No IMPRIMIR

PORTADA

No IMPRIMIR

METADATO

RESUMEN

El Fondo de Prevención y Atención de Emergencias a través de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias del Distrito – DPAE contrató por medio del Contrato de Consultoría No. 448 de 2005 a EDGAR EDUARDO RODRÍGUEZ GRANADOS - INGENIERÍA Y GEORIESGOS, la elaboración del "*Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa y de compresibilidad del terreno, la evaluación de alternativas de mitigación del riesgo y los diseños detallados de las medidas recomendadas, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Atenas, en la localidad de San Cristóbal de la ciudad de Bogotá, D.C"*, contrato iniciado a partir del 26 de Septiembre de 2005 con una duración de cuatro meses y la adición de un mes mas.

El barrio Atenas esta localizado en las faldas de los cerros orientales que bordean la Sabana de Bogotá, allí se accede a través de la carretera oriente (antigua vía a Villavicencio). Las viviendas ubicadas en la zona son en general de 1 y 2 pisos en mampostería y pórticos incompletos, se construyeron en forma densa sobre un sector conformado por laderas de pendiente media a baja con dos zonas verdes hacia la parte superior e inferior del barrio.

El barrio Atenas fue legalizado mediante Acuerdo 22 del 21 de Febrero de 1963, emitido por el Departamento Administrativo de Planeación Distrital - DAPD. Desde el año de 1974 se reportan daños en viviendas, por deslizamientos en suelos residuales de arcillolita, los agrietamientos y daños vuelven a reportarse oficialmente en la década del 90 hasta la fecha. La anterior situación generó la necesidad del desarrollo del presente estudio.

La Localidad de San Cristóbal se ubica en el suroriente de Bogotá D.C y el sector del barrio Atenas, objeto del presente estudio, está ubicado entre las siguientes coordenadas

Norte:	95540 a 96000
Este:	97860 a 98250
Altitud:	2657 a 2710

Limita al occidente con los barrios Villa de los Alpes y Guacamayas, al sur con el barrio La Victoria y la antigua vía al llano, al oriente con el barrio San Vicente y al norte con el barrio Bello Horizonte.

Se realizó la topografía del barrio a escala 1:500 con curvas de nivel cada 50 cm.

Se ejecutó la geología de la zona, en donde se ubica en rocas de la Formación Bogotá de características lodosas y arenosas, sobre las cuales se encuentra un antiguo y pequeño valle de una quebrada conformando suelos transportados (fluvio glacial) de espesor promedio entre 4 a 8 m y rellenos de origen antrópico de mediano espesor (2 a 4 m). La roca se encuentra a profundidades variables de 6 a 11 m.

En la zona se presenta un tramo de la red matriz

Se realizaron 13 sondeos de exploración con profundidad variable entre 6 a 15 m. Se instalaron seis (6) piezómetros en la zona los cuales se leyeron periódicamente durante el desarrollo del proyecto. Se realizaron ensayos de caracterización tales como plasticidad,

peso unitario entre otros y ensayos para obtener parámetros de consolidación (14) y corte directo(9).

De estos resultados se obtuvo una tendencia de valores asociada a cada tipo de material.

Con la topografía actual, la existente en 1960 y 1980 tomada del IGAC, así como los registros de sondeo, ensayos de laboratorio se construyó los perfiles geotécnicos de la zona (en total seis secciones), teniendo como primera aproximación las secciones geomorfológicos.

A partir de estar secciones y la tendencia de valores se procedió a realizar el modelamiento de amenaza por FRM y compresibilidad del suelo.

En el análisis de amenaza se obtuvieron valores medios a bajos con una ventana de tiempo de 25 años. Para una ventana de tiempo actual o a 10 años la amenaza por FRM obtenida fue baja.

Desde el punto de vista de compresibilidad los asentamientos esperados durante los 30 años fueron entre 7 cm a 1 cm en la zona. Existen deformaciones por corte en la masa de suelo cercanas a los límites dados por los ensayos de corte para la falla lo que presumiblemente hace pensar en un reptamiento de ladera.

Para el análisis de vulnerabilidad se realizó el inventario de viviendas con un total de 395 y la presencia de daños estructurales importantes en un número de no menos de 24, realizando un plano de daños alto, medio y bajo. Existen dos predios reasentados por la DPAE. Con esta primera aproximación permitió caracterizar las viviendas por niveles, además en función de su tipología. Posteriormente en el análisis se obtienen el mapa de vulnerabilidad con viviendas en grado alto, medio y bajo. Con el mapa de amenaza y vulnerabilidad se obtiene en general viviendas en riesgo medio a bajo.

Como alternativas de mitigación se plantean dos importantes y viables: a) evacuación y posterior reasentamiento de viviendas (si la DPAE puede ejecutarlo por colapso estructural) y b) monitoreo geotécnico y estructural de la zona con el fin de ajustar el modelo planteado aquí y tomar decisiones posteriores en forma acertada.

INDICE DE TABLAS

Pag.

Tabla 1-1 Fotografías Aéreas recopiladas 23
Tabla 1-2 Estudios emitidos por la DPAE 28
Tabla 1-3 Estudios y conceptos técnicos emitidos por la DPAE.....30
Tabla 2-1 Listado de coordenadas de los puntos de amarre.....33
Tabla 2-2 Puntos de la poligonal secundaria 34
Tabla 2-3 Mojones materializados 36
Tabla 3-1 Precipitación media mensual multianual – series históricas (mm).....40
Tabla 3-2 Precipitación media mensual multianual (mm) Series corregidas al periodo 1944-2004 41
Tabla 3-3 Valores de precipitación media para diferentes recurrencias.....43
Tabla 3-4 Elementos de Clima Estación Vitelma 44
Tabla 3-5 Elementos morfométricos de las quebradas 47
Tabla 3-6 Tiempos de concentración de las subcuencas.....49
Tabla 3-7 Valores de precipitación para las recurrencias indicadas.....49
Tabla 3-8 Precipitación de diseño para duraciones y recurrencias indicadas 50
Tabla 3-9 Análisis de caudal.....50
Tabla 4-1 Mediciones realizadas en zonas cercanas al estudio.....55
Tabla 4-2 Fotografías aéreas de análisis.....71
Tabla 6-1 Perfil promedio 80
Tabla 6-2 Nivel de piezómetros medido desde la parte superior.....88
Tabla 6-3 Cantidades de ensayos de laboratorio programados 88
Tabla 6-4 Tendencias de plasticidad de los suelos.....94
Tabla 6-5 Datos ensayo de consolidación 96
Tabla 6-6 Resultados de corte directo 98
Tabla 6-7 Valores de c y ??.....98
Tabla 7-1 Parámetros de compresibilidad de los diferentes materiales del subsuelo.....100
Tabla 7-2 Parámetros de los materiales empleados en los modelos analizados.....102

Tabla 8-1 Valores de parámetros de resistencia 120
Tabla 8-2 Lecturas de piezómetros 122
Tabla 8-3 Análisis de probabilidad Sección 1-1 127
Tabla 8-4 Análisis de probabilidad Sección 2-2 128
Tabla 8-5 Análisis de probabilidad sección 3-3 129
Tabla 8-6 Análisis de probabilidad Sección 4-4 130
Tabla 8-7 Análisis de probabilidad sección 5-5 131
Tabla 8-8 Análisis de probabilidad sección 6-6 132
Tabla 8-9 Categorías de amenaza para Periodos de Diseño de Hasta 10 años 134
Tabla 9-1 Evaluación de la capacidad de respuesta de la edificación 136
Tabla 9-2 Calificación para variable: Sistema estructural 136
Tabla 9-3 Calificación para variable: Daño en la construcción 137
Tabla 9-4 Calificación para variable: Calidad de la construcción 137
Tabla 9-5 Calificación para variable: Partes estructurales 138
Tabla 9-6 Calificación para variable: Sistema de cimentación 138
Tabla 9-7 Capacidad de endeudamiento 144
Tabla 9-8 Porcentaje de pérdidas 144
Tabla 9-9 Matriz de Intensidad de daño 146
Tabla 9-10 Tabla de clasificación de daños propuesta por DRM 146
Tabla 9-11 Área de afectación según área de exposición 147
Tabla 9-12 Categorización de los niveles de vulnerabilidad 148
Tabla 9-13 Categorización del riesgo 149
Tabla 11-1 Relación de mitigación con el problema 159
Tabla 11-2 Valoración de medidas a implementar 161
Tabla 11-3 Prioridad alta por evacuación 164
Tabla 11-4 Evaluación estructural 164
Tabla 12-1 Reuniones con la comunidad 170
Tabla 13-1 Valores de c y ?? ..... **¡Error! Marcador no definido.**

INDICE DE FIGURAS

Pag.

Figura 1.1 Localización general 21

Figura 1.2 Plancha IGAC 1960 24

Figura 1.3 Plancha IGAC 1981 25

Figura 1.4 Zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa INGEOCIM LTDA –FOPAE 1998 29

Figura 3.1 Localización Estaciones EAAB 39

Figura 3.2 Variación espacial de precipitación 42

Figura 3.3 Análisis de distribución 43

Figura 3.4 Precipitación total anual multianual 44

Figura 3.5 Temperatura del aire 45

Figura 3.6 Variación de humedad relativa 45

Figura 3.7 Variación brillo solar 46

Figura 3.8 Variación evaporación 46

Figura 3.9 Localización Elementos morfométricos – IGAC 1960 (sin escala) 48

Figura 5-1 Cobertura vegetal y usos del suelo 78

Figura 7-1 Curvas consolidación representativas de los principales materiales del subsuelo. 100

Figura 7-2 Curvas de las etapas de carga representativas de los principales materiales del subsuelo. 101

Figura 7-3 Ejemplo de Malla de Elementos Finitos (sección 2) 103

Figura 7-4 Ejemplo de distribución de los esfuerzos efectivos antes de la construcción de las viviendas. Sección de Análisis No. 2. 104

Figura 7-5 Ejemplo de distribución de excesos de presiones de poros antes de la construcción de las viviendas. Sección de Análisis No. 2. 105

Figura 7-6 Ejemplo de distribución de excesos de presiones de poros después de la construcción de las viviendas a los 30 años (año 2005). Sección de Análisis No. 2. 106

Figura 7-7 Distribución de esfuerzos efectivos después de colocada las viviendas a los 30 años (año 2005) Sección 2 107

Figura 7-8 Deformaciones verticales en los últimos 30 años. Sección 2 108

Figura 7-9 Deformaciones verticales en los últimos 30 años. Sección 2 109

Figura 7-10 Deformaciones verticales en los últimos 30 años en la zona de estudio 111
Figura 7-11 Deformaciones totales (sección 2).....112
Figura 7-12 Deformaciones totales por corte 113
Figura 7-13 Deformaciones horizontales de la masa de suelo 114
Figura 7-14 Vista hacia el sur de la Diagonal 33 B sur.....115
Figura 7-15 Desplazamientos relativos del terreno 116
Figura 8-1 Intervalos de probabilidad.....119
Figura 8-2 Piezómetros 122
Figura 11-1 Daños en Viviendas.....163
Figura 11-2 Tipo de tubería y modelos de torpedo para toma de lecturas 166
Figura 11-3 Monitoreo geotécnico y estructural 167

TABLA DE CONTENIDO

Pag.

GLOSARIO **13**

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS **15**

INTRODUCCIÓN **17**

OBJETIVO **18**

ALCANCE DEL ESTUDIO **19**

1 GENERALIDADES **20**

1.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 20
1.2 RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN 23
1.2.1 Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC *23*
1.2.2 Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB *26*
1.2.3 Departamento Administrativo de Planeación Distrital - DAPD *26*
1.2.4 Dirección de Prevención y Atención de Emergencias - DPAE *27*
1.2.5 Otros *27*
1.3 ANTECEDENTES 27
1.3.1 Dirección de Prevención y Atención de Emergencias - DPAE *27*
1.3.2 Tesis de Grado Universidad Nacional *30*

2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO **32**

2.1 METODO DE TRABAJO 32
2.2 DESCRIPCIÓN DE LA POLIGONAL DE AMARRE 32
2.3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL ÁREA 33
2.3.1 Descripción de la poligonal de cierre *33*
2.3.2 Mojonamiento de referencia *36*
2.4 CORRESPONDENCIA CON CARTOGRAFÍA EXISTENTE 36

3 CLIMA, HIDROLOGIA, HIDRAULICA Y SISMOLOGÍA **38**

3.1 INTRODUCCION 38
3.2 CLIMA 38
3.2.1 Precipitación *40*
3.2.2 Temperatura del aire *45*
3.2.3 Humedad relativa *45*
3.2.4 Brillo solar *45*
3.2.5 Evaporación *46*
3.3 HIDROLOGIA 47
3.3.1 Las cuencas *47*
3.3.2 Tiempos de concentración *48*
3.3.3 Cálculo de caudales *49*
3.4 SISTEMA DE RED MATRIZ, ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO 51
3.5 SISMOLOGÍA 51

4 ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO **52**

4.1 ASPECTOS DE GEOLOGÍA REGIONAL 52
4.2 ESTRATIGRAFÍA 53
4.2.1 Formación Bogotá (Tib) *53*
4.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL 54

4.4 GEOLOGÍA LOCAL 54
4.4.1 Formación Bogotá. Unidad lodosa (Tiblod) *56*
4.4.2 Formación Bogotá. Unidad arenosa (Tibare). *58*
4.4.3 Suelos arcillosos transportados por procesos fluvioglaciares (Qfg). *61*
4.4.4 Depósitos coluviales (Qc) *61*
4.4.5 Rellenos antrópicos (Qra) *61*
4.5 GEOMORFOLOGÍA 64
4.5.1 Morfoestructural *64*
4.5.2 Morfodinámica *69*
4.6 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE PROCESOS DENUDACIONALES. 71
4.6.1 Vuelo C336 (Foto 844) de 1943. ..... *71*
4.6.2 Vuelo C772 (Foto 274) de 1956 ..... *73*
4.6.3 Vuelo C1402 (Foto 031) de 1972 ..... *74*
4.6.4 Vuelo C1927 (Foto 16) de 1977 ..... *75*
4.6.5 Vuelo R1191 (Foto 2018) de 1990 ..... *76*
4.6.6 Vuelo C2717 (Foto 47) de 2004 ..... *76*

5 COBERTURA VEGETAL Y USOS DEL SUELO 77

ÁREAS URBANAS CONSOLIDADAS (ZUP) 77
ÁREAS URBANAS SIN PAVIMENTAR (ZUSP) 77
PASTOS O VEGETACIÓN HERBÁCEA (PN) 77

6 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA 79

6.1 INFORMACIÓN INICIAL DE ANÁLISIS 79
6.1.1 INFORMACIÓN TESIS UNIVERSIDAD NACIONAL 1975 ..... *79*
6.2 INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA 84
6.3 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO 87
6.3.1 Sondeos Mecánicos, Apiques y Trincheras *87*
6.3.2 Pruebas de campo *87*
6.4 ENSAYOS DE LABORATORIO 88
6.5 CARACTERIZACION GEOMECÁNICA 89
6.5.1 PLASTICIDAD *90*
6.5.2 RESISTENCIA NO DRENADA DEL SUELO *94*
6.5.3 COMPRESIBILIDAD *95*
6.5.4 RESISTENCIA AL CORTE *98*

7 ANÁLISIS DE DEFORMACIÓNES EN EL TERRENO 99

7.1 ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS POR CONSOLIDACIÓN 99
7.1.1 CARACTERIZACIÓN DEL SUBSUELO *99*
7.1.2 ANÁLISIS Y MODELACIÓN *101*
7.1.3 Etapas de análisis *103*
7.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS 109
7.3 ANÁLISIS DE DEFORMACIONES 112
7.3.1 Análisis por plaxis *112*
7.3.2 Análisis por topografía y observación *114*

8 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE AMENAZA POR FRM 117

8.1 HIPÓTESIS DE TRABAJO 117
8.1.1 Mecanismos de falla *117*
8.1.2 Modelación *118*
8.1.3 Parámetros de resistencia *118*
8.2 AGENTES DETONANTES 120

8.2.1 Agua *120*
8.2.2 Sismo *124*
8.3 EVALUACIÓN DE AMENAZA 124
8.3.1 Consideraciones *125*
8.3.2 Análisis de Resultados *126*
8.3.3 Distancias de viaje de las masas potencialmente inestables *133*
8.4 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA 133

9 VULNERABILIDAD Y RIESGO 135

9.1 VULNERABILIDAD 135
9.1.1 METODOLOGÍA *135*
9.1.2 VULNERABILIDAD SOCIAL *140*
9.1.3 VULNERABILIDAD FÍSICA *145*
9.1.4 ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD *148*
9.2 RIESGO 148
9.3 ZONIFICACIÓN DEL RIESGO 149

10 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL 150

10.1 ANÁLISIS DE VIVIENDAS 150
10.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 157

11 ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN 158

11.1 EVALUACION DEL PROBLEMA 158
11.2 INTERVENCIÓN DEL PROBLEMA 158
11.3 MATRIZ DE VALORACIÓN 160
11.4 ANÁLISIS DE MEDIDAS PLANTEADAS 161
11.4.1 EVACUACIÓN DE FAMILIAS POR DAÑO ESTRUCTURAL *161*
11.4.2 MONITOREO GEOTÉCNICO Y ESTRUCTURAL *164*

12 GESTION SOCIAL 168

12.1 INTRODUCCIÓN 168
12.2 MOMENTOS DEL PLAN DE GESTIÓN SOCIAL 169
12.2.1 Socialización del proyecto de Consultoría: *169*
12.2.2 Reuniones Realizadas: *170*
12.2.3 Evaluación de condiciones sociales y económicas de la comunidad. *172*
12.2.4 Plan de Gestión Social. *176*

13 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 178

14 LIMITACIONES 181

15 BIBLIOGRAFÍA 182

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO 2-1 CARTERA DE PUNTOS DE TOPOGRAFÍA

ANEXO 2-2 PLANOS DE LEGALIZACIÓN DAPD

ANEXO 3-1 REGISTROS DE ESTACIONES

ANEXO 6-1 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA 1975

ANEXO 6-2 REGISTROS DE PERFORACION, APIQUES Y TRINCHERAS

ANEXO 6-3 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO

ANEXO 6-4 ENSAYOS DE CONSOLIDACIÓN

ANEXO 6-5 ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

ANEXO 8-1FACTORES DE SEGURIDAD CON VALORES PROMEDIO

ANEXO 8-2 MODELOS DE ANÁLISIS STABLE

ANEXO 8-3 RESULTADOS DE CALIBRACIÓN

ANEXO 9-1 FORMATO DE INVENTARIO DE VIVIENDAS

ANEXO 9-2 INVENTARIO DE VIVIENDAS DE CAMPO

ANEXO 11-1 DESCRIPCIÓN DE PREDIOS CON PRIORIDAD ALTA

ANEXO 11-2 ANÁLISIS DE COSTOS DE MONITOREO

LISTADO DE ANEXOS

PLANO 01.TOPOGRAFÍA.

PLANO 02.GEOLOGÍA.

PLANO 03.GEOMORFOLOGÍA.

PLANO 04.SECCIONES GEOMORFOLOGÍCAS.

PLANO 05.SECCIONES ANÁLISIS.

PLANO 06.AMENAZA.

PLANO 07.TIPOLOGÍA VIVIENDAS.

PLANO 08.VULNERABILIDAD.

PLANO 09.RIESGO.

GLOSARIO

Amenaza: probabilidad de que ocurra un evento potencialmente dañino en un área y un período de tiempo dados.

Arcillolita: Roca sedimentaria de origen detrítico. Es una roca compacta, sin fisilidad que está formada por partículas del tamaño de la arcilla.

Base topográfica: Mapa base que contiene información topográfica, utilizable para referenciar localizaciones de otros elementos, y la elaboración de mapas temáticos (mapas geológicos, estructurales, de uso de tierras, entre otros).

Buzamiento (geología general): Ángulo de inclinación que forma un filón, estructura o capa rocosa con un plano horizontal, medido perpendicularmente a la dirección o rumbo del filón.

Cauce: Canal por donde normalmente discurren las aguas de un río. El cauce es continuamente modificado por el caudal, la velocidad, la pendiente, la carga de sedimentos y el nivel de base local del río.

Cobertura: Un conjunto de datos asociados temáticamente y considerados como una unidad. Una cobertura usualmente representa un tema único, o corresponde a una capa de información tal como suelos, ríos, caminos, uso de la tierra, entre otros.

Cuencas hídricas: Se refiere a todas las cuencas determinadas por la divisoria de aguas, tanto superficiales como subterráneas.

Deslizamientos: El movimiento consiste de deformación por corte y desplazamiento

Escarpe: Cualquier cara rocosa alta, de muy pendiente a perpendicular o en voladizo. El escarpe es usualmente producido por erosión y menos comúnmente se encuentran producidos por fallamiento.

Estabilidad (geotecnia): Resistencia de un estructura, talud o muro de contención a la falla por deslizamiento o colapso bajo condiciones normales, para las que fue diseñado.

Estrato: Capa de roca caracterizada por sus propiedades litológicas particulares y los atributos que la distinguen de las capas adyacentes.

Factor de riesgo: Cualquier elemento o fenómeno del ambiente de trabajo o acción que pueda causar un daño.

Flujos de tierra: El movimiento se caracteriza por la velocidad relativamente baja.

Geología: Ciencia que estudia la composición y la disposición de los materiales que constituyen la litosfera terrestre, su naturaleza, su situación y las causas o fenómenos que originan esa disposición y de los efectos de los agentes que la alteran.

Geomorfología: Ciencia que tiene por objeto el estudio y la explicación de las formas del relieve terrestre.

Levantamiento topográfico: Descripción y delineamiento un terreno en su configuración superficial.

Movimientos en masa: Caída de las rocas, una vez han sido fragmentadas (metorización), mediante diversos tipos de impulsos gravitacionales.

Nivel freático: Superficie en la zona de saturación de un acuífero libre sometido a la presión atmosférica.

Perfil: Es la secuencia y conjunto de horizontes de un suelo; corte vertical hecho en el suelo a fin de hacer un estudio.

Reptación: Es el movimiento lento e imperceptible del material

Riesgo: Es la combinación de la probabilidad de ocurrencia de un incidente o evento no deseado y de la severidad de sus consecuencias.

Sondeo: Operación que se efectúa con el fin de perforar el suelo, mediante la apertura de orificios de diámetro pequeño para la exploración.

Talud: Superficie inclinada del terreno en la base de un cerro o de una colina, donde se encuentra un depósito de detritos.

Vulnerabilidad: grado de debilidad o resistencia que presentan las personas, sus bienes y el mismo ambiente natural, frente a la ocurrencia de un fenómeno peligroso.

Vulnerabilidad: predisposición intrínseca de un sujeto o elemento a sufrir daño debido a posibles acciones externas.

Vulnerabilidad física: se expresa como una medida porcentual de los costos de las averías originadas por un agente destructor.

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

kPa: kilo Pascal.

m: Metros.

Ha: Hectarea

$P_{x\ 24}$: es el valor medio de la precipitación en la estación de período corto, en este caso, 24 años

$P_{l\ 24}$: es la precipitación media en la estación de período largo, para el período corto, 24 años en este caso

$P_{l\ 64}$: es la media del período largo, en este caso 64 años

T_c: es el tiempo de concentración en horas,

L: la longitud del cauce.

S: es la pendiente del cauce.

FS: Factor de seguridad

RQD: Rock Quality Designation.

SPT: Ensayos de penetración estándar

w_N %: Humedad natural.

? **T/m^3:** peso unitario.

IL: Índice de Liquidez

N'_i: Número de golpes corregido para un esfuerzo de confinamiento de 1 kg/cm2.

C_N: Factor de ajuste para tener en cuenta el nivel de confinamiento.

?$_1$**:** Factor de corrección por caída del martillo.

?$_2$**:** Factor de corrección por longitud del sistema de varillas.

?$_3$**:** Factor de corrección por presencia de revestimiento interno.

?$_4$**:** Factor de corrección por diámetro de la perforación.

?$_{eq}$**:** ángulo de fricción equivalente.

c': Cohesión.

?**':** ángulo de fricción.

P+: probabilidad de ocurrencia del evento crítico

P-: probabilidad de no ocurrencia del evento crítico

T: período de retorno

n: período de análisis o exposición.

ah/g: Coeficiente de aceleración horizontal del terreno

a: Coeficiente de Gumbel = 16.85895

b: Coeficiente de Gumbel = 0.319692

p_n: Probabilidad para exposición de n años

n: Tiempo de exposición (años)

p: probabilidad anual (= 1/475)

RE : Recuperación económica en años

$\%Pérdidas$: Fracción del patrimonio.

CE :Capacidad de endeudamiento

P_f :Probabilidad de falla

C_f :Costo de falla

IR :Índice de riesgo

P_f :Probabilidad de falla

IVF :Índice de vulnerabilidad física.

AZC: Asentamiento en zonas críticas.

DC: Deformaciones del terreno.

DE: Daños estructurales.

La tasa de daño (TD): representa el porcentaje de destrozos en la vivienda.

INTRODUCCIÓN

El Fondo de Prevención y Atención de Emergencias a través de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias del Distrito – DPAE contrató por medio del Contrato de Consultoría No. 448 de 2005 a EDGAR EDUARDO RODRÍGUEZ GRANADOS - INGENIERÍA Y GEORIESGOS, la elaboración del "*Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa y de compresibilidad del terreno, la evaluación de alternativas de mitigación del riesgo y los diseños detallados de las medidas recomendadas, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Atenas, en la localidad de San Cristóbal de la ciudad de Bogotá, D.C"*, contrato iniciado a partir del 26 de Septiembre de 2005 con una duración de cuatro meses.

El estudio busca una comprensión general de los fenómenos que afectan el sitio, así como de los agentes detonantes de los problemas de inestabilidad activos o potenciales..

Se presenta a continuación el informe final luego de realizar un análisis multidisciplinario, de información preliminar como lo fue: el levantamiento topográfico detallado de la zona de estudio, características climáticas, hidrológicas, hidrogeológicas, hidráulicas y sismológicas, exploración del subsuelo por medio de métodos directos e indirectos; perforaciones, apiques, trincheras y línea sísmica y ejecución de ensayos de laboratorio que permitan determinar los niveles, calidad y tipo de suelo existente y elaborar el perfil geotécnico y geológico de la zona, así como la caracterización geomecánica de los materiales.

Con el fin de cumplir con los objetivos planteados se realizaron análisis como: estabilidad por compresibilidad del suelo, estabilidad de taludes por fenómenos de remoción en masa, amenaza – vulnerabilidad y riesgo de la zona.

Con esto se realizo la determinación y evaluación de alternativas de reducción del riesgo en la zona con el diseño detallado de obras y acciones tendientes a minimizar el riesgo potencial y maximizar el entorno ambiental.

OBJETIVO

El objetivo general del estudio es realizar la evaluación de alternativas de mitigación del riesgo y la realización de los diseños detallados de las medidas recomendadas, en un sector del barrio Atenas, reduciendo el nivel de riesgo a partir de la construcción de la información cartográfica de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de la zona, cuyos insumos son la geología, la geomorfología, la geotecnia e hidrología de la zona.

ALCANCE DEL ESTUDIO

- Recopilación de información primaria y secundaria.
- Levantamiento topográfico detallado de la zona de estudio a escala 1:1000, con curvas de nivel cada 1.0 m.
- Análisis de características climáticas, hidrológicas, hidrogeológicas, hidráulicas y sismológicas.
- Exploración del subsuelo por medio de métodos directos e indirectos; perforaciones, apiques, trincheras y línea sísmica y ejecución de ensayos de laboratorio que permitan determinar los niveles, calidad y tipo de suelo existente y elaborar el perfil geotécnico y geológico de la zona, así como la caracterización geomecánica de los materiales.
- Inventario y cartografía de variables como: geología, geomorfología, usos del suelo, coberturas e inventario de viviendas.
- Inventario de los procesos morfodinámicos, con el fin de conocer los mecanismos de falla, los factores condicionantes y desencadenantes de ellos.
- Análisis de estabilidad por compresibilidad del suelo.
- Análisis de estabilidad de taludes por fenómenos de remoción en masa.
- Análisis de amenaza – vulnerabilidad y riesgo de la zona.
- Análisis de tipología de viviendas, condiciones de exposición y resistencia.
- Determinación y evaluación de alternativas de reducción del riesgo en la zona.
- Diseño detallado de obras y acciones tendientes a minimizar el riesgo potencial y maximizar el entorno ambiental.
- Presupuesto detallado y especificaciones.

1 GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Localidad de San Cristóbal se ubica en el suroriente de Bogotá D.C y el sector del barrio Atenas, objeto del presente estudio, está ubicado entre las siguientes coordenadas (Ver Figura 1.1):

Norte:	95540 a 96000
Este:	97860 a 98250
Altitud:	2657 a 2710

Limita al occidente con los barrios Villa de los Alpes y Guacamayas, al sur con el barrio La Victoria y la antigua vía al llano, al oriente con el barrio San Vicente y al norte con el barrio Bello Horizonte.

