambientales, puede afirmarse que, en el mismo ambiente geológico, geomorfológico y geotécnico, los resultados de riesgo para la comunidad serían radicalmente distintos.

La comunidad se instaló en ese lugar porque, posiblemente, no encontró alternativas para satisfacer su necesidad de vivienda, tal como lo manifestó un habitante del barrio San Martín: "Si no se puede vivir aquí, tocará en la calle". Esto conduce a tocar brevemente otro proceso social importante en la configuración del riesgo en la zona, relacionado con la percepción del riesgo.

Se pudo establecer, de manera preliminar, que dentro de las prioridades de la comunidad, la preocupación por el riesgo geotécnico en la zona no está dentro de las principales. Es urgente para cada uno de los habitantes resolver primero la supervivencia cotidiana, en lo relacionado con su seguridad alimentaria, su seguridad física frente a delincuentes y las posibilidades de tener algunos ingresos económicos. Después de ello siguen otras prioridades domésticas individuales. Dentro de ellas se encuentra la necesidad de contar con acueducto legal; la comunidad siente que es inminente la amenaza de la EAAB de cortar el suministro, lo que motivó a sus habitantes a gestionar la legalización del barrio. La amenaza por remoción en masa es algo que perciben de forma muy lejana y poco posible. La baja percepción del riesgo implica una baja conciencia ambiental preventiva. Por ejemplo, los pobladores consideran algo natural efectuar cortes para la construcción de las viviendas; de hecho, el valor comercial es mayor para un lote con el corte ya realizado, que uno sin él. También es considerado normal, con excepción de los malos olores y la potencialidad de epidemias, el vertimiento de las aguas residuales al terreno.

Otros elementos que contribuyen a que las condiciones de riesgo sean preocupantes en los dos barrios son los siguientes:

- Falta de organización comunitaria, aunque el barrio San Ignacio tiene una organización más fuerte que San Martín, con una Junta de Acción Comunal activa y líderes notables, no es suficiente.
- Inexistencia de infraestructura y equipamiento de seguridad, salud y atención de emergencias, en cercanías de la zona.

⁵ Tradicionalmente, en ciertos sectores del medio académico geotécnico en Colombia, se considera la intervención antrópica únicamente como un factor detonante. En este estudio se ha comprobado que tal intervención también es un factor contribuyente, e incluso es mayor su influencia bajo este enfoque.

- Dependencia funcional de otra localidad
- Otros riesgos, además del geotécnico, como terremotos e incendios.

Todo esto conduce a que las propuestas de solución involucren necesariamente la planeación del desarrollo futuro de los dos barrios y la intervención inmediata con el fin de corregir las deficiencias del modelo aplicado.

Finalmente, es pertinente hacer una estimación de los habitantes en riesgo. Los resultados del estudio muestran que 186 viviendas se encuentran en un grado de amenaza alta y, como ya se ha expuesto, la comunidad tiene una alta vulnerabilidad. Si aplicamos los indicadores del POT (1,48 hogares por vivienda y 3,6 personas por hogar), se llega a que en los dos barrios, hay aproximadamente 1.000 personas en alto riesgo por factores geotécnicos.

7.6 RELACIÓN DE LA INTERVENCIÓN HUMANA CON LA ESTABILIDAD DEL TERRENO

Esta sección se ha incluido a manera de conclusión del capítulo, pues a lo largo del mismo se ha podido establecer cómo la actividad del hombre en la zona y la forma en que se han adelantado los procesos de urbanización están relacionadas estrechamente con las condiciones de estabilidad del terreno y la generación de amenazas y riesgos en la zona.

Como puede apreciarse a lo largo del capítulo, la intervención antrópica resulta una variable de influencia directa sobre la potencial inestabilidad del terreno, bien actuando como factor contribuyente, detonante o circunstancial.

Dentro de esta intervención, debe mencionarse, en primer lugar, la degradación de la cobertura de suelo, efectuada para la construcción de viviendas, apertura de vías y caminos y siembra de cultivos. Esta degradación genera modificaciones en la capacidad de retención de las aguas lluvias por pérdida de vegetación, cambios en los drenajes y procesos de erosión. Tal degradación, en la zona de estudio, puede considerarse generalizada.

Es importante registrar, de igual forma, la ocupación de zonas de drenaje, pues se obstaculiza el libre paso de las aguas lluvias, y en interrelación con la degradación del suelo, se generan procesos como los denominados flujos en los capítulos anteriores.

Uno de los factores de mayor significancia, en relación con las modificaciones impuestas a las condiciones de estabilidad, corresponde a los cortes del terreno para la construcción de viviendas, situación que resulta de difícil control, pues es una actividad puntual, sin la debida asistencia técnica y de carácter casi general en la zona de estudio; cerca del 75% de los predios construidos han efectuado este tipo de intervención. Otro factor relevante es la ejecución de rellenos de bajas calidades técnicas, presentes en el 39% de las construcciones de la zona de estudio.

Al igual que los cortes y rellenos, son de gran importancia los vertimientos de aguas residuales al terreno, en especial en el barrio San Martín. La ausencia de alcantarillado pluvial en ambos barrios contribuye a los aportes de agua al terreno.

7.7 FUENTES DE CONSULTA

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. - Departamento Administrativo de Planeación Distrital (2001). Guía Urbanística de Usme. Bogotá, Colombia

Cardona, O. D. (2001). Estimación Holística del Riesgo Sísmico utilizando Sistemas Dinámicos Complejos. Universidad Politécnica de Cataluña, España.

Departamento Administrativo de Planeación Distrital (DAPD). Plan de Ordenamiento Territorial, Decreto 619 de 2000. Documento Técnico de Soporte. Bogotá, Colombia.

Departamento Administrativo de Planeación Distrital (DAPD). Documento Técnico de Soporte, POT. 2000. Bogotá, Colombia.

Departamento Administrativo de Planeación Distrital (DAPD). Plan de Ordenamiento Territorial, Decreto 619 de 2000. Documento Resumen. Bogotá, Colombia.

Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (DAMA) (1999). Elaboración de la topografía, trazado, estacamiento y registros topográficos del límite del Parque Entrenubes. Bogotá, Colombia.

DAMA, (1998). Agenda Ambiental Localidad 5 USME. Bogotá, Colombia.

Secretaría Distrital de Salud, (1998). Diagnósticos Locales con Participación Social – Metodología – USME. Bogotá, Colombia.

Contraloría de Bogotá, (2002). Habitabilidad y sostenibilidad de Bogotá D.C.: “Informe Anual sobre el estado de los Recursos Naturales y Medio Ambiente en Bogotá D.C. 2002”. Bogotá, Colombia.

SAF, (2000). Informe final del Programa de Educación Ambiental del Parque Entrenubes para el DAMA, 2002. Bogotá, Colombia.

Sanjinés, M. (2000). Estudio para el Ordenamiento Ambiental de la Zona de Borde del Parque Entrenubes. Bogotá, Colombia.

Secretaría Distrital de Salud (1998). Diagnósticos Locales con Participación Social - Metodología: Usme. Bogotá, Colombia.

CAPÍTULO 8.0

EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA

8.1 INTRODUCCIÓN

El análisis de estabilidad de cualquier estructura civil debe satisfacer simultáneamente dos postulados de la mecánica clásica. Por una parte el equilibrio de fuerzas y por otra la compatibilidad de deformaciones. Es común en el análisis de estabilidad de taludes el estudio del equilibrio de fuerzas, olvidando la compatibilidad de deformaciones. En el presente trabajo se estudió la estabilidad por medio del método del equilibrio límite, el cual se fundamenta en asumir que la masa de suelo está en falla en el momento en que el estado de esfuerzos de algún punto del medio iguala la resistencia del material. Si el material no está en falla, el método define la estabilidad en términos de la relación entre la resistencia movilizada y la resistencia disponible del material; esta relación es el Factor de Seguridad, el cual por sí solo puede considerarse un parámetro para medir la amenaza.

El tipo de amenaza por deslizamientos se suele asociar al mecanismo de falla que puede ser generado en una determinada masa de suelo o roca. Definido un mecanismo de falla a través del análisis de equilibrio de fuerzas sobre la masa desplazada, considerada como un bloque rígido, se puede obtener una expresión del factor de seguridad en términos de la resistencia del material.

En el capítulo de caracterización geotécnica se identificaron diferentes zonas las cuales van a ser analizadas y evaluadas en el presente capítulo. Estas zonas pueden clasificarse como:

- Rellenos antrópicos
- Perfil de meteorización de arenisca sin intervención humana
- Perfil de meteorización de arenisca sometido a cortes
- Perfil de meteorización de arcillolita sin intervención humana
- Perfil de meteorización de arcillolita sometido a cortes
- Afloramientos rocosos
- Bloques individuales pertenecientes al depósito fluvio glacial en la base del valle

El capítulo se compone de siete secciones, de las cuales la primera corresponde a la introducción, la segunda compila los antecedentes de deslizamientos en la

UNIÓN TEMPORAL CONSULTORES EN RIESGOS		CONTRATO CONS - 449 / 02		CAPÍTULO 8 PAG. 1	
VERSIÓN:	1.0	FECHA:	MARZO/03		
ELABORÓ:	CERP	REVISÓ:	CHCR - ODC	APROBÓ:	INGEMÉTRICA LTDA.

localidad; enseguida se presentan los fundamentos de elaboración del mapa de susceptibilidad; en la cuarta sección se presentan los análisis de estabilidad, y posteriormente se muestran los resultados de evaluación de amenaza; en la sexta sección se registra la forma de emplear las cartas de estabilidad y en la última las fuentes de información consultadas.

8.2 ANTECEDENTES DE INESTABILIDAD

Con el fin de determinar los mecanismos de falla comunes (tipo de amenaza) en los depósitos encontrados en la zona de estudio, se consultaron los informes de emergencia en la Localidad de Usme adelantados por la DPAE; así mismo se consultaron los siguientes estudios: Zonificación de Riesgo por Movimientos de Remoción en Masa en 101 Barrios de la Localidad de Usme, Zonificación de Riesgo por Fenómenos de Inestabilidad del Terreno en 27 barrios de la Localidad de Usme, Estudio de Riesgos por Remoción en masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar el Antiguo Escarpe de Explotación frente al Barrio El Portal, Localidad Rafael Uribe Uribe.

8.2.1 Antecedentes en suelos residuales arcillosos

En este tipo de materiales se han identificado deslizamientos translacionales a lo largo de las interfaces de los diferentes horizontes del perfil de meteorización inducidos generalmente por cortes verticales de alturas entre 3 y 5 metros. Ejemplos de este tipo de falla se han observado en el Barrio Altos del Pino (Informe D. I. 1275); en este caso en particular se indujo la falla por el flujo de aguas de las redes de suministro; en el Barrio San Isidro (Informe D. I. 1506 y D. I. 1268) se han presentado estas fallas por el corte del talud en una altura de 2,5 a 3,0 m; igualmente este mecanismo ha sido reportado en el Barrio Juan José Rondón Sector II (Informe D. I. 1323), donde se especifica falla de suelos residuales de la formación Regadera, la misma que encontramos en el área de estudio. En el Barrio El Progreso Sector La Esmeralda, se han reportado fallas locales de cortes en depósitos residuales de arenisca (Informe D. I. 1361).

Por infiltración de aguas y cortes en suelos residuales se han reportado fallas rotacionales pequeñas en los Barrios El Pedregal (Informe D. I. 892), Altos del Pino (Informe D. I. 1222); este último se produjo en residual de arcillolita afectada por cortes verticales de 3 m de altura.

En el estudio del Barrio El Portal se reportan caídas de suelo en depósitos arcillosos debido a presiones hidrostáticas ejercidas detrás de los agrietamientos que este tipo de material sufre por secado; las dimensiones reportadas indican espesores entre 0,5 y 1,5 m y longitudes de 5 m. Igualmente, este estudio reporta que los mecanismos más comunes en este tipo de material son los movimientos translacionales por reducción de resistencia por incremento del contenido de humedad; en este caso se informa de movimientos de espesores de 1,5 m con dimensiones en planta muy reducidas.

8.2.2 Antecedentes en suelo orgánico

Este estrato es el que presenta mayor susceptibilidad a deslizamiento por sus pobres características geomecánicas y mayor posibilidad de saturación. Este material, con el incremento de la saturación y las pendientes altas de la zona ha fallado en forma de flujos de tierra tal como se ha reportado en los Barrios Nueva Esperanza (Informe D. I. 749) y El Portal (informe del Barrio El Portal).

Deslizamientos translacionales de este estrato también se han reportado, como por ejemplo, en el Barrio Altos del Pino (Informe D. I. 1474) por la acción de aguas lluvias e infiltración de aguas negras. Adicionalmente, este horizonte muestra generalmente señales de reptación y erosión laminar y en surcos.

8.2.3 Antecedentes en rellenos antrópicos

Los rellenos antrópicos han mostrado ser depósitos muy susceptibles a deslizamientos en especial por la presencia de aguas, bien sean lluvias o infiltraciones de aguas de suministro y negras. El mecanismo de falla común en este tipo de material es el movimiento rotacional tal como se presentó en los Barrios El Oasis (Informe de Moya y García Ltda.), El Pedregal (Informe D. I. 892) y Santa Marta (Informe D. I. 1628). En los Barrios Nevado y El Portal del Divino se reportó la falla de estos rellenos por descarga de la pata del relleno por las excavaciones ejecutadas para instalación de tuberías enterradas.

8.3 SUSCEPTIBILIDAD

El mapa de susceptibilidad mostrado en el **Plano 8.1** se obtuvo considerando varios de los factores descritos en el capítulo 6. La susceptibilidad en este estudio se evaluó con base en análisis de estabilidad para cada una de las zonas geotécnicamente homogéneas definidas en el Capítulo 5. El grado de susceptibilidad se estimó con base en los factores de seguridad de las condiciones actuales (columna "seco" de la **Tabla 8.4**), los cuales toman en cuenta factores tales como la posición de nivel freático, las propiedades geomecánicas del suelo, la inclinación del terreno y las propiedades físicas del suelo. En la zonificación por áreas homogéneas se están tomando en cuenta factores tales como el estado de saturación y la forma en planta del talud.

8.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Para cada uno de los escenarios definidos se determinó la amenaza en condiciones actuales y futuras aplicando diferentes modelos de acuerdo con el tipo de mecanismo más probable para cada uno de ellos, el cual está asociado con el tipo de material, topografía y uso potencial. A continuación se describe el método de análisis aplicado en cada caso.

8.4.1 Rellenos antrópicos

Para los rellenos antrópicos se presenta una carta de estabilidad que toma en cuenta la variación del espesor e inclinación del relleno, así como la variación en la pendiente

del terreno natural sobre el cual se deposita dicho relleno. Esta carta se construyó analizando la estabilidad por el método de equilibrio límite mediante la utilización del programa EQS desarrollado por el Dr. Sarada Sarma del *Imperial College*. Se permitió al programa definir la superficie de falla crítica para obtener de ella el factor de seguridad y la aceleración crítica.

Igual procedimiento se aplicó y fueron obtenidas cartas similares para la condición con lluvias. En este caso se asumió la posición del nivel de agua dentro del relleno mediante el uso de la ley de continuidad considerando un caudal de ingreso igual a la intensidad de la lluvia de diseño y definiendo la continuidad en secciones de control dentro del relleno de manera que se obtiene la altura de agua que hace cumplir la continuidad del flujo de la siguiente expresión (Rodríguez, 1997):

$$h_w = \frac{Ix}{k \text{sen} \theta} \quad (8.1)$$

donde h_w es la altura del nivel freático sobre el terreno natural. En este caso conviene asumir que el terreno natural actúa como un estrato impermeable, por lo menos durante la duración de la lluvia de diseño; I es la intensidad de la lluvia de diseño, la cual se determinó a partir de las curvas Intensidad - Duración - Frecuencia propuestas por la EAAB para la Estación La Picota; x es la distancia desde la intersección del relleno y el terreno natural en la cabecera del relleno; k es la conductividad hidráulica del material del relleno y θ es la inclinación del terreno natural sobre el cual se deposita el relleno. En los análisis se estimó la posición del nivel de agua a la salida del relleno a tres alturas diferentes: En la superficie del relleno, a un tercio de la altura y a dos tercios de la altura desde la superficie del relleno. Cada una de las intensidades asociadas con estos niveles se presenta en la **Tabla 8.1**.

INCLINACIÓN CARA RELLENO (°)	POSICIÓN NIVEL FREÁTICO A LA SALIDA		
	Superficie	H/3 desde superficie	2H/3 desde superficie
5	0,9/0,42	0,6/0,28	0,3/0,14
10	1,8/0,84	1,2/0,56	0,6/0,28
15	2,7/1,25	1,8/0,83	0,9/0,42
20	3,5/1,65	2,3/1,10	1,2/0,55
30	5,1/2,41	3,4/1,61	1,7/0,80

Tabla 8.1 Intensidades de lluvia continua requerida para saturar rellenos antrópicos en (mm/hora). El número superior corresponde a terrenos naturales con 4° de inclinación mientras que el inferior a terrenos con 8,5° de inclinación.

Para considerar la estabilidad ante cargas dinámicas se utilizó el método del bloque deslizante y por el método pseudoestático explicado en el numeral respectivo, tomando como sismos de diseño los mismos utilizados en el Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá como se describió anteriormente. Los resultados de estos análisis se presentan en el **Anexo 8 - A**.

8.4.2 Perfil de meteorización de arenisca y de arcillolita

Dadas las características topográficas, geomorfológicas, litológicas y geotécnicas, de las laderas bajo estudio, se asumió que para la condición actual el mecanismo de falla factible en este perfil es una falla planar de una masa de suelo desplazándose a lo largo de una superficie constituida por la interface entre depósitos de diferente naturaleza.

En el caso del perfil de arenisca tenemos tres horizontes potencialmente susceptibles; el primero constituido por depósitos de suelo orgánico muy superficiales sobre depósitos de suelo residual arcilloso, los cuales a su vez sobreyacen un estrato de suelo residual arenoso el cual está sobre el manto rocoso de arenisca. Los análisis de estabilidad y de amenaza se determinaron con base en asumir la falla a lo largo de las interfaces de cada una de estas unidades.

Para considerar el efecto de las lluvias y/o infiltración de aguas, se asumió la posición del nivel freático en cada una de las interfaces y se hizo nuevamente el análisis de estabilidad. La recurrencia de la falla en estas condiciones puede asociarse con el período de recurrencia de las lluvias que pueden hacer ascender la posición del nivel hasta el nivel asumido como se presentó en el numeral respectivo.

En este caso, el efecto de sismos se consideró aplicando el método pseudoestático para los diferentes estratos. Al igual que en el caso de rellenos se tomaron como sismos de diseño los reportados en el estudio de microzonificación de Bogotá. Los resultados se presentan en el **Anexo 8 - B**.

En el caso de cortes sobre este tipo de depósito, se hizo el análisis de estabilidad para diferentes combinaciones de altura e inclinación de corte. Es posible que en este caso se presente un mecanismo de falla más crítico que el movimiento planar por lo que se procedió a determinar por medio del programa EQS el mecanismo de falla crítico o el mecanismo de falla que produce diferentes niveles de factor de seguridad.

Para los cortes también se consideró la influencia de las lluvias al analizar la estabilidad con diferentes niveles freáticos, los cuales para facilidad de análisis se tomaron en las interfaces. El análisis bajo cargas sísmicas se hizo mediante el método pseudoestático para las superficies críticas definidas en el análisis estático. Las cartas de estabilidad obtenidas para cada una de las combinaciones analizadas también se presentan en el **Anexo 8 - B**.

8.4.3 Afloramientos rocosos

El análisis del efecto potencial de falla de escarpes rocosos se efectuó con base en el estudio de la posibilidad cinemática de los bloques formados por las diferentes discontinuidades a moverse en alguno de los siguientes modos: Falla planar, falla en cuña, volcamiento directo o volcamiento por flexión. Los criterios adoptados para este análisis fueron los propuestos por Hudson y Harrison (1996), los cuales se describen a continuación:

- **Falla planar**
 - La dirección del buzamiento del plano de falla debe caer dentro de aproximadamente $\pm 20^\circ$ la dirección de la cara del talud.
 - El plano de falla debe aparecer en la cara del talud
 - El buzamiento del plano de falla debe exceder el ángulo de fricción de la discontinuidad del macizo.
 - El buzamiento del talud debe exceder el buzamiento del plano de falla.

- **Falla en cuña**
 - La línea de intersección de dos planos de discontinuidad debe aparecer en la cara del talud.
 - El buzamiento de la línea de intersección debe exceder el ángulo del talud.
 - El buzamiento del talud debe exceder el buzamiento de la línea de intersección.

- **Falla por volcamiento directo**
 - Se deben presentar dos familias de planos de discontinuidad cuyas intersecciones bucen hacia la cara del talud preferiblemente con un ángulo mayor a $90-\Phi$.
 - Debe existir una familia de planos basales que bucen hacia la cara del talud en un ángulo no menor que el ángulo de fricción.

- **Falla por volcamiento por flexión**
 - Existe una familia de discontinuidades que buzan hacia la cara del talud.
 - La dirección de los planos de falla deben caer aproximadamente dentro de $\pm 20^\circ$ la dirección de la cara de talud.

Los anteriores criterios fueron dibujados en la red estereográfica para hacer el análisis de posibilidad cinemática de taludes tal como se muestra en las **Figuras A.8.3.1 a A.8.3.4**, del **Anexo 8 - C**.

Con los datos estructurales dibujados en las **Figuras A.8.3.5 a A.8.3.11** del **Anexo 8 - C** se obtuvieron los planos de discontinuidad y estratificación que se muestran en la **Figura A.8.3.12**, del mismo anexo. Para cada una de las direcciones posibles de un corte se analizó la posibilidad cinemática de cada mecanismo obteniéndose los resultados presentados en la **Tabla 8.2**.

Con base en estos resultados se obtuvo la carta de taludes máximos que pueden ser ejecutados en cada una de las direcciones. Esta carta se presenta en la **Figura A.8.3.13**, del **Anexo 8 - C**, en la cual la línea representa las inclinaciones máximas seguras en cada dirección y los puntos representan los cortes actuales en los cuales se tomaron los datos estructurales. Para que el talud sea seguro el punto de inclinación debe caer por fuera de la zona encerrada por los taludes máximos, lo que implica que los taludes actuales presentan una alta susceptibilidad a fallar por los diferentes mecanismos según la **Tabla 8.2**.

Dirección Cara del Talud	Falla Planar		Falla en cuña		Volcamiento por flexión		Volcamiento Directo		Total
	Máximo ángulo del talud	Familia de discont.	Máximo ángulo del talud	Familia de discont.	Máximo ángulo del talud	Familia de discont.	Máximo ángulo del talud	Familia de discont.	
000	60	D	52	CB	72	F	32	EF	32
015	58	D	46	AD	-	-	32	EF	32
030	66	C	60	CB	71	E	32	EF	32
045	67	C	66	CB/CD/ACF	70	E	32	BE	32
060	66	C	56	ACF	71	E	32	BE	32
075	-	-	48	ACF	-	-	-	-	48
090	-	-	44	ACF	-	-	-	-	44
105	41	A	41	ACF	65	B	56	DE	41
120	41	A	41	ACF	64	B	56	DE	41
135	-	-	43	ACF	-	-	-	-	43
150	-	-	46	ACF	-	-	-	-	46
165	58	F	53	ACF	71	D	30	CD	30
180	59	F	56	BF	70	D	30	CD	30
195	-	-	50	BF	71	D	-	-	50
210	59	E	46	BF	64	C	30	CD	30
225	60	E	44	BF	63	C	-	-	44
240	58	E	45	BF	63	C	58	AD	45
255	-	-	47	BF	-	-	-	-	47
270	-	-	52	BF	-	-	-	-	52
285	65	B	60	BF	88	A	48	ACF	48
300	65	B	60	CB	88	A	48	ACF	48
315	-	-	56	CB	-	A	-	-	56
330	-	-	52	CB	-	-	-	-	52
345	59	D	51	CB	72	F	32	EF	32

Tabla 8.2. Análisis cinemático de estabilidad de los cortes en roca

8.4.4 Bloques individuales pertenecientes al depósito fluvio glacial en la base del valle

El análisis de estabilidad de los bloques individuales del depósito fluvio glacial se hizo con base en el análisis de equilibrio de cuerpo libre del bloque descansando sobre un zócalo de suelo. En este caso sólo se analizó la estabilidad considerando la influencia de cargas sísmicas por medio de fuerzas inerciales horizontales y verticales. Con base en los análisis se construyeron cartas de estabilidad para diferentes tamaños del bloque, condiciones de carga y diferente profundidad de recubrimiento del bloque, tal como se muestra en la **Figura 8.1**, dando la expresión de la **Ecuación 8.2**.

Con base en los estudios adelantados por Ohmachi y Miorikawa (1992), quienes analizaron el movimiento de bloques durante el sismo de Nagano en Japón en 1984, encontrando que la interacción entre el bloque y el suelo produce amplificaciones de las aceleraciones horizontales, en el presente estudio se tomó una amplificación de 5 con base en los valores reportados por estos autores para sismos de amplitudes similares a las máximas posibles en el área de estudio. De manera que los análisis se elaboraron amplificando las aceleraciones horizontales pero manteniendo las verticales. Los análisis se hicieron tomando como variables el diámetro del bloque, la profundidad de enterramiento, y las aceleraciones horizontales y verticales. Con base en los resultados se elaboraron las cartas de diseño presentadas en el **Anexo 8 - D**.

$$F.S = \frac{\sqrt{d^2 - (d - h)^2}}{k_h(d - h) + k_v\sqrt{d^2 - (d - h)^2}} \quad (8.2)$$

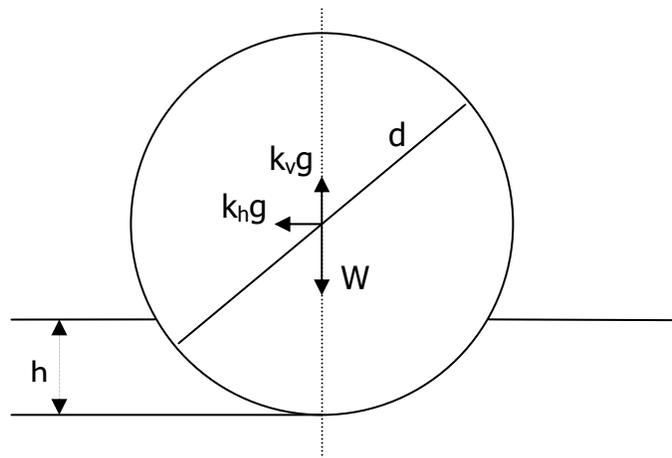


Figura 8.6. Diagrama de cuerpo libre para análisis de estabilidad de bloques de arenisca.

8.5 EVALUACIÓN DE AMENAZA

Con base en el mapa geológico se identificaron diferentes zonas homogéneas según características geotécnicas asociadas con la litología como se describió en el **Capítulo 5**. Dentro de cada una de ellas se identificaron subzonas con base en la inclinación del terreno superponiendo el mapa geológico y el de pendientes. Dentro de cada una de las zonas se identificaron adicionalmente los sectores afectados por cortes con el fin de considerarlos en los análisis de estabilidad y de amenaza. De esta manera se consideraron en los análisis los factores geológico, geomorfológico y el factor antrópico, para diversas condiciones de detonantes (sismo, lluvia y sus combinaciones). Con el fin de cubrir toda la gama de situaciones presentes en el área (para cada zona geotécnica, cada rango de pendiente y presencia o ausencia de cortes) se realizaron varios análisis de estabilidad y se graficaron sus resultados obteniéndose cartas de estabilidad o de diseño (según como se quieran usar), en las que se registran los resultados obtenidos y que se detallan más adelante. El uso de estas gráficas es muy interesante porque cubre prácticamente todas las posibles combinaciones de las variables más relevantes para las condiciones de estabilidad en la zona de estudio.

A partir de dichos análisis de estabilidad por medio de equilibrio límite se obtuvieron los factores de seguridad para diferentes condiciones de posición del nivel freático y de sismo, tal como se describió en la sección respectiva. Las combinaciones analizadas para cada tipo de perfil y de inclinación del terreno fueron: Seca, seca con sismo, saturada y saturada con sismo.

Los procedimientos de evaluación y metodologías aplicadas en cada zona geotécnica fueron seleccionados de acuerdo con su naturaleza. Así, el método de factor de seguridad se aplicó a los perfiles de meteorización, los depósitos de detritos y rellenos antrópicos, los cuales se calibraron con el método del bloque deslizante y el método estocástico. Para el macizo rocoso se efectuó un estudio de posibilidad cinemática de movimiento y para los depósitos fluvio-glaciares el cálculo de estabilidad mostrado en la sección 8.4.4.

El plano de zonificación de amenaza (**Plano 8.2**) corresponde a la envolvente general de todas estas combinaciones, que se registra como "Intensidad general de amenaza" en la **Tabla 8.4**. Estos resultados muestran que existe una alta probabilidad de ocurrencia de procesos de inestabilidad (amenaza) en gran parte de la zona de estudio.

Para facilitar la toma de decisiones se decidió incluir el **Plano 8.3**, que muestra la vocación o aptitud de la zona de estudio para la actividad de construcción de viviendas, que va un poco más allá de la simple zonificación de amenaza, registrando los sectores en los que se debe prohibir la construcción de viviendas (y si existen la recomendación de reubicarlas), otros sectores donde es viable la construcción (siempre y cuando se respeten las normas vigentes, recomendándose la revisión de vulnerabilidad de las casas existentes frente a otras amenazas) y las zonas donde se puede construir con restricciones. Como factores de restricción completa se definieron la presencia de flujos, ocupación de zonas de drenaje y la presencia de rellenos de magnitud apreciable.

8.5.1 Evaluación de amenaza con base en el factor de seguridad

Los niveles de amenaza para cada una de las zonas fueron definidos con base en los análisis de estabilidad (ver **Anexo 8-A** y **Anexo 8-B**) de acuerdo con los criterios presentados en la **Tabla 8.3**.

De manera que para cada unidad se obtienen cuatro niveles de amenaza correspondientes a cada escenario estudiado; con base en estos cuatro valores se determinó de manera cualitativa un valor de amenaza relativa general para cada subzona tomando en cuenta la posibilidad de que tanto el sismo y la condición de nivel freático considerado se presenten.

Con el fin de considerar el posible incremento de la posición del nivel freático debido a la presencia de infiltraciones de origen antrópico, en la evaluación de amenaza en las subzonas que registraron altos niveles de agua se dio un mayor peso al nivel de amenaza en condición saturada con referencia a los otros escenarios.

Además de definir la intensidad de la amenaza en cada subzona se estableció el tipo posible de mecanismo de falla a partir del inventario de procesos actuales, de casos de inestabilidad en zonas similares y de los resultados de los análisis de estabilidad. La recurrencia de la amenaza en cada subzona puede asociarse a la recurrencia de los eventos detonantes considerados.

La evaluación de amenaza para cada zona se presenta en la **Tabla 8.4** y se grafica en el **Plano 8.1**. En estos la amenaza relativa se define como Alta: A; Media: M y Baja; B.

8.5.2 Evaluación de amenaza con base en el método de bloque deslizante

El método de bloque deslizante para análisis de respuesta dinámica de taludes propuesto por Newmark, fue empleado para evaluar la amenaza por deslizamiento inducido por sismo en la zona con base en los criterios presentados anteriormente.

Los valores de aceleración crítica y de desplazamientos para rellenos antrópicos se obtuvieron de análisis pseudoestáticos y a partir de la integración del sismo de Loma Prieta escalado a 0,30 g, cuyos resultados se presentan en los **Anexos 8-A** y se resumen en la **Tabla 8.5**.

El sismo de Loma Prieta fue empleado por ser el escenario sísmico que puede producir desplazamientos en la zona de estudio. Este registro se escaló a 0,25 g tal como lo sugiere el Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá y se amplificó por un factor de 1,2 para considerar el máximo efecto topográfico posible en la zona de estudio de acuerdo con los valores presentados por Clough y Sitar (1991) con base en la relación entre la geometría del talud y la longitud de onda predominante del registro.

Los niveles de amenaza estimados para este tipo de depósitos se presentan en la **Tabla 8.6**. El Estado de Falla según los desplazamientos se identifican de acuerdo con la siguiente convención: Liger (L), Moderado (M), Fuerte (F), y Severo (S); por otra parte el Nivel de Estabilidad según aceleración crítica se establece según la siguiente convención: Muy Estable (ME), Estable (E), Alta (A), Moderada (M), Baja (B) e Inestable (I).

Inclinación Cara Relleno (°)	Inclinación terreno natural					
	7%		15%		35%	
	D (cm)	Ac (g)	D (cm)	Ac (g)	D (cm)	Ac (g)
5	0,000	0,400	0,96	0,16	1.000	0
10	0,003	0,295	2,25	0,11	1.000	0
15	5,680	0,070	1.000,00	0,00	1.000	0
20	1.000,000	0,000	1.000,00	0,00	1.000	0
25	1.000,000	0,000	1.000,00	0,00	1.000	0

Tabla 8.5 Aceleración crítica y desplazamientos para rellenos antrópicos.

Inclinación Cara Relleno (°)	Inclinación terreno natural					
	7%		15%		35%	
	Estado Falla	Nivel Estabilidad	Estado Falla	Nivel Estabilidad	Estado Falla	Nivel Estabilidad
5	L	A	M	M	S	I
10	L	M	M	M	S	I
15	F	B	S	I	S	I
20	S	I	S	I	S	I
25	S	I	S	I	S	I

Tabla 8.6 Evaluación del Estado de Falla y Nivel de Estabilidad con base en los desplazamientos y aceleración crítica, respectivamente.

Se realizaron análisis similares para los depósitos correspondientes al perfil de meteorización de la arenisca afectado por cortes artificiales de diferente inclinación y en condición seca. Los resultados de los análisis de estabilidad se presentan en el **Anexo 8-B** y se resumen en la **Tabla 8.7**.

Inclinación Cara del Corte (°)	Inclinación terreno natural					
	7%		15%		35%	
	D (cm)	Ac (g)	D (cm)	Ac (g)	D (cm)	Ac (g)
15	0,0	0,385	0,0	0,320	0,74	0,18
30	0,0	0,350	0,03	0,275	3,20	0,09
45	0,0	0,315	0,06	0,265	4,02	0,08
60	0,003	0,295	0,07	0,260	12,4	0,05
75	0,007	0,285	0,24	0,230	12,4	0,05

Tabla 8.7 Aceleración crítica y desplazamientos para taludes en corte de suelo residual de arenisca en condición seca.

Inclinación Cara Relleno (°)	Inclinación terreno natural					
	7%		15%		35%	
	Estado Falla	Nivel Estabilidad	Estado Falla	Nivel Estabilidad	Estado Falla	Nivel Estabilidad
5	L	A	L	A	M	M
10	L	A	L	M	M	B
15	L	A	L	M	M	B
20	L	M	L	M	F	B
25	L	M	L	M	F	B

Tabla 8.8 Evaluación del Estado de Falla y Nivel de Estabilidad con base en los desplazamientos y aceleración crítica, respectivamente, para suelo residual de arenisca en condición seca.

Por otra parte, en las **Tablas 8.9 y 8.10** se presenta el resumen de resultados de desplazamientos, aceleración crítica y su respectivo nivel de estabilidad, los cuales se obtuvieron con base en los resultados del **Anexo 8-B**.

Inclinación Cara del Corte (°)	Inclinación terreno natural					
	7%		15%		35%	
	D (cm)	Ac (g)	D (cm)	Ac (g)	D (cm)	Ac (g)
15	0,03	0,275	0,42	0,210	24,94	0,03
30	0,08	0,250	0,79	0,175	1000	0,0
45	0,18	0,240	0,90	0,165	1000	0,0
60	0,21	0,235	0,96	0,160	1000	0,0
75	0,21	0,235	0,96	0,160	1000	0,0

Tabla 8.9 Aceleración crítica y desplazamientos para taludes en corte de suelo residual de arenisca en condición saturada.

Inclinación Cara Relleno (°)	Inclinación terreno natural					
	7%		15%		35%	
	Estado Falla	Nivel Estabilidad	Estado Falla	Nivel Estabilidad	Estado Falla	Nivel Estabilidad
5	L	M	L	M	F	B
10	L	M	M	M	S	I
15	L	M	M	M	S	I
20	L	M	M	M	S	I
25	L	M	M	M	S	I

Tabla 8.10 Evaluación del Estado de Falla y Nivel de Estabilidad con base en los desplazamientos y aceleración crítica, respectivamente, para suelo residual de arenisca en condición saturada.

Los perfiles donde predomina el suelo residual de arcillolita presentan unos factores de seguridad muy grandes, lo que implica que las aceleraciones críticas son muy altas, mayores que la aceleración máxima del registro analizado, dando desplazamientos nulos para el modelo de bloque deslizando, de manera que estos depósitos pueden ser clasificados con un Estado de Falla Liger (L) y un Nivel de Estabilidad Muy Estable (ME).

8.5.3 Evaluación de amenaza por el modelo estocástico

Con base en los análisis de estabilidad por el método de equilibrio límite, se definieron los factores de seguridad de los depósitos de suelo residual de arenisca, que son los que dominan el área de estudio. Los diferentes análisis efectuados contemplan la variación de una serie de factores que pueden ser considerados determinísticos o estocásticos tales como la pendiente del talud, los parámetros de resistencia del material, posición del nivel freático, carga sísmica y profundidad del plano de falla.

Para el presente estudio se asumieron como valores determinísticos la pendiente del talud, los parámetros de resistencia del suelo y la profundidad del plano de falla; sin embargo, se hicieron análisis para diferentes ángulos del talud y profundidades del plano de falla, de manera que la única variable fija corresponde a los parámetros de resistencia del suelo, debido fundamentalmente a que el número de ensayos de laboratorio no son suficientes para definir adecuadamente la variación de estos parámetros.

Para las diferentes combinaciones geométricas definidas por las variables determinísticas, se estableció la probabilidad de ocurrencia de los factores detonantes en un período de 10 años, tal como se presentó en la sección 8.4.2. A cada factor de seguridad se le asignó una probabilidad de ocurrencia asociada con la probabilidad de ocurrencia de los factores detonantes. Es así que, para el caso seco, se analizó como la probabilidad conjugada de que no se presentará saturación del suelo y no se presentará el sismo. La probabilidad de saturación de los diferentes estratos se tomó con base en la probabilidad de que se presentará la

combinación intensidad-duración de saturación, la cual se encontró posible sólo para el primer estrato; para los otros se adoptó una probabilidad de cero. Debido a que las lluvias y los sismos se consideran eventos independientes, la probabilidad conjugada se determinó como el producto de las probabilidades individuales de la ocurrencia o no de cada uno de estos factores.

Para la condición saturada se tomó la probabilidad de que se saturara el suelo y la probabilidad de que no se presentará la aceleración asumida en el análisis de estabilidad respectivo. Para condición seca y con carga sísmica se tomó la probabilidad de que no se saturará el suelo y la probabilidad de que se presentará la aceleración de análisis. Finalmente, para el caso más crítico de suelo saturado y con sismo se combinó la probabilidad de saturación con la probabilidad de que se presente la aceleración.

Para cada una de las pendientes del terreno consideradas se obtuvo la esperanza del factor de seguridad con base en la siguiente expresión:

$$E(F.S) = \sum_1^k p_{ij,k} * F.S_{ij,k} \quad (8.3)$$

En la **Ecuación 8.3**, los subíndices i, j , se refieren a las condiciones seca o saturada y con sismo o sin sismo para cada análisis de falla considerando k diferentes profundidades del plano de falla. Debido a la estratificación del suelo, fue suficiente asumir solamente tres profundidades del plano de falla coincidentes con las interfaces entre los diferentes horizontes.

Igualmente para cada una de las condiciones se determinó la desviación estándar de los factores de seguridad obtenidos a través de la siguiente expresión:

$$\sigma(F.S) = \sqrt{E(F.S^2) - E(F.S)^2} \quad (8.4)$$

donde $E(F.S^2)$ es la esperanza del cuadrado del factor de seguridad y $E(F.S)^2$ es el cuadrado de la esperanza del factor de seguridad. La esperanza del cuadrado del factor de seguridad se determinó a partir de:

$$E(F.S^2) = \sum_1^k p_{ij,k} * (F.S_{ij,k})^2 \quad (8.5)$$

los subíndices i, j y k tiene el mismo significado de la **Ecuación 8.3**.