En la Figura 1.1 se muestra una vista del área de estudio desde el parque ubicado en la diagonal 32C sur a la altura de la transversal 1 este y en la Figura 1.2 se observa la parte superior del área de estudio con vista hacia el occidente o parte baja del barrio. Se observa la alta densidad de viviendas y las condiciones estructurales deficientes, de algunas de ellas.

Figura 1.1 Localización general



Fotografía 1-1 Vista del sector del barrio Atenas hacia la antigua vía al llano



Fotografía 1-2 Vista superior del sector del barrio Atenas hacia el noroccidente

El área de estudio del barrio Atenas tiene una longitud aproximada de 400 metros en sentido Norte-Sur y un ancho medio de 200 m en sentido Este-Oeste, para un área total aproximada de 8.00 ha.

El sector a que hace referencia este estudio se ubica aproximadamente entre la diagonal 32 C sur y la Avenida Villavicencio y entre la transversal 2 Este y la transversal 1 Este.

1.2 RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN

El análisis de la información recopilada, permitió obtener una comprensión general de los fenómenos que afectan el sitio, así como de los agentes detonantes de los problemas de inestabilidad activos o potenciales.

Como resultado de esta actividad, se adquirió la información que se estimó conveniente y se plantearon las actividades que se requirieren para subsanar los impases por información no existente.

1.2.1 Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC

Se adquirieron las planchas IGAC No. L49 en escala 1:2000 del año 1981 y No. 71 en escala 1:5000 del año 1960. En la Figura 1.2 y la Figura 1.3 se observa el área correspondiente al bario Atenas digitalizado. De dichas planchas se observa como hacia el final de la década del 50, principios del 60 no se había urbanizado la zona aún y como por ella drenaban algunas corrientes superficiales, en un área conocida como Hacienda la Regadera; para la década del 80 ya el sector se encontraba urbanizado en forma menos densa a como se le conoce actualmente y se reconoce un canal o acequia en el sector oeste del parque del barrio Atenas, que en la actualidad no existe.

El área correspondiente al barrio de estas planchas fue digitalizada con el fin de comparar los cambios topográficos durante el tiempo, la ejecución de rellenos y los drenajes existentes.

Se solicitaron fotografías aéreas de diferentes décadas, destinadas al análisis multitemporal geológico y geomorfológico, que se relacionan a continuación:

Tabla 1-1 Fotografías Aéreas recopiladas

Año	Vuelo	Fotografías	Escala aproximada
1955	C-743	001-000-999, 170-169-168	1: 9000
1956	C-772	272-275	1: 9000
1969	C-1244	31-33	1: 6000
1973	C-1438	36-37	1: 10500
1977	C1728	245-248	1: 29100
1986	C2265	49-52	1: 20800
1996	R1212	139-140	1: 30700

Figura 1.2 Plancha IGAC 1960

Figura 1.3 Plancha IGAC 1981

1.2.2 Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB

Se recopilaron planos de redes de acueducto y alcantarillado de la zona (planos A2 y L49), así mismo planos de obra construida de red matriz de la conducción Tanque la Fiscala- Tanque Vitelma, que entra al barrio por la transversal 1este proveniente de la Avenida Villavicencio y que gira a la altura de la diagonal 33ª sur con destino al tanque vitelma.

Se recopilaron memorias técnicas de diseño de un sector del alcantarillado pluvial del barrio Atenas correspondientes al proyecto 1750 del período comprendido entre marzo de 1966 y julio de 1972, así mismo se recopilaron las memorias del alcantarillado sanitario correspondiente a las tuberías menores del período comprendido entre el año 1970 y el año 1984.

Se recopiló información de las estaciones cercanas al área del estudio, tanto climatológicas (Vitelma) como pluviométricas y pluviográficas (Vitelma, Juan Rey y el Delirio), con el fin de usarlas en el análisis climático y de hidrología de la zona en estudio.

1.2.3 Departamento Administrativo de Planeación Distrital - DAPD

Se recopiló el plano catastral y de loteo 461/4 incorporado a la plancha L-49 en el año de 1963. De esta información en el plano 461/4 es importante destacar la presencia de una línea de tubería de acueducto que baja desde la carretera de oriente, hacia el parque donde se encuentra la concentración escolar del distrito.

En campo no se evidencia la existencia de esta tubería y solo por comentarios de la comunidad se conoce el alineamiento. En la EAAB no se encontró material que mostrara la existencia. Se tiene también de dicho plano las áreas correspondientes a lotes (77.110m^2), áreas de cesión como zonas verdes (21.568m^2), escuela (1.200m^2) y vías (38.665m^2).

Se obtuvo la información del archivo de planeación distrital consistente en resolución de legalización del Barrio Atenas según lo dispuesto en el decreto número 190 de 1963 donde se establecen como límites:

- Por el sur la carretera de oriente y el barrio San Vicente.
- Por el oriente la Avenida 1 de Mayo y el barrio San Vicente.
- Por el sur los terrenos sin urbanizar.
- Por el norte terrenos sin urbanizar.

Se establecen también los usos principales como:

- Escuela en el lote indicado.
- Viviendas en edificación continua para una o dos familias por lote.

Y los usos anexos permitidos:

? Comercio residencial con área máxima para local de 25m^2.

? Oficina o estudios de residentes.

? Labores domésticas, donde no se consuman más de tres caballos de fuerza trifásica.

Entre otros también se menciona las aturas de las edificaciones que deben estar entre uno y dos pisos, el índice de construcción no podría ser mayor de 1.17 el área del lote y el índice de ocupación no podría superar el 58% del área total del lote.

1.2.4 Dirección de Prevención y Atención de Emergencias - DPAE

Desde el año 2002 hasta la fecha se han adelantado visitas de inspección de predios por reportes de fenómenos de remoción en masa, asentamientos y deficiencias constructivas que han generado daños estructurales en las viviendas.

Existen cinco (5) diagnósticos, tres (3) conceptos y diecinueve (19) cartas u oficios de respuesta a la comunidad y a los entes distritales. Esta información será comentada en el capítulo siguiente.

1.2.5 Otros

Se recopiló la tesis de grado “Estudio de estabilidad de taludes en el Barrio Atenas de Bogotá D.E.”, desarrollada por Humberto Muñoz Caicedo y Henry Ramírez León y dirigida por el ingeniero Manuel García López, en el año de 1975. Esta tesis será analizada en capítulos siguientes.

Se enviaron oficios a la distribuidora de energía de la capital CODENSA S:A. A GAS NATURAL E.S.P con el fin de obtener la configuración de las redes que hacen parte del barrio, puesto que se hacen necesarias en el apartado del estudio de viabilidad de obras.

Se envió igualmente oficio de solicitud, a la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá EAAB, de avisos de servicio con relación de daños a partir del 2003, debidamente georeferenciados.

1.3 ANTECEDENTES

1.3.1 Dirección de Prevención y Atención de Emergencias - DPAE

La Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá – DPAE, ha desarrollado en la zona los siguientes estudios:

Tabla 1-2 Estudios emitidos por la DPAE

Nombre Estudio	Autor/Fecha	Recomendaciones
Zonificación por Inestabilidad del terreno para Diferentes Localidades en la Ciudad de Santa fe de Bogotá D.C.	INGEOCIM Octubre de 1998	Amenaza Media: Laderas sin evidencias de inestabilidad actual. Representan áreas rurales y urbanas consolidadas o en proceso. Los procesos de erosión son de baja a media intensidad.
Estudio de amenaza y riesgos por remoción en masa, y evaluación de alternativas de mitigación para la urbanización Villa de los Alpes, en la localidad de San Cristóbal	GEOINGENIERIA Abril del 2000.	Los análisis y las evidencias de campo demuestran que el factor detonante de deslizamientos en esta área es el agua, se recomienda a la EAAB mantener un seguimiento constante y frecuente de las condiciones de las redes cercanas a la urbanización, con el fin de localizar y reparar posibles fugas de agua tan pronto estas sean detectadas. En caso de que la EAAB haga reemplazos en las redes de acueducto y/o alcantarillado, se recomienda que deban hacerse en materiales que puedan absorber algún nivel de deformaciones.

El estudio de "Zonificación por inestabilidad del terreno en diferentes localidades de Santa Fe de Bogotá" elaborado por INGEOCIM LTDA[1], a escala 1:10.000. (Ver Figura 1.4), definió para la mayor parte del sector una categoría de amenaza media por fenómenos de remoción en masa, sin embargo, la DPAE ha realizado varias visitas técnicas al sector y ha emitido diagnósticos y conceptos técnicos por problemas de riesgo, asociados a daños en viviendas. En tales informes se indica la ocurrencia de fallas en algunos muros de contención y el agrietamiento de pisos, muros y tuberías de alcantarillado. Además se menciona el deterioro de las vías y problemas de inundación en casas durante períodos de lluvia.

En estos diagnósticos se indican varias causas posibles de los problemas, entre las cuales se pueden mencionar de manera general las siguientes: deficiencias constructivas, alta humedad en los suelos, asentamientos diferenciales, movimientos en masa de tipo reptación, erosión laminar, ocupación de zonas geomorfológicamente inadecuadas porque hacen parte de un antiguo drenaje natural, efectos perjudiciales asociados con presencia de maquinaria pesada durante construcción de la red de acueducto, problemas con el drenaje vial, deficiencias en el actual sistema de alcantarillado, falta de protección geotécnica en cortes realizados para adecuación de los predios y disposición antitécnica de rellenos antrópicos.

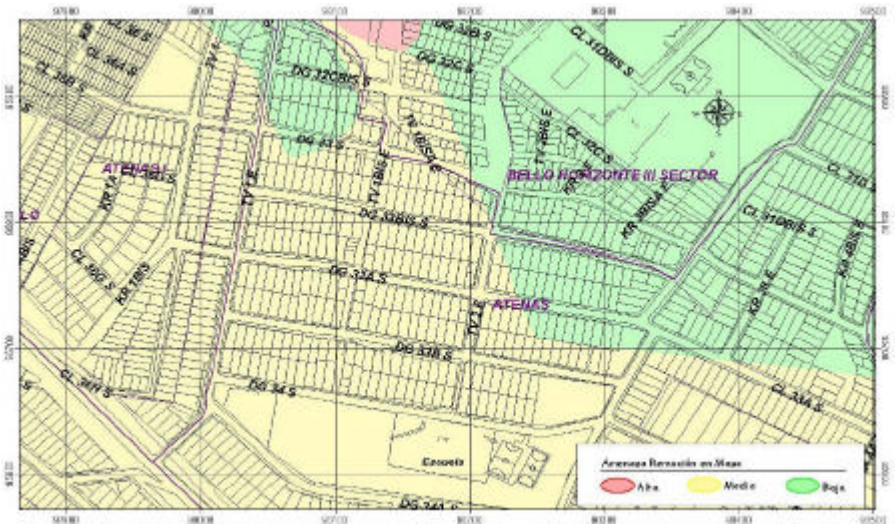
Se aclara en los informes que con el nivel de conocimiento actual no es posible determinar con precisión la importancia relativa de estos factores y que por lo tanto se requiere del presente estudio.

Dentro de las recomendaciones particulares que se plantean en las distintas visitas se destaca la evacuación definitiva de tres (3) predios que se encontraban en situación de alto riesgo no mitigable, la reparación de tuberías para evitar vertimientos al terreno, el mejoramiento de sistemas constructivos, el monitoreo del avance de los problemas de agrietamiento de las viviendas y la realización de estudios detallados de amenaza y riesgo

[1] INGEOCIM. Estudios de remoción en masa en varias localidades de Bogotá. Estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por inestabilidad del terreno para las localidades de Ciudad Bolívar, Rafael Uribe Uribe, San Cristóbal, Santa Fe, Chapinero, Usaquén y Suba de Santa Fe de Bogotá. Octubre de 1998.

por inestabilidad del terreno, para establecer las causas que están generando el deterioro de varias viviendas del sector y las posibles medidas de mitigación.

Figura 1.4 Zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa INGEOCIM LTDA –FOPAE 1998



Los conceptos técnicos y diagnósticos emitidos por la DPAE se emitieron en un período comprendido entre Noviembre de 1999 y Mayo de 2005. En dichos diagnósticos se analizan procesos de afectación estructural de viviendas.

A continuación se resumen dichos conceptos (CT) y diagnósticos técnicos (DI), desarrollados por la DPAE:

Tabla 1-3 Estudios y conceptos técnicos emitidos por la DPAE

Documento Técnico	Fecha/ Autor	Observaciones
CT-3437	04/11/1999	Legalización de Barrios Concepto en el que se determina el nivel de amenaza y riesgo del barrio en mención, se catalogó como de nivel bajo de riesgo[2].
CT-3800	25/10/2002	Reubicación de Familias Ubicado en la Diagonal 34 sur # 1- 56. Se recomienda la reubicación del predio.
DI-1634	15/11/2002	Diagnóstico de Emergencias El día 14 de noviembre se presentó el colapso de los muros de contención y cerramiento de la parte posterior de la vivienda de la señora Teresa Peña de Castillo, localizado en la Transversal 1 No. 36F – 98 sur. Se hizo una evaluación de las viviendas y recomendaciones a los propietarios sobre las medidas que se debieron adelantar.
DI-1775	17/07/2003	Diagnostico de Emergencias En la visita de la DPAE se observó agrietamiento de los muros y pisos de la vivienda de un piso en mampostería sin refuerzo .Se asocia a deficiencias constructivas, asentamientos en la construcción y condiciones desfavorables del suelo de cimentación.
DI-2089	04/06/2004	Remoción en Masa Se evaluó 1 predio en el que habitan 8 personas, Se observan evidencias de fenómenos de erosión laminar, reptación y deslizamiento en el parque del Barrio Atenas. Como consecuencia de los movimientos del terreno se ha afectado la vía (Diagonal 34), la cual está conformada por losas de pavimento rígido. Las afectaciones consisten en la separación de los bordillos en ambos costados de la vía, hundimientos y separación de las losas.
DI-2322	25/01/2005	Remoción en Masa Se evaluaron 217 predios en los que habitan aproximadamente 130 personas, En la mayoría de las viviendas visitadas se observaron humedades y daños generalizados en muros y pisos, se presume por la ejecución de las obras de la red matriz.
DI-2373	07/05/2005	Remoción en Masa Se evaluaron 29 predios en los que habitan aproximadamente 158 personas, En la mayoría de las viviendas visitadas se observaron daños que corresponden a fisuras y agrietamientos en los elementos de mampostería y zonas de humedad. Estos fenómenos lo asocian a asentamientos diferenciales, deficiencias constructivas y al parecer, en algunos casos, a rupturas en las redes de alcantarillado domiciliario.

Dentro de los informes ubicados en el portal de Internet de la DPAE (www.sire.gov.co) en la bodega de información también se encuentran respuestas oficiales de la dirección de prevención y atención de emergencias (DPAE) dirigidos principalmente a habitantes de la comunidad en relación a visitas efectuadas y diagnósticos técnicos, pero también se hace aclaración de las anteriores situaciones al alcalde local de la época y a la junta de acción comunal del barrio Atenas.

1.3.2 Tesis de Grado Universidad Nacional

En la década del 70 los habitantes del barrio Atenas, ante el agrietamiento y asentamiento ocurrido en viviendas y calles, rotura de tuberías de acueducto y alcantarillado y otros daños de consideración, interesaron a varias dependencias del distrito como : la empresa de acueducto y alcantarillado y el instituto de desarrollo urbano; la primera de estas dependencias solicitó ayuda a la facultad de ingeniería de la Universidad nacional a través

[2] De esta información de 1999 es importante resaltar que el concepto 3437 legalizó parte del barrio como riesgo bajo, cuando por el estudio de Ingeocim de un año atrás se detallaba como de amenaza media en un buen porcentaje y además se presentan antecedentes de movimiento desde 1975, así como construcciones deficientes. El estudio que se inicia permitirá aclarar este concepto de riesgo.

de la división de Geología y Suelos, que encargó a la sección de geotecnia del departamento de ingeniería civil de planificar y dirigir el estudio.

A raíz de esta problemática en el año de 1975 se realizó un proyecto de grado, nombrado como “Estudio de estabilidad de taludes en el Barrio Atenas de Bogotá D.E.”, para optar por el título de ingenieros civiles elaborado por Humberto Muñoz Caicedo y Henry Ramírez León, bajo la dirección del Ingeniero Manuel García López. Esta tesis tenía como objeto determinar los mecanismos de falla, causas y consecuencias de la inestabilidad presente en un sector del barrio Atenas. Se ejecutó el levantamiento topográfico, geología, así como exploraciones directas e indirectas, ensayos de laboratorio e instrumentación con medios sencillos; con el fin de dar recomendaciones generales de corrección, prevención y control del movimiento. En esta tesis se identifican dos deslizamientos en la zona.

En el capítulo 6 se presenta la descripción de los problemas identificados, la exploración realizada y un resumen de los ensayos de laboratorio ejecutados.

2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Como elemento fundamental en la formulación de la cartografía geológica, geomorfológica, geotécnica, y para efectos del análisis de amenaza y el planteamiento de las medidas de reducción del riesgo, se realizó un levantamiento topográfico detallado, escala 1:500, con el que se pretendió registrar de la manera más precisa posible, la morfometría de las laderas y escarpes, las franjas críticas de estabilidad, los procesos morfodinámicos, las unidades residenciales, la infraestructura de servicios públicos y todo tipo de estructura física presente en el sector de estudio (postes, pozos, escaleras, vías, entre otras). Dichas labores se adelantaron evolutivamente tal y como se describen en los siguientes numerales.

2.1 METODO DE TRABAJO

La actividad inicial consistió en la ejecución de la poligonal de amarre (primaria), requisito indispensable para la validez del levantamiento; posteriormente se localizaron en puntos estratégicos las estaciones para conformar poligonales internas (secundarias y auxiliares), base para la radiación de puntos.

Una vez materializada la poligonal de trabajo, se realizó el levantamiento topográfico detallado total, a escala 1:500 mediante el uso de estación total haciendo toma de los puntos topográficos relevantes y de aquellos que contribuyeran a una mejor modelación del relieve. Durante el levantamiento se realizaron esquemas explicativos para posterior seguimiento e interpretación del plano.

En la Figura 2-2 se presenta la nube de puntos realizada de acuerdo a la poligonal primaria, secundaria y auxiliar.

En oficina y con base en la información adquirida, se hizo procesamiento de puntos y generación de curvas de nivel cada medio metro (0.50m), además se hizo el dibujo que representa la geometría en planta de los diferentes elementos, toda la información se revisó en campo. El producto final se muestra en el Plano No. 1 y todos los insumos en el ANEXO 2-1.

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA POLIGONAL DE AMARRE

Para realizar la poligonal de amarre se utilizó información secundaria desarrollada en otros proyectos para el distrito en el área de trabajo y confrontada con información de vértice de IGAC por medio de poligonal de amarre.

Para la elaboración de topografía del barrio Colmena, ubicado hacia el sureste del área de estudio se ubicaron en el mes de mayo de 2005 vértices de amarre mediante un equipo Ashtech Step One de doble frecuencia, con base en el vértice 2010 certificado por el IGAC, calculado mediante el método estático diferencial (Ashtesh Solution Software).

Esta información se empleo por su cercanía a la actual zona de estudio, analizando la información obtenida en ese proyecto con el obtenido por medio de la poligonal de amarre que proviene desde los datos del Vértice IGAC CD-785-A. Se realizaron dos cambios o

traslado de coordenadas y chequeo hasta estos dos puntos de GPS. Estos puntos de amarre y el vértice IGAC se presentan en la tabla Tabla 2-1:

Tabla 2-1 Listado de coordenadas de los puntos de amarre

PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN
CD-785-A	95509.014	97915.393	2750.400	VERTICE IGAC
T1	95418.324	98050.120	2738.600	TRASLADO
T2	95498.220	98068.215	2732.500	TRASLADO
1	95516.398	98037.684	2730.451	GPS-3
2	95549.851	97993.861	2730.573	GPS-4

Los puntos GPS y el CD se encuentran materializados con concreto y placa metálica. Esta información fue utilizada para llevar la poligonal hacia el sitio de estudio. Esta distancia es corta en razón a que estos puntos de GPS se encuentran cerca del área de estudio utilizando solo un punto (D-1) para llevar la poligonal de amarre al área de estudio, además de que el punto o vértice IGAC se encuentra en una zona cercana.

El levantamiento se realizó con una Estación Total de precisión angular al segundo y con alcances de lectura con prisma sencillo de 1800 m de distancia en longitud, con capacidad para almacenar hasta 2000 puntos topográficos. En el ANEXO 2-1 se presentan el certificado de coordenadas IGAC del Vértice CD-785-A utilizado para el ajuste de coordenadas.

2.3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL ÁREA

En el trabajo de campo que se llevó a cabo con la ayuda de una estación total con aproximación en ángulo al segundo y en distancia al milímetro, hizo énfasis en las franjas que revisten importancia para la evaluación tales como: zonas críticas de estabilidad, zonas de erosión, accidentes topográficos, líneas vitales, infraestructura de servicios y viviendas. El barrido altimétrico y planimétrico se ejecutó bajo la aplicación de un procedimiento mixto, es decir tanto con la definición de los contornos de taludes en vías y detalles más relevantes, como con la captura de una nube de puntos para los detalles urbanísticos. El barrido con nube de puntos se destinó a la definición de elementos urbanísticos como: manzanas, pozos de inspección y vías. Complementariamente, se tomaron puntos adicionales en los vértices de las manzanas para su correcta definición y el ajuste de los predios de cada una de ellas.

La interpretación cartográfica se ejecutó con el empleo de un software especializado: bajo la aplicación de un modelo de interpretación dirigida. Esto significa que se definieron y respetaron las barreras físicas actuales para condicionar la interpretación a éstas, sin permitir el desempeño del software a su libre esquema de triangulación. En este sentido jugaron un papel importante las observaciones de campo y el contorno de la zona en estudio.

2.3.1 Descripción de la poligonal de cierre

Una vez georeferenciada el área a través de la poligonal de amarre, se procedió al cierre y ajuste de la poligonal por medio de una poligonal principal dentro del área de estudio.

Esta poligonal esta conformada por tres puntos los cuales son los mojones de referencia solicitados por la entidad en concreto y placa metálica (ver numeral siguiente). Desde estos puntos identificados como CACL se construyó la poligonal secundaria la cual incluye 33 estaciones de referencia, desde las cuales se establecen visuales de apoyo a los sitios radiados para la obtención de la nube de puntos. Sus coordenadas se muestran en la Tabla 2-2 y en la Figura 2-1

Tabla 2-2 Puntos de la poligonal secundaria

PUNTO	NORTE	ESTE	ELEVACION	REFERENCIA
5	95,537.3387	98,053.0000	2,728.937	AUX-1
6	95,529.5403	98,077.6792	2,730.890	AUX-2
7	95,532.7429	98,123.8159	2,734.527	D-U
8	95,520.8794	98,138.8812	2,735.794	AUX-3
10	95,664.6461	97,919.7361	2,715.305	AUX-4
11	95,678.7009	98,006.1726	2,707.535	AUX-5
13	95,724.5824	98,014.2205	2,701.019	AUX-6
14	95,879.7276	98,042.9853	2,674.260	AUX-7
15	95,969.6216	98,065.2335	2,664.419	AUX-8
17	95,953.1512	98,056.8667	2,666.392	AUX-9
18	95,924.2856	98,052.1751	2,670.435	AUX-10
19	95,826.0571	98,034.5296	2,679.588	AUX-11
20	95,771.3848	98,023.8148	2,690.908	AUX-12
22	95,647.9767	98,187.1800	2,710.653	AUX-13
23	95,663.4053	98,099.7044	2,701.366	AUX-14
236	95,625.8043	98,042.4873	2,713.637	AUX-15
394	95,715.1356	98,106.2117	2,694.761	AUX-16
395	95,687.3142	98,198.3510	2,707.566	AUX-17
665	95,786.6957	97,986.9964	2,688.369	AUX-18
666	95,792.8624	97,978.2740	2,688.451	AUX-19
667	95,764.6817	98,117.2462	2,691.534	AUX-20
668	95,746.4987	98,206.7151	2,701.769	AUX-21
847	95,809.8251	98,129.7691	2,688.099	AUX-22
848	95,794.4167	98,223.7808	2,694.054	AUX-23
1042	95,879.3770	97,993.5124	2,678.932	AUX-24
1043	95,857.8579	98,139.1830	2,681.968	AUX-25
1044	95,829.9941	98,227.0620	2,694.492	AUX-26
1045	95,847.3126	98,165.7803	2,684.939	AUX-27
1046	95,664.4122	97,963.8753	2,709.372	AUX-28
1376	95,986.0930	98,027.6716	2,663.023	AUX-29
1697	95,908.6339	98,146.4503	2,680.684	AUX-30
1877	95,932.3943	98,126.8299	2,678.669	AUX-31
2359	95,749.7285	98,145.2224	2,697.140	AUX-32

Figura 2-1 Localización de poligonales para el levantamiento topográfico

Finalmente desde cada uno de los puntos de la poligonal interna principal y los auxiliares se barrió en nube de puntos para un total de 3488. En total incluyendo los puntos de amarre, los mojones de referencia y auxiliares se identificaron 3524 puntos. En la Figura 2-2 se presenta la nube de puntos determinados.

2.3.2 Mojonamiento de referencia

En tres puntos se implementaron mojones en concreto con placa: CACL1, CACL2 Y CACL4, cuyos datos de coordenadas y elevación se relacionan en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3 Mojones materializados

Punto No.	Norte	Este	Elevación	Referencia
9	95651.6011	98001.1096	2713.050	CACL1
16	96002.4562	98123.6677	2681.287	CACL2
12	95587.9183	98135.9487	2724.464	CACL4

2.4 CORRESPONDENCIA CON CARTOGRAFÍA EXISTENTE

Se presentan dos planos de legalización del barrio del Departamento Administrativo de Planeación Distrital, DAPD para dos fechas: año 1963 (plano 461/4) y año 2000 (plano SC 50/4-00). El plano del año 1963 el cual abarca el mayor porcentaje del área de trabajo no cuenta con topografía y sin identificación de drenajes. Se identificaron en la Topografía actual el nombre de manzana y predio, teniendo en cuenta las divisiones de lotes que realizan comúnmente. Estos planos se presentan en el ANEXO 2-2.

La topografía del IGAC de los años 1981 en escala 1:2000 y del año 1960 en escala 1:5000 presentan condiciones en norte y este de iguales características pero para la cota existe alguna variación la cual se justifica en la precisión desarrollada en el proyecto y a las condiciones de corte y relleno que ha ocurrido en la zona. Estas condiciones serán analizadas en capítulos siguientes.

Figura 2-2 Nube de puntos

Plano No. 1 Levantamiento Topográfico

ANEXO 2-1 CARTERA DE PUNTOS DE TOPOGRAFÍA

ANEXO 2-2 PLANOS DE LEGALIZACIÓN DAPD

3 CLIMA, HIDROLOGIA, HIDRAULICA Y SISMOLOGÍA

3.1 INTRODUCCION

Dentro del marco de los estudios de riesgo por remoción en masa y compresibilidad del terreno y la evaluación de alternativas de mitigación, los análisis de los elementos climáticos del área juegan un papel importante, en particular los que se refieren al régimen de precipitación, como factor detonante de deslizamientos de laderas.

Por otra parte, es de gran importancia la evaluación de los procesos de escorrentía y su posible efecto sobre los problemas que se desea solucionar en este estudio. No menos importante es la evaluación hidráulica de las redes de drenaje tanto natural como artificial del área. En este estudio, donde el área afectada dispone de redes de alcantarillado y, de acuerdo con la cartografía de épocas pretéritas existieron drenajes naturales desaparecidos en la cartografía actual, es de particular interés determinar la capacidad de conducción de las redes de drenaje pluvial, de manera que se verifique su bondad para conducir de manera segura y eficiente los caudales generados en las cuencas de las quebradas y que eran conducidos por sus cauces antes de construir las redes de alcantarillado.

En este capítulo del informe se adelanta una caracterización de los elementos que constituyen el clima del área y se hace una cuantificación de los caudales generados en las cuencas y el análisis de la red de acueducto con respecto a la capacidad de conducir los caudales de avenida determinados.

3.2 CLIMA

La caracterización del clima del área se adelantó en función de los elementos que lo constituyen. Dentro de este orden de ideas, se adelantó el análisis del régimen de precipitación media y máxima en 24 horas, se caracterizaron los regímenes de temperatura, humedad relativa y de variación de los volúmenes de evaporación.