El índice de confiabilidad β definido en la **Ecuación 1.4** se determinó con base en la expresión propuesta por Duncan (2000) y presentada en la **Ecuación 8.6**, donde se asume una distribución lognormal de los factores de seguridad.

$$\beta = \frac{\ln\left(\frac{E(F.S)}{\sqrt{1 + C.V(F.S)^2}}\right)}{\sqrt{\ln(1 + C.V(F.S)^2)}} \quad (8.6)$$

donde C.V es el coeficiente de variación del factor de seguridad. La probabilidad de falla se obtuvo considerando una distribución normal acumulada estándar tal como lo sugiere Duncan (2000).

Los resultados del análisis estocástico se presentan en el **Anexo 8-G**. Debido a que estos valores de probabilidad de falla pueden estar controlados por el suelo orgánico superficial, se hizo el mismo análisis considerando solamente la presencia de los dos horizontes inferiores del suelo residual de arenisca, los cuales también se presentan en el **Anexo 8-G**. En las **Tablas 8.11** y **8.12** se resumen los resultados de estos análisis y la estimación del nivel de amenaza de acuerdo con los criterios de la **Tabla 8.6**.

Inclinación Terreno Natural (°)	Probabilidad de falla p(f)					Nivel de amenaza
	Seco	Seco + Sismo	Saturado	Saturado + Sismo	Total	
2	0,37	0,93	0,66	1,00	0,74	Alta
4	0,35	0,94	0,70	1,00	0,75	Alta
8,5	0,32	0,96	0,82	1,00	0,78	Alta
19	0,32	0,98	0,99	1,00	0,82	Alta
37	0,46	1,00	1,00	1,00	0,87	Alta

Tabla 8.11 Probabilidad de falla de talud en suelo residual de arenisca para diferentes condiciones estudiadas incluyendo suelo orgánico.

Inclinación Terreno Natural (°)	Probabilidad de falla p(f)					Nivel de amenaza
	Seco	Seco + Sismo	Saturado	Saturado + Sismo	Total	
2	0,0	0,89	0,0	0,0	0,22	Media
4	0,0	0,91	0,0	0,0	0,23	Media
8,5	0,0	0,93	0,0	0,0	0,23	Media
19	0,0	0,97	0,0	0,0	0,24	Media
37	0,0	1,00	0,0	0,0	0,25	Media

Tabla 8.12 Probabilidad de falla de talud en suelo residual de arenisca para diferentes condiciones estudiadas sin incluir suelo orgánico.

8.5.4 Amenaza por deslizamientos

A continuación se describen las características más relevantes e identificadas de la amenaza por deslizamientos de cada zona geotécnicamente homogénea definida en el **Capítulo 5**.

8.5.4.1 Zona I (Zonas con flujo de tierras)

- **Zona Ia**

Los mecanismos de falla posibles en esta zona son los flujos de tierra y los deslizamientos translacionales del suelo orgánico por saturación. En condiciones actuales estas zonas son hondonadas donde se mantiene el suelo con un alto grado de humedad por concentración de flujos.

Con base en la evaluación de amenaza a partir de los factores de seguridad se encuentra que para inclinaciones menores de $8,5^{\circ}$ esta zona presenta un nivel de amenaza bajo cuando no se tiene la influencia de cargas sísmicas aún en condición saturada; sin embargo, para inclinaciones mayores, el nivel de amenaza se incrementa, en términos generales, a un nivel de alto bajo cualquier condición. Estos resultados concuerdan con el alto grado de deformación que presentan tales depósitos en el área de estudio. Bajo la influencia de cargas sísmicas la estabilidad de estas zonas se reduce considerablemente aún en condición seca.

Los análisis de bloque deslizante elaborados en estos depósitos muestran valores de desplazamientos muy grandes para inclinaciones del terreno por encima de los 9° , lo que confirma los resultados de la evaluación hecha con base en factores de seguridad. Por otra parte, los resultados de los análisis estocásticos muestran un nivel de amenaza alto cuando se considera la presencia de estos suelos.

Debido a la alta susceptibilidad de esta zona la recurrencia de movimientos del terreno en estos depósitos es muy común, por lo que se puede esperar que bajo condiciones de lluvias normales estos materiales sufran reptamiento, mientras que si se tiene una lluvia excepcional es posible que se presente la falla translacional de los mismos. Cuando se presenten niveles de aceleración del terreno superiores a $0,1\text{ g}$ también es de esperar la falla de este tipo de material.

- **Zona Ib**

Esta zona presenta las mismas características de la Zona Ia pero con el agravante que estos depósitos están intervenidos por cortes del terreno. Los niveles de amenaza son similares a la zona anterior; sin embargo, en este caso la situación es más crítica debido a que además del reptamiento y la falla translacional se pueden presentar caídas de suelo y movimientos rotacionales, estos últimos generalmente asociados a mayores volúmenes de material fallado.

El nivel de amenaza general de estas dos zonas por lo general es media para terrenos con inclinaciones menores de 9° y alta para terrenos con inclinaciones

mayores. Con el fin de mejorar la estabilidad de estos depósitos se puede considerar la posibilidad de remover el suelo orgánico cuando afecten directamente la infraestructura o disponer de algún sistema de refuerzo como siembra de especies que profundicen sus raíces y generen empotramiento de la masa de suelo. En cortes conviene la estabilización con muros y no superar los niveles de inclinación de corte máximos para garantizar estabilidad con base en las cartas de estabilidad propuestas en el **Anexo 8-A**.

8.5.4.2 Zona II

Esta zona también corresponde al perfil de meteorización de la arenisca incluyendo un estrato de suelo orgánico en la superficie. La diferencia con la zona I es que en este caso la forma en planta del talud es uniforme lo que impide la concentración de flujos de agua; por esta razón estas zonas presentan suelos con menor contenido de humedad y menores deformaciones del terreno.

Los análisis de estabilidad, de bloque deslizando y de probabilidad de falla son los mismos que los casos anteriores; sin embargo en la valoración de la amenaza general se considera que la saturación del depósito superficial sólo se puede producir por alguna de las combinaciones críticas de intensidad-duración de lluvias determinadas en el **Capítulo 6**, lo que reduce el nivel de amenaza de media a baja en taludes inferiores a 4° y a media para taludes entre 4° y 9°; no obstante, para taludes superiores se mantienen los niveles de amenaza alta como en la zona I.

Para efectos prácticos de evaluación del nivel de amenaza, las zonas I y II podrían considerarse como una sola unidad, aunque la respuesta hidrológica en las dos zonas es diferente por lo que se mantienen independientes. Esta característica también genera una pequeña diferencia en el tipo de movimiento esperado. Mientras que en la zona I se presentan flujos de tierra, en la zona II se presentan procesos de erosión más que de movimiento en masa. Por otra parte, analizando los resultados del modelo de bloque deslizando, se espera que ante cargas sísmicas estos depósitos se desplacen menos que los de la zona I reduciendo el nivel de daño que pueden producir sobre la infraestructura.

La recurrencia de movimientos en esta zona no es tan común como en la zona I, aún cuando es de esperar movimientos cuando se presenten eventos excepcionales de lluvia o sismo. El nivel de amenaza se incrementa por la acción antrópica por la presencia de agua por infiltraciones y cortes artificiales. En el caso de áreas con cortes se definió una subzona denominada Zona IIb, para la cual, los factores de seguridad se reducen y el nivel de amenaza sigue siendo alto.

Como medidas de reducción de la amenaza se pueden plantear las mismas sugeridas para la zona I.

8.5.4.3 Zona III

La zona III corresponde a los perfiles de meteorización de la arenisca y la arcillolita que se han desarrollado en los escarpes de contra pendiente estructural. El nivel de amenaza se puede ver reducido en esta zona por tener la dirección de

estratificación en sentido favorable para estabilidad; sin embargo, en estos depósitos se detectó que el perfil desarrollado es similar al de las zonas de pendiente estructural (Zonas I y II); por lo tanto los análisis de estabilidad son similares a los anteriores.

Estas zonas por presentar un sustrato más empinado que las zonas de pendiente estructural muestran procesos de inestabilidad más grandes comúnmente consistentes en deslizamientos de detritos y caídas de detritos, en general, también asociados con movimiento del suelo orgánico superior y caída de bloques de suelo residual.

Los niveles de amenaza son similares a los de la zona II; sin embargo, es importante diferenciar los diversos mecanismos de falla posibles en cada zona, por lo que se mantienen como zonas independientes.

La recurrencia de movimientos en esta zona se espera que sea mayor que en las zonas II, aunque los niveles de amenaza sean similares, debido a la mayor pendiente del sustrato, la cual también controla la pendiente del terreno en estas zonas.

Similarmente a lo expresado para las zonas anteriores, en la zona II se espera que el nivel de amenaza se incremente por la intervención antrópica, en especial cortes y flujos de agua. Por esta razón se identificaron dos subzonas diferentes, unas sin cortes artificiales denominadas IIIa, y aquellas en las cuales se han producido cortes, denominadas IIIb. Aunque los valores de factor de seguridad se reducen, los niveles de amenaza siguen siendo altos para inclinaciones superiores a 9°.

8.5.4.4 Zona IV

En aquellas partes donde se identificaron movimientos, en particular deslizamientos y caídas de detritos, comúnmente asociados con áreas en contra pendiente estructural se definió una zona IV, en donde los factores de seguridad están asociados con propiedades mecánicas inferiores. En estas áreas los niveles de amenaza son altos debido a que se presentan materiales muy sueltos que pueden ser movilizados con facilidad.

Los mecanismos de falla posibles en estas zonas son hundimientos superficiales y flujos de tierra cuando se saturan por efecto de lluvias. Sólo en el caso de que se encuentre el depósito seco y sin influencia de agentes detonantes estos materiales son estables, de lo contrario se pueden presentar movimientos.

La recurrencia de movimientos en estas zonas es muy alta debido a la alta susceptibilidad de los depósitos. Se puede disminuir el nivel de amenaza de la zona por reconformación de los movimientos, eliminación del material o aplicando medidas de estabilización en caso de que los volúmenes de material sean muy grandes.

8.5.4.5 Zona V

Debido a la intervención humana, se presentan áreas donde el suelo orgánico superior del perfil de meteorización ya no está, lo que cambia las condiciones de estabilidad y de amenaza. Estas áreas se definieron como Zona V.

Los análisis de estabilidad, de bloque deslizante y de probabilidad de falla se hicieron eliminando la presencia del suelo orgánico y siguiendo los procedimientos explicados en secciones anteriores. De los resultados de dichos análisis se observa un incremento marcado en los factores de seguridad y reducción de los desplazamiento y probabilidad de falla en todas las condiciones analizadas.

En este caso se tienen valores de amenaza muy bajos a partir de los factores de seguridad encontrados en taludes con inclinaciones menores de 9° y niveles de amenaza media para taludes de mayor inclinación. Solamente se esperan valores de amenaza alto para combinaciones de saturación y sismo, la cual, como se explicó anteriormente, es muy poco probable que se presente. Las aceleraciones críticas son muy altas por lo que los desplazamientos esperados son muy bajos o nulos asociados con niveles de amenaza media a baja.

Aunque la posibilidad de saturación de estos materiales es muy baja para condiciones de lluvia normal y excepcional, un flujo continuo de agua hacia el terreno puede, a largo plazo, generar esta condición. Por ejemplo, estos materiales han mostrado fallar cuando hay presencia de fugas en tuberías de suministro y desagüe. Igualmente al exponerse estos materiales a la superficie son más susceptibles a agrietarse por secado, lo que genera la posibilidad de caídas de suelo detrás de cortes artificiales. Igualmente, se ha visto la generación de hundimientos por el efecto de los cortes en este tipo de depósito, lo cual se evidencia claramente con los factores de seguridad asociados a estos materiales en estas condiciones.

La recurrencia de movimientos en estos materiales es menos común, pero sin embargo se debe reducir la intervención humana no controlada para evitar ocasionar movimientos de gran magnitud. Las zonas con cortes se diferenciaron de aquellas que aún no han sido intervenidas por estos cortes notándose el incremento en el nivel de amenaza. Las zonas sin cortes son identificadas como Zona Va y las zonas con cortes como Vb.

8.5.4.6 Zona VI (Rellenos Antrópicos)

Dentro de la zona de estudio se identificó un gran número de rellenos antrópicos que son muy susceptibles de fallar. Los factores de seguridad muestran que estos depósitos son estables cuando el terreno natural sobre el cual están construidos son poco pendientes ($<9^\circ$) y la inclinación de la cara del relleno es moderada ($<20^\circ$). Cuando se supera una de estas fronteras los rellenos empiezan a presentar problemas de estabilidad excepto cuando la inclinación del talud no supera en 5° la inclinación del terreno.

La condición de estabilidad se vuelve más precaria ante la influencia de agua de infiltración o aguas lluvias y por la acción de eventos sísmicos.

Los mecanismos de falla comunes en estos materiales son los flujos de detritos o tierra y los hundimientos superficiales. En especial estos mecanismos son inducidos por la acción de las aguas infiltradas en el cuerpo del relleno.

Los niveles de amenaza asociados con estos depósitos para las pendientes encontradas en el área de estudio son muy altos, conclusión que es ratificada por el análisis de desplazamientos de bloque deslizante presentado en las **Tabla 8.5 y 8.6**.

Los parámetros de resistencia de estos rellenos son muy bajos, por lo que una primera medida para mejorar su estabilidad es aumentar su resistencia asegurando un proceso de compactación adecuado para el tipo de material. Los rellenos actuales no han sido ejecutados técnicamente lo que explica su baja estabilidad. Por otra parte, se debe reducir la posibilidad de ingreso de aguas lluvias y servidas dentro del suelo, por lo que es recomendable la impermeabilización de las caras del talud o la protección vegetal de las mismas. Cuando los rellenos requieran superar las inclinaciones máximas estables se debe proveer de estructuras de contención para mejorar su estabilidad.

8.5.4.7 Zona VII

Las zonas marcadas como VII son aquellos escarpes de corte en macizo rocoso de areniscas. Como se presentó anteriormente, estos cortes son susceptibles a que se generen caídas de roca y fallas en cuña dependiendo de la dirección del corte, inclinación del talud y altura del talud. En condiciones actuales debido a que los taludes de corte por lo general son bajos no se manifiesta este grado de inestabilidad; sin embargo, para considerar en la evaluación de la amenaza la posible intervención futura se deben tener en cuenta. En este caso no se hizo una evaluación de estabilidad sino de posibilidad cinemática de movimiento, lo que arroja una alta posibilidad de caídas de roca y fallas en cuña, por lo que se asignó un valor de amenaza alta a estos cortes. Las inclinaciones de corte para diferentes direcciones deben limitarse tal como se presenta en la **Tabla 8.2**.

8.5.4.8 Zona VIII

En esta zona se agruparon los afloramientos de suelo residual de arcillolita, los cuales no son muy abundantes en la zona, pero deben ser considerados como una unidad diferente.

La influencia del nivel freático en este tipo de material no fue posible analizar debido a que no se contó con parámetros de resistencia drenados. Con base en los resultados de estabilidad se observa que los factores de seguridad, en términos de parámetros no drenados, son muy altos, por lo general > 2.0 en el caso más crítico, de manera que se asignaron niveles de amenaza bajos a estas zonas.

En la Localidad de Usme se han reportado algunos hundimientos asociados con arcillolitas y sus derivados; sin embargo, estos se deben a deficientes técnicas de construcción aplicadas.

8.5.4.9 Zona IX

En los análisis de estabilidad se estudió la influencia de cargas sísmicas sobre la estabilidad de los grandes bloques de arenisca embebidos en matriz limo arcillosa correspondientes al depósito fluvio glacial en la base, los cuales se agrupan en la Zonas IX. Se observa que, aún aplicando unas amplificaciones grandes de las aceleraciones horizontales, si el bloque está dentro de un zócalo de suelo, éste permanecerá estable, por lo que la estabilidad dependerá del mantenimiento de la matriz que aún posean estos depósitos, haciendo necesaria la conservación del suelo contra erosión y excavación manual por debajo de los bloques.

Garantizando las condiciones actuales la amenaza por movimiento de estos bloques es baja.

8.6 CARTAS DE ESTABILIDAD

En los **Anexos 8 A** y **8 B** se presentan de manera gráfica los resultados de los análisis de estabilidad de los diferentes perfiles considerados ante las diversas solicitaciones factibles. La condición seca sin sismo aplica a las condiciones actuales en los perfiles de suelo residual, mientras que la condición saturada sin sismo aplica a la estabilidad de aquellas áreas donde el perfil está sobreyacido por suelo negros saturados. Los análisis también incluyen casos donde el nivel freático se encuentra en las interfaces de los diferentes horizontes identificados.

A continuación se explica la forma de aplicar las cartas de estabilidad tanto para evaluar amenaza como para definir las condiciones críticas de cortes o rellenos.

8.6.1 Rellenos antrópicos

Las cartas de estabilidad de los rellenos antrópicos muestran el factor de seguridad del relleno bajo las condiciones de nivel freático y sismo especificadas en cada una de ellas. En estos gráficos, el ángulo α representan el ángulo del terreno natural por encima del cual se emplaza el relleno, mientras que el ángulo β representa el ángulo de la cara del relleno por encima del ángulo del terreno natural.

Cuando se quieren emplear estas cartas para analizar la condición de estabilidad o amenaza de un relleno se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Definir la inclinación del terreno natural sobre el cual se emplaza el relleno (α).
2. Definir la inclinación de la cara del relleno (β).
3. Con estos dos valores se puede determinar el factor de seguridad del relleno ante condición seca, seca con sismo, saturada y saturada con sismo directamente leyendo de la carta correspondiente.

Cuando se quiere determinar las dimensiones de un futuro relleno se debe proceder de la siguiente forma:

1. Determinar el factor de seguridad de trabajo, el cual no debe ser inferior a 1,5
2. Determinar las condiciones de análisis: Seco, seco con sismo, saturado y saturado con sismo, para definir con qué carta trabajar
3. Conociendo el sitio de localización del relleno se conoce el ángulo de inclinación del terreno, de manera que se puede determinar el máximo ángulo de inclinación de la cara del talud que cumple con el factor de seguridad establecido.

Para condición con agua se tienen cartas con diferentes profundidades del nivel freático: Por debajo del relleno, a un tercio de la altura del relleno y a los dos tercios de la altura.

Adicionalmente se presentan cartas de estabilidad en términos de los desplazamientos encontrados con el método del bloque deslizante, calculados con base en el registro de Loma Prieta (Corralitos) escalado a una aceleración pico de 0,30 g; en este caso con el ángulo de inclinación del terreno y de la cara del relleno se pueden obtener los desplazamientos, los cuales se deben comparar con los máximo permisibles de acuerdo con la **Tabla 1.4**. Curvas similares se tienen para diferentes posiciones del nivel freático.

8.6.2 Perfil de meteorización de arenisca

En el caso de los perfiles de suelo residual se presentan las cartas de estabilidad donde el ángulo α es la inclinación del terreno, mientras que el ángulo β es el ángulo de corte. La forma de uso de las cartas es similar a la presentada para los rellenos antrópicos. Estas cartas se definieron para los ángulos del terreno hasta los cuales el corte era estable por lo que no aparecen inclinaciones superiores al 35% (19,3°).

Los análisis que se pueden efectuar con las cartas anexas son: Condición de terreno natural sin intervención por cortes, con sismo y sin él, condición de aguas a diferentes profundidades; en este caso se tienen cartas con el nivel de agua localizado en las interfaces de los diferentes estratos del perfil. Por último, se tienen cartas para análisis por desplazamientos por sismo considerando cortes y material saturado (suelo negro). Para el caso de suelo residual sin el suelo orgánico los valores de aceleración crítica son superiores a la aceleración pico del registro utilizado.

8.7 FUENTES DE CONSULTA

Cantillo R., Carlos (1998). Propuesta Metodológica para la Evaluación de Riesgos por Remoción en Masa a Escala Local. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.

Cardona A., Omar D. (1997). Los Desastres: Eventos Ambientales. Artículo Técnico. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.

Duncan, J.M. (2000). *Factors of safety and reliability in Geotechnical Engineering*. ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol 126, No 4, Págs 307-316.

DPAE (2000). Resolución 364 de 2000.

González, A. J., Zamudio, E, Castellanos, R. (1999). Relación de Precipitación – Duración de Lluvias que Disparan Movimientos en Masa en Santafé de Bogotá, Colombia.

Hudson J. A. y Harrison J. P. (1995). *Engineering Rock Mechanics. An Introduction to the Principles. Final Draft*.

Ingeominas y Universidad de los Andes (1997). Estudio de Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá. Bogotá, Colombia.