Para la realización de los estudios antes citados se contó con información pluviométrica y climatológica de la estación climatológica de Vitelma y con la pluviométrica de las estaciones El Delirio y Juan Rey, todas ellas operadas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

Las series de información de la estación Vitelma datan de 1942, período representativo para los análisis que se adelantaron. Las series de precipitación de El Delirio y Juan Rey corresponden al período 1981 a 2005. La ubicación de las estaciones se presentan en la Figura 3.1:

Figura 3.1 Localización Estaciones EAAB

3.2.1 Precipitación

Precipitación media

La determinación de los valores medios anuales y mensuales de precipitación se adelantó a partir de la información de las series de datos de las estaciones Vitelma, El Delirio y Juan Rey, como se mencionó antes

Los valores medios mensuales y anuales de las series históricas se presentan en la Tabla 3-1. Dado que, como se anotó antes, las series no corresponden al mismo período de información, fue necesario homogeneizarlas al período más largo, considerado representativo del régimen en el área.

Tabla 3-1 Precipitación media mensual multianual – series históricas (mm)

ESTACION	MESES												TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Vitelma	49.6	65.4	85.9	114	103	73.1	79.3	65.3	57.8	115	123	79.2	1010.8
Juan Rey	46.2	59.8	84.8	97.2	126	137	163	126	70.6	87.2	108	57.9	1164.0
El Delirio	56.7	76.9	99.2	98.6	135	143	178	131	71.3	98.0	97.3	61.8	1246.4

Para efectos de homogeneización se empleó la metodología de la proporcionalidad entre las series largas y cortas, utilizadas con éxito en otros estudios semejantes. La proporcionalita empleada en este caso se puede escribir como

$$(P_{x\,24} / P_{l\,24}) * P_{l\,64}$$

Donde

$P_{x\,24}$ es el valor medio de la precipitación en la estación de período corto, en este caso, 24 años

$P_{l\,24}$ es la precipitación media en la estación de período largo, para el período corto, 24 años en este caso

$P_{l\,64}$ es la media del período largo, en este caso 64 años

De la aplicación de esta metodología se obtuvieron los valores medios multianuales de las estaciones Juan Rey y El Delirio que se presentan en la Tabla 3-2:

Tabla 3-2 Precipitación media mensual multianual (mm) Series corregidas al periodo 1944-2004

ESTACION	MESES												TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Vitelma	49.6	65.4	85.9	114	103	73.1	79.3	65.3	57.8	115	123	79.2	1010.8
Juan Rey	41.9	59.8	70.3	116	129	144	135	111	75.7	91.6	101	59.4	1134.2
El Delirio	51.4	76.9	82.9	118	138	150	147	115	76.4	103	90.9	63.4	1213.3
Promedio	47.6	67.4	79.7	116	123	122	120	97.1	70	103	105	67.3	1119
P %	4.25	6.04	7.15	10.4	11	10.9	10.7	8.68	6.27	9.22	9.38	6.01	100

Del análisis de esta tabla se puede deducir que los valores mensuales de precipitación aunque son similares en las tres estaciones, los correspondientes a los meses de octubre, noviembre y diciembre son sensiblemente mayores en Vitelma.

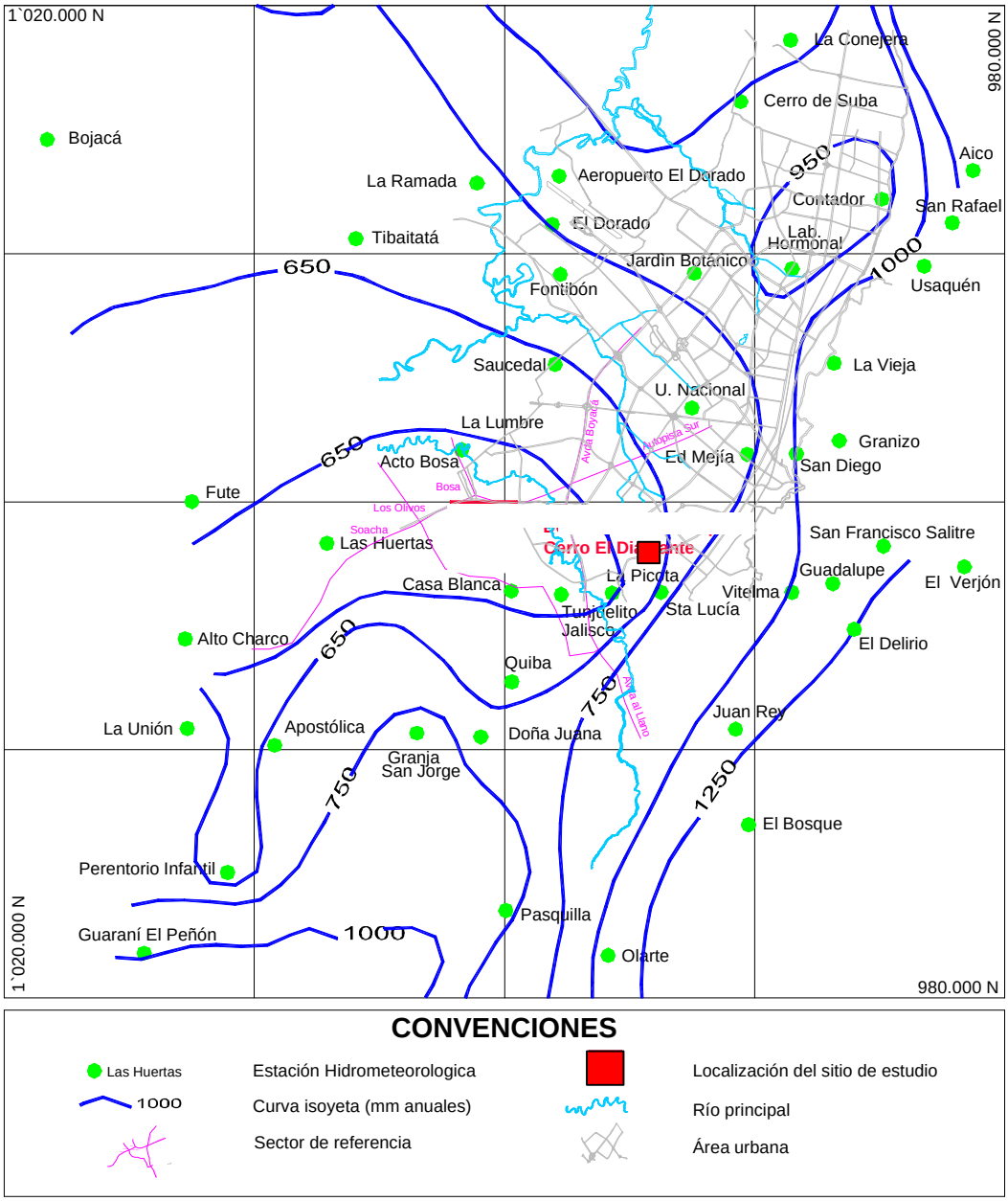
Los valores totales multianuales Para las tres estaciones son 1011 para Vitelma, 1134 para Juan Rey y 1213 para El Delirio.

Dado que no fue posible contar con información de un mayor número de estaciones con información sobre el área, la precipitación media se obtuvo como el promedio aritmético de los valores anuales correspondientes a las tres estaciones citadas. El promedio anual multianual de precipitación en el área es de 1119 milímetros.

Variación espacial de la precipitación

La distribución territorial y número de estaciones de registro de las cuales se dispuso de información no es suficiente para definir la forma como vería la precipitación en el área. Por esta razón se recurrió a la consulta de estudios realizados para el sur de Bogotá por el INGEOMINAS, de uno de los cuales se obtuvo el mapa con el patrón de isoyetas que se muestra en la Figura 3.2:

Figura 3.2 Variación espacial de precipitación

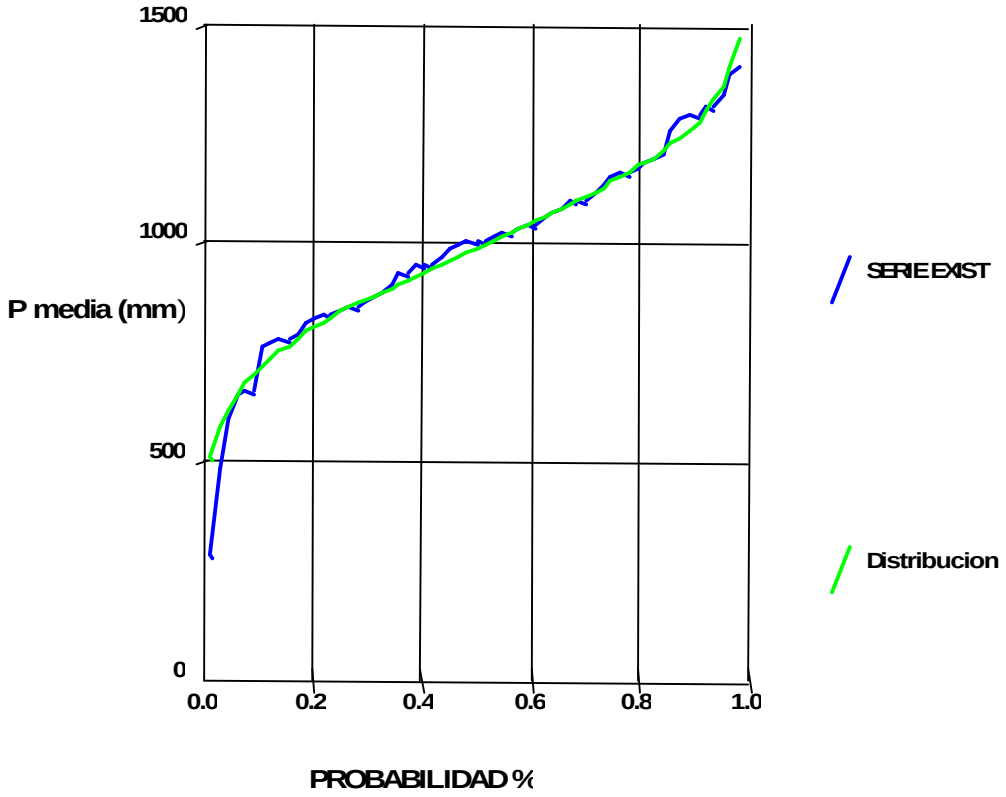


Del patrón de isoyetas del mapa se puede observar que en el área de interés la precipitación media multianual es del orden de los 1100 milímetros. En la parte oriental la precipitación es del orden de los 1200 milímetros aumenta hacia el sureste, disminuye hacia el occidente hasta valores medios por debajo de los 600 milímetros y muestra aumento hacia el norte donde alcanza valores cercanos a los 1200 milímetros nuevamente.

Variación temporal interanual

La variación de la precipitación en el tiempo se caracterizó mediante la definición de la forma como sus valores varían de un año a otro, denominada variación interanual. Con tal fin la serie de valores totales medios anuales de precipitación se sometió a análisis de frecuencia, para lo cual se realizó ajuste de la serie de la estación Vitelma a distribuciones teóricas, ya que como se consignó antes, consideramos la información de esta estación como representativa del régimen del área. La distribución teórica que presentó el mejor ajuste fue la Normal. La curva de distribución se muestra en la Figura 3.3:

Figura 3.3 Análisis de distribución



Del análisis de esta distribución se obtuvieron los valores de precipitación media para los períodos de recurrencia que se muestran en la Tabla 3-3:

Tabla 3-3 Valores de precipitación media para diferentes recurrencias

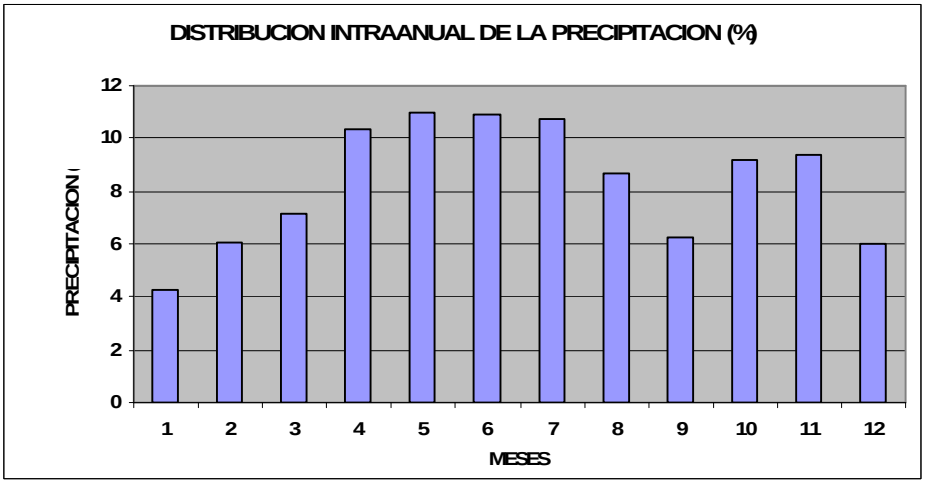
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	100	50	25	10	5
P MEDIA (mm)	1502	1441	1374	1270	1172

Adicionalmente, se deduce que la precipitación de recurrencia 100 años es 1,52 veces el valor de la media multianual; la de 50 años de recurrencia es 1,46 veces mayor que la de probabilidad 50 % cuyo valor extractado de la distribución es de 986 mm

Variación intraanual

La forma como la precipitación varía dentro del año, o variación intraanual se caracterizó mediante la determinación de la cantidad de precipitación media multianual correspondiente a cada mes en particular expresado como porcentaje de la precipitación total anual multianual, tal como se aprecia en la Figura 3.4 y en la Tabla 3-3.

Figura 3.4 Precipitación total anual multianual



De la observación de la Figura anterior se concluye que la precipitación en el área presenta una distribución bimodal definida por dos períodos de alta precipitación, separados por períodos de precipitación con valores que si bien no se pueden llamar bajos comparados con los de los citados antes, son ligeramente menores que estos. El primer período corresponde a los meses de diciembre a marzo. En él ocurre el 23,45 % del total anual de la precipitación.

Sigue a este período un período húmedo que alcanza el valor más alto en el mes de mayo y se extiende desde abril hasta julio. En el mismo se presenta el 43% de la precipitación anual. A partir de agosto se presenta una ligera disminución hasta finales de septiembre, en el cual ocurre el 14,95 del total anual. El segundo período húmedo corresponde a los meses de octubre y noviembre con un total de 18,6 % de la precipitación anual.

En la Tabla 3-4 se presenta el resumen de los demás parámetros de clima de la Estación Vitelma:

Tabla 3-4 Elementos de Clima Estación Vitelma

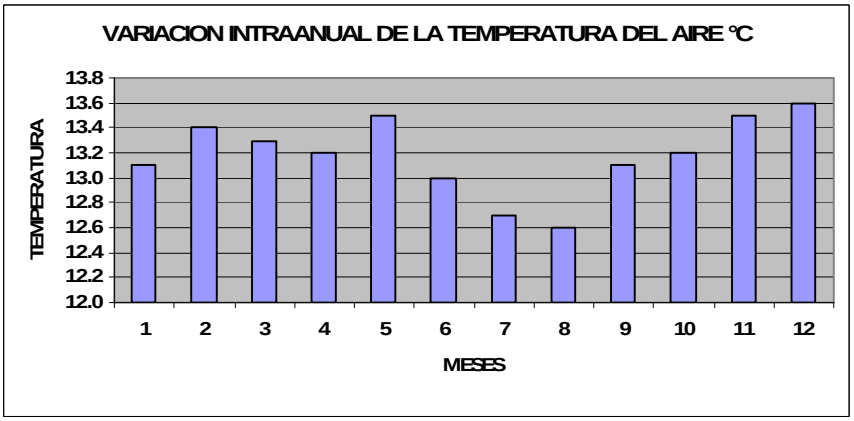
ELEMENTOS DE CLIMA ESTACIÓN VITELMA	MESES												VALOR ANUAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Temperatura media	13.1	13.4	13.3	13.2	13.5	13.0	12.7	12.6	13.1	13.2	13.5	13.6	13.2
Humadad Relativa %	75.0	77.0	78.0	80.0	80.0	80.0	81.0	79.0	77.0	79.0	82.0	79.0	79.0
Brillo solar (hr)	107.6	109.3	103.2	86.5	75.1	88.8	87.0	99.3	102.7	81.9	81.4	51.9	1 074.7
Evaporación tanque (mm)	59.1	63.8	67.1	59.7	56.3	56.2	52.9	54.9	63.0	52.8	59.4	52.9	698.1

A continuación se trata cada elemento de clima mencionado en la tabla anterior.

3.2.2 Temperatura del aire

La temperatura media del aire es más o menos constante a lo largo del año. La máxima variación es de 1,0 ° C entre el mes más frío, agosto y el más cálido, diciembre. con 12,6 y 13,6 °C , respectivamente. La temperatura media mensual anual es de 13.2 °C. En la Figura 3.5 se presentan los valores dados en la tabla anterior.

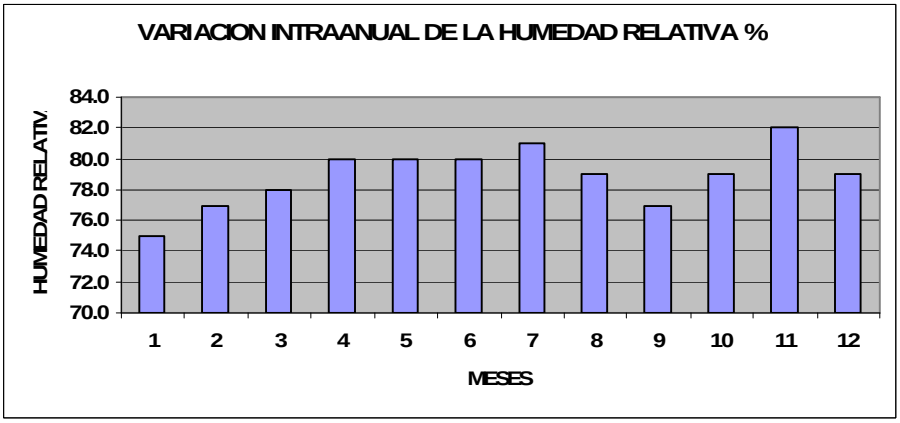
Figura 3.5 Temperatura del aire



3.2.3 Humedad relativa

La variación de la humedad es escasa, tan sólo del 7,5 % entre el mes más seco y el más húmedo, enero y noviembre, La humedad relativa media es de 79 %.

Figura 3.6 Variación de humedad relativa

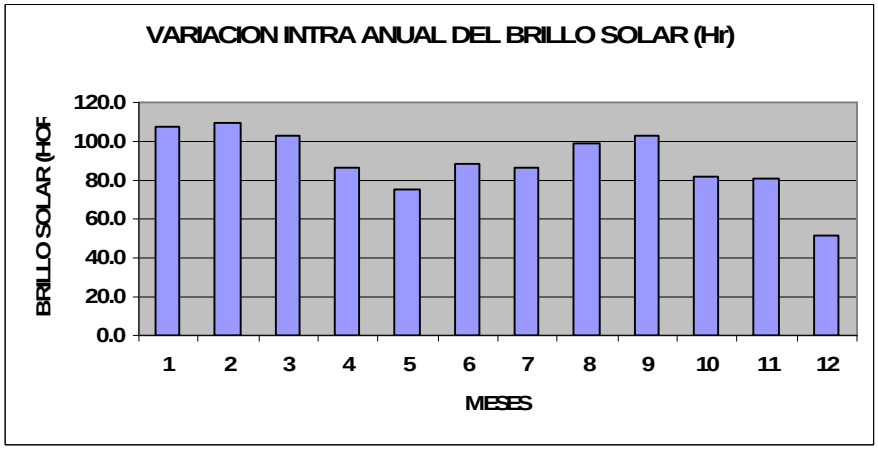


3.2.4 Brillo solar

Las horas de brillo solar varían dentro del año y se aprecian diferencias marcadas en algunos meses con respecto a la media mensual anual. Los meses de mayor presencia de sol son enero, febrero y marzo, y agosto y septiembre con valores cercanos a las 100

horas cada uno. El mes en que se observa menos el sol es diciembre, con cerca de 50 horas de brillo, es decir, el 50 5 de los meses a que se hizo mención antes. Los valores mensuales se aprecian en la Tabla 3-4 y la variación dentro del año en la Figura 3.7:

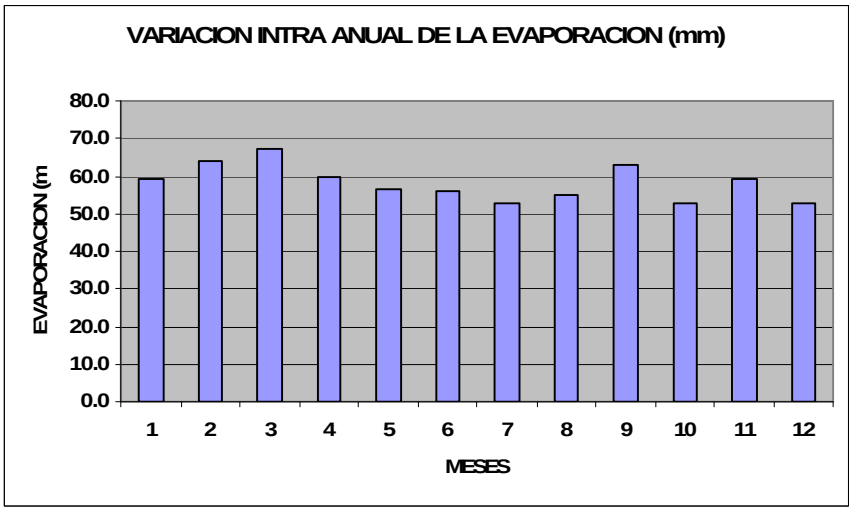
Figura 3.7 Variación brillo solar



3.2.5 Evaporación

Los valores de evaporación corresponden a los obtenidos de mediciones directas en tanque, en la estación Vitelma. Los valores más altos de evaporación ocurren en los meses de febrero, marzo y septiembre, en los cuales se conjugan las temperaturas altas y los menores valores de humedad relativa. Las cifras para estos meses están cercanas a 63 mm. El total anual es de 698 mm.

Figura 3.8 Variación evaporación



3.3 HIDROLOGIA

De acuerdo con la cartografía obtenida en el IGAC, elaborada en 1960 a partir de aerofotografías tomadas en 1968 y 1969, en el área donde hoy se asienta el barrio Atenas era surcado por tres (3) quebradas con dirección noreste. Estas quebradas se originaban en los cerros sur orientales o estribaciones occidentales de la cordillera oriental, a elevaciones cercanas a los2780 m.s.n.m.

La mayor de ellas, que para efectos de este estudio llamaremos Quebrada 3, tenía su cauce en la parte nororiental de la zona de estudio. Esta vertía sus aguas en cercanías del límite norte de la zona de estudio a la quebrada 1. Un poco más al sur y en predios del área de nuestro interés, desembocaba una tercer quebrada (Quebrada 2) proveniente de la parte sur occidental de las estribaciones occidentales de la cordillera oriental.

En la actualidad las quebradas antes citadas han desaparecido, presumiblemente debido a su canalización, aunque aún es posible apreciar en el relieve actual del área, la antigua localización de las quebradas 1 y 2.

3.3.1 Las cuencas

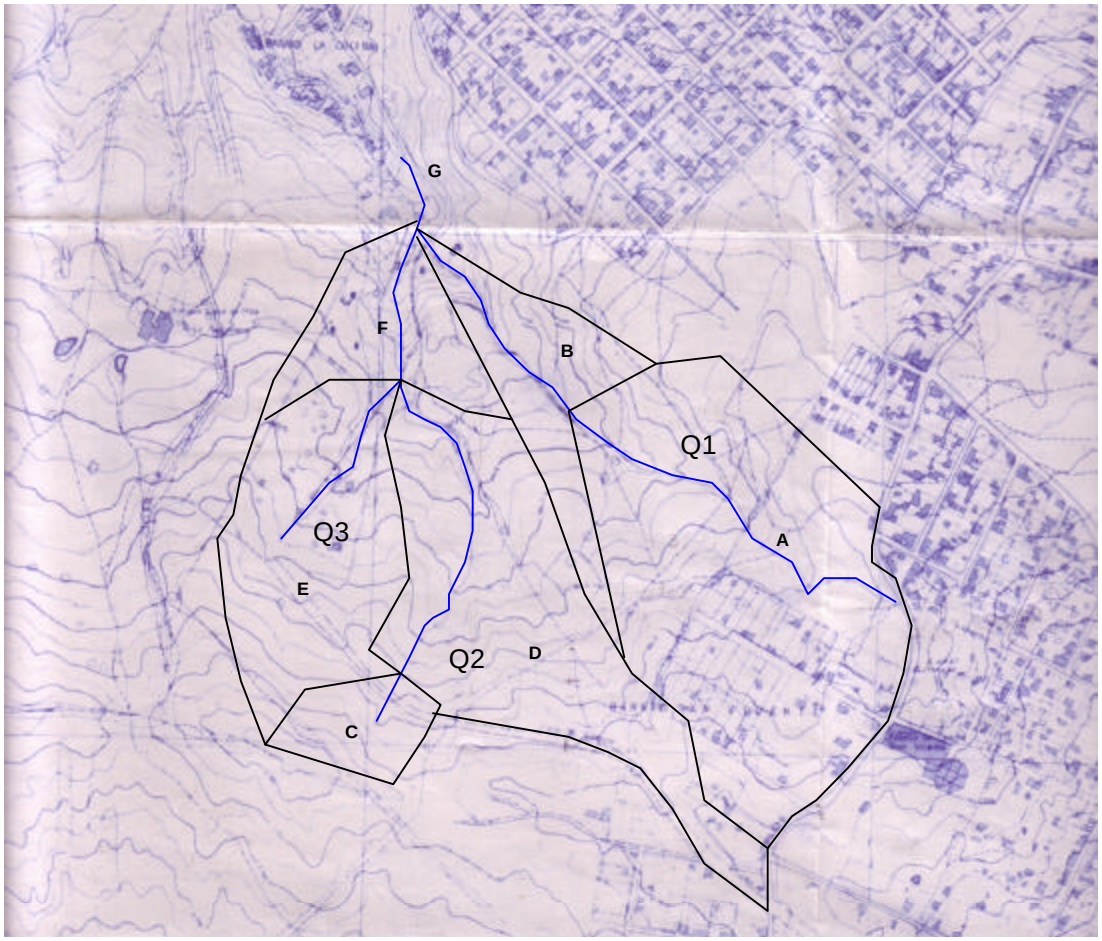
Puesto que se considera de fundamental importancia verificar el funcionamiento de los sistemas de drenaje empleados para su canalización si esta condición fue dada, tarea que se adelantará en una etapa posterior dentro del marco de este estudio, se pretende determinar los caudales de las quebradas en sitios de interés, por lo cual las cuencas correspondientes se han subdividido en concordancia y se han determinado las áreas de drenaje, longitud de cauces y pendientes correspondientes a cada uno de los tramos resultantes. Para adelantar esta tarea se empleó la cartografía en escala 1:5000 de 1960 elaborada por el IGAC.

Los elementos morfométricos para cada tramo definido se presentan en la Tabla 3-5:

Tabla 3-5 Elementos morfométricos de las quebradas

TRAMO	AREA ($m^{2)}$	LONGITUD DEL CAUCE (m)	DIF. DE ELEVACION (m)	PENDIENTE %
A: Q 1 entrada al barrio	106392	380	53	13,9
B: Q1 arriba confluencia con Q2	128040	600	80	13,3
C: Q2 a la entrada al barrio	12751	90	30	33,3
D: Q 2 arriba desembocadura de Q 3	85791	420	83	19,7
E: Q 3 en desembocadura en Q 2	46376	150	38	25.3
F: Q 2 en desembocadura en Q 1	150647	600	93	15.5
G: Q 1 a la salida del barrio	278687	640	75	11.7

Figura 3.9 Localización Elementos morfométricos – IGAC 1960 (sin escala)



3.3.2 Tiempos de concentración

Para el cálculo de los tiempos de concentración de cada uno de los tramos en que se subdividieron las cuencas de las quebradas, se empleó la fórmula del US Corps of Engineers

$$T_c = 0{,}3\ (L / S^{0{,}5})^{0{,}76}$$

Donde T_c es el tiempo de concentración en horas,

L la longitud del cauce y S es la pendiente del cauce.

Si llamamos A, B, C, D, E, F Y G a los tramos en que se han subdividido las quebradas, en el mismo orden en que aparecen en la tabla anterior, tendremos

Tabla 3-6 Tiempos de concentración de las subcuencas

TRAMO	T_C (Horas)	T_c (Minutos)
A	0,21	12,5
B	0,30	18,0
C	0,05	4,0
D	0,21	13,0
E	0,09	6,0
F	0,29	17,0
G	0,32	19,0

3.3.3 Cálculo de caudales

Dado que sobre las quebradas no se dispone de información sobre los caudales que transportan, se tuvo que recurrir a su determinación a partir de la información de precipitación.

Con tal fin, y puesto que se requiere conocer la magnitud de los caudales de crecidas, a la serie de precipitaciones máximas en 24 horas se le sometió a análisis de frecuencia de la estación Vitelma. A partir de la distribución de mejor ajuste, Gumbel Tipo I, se obtuvieron las precipitaciones de varios períodos de retorno, como se muestra en la Tabla 3-7:

Tabla 3-7 Valores de precipitación para las recurrencias indicadas

PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	P_{MAX} EN 24 HORAS (mm)
100	80,2
50	74,2
25	68,1
10	60,0
5	53,5

Precipitación de diseño

Habida cuenta de que no se conocen los valores de precipitación ni de su intensidad para duraciones de menos de una hora, se recurrió a la metodología expuesta por Hershfield y

otros, según la cual existen relaciones constantes, aplicables a diferentes lugares, entre la precipitación de una probabilidad dada y una duración específica. Adicionalmente, dependiendo del número de días con lluvia en el año, se definieron relaciones entre la precipitación de una hora de duración y la de 24 horas, como constantes independientes del período de recurrencia.

De la aplicación de las relaciones antes citadas se obtuvieron los siguientes valores de precipitación e intensidad para las recurrencias indicadas

Tabla 3-8 Precipitación de diseño para duraciones y recurrencias indicadas

	T_R = 50 años		T_R= 25 años	
DURACION (MINUTOS)	**PRECIPITACION (mm)**	**INTENSIDAD (mm/hora)**	**PRECIPITACIÓN (mm)**	**INTENSIDAD (mm/hora)**
5	11,1	133	10,2	122,4
15	21,1	84,4	19,4	77.6
20	22,6	67,3	20,8	62,4

Cálculo de caudales

Para la determinación de los caudales en cada tramo se empleó el método Racional. El coeficiente de escorrentía se adoptó igual a 0,70, dado que gran parte de las cuencas está urbanizada y las calles se encuentran pavimentadas. Los valores de caudal obtenidos para los mismos tramos que aparecen en las tablas anteriores se presentan a continuación:

Tabla 3-9 Análisis de caudal

TRAMO	T_R =50 AÑOS	T_R= 25 AÑOS
	CAUDAL (m^3/s)	**CAUDAL (m^3/s)**
A	1,74	1,60
B	2,10	1,93
C	0,33	0,303
D	1,41	1,29
E	1,20	1,103
F	2,47	2,273
G	3,67	3,381

3.4 SISTEMA DE RED MATRIZ, ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO

Es importante mencionar que en la zona se ubica la tubería de red matriz que comunica la planta Vitelma con la Planta el Dorado. Esta tubería se ubica bajando desde la Avenida Villavicencio por la Transversal 1 Este y luego doblar por la Diagonal 33 sur dirigiéndose hacia el barrio Bellavista. Esta tubería según la EAAB fue construida en el año 2003. Según reportes de la comunidad documentados por la DPAE se presentaron problemas de daño en viviendas por la construcción de esta tubería.

Además, según la cartografía de DAPD de 1960 se ubica una tubería antigua de 30” que drena desde la Avenida Villavicencio para por la Transversal 2 Este, se dirige por el colegio hacia el barrio Bellavista. De acuerdo a la evaluación inicial no se encontró indicios de esta tubería y solo se basa en comentarios de los residentes y del mapa DAPD.

La EAAB entregó en arc view del sistema de drenaje existente o por lo menos lo existente en información digital.

3.5 SISMOLOGÍA

La zona de estudio de acuerdo al Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá se ubica hacia lo que se conoce como Zona 1 – Cerros. Para esta zona el parámetro Am tiene un valor de 0,24, el cual debe ser utilizado para los análisis de estabilidad.

ANEXO 3-1 REGISTROS DE ESTACIONES

4 ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

4.1 ASPECTOS DE GEOLOGÍA REGIONAL

La zona trabajada hace parte de la parte baja de la porción sur de los Cerros Orientales de la Sabana de Bogotá y presenta una morfología de ladera con pendientes que varían entre 5 y 25º.

Se encuentra sobre una secuencia sedimentaria que hace parte del flanco occidental del Anticlinal de Bogotá y en la que predominan arcillolitas limosas multicolores, dispuestas en paquetes espesos que conforman la Formación Bogotá. La ladera se encuentra cubierta por suelos arcillosos de carácter residual y también por materiales fluvioglaciales con predominio de material arcilloso.

Figura 4-1 Mapa geológico zonal tomado de UPES – INGEOCIM 1999



El óvalo muestra la zona de estudio. Nótense los depósitos fluvioglaciares en cercanías del área de trabajo.

4.2 ESTRATIGRAFÍA

En este numeral se tiene como referencia la información del Léxico Estratigráfico Internacional (Julivert, 1968)[3].

4.2.1 Formación Bogotá (Tib)

Nombre: Propuesto por Hubach (1933). El nombre de esta unidad procede de la ciudad de Bogotá.

Edad: Paleoceno superior - Eoceno medio.

Área tipo y límites: La formación queda comprendida entre las areniscas de la Formación Cacho en la parte inferior y las de la Formación Regadera en la parte superior. Julivert le asigna como sección tipo el flanco oeste del Sinclinal de Usme (Valle del Tunjuelo) a lo largo de la Quebrada Zo Grande y del filo al norte de esta quebrada.

Características físicas de la roca en el área tipo: Conjunto de arcillolitas abigarradas, predominantemente rojas, con intercalaciones de arenitas de unos metros de espesor pero con gran predominio de las arcillolitas.

Características físicas de la roca en el área de estudio: Está conformada por arcillolitas limosas con variaciones locales a limolitas y arenitas lodosas de grano fino. Las arcillolitas son multicolores, con tonos variados de gris, blanco, pardo amarillo y rojo (con predominio de este último); generan suelos residuales de plasticidad media a alta, con variaciones fuertes de comportamiento de acuerdo al estado de humedad en que se presenten.

Las areniscas tienen alto contenido en líticos, son de color blanco a pardo-amarillo, con estratificación plano paralela continua y discontinua y plana no paralela continua. Son de grano fino a medio, esporádicamente grueso, competentes, con cementación moderada, en capas de menos de 3 metros de espesor.

Estas litologías se formaron a partir de sedimentos depositados en ambientes continentales de tipo fluvial.

Características geotécnicas y procesos morfodinámicos típicos:

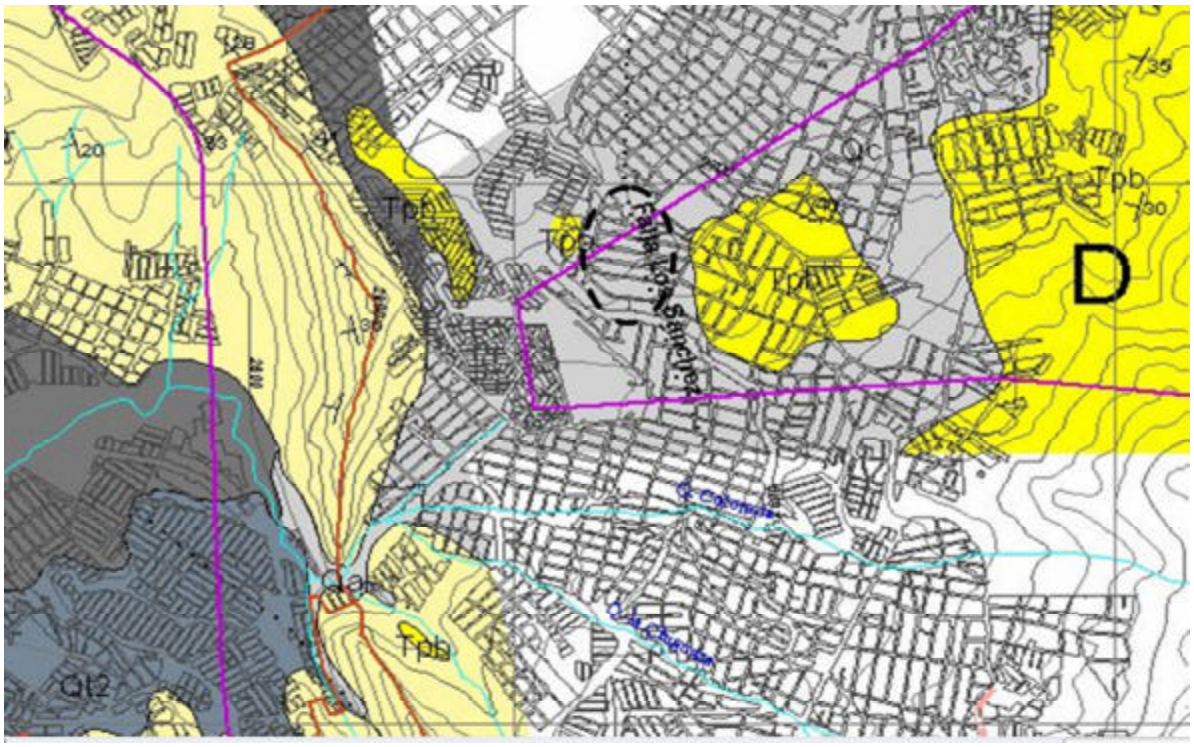
A nivel general, la Formación Bogotá en superficie presenta comportamiento de roca blanda o suelo residual arcilloso, con presencia de deslizamientos rotacionales y traslacionales generalmente de tamaños pequeños (menos de 500 m^2), flujos de tierra y reptación (movimientos lentos) que pueden aumentar su velocidad por cambios marcados de humedad (inducidos por causas naturales como precipitaciones por encima de lo normal o por causas antrópicas como desempate de tuberías de acueducto o alcantarillado). La morfología de la zona de estudio en la Localidad de San Cristóbal corresponde a una ladera monoclinal que buza con inclinaciones variables entre 20 y 30º hacia el occidente y que fue modificada en algunos sitios por actividades extractivas.

[3] JULIVERT, M. Léxico estratigráfico internacional. Vol V, fasc. 4ª Colombia. 1968.

4.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La zona de estudio se ubica en el flanco occidental del Sinclinal de Usme, el cual se encuentra en posición normal. El Mapa Geológico de Ingeocim – DPAE (1999) presentado en la Figura 4-1 no muestra pliegues ni fallas. Sin embargo, el mapa geológico del Potencial Geológico – Minero de Bogotá (Ingeominas – PNUD, 2000) muestra un rasgo inferido denominado Falla Los Sánchez, con dirección aproximada N10W.

Figura 4-2 Mapa geológico zonal tomado INGEOMINAS – PNUD 2000



El óvalo muestra la zona de estudio. Obsérvese la Falla de Los Sánchez, que atravesaría el Barrio Atenas.

4.4 GEOLOGÍA LOCAL

La zona de estudio es un área denudada por acción glacial y fluvial, enmarcada en dos contrafuertes montañosos: los cerros orientales, claramente cordilleranos (Cerro El Zuque) y cerros menos pronunciados ubicados al occidente (por el afloramiento de las areniscas de la Fm. Regadera). Es importante anotar que la totalidad del área de estudio se encuentra cubierta por urbanizaciones y por rellenos, razón por la cual es imposible el levantamiento típico de geología de campo (no existen afloramientos que permitan medir rumbo y buzamiento con brújula). La base de la cartografía fue la fotointerpretación y en ella, las unidades geológicas se definen a partir de sus formas.

A partir de las observaciones de campo, las perforaciones llevadas a cabo en el marco del estudio (ver Tabla 4-1) y en observaciones y mediciones llevadas a cabo por el responsable de la geología en zonas cercanas, se propone un rumbo de las estructuras sedimentarias subyacentes de N20W (obtenido a partir de fotointerpretación de rasgos en la zona de estudio y coherente con datos estructurales de zonas adyacentes) y un buzamiento de 25º hacia el oeste.

Tabla 4-1 Mediciones realizadas en zonas cercanas al estudio

ORGANIZACION	COORD ESTE (X)	COORD NORTE (Y)	Rumbo y buzamiento estratificacion
LADRILLERA MONTEBELLO	**99865**	**96219**	N30W/25W
LADRILLOS SAN MARCOS	**99802**	**96405**	N20W/25W
INDUSTRIA CERAMICA DE GRES AREVALO PRIETO LTDA INCEGRAP LTDA	**99783**	**95789**	N20W/25W
INDUSTRIAS EL TABOR LIMITADA	**99671**	**95712**	N15W/30W
TEJARES DEL ORIENTE LTDA PAC LTDA	**99925**	**96475**	N30W/30W
LADRILLERA QUINABE	**99949**	**96596**	N10W/30W
CHIRCAL EL TRIUNFO	**100014**	**96176**	N30W/35W
FABRICA DE LADRILLOS EL PROGRESO E U	**99813**	**96354**	N5W/25W
LADRILLERA FURATENA	**99547**	**96384**	N20W/25W
CHIRCAL EL CHAVOCAR	**99988**	**96195**	N20W/30W
CHIRCAL DIONISIO MARQUEZ	**99931**	**95985**	N20W/30W
LOS PINITOS	**99904**	**95892**	N22W/37W

El registro estratigráfico estudiado a partir de los registros de perforación permite proponer que los sedimentos que componen las rocas de la Formación Bogotá se depositaron, en mayor proporción, sobre llanuras de inundación. Dichos materiales están representados en todas las columnas estudiadas, intercaladas con depósitos de desborde de río hacia la base (columna 1). En algunos núcleos se reconocen suelos residuales provenientes de la alteración de la roca. Sobre estos materiales litificados se registraron suelos transportados (columna 5) probablemente con influencia fluvio-glaciar, en los cuales se encuentran guijos y bloques de areniscas con aureolas de oxidación provenientes al parecer de la Formación Arenisca Tierna y Labor del Grupo Guadalupe. Por último se reconoció sobre este cuerpo, un conjunto de depósitos de rellenos antrópicos.

A nivel general se proponen las siguientes unidades:

4.4.1 Formación Bogotá. Unidad lodosa (Tiblod)

Fotografía 4-1 Lodolitas (arcillolitas limosas) del Mb. lodoso de la Fm. Bogotá (Tib_{lod})

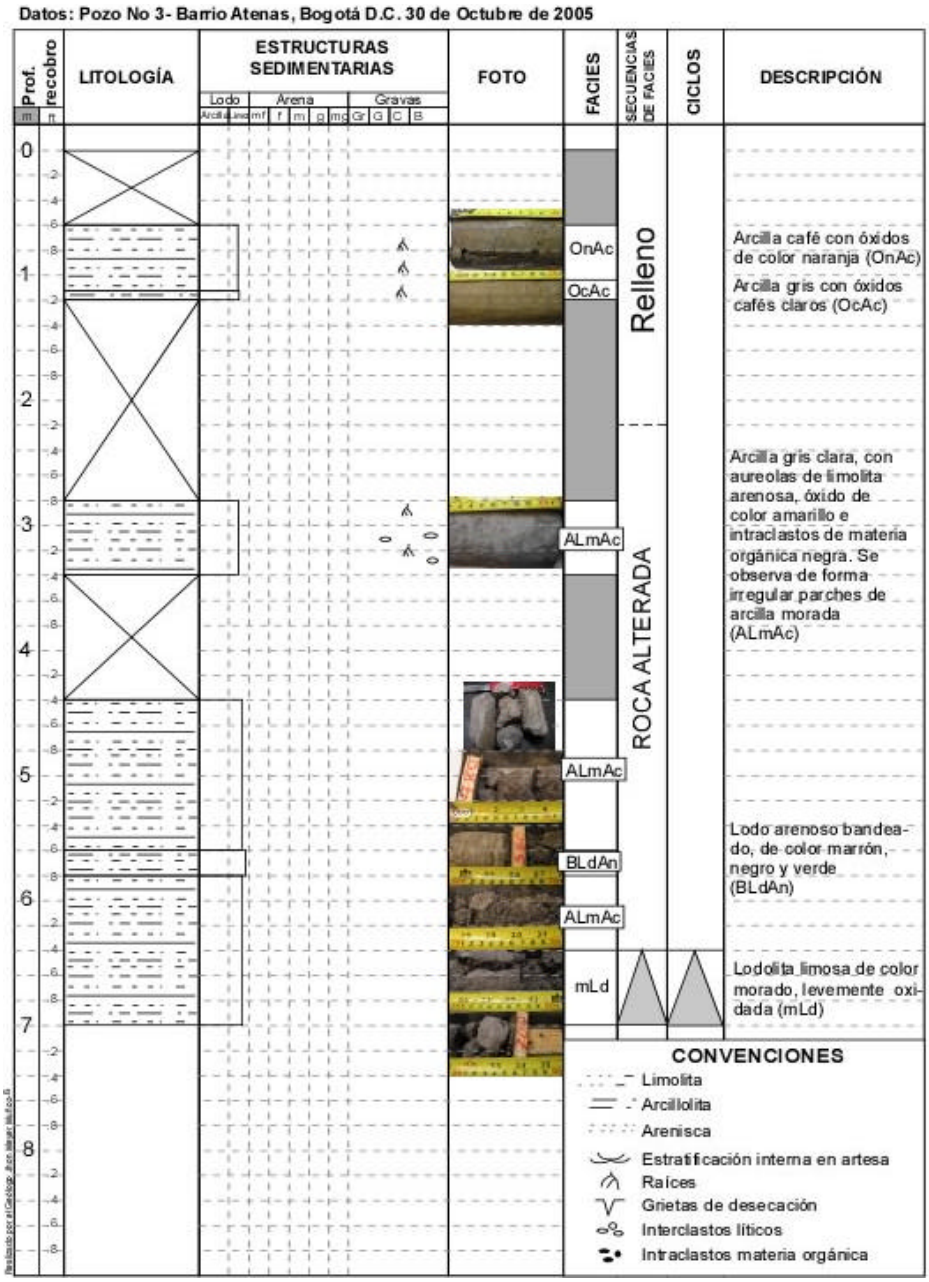


Nótese la ausencia de estructuras sedimentarias que permitan la medición de datos estructurales.

El término lodolitas se refiere a rocas blandas con mezcla de texturas arcilla y limo. El color de estos materiales es predominantemente rojizo, moteado con colores claros (gris, habano, blanco, etc.) en los horizontes superiores correspondiente a suelos residuales, probablemente por la influencia de niveles freáticos variables. El análisis textural cuidadoso muestra que las lodolitas gradan a areniscas lodosas de grano muy fino, con comportamiento geotécnico similar a las lodolitas (Ver Figura 4-3). Las lodolitas son “pastosas”, sin ningún rasgo de fisibilidad o laminación interna (se excavó una trinchera hasta 2,5 m de profundidad y no fue posible establecer la disposición estructural de la roca).

Esta unidad se encuentra alterada a suelos residuales rojizos, arcillo-limosos, de plasticidad aparente alta, consistencia blanda a muy blanda en húmedo. En seco se fisuran con un patrón principal espaciado 30 cm en promedio y un patrón secundario apretado (espaciado entre 0,5 y 3 cm). La apertura de las fisuras en el patrón primario puede alcanzar 5 cm, pero dichas fisuras no penetran a los horizontes de roca alterada.

Figura 4-3 Formación Bogotá. Unidad lodosa (Tib_{lod}) Pozo 3 – sondeo 3



4.4.2 Formación Bogotá. Unidad arenosa (Tibare).

Hacia la parte superior de la secuencia de rocas alteradas se encuentran niveles de areniscas lodosas de grano medio a fino, de colores rojizos a blancos, con moteamiento por concentración de óxidos de hierro, con estructuras sedimentarias tales como estratificación interna inclinada. Gradan a limolitas arenosas.

La cementación de estos niveles es moderada y su espesor no supera los 3 metros. Aunque están mezcladas con lodolitas, la expresión morfológica de esta unidad es diferente, con rasgos estructurales que permitieron definir de manera clara el rumbo de la estratificación y que además tienen un tono más claro en las fotografías aéreas antiguas, lo cual podría evidenciar un mejor drenaje en esta unidad, en comparación con la Unidad lodosa y con los suelos residuales y transportados predominantemente arcillosos.

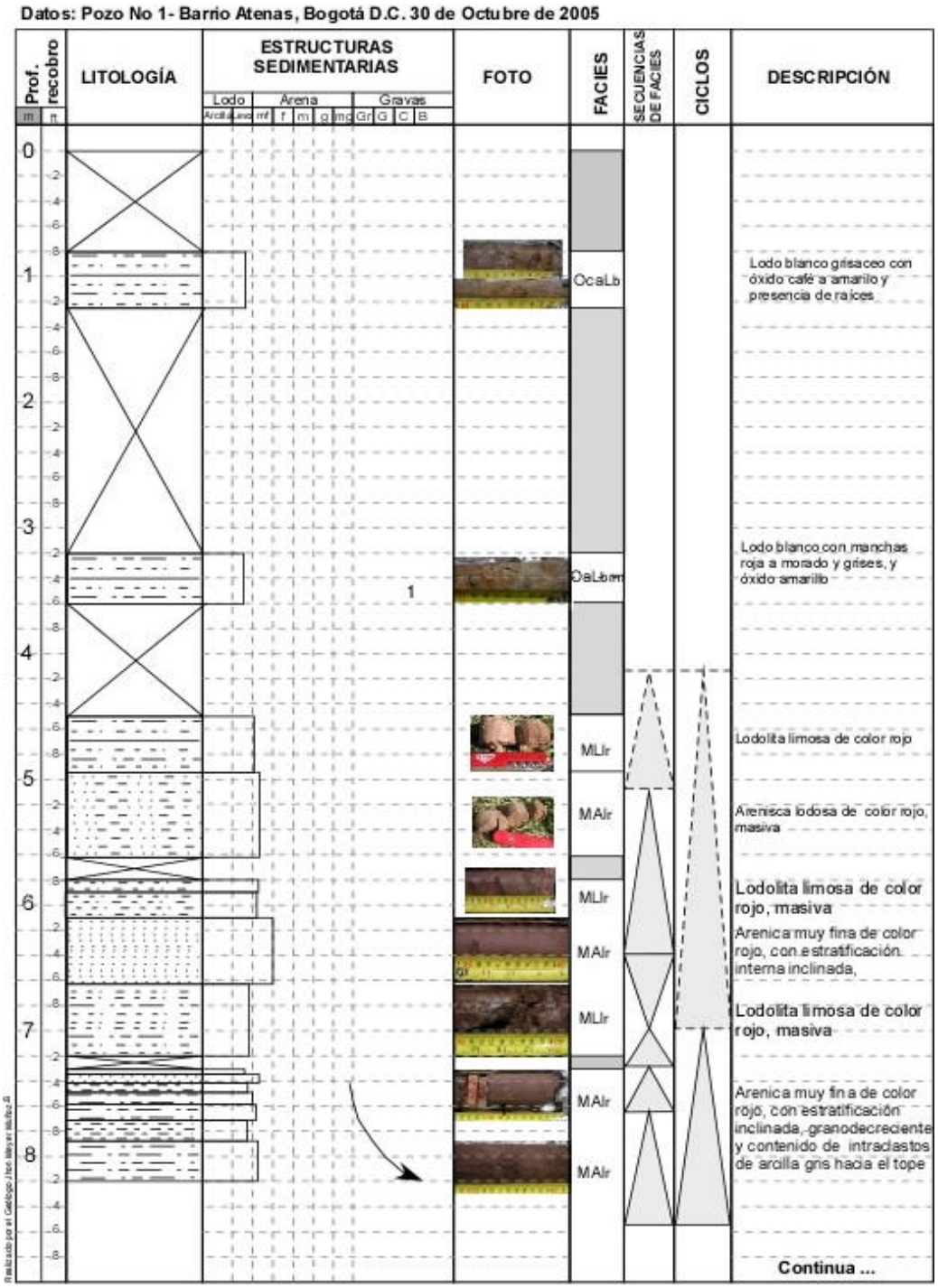
Esta unidad puede ser la transición entre los cuerpos predominantemente lodosos típicos de la Fm. Bogotá y las areniscas que son características de la Fm. Regadera, en cuyo caso constituiría la parte más superior de la primera Formación.

Los suelos residuales provenientes de estas unidades tienen alta plasticidad y el comportamiento ante los cambios en humedad es muy variable; el espesor típico de los suelos residuales en los lomos es de 50 cm.

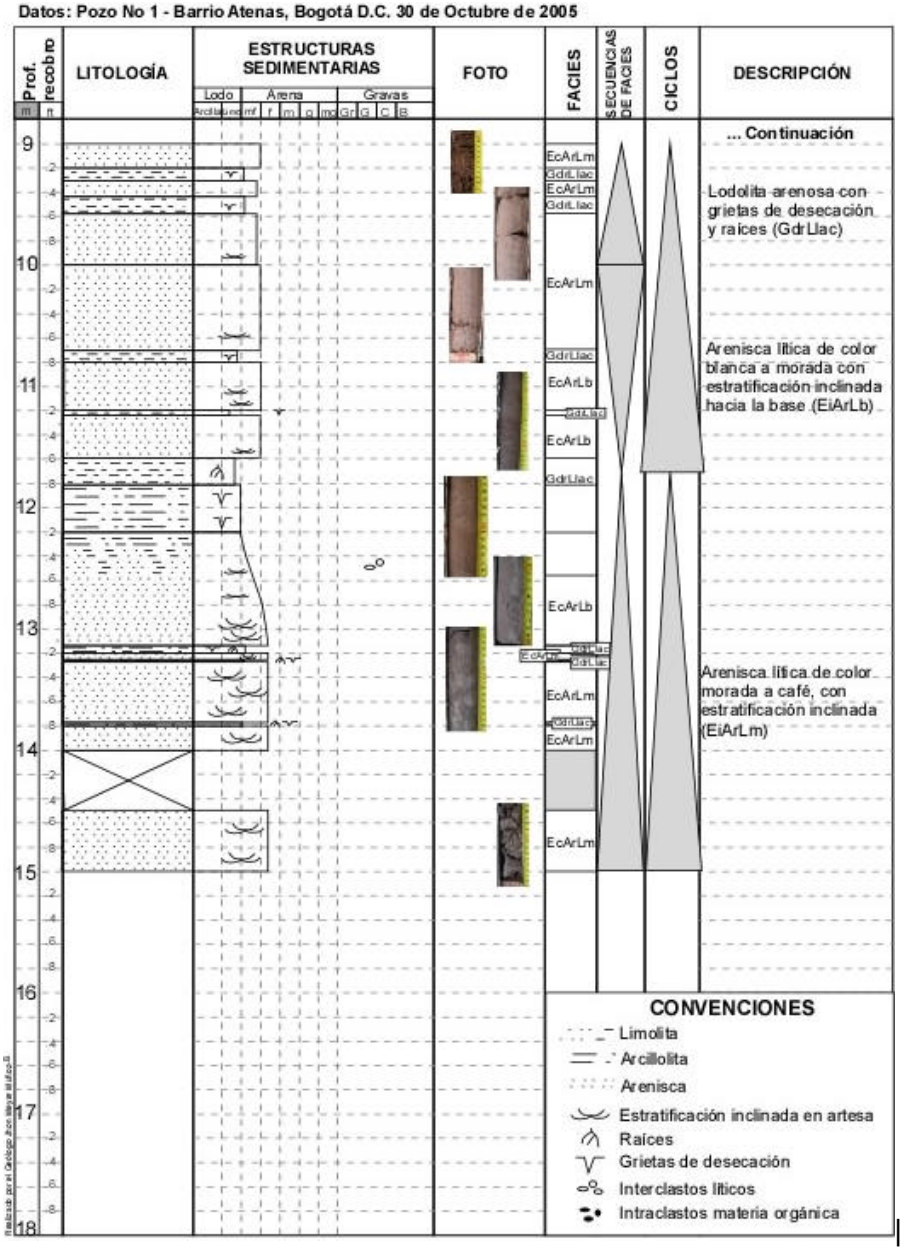
Fotografía 4-2 Recobro de areniscas líticas del Mb. arenoso de la Fm. Bogotá (Tib_{are})



Figura 4-4 Levantamiento estratigráfico detallado del sondeo 1 (pozo 1)



Nótese el predominio de areniscas lodosas sobre lodolitas, característico de la unidad Formación Bogotá – Miembro arenoso (**Tib$_{are}$**).



Nótese el predominio de areniscas lodosas sobre lodolitas, característico de la unidad Formación Bogotá – Miembro arenoso (**Tib_{are}**).

4.4.3 Suelos arcillosos transportados por procesos fluvioglaciares (Qfg).

Estos materiales arcillosos suelen tener alta humedad natural, son de textura lodosa (arcillosa – limosa), con alta plasticidad aparente, de colores predominantemente rojizos, moteados con óxidos de hierro y con parches de colores claros. En una de las perforaciones (No. 5) se atravesó un canto de arenisca cuarzosa dura, similar a las del Grupo Guadalupe. Estos suelos han sido remoldeados por transporte y se espera que sus parámetros de resistencia sean los residuales de las lodolitas de la Fm. Bogotá.