Kalinin E. V. y Sheshenin S. V. (1990). *The State of Stress of Anisotropics Rock Mass in Mechanics of Jointed and Faulted Rock*. Rossmanith (Ed.). Págs. 945 a 949.

Nishida K. (1989). *Residual Soils Properties and their Relation to Slope Failure Pattern*. Journal of Natural Disasters. Vol. 11 No. 1. Págs. 27 a 41.

Ohmachi T. Midorikawa (1992). *Grand Motion Intensity Inferred from Upthrow of Boulders During the 1984 Western Nagano Prefecture, Japan, Earthquake*. Bulletin of the Seismological Society of America. Vol. 82 No. 1 Págs. 44 a 60.

Pradel D. y Raad G. (1993). *Effect of Permeability on Surficial Stability of Homogeneous Slopes*. ASCE Journal of Geotechnical Engineering. Vol. 119 No. 2. Págs. 315 a 332.

Rodríguez C. E. (2001). *Hazard Assessment of Earthquakes induce Landslides on Natural Slopes*. Ph. D. Tesis, Imperial College. London, U. K.

Rodríguez C. E. (1997). Análisis y Modelación de Torrentes. Tesis de Magister. Universidad Nacional de Colombia.

Varnes D. V. (1978). *Slopes Movement, Types and Proceses in Landslides: Analysis and Control*. Transportation Research Board. National Academy of Sciences. Washington Special Report 176. Págs. 11 a 33.

CAPÍTULO 9.0

CONCLUSIONES FINALES

De acuerdo con lo registrado a lo largo del informe se puede concluir lo siguiente:

- **Zonas geotécnicamente homogéneas**

El estudio permitió identificar unidades de comportamiento geomecánico similar en cuanto a su respuesta ante procesos de degradación del suelo, tal como se presenta en la **Tabla 9.1**

Zona	Descripción	Propiedades geomecánicas. Estrato controlando estabilidad
la	Perfil de meteorización de arenisca, sin presencia de cortes artificiales. Zonas correspondientes a topografía cóncava en planta que origina concentración de flujos. Zona afectada por flujos de tierra y rapamiento. Estabilidad controlada por suelo orgánico superior	Espesor: 0,5-1,5 m, Permeabilidad promedio: $8,0 \times 10^{-6}$ cm/seg, Contenido de finos: 45-90% Límite líquido: SC 25%; CL 35-42% Límite plástico: SC 13%; CL 20-32% Índice de plasticidad: SC 12%; CL 20% Humedad natural: SC 16%; CL 6-25% Peso unitario: 22 kN/m ³ Angulo de resistencia (SPT): SC 28-32° Resistencia No drenada: CL 28-37 Kn/m ² c'(corte directo): SC 18 kN/m ² ; CL 39 kN/m ² Ø'(corte directo): SC 27°; CL 12°
lb	Perfil de meteorización de arenisca, con presencia de cortes artificiales. Zonas correspondientes a topografía cóncava en planta que origina concentración de flujos. Zona afectada por flujos de tierra y rapamiento. Estabilidad controlada por suelo orgánico superior	Espesor: entre 0,2 y 1,7 m, Permeabilidad promedio: $1,5 \times 10^{-6}$ cm/seg, Contenido de finos: SC 35-45%; CL 90% Límite líquido: SC 18-20%; CL 36-45% Límite plástico: SC 10-12%; CL 19-20% Índice de plasticidad: SC 6-8%; CL 17-25% Humedad natural: SC 7-10%; CL 18% Peso unitario: 23 kN/m ³ Angulo de resistencia (SPT): SC 32-37° Resistencia No drenada: CL 70 Kn/m ² c'(corte directo): SC 38 kN/m ² ; CL 62 kN/m ² Ø'(corte directo): SC 28°; CL 12°

UNIÓN TEMPORAL CONSULTORES EN RIESGOS		CONTRATO CONS - 449 / 02		CAPÍTULO 9 PAG. 1	
VERSIÓN:	1.0	FECHA:	MARZO/03		
ELABORÓ:	CHCR	REVISÓ:	ODC	APROBÓ:	INGEMÉTRICA LTDA.

ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA EN LOS BARRIOS SAN IGNACIO Y SAN MARTÍN DE LA LOCALIDAD DE USME DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, D. C.

Zona	Descripción	Propiedades geomecánicas. Estrato controlando estabilidad
IIa	Perfil de meteorización de arenisca, sin presencia de cortes artificiales. Zonas correspondientes a taludes en pendiente estructural. Zonas comúnmente afectas por procesos de erosión laminar y en surcos. Reptamiento. Estabilidad controlada por suelo orgánico superior	<p>Espesor: entre 0,2 y 1,7 m, Permeabilidad promedio: $1,5 \times 10^{-6}$ cm/seg, Contenido de finos: SC 35-45%; CL 90% Límite líquido: SC 18-20%; CL 36-45% Límite plástico: SC 10-12%; CL 19-20% Índice de plasticidad: SC 6-8%; CL 17-25% Humedad natural: SC 7-10%; CL 18% Peso unitario: 23 kN/m³ Angulo de resistencia (SPT): SC 32-37° Resistencia No drenada: CL 70 Kn/m² c'(corte directo): SC 38 kN/m²; CL 62 kN/m² Ø'(corte directo): SC 28°; CL 12°</p>
IIa	Perfil de meteorización de arenisca, con presencia de cortes artificiales. Zonas correspondientes a taludes en pendiente estructural. Zonas comúnmente afectadas por procesos de erosión laminar y en surcos. Reptamiento. Estabilidad controlada por suelo orgánico superior	<p>Espesor: entre 0,2 y 1,7 m, Permeabilidad promedio: $1,5 \times 10^{-6}$ cm/seg, Contenido de finos: SC 35-45%; CL 90% Límite líquido: SC 18-20%; CL 36-45% Límite plástico: SC 10-12%; CL 19-20% Índice de plasticidad: SC 6-8%; CL 17-25% Humedad natural: SC 7-10%; CL 18% Peso unitario: 23 kN/m³ Angulo de resistencia (SPT): SC 32-37° Resistencia No drenada: CL 70 Kn/m² c'(corte directo): SC 38 kN/m²; CL 62 kN/m² Ø'(corte directo): SC 28°; CL 12°</p>
IIIa	Perfil de meteorización de arenisca, sin presencia de cortes artificiales. Zonas correspondientes a taludes en contra pendiente estructural. Zonas comúnmente afectas por procesos de erosión laminar y en surcos. Reptamiento. Estabilidad controlada por suelo orgánico superior	<p>Espesor: entre 0,2 y 1,7 m, Permeabilidad promedio: $1,5 \times 10^{-6}$ cm/seg, Contenido de finos: SC 35-45%; CL 90% Límite líquido: SC 18-20%; CL 36-45% Límite plástico: SC 10-12%; CL 19-20% Índice de plasticidad: SC 6-8%; CL 17-25% Humedad natural: SC 7-10%; CL 18% Peso unitario: 23 kN/m³ Angulo de resistencia (SPT): SC 32-37° Resistencia No drenada: CL 70 Kn/m² c'(corte directo): SC 38 kN/m²; CL 62 kN/m² Ø'(corte directo): SC 28°; CL 12°</p>
IIIb	Perfil de meteorización de arenisca, con presencia de cortes artificiales. Zonas correspondientes a taludes en contra pendiente estructural. Zonas comúnmente afectas por procesos de erosión laminar y en surcos. Reptamiento. Estabilidad controlada por suelo orgánico superior	<p>Espesor: entre 0,2 y 1,7 m, Permeabilidad promedio: $1,5 \times 10^{-6}$ cm/seg, Contenido de finos: SC 35-45%; CL 90% Límite líquido: SC 18-20%; CL 36-45% Límite plástico: SC 10-12%; CL 19-20% Índice de plasticidad: SC 6-8%; CL 17-25% Humedad natural: SC 7-10%; CL 18% Peso unitario: 23 kN/m³ Angulo de resistencia (SPT): SC 32-37° Resistencia No drenada: CL 70 Kn/m² c'(corte directo): SC 38 kN/m²; CL 62 kN/m² Ø'(corte directo): SC 28°; CL 12°</p>

ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA EN LOS BARRIOS SAN IGNACIO Y SAN MARTÍN DE LA LOCALIDAD DE USME DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, D. C.

Zona	Descripción	Propiedades geomecánicas. Estrato controlando estabilidad
IV	Depósito de detritos producto de meteorización y colapso de suelo residual de arenisca	<p>Espesor: 0,5 -1,0 m Permeabilidad promedio: $1,5 \times 10^{-6}$ cm/seg, Contenido de finos: SC 35-45%; CL 90% Límite líquido: SC 18-20%; CL 36-45% Límite plástico: SC 10-12%; CL 19-20% Índice de plasticidad: SC 6-8%; CL 17-25% Humedad natural: SC 7-10%; CL 18% Peso unitario: 23 kN/m³ Angulo de resistencia (SPT): SC 32-37° Resistencia No drenada: CL 70 Kn/m² c'(corte directo): SC 38 kN/m²; CL 39 kN/m² Ø'(corte directo): SC 28°; CL 25°</p>
Va	Perfil de meteorización de arenisca sin presencia del suelo orgánico y sin presencia de cortes artificiales. Zonas correspondientes a taludes en pendiente estructural. Zonas comúnmente afectas por procesos de erosión laminar y en surcos. Reptamiento. Estabilidad controlada por suelo residual de arenisca.	<p>Espesor: entre 0,2 y 1,7 m, Permeabilidad promedio: $1,5 \times 10^{-6}$ cm/seg, Contenido de finos: SC 35-45%; CL 90% Límite líquido: SC 18-20%; CL 36-45% Límite plástico: SC 10-12%; CL 19-20% Índice de plasticidad: SC 6-8%; CL 17-25% Humedad natural: SC 7-10%; CL 18% Peso unitario: 23 kN/m³ Angulo de resistencia (SPT): SC 32-37° Resistencia No drenada: CL 70 Kn/m² c'(corte directo): SC 38 kN/m²; CL 39 kN/m² Ø'(corte directo): SC 28°; CL 25°</p>
Vb	Perfil de meteorización de arenisca sin presencia del suelo orgánico pero con presencia de cortes artificiales. Zonas correspondientes a taludes en pendiente estructural. Zonas comúnmente afectas por procesos de erosión laminar y en surcos. Reptamiento. Estabilidad controlada por suelo residual de arenisca.	<p>Espesor: entre 0,2 y 1,7 m, Permeabilidad promedio: $1,5 \times 10^{-6}$ cm/seg, Contenido de finos: SC 35-45%; CL 90% Límite líquido: SC 18-20%; CL 36-45% Límite plástico: SC 10-12%; CL 19-20% Índice de plasticidad: SC 6-8%; CL 17-25% Humedad natural: SC 7-10%; CL 18% Peso unitario: 23 kN/m³ Angulo de resistencia (SPT): SC 32-37° Resistencia No drenada: CL 70 Kn/m² c'(corte directo): SC 38 kN/m²; CL 39 kN/m² Ø'(corte directo): SC 28°; CL 25°</p>
VI	Rellenos antrópicos. Estos depósitos tienden a fallar por hundimientos y posterior flujo de detritos. También se evidencia reptamiento y erosión laminar y en surcos.	<p>Espesor: 0,5-3,0 m, Permeabilidad promedio: $2,0 \times 10^{-5}$ cm/seg, Contenido de finos: > 45% Límite líquido: SC 26%; CL 27-30% Límite plástico: SC 14%; CL 19-20% Índice de plasticidad: SC 12%; CL 13% Humedad natural: SC 19%; CL 15-25% Peso unitario: 21 kN/m³ Angulo de resistencia (SPT): SC 28° Resistencia No drenada: CL 30 Kn/m²</p>
	Macizo rocoso con afloramiento de areniscas.	

Zona	Descripción	Propiedades geomecánicas. Estrato controlando estabilidad
VII	En estos depósitos se pueden presentar caídas de roca y fallas en cuña según inclinación y dirección de corte.	
VIII	Perfil de meteorización de arcillositas consiste básicamente de arcillas firmes. Se puede presentar falla planar a lo largo de interfase y rotacionales cuando son de espesor profundo.	Espesor: 0,5-3,0 m, Permeabilidad promedio: $2,0 \times 10^{-5}$ cm/seg, Contenido de finos: > 90% Límite líquido: 60% Límite plástico: 35% Índice de plasticidad: 25% Humedad natural: 35% Peso unitario: 23 kN/m ³ Resistencia No drenada: 120 Kn/m ²
IX	Depósitos fluvio glaciares. Está zona presenta grandes bloques de arenisca dura que pueden fallar por volcamiento.	

Tabla 9.1. Zonas geotécnicamente homogéneas

- **Intervención antrópica**

La intervención antrópica resulta una variable de influencia directa sobre la potencial inestabilidad del terreno, bien actuando como factor contribuyente, detonante o circunstancial.

Dentro de esta intervención, debe mencionarse, en primer lugar, la degradación de la cobertura de suelo, efectuada para la construcción de viviendas, apertura de vías y caminos y siembra de cultivos. Esta degradación genera modificaciones en la capacidad de retención de las aguas lluvias por pérdida de vegetación, cambios en los drenajes y procesos de erosión. Tal degradación, en la zona de estudio, puede considerarse generalizada.

Es importante registrar, de igual forma, la ocupación de zonas de drenaje, pues se obstaculiza el libre paso de las aguas lluvias, y en interrelación con la degradación del suelo, se generan procesos como los flujos en zonas de cañadas.

Uno de los factores de mayor significancia, en relación con las modificaciones impuestas a las condiciones de estabilidad, corresponde a los cortes del terreno para la construcción de viviendas, situación que resulta de difícil control, pues es una actividad puntual, sin la debida asistencia técnica y de carácter casi general en la zona de estudio; cerca del 75% de los predios construidos han efectuado este tipo de intervención. Otro factor relevante es la ejecución de rellenos de bajas calidades técnicas, presentes en el 39% de las construcciones de la zona de estudio.

Al igual que los cortes y rellenos, son de gran importancia los vertimientos de aguas residuales al terreno, en especial en el barrio San Martín. La ausencia de alcantarillado pluvial en ambos barrios contribuye a los aportes de agua al terreno.

- **Condiciones urbanísticas actuales**

Del estudio adelantado se desprenden los siguientes puntos, relacionados con el área de estudio:

- Los habitantes de los barrios San Martín y San Ignacio se encuentran en una localización privilegiada por estar en la periferia del Parque Entrenubes.
- Cerca al área de estudio se encuentra proyectado el Parque Ronda del río Tunjuelo, del cual se beneficiarán también sus habitantes.
- La movilidad y accesibilidad en la zona es precaria. Pocas avenidas de la malla vial arterial, aún sin condiciones adecuadas a su función, llevan a los barrios, desde donde a través de una malla vial local discontinua y sin planificación se accede a los sectores residenciales perimetrales. En el sur de la ciudad hay muy pocos elementos de la malla vial complementaria y la intermedia carece de continuidad.
- La zona carece de actividades económicas de escala urbana, convirtiéndose un “área dormitorio” con desplazamientos diarios obligados, principalmente hacia el centro metropolitano.
- El sistema de transporte está conformado por diferentes modos de transporte masivo y sus respectivas infraestructuras complementarias, concebidos para lograr un funcionamiento integrado, interdependiente y complementario de la ciudad. El elemento que más incide en el área de estudio es el Sistema Integrado de Corredores Troncales de Buses y Rutas Alimentadoras – Transmilenio. Aunque un alto porcentaje de la población del área de estudio se moviliza por el sistema Transmilenio, debido a la carencia de corredores de movilidad local, las rutas alimentadores no llegan hasta allí.
- Algunas rutas de transporte público que acceden a la zona por la Avenida Darío Echandía, hacen sus recorridos a través del barrio Diana Turbay, hasta las cercanías de los cerros del parque Entrenubes.
- Debido a la difícil topografía, no se ha contemplado el sistema de ciclorrutas a nivel local.
- Dentro del trámite de legalización adelantado por la comunidad y gestionado por las empresas del Distrito, se realizan actualmente los estudios de factibilidad y viabilidad para la provisión de servicios públicos en los barrios. Para el barrio San Martín, las respuestas obtenidas por las empresas son: Codensa: Viable; EAAB, acueducto: En proceso; Capitel: Fuera de cobertura; Telecom: Viable; y DPAAE: En estudio (estudio objeto de este contrato). Para

el barrio San Ignacio, estas son las respuestas obtenidas por las empresas: Codensa: viable; EAAB, acueducto: viable alcantarillado pluvial y aguas negras aunque sin proyectar. Acueducto sin posibilidad técnica; Capitel: fuera de cobertura; Telecom: viable; DPAE: riesgo medio (estudio objeto de este contrato).

- La zona de los barrios San Martín y San Ignacio tiene muy pocas estructuras para equipamientos, o diferentes a la vivienda. Lugares de reunión espontáneos, así como un salón comunal o comedor, un colegio, son algunos de los escasos equipamientos del área.
- El área de estudio, como se ha mencionado anteriormente, cuenta con muy pocos equipamientos comunitarios; sin embargo un estudio más detallado del contexto permitirá evaluar la cobertura de los equipamientos de escala local, zonal o urbana cercanos, con el fin de evaluar el déficit de equipamientos para la población de esta parte de la ciudad.
- Aunque el área de estudio pertenece a la localidad de Usme, como ya se mencionó anteriormente, se encuentra funcionalmente ligado a la localidad Rafael Uribe Uribe, por donde se accede al lugar.

- **Amenaza**

Como resultado de los análisis, se caracterizó la amenaza para las diferentes unidades geotécnicas, de la siguiente manera:

- **Zona I (Zonas con flujo de tierras) - la**

Los mecanismos de falla posibles en esta zona son los flujos de tierra y los deslizamientos translacionales del suelo orgánico por saturación. En condiciones actuales estas zonas son hondonadas donde se mantiene el suelo con un alto grado de humedad por concentración de flujos.

Con base en la evaluación de amenaza a partir de los factores de seguridad se encuentra que para inclinaciones menores de 8,5° esta zona presenta un nivel de amenaza bajo cuando no se tiene la influencia de cargas sísmicas aún en condición saturada; sin embargo, para inclinaciones mayores, el nivel de amenaza se incrementa, en términos generales, a un nivel de alto bajo cualquier condición. Estos resultados concuerdan con el alto grado de deformación que presentan tales depósitos en el área de estudio. Bajo la influencia de cargas sísmicas la estabilidad de estas zonas se reduce considerablemente aún en condición seca.

Los análisis de bloque deslizante elaborados en estos depósitos muestran valores de desplazamientos muy grandes para inclinaciones del terreno por encima de los 9°, lo que confirma los resultados de la evaluación hecha con base en factores de seguridad. Por otra parte, los resultados de los análisis estocásticos muestran un nivel de amenaza alto cuando se considera la presencia de estos suelos.

Debido a la alta susceptibilidad de esta zona la recurrencia de movimientos del terreno en estos depósitos es muy común, por lo que se puede esperar que bajo condiciones de lluvias normales estos materiales sufran reptamiento, mientras que si se tiene una lluvia excepcional es posible que se presente la falla translacional de los mismos. Cuando se presenten niveles de aceleración del terreno superiores a 0,1 g también es de esperar la falla de este tipo de material.

- **Zona Ib**

Esta zona presenta las mismas características de la Zona Ib pero con el agravante que estos depósitos están intervenidos por cortes del terreno. Los niveles de amenaza son similares a la zona anterior; sin embargo, en este caso la situación es más crítica debido a que además del reptamiento y la falla translacional se pueden presentar caídas de suelo y movimientos rotacionales, estos últimos generalmente asociados a mayores volúmenes de material fallado.

El nivel de amenaza general de estas dos zonas por lo general es media para terrenos con inclinaciones menores de 9° y alta para terrenos con inclinaciones mayores. Con el fin de mejorar la estabilidad de estos depósitos se puede considerar la posibilidad de remover el suelo orgánico cuando afecten directamente la infraestructura o disponer de algún sistema de refuerzo como siembra de especies que profundicen sus raíces y generen empotramiento de la masa de suelo. En cortes conviene la estabilización con muros y no superar los niveles de inclinación de corte máximos para garantizar estabilidad con base en las cartas de estabilidad propuestas.

- **Zona II**

Esta zona también corresponde al perfil de meteorización de la arenisca incluyendo un estrato de suelo orgánico en la superficie. La diferencia con la zona I es que en este caso la forma en planta del talud es uniforme lo que impide la concentración de flujos de agua; por esta razón estas zonas presentan suelos con menor contenido de humedad y menores deformaciones del terreno.