El espesor de estos materiales es menor de 5 metros y se disponen sobre suelos residuales arcillosos de comportamiento similar.

Dado que los procesos glaciales son característicos del Pleistoceno y que la última influencia fluvial en los materiales transportados es posterior al último retroceso glacial, se estima para estos materiales una edad Pleistoceno? – Holoceno.

4.4.4 Depósitos coluviales (Qc)

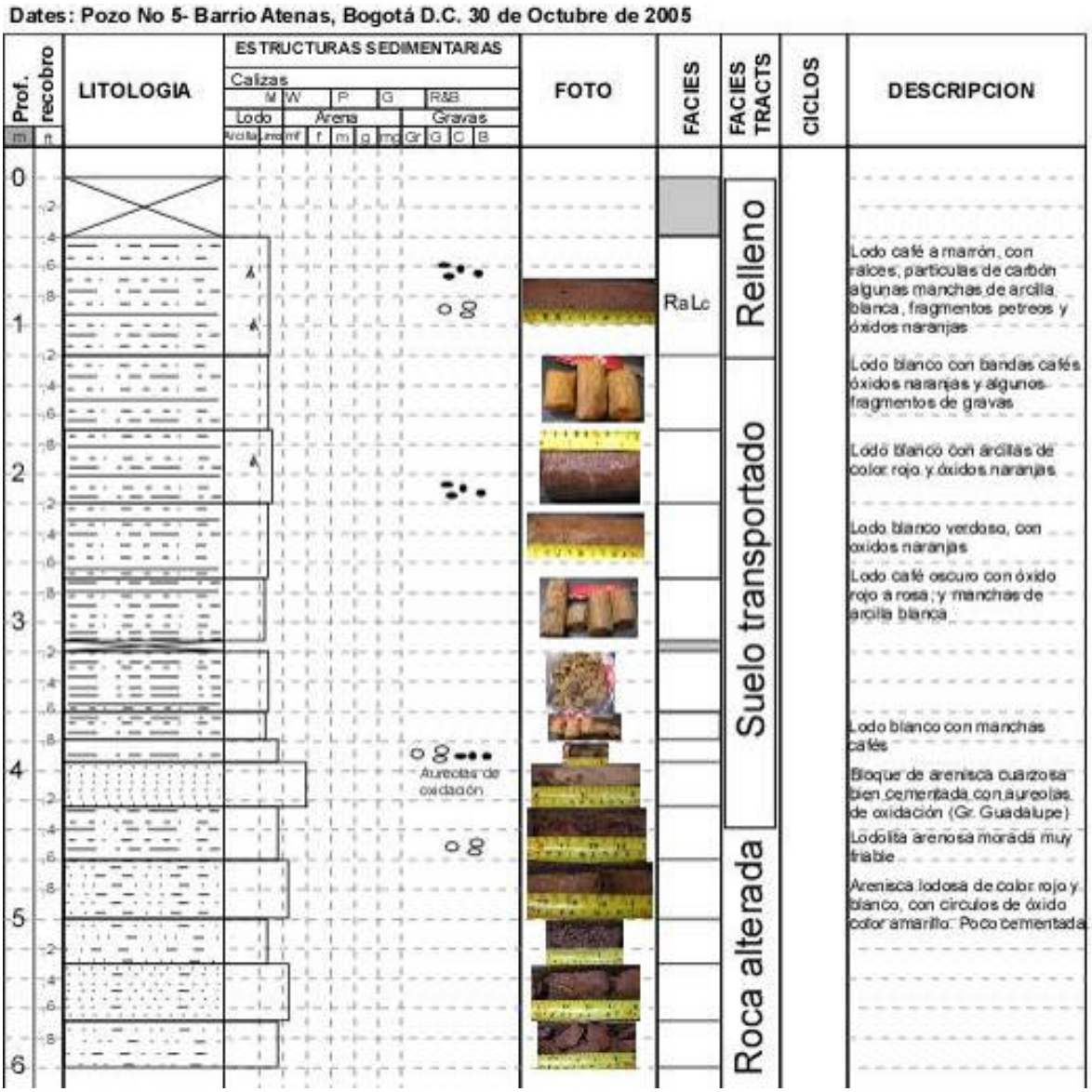
Estos materiales corresponden a las zonas que enmarcan la zona en la parte oriental y occidental (fuera de la zona de estudio) y están relacionados con laderas de alta pendiente, en las cuales se definió a partir de la fotointerpretación, la ocurrencia previa de procesos morfodinámicos, especialmente deslizamientos. Actualmente, estos materiales soportan zonas urbanizadas, razón por la cual no fue posible su observación directa.

Dado que se ubican sobre materiales lodosos y arenosos-lodosos de la Formación Bogotá, es de esperar que sean matriz-soportados en matriz arcillosa de alta plasticidad (con parámetros de resistencia residuales)

4.4.5 Rellenos antrópicos (Qra)

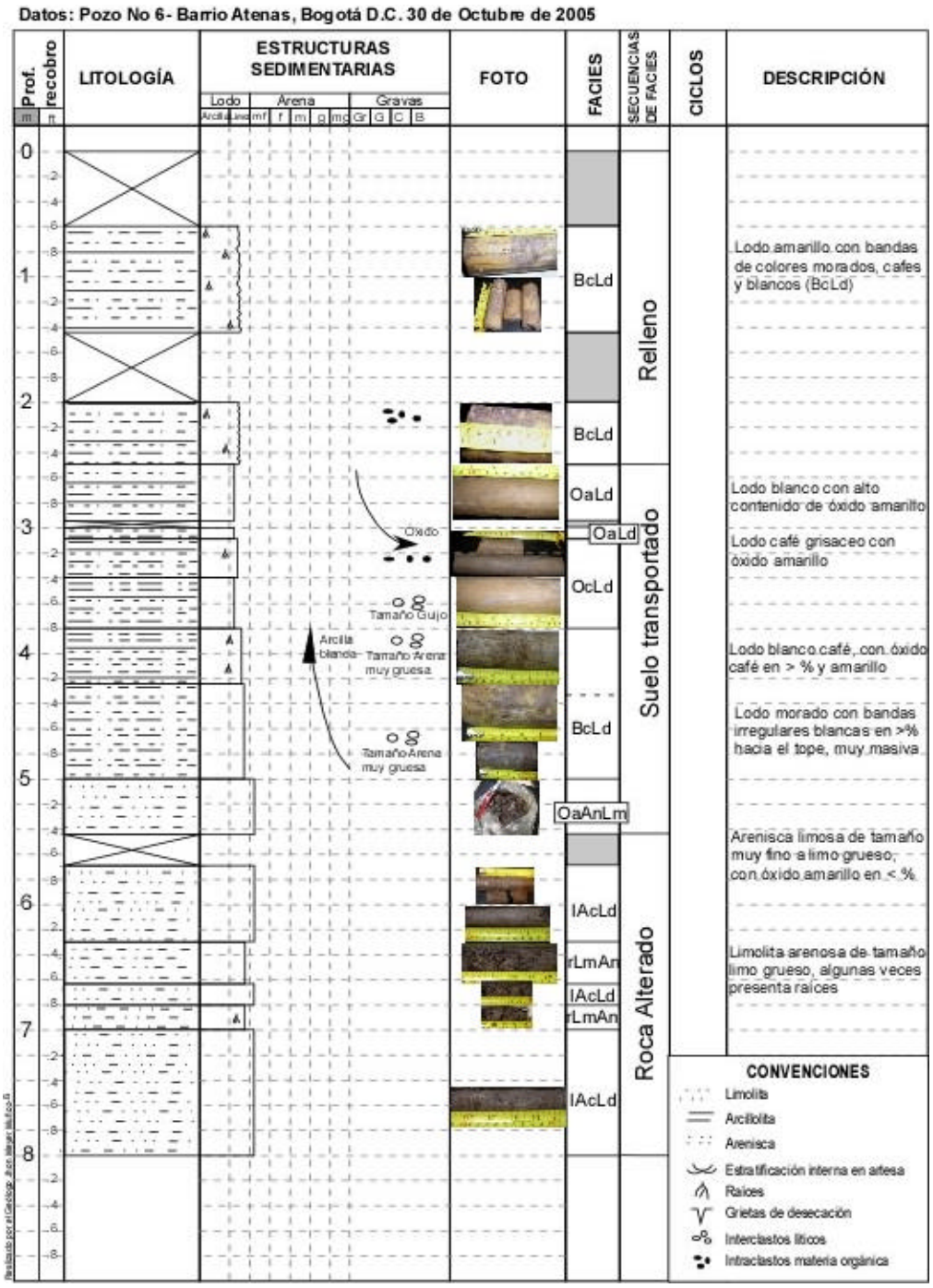
En estos materiales también predominan los lodos y arcillas. Son depósitos de color café a rojizo, con fragmentos de areniscas, concreto, carbón vegetal, materiales de construcción, basuras, maderas, etc. dentro de matriz arcillosa.

Figura 4-5 Levantamiento estratigráfico del sondeo 5 (pozo No. 5)



Presencia de suelos transportados por acción fluvio-glaciar (Qfg) y de rellenos antrópicos (Qra)

Figura 4-6 Levantamiento estratigráfico del sondeo 6 (pozo No. 6)



Presencia de suelos transportados por acción fluvio-glaciar (Qfg) y de rellenos antrópicos (Qra)

4.5 GEOMORFOLOGÍA

4.5.1 Morfoestructural

Figura 4-7 Morfología de la zona de estudio



Vista desde la parte baja. Nótese la zona baja, ubicada sobre vallecitos esculpidos por influencia fluvio-glacial.

La zona de interés se encuentra en la parte media - baja de una ladera de tipo denudacional que conforma un monoclinal con inclinación hacia el occidente en cuya configuración morfológica han actuado procesos como glaciaciones y procesos fluviales relacionados con el retroceso de las masas de hielo.

Según Van der Hammen (2002), durante las glaciaciones, que se presentaron muchas veces durante los últimos 2,5 millones de años (unas diez veces durante el último millón de años, con un periodo regular de glaciación de 100.000 años), los glaciares se extendieron (y se formaron donde antes no había), cubriendo todas las actuales áreas de páramo, bajando hasta unos 3.000 m de altitud. Durante periodos que podían durar muchos miles de años, estos glaciares se movían sobre le piso, excavando valles y hondonadas.

Es posible que la zona de estudio (ubicada aproximadamente a 2700 msnm) también haya sido afectada por la influencia glaciar, que en la zona de Bogotá pudo llegar, en su límite bajo a esta altura (Van der Hammen, 1995)

Al retirarse los glaciares al final de cada glaciación, dejaron un paisaje con relieve cada vez más pronunciado de valles y de hondonadas que se llenaron con agua (las actuales lagunas de páramo) o con pantanos.

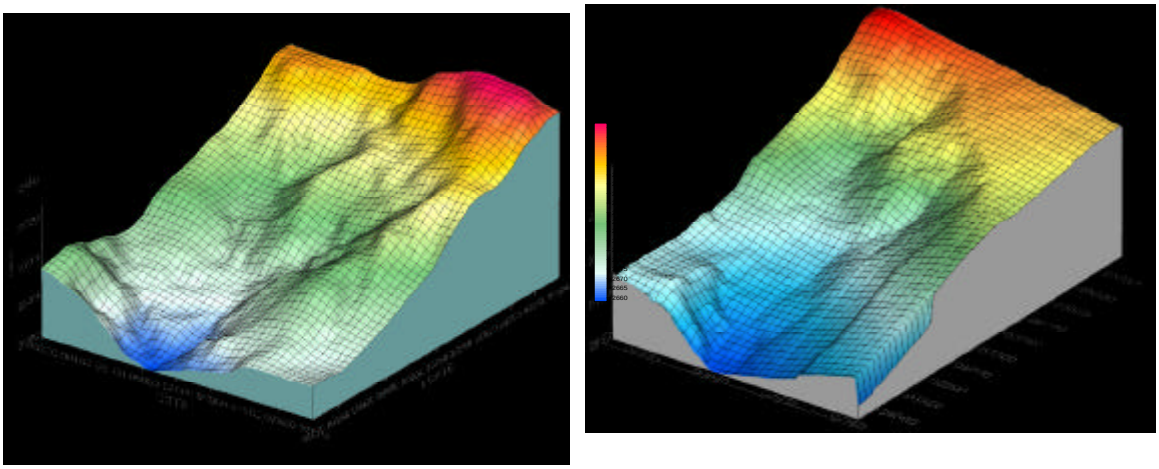
La influencia del hielo como agente geomorfológico puede explicar muy bajos parámetros de resistencia en materiales lodosos remoldeados y en las fotografías aéreas de la década de los años 50 del siglo XX se observaron zonas pantanosas (en las que los materiales lodosos humedecidos trabajan con sus resistencias residuales) que posteriormente fueron rellenadas.

Por lo expuesto anteriormente, es posible que aspectos geomorfológicos de aparentemente poca importancia en la actualidad como las glaciaciones hayan sido expuestos y tenidos en cuenta en la configuración del modelo geológico y geomorfológico conceptual que subyace el análisis geotécnico.

La ladera tiene una inclinación promedio de 10º, y correspondía antes de la intervención antrópica a pequeñas cuencas de drenajes con incisiones considerables sobre los materiales arcillosos que constituyen el substrato. Es probable que las zonas adyacentes a los ejes de los principales cursos de agua hayan sido afectadas por procesos fluvio-glaciales, con los cuales se remoldearon y posterior a la glaciación se transportaron suelos arcillosos ladera abajo mediante movimientos lentos (flujos de tierra), razón por la cual, dichos suelos transportados deben tener características de resistencia residual (con ángulos de fricción interna muy bajos, probablemente menores de 15º.

Posteriormente, el proceso de urbanización llevo a rellenar parcialmente los vallecitos (Figura 4-6) con materiales provenientes de las cercanías, es decir, arcillas también remoldeadas por corte, dispuestas en las laderas sin compactación ni ningún tratamiento de estabilización. Se reitera que los vallecitos principales eran zonas pantanosas, con las implicaciones que esto conlleva para la resistencia en materiales de media y alta plasticidad.

Figura 4-8 Modelo digital de la zona



A la izquierda, el modelo digital de elevación generado a partir de la topografía IGAC 1960 y a la derecha el correspondientes a la levantada en el marco de este trabajo (2005). Nótese como el entallamiento de cauces fue suavizado mediante el relleno para adelantar el urbanismo de la zona.

En este escenario, existen zonas de concentración de flujos de aguas subterráneos y superficiales a lo largo de los fondos de los vallecitos preexistentes, los cuales pudieron ser excavados por pequeñas lenguas glaciales y posteriormente rellenados de manera parcial y natural por materiales fluvioglaciales predominantemente arcillosos. Sobre estos materiales se dispusieron a su vez, rellenos antrópicos, en las zonas más bajas (las que

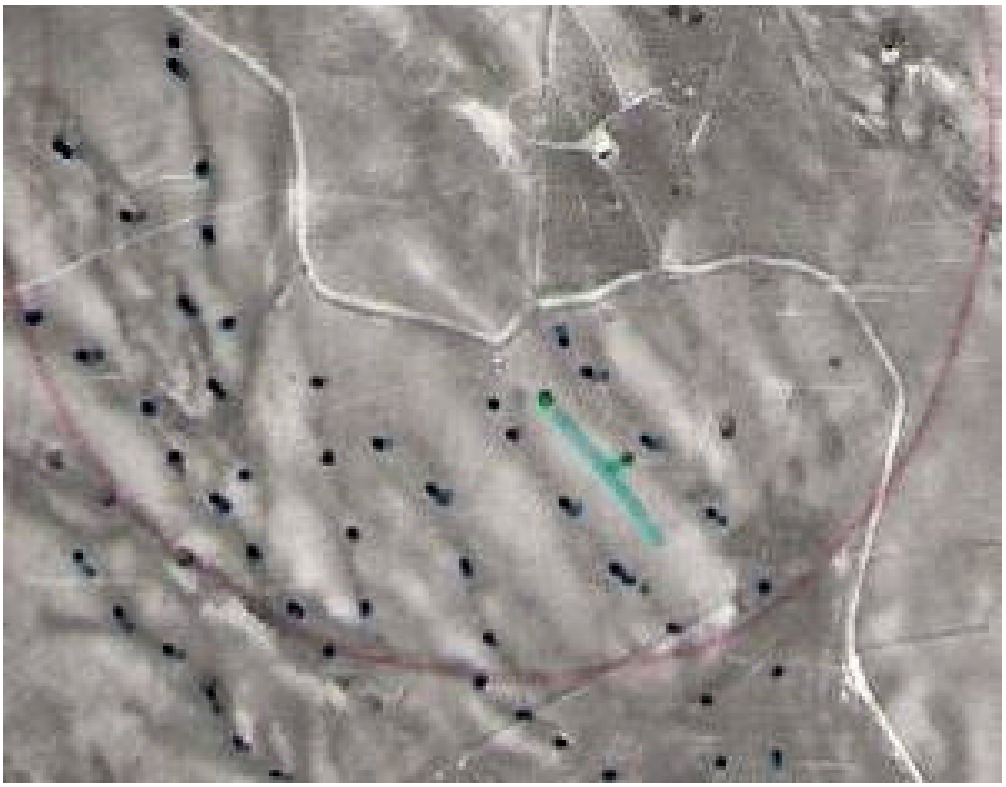
más concentran humedad) y a pesar de que las pendientes topográficas son bajas (menores de 25º), los parámetros de resistencia deben ser bajos, correspondientes a los residuales debido al remoldeo y transporte al que han sido sometidos los materiales de las zonas bajas.

Laderas estructurales – denudacionales sobre areniscas lodosas in situ

Estas laderas sobresalen en el relieve y constituyen las zonas más altas ubicadas al sur y al occidente de la zona de estudio. Antes de la intervención antrópica se observaban sobre esta unidad lomos suaves pero definidos que marcaban la disposición estructural de capas de areniscas un poco más resistentes que las lodolitas que caracterizan la mayor parte del área de estudio y sus zonas adyacentes. El patrón de drenaje es sub-paralelo, siguiendo las zonas entre lomos.

Las pendientes típicas de esta unidad son entre 15 a 30 grados.

Fotografía 4-3 Aspecto de la ladera estructural – denudacional sobre areniscas lodosas.



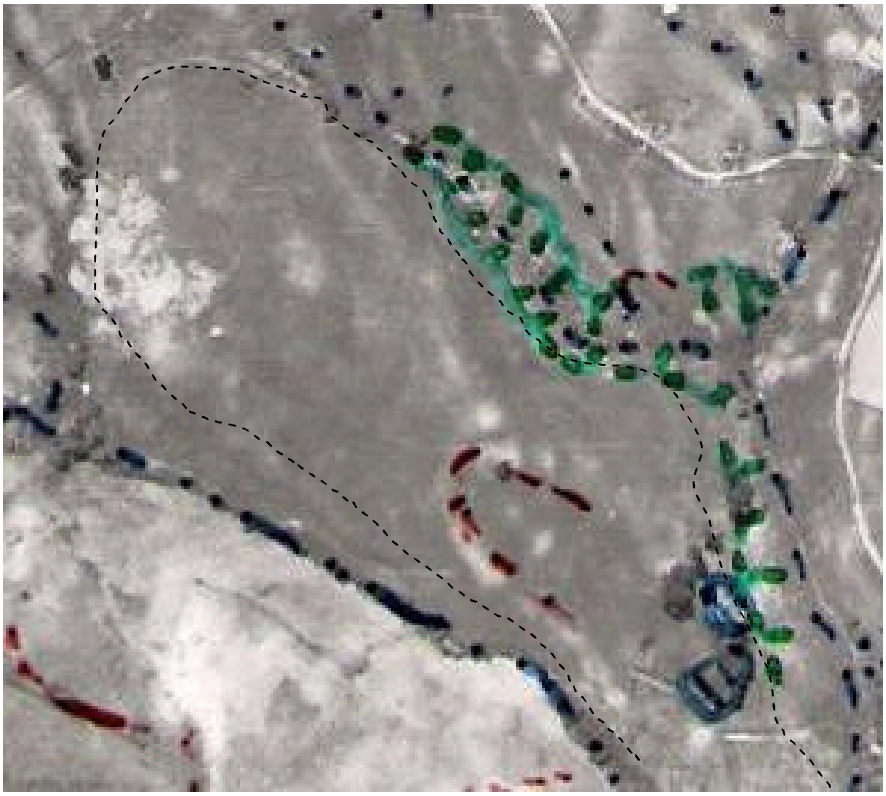
Nótese el color claro en comparación con las zonas de suelos transportados y la tendencia NW de los lomos suaves. Imagen tomada de la fotografía aérea No. 844, vuelo C336 de 1943.

Laderas denudacionales sobre lodolitas alteradas in situ

Estas laderas son zonas afectadas por el modelado fluvio – glaciar, pero no fueron transportadas sino que permanecen in situ. Enmarcan los suelos fluvio-glaciares hacia el oriente y pueden presentar fenómenos de remoción en masa muy lentos (tipo reptación). El patrón de drenaje es sub-dendritico, lo cual evidencia la baja permeabilidad de los materiales lodosos que la constituyen.

Las pendientes típicas de esta unidad son 10 a 15 grados.

Fotografía 4-4 Aspecto de la ladera denudacional sobre lodolitas (encerrada en la línea a trazos).



Nótese el color oscuro en comparación con las zonas de areniscas, pero menos oscuro que los fluvioglaciares adyacentes. Imagen tomada de la fotografía aérea No. 844, vuelo C336 de 1943.

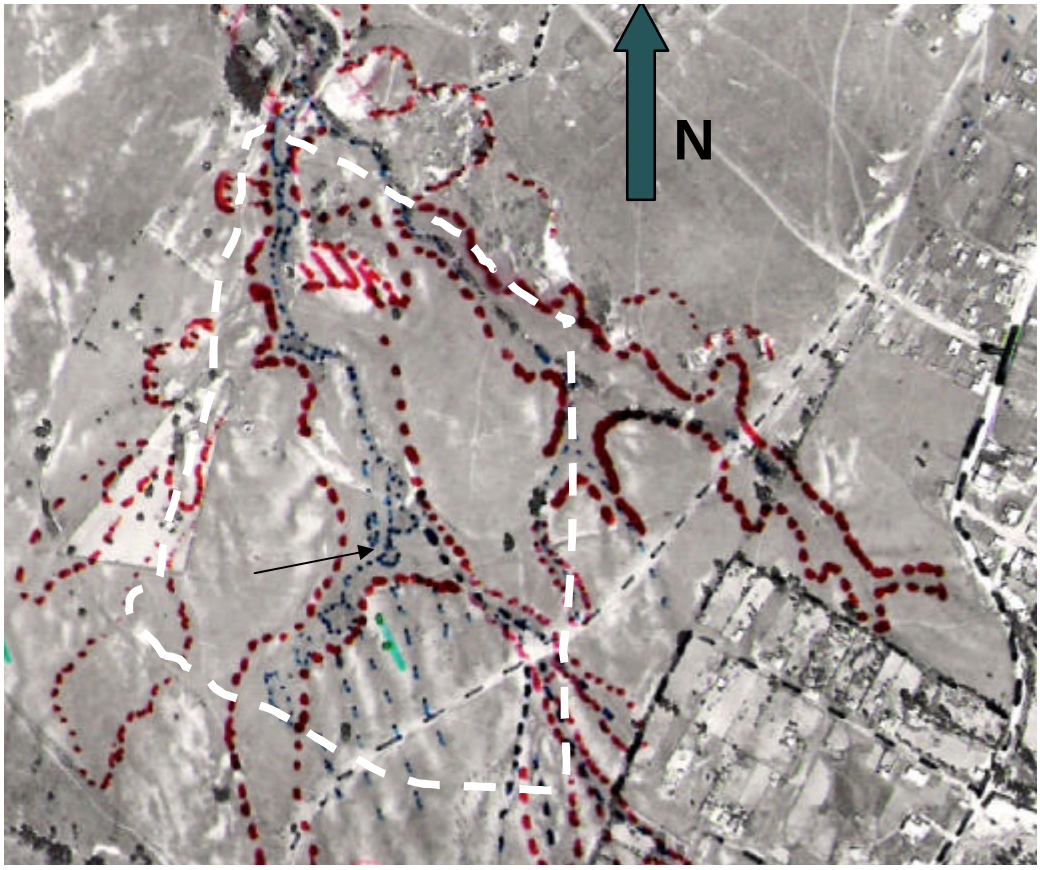
Vallecitos heredados de actividad fluvioglaciar

Estos relieves deprimidos marcan el entallamiento producido por agentes como lenguas glaciares y corrientes fluviales. Para la zona central del área de estudio no se presenta una incisión marcada sino un vallecito con sección en U (y no en V, propia de zonas sin

influencia glacial), por donde fluyen, de manera muy lenta, materiales lodosos con alta humedad natural.

Las pendientes típicas de esta unidad son 25 a 30 grados.

Fotografía 4-5 Aspecto general de la zona de estudio, con los vallecitos heredados de actividad fluvioglaciar definidos con líneas punteadas rojas.



La zona de estudio se ubica de manera aproximada dentro de la línea a trazos blanca. Nótese dentro del vallecito indicado con la flecha, la zona pantanosa.

Sub-unidad sometida a extracción de materiales

Son pequeñas áreas ubicadas dentro de las laderas denudacionales ubicadas sobre lodolitas que fueron objeto de extracción de materiales (chircales y barredos). De acuerdo con la fotointerpretación, los taludes de estos puntos no sobrepasaron los 5 metros, razón por la cual no generaron procesos de remoción en masa.

Sub-unidad de rellenos antrópicos

Las zonas de mayor entallamiento fluvial o glacial fueron rellenadas para lograr una topografía menos abrupta. En general se rellenaron las zonas de vallecitos preexistentes, con espesor de materiales dispuestos cercanos a los 5 metros.

4.5.2 Morfodinámica

Meteorización

La meteorización es el conjunto de procesos externos (físico-químicos) que causan la alteración y desintegración de los componentes de las rocas y los suelos.

Para el área estudiada, el factor principal de meteorización es de tipo hídrico, en la que el lavado de ciertos minerales, y la concentración de otros, lleva al cambio de los suelos originales en suelos tipo residual.

El espesor de los suelos residuales es menor de 50 cm, lo cual permite inferir que el área no ha tenido periodos largos de estabilidad en el tiempo, debido a procesos denudacionales que incluyen glaciaciones, deshielos y procesos de remoción en masa.

Erosión hídrica concentrada

Se definen como el grupo de eventos por medio de los cuales el material rocoso o los suelos son desprendidos o disueltos y transportados por el agua a lo largo de un eje lineal. Esto incluye, en el caso de los suelos, el movimiento de partículas arrancadas por el impacto de las gotas de lluvia que son transportadas en un flujo superficial.

Para la zona de estudio se encontraban surcos desarrollados en las zonas de alta pendiente, anteriores al desarrollo urbanístico.

Procesos de remoción en masa

? **Reptación**

Es el movimiento lento e imperceptible del material (roca o suelo) pendiente abajo, bajo la influencia de la gravedad. La reptación de suelos es una forma de remoción en masa que puede actuar sobre toda una ladera. Incluye el movimiento de suelos como fluido viscoso o plástico (Chorley et al., 1984). En este proceso, no hay una superficie de falla definida.

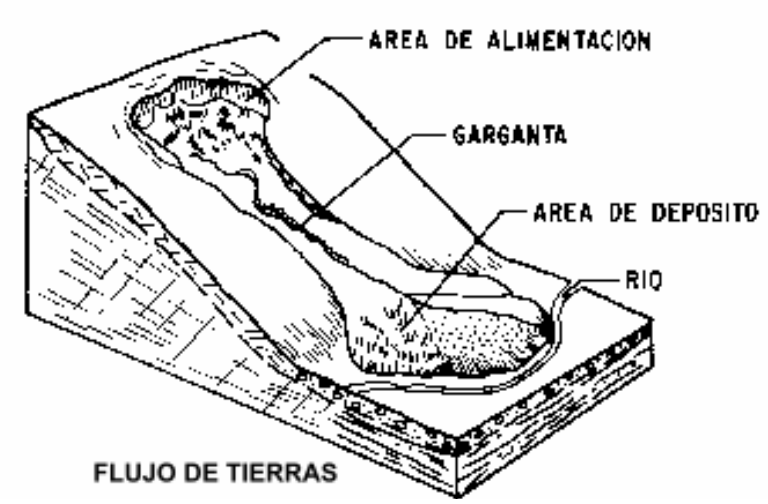
En la zona de estudio, este fenómeno debió presentarse en zonas ubicadas sobre litologías lodosas cubiertas por pastos (se infiere lo anterior de la situación actual en zonas no urbanizadas, en cercanías a la zona de estudio). En la actualidad, el cambio de uso de suelo y el control de aguas superficiales y subterráneas relacionado con el cubrimiento urbanístico no permite observar este tipo de proceso.

? **Flujos de tierra**

El movimiento se caracteriza por la velocidad relativamente baja y por desarrollarse sobre "material proveniente de meteorización, que pierde su estabilidad estructural por efecto del agua, originando desplazamientos con formas alargadas, lobuladas en su extremo inferior"

Estos procesos se presentan estabilizados o activos por la saturación de aguas en los materiales lodosos transportados por acción fluvioglacial.

Figura 4-9 Esquema de un flujo de tierras (Tomado de Varnes[4], 1978)



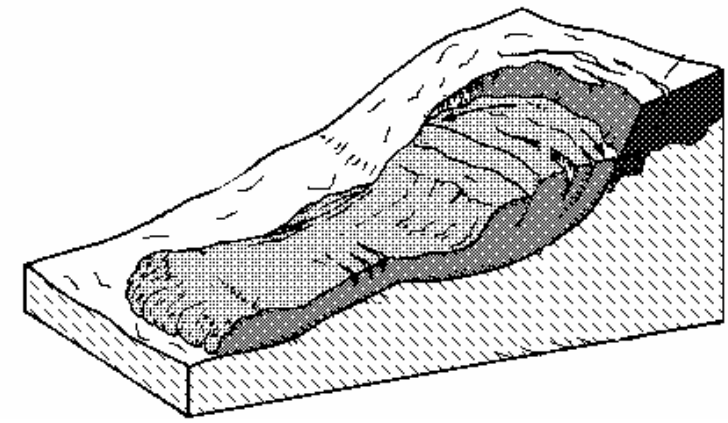
? **Deslizamientos**

El movimiento consiste de deformación por corte y desplazamiento, a lo largo de una o varias superficies que son visibles o pueden inferirse razonablemente, o dentro de una zona mas o menos estrecha. La rotura del talud no siempre es simultánea en todos los puntos de la superficie de falla, sino que puede propagarse desde una zona de falla local. La masa afectada puede deslizarse mas allá de la superficie original de rotura sobre el terreno natural (Invias, 1996).

Adyacente a la zona de estudio, la fotointerpretación permitió observar la generación de este tipo de procesos en laderas desarrolladas sobre lodolitas y arenitas lodosas en zonas de alta pendiente, producida por el entallamiento de cursos de agua.

? [4] Cruden, D. y Varnes D. Landslides Types and Processes. Universidad de Alberta. 1991.

Figura 4-10 Deslizamiento rotacional (Modificado de Millies – Lacrois, 1981)



4.6 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE PROCESOS DENUDACIONALES.

Este numeral se basó en el análisis multitemporal de fotografías aéreas, en el cual se destacaron los diferentes tipos de materiales, los cursos de agua, los rellenos antrópicos, entre otros aspectos relevantes.

Tabla 4-2 Fotografías aéreas de análisis

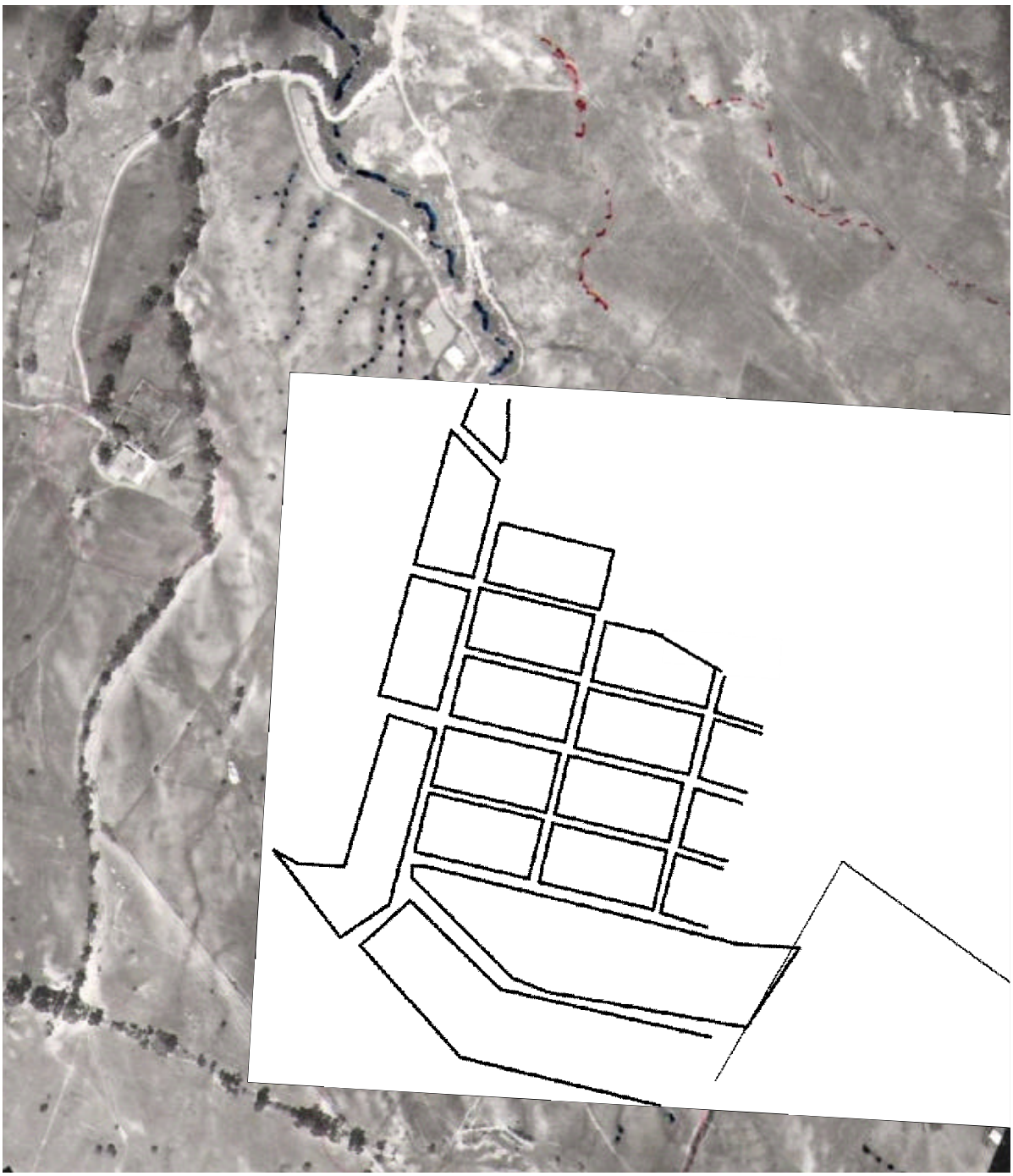
Vuelo	No. Fotos	Escala	Fecha
C336	843 y 844	1 : 7.500	1943
C772	273 a 275	1 : 2.000	1956
C1402	30 y 31	1 : 9.000	1972
C1927	15 y 16	1 : 8.000	1977
R1131	2018 y 2019	1 : 5.000	1990
C2717	47 y 48	1 : 21.000	2004

4.6.1 Vuelo C336 (Foto 844) de 1943.

La zona no ha sido intervenida por actividad urbanística. El uso de suelo corresponde a potreros y cultivos limpios (probablemente de hortalizas). Persisten algunas manchas de arbustos a lo largo del curso de agua que limita la zona de estudio por el oriente.

Se evidencia la inestabilidad de taludes altos sobre pendientes abruptas, fuera de la zona de estudio (hacia el oriente). En el tono de la fotografía es evidente la concentración de humedad a lo largo del entallamiento de corrientes y el mejor drenaje de las zonas ubicadas hacia el sur y el occidente, donde también es evidente el control estructural de pequeñas depresiones.

Hacia el centro de la fotografía se observa una franja alargada en la que el curso de agua que discurre por el centro de la zona de estudio ha incidido fuertemente, calculándose barrancos de máximo 5 metros de altura que limitan dicha franja.



Vuelo C336 (Foto 844) de 1943

4.6.2 Vuelo C772 (Foto 274) de 1956

Aunque la zona de estudio no muestra aun retículas urbanas, los procesos de urbanización avanzan por el sur, el norte y el oriente. Existen algunos puntos de extracción de materiales (barredos y chircales) con taludes que no debieron superar los 5 m. Las manchas arbustivas a lo largo del zanjón oriental han desaparecido.

En la zona central se pueden observar zonas pantanosas, a lo largo de los materiales de relleno fluvioglaciar natural.

Esta imagen fue la más importante en la definición cartográfica de unidades de materiales, puesto que en la actualidad casi toda la zona de estudio se encuentra cubierta por urbanización o rellenos.

A este momento, la única actividad antrópica (a excepción del uso agropecuario) que se observa dentro de la zona de estudio es la extracción puntual de materiales.

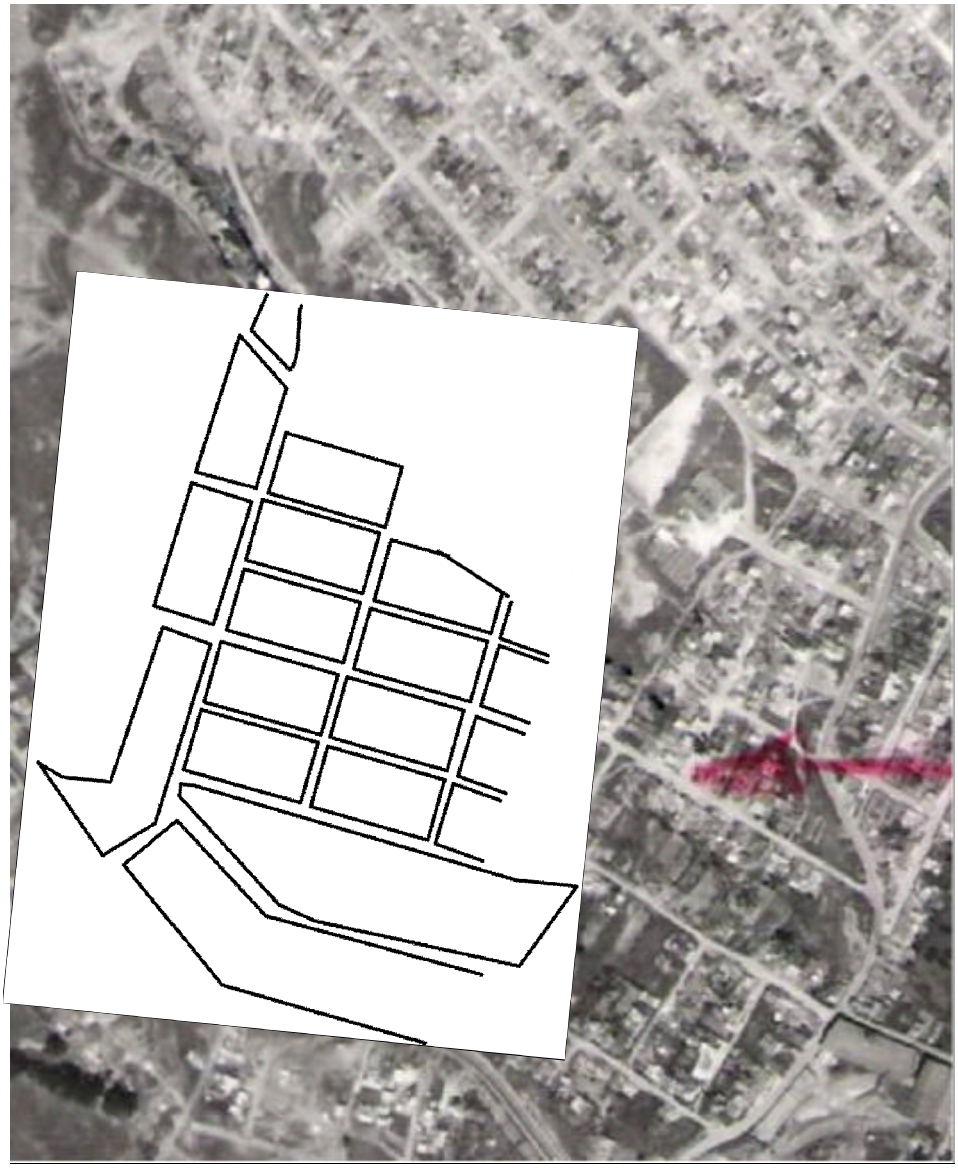


Vuelo C772 (Foto 274) de 1956

4.6.3 Vuelo C1402 (Foto 031) de 1972

La totalidad de la retícula urbana que persiste en la actualidad ha sido ya conformada, si bien es cierto que dentro del manzaneo no se han construido en este momento algunas viviendas. La zona verde adyacente al Colegio ya se ha delimitado. Los cursos de agua de la zona central han desaparecido, cubiertos por las viviendas y únicamente se observa el zanjón oriental.

En la interpretación ya alcanza a evidenciarse el relleno de las zonas entalladas, previa al proceso de urbanización.

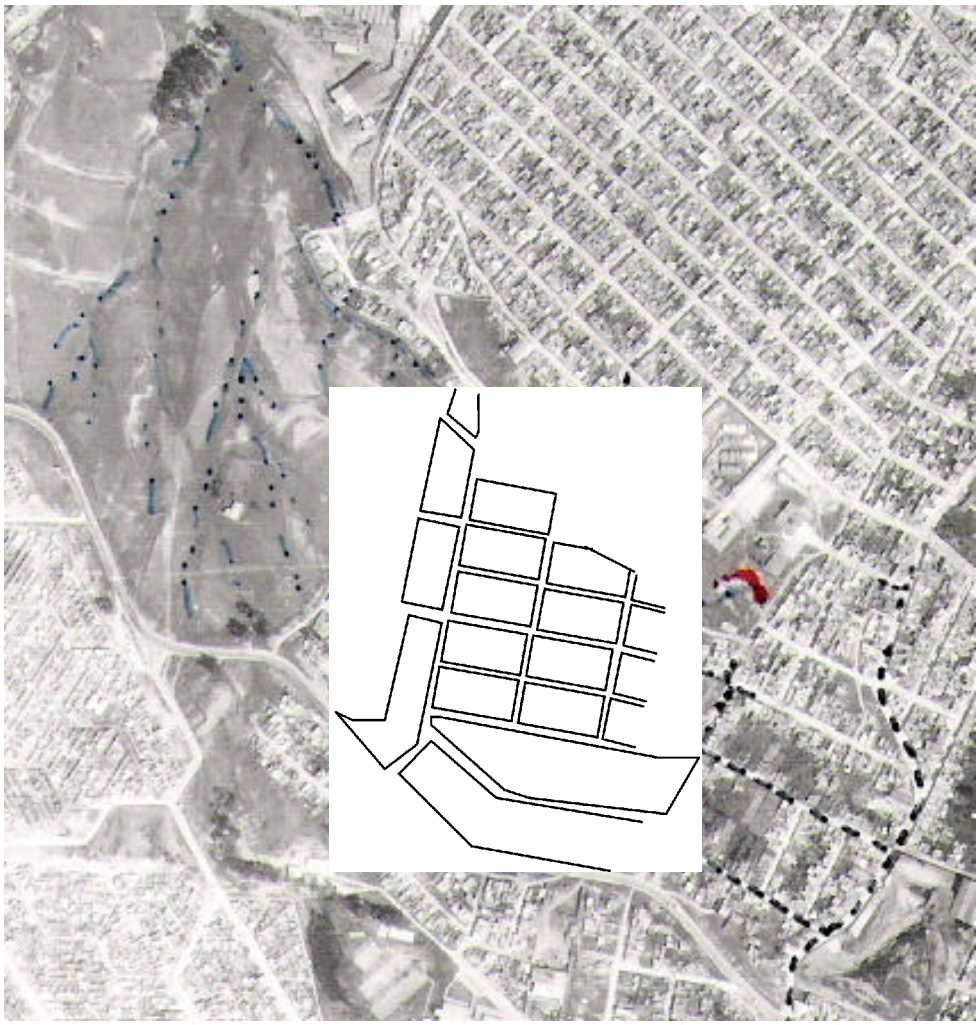


Vuelo C1402 (Foto 031) de 1972

4.6.4 Vuelo C1927 (Foto 16) de 1977

La situación es similar a la de 1972. Persisten las zonas verdes (la adyacente al colegio, la adyacente al actual Salón comunal y la zona abrupta que limita la zona de estudio hacia el oriente. En esta imagen se observa la cercanía de los cerros formados por el afloramiento de la Formación Regadera (Cerro de Guacamayas), lo que permite inferir que la zona de estudio reposa sobre materiales de la parte superior de la Fm. Bogotá.

La zona sur del área de estudio (actual Villa de Los Alpes) presenta evidencias de inestabilidad y de gran concentración de humedad en materiales fluvioglaciales.



1.6.4. Vuelo C1927 (Foto 16) de 1977

4.6.5 Vuelo R1191 (Foto 2018) de 1990

Esta imagen fue útil para definir zonas de rellenos antrópicos posteriores a los que sirvieron para el proceso de urbanización. A partir de lo anterior se puede inferir que las actuales zonas verdes se encuentran cubiertas en mayor o menor grado por este tipo de materiales. Los rellenos de la zona verde adyacente al Colegio son muy recientes, mientras que los ubicados adyacentes al actual Salón comunal muestran evidencias de inestabilidad.

Para esta fecha, parte de las laderas abruptas que limitan al oriente la zona de interés ya habían sido urbanizadas y ya no es fácil distinguir ninguno de los cursos de agua que la limitaban o la atravesaban.



1.6.5. Vuelo R1191 (Foto 2018) de 1990

4.6.6 Vuelo C2717 (Foto 47) de 2004

La situación actual muestra la invasión total de los cursos de agua originales, así como la urbanización de zonas ubicadas en laderas susceptibles a los movimientos en masa (Villa de Los Alpes) y el barrio La Joyita

5 COBERTURA VEGETAL Y USOS DEL SUELO

El uso del suelo y de la cobertura vegetal en una región es el resultado de las características del medio físico (clima, suelo), de la estructura agraria (tendencia de la tierra) y de las actividades económicas. Esto determina que el uso del suelo se constituya en un factor importante en la inestabilidad del terreno.

La cobertura vegetal, en general, constituye un papel fundamental en las condiciones de estabilidad, particularmente en lo referente al control de erosión (interceptación, retención, retardo, infiltración, transpiración), y contribuye a prevenir movimientos en masa (deslizamientos superficiales). Además, la cobertura vegetal juega un papel fundamental en la calidad de vida de los habitantes, pues el manejo sostenible de la cobertura vegetal garantiza la calidad del suelo, agua y aire, entre otros.

Con base en el reconocimiento y criterio, en la identificación de la cobertura vegetal y uso actual del suelo, se obtuvo las diferentes categorías de clasificación que se presentan en los siguientes numerales y se muestran en la Figura 5-1.

ÁREAS URBANAS CONSOLIDADAS (ZUP)

Constituye aquellas áreas cien por ciento visonizadas (construcciones y vías).

ÁREAS URBANAS SIN PAVIMENTAR (ZUSP)

Constituye zonas suburbanas, no pavimentadas, adecuadas con material de relleno.

PASTOS O VEGETACIÓN HERBÁCEA (PN)

Áreas cubiertas por partes naturales. Los pastos hace referencia a la cobertura vegetal caracterizada por vegetación baja (menos de un metro de altura), compuesta por hierbas y gramíneas especialmente.

Figura 5-1 Cobertura vegetal y usos del suelo

6 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

Para determinar las características y propiedades mecánicas del subsuelo, en el presente estudio se adelantan una serie de actividades de exploración del subsuelo consistente en perforaciones mecánicas, trincheras, apiques y ensayos de laboratorio. Posteriormente, se realiza un análisis de las propiedades obtenidas de acuerdo a los registros de campo, el análisis geológico y geomorfológico en la zona de estudio. Este análisis permitirá determinar las propiedades de cada uno de los materiales para calcular los modelos de compresibilidad y estabilidad de la zona.

6.1 INFORMACIÓN INICIAL DE ANÁLISIS

6.1.1 INFORMACIÓN TESIS UNIVERSIDAD NACIONAL 1975

Tal y como se comento en el capítulo 1 en la década del 70 los habitantes del barrio Atenas, ante el agrietamiento y asentamiento ocurrido en viviendas y calles, rotura de tuberías de acueducto y alcantarillado y otros daños de consideración, interesaron a varias dependencias del distrito en donde la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional a través de la división de Geología y Suelos, que encargó a la sección de geotecnia del departamento de ingeniería civil de planificar y dirigir el estudio.

A raíz de esta problemática en el año de 1975 se realizó un proyecto de grado, nombrado como “Estudio de estabilidad de taludes en el Barrio Atenas de Bogotá D.E.”, para optar por el título de ingenieros civiles elaborado por Humberto Muñoz Caicedo y Henry Ramírez León, bajo la dirección del Ingeniero Manuel García López. Esta tesis tenía como objeto determinar los mecanismos de falla, causas y consecuencias de la inestabilidad presente en un sector del barrio Atenas.

Se ejecutó un total de 24 sondeos, cuya finalidad fue suministrar información detallada y lo más exacta posible acerca de las propiedades del subsuelo, tales como espesor, composición y resistencia de cada uno de los estratos que lo componen y condiciones de aguas subterráneas.

Durante los meses de Noviembre y Diciembre de 1974 se realizó la primera serie de sondeos por percusión y lavado (15 en total), cuya profundidad varió entre 5 y 15 metros. Los sondeos No, 2, 4, 5, 6, 7, 10, 12 y 13 se efectuaron para tener un control de zonas de antiguos deslizamientos ya detenidos o zonas estables. La localización de estos sondeos se indica en la Figura 6-1.

La segunda serie de sondeos se realizó durante el mes de Mayo de 1975 llevándose a cabo cinco perforaciones con el cono de penetración estática, localizados como indica la misma figura, y nombrados como B-1 a B-5.

La tercera serie de sondeos se realizó durante Septiembre de 1975, con un total de 11 sondeos por percusión y lavado, numerados del 16 al 24. La localización de estos sondeos se indica en la misma figura. La profundidad varió entre 6 y 12 metros. Se

procedió también a colocar una instrumentación sencilla, instalando algunos elementos como mojones y piezómetros.

El perfil promedio obtenido en dicho proyecto de grado en la zona fue el siguiente:

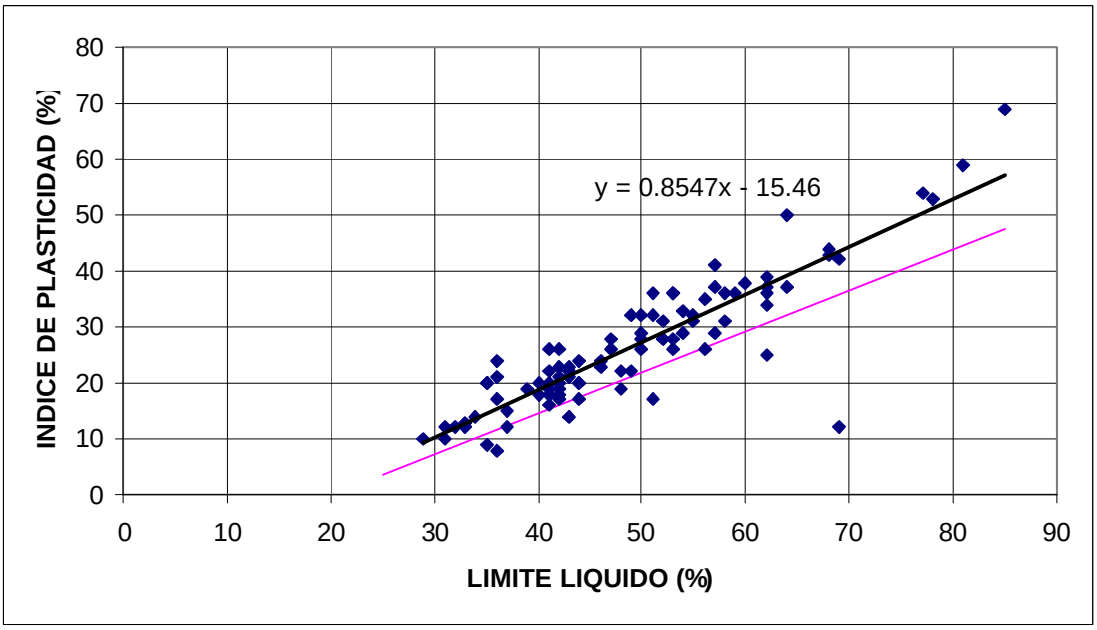
Tabla 6-1 Perfil promedio

Profundidad (m)		Sub-	Descripción del Suelo					Qu	H
De	A	Capa	Deslizamiento No. 1	w_N %	w_L	w_P	? T/m^3?	Kg/cm2	(mts)
0,00	1,00	1	Relleno				1,9		1,0
1,0	4,0	2	Arcilla carmelita a gris, firme, de alta plasticidad (CH), medianamente sobreconsolidada, alta compresibilidad.	25	55	22	2,0	1,6	3,0
4,0	7,0	3	Arcilla carmelita gris, oxidada, de mediana plasticidad (CL), dura.	20	50	22	2,1	2,0	3,0
7,0	10,5	4	Arcilla rojiza (Abigarrada), mediana plasticidad , dura, sobreconsolidada, baja compresibilidad.	17	35	15	2,1	2,0	
De	A	Capa	Descripción del Suelo Deslizamiento No. 2	w_N %	w_L	w_P	? T/m^3?	qu k/cm2	H (mts)
0,0	1,0	1	Relleno						1
1,0	3,5	2	Arcilla carmelita a gris, oxidada, de alta plasticidad (CH), firme, sobreconsolidada, alta compresibilidad.	30	52	21	2,0	1,7	2,5
3,5	5,5	3	Arcilla carmelita, de mediana plasticidad, dura, sobreconsolidada, baja compresibilidad.	18	45	25	2,1	2,7	2,0
5,5	9,5	4	Arcilla rojiza (Abigarrada), mediana plasticidad (CL), dura, sobreconsolidada, baja compresibilidad.	18	45	25	2,1		

Figura 6-1 Localización Exploración Tesis Universidad Nacional 1975

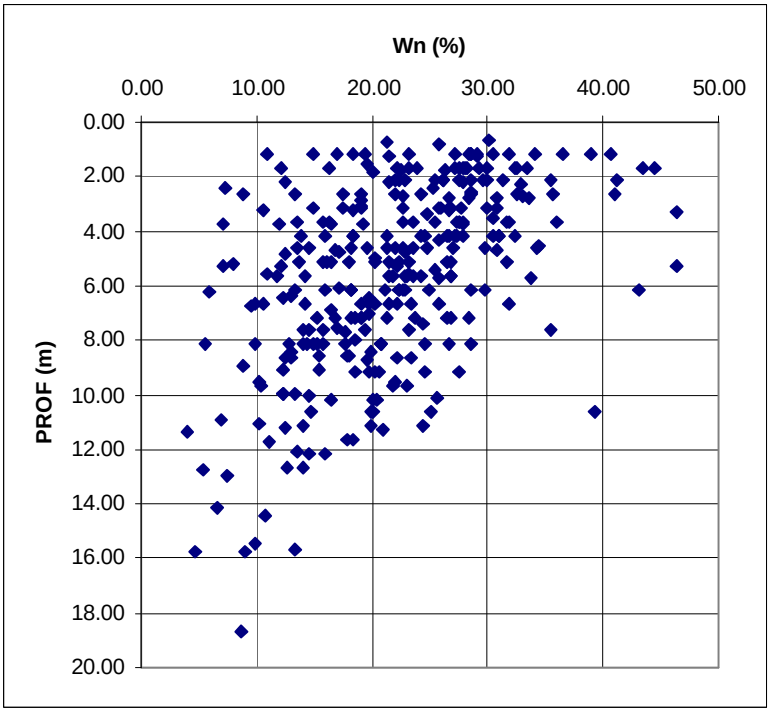
En la Figura 6-2 se presenta la carta de plasticidad para los materiales encontrados. Se puede observar que los valores se encuentran arriba de la línea A (color morado) y que se ubican entre 30 y 80 de límite líquido. La clasificación de estos materiales pueden estar entre CH y CL. Se coloca la tendencia de estos materiales con una pendiente de la línea de 0.85

Figura 6-2 Carta de Plasticidad



En la Figura 6-3 se presenta el contenido de humedad versus la profundidad. Se puede observar que la humedad se encuentra entre 10 y 40 % con un valor promedio de 22 % con desviación estándar de 8%.

Figura 6-3 Contenido de humedad vs profundidad



En la zona se identificaron dos deslizamientos denominados D-1 y D-2 los cuales se ubican en la Figura 6-1, en suelos residuales de arcillolita

El mecanismo de falla definido en la zona se describe como asociado al movimiento de estos deslizamientos de tipo compuesto retrogresivo con una superficie de falla plana y de tipo traslacional. El factor de seguridad encontrado, para el deslizamiento D-2 osciló entre 1.30 y 0.89, teniendo en cuenta que el deslizamiento era activo ($FS \geq 1$).