Los análisis de estabilidad, de bloque deslizante y de probabilidad de falla son los mismos que los casos anteriores; sin embargo en la valoración de la amenaza general se considera que la saturación del depósito superficial sólo se puede producir por alguna de las combinaciones críticas de intensidad-duración de lluvias determinadas en la sección 8.5.2.1., lo que reduce el nivel de amenaza de media a baja en taludes inferiores a 4° y a media para taludes entre 4° y 9°; no obstante, para taludes superiores se mantienen los niveles de amenaza alta como en la zona I.

Para efectos prácticos de evaluación del nivel de amenaza, las zonas I y II podrían considerarse como una sola unidad, aunque la respuesta hidrológica en las dos zonas es diferente por lo que se mantienen independientes. Esta característica también genera una pequeña diferencia en el tipo de movimiento esperado. Mientras que en la zona I se presentan flujos de tierra, en la zona II se presentan

procesos de erosión más que de movimiento en masa. Por otra parte, analizando los resultados del modelo de bloque deslizante, se espera que ante cargas sísmicas estos depósitos se desplacen menos que los de la zona I reduciendo el nivel de daño que pueden producir sobre la infraestructura.

La recurrencia de movimientos en esta zona no es tan común como en la zona I, aún cuando es de esperar movimientos cuando se presenten eventos excepcionales de lluvia o sismo. El nivel de amenaza se incrementa por la acción antrópica por la presencia de agua por infiltraciones y cortes artificiales. En el caso de áreas con cortes se definió una subzona denominada Zona IIb, para la cual, los factores de seguridad se reducen y el nivel de amenaza sigue siendo alto.

Como medidas de reducción de la amenaza se pueden plantear las mismas sugeridas para la zona I.

- **Zona III**

La zona III corresponde a los perfiles de meteorización de la arenisca y la arcillolita que se han desarrollado en los escarpes de contra pendiente estructural. El nivel de amenaza se puede ver reducido en esta zona por tener la dirección de estratificación en sentido favorable para estabilidad; sin embargo, en estos depósitos se detectó que el perfil desarrollado es similar al de las zonas de pendiente estructural (Zonas I y II); por lo tanto los análisis de estabilidad son similares a los anteriores.

Estas zonas por presentar un sustrato más empinado que las zonas de pendiente estructural muestran procesos de inestabilidad más grandes comúnmente consistentes en deslizamientos de detritos y caídas de detritos, en general, también asociados con movimiento del suelo orgánico superior y caída de bloques de suelo residual.

Los niveles de amenaza son similares a los de la zona II; sin embargo, es importante diferenciar los diversos mecanismos de falla posibles en cada zona, por lo que se mantienen como zonas independientes.

La recurrencia de movimientos en esta zona se espera que sea mayor que en las zonas II, aunque los niveles de amenaza sean similares, debido a la mayor pendiente del sustrato, la cual también controla la pendiente del terreno en estas zonas.

Similarmente a lo expresado para las zonas anteriores, en la zona II se espera que el nivel de amenaza se incremente por la intervención antrópica, en especial cortes y flujos de agua. Por esta razón se identificaron dos subzonas diferentes, unas sin cortes artificiales denominadas IIIa, y aquellas en las cuales se han producido cortes, denominadas IIIb. Aunque los valores de factor de seguridad se reducen, los niveles de amenaza siguen siendo altos para inclinaciones superiores a 9°.

- **Zona IV**

En aquellas partes donde se identificaron movimientos, en particular deslizamientos y caídas de detritos, comúnmente asociados con áreas en contra pendiente estructural se definió una zona IV, en donde los factores de seguridad están asociados con propiedades mecánicas inferiores. En estas áreas los niveles de amenaza son altos debido a que se presentan materiales muy sueltos que pueden ser movilizados con facilidad.

Los mecanismos de falla posibles en estas zonas son hundimientos superficiales y flujos de tierra cuando se saturan por efecto de lluvias. Sólo en el caso de que se encuentre el depósito seco y sin influencia de agentes detonantes estos materiales son estables, de lo contrario se pueden presentar movimientos.

La recurrencia de movimientos en estas zonas es muy alta debido a la alta susceptibilidad de los depósitos. Se puede disminuir el nivel de amenaza de la zona por reconfiguración de los movimientos, eliminación del material o aplicando medidas de estabilización en caso de que los volúmenes de material sean muy grandes.

- **Zona V**

Debido a la intervención humana, se presentan áreas donde el suelo orgánico superior del perfil de meteorización ya no está, lo que cambia las condiciones de estabilidad y de amenaza. Estas áreas se definieron como Zona V.

Los análisis de estabilidad, de bloque deslizante y de probabilidad de falla se hicieron eliminando la presencia del suelo orgánico y siguiendo los procedimientos explicados en secciones anteriores. De los resultados de dichos análisis se observa un incremento marcado en los factores de seguridad y reducción de los desplazamiento y probabilidad de falla en todas las condiciones analizadas.

En este caso se tienen valores de amenaza muy bajos a partir de los factores de seguridad encontrados en taludes con inclinaciones menores de 9° y niveles de amenaza media para taludes de mayor inclinación. Solamente se esperan valores de amenaza alto para combinaciones de saturación y sismo, la cual, como se explicó anteriormente, es muy poco probable que se presente. Las aceleraciones críticas son muy altas por lo que los desplazamientos esperados son muy bajos o nulos asociados con niveles de amenaza media a baja.

Aunque la posibilidad de saturación de estos materiales es muy baja para condiciones de lluvia normal y excepcional, un flujo continuo de agua hacia el terreno puede, a largo plazo, generar esta condición. Por ejemplo, estos materiales han mostrado fallar cuando hay presencia de fugas en tuberías de suministro y desagüe. Igualmente al exponerse estos materiales a la superficie son más susceptibles a agrietarse por secado, lo que genera la posibilidad de caídas de suelo detrás de cortes artificiales. Igualmente, se ha visto la generación de hundimientos por el efecto de los cortes en este tipo de depósito, lo cual se

evidencia claramente con los factores de seguridad asociados a estos materiales en estas condiciones.

La recurrencia de movimientos en estos materiales es menos común, pero sin embargo se debe reducir la intervención humana no controlada para evitar ocasionar movimientos de gran magnitud. Las zonas con cortes se diferenciaron de aquellas que aún no han sido intervenidas por estos cortes notándose el incremento en el nivel de amenaza. Las zonas sin cortes son identificadas como Zona Va y las zonas con cortes como Vb.

- **Zona VI (Rellenos Antrópicos)**

Dentro de la zona de estudio se identificó un gran número de rellenos antrópicos que son muy susceptibles de fallar. Los factores de seguridad muestran que estos depósitos son estables cuando el terreno natural sobre el cual están construidos son poco pendientes ($<9^{\circ}$) y la inclinación de la cara del relleno es moderada ($<20^{\circ}$). Cuando se supera una de estas fronteras los rellenos empiezan a presentar problemas de estabilidad excepto cuando la inclinación del talud no supera en 5° la inclinación del terreno.

La condición de estabilidad se vuelve más precaria ante la influencia de agua de infiltración o aguas lluvias y por la acción de eventos sísmicos.

Los mecanismos de falla comunes en estos materiales son los flujos de detritos o tierra y los hundimientos superficiales. En especial estos mecanismos son inducidos por la acción de las aguas infiltradas en el cuerpo del relleno.

Los niveles de amenaza asociados con estos depósitos para las pendientes encontradas en el área de estudio son muy altos, conclusión que es ratificada por el análisis de desplazamientos de bloque deslizante.

Los parámetros de resistencia de estos rellenos son muy bajos, por lo que una primera medida para mejorar su estabilidad es aumentar su resistencia asegurando un proceso de compactación adecuado para el tipo de material. Los rellenos actuales no han sido ejecutados técnicamente lo que explica su baja estabilidad. Por otra parte, se debe reducir la posibilidad de ingreso de aguas lluvias y servidas dentro del suelo, por lo que es recomendable la impermeabilización de las caras del talud o la protección vegetal de las mismas. Cuando los rellenos requieran superar las inclinaciones máximas estables se debe proveer de estructuras de contención para mejorar su estabilidad.

- **Zona VII**

Las zonas marcadas como VII son aquellos escarpes de corte en macizo rocoso de areniscas. Como se presentó en la Sección 8.6.3, estos cortes son susceptibles a que se generen caídas de roca y fallas en cuña dependiendo de la dirección del corte, inclinación del talud y altura del talud. En condiciones actuales debido a que los taludes de corte por lo general son bajos no se manifiesta este grado de inestabilidad; sin embargo, para considerar en la evaluación de la amenaza la

posible intervención futura se deben tener en cuenta. En este caso no se hizo una evaluación de estabilidad sino de posibilidad cinemática de movimiento, lo que arroja una alta posibilidad de caídas de roca y fallas en cuña, por lo que se asignó un valor de amenaza alta a estos cortes. Las inclinaciones de corte para diferentes direcciones deben limitarse.

- **Zona VIII**

En esta zona se agruparon los afloramientos de suelo residual de arcillolita, los cuales no son muy abundantes en la zona, pero deben ser considerados como una unidad diferente.

La influencia del nivel freático en este tipo de material no fue posible analizar debido a que no se contó con parámetros de resistencia drenados. Con base en los resultados de estabilidad se observa que los factores de seguridad, en términos de parámetros no drenados, son muy altos, por lo general > 2.0 en el caso más crítico, de manera que se asignaron niveles de amenaza bajos a estas zonas.

En la Localidad de Usme se han reportado algunos hundimientos asociados con arcillolitas y sus derivados; sin embargo, estos se deben a deficientes técnicas de construcción aplicadas.

- **Zona IX**

En los análisis de estabilidad se estudió la influencia de cargas sísmicas sobre la estabilidad de los grandes bloques de arenisca embebidos en matriz limo arcillosa correspondientes al depósito fluvio glacial en la base, los cuales se agrupan en la Zonas IX. Se observa que, aún aplicando unas amplificaciones grandes de las aceleraciones horizontales, si el bloque está dentro de un zócalo de suelo, éste permanecerá estable, por lo que la estabilidad dependerá del mantenimiento de la matriz que aún posean estos depósitos, haciendo necesaria la conservación del suelo contra erosión y excavación manual por debajo de los bloques.

Garantizando las condiciones actuales la amenaza por movimiento de estos bloques es baja.

- **Consideraciones sobre las condiciones ambientales del sector**

En estos aspectos es importante registrar las siguientes anotaciones:

- La importancia que las autoridades distritales han otorgado al Parque Entrenubes ha venido creciendo, lo que se expresa en los avances normativos y legales.
- De otra parte, existe una fuerte presión por el cambio de uso del suelo, a través de la urbanización informal, que ha reducido el área del parque. En particular, en la zona de interés del presente trabajo, este fenómeno se

expresa en la existencia misma de los barrios objeto de estudio, especialmente San Martín.

- Según las observaciones efectuadas en el área de estudio, hay un divorcio entre la norma y la realidad, cuyos efectos inmediatos son el deterioro del parque y la presencia de comunidades en condiciones marginales.
- Los barrios en la zona de estudio presentan un panorama de deterioro ambiental, que, al igual que la situación de amenaza geotécnica descrita en el punto anterior, condicionan en gran medida la calidad de vida y seguridad de sus habitantes. Se pudo observar en la zona deficiencias en el manejo de los residuos sólidos, las aguas residuales, proliferación de vectores y superpoblación de mascotas.
- Las condiciones de riesgo del sector están determinadas por la naturaleza de procesos sociales como la urbanización informal, la baja percepción del riesgo, el deterioro ambiental y la baja organización comunitaria, además de las deficiencias en infraestructura y equipamiento.

CAPÍTULO 10.0

RECOMENDACIONES: PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS

10.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se identifican y registran las principales recomendaciones, que consisten en medidas para la reducción del riesgo, desarrolladas a nivel preliminar, de acuerdo con los alcances establecidos en los términos de referencia y acordados con la entidad contratante, y que son aplicables en el ámbito local de la zona de estudio. Inicialmente se había considerado que las medidas recomendadas se localizarían en un plano, pero por su carácter aplicable, no se justifica tal plano.

El capítulo consta de tres secciones. La primera es introductoria, la segunda describe las estrategias para la reducción de riesgos en la zona y la tercera registra los lineamientos para el mejoramiento integral del área de estudio.

10.2 ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS EN LA ZONA

Como se expuso con anterioridad hay varios factores que median en la generación de riesgos geotécnicos y que deben ser intervenidos. Para ello se plantean las estrategias señaladas a continuación.

Siendo el modelo de desarrollo urbano de los barrios el principal factor generador de riesgo es necesario modificar su tendencia, corregir sus desaciertos y planificar las acciones futuras. Por ello es conveniente adoptar las siguientes medidas:

- Reordenamiento del barrio, punto que se desarrolla con mayor detalle en la siguiente sección
- Desarrollo urbanístico controlado, cuya base la constituye el presente estudio
- Acompañamiento y control para la implementación de las técnicas de construcción de vivienda empleadas en el sector. Para ello se recomienda se adopten las cartas de estabilidad del **Capítulo 8** como cartas de diseño.
- Construcción de los sistemas de acueducto y alcantarillado
- Recuperación de la cobertura vegetal, empleando especies nativas, ojalá de raíces profundas

UNIÓN TEMPORAL CONSULTORES EN RIESGOS		CONTRATO CONS - 449 / 02		CAPÍTULO 10 PAG. 1	
VERSIÓN:	1.0	FECHA:	MARZO/03		
ELABORÓ:	CC - LG - SZ - CR - NB	REVISÓ:	ODC	APROBÓ:	INGEMÉTRICA LTDA.

- Obras de drenaje superficial y subsuperficial. Se deben proteger las rondas de las escorrentías que aún existen, para evitar su ocupación. Sería muy conveniente mantener secos los flujos en zonas de cañadas.
- Campañas de sensibilización e información pública entre la población para mejorar su percepción del riesgo y evitar la ocupación de zonas de riesgo y del parque Entrenubes
- Apoyo y seguimiento a la participación y gestión comunitarias de proyectos de la Localidad.
- Incorporación de la comunidad en el proyecto de educación ambiental que realiza el DAMA en el Parque Entrenubes.
- Control sanitario de plagas y vectores
- Medidas de prevención de otros factores de riesgo

10.3 LINEAMIENTOS PARA MEJORAMIENTO INTEGRAL

El objetivo fundamental para el mejoramiento de los barrios del área de estudio es desarrollar sus elementos urbanos de manera articulada con los sistemas generales de la ciudad del contexto, especialmente con la estructura ecológica que lo circunda.

El mejoramiento integral es uno de los mayores retos del Distrito Capital, pues está encaminado a solucionar, o por lo menos disminuir, los problemas de las zonas urbanas que alojan los sectores más pobres de la ciudadanía y que concentran una mayor deficiencia de servicios y calidad urbana.

Para lograr el mejoramiento integral de un barrio son muchos los frentes que se deben atacar, los cuales se pueden reunir en dos áreas principales: Aquellos que tienen que ver con las viviendas (espacio privado) y los que se relacionen con los espacios y servicios comunes (espacio público).

En cuanto a las viviendas o el espacio privado, los problemas están relacionados principalmente con la tenencia de la tierra, la vulnerabilidad causada en algunos de los casos por su localización en lugares con amenazas (remoción o inundación) y en la gran mayoría por su deficiente respuesta constructiva, además de las deficientes condiciones de habitabilidad en su interior, relacionadas con hacinamiento, falta de iluminación y ventilación, servicios básicos, entre otros aspectos.

Las condiciones de pobreza existentes en términos generales en estos sectores, inducen a comprometerse con la necesidad de posibilitar al máximo la consecución de los subsidios y créditos y, por lo tanto, se hace imperioso acercar la normativa a la forma de vida y de construcción de las viviendas, de estos grupos poblacionales.

Así mismo, la dificultad de hacer cumplir la norma en si misma, permite entender, que además del acercamiento de las reglamentaciones a la realidad, es necesario enlazarla a procesos de gestión e inducción, que permitan, si no la totalidad, por lo menos un más cercano cumplimiento de la norma. Los subsidios y créditos dejan de ser entonces únicamente un apoyo económico y pasan a ser una herramienta para hacer cumplir ciertas normas que, de partida, deben ser flexibles para adaptarse a las condiciones cambiantes de este tipo de viviendas.

En este sentido, cartillas de condiciones y técnicas constructivas con **cartas de diseño**, como las propuestas por esta consultoría, pueden convertirse en un primer paso para acercar las técnicas constructivas tradicionales a parámetros aceptables que permitan la adjudicación de subsidios a las construcciones que sigan las recomendaciones señaladas en las cartas de diseño y complementadas con especificaciones para la estructura de la vivienda. De esta forma es posible reducir la vulnerabilidad de estas viviendas, apoyándose en la consecución de subsidios.

Es fundamental entender que el mejoramiento de la calidad de vida de los grupos humanos que habitan los sectores deprimidos de la ciudad, depende sólo parcialmente de su vivienda particular. Una parte considerable de su bienestar está ligado al “Mejoramiento Integral” del sector donde se localiza a través de acciones en algunas de las condiciones fundamentales que requieren los ciudadanos y que, en la medida en que se cumplan, pueden ayudar a equilibrar la balanza frente a las dificultades existentes desde las unidades de vivienda.

En este sentido, la definición de una estructura urbanística coherente y adecuada que permita la integración y articulación de los sectores al conjunto de la ciudad, responda a las condiciones físicas y sociales de cada lugar, supla las principales deficiencias y aproveche los potenciales y aspectos positivos existentes, es un instrumento de innegable valor en el propósito de mejoramiento de estas áreas, en las que se encuentran los barrios San Ignacio y San Martín.

El subprograma de mejoramiento integral, dentro del Programa de Vivienda de Interés Social, fue establecido por el Plan de Ordenamiento Territorial con el objeto de *“...orientar las acciones de complementación, reordenamiento o adecuación requeridas tanto en el espacio urbano como en las unidades de vivienda que conforman los asentamientos de origen ilegal ubicados en la periferia de la ciudad. Lo anterior para corregir las deficiencias físicas, ambientales y legales generadas por su origen fuera de las normas urbanas y permitir que sus habitantes accedan a la calidad de vida urbana definida para el conjunto de la ciudad.”*¹

Los siguientes son los principales componentes que se valoran en cada Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) para priorizar las acciones en función de los impactos deseados en el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes².

¹ Decreto 619 de 2000, Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá. Artículo 286.

² Decreto 619 de 2000. Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá. Artículo 289.

COMPONENTE PRINCIPAL	COMPONENTE SECUNDARIO
SERVICIOS PÚBLICOS	Cobertura Calidad del suministro
ACCESIBILIDAD	En relación con la ciudad En relación con la escala local El transporte público
EL EQUIPAMIENTO PARA PROGRAMAS SOCIALES	Educación Salud Bienestar
EL EQUIPAMIENTO PARA ACTIVIDADES CÍVICAS Y CULTURALES	Los centros de atención administrativa Los espacios públicos de encuentro Los espacios para la recreación activa y pasiva Los programas sociales de apoyo
LAS CONDICIONES AMBIENTALES	Las condiciones de riesgo del asentamiento: Acciones de mitigación Reasentamiento por alto riesgo no mitigable Los componentes del sistema metropolitano
LAS CONDICIONES INDIVIDUALES DE LA UNIDAD DE VIVIENDA	La condición física de la vivienda: El desarrollo progresivo La condición de la tenencia La titularidad de los predios

Tabla 10.1 Principales componentes para priorizar las acciones en función de los impactos deseados en el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes. Fuente: POT

El Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá, contempla también un **subprograma de reasentamiento por alto riesgo no mitigable**, que “...consiste en el conjunto de acciones y actividades necesarias para lograr el traslado de las familias de estratos 1 y 2 que se encuentran asentadas en zonas declaradas de alto riesgo no mitigable por deslizamiento o inundación ... Las acciones y actividades incluyen la identificación y evaluación de las condiciones técnicas, sociales, legales y económicas de las familias, el traslado a otro sitio de la ciudad que ofrezca viviendas dignas y seguras, propendiendo por la integración social y económica que garantice el bienestar de las familias y la protección y rehabilitación de las zonas intervenidas”³.

Una de las líneas de acción de este subprograma es el reasentamiento por remoción en masa, para lo cual se propone priorizar las zonas de tratamiento especial para mitigación de riesgo por remoción en masa y coordinar con el subprograma de mejoramiento integral.