La instrumentación arrojo ratas de movimiento de 1m por mes y mayores en épocas de lluvia, para el deslizamiento D-2. En la tesis solo se hace un análisis de FS para el deslizamiento D-2 por su influencia en la vía y la existencia para esa época de viviendas afectadas.

Finalmente se concluyó que el factor determinante de la estabilidad en la zona es el control de las aguas superficiales y se recomendaron algunas medidas correctivas que buscan detener el movimiento en las zonas afectadas tales como:

- Construcción de cunetas que recojan las aguas provenientes de la escorrentía superficial de la Avenida Ciudad de Villavicencio.
- Construcción de alcantarillado en el barrio la Colmena.
- Construcción de un filtro en espina de pescado para controlar las aguas de infiltración.

- Remoción total del material en movimiento, empradización y arborización del área descargada.
- Se recomendó a las entidades distritales y nacionales que eran parte del problema, continuar el programa de observaciones y mediciones de las zonas inestables, para hacer las modificaciones que se consideren convenientes en el diseño y construcción de las medidas correctivas que se acometan.

De esta información de construcción de obras no se pudo obtener indicios de la existencia real de las obras. La comunidad comenta que se ejecutaron pilotes de madera y obras de drenaje como filtros y cunetas las cuales no fueron posible ubicadas en campo. En conclusión no existen indicios de las obras pero existe estabilidad en esta área.

En el ANEXO 6-1 se presenta el resumen de los ensayos de laboratorio y campo realizados en ese momento en la zona por la Universidad Nacional.

6.2 INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA

Con el fin de complementar el modelo geotécnico, tal y como se mencionó en el capítulo 1 se digitalizó la topografía del año 1960 y 1981 del IGAC con el fin de poder analizar la configuración topográfica antes y después de la ocupación urbana. Esta información y la comparación con el análisis multitemporal permitirán definir en forma acertada espesores de suelo y configuraciones morfodinámicas fluviales presentes en el área de estudio.

Esta información digitalizada fue incorporada y analizada en el programa SURFER el cual permite elevar el modelo en 3D y así comparar las condiciones topográficas. En la Figura siguiente se presenta de forma preliminar la volumetría 3D de la topografía del IGAC del año 1960. En esta volumetría de 1960 se puede apreciar claramente la quebrada existente en la zona y los cambios topográficos fuertes hacia la parte inferior del área de estudio.

Figura 6-4 Volumetría 3D – Topografía 1960 – IGAC

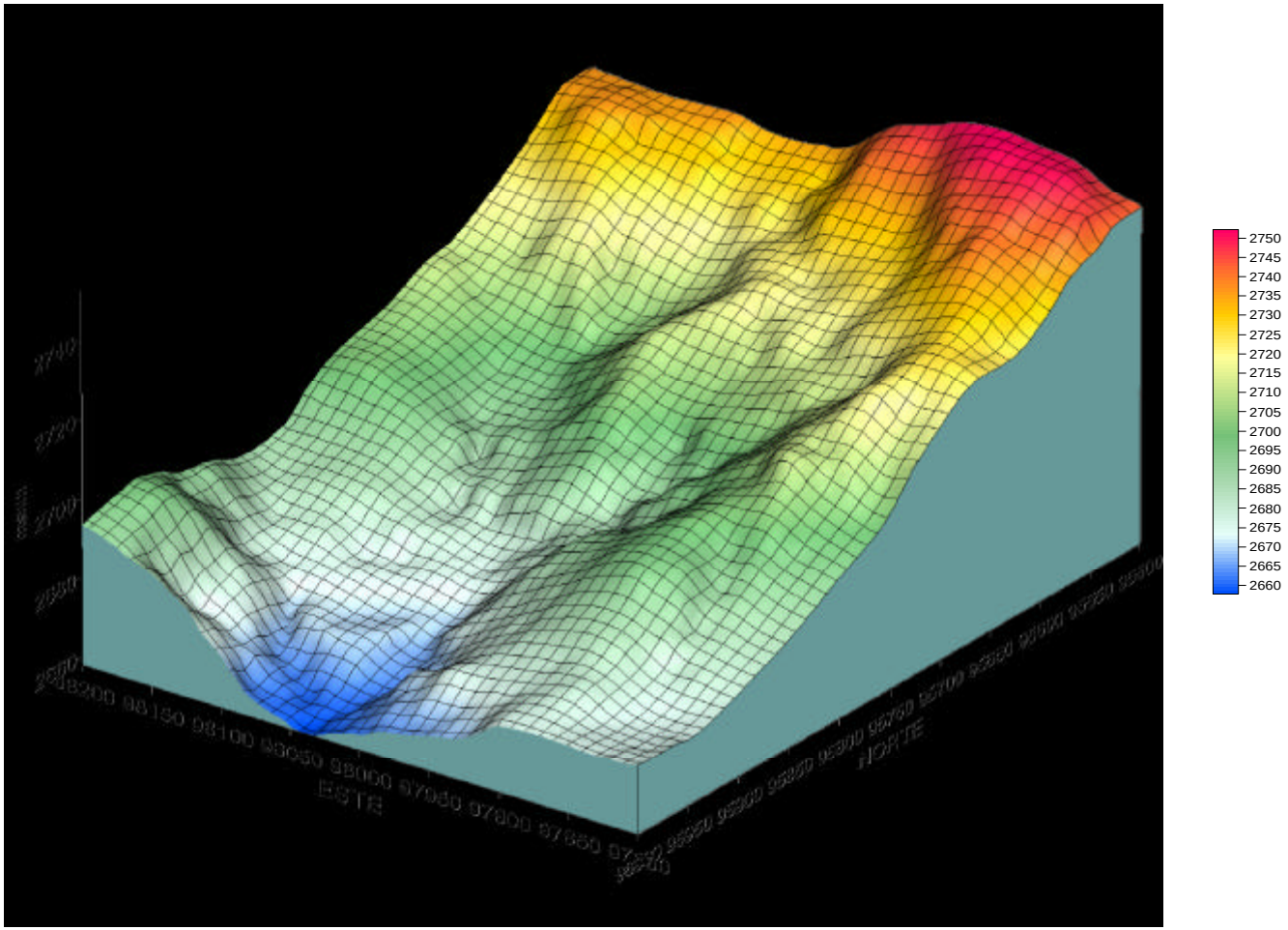
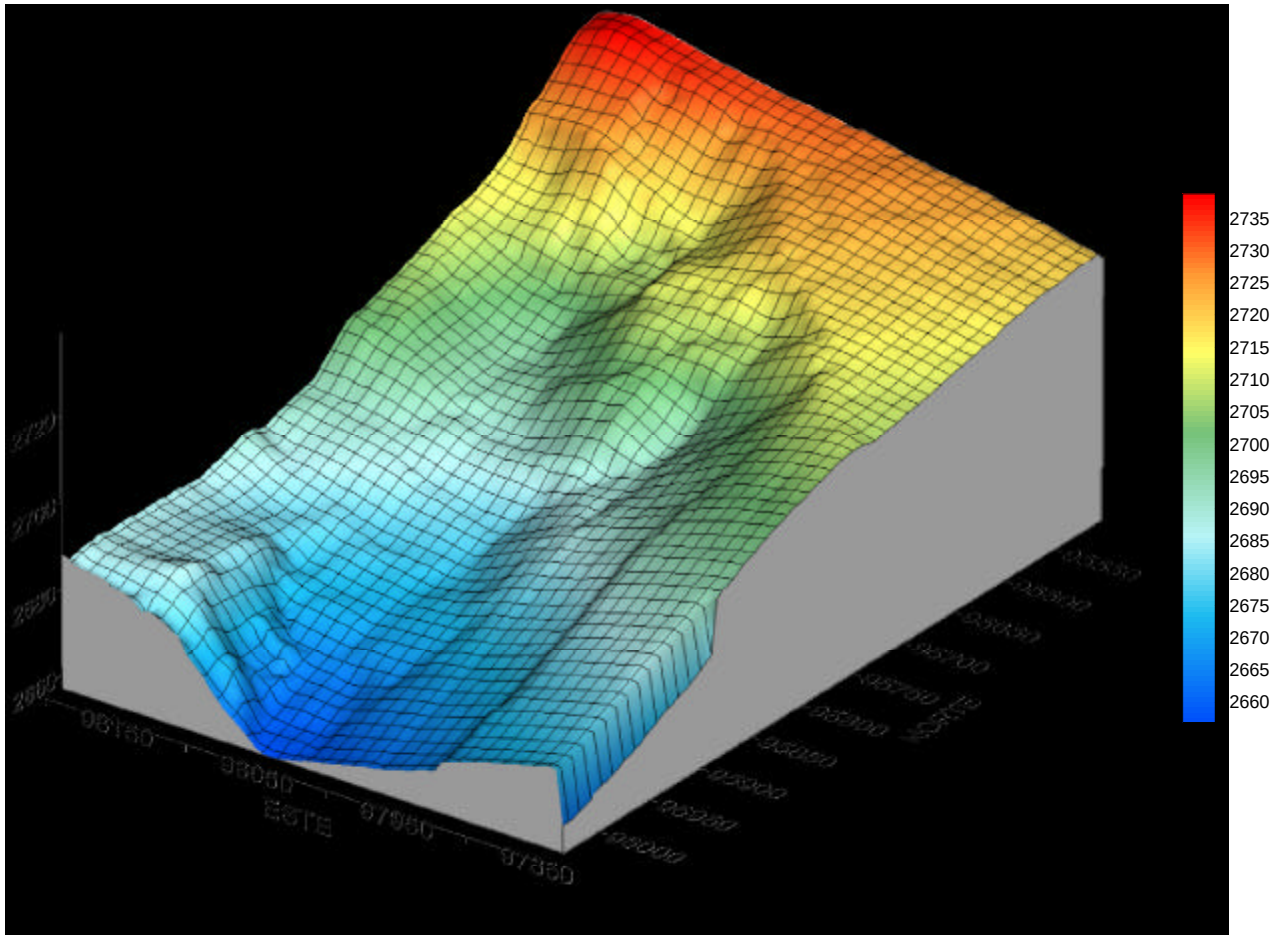


Figura 6-5 Volumetría 3D – Topografía 2005



Se puede observar que hacia los valles existentes en 1960 fueron rellenados especialmente hacia la parte inferior y central de la quebrada. Finalmente, se comparo la topografía actual con cada una de las topografías digitalizadas evaluando rellenos y cortes.

6.3 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

De acuerdo con las condiciones de la zona de estudio, se estableció el plan de exploración presentado en el Plano No. 2 Geología y exploración del subsuelo con el objeto de establecer las principales condiciones del subsuelo en relación con la distribución de los materiales y su comportamiento mecánico.

El programa de exploración contempló la ejecución de seis sondeos mecánicos, siete sondeos manuales, dos trincheras y tres apiques distribuidos en toda el área de estudio.

6.3.1 Sondeos Mecánicos, Apiques y Trincheras

Se ejecutaron 13 sondeos con profundidad variable entre 6 y 15 m durante los cuales se recuperaron muestras de los materiales encontrados, que permiten su identificación y la caracterización detallada en el laboratorio. Adicionalmente, se ejecutaron pruebas de campo como el ensayo de penetración estándar con el fin de establecer ordenes de magnitud de la resistencia de los materiales y permitir delimitar los espesores logrados.

Además se programaron 2 trincheras y 3 apiques para la inspección de puntos en taludes y la toma de muestras.

La distribución de los sondeos mecánicos presentada anteriormente, permitiría identificar la secuencia estratigráfica de materiales y corroborar información de geología regional y local.

En el ANEXO 6-2 se presentan los resúmenes gráficos de los registros de cada una de las perforaciones, apiques y trincheras realizadas.

6.3.2 Pruebas de campo

Durante la ejecución de los sondeos se realizaron ensayos in-situ de penetración estándar (SPT) para controlar cambios estratigráficos y posteriormente se analizó para obtener estimaciones de la resistencia al corte de los suelos encontrados.

Para cada una de las muestras extraídas por mecanismos de rotación (roca), se determinó el porcentaje de recobro y el RQD (Rock Quality Designation).

Con el fin de determinar los niveles de agua a lo largo del área de estudio se construyeron piezómetros en las perforaciones mecánicas dadas como 1 a 6. Estos piezómetros fueron construidos en tuberías de ventilación de PVC de 2” con perforaciones cada 10 cm en los últimos 2 m y envuelto en geotextil no tejido con tapón arriba y abajo.

A excepción de la Perforación No. 1 en donde las paredes se derrumbaron instalándose el piezómetro solo hasta 6,0 m (la perforación se llevo hasta 15,0 m) todas las demás perforaciones presentan el piezómetro hasta la profundidad final.

Ensayos de penetración estándar

Los resultados de la prueba se presentan en el ANEXO 6-2.

RQD y porcentaje de recobro

El registro de los porcentajes de RQD y de recobro se presentan en forma gráfica en el ANEXO 6-2 para cada una de las perforaciones realizadas.

Nivel de agua

Después de instalado el piezómetro se iniciaron las lecturas que inicialmente fueron diarias para luego realizarlas cada día de por medio. En el capitulo de Amenaza siguiente se presentan los datos obtenidos durante las mediciones adelantadas:

Los valores obtenidos promedios finalmente medidos desde la parte superior de cada sondeo se presentan en la Tabla 6-2 con la medida final en febrero:

Tabla 6-2 Nivel de piezómetros medido desde la parte superior

PIEZOMETRO	NIVEL
1	1.05
2	3.90
3	1.64
4	1.06
5	2.34
6	1.42

Es importante mencionar que en algunas casas de la zona se encuentran infiltraciones importantes en muros y piso, tal y como se presenta en la casa del sondeo 9, en donde el propietario tiene un pequeño tanque en el piso, desde donde conduce el agua hacia el sistema de drenaje.

6.4 ENSAYOS DE LABORATORIO

Sobre las muestras obtenidas de los sondeos ejecutados se realizaron ensayos de clasificación, consolidación, resistencia al corte entre otros ensayos. En la Tabla 6-3 se relacionan las cantidades de ensayos programados:

Tabla 6-3 Cantidades de ensayos de laboratorio programados

ENSAYO	CANTIDAD
Humedad natural	78
Límites de atterberg	37
Peso Unitario Total y seco	55
Peso Específico de sólidos	21
Compresión inconfinada en suelo	22

ENSAYO	CANTIDAD
Consolidación rápida con descarga	13
Consolidación lenta con descarga	1
Corte directo en suelo	9
Carga Puntual	3
Compresión inconfinada en roca	2
Expansión controlada en consolidómetro	3
Amonio	2
Sulfatos	2
Aluminio	2

Los resultados de los ensayos de laboratorio se presentan en el ANEXO 6-3.

6.5 CARACTERIZACION GEOMECÁNICA

Con la información obtenida de ensayos de laboratorio y campo, el estudio geológico y geomorfológico se procedió a analizar las diferentes características de los materiales teniendo en cuenta las condiciones de plasticidad, deformabilidad y resistencia al corte.

Dentro de estas condiciones es importante tener en cuenta que el análisis geológico tuvo una interacción directa con la geotecnia teniendo en cuenta las condiciones de los materiales observados. Es decir, antes de la ejecución total de sondeos se programó la ejecución de los sondeos numerados del 7 al 13, basado en los limites geológicos y geomorfológicos de la zona y teniendo en cuenta los lineamientos de las antiguas quebradas existentes.

De esta forma, el perfil geotécnico obtenido basado en las observaciones de campo y las consideraciones geológicas determina cuatro tipos de materiales que de menor a mayor profundidad se pueden describir como:

? **Rellenos (suelo 1).** Estos rellenos antrópicos provienen del mismo material de la zona por cortes. En pequeños casos se observa material de demolición, piedra y ladrillo. La fracción fina es predominante en estos rellenos. Estos rellenos pueden oscilar entre 1 a 5 m en los sitios de valles de quebradas.

? **Suelos transportados (suelo 2).** Estos materiales se identifican como arcillas de plasticidad media de color rojizo, con algunas tonalidades grises, los cuales se encuentran siguiendo valles antiguos de quebradas. Este material en algunos casos presenta pequeñas gravas sueltas dentro de la misma matriz. Predomina la matriz fina y el material granular no es fácilmente identificable o con condiciones de muestreo en campo. Es posible confundirlo con el suelo residual de la formación Bogotá. Los espesores obtenidos pueden estar entre 3 a 5 m.

? **Suelo residual (suelo 3).** Se presenta este tipo de material como producto de la alteración de la Formación Bogotá, con predominio de fracción arcilla de color gris a habano. Este suelo residual se confunde con los suelos transportados y solo el valor de resistencia por SPT en alguna medida permite identificarlo. Su espesor puede estar entre 1 a 3 m.

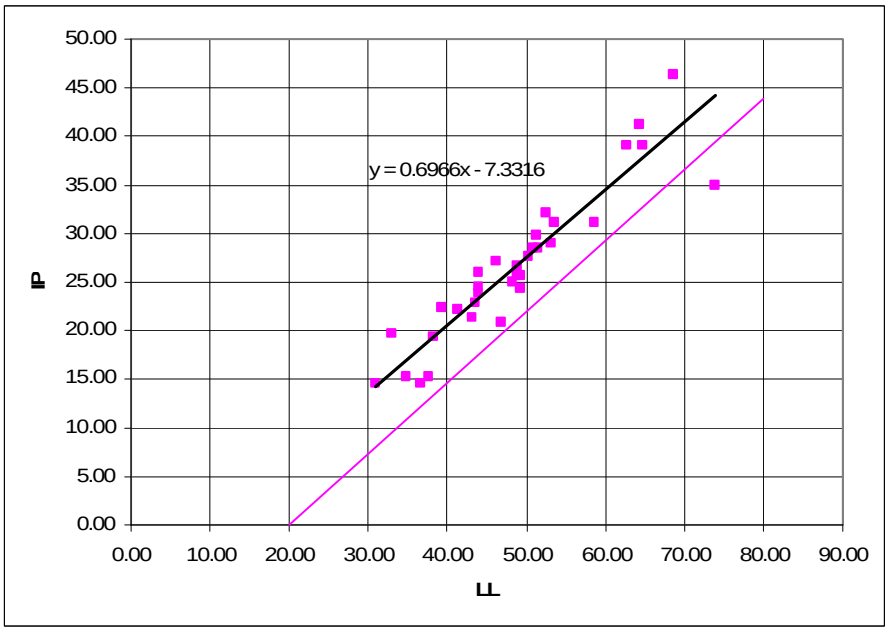
? **Formación Bogota (roca).** Se identifica intercalaciones de lodolita con arenisca. La resistencia es alta cuando se encuentra inalterada. Este material presenta una orientación tal que no favorece al movimiento. En el sondeo No. 1 se realizó 9 metros en este material que permitió identificar claramente la formación existente.

En los numerales siguientes se presentará el análisis de estos materiales y las consideraciones necesarias para la estabilidad y compresibilidad de la zona. Las tendencias y análisis permitirán ajustar la zonificación geotécnica. El nivel de referencia utilizado para cada sondeo es de 0.0 m. Esto con el fin de permitir realizar una zonificación enmarcado por tipo de material.

6.5.1 PLASTICIDAD

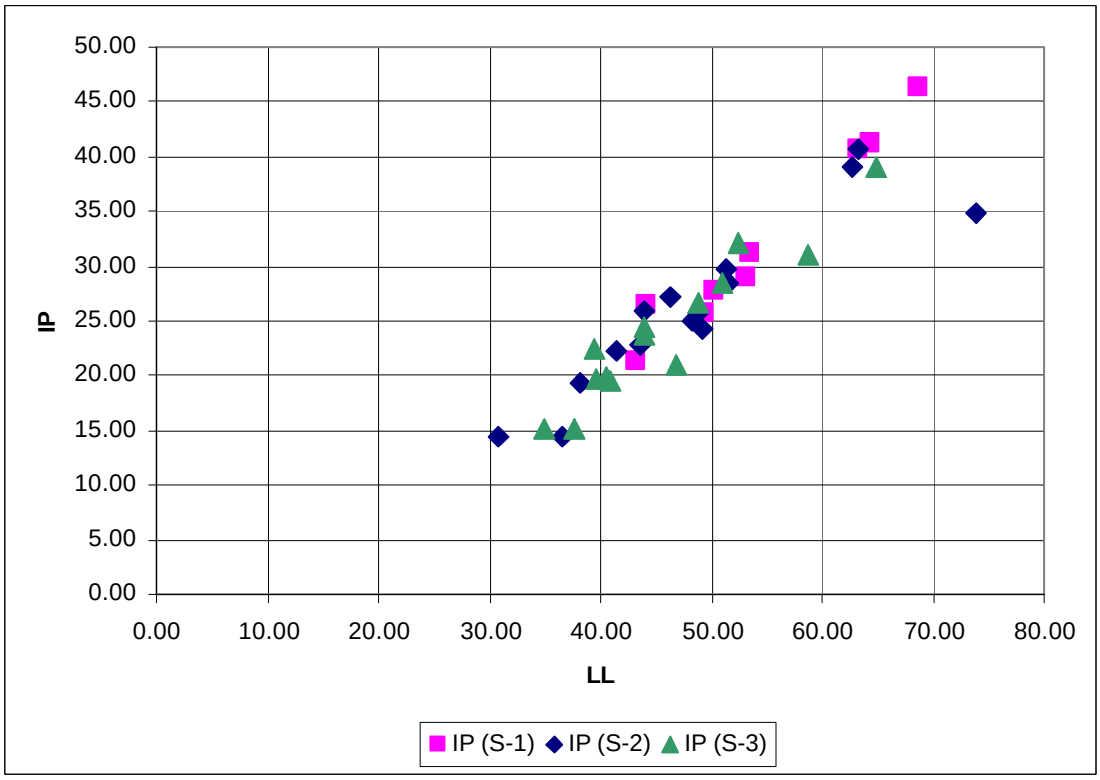
En la Figura 6-6 se presenta la carta de plasticidad obtenida en todos los tipos de suelos mencionado anteriormente. La tendencia de estos materiales tiene una pendiente de 0.70 ubicados arriba de la línea A (color rosado). Es importante anotar que aunque la tendencia no es exactamente la misma a la obtenida por la Universidad Nacional, se considera que presentan similares características.

Figura 6-6 Carta de Plasticidad



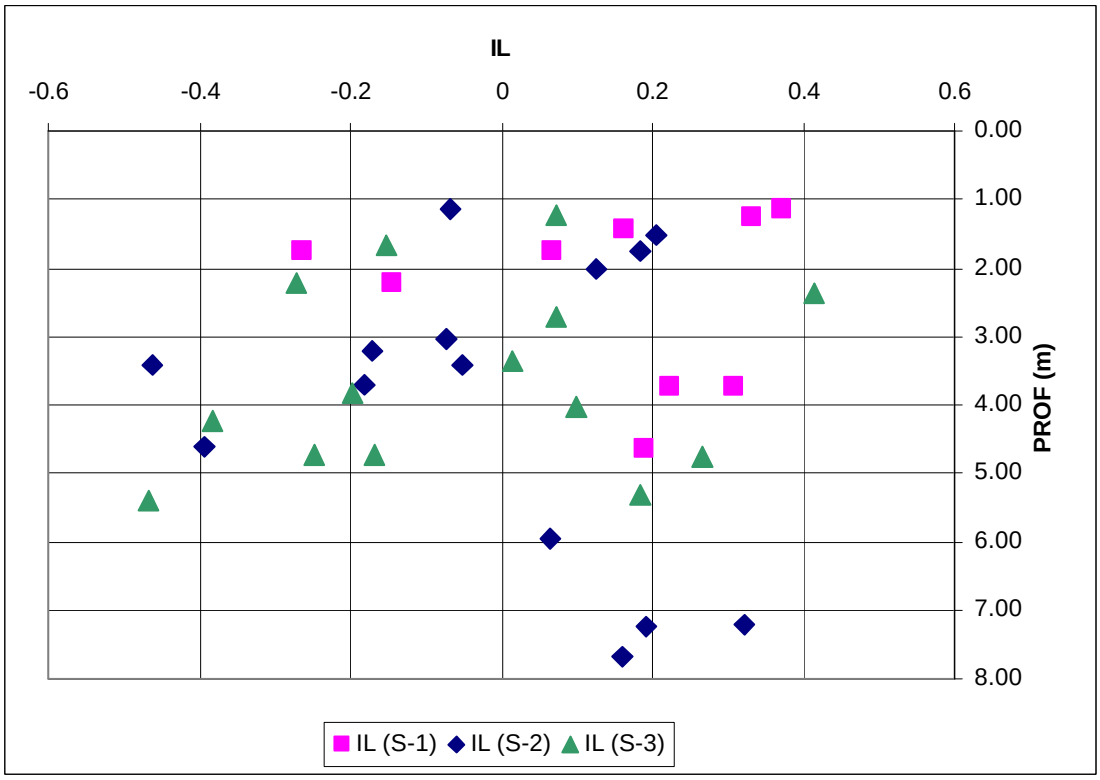
En la Figura 6-7 se presenta la Carta de plasticidad para cada tipo de suelo identificado anteriormente.

Figura 6-7 Carta de plasticidad por tipo de suelo



Se puede observar que la variación por tipo de suelo es similar. Es decir las tendencias superior e inferior para cada tipo de suelo no cambian sustancialmente. En la Figura 6-8 se presenta la variación del Índice de Liquidez – IL con la profundidad para cada tipo de suelo identificado previamente:

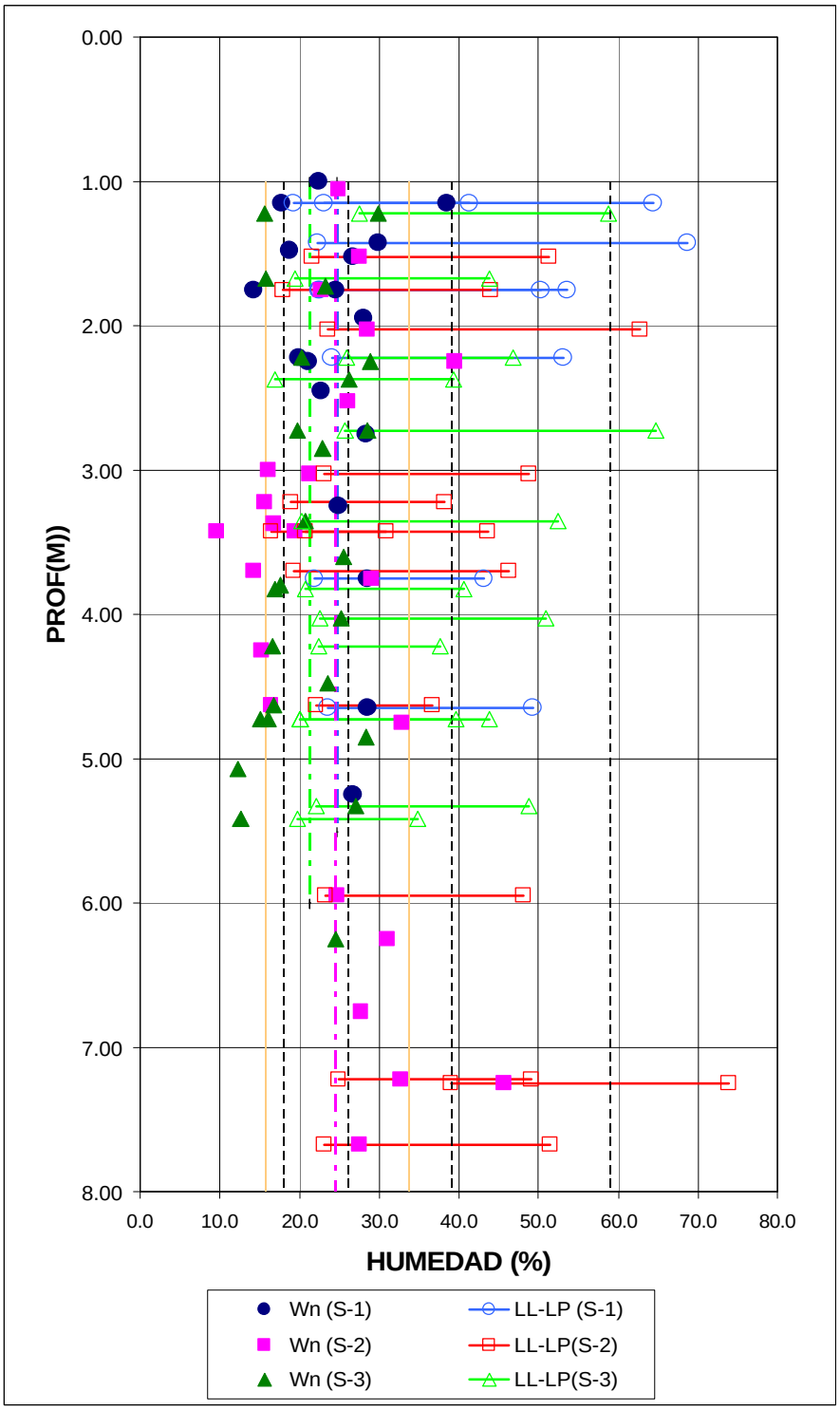
Figura 6-8 Índice de liquidez – Profundidad y tipo de suelo



Los suelos presentan una variación que oscila entre -0.4 y 0.4 a lo largo de la profundidad para todos los tipos de suelo manteniéndose en profundidad hasta los 5 m para continuar con valores positivos entre 0 y 0.4 hasta los 8,0 m de profundidad. El suelo tipo 1 – relleno tiene valores entre -0.2 y 0.4. El suelo tipo 2 tiene en general valores positivos de IL. El suelo 3 es muy variable entre positivos y negativo valores de IL.