Los lineamientos para mejoramiento barrial, se trabajan por temas, de acuerdo con los elementos y sistemas que conforman el territorio.

10.3.1 Estructura ecológica principal (EEP)

- **Relación con la Estructura Ecológica Principal**

El principal elemento de la EEP, relacionado en área de estudio es el Parque Entrenubes. La relación entre el área de estudio y el parque se da de dos formas. La primera, como elemento de borde, hacia el costado occidental, en el que una vía

³ Decreto 619 de 2000, Plan de Ordenamiento Territorial, artículo 292.

establece los límites entre el área urbana y la zona de reserva ambiental. El control de este “borde” deberá estar también en manos de la misma comunidad, y no solo de las entidades del distrito. Esta comunidad podrá participar en la planeación y preservación de su entorno urbano y ambiental mediante talleres de concientización y acercamiento al medio ambiente. De esta forma podrá garantizarse el “control del borde”, a la vez que se genera una planeación participativa y mayor sentido de pertenencia. La segunda forma de relación entre los barrios y el parque, se da a través de los elementos del espacio público como la Alameda Chiguaza, la cual conecta el parque el Tunal, con el parque Entrenubes

El sistema de espacio público, que estructure los barrios San Ignacio y San Martín deberá conectarse adecuadamente con estos elementos de la EEP.

- **Zonificación de amenazas**

La zonificación de amenazas, producto de este estudio, hace parte también de la base para la planificación del entorno urbano, puesto que con ella se definen las zonas más o menos aptas para la construcción y las condiciones con las cuales se debe edificar.

Las Zonas IA y VI, definidas en este estudio, presentan altas restricciones para la construcción. Están asociadas a flujos de tierra o rondas y a rellenos antrópicos, en donde se requieren muros de contención entre otros elementos para garantizar la estabilidad del terreno, los cuales en las condiciones y con las características la población del lugar no son viables.

Para estas zonas se recomienda la reubicación de las viviendas que allí se encuentran y desarrollar en esta área parques de barrio. Las áreas asociadas con las escorrentías, deben conservarse, garantizando los flujos naturales de aguas lluvias, acompañadas por senderos tipo alameda y parques de recreación pasiva. Las áreas asociadas con rellenos antrópicos, pueden destinarse a parques recreativos con canchas múltiples. En ningún caso se debe construir en estas áreas. Estos predios podrán reubicarse en las zonas amenaza baja en la medida de las posibilidades o en las zonas de amenaza media, siguiendo las recomendaciones de las cartas de diseño.

- **Quebradas y escorrentías**

Las áreas de quebradas o escorrentías y su ronda de 30 metros a cada lado⁴, hacen parte de la Estructura Ecológica. Estas áreas son parte del programa despeje de rondas del distrito, por los que se convierten en áreas de oportunidad para el desarrollo de proyectos de espacio público y recreación pasiva, como alamedas, que sirven para articular equipamientos, parques y espacios de reunión de la comunidad.

⁴ Hasta de 30 metros de ancho (a cada lado de los cauces), de conformidad con lo dispuesto en el Decreto Ley 2811 de 1974.

En el **Plano 10.1**, en el que se muestra la propuesta, se hace una interpretación de las escorrentías existentes en el área de estudio. Muchas de estas coinciden con las vías, lo que facilita una solución integrada de canalización adyacente al circuito vial, garantizando que estos espacios no sean edificados.

Es importante la conservación de estas rondas, para permitir el flujo natural de las aguas lluvias y evitar filtraciones que afecten la estabilidad de las construcciones.

- **Topografía**

La forma del terreno es una variable importante en la definición de las estructuras urbanas. Esta variable hace parte de las cartas de estabilidad que se deben seguir para edificar en la zona.

El estudio de las pendientes sirvió también de base para el diseño preliminar de los circuitos vehiculares y los senderos peatonales propuestos para el área de estudio.

10.3.2 La estructura funcional de la Zona - Centralidades

La estructura funcional de los barrios en estudio, depende de la propuesta urbana para la Unidad de Planeamiento Zonal – UPZ - Danubio. Las UPZs, deben garantizar la cobertura de servicios y equipamientos de escala zonal educativos, de salud, recreación, etc. Sin embargo, existen algunos servicios y equipamientos de escala barrial o vecinal que deberán ser atendidos en el área de estudio como salones comunales, hogares infantiles de bienestar familiar o salacunas y espacios deportivos o de recreación al aire libre, entre otros.

Es fundamental, garantizar una buena relación de los barrios con las centralidades cercanas, ya que en estas se desarrollarán los equipamientos de cobertura zonal y urbana.

La Centralidad Danubio, propuesta en el POT, para la Unidad de Planeamiento Zonal – UPZ - en dónde se localiza en área de estudio albergará equipamientos y actividades de comercio y servicios que abastecerán el sector.

10.3.3 Movilidad y transporte

La accesibilidad es un componente importante para el mejoramiento barrial. El Distrito tiene proyectados a corto plazo varios proyectos viales para mejorar las condiciones de accesibilidad a la zona.

- **De la Malla Vial Intermedia a la Local**

La accesibilidad y conectividad necesarias para articular los barrios a la ciudad, dependen en gran medida del sistema vial. La propuesta de mejoramiento barrial debe garantizar la fluidez entre la Malla Vial Intermedia y la Local.

El POT establece las dimensiones de los perfiles de las vías, de acuerdo con su jerarquía y función en la ciudad. Para la mala vial local en zonas residenciales, los perfiles van desde 16 m (vía tipo V-6), hasta 13 m (vía tipo V-7), entre paramentos.

- **Circuitos locales con acceso vehicular**

Para el área de estudio se plantean unos circuitos locales, de acuerdo con la topografía del terreno, con acceso vehicular, cuyo trazado se acomoda a las vías de recebo existentes y las áreas libres no edificadas o edificables. Estos circuitos se relacionan con la Malla Vial para permitir el acceso a las áreas residenciales de todos los servicios urbanos (aseo, bomberos, rutas alimentadoras de transporte, etc.).

Las vías comunales o peatonales tipo V-8 y V-9, debe tener un perfil mínimo de 10 y 8 metros respectivamente, según lo establecido en el POT.

- **Movilidad alternativa (senderos y escaleras)**

Debido a las fuertes pendientes en el área de estudio la movilidad alternativa juega un papel importante en la estructura de espacio público. Por medio de los senderos peatonales y escaleras, podrán realizarse obras de mitigación que garanticen la estabilidad del terreno. Estos recorridos, relacionan los espacios abiertos de recreación y las áreas comunales, así como las áreas de paraderos del transporte público con las viviendas.

10.3.4 Espacio público y equipamientos

- **Identificación de áreas de oportunidad**

Una vez analizas las condiciones del terreno y definidos tanto los elementos de la Estructura Ecológica Principal como los de los sistemas generales, se identifican las áreas de oportunidad para el desarrollo de espacios abiertos o equipamientos para la comunidad. Estas áreas pueden ser vacíos urbanos aún no ocupados por la comunidad o zonas en las que no será posible edificar y dónde se podrán diseñar los espacios de recreación al aire libre vecinales.

- **Parques de barrio**

Aunque los barrios San Ignacio y San Martín colindan con el futuro parque Entrenubes, los parques “de bolsillo”, son elementos de gran apreciación por parte de la comunidad. Estos espacios promueven dinámicas positivas en su entorno urbano y favorecen el bienestar social.

Como se mencionó anteriormente estos parques deberán ocupar las zonas de amenaza alta en donde no será posible construir.

- **Relación entre el espacio público, los equipamientos, los corredores de movilidad y la estructura ecológica principal**

La estructura urbana de un territorio se define a partir de la relación articulada y coherente entre los elementos que la componen y en especial de los equipamientos, a través del espacio público y los corredores de movilidad, sobre las determinantes de la EEP. En las actuaciones sobre el espacio público y los elementos antes descritos se puede incidir con resultados más concretos en el mejoramiento de la calidad de vida de un barrio, ya que en el espacio privado, con las costumbres habitacionales y sociales existentes es poco lo que se puede hacer.

El **Plano 10.1**, esquema básico propuesto, muestra una aproximación al ordenamiento del área de estudio.

ANEXO 6 A

LISTAS Y OPCIONES EN FORMATO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE CONSTRUCCIONES

- **Tipología de las construcciones existentes**

Se definieron ocho (8) posibles tipologías, de las cuales, sólo se encontraron seis (6) en terreno, las mismas que se describen a continuación.

- **Pórticos en concreto con muros en ladrillo**

Construcción en la que la transmisión de cargas se realiza mediante pórticos en concreto reforzado, que además ofrecen confinamiento a los muros en ladrillo.

- **Mampostería confinada**

Este tipo de construcción está compuesto por muros, bien sea de bloque o ladrillo, confinados por vigas y columnas de concreto reforzado de dimensiones en el área de estudio que no sobrepasan los 0,25*0,25 metros.

En las construcciones de más de un piso, los muros confinados reciben las cargas del entrepiso, generalmente, placas macizas de máximo 0,10 metros de espesor.

- **Mampostería simple**

Este tipo de construcción se caracteriza por estar compuesto por muros en ladrillo o bloque entabado sin ninguna estructura de confinamiento, los cuales reciben las cargas de placas macizas o cubiertas livianas; constituye un tipo de construcción no permitida en esta zona de amenaza sísmica.

- **Construcciones en madera**

Las construcciones en madera son estructuras livianas compuestas por parales que sirven de soporte a los entrepaños de los muros y también transmiten las cargas de la cubierta igualmente liviana al terreno.

- **Construcciones prefabricadas**

Son construcciones formadas por paneles prefabricados unidos mediante guías de aluminio, con cubiertas en tejas de asbesto - cemento. Su sistema de cimentación, en algunos casos, está formado por muros de piedra coronados por una viga, sobre la que descansa una losa de concreto. En otros casos sólo es utilizada la losa de concreto como sistema de cimentación.

- **Construcciones de tipología mixta**

Son construcciones en las que se combinan materiales de construcción tales como el ladrillo, la madera y la lámina de zinc, predominando aquellas en las que se combina madera y lámina de zinc, las cuales son bastante livianas.

- **Número de pisos**

El valor que puede tomar esta variable es un número entero mayor o igual a cero (0). Cero en los casos en los que el predio se encuentre sin construir.

- **Altura de cortes**

Esta variable se refiere a los cortes realizados en la ladera por parte de los pobladores durante el proceso de construcción de las viviendas. La altura de los cortes puede asumir cualquier valor mayor o igual a cero y debe estar dada en metros. Debe tenerse en cuenta que esta altura corresponde a un valor aproximado.

- **Tipo de suministro agua potable**

El tipo de suministro de agua potable está relacionado con la calidad del sistema de distribución, además de la del agua misma. Puede adoptar uno de estos valores:

- Acueducto comunitario

El acueducto comunitario está compuesto por unos tanques de almacenamiento colocados en la parte alta y una red de distribución por mangueras de diámetro variable, la cual presenta fugas y aportes considerables al terreno.

- Acueducto oficial

El acueducto oficial corresponde al sistema construido, administrado y mantenido en este caso, por la Empresa de Acueducto de Bogotá y por ende cumple con especificaciones técnicas y operativas que evitan en lo posible fugas de carácter permanente.

- Sin acueducto

Ausencia total de cualquier tipo de suministro de agua potable.

- **Recolección de aguas servidas**

Así como el suministro de agua potable es importante, no menos lo es el tipo de recolección de aguas servidas, entendiéndose que el manejo dado a estas aguas es de interés cuando se analiza como factor contribuyente de los procesos de inestabilidad. Puede adoptar los siguientes valores:

- Alcantarillado informal

Sistema de recolección de aguas servidas constituido bien sea por canales superficiales o por tubería empalmada deficientemente.

- Alcantarillado oficial

El alcantarillado oficial está caracterizado por estar construido bajo especificaciones técnicas que eviten fugas de aguas servidas al terreno.

- Sin alcantarillado

Ausencia total de cualquier tipo de recolección de aguas servidas.

- **Ocupación de zonas de ronda**

La ocupación de las zonas de ronda, implica la realización de explanaciones y rellenos antrópicos que alteran el drenaje natural existente, por lo cual es importante conocer la magnitud de este problema y así poder formular las recomendaciones del caso.

- **Uso Principal**

Se definieron quince (15) posibles usos del suelo pero en terreno sólo se encontraron cuatro (4), los cuales se enumeran a continuación.

1. Lote:
2. Vivienda
3. Institución educativa
4. Institución cultural y/o social



CUADRO DE MOJONES				
COORDENADAS	MOJON 3	MOJON CIMA	MOJON 5	MOJON 5A
NORTE	93499.616m	93535.980m	93743.920m	93688.443m
ESTE	96968.692m	96873.079m	96793.737m	97035.565m
COTA	2758.668m	2778.351m	2741.788m	2770.259m

PLACAS DE AMARRE		
COORDENADAS	PLACA T-4815	MONSERRATE IGLESIA
NORTE	93385.487m	101027.125m
ESTE	97263.118m	102435.922m
COTA	2987.930m	

CONVENCIONES GENERALES		
ARBOL		NÚMERO LOTE
CERCA		PARAMENTO CONSTRUIDO
CULTIVOS		POSTE
CURVA DE NIVEL		POZO VISIBILE AGUAS NEGRAS
LIMITE DE PROYECTO		ROCA
LIMITE MANZANA PLANOS DAPD		VIA EXISTENTE SIN PAVIMENTAR
MOJÓN		ZONA DE ARBOLES
NOMBRE MANZANA		DRENAJES
PREDIO CONSTRUIDO O EN PROCESO DE CONSTRUCCIÓN		COMUNICACION TUBO DRENAJES



NOTAS:

1. LA MANZANA N° 1, NO PERTENECE A LOS BARRIOS SAN IGNACIO Y SAN MARTIN

PLANOS DE REFERENCIA		
PLANO N°	ARCHIVO	TITULO



FUENTE:
LEVANTAMIENTO DIRECTO

ELABORÓ:
UNIÓN TEMPORAL CONSULTORES EN RIESGOS

INTERVENTORÍA:
INGEMÉTRICA LTDA

ESCALA GRÁFICA

ESCALA NUMÉRICA

1:1000

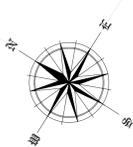
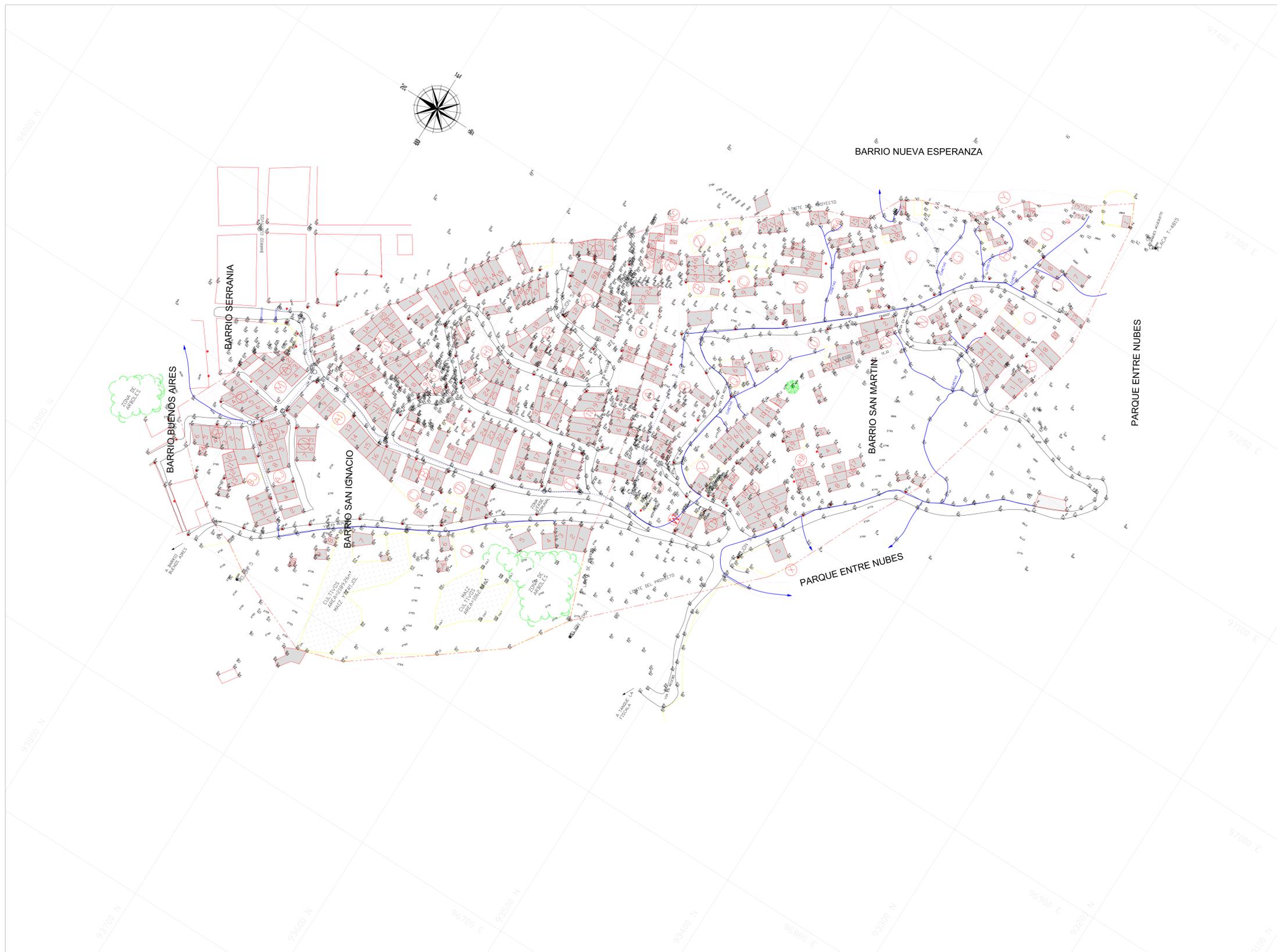
LEVANTÓ: CARLOS HERNANDO MORENO	DIBUJÓ: TITO GARZÓN	FECHA: DICIEMBRE-2002
REVISÓ: ING. CARLOS H. CANTILLO		FECHA: ENERO-2003
APROBÓ: ING. OMAR DARIO CARDONA		FECHA: ENERO-2003
Vo. Bo. INTERVENTORÍA ING. JORGE PUERTO		FECHA: ENERO-2003

PROYECTO:
ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA DE LOS BARRIOS SAN IGNACIO Y SAN MARTÍN DE LA LOCALIDAD DE USME EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.
CONTRATO CONS - 449 / 02

CONTENIDO:
PLANO TOPOGRÁFICO

PLANO No.: 2.1

ARCHIVO:
BASE TOPOGRÁFICA V.1.0.DWG



CUADRO DE MOJONES				
COORDENADAS	MOJON 3	MOJON CIMA	MOJON 5	MOJON 5A
NORTE	93499.616m	93559.960m	93749.920m	93668.462m
ESTE	96968.692m	96873.079m	96793.737m	97035.565m
COTA	2758.668m	2778.351m	2741.788m	2770.259m

PLACAS DE AMARRE		
COORDENADAS	PLACA T-4815	MONSERRATE IGLESIA
NORTE	93385.487m	101027.125m
ESTE	97263.118m	102435.932m
COTA	2987.939m	

CONVENCIONES GENERALES		
ARBOL		NÚMERO LOTE
CERCA		PARAMENTO CONSTRUIDO
CULTIVOS		POSTE
CURVA DE NIVEL		POZO VISIBLE AGUAS NEGRAS
LIMITE DE PROYECTO		ROCA
LIMITE MANZANA PLANOS DAPD		VÍA EXISTENTE SIN PAVIMENTAR
MOJÓN		ZONA DE ARBOLES
NOMBRE MANZANA		DRENAJES
PREDIO CONSTRUIDO O EN PROCESO DE CONSTRUCCIÓN		COMUNICACION TUBO DRENAJES



NOTAS:

1. LA MANZANA N° 1. NO PERTENECE A LOS BARRIOS SAN IGNACIO Y SAN MARTIN

PLANOS DE REFERENCIA		
PLANO N°	ARCHIVO	TITULO



FUENTE:
LEVANTAMIENTO DIRECTO

ELABORÓ:
UNIÓN TEMPORAL CONSULTORES EN RIESGOS

INTERVENTORÍA:
INGEMÉTRICA LTDA

ESCALA GRÁFICA

ESCALA NUMÉRICA

1:1000

LEVANTÓ:
CARLOS HERNANDO MORENO

REVISÓ:
ING. CARLOS H. CANTILLO

APROBÓ:
ING. OMAR DARIO CARDONA

Vo. Bo. INTERVENTORÍA
ING. JORGE PUERTO

DIBUJÓ:
TITO GARZÓN

FECHA:
DICIEMBRE-2002

FECHA:
ENERO-2003

FECHA:
ENERO-2003

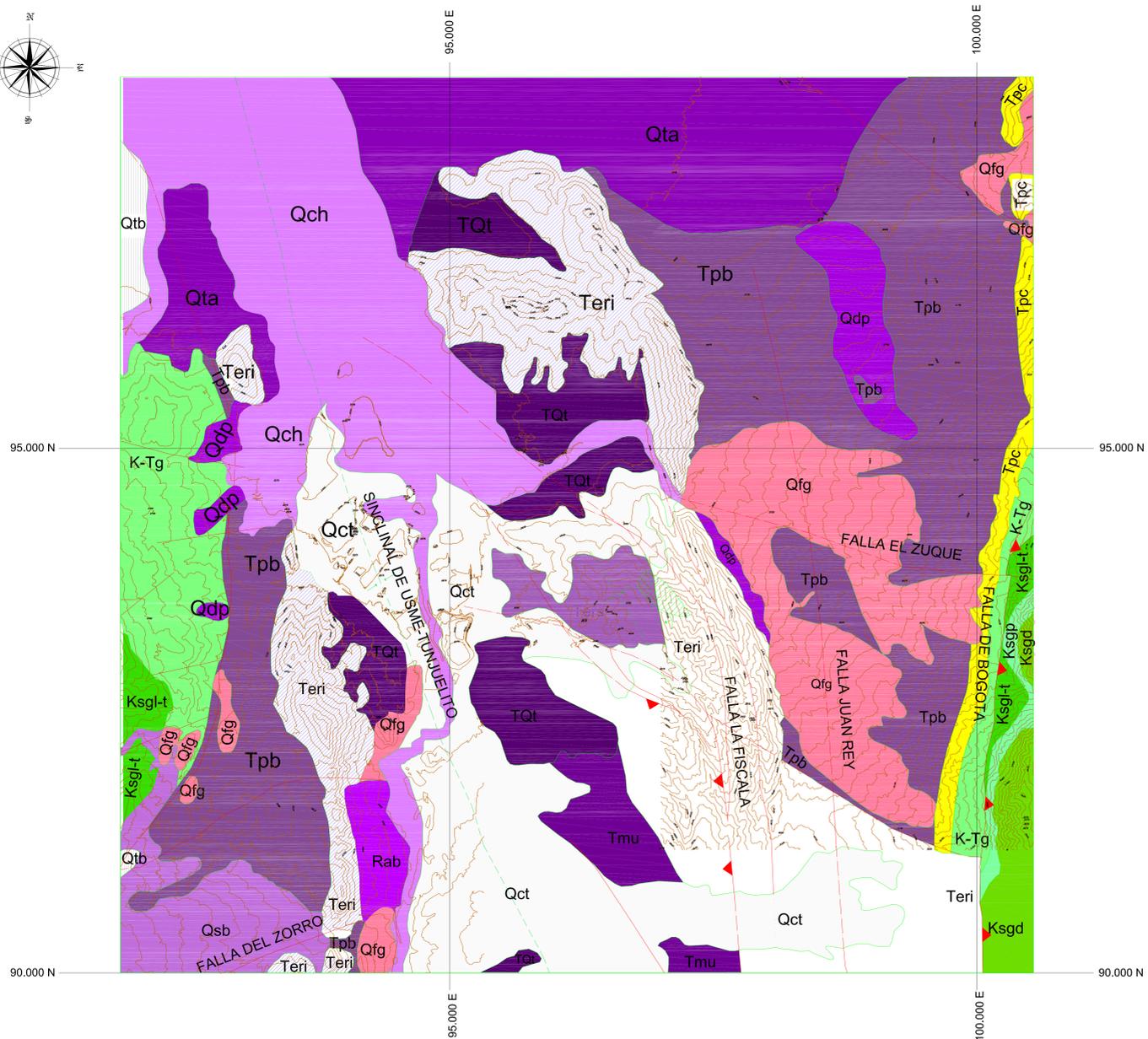
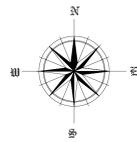
FECHA:
ENERO-2003

PROYECTO:
ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA DE LOS BARRIOS SAN IGNACIO Y SAN MARTÍN DE LA LOCALIDAD DE USME EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.
CONTRATO CONS - 449 / 02

CONTENIDO:
NUBE DE PUNTOS

PLANO No.: 2.2

ARCHIVO:
NUBE PUNTOS V.1.0.DWG



LEYENDA GEOLÓGICA			
EDAD GEOLÓGICA	UNIDAD GEOLÓGICA	CONVENC. EN PLANO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
Cuaternario	Relieve Anticlimpico, Escuras	QCb	Depósitos de basuras conformados tectónicamente o dispuestos en los lechos de quebradas
	Depósitos de Piedra	QCb	Depósitos Matriz-soportados Gujales y bloques de arenisca cuarzoza, embebidos en matriz arcillosa y arcilobrenosa. Depósitos clastro soportados: esencialmente bloques de arenisca
	Formación Sabana, Terraza Baja	Qcb	Limos y arcillas, en partes orgánicas, que constituyen el relleno más blando de la Sabana de Bogotá
	Formación Sabana, Terraza Alta	Qcb	Materiales transportados y depositados en la zona de transición entre las formaciones escosas y la zona plana
	Formación Sabana, Suelos de la Sabana	Qcb	Limos rojos, marrones y complejo de suelos negros, en las partes altas de los cerros
	Formación Chía	Qcb	Arcillas de origen lacustre y/o de inundación, localmente, limas y arcillas diatomáceas
Terciario-Cuaternario	Formación Tunjuelito (10,000 años)	Qcb	Gravas, cantos y bloques redondeados y subredondeados, embebidos en matriz limarcillosa
	Depósitos Fluvio Glaciales	Qcb	Bloques y cantos de arenisca de formas subredondeadas a angulares, en partes planares, embebidos en matriz limarcillosa
	Formación Tiba	Qcb	Arcillas y arenas arcillosas de color blanco, turbas y niveles de guijeros de pequeño tamaño
	Formación Uba	Qcb	Intercalaciones de lutitas grises claras con ortocuarcidos blancos
Terciario	Formación Regadera	Qcb	El conjunto superior está conformado por intercalaciones de areniscas cuarzoelásticas y arcillitas aligamadas.
		Qcb	El conjunto inferior por Areniscas cuarzoelásticas, de grano grueso a conglomerático, grises.
	Formación Bogota	Qcb	Lodolitas, limolitas y arcillitas aligamadas, separadas por bancos de areniscas arcillosas blancas
Cretácico-Terciario	Formación Guadalupe	Qcb	Areniscas, feldes de color pardo a blanco, en estratos hasta de dos metros de espesor
	Formación Guadalupe	Qcb	Conjunto superior: Arcillitas aligamadas en mantos delgados de carbón. Conjunto medio: Arenisca gale de la base y Arenisca Lajas en el techo, separadas por arcillitas compactas que contienen mantos de carbón. Conjunto inferior: Arcillitas grises oscuras
Cretácico	Grupo Guadalupe, Formación Platers	Qcb	Arenisca Tierra: Areniscas de grano grueso a conglomerático, con intercalaciones delgadas de lodolitas, limolitas y arcillitas; Arenisca de Labor: Arenisca de grano fino, arcillosa, compacta, separadas por capas finas de arcillitas
	Grupo Guadalupe, Formación Platers	Qcb	Limolitas silíceas, porcelánicas, lidas y areniscas de granos fino
	Grupo Guadalupe, Formación América Dura	Qcb	Areniscas en blancos muy gruesos con delgadas intercalaciones de limolitas, lodolitas y arcillitas

CONVENCIONES GEOLÓGICAS	
	FALLA DE TIPO INVERSO
	FALLA CUBIERTA
	FALLA INFERIDA
	PLIEGUE SINCLINAL
	POSICIÓN DE LA ESTRATIFICACIÓN
	CONTACTO GEOLÓGICO
	LOCALIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO



Secretaría de GOBIERNO
Dirección de Prevención y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

FUENTE:
ZONIFICACIÓN GEOLÓGICA DEL AREA METROPOLITANA DE BOGOTÁ,
GEOINGENIERÍA LTDA.-CONSORCIO PCI-OYO, DPAE, Junio de 2000.

ELABORÓ:
UNIÓN TEMPORAL
CONSULTORES EN RIESGOS

INTERVENTORÍA:
INGEMÉTRICA LTDA

ESCALA GRÁFICA



ESCALA NUMÉRICA

1:20.000

ELABORÓ:
ING. GEÓLOGO IVÁN PATIÑO

REVISÓ:
ING. CARLOS H. CANTILLO

APROBÓ:
ING. OMAR DARIO CARDONA

Vo. Bo. INTERVENTORÍA
ING. JORGE PUERTO

DIBUJÓ:
ARQ. MARIBEL MORENO
ING. WILLIAN LEON

FECHA:
FEBRERO-2003

FECHA:
FEBRERO-2003

FECHA:
FEBRERO-2003

FECHA:
FEBRERO-2003

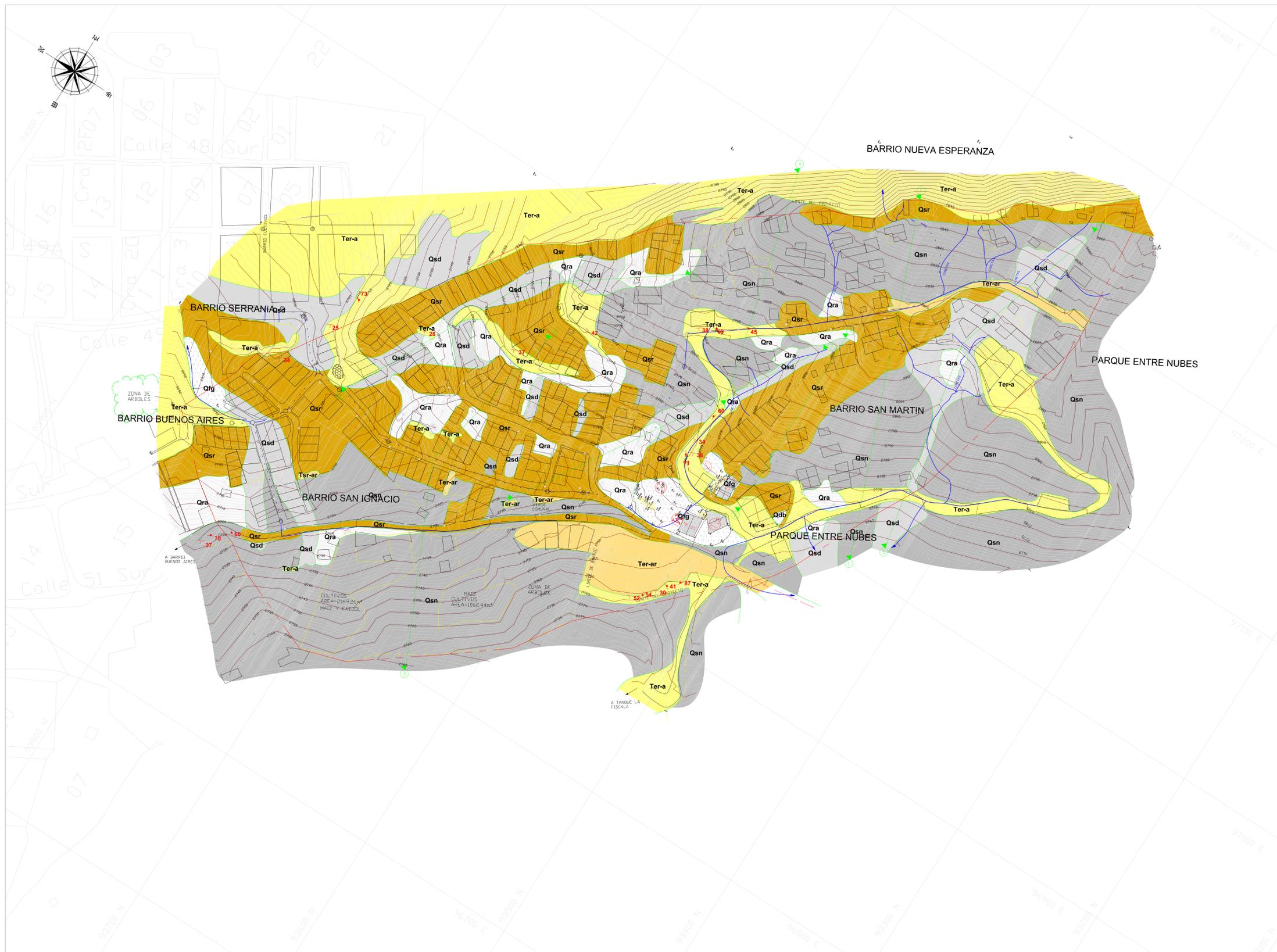
PROYECTO:
ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA DE LOS BARRIOS
SAN IGNACIO Y SAN MARTÍN DE LA LOCALIDAD DE USME EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

CONTRATO CONS - 449 / 02

CONTENIDO:
GEOLOGÍA REGIONAL

PLANO No.: 3.1

ARCHIVO: GEOLREG.DWG



CONVENCIONES GENERALES

CERCA	
CURVA DE NIVEL	
LIMITE DE PROYECTO	
POSTE	
POZO VISIBLE AGUAS NEGRAS	
BLOQUE DE ROCA	
VIA EXISTENTE SIN PAVIMENTAR	
DRENAJES	
COMUNICACION TUBO DRENAJES	
PREDIO CONSTRUIDO O EN PROCESO DE CONSTRUCCION	

CONVENCIONES GEOLÓGICAS

Qra	Relleño Antrópico	Suelos limo-arenosos, en parte arcillosos, de tonalidad oscura, producto de cortes para construcción de vías y viviendas.
Qsd	Suelos deformados y/o alterados en zonas de canchales	Suelos limo-arenosos y limo-arcillosos, de color amarillento a gris oscuro asociados con áreas de canchales, donde existe alteración de aguas.
Qsn	Suelos negros (Orgánicos)	Suelos limo-arenosos, de color oscuro-negro, que sobreyacen los suelos residuales, e incluye en algunos sectores se encuentran cubiertos la roca.
Qfg	Depósito de fluvio-glaciár	Grandes bloques de arenisca cuarzosa, embobidos parcialmente en una matriz limonosa a limonosa.
Qsr	Suelos Residuales	Arenitas finas y arenosas, producto de la meteorización de areniscas y areniscas, respectivamente.
Ter-ar	Formación Regadera (Arcillo-lilas)	Areniscas finas, aligeradas, altamente frías y mineralizadas con fragmentos de arenisca.
Ter-a	Formación Regadera (Arenisca)	Areniscas telépáticas, friables, con estratificación cruzada.
	Falla cubierta	
	Falla inferida	
	Posición de la estratificación	
	Orientación de diagenesis	
	Contacto geológico	
	Trazado de perfil geológico	

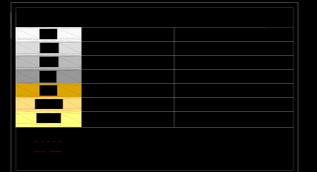
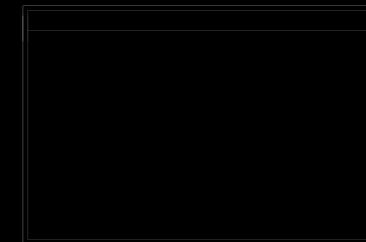
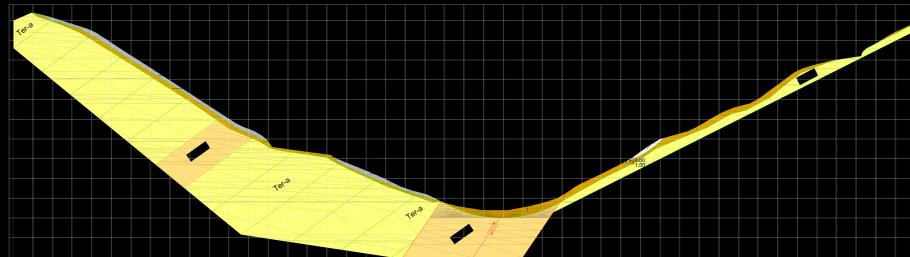
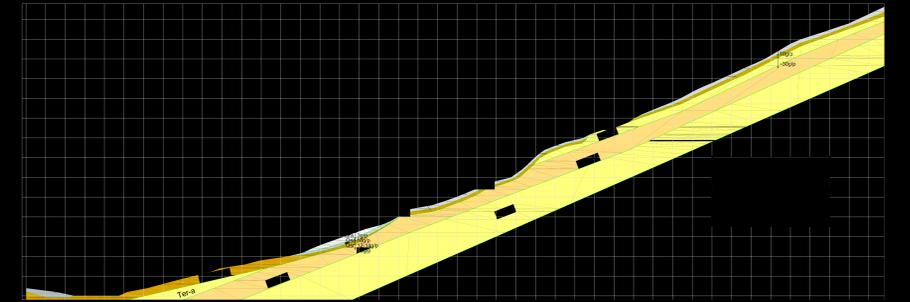
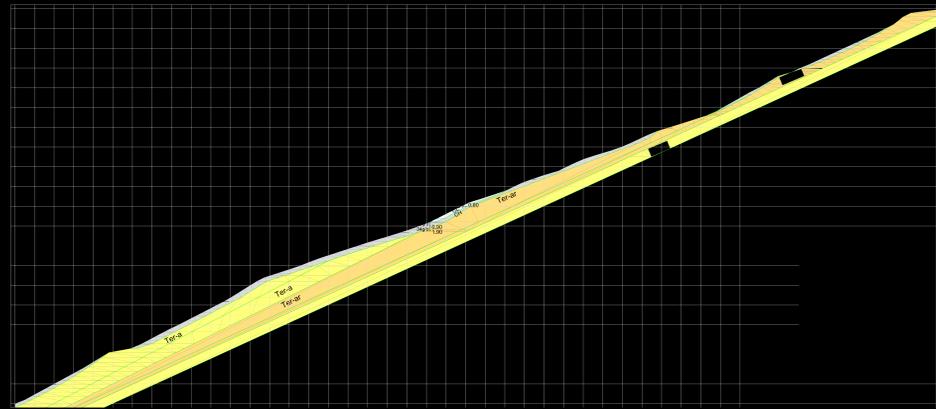
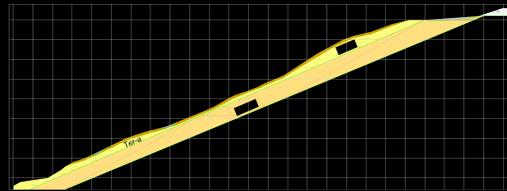
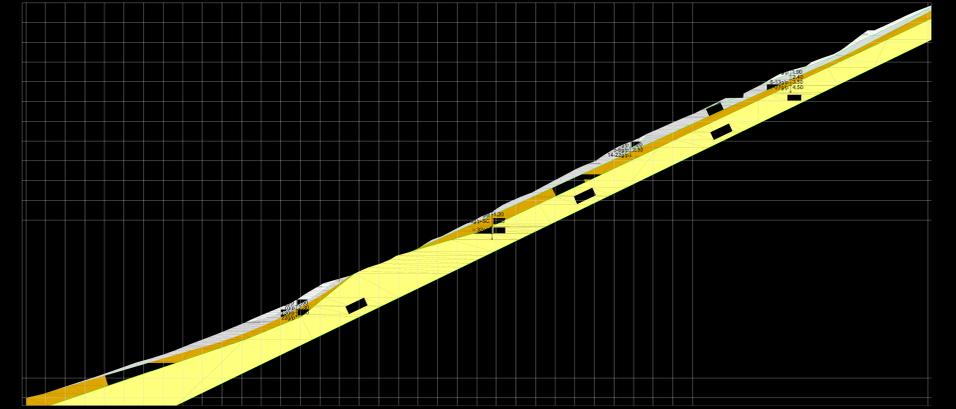
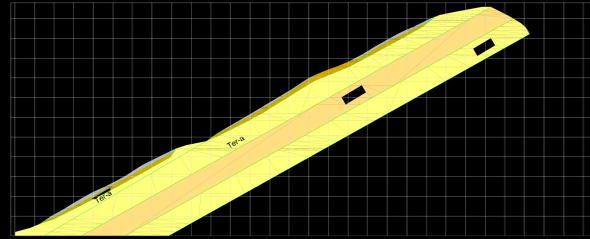
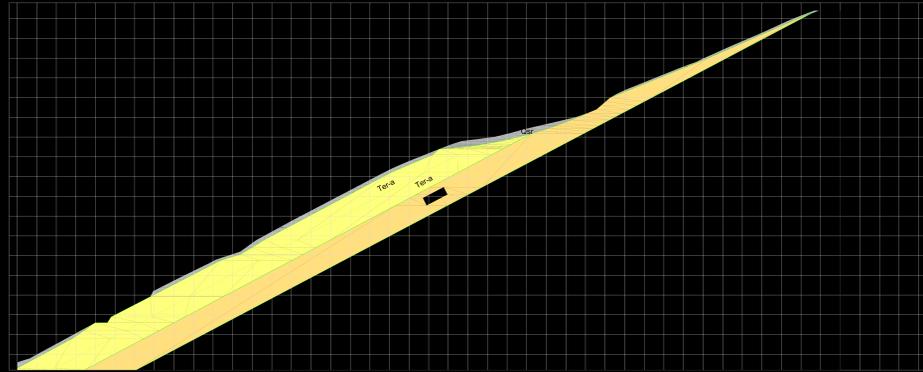
NOTAS:

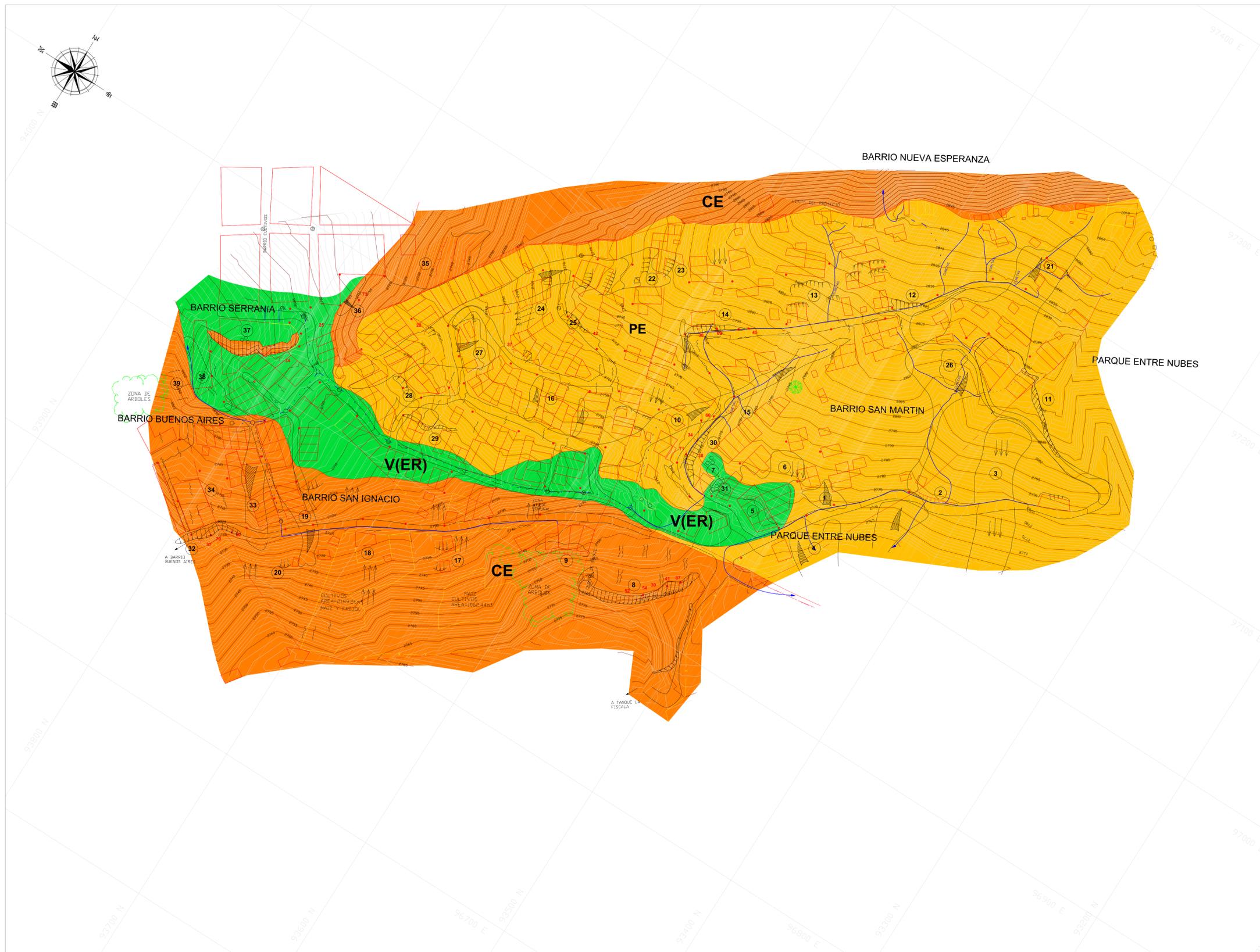
- EL PLANO GEOLÓGICO CONTIENE LAS UNIDADES SUPERFICIALES, PUES SE CONSIDERA QUE ESTAS SON MÁS SUSCEPTIBLES A LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA.
- LOS PERFILES GEOLÓGICOS SE PRESENTAN EN EL PLANO 3.3.
- A PARTIR DE LA FALLA GEOLÓGICA EN EL PLANO HACIA EL OCCIDENTE, LAS ROCAS CORRESPONDEN AL CONJUNTO SUPERIOR DE LA FORMACIÓN REGADERA (Ter-a) MIENTRAS QUE AL ORIENTE DE LA FALLA LAS ROCAS CORRESPONDEN AL CONJUNTO INFERIOR, DE DICHA FORMACIÓN (Ter-a).
- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO REALIZADO PARA EL PRESENTE PROYECTO NO CONTEMPLA EL CIERRE DE LAS CURVAS EN EL PERÍMETRO DE LAS CONSTRUCCIONES, LO CUAL NO IMPLICA QUE SE PRESENTEN O NO EXPLANACIONES EN DICHO LOTES.

PLANOS DE REFERENCIA

PLANO N°	ARCHIVO	TÍTULO
2.1	BASE TOPOGRÁFICA.DWG	PLANO TOPOGRÁFICO

<p>Secretaría de GOBIERNO Dirección de Prevención y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS</p>	<p>FUENTE: LEVANTAMIENTO DIRECTO</p>	<p>ESCALA GRÁFICA</p> <p>ESCALA NUMÉRICA 1:1000</p>	<p>ELABORÓ: ING. GEÓLOGO IVÁN PATIÑO</p>	<p>DIBUJÓ: ARO. MARIBEL MORENO ING. WILLIAN LEON</p>	<p>FECHA: ENERO-2003</p>	<p>PROYECTO: ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA DE LOS BARRIOS SAN IGNACIO Y SAN MARTÍN DE LA LOCALIDAD DE USME EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C. CONTRATO CONS - 449 / 02</p>
	<p>ELABORÓ: UNIÓN TEMPORAL CONSULTORES EN RIESGOS</p>		<p>REVISÓ: ING. CARLOS H. CANTILLO</p>	<p>FECHA: ENERO-2003</p>	<p>FECHA: FEBRERO-2003</p>	
<p>INTERVENTORÍA: INGEMÉTRICA LTDA</p>			<p>APROBÓ: ING. OMAR DARIO CARDONA</p>	<p>Vo. Bo. INTERVENTORÍA ING. JORGE PUERTO</p>	<p>FECHA: FEBRERO-2003</p>	<p>CONTENIDO: GEOLOGÍA DEL ÁREA</p>
						<p>PLANO No.: 3.2</p> <p>ARCHIVO: GEOLocal.DWG</p>





CONVENCIONES GENERALES

CERCA	
CURVA DE NIVEL	
LIMITE DE PROYECTO	
POSTE	
POZO VISIBLE AGUAS NEGRAS	
BLOQUE DE ROCA	
VIA EXISTENTE SIN PAVIMENTAR	
DRENAJES	
COMUNICACION TUBO DRENAJES	
PREDIO CONSTRUIDO O EN PROCESO DE CONSTRUCCION	

LEYENDA GEOMORFOLÓGICA

ORIGEN DE LA GEOFORMA	NOMBRE DE LA GEOFORMA	NOMEN-CLATURA	PENDIENTE MEDIA DEL TERRENO	MATERIALES	PROCESOS MORFODINÁMICOS
DENUDATIVO	CONTRA-PENDIENTE ESTRUCTURAL	CE	60%-150%	ROCAS DE LA FORMACIÓN REGADERA ARENISCAS FELDESPÁTICAS INTERCALADAS CON ARCILLOLITAS ABIGARRADAS	-EROSIÓN DIFERENCIAL -REPTACIÓN DE SUELOS -CORTES Y RELLENOS A MEDIA LADERA -FLUJOS DE TIERRAS POR AFLUENCIA DE AGUAS LLUVIAS Y DESPRENDEMIENTOS -EROSIÓN LAMINAR Y EN SURCOS
	PENDIENTE ESTRUCTURAL	PE	50%-60%	ROCAS DE LA FORMACIÓN REGADERA PRINCIPALMENTE ARENISCAS FELDESPÁTICAS	-REPTACIÓN DE SUELOS -FLUJOS DE TIERRAS EN CANALES POR AFLUENCIA DE AGUAS LLUVIAS Y AGUAS NEGRAS -CORTES Y RELLENOS A MEDIA LADERA -EROSIÓN LAMINAR Y EN SURCOS
	VALLE EROSIONAL RESIDUAL Y DEPOSITACIONAL	V(ER)	25%-40%	SUELOS RESIDUALES ARCILLOSOS, ALGO ARENOSOS, SOBRE LOS CUALES SE PRESENTAN EVENTUALMENTE BLOQUES DE ARENISCAS SILICEAS CORRESPONDIENTES A UN ANTIGUO DEPOSITO FLUVIOGLACIAR	-CAIDA POTENCIAL DE BLOQUES Y/O DESLIZAMIENTO DE SUELOS -EROSIÓN LAMINAR Y EN SURCOS -CORTES Y RELLENOS EN LAS LADERAS DE PENDIENTE RELATIVAMENTE SUAVE

CONVENCIONES TEMÁTICAS

	Contacto de la geoforma
	Límite de proceso morfodinámico
	Proceso morfodinámico inventariado
	Escarpe de deslizamiento o derrumbe
	Sentido flujo de tierras incipiente
	Caida potencial de bloques
	Talud de corte y/o terraceta antrópica (Explanación)
	Erosión laminar
	Erosión concentrada (surcos y cárcavas)
	Falla inferida
	Falla cubierta
	Dato de rumbo y buzamiento de estratificación
	Dato de rumbo y buzamiento de diaclasa

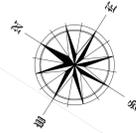
NOTAS:

1. EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO REALIZADO PARA EL PRESENTE PROYECTO NO CONTEMPLA EL CIERRE DE LAS CURVAS EN EL PERÍMETRO DE LAS CONSTRUCCIONES, LO CUAL NO IMPLICA QUE SE PRESENTEN O NO EXPLANACIONES EN DICHS LOTES.

PLANOS DE REFERENCIA

PLANO N°	ARCHIVO	TITULO
2.1	BASE TOPOGRÁFICA.DWG	PLANO TOPOGRÁFICO

 Secretaría de GOBIERNO Dirección de Prevención y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS	FUENTE: LEVANTAMIENTO DIRECTO	ESCALA GRÁFICA 	ELABORÓ: ING. GEÓLOGO IVÁN PATIÑO	DIBUJÓ: ARO. MARIBEL MORENO ING. WILLIAN LEON	FECHA: ENERO-2003	PROYECTO: ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA DE LOS BARRIOS SAN IGNACIO Y SAN MARTÍN DE LA LOCALIDAD DE USME EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C. CONTRATO CONS - 449 / 02
	ELABORÓ: UNIÓN TEMPORAL CONSULTORES EN RIESGOS	ESCALA NUMÉRICA 1:1000	REVISÓ: ING. CARLOS H. CANTILLO	FECHA: ENERO-2003	FECHA: FEBRERO-2003	
	INTERVENTORÍA: INGEMÉTRICA LTDA	APROBÓ: ING. OMAR DARIO CARDONA	Vo. Bo. INTERVENTORÍA ING. JORGE PUERTO	FECHA: FEBRERO-2003	CONTENIDO: GEOMORFOLOGÍA E INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS DEL ÁREA	
						ARCHIVO: GEOMORLOCAL.DWG



CONVENCIONES GENERALES	
ARBOL	PARAMENTO CONSTRUIDO
CERCA	POSTE
CULTIVOS	VIA EXISTENTE SIN PAVIMENTAR
LIMITE DE PROYECTO	DRENAJES
MOJON	COMUNICACION TUBO DRENAJES
PREDIO CONSTRUIDO O EN PROCESO DE CONSTRUCCION	

CONVENCIONES	
SM-1	SONDEO MANUAL
E.P-01	ENSAYO DE PERCOLACION
A.P-01	APIQUE EJECUTADO
PEV-01	PERFILAJE GEOELECTRICO
SEV-01	SONDEO ELECTRICO VERTICAL
T-I	AFLORAMIENTO ROCOSO (DATOS ESTRUCTURALES)

PLANOS DE REFERENCIA		
PLANO N°	ARCHIVO	TITULO
2.1	DWG	BASE TOPOGRAFICA



Secretaría de GOBIERNO
Dirección de Prevención y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

FUENTE:
LEVANTAMIENTO DIRECTO

ELABORÓ:
UNIÓN TEMPORAL CONSULTORES EN RIESGOS

INTERVENTORÍA:
INGEMÉTRICA LTDA

ESCALA GRÁFICA



ESCALA NUMÉRICA

1:1000

PROCESÓ:
CONSULCONS LTDA

REVISÓ:
ING. CARLOS H. CANTILLO

APROBÓ:
ING. OMAR DARIO CARDONA

Vo. Bo. INTERVENTORÍA
ING. JORGE PUERTO

DIBUJÓ:
ARG. MARIBEL MORENO

FECHA:
DICIEMBRE-2002

FECHA:
ENERO-2003

FECHA:
FEBRERO-2003

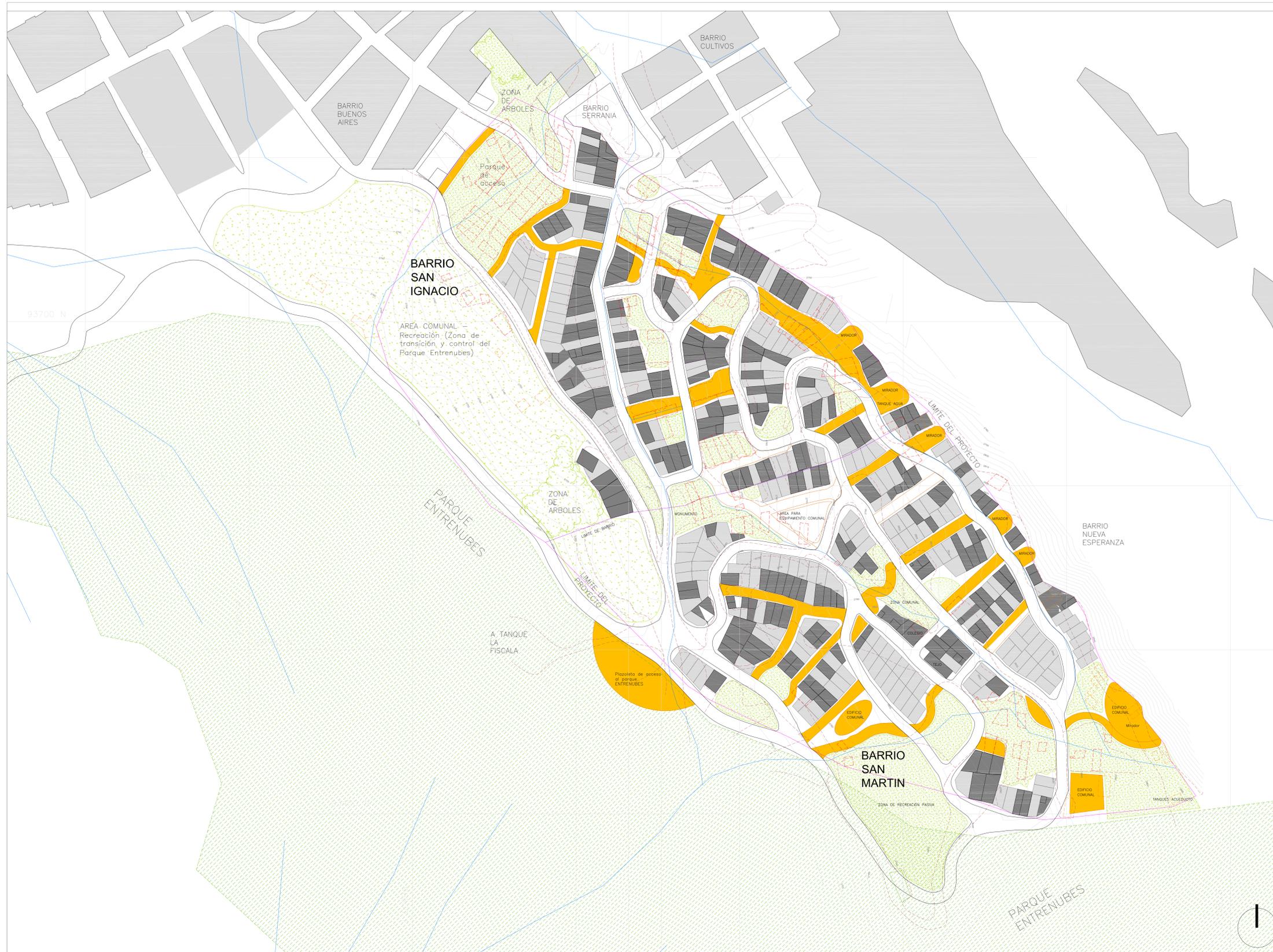
FECHA:
FEBRERO-2003

PROYECTO:
ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA DE LOS BARRIOS SAN IGNACIO Y SAN MARTÍN DE LA LOCALIDAD DE USME EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.
CONTRATO CONS - 449 / 02

CONTENIDO:
EXPLORACIONES

PLANO N°: 5.1

ARCHIVO: EXPLO.DWG



CONVENCIONES ESQUEMA DE REORDANAMIENTO BARRIAL

- Manzanas
- Parque Entrenubes
- Quebradas y/o desagües naturales de aguas lluvias
- Zonificación amenazas
- Malla vial local
- Área peatonal (escalera, sendero, plazoleta, etc.)
- Predios existentes (335*)
- Predios en zonas de amenaza alta (125*) (rellenos y flujos)
- Predios reubicados (25*) (reordenamiento barrial)
- Nuevos predios (240*)
- Parque (Área restringida para la construcción)

PLANOS DE REFERENCIA		
PLANO N°	ARCHIVO	TITULO
2.1	BASE TOPOGRÁFICA.DWG	PLANO TOPOGRÁFICO



Secretaría de GOBIERNO
Dirección de Prevención y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

FUENTE:
LEVANTAMIENTO DIRECTO

ELABORÓ:
UNIÓN TEMPORAL CONSULTORES EN RIESGOS

INTERVENTORÍA:
INGEMÉTRICA LTDA

ESCALA GRÁFICA

ESCALA NUMÉRICA

1:1000

ELABORÓ: ARQ. SANDRA K. ZABALA
ARQ. LINA Mg. GONZALEZ

REVISÓ: ING. CARLOS H. CANTILLO

APROBÓ: ING. OMAR DARIO CARDONA

Vo. Bo. INTERVENTORIA
ING. JORGE PUERTO

FECHA: ABRIL-2003

FECHA: ABRIL-2003

FECHA: ABRIL-2003

FECHA: FEBRERO-2003

PROYECTO: ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA DE LOS BARRIOS SAN IGNACIO Y SAN MARTÍN DE LA LOCALIDAD DE USME EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C. CONTRATO CONS - 449 / 02

CONTENIDO: ESQUEMA DE REORDANAMIENTO BARRIAL

PLANO No.: 10.1

ARCHIVO: ORDENAMIENTO.DWG