Finalmente a continuación se presenta la representación gráfica de los valores de plasticidad obtenidos para cada tipo de material y con la profundidad. Con excepción de la plasticidad obtenida debajo de los 7 m en donde se observa un salto de la plasticidad. Los tres tipos de suelo presentan una variación constante con la profundidad. La humedad no varia y se encuentra ubicada en general debajo del límite plástico, condición favorable para este tipo de suelo.

Figura 6-9 Plasticidad de los suelos con la profundidad



Las líneas mostradas en la Figura 6-9 representan los valores promedio para cada tipo de suelo determinado. En la Tabla 6-4 Tendencias de plasticidad de los suelos se resume los valores promedio y desviación estándar obtenido de acuerdo a la variación con la profundidad:

Tabla 6-4 Tendencias de plasticidad de los suelos

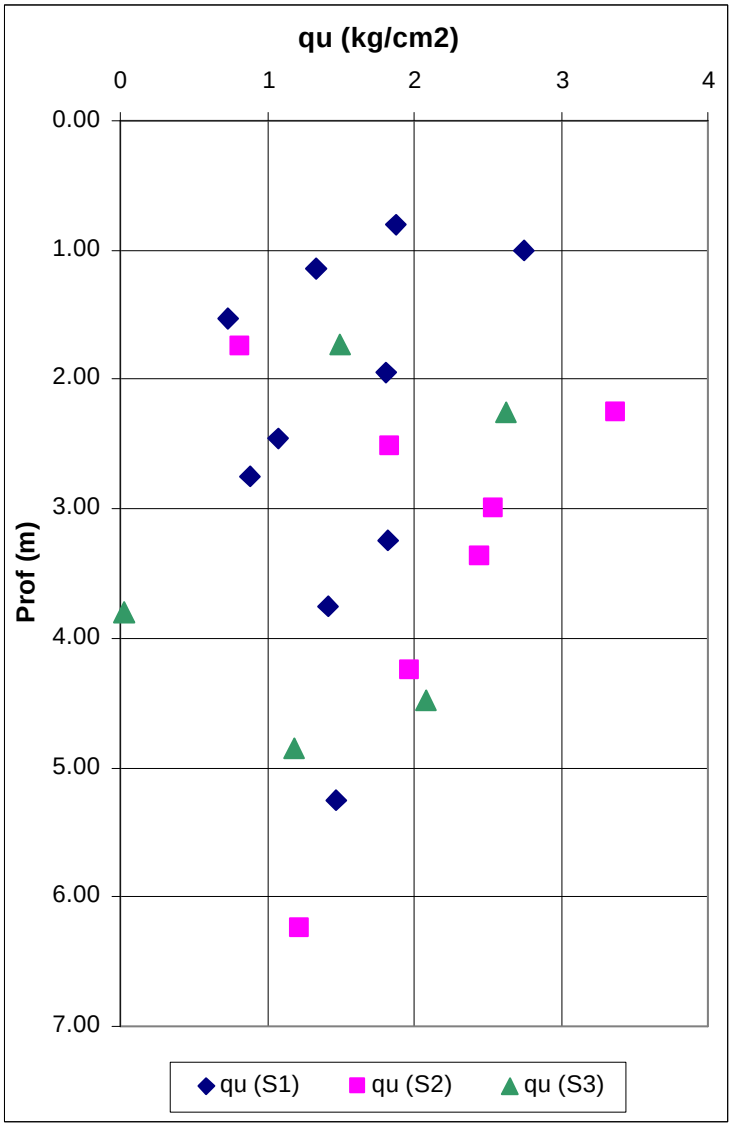
TIPO DE SUELO	DESCRIPCION	w_{nprom}	? Wn	LLprom	? LL	IPprom	? IP
1	Relleno	23.7	4.9	52.3	7.0	29.4	6.7
2	Suelo transportado	25.6	8.0	50.2	12.1	27.3	8.9
3	Suelo residual	20.8	5.4	46.0	8.5	24.6	6.7
	Total	22.43	7.17	48.8	9.9	26.54	7.65

Tal y como se puede observar la variación de la plasticidad de los suelos es similar e incluso se orientan hacia un valor constante, especialmente la humedad y el índice de plasticidad. La variación media y desviación estándar se encuentran ubicados dentro de la tendencia de valores y del ensayo. En conclusión la plasticidad de estos tres tipos de suelo es similar.

6.5.2 RESISTENCIA NO DRENADA DEL SUELO

Se realizaron 22 ensayos de resistencia no drenada del suelo obteniendo en forma gráfica por profundidad y tipo de suelo los siguientes resultados:

Figura 6-10 Resistencia no drenada del suelo



La variación de q_u oscila entre 0.60 y 2.50 kg/cm^2 sin observar una tendencia clara para los tres tipos de suelo.

6.5.3 COMPRESIBILIDAD

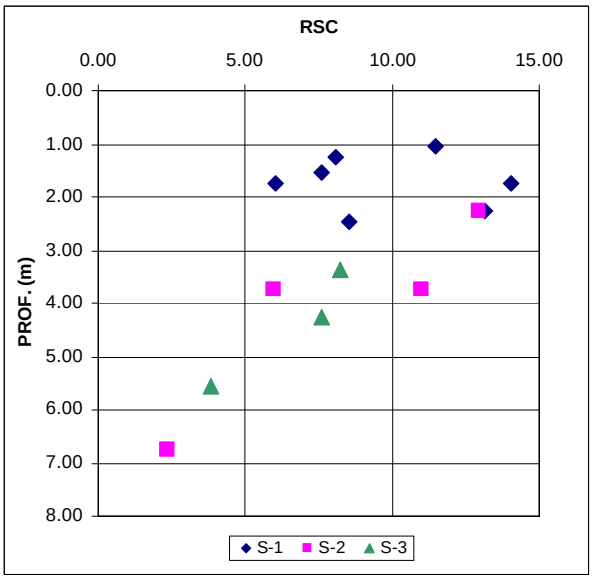
Se realizaron catorce (14) ensayos de consolidación en diferentes muestras de material de los suelos previamente identificados, obteniendo los valores de la Tabla 6-5:

Tabla 6-5 Datos ensayo de consolidación

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD			TIPO	CONSOLIDACION				RSC
		DE	A	MEDIA		Cc	Cr	s_p	s_o	
S-1	1	0.80	1.30	1.05	1	0.236	0.038	2.40	0.21	11.49
S-4	2	1.25	1.80	1.53	1	0.245	0.043	1.60	0.21	7.62
S-5	5	2.20	2.70	2.45	1	0.242	0.060	4.20	0.49	8.53
S-6	3	1.45	2.00	1.73	1	0.224	0.044	5.00	0.36	14.03
S-10	2	2.00	2.50	2.25	1	0.208	0.052	6.00	0.46	13.14
S-12	1	1.50	2.00	1.75	1	0.225	0.060	2.00	0.33	6.02
S-13	1	1.00	1.50	1.25	1	0.292	0.040	2.00	0.25	8.07
S-9	2	2.00	2.50	2.25	2	0.492	0.085	3.20	0.25	12.93
S-9	3	3.50	4.00	3.75	2	0.304	0.074	4.50	0.41	11.02
S-10	4	3.50	4.00	3.75	2	0.319	0.086	4.50	0.75	6.00
S-10	8	6.50	7.00	6.75	2	0.304	0.086	3.20	1.35	2.38
S-4	5	3.10	3.60	3.35	3	0.166	0.060	3.40	0.41	8.21
S-4	7	4.05	4.50	4.28	3	0.153	0.043	4.00	0.53	7.59
S-6	12	5.45	5.70	5.58	3	0.110	0.022	4.50	1.17	3.84

Utilizando como eje de referencia 0.0 m en cada sondeo, los datos anteriores se pueden agrupar en las siguientes figuras:

Figura 6-11 Representación de propiedades de consolidación RSC - Cc



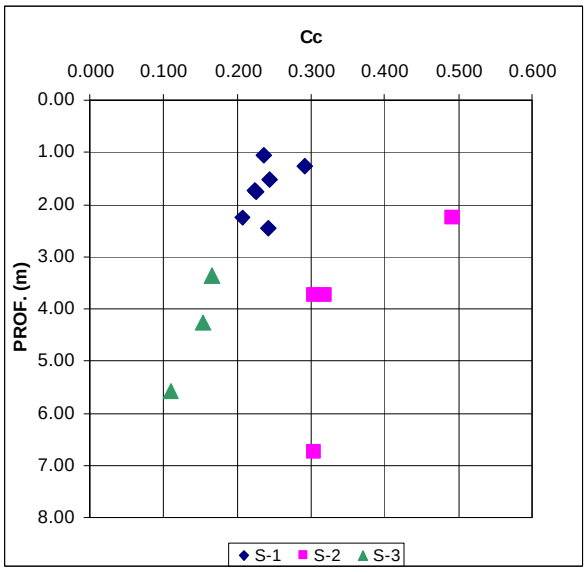
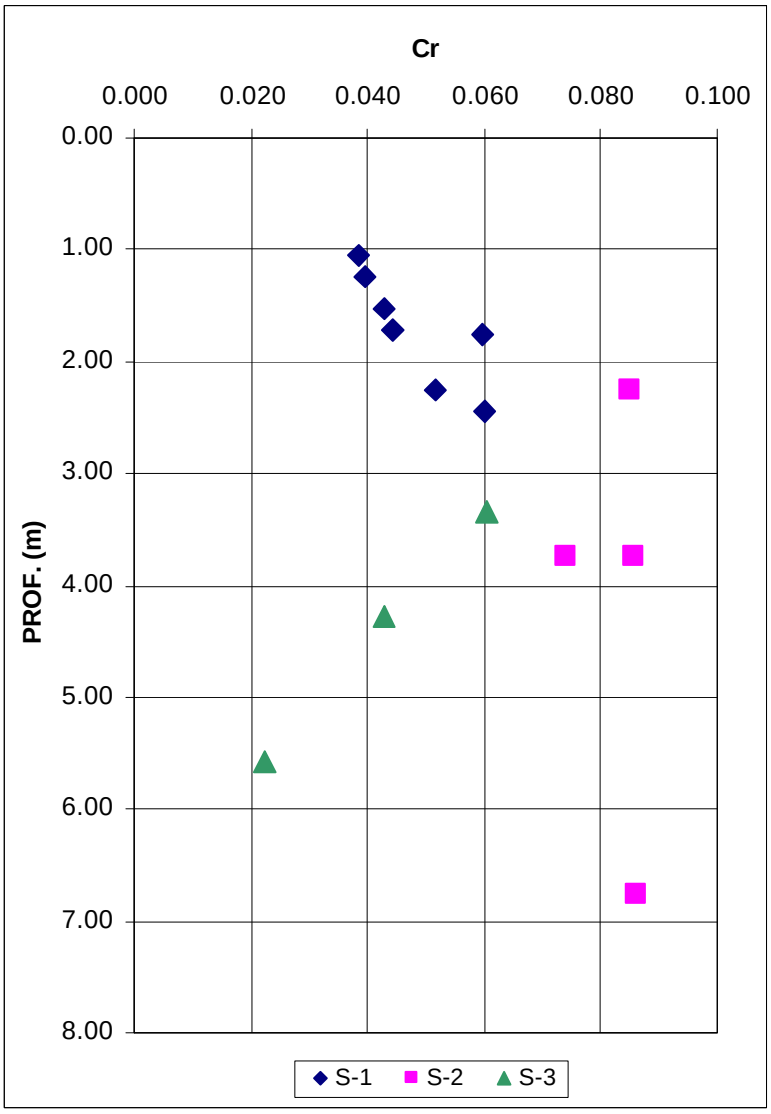


Figura 6-12 Cr vs profundidad



El mayor valor de Cc obtenido fue de 0.49 para el tipo de suelo 2 y el menor de 0.10 para el suelo residual – suelo 3. Para el análisis de compresibilidad de los materiales se utilizarán aquellos valores extremos o bordes de cada tipo de material que generen o ya sea los mayores asentamientos o los menores. Esto se analiza en el siguiente capítulo.

En el ANEXO 6-4 se presentan los resultados de los ensayos de consolidación de los materiales, la curva obtenida en el ensayo y el ajuste de datos de diseño para la interpretación.

6.5.4 RESISTENCIA AL CORTE

Para evaluar las condiciones de resistencia de los suelos encontrados se realizaron seis cortes directos en los tres tipos de material obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 6-6 Resultados de corte directo

MATERIAL		CORTE DIRECTO						SONDEO	M#	PROF
		PICO			RESIDUAL					
		C (KG/CM2)	C (t/m2)	FI	C (KG/CM2)	C (t/m2)	FI			
RELLENO	SUELO 1	0.31	3.10	16.1	0.195	1.95	10.89	12	3	3.50-4.00
		0.24	2.4	12.6	0.1605	1.605	6.07	10	1	1.50-2.00
		0.37	3.7	19	0.2326	2.326	18.5	10	3	2.50-4.00
TRANSPO	SUELO 2	0.14	1.40	21.7	0.1	1	18	9	2	2.00-2.50
		0.23	2.3	12.7	0.113	1.13	11	9	3	3.50-4.00
		0.10	1.0	19.8	0.07	0.70	19.4	13	1	1.00-1.50
RESIDUAL	SUELO 3	0.13	1.3	20.5	0.10	1.00	18.8	4	4	2.60-3.10
		0.23	2.3	22.0	0.12	1.16	15.5	4	7	4.05-4.50
		0.25	2.5	18.2	0.16	1.55	10.5	9	4	4.50-5.00

Para cada uno de estos ensayos se determinó el valor de c y ? pico y residual de cada material. Finalmente y evaluando la tendencia de valores obtenida en estos materiales se puede representar en una gráfica los valores obtenidos de la siguiente forma:

Tabla 6-7 Valores de c y ??

	PROPIEDADES						
TIPO DE SUELO	cmax (kg/cm2)	cmax (t/m2)	fmax	cmin (kg/cm2)	cmin (t/m2)	fmin	TIPO
SUELO 1	0.37	3.70	19	0.16	1.60	6.00	Relleno
SUELO 2	0.23	2.30	22	0.07	0.70	11.00	Transportado
SUELO 3	0.25	2.50	22	0.10	1.00	10.00	Residual
ROCA	130.00	1300.00	40				Roca

Los valores para la roca son asumidos de acuerdo a la experiencia en este tipo de material en otras zonas de Bogotá para estudios de la DPAE.

En el ANEXO 6-5 se presentan los resultados de los ensayos de corte directo, con la ubicación de la línea pico y la residual adoptada.

ANEXO 6-1 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA 1975

ANEXO 6-2 REGISTROS DE PERFORACION, APIQUES Y TRINCHERAS

ANEXO 6-3 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO

ANEXO 6-4 ENSAYOS DE CONSOLIDACIÓN

ANEXO 6-5 ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

7 ANÁLISIS DE DEFORMACIÓNES EN EL TERRENO

7.1 ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS POR CONSOLIDACIÓN

En este capítulo se presentan los análisis realizados para establecer los asentamientos generados por la construcción de las viviendas en el sitio de estudio. Se inicia presentando la caracterización del subsuelo con énfasis en los parámetros de compresibilidad empleados en estos análisis, luego se describen los modelos numéricos realizados y finalmente se muestran los resultados de dichos modelos.

7.1.1 CARACTERIZACIÓN DEL SUBSUELO

A partir del programa de exploración del subsuelo y los ensayos de laboratorio realizados durante el presente proyecto el subsuelo se considera conformado por capas o estratos de los siguientes materiales:

Suelo tipo 1: Rellenos Antrópicos: Corresponde a la capa mas superficial del subsuelo, conformada por una mezcla heterogénea de desechos de construcción y materiales inorgánicos principalmente compuesta de arcillas, limos y algo de arena. Su contenido de humedad varía de 14 a 39 %, el límite líquido entre 43 y 69 % y el límite plástico entre 17 y 25 %.

Suelo tipo 2 Materiales Transportados: Corresponde a suelos arcillo-limosos de humedad media, plasticidad media y consistencia media a firme. Alcanza espesores del orden de 4m, el contenido de humedad varía entre 9 y 46 %, límite líquido entre 30 y 74 %, límite plástico entre 16 y 39 %, índice de plasticidad entre 14 y 35 % y resistencia a la compresión inconfinada entre 80 - 340 KN/m^2.

Suelo tipo 3 Suelos Residuales: Subyacen los materiales anteriores con espesores del orden de 2 metros y corresponden a arcillas limosas de humedad media plasticidad media a alta y consistencia media a firme. El contenido de humedad varía entre 12 y 30 %, límite líquido entre 39 y 65 %, límite plástico entre 16 y 26 %, índice de plasticidad entre 19 y 40 % y resistencia a la compresión inconfinada entre 110 - 265 KN/m^2.

Macizo rocoso: Corresponde principalmente a lodolitas y areniscas de la formación Bogota.

Los niveles de agua se encontraron aproximadamente 1 m bajo la superficie del terreno.

Para establecer los parámetros de compresibilidad de los diferentes materiales existentes en la zona del proyecto, durante la fase de ensayos de laboratorio se adelantaron pruebas de consolidación unidimensional, a partir de los cuales se realizó las curvas esfuerzo-deformación corregidas de cada una de las muestras ensayadas, obteniendo los valores máximos y mínimos de los parámetros que definen el proceso de consolidación primaria.

Adicionalmente, de las curvas de deformación-tiempo de cada etapa de carga se determinó el valor del índice de consolidación secundaria, el coeficiente de consolidación y los correspondientes coeficientes de permeabilidad.

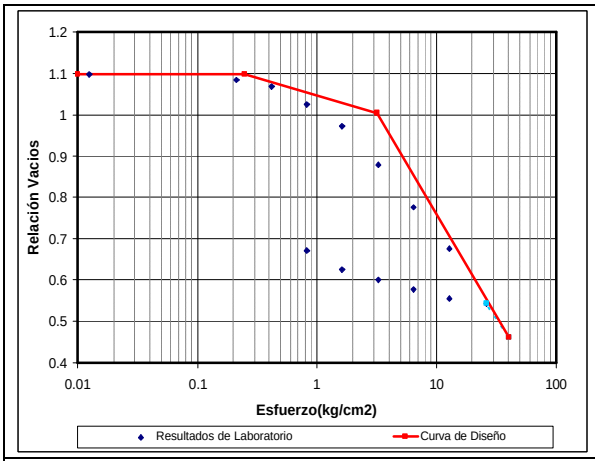
En la Tabla 7-1 se presenta un resumen los parámetros obtenidos.

Tabla 7-1 Parámetros de compresibilidad de los diferentes materiales del subsuelo.

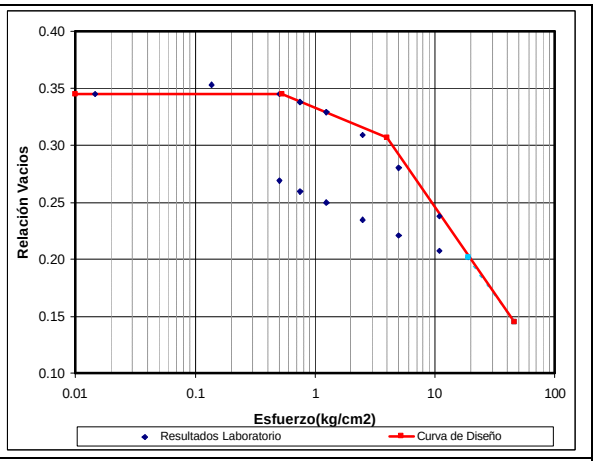
Material	Índice de Compresión Primaria		Índice de Recompresión		Presión de Sobreconsolidación (KPa)		Índice de Compresión secundaria		Relación de Vacíos Inicial	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Relleno Antrópico	0.208	0.242	0.038	0.060	600	200	0.0011	0.014	0.575	0.675
Material Transportado	0.292	0.492	0.040	0.086	320	200	0.0034	0.0057	0.474	1.099
Suelo Residual	0.110	0.153	0.022	0.060	450	340	0.0014	0.0043	0.344	0.492

En la Figura 7.1 se se presenta un ejemplo de las curvas esfuerzo-deformación y en la Figura 7.2 se presenta un ejemplo de curva deformación-tiempo de los materiales transportados y los suelos residuales.

Figura 7-1 Curvas consolidación representativas de los principales materiales del subsuelo.

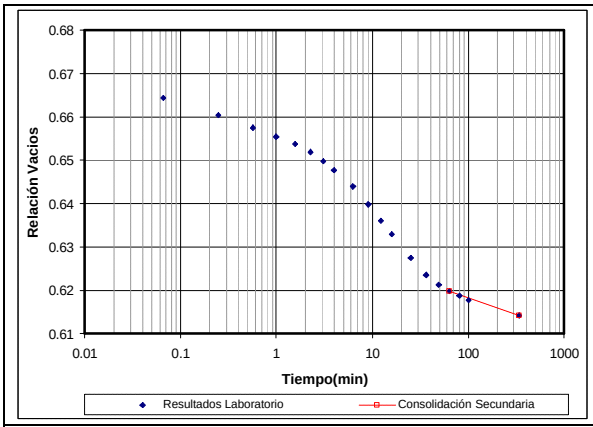


A. Material Transportado (Muestra 2 - Sondeo 9)

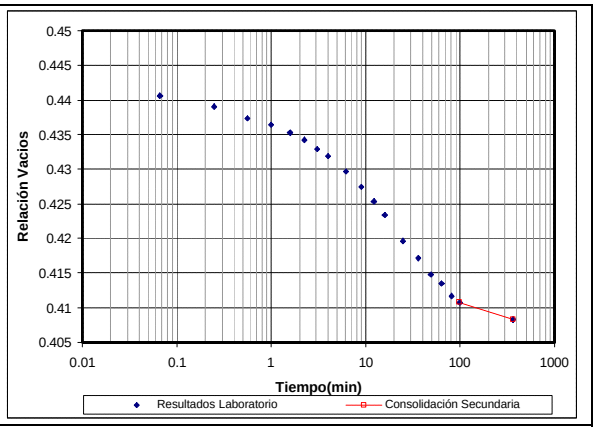


B. Suelo Residual (Muestra 7 - Sondeo 4)

Figura 7-2 Curvas de las etapas de carga representativas de los principales materiales del subsuelo.



A. Material Transportado



B. Suelo Residual (Muestra 5 – Sondeo 4)

7.1.2 ANÁLISIS Y MODELACIÓN

Con el fin de representar los aspectos más relevantes del comportamiento esfuerzo-deformación-tiempo de los materiales que conforman el subsuelo para cada una de las secciones de análisis se hicieron modelos de elementos finitos mediante el programa PLAXIS con modelos constitutivos elastoplásticos de tipo Cam-Clay-Creep. Este modelo involucra tanto las deformaciones por consolidación primaria como las deformaciones debidas al proceso de deformación a esfuerzo constante, creep, característico de los suelos arcillosos. Todos los modelos realizados corresponden a condición de deformación plana.

Con el fin de establecer la variación de los asentamientos en toda la zona del estudio, se modelaron las 6 secciones transversales que se emplearon en los análisis de estabilidad y la sección típica de la evaluación geológica. Para cada una de estas secciones, a partir de la información geológica y la caracterización geotécnica se estableció la secuencia estratigráfica y el rango más probable de variación de los parámetros de comportamiento mecánico.

Los parámetros de comportamiento mecánico requeridos por el modelo Cam-Clay-Creep se establecieron a partir de los resultados de los ensayos de consolidación realizados para cada uno de los materiales encontrados en el sitio del proyecto, empleando las siguientes expresiones:

Índice de Compresión modificado:

$$? ^{*} ? \frac{1}{2.3} \frac{Cc}{1 ? e_o}$$

Índice de expansión-recompresión modificado

$$? \,^{*}? \frac{2}{2.3} \frac{Cr}{1 ? e_o}$$

Índice de creep modificado

$$? \,^{*}? \frac{1}{2.3} \frac{C?}{1 ? e_o}$$

Los parámetros de resistencia fueron obtenidos a partir de los ensayos de resistencia al corte realizados los cuales se presentaron en el capítulo anterior. En la **Tabla 7-2** se presentan los parámetros de los materiales empleados en el modelo.

Cada uno de las secciones de análisis se subdividió empleando elementos triangulares de 15 nodos, con relaciones de forma inferiores a 3, formando una malla de elementos no estructurados, que permita establecer la variación de las deformaciones ante la aplicación de las cargas producidas por el peso de las viviendas. En la Figura 7.3 se muestra un ejemplo de las mallas empleadas.

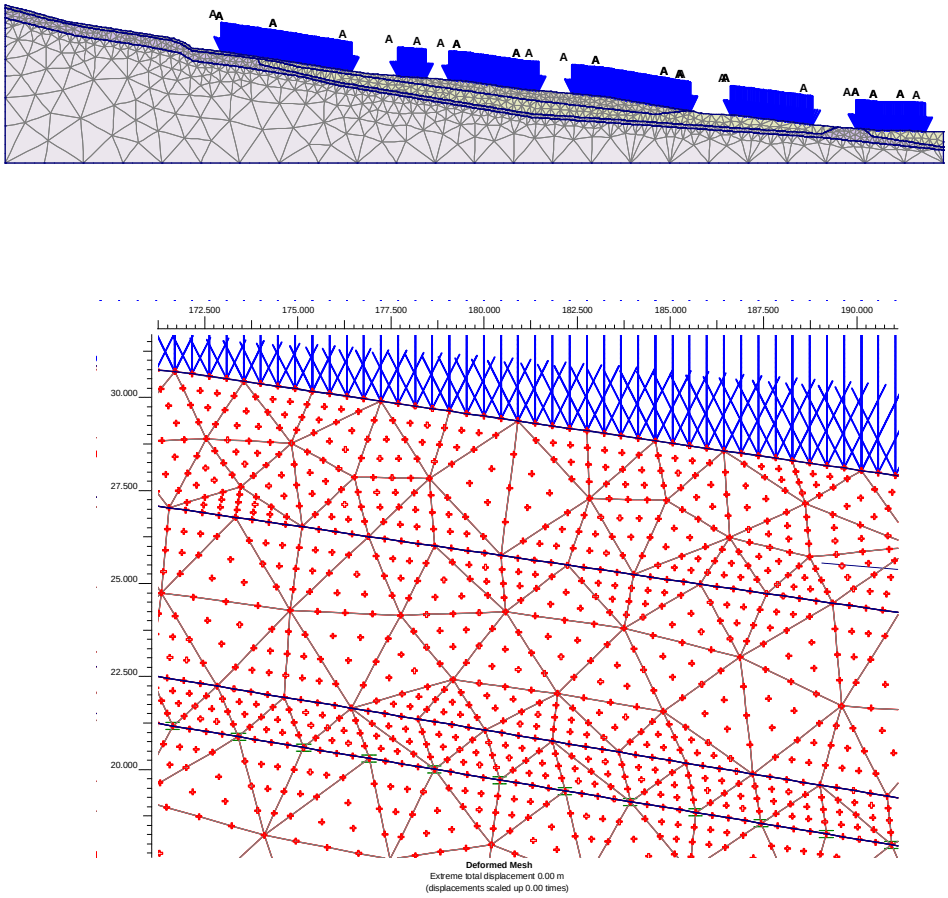
Las condiciones de contorno básicos es restringir el movimiento lateralmente y sobre el nivel de roca. Es decir no se involucró la deformación en la roca.

En la malla y en puntos ubicados debajo de la superficie del terreno se ubicaron puntos de referencia para el análisis.

Tabla 7-2 Parámetros de los materiales empleados en los modelos analizados

Material		Tipo	g_s [kN/m^3]	g_t [kN/m^3]	k [m/dia]	l* [-]	k* [-]	m* [-]	c [kN/m^2]	f [°]	E [kN/m^2]	u
Relleno Antrópico	Máximo	No Drenado	17.42	20.71	0.00001	0.057	0.02	0.0003	37	19	-	-
	Minimo	No Drenado	14.56	18.6	0.00001	0.065	0.032	0.004	16	6	-	-
Material Transportado	Máximo	No Drenado	19.4	22.17	0.000005	0.072	0.02	0.0008	23	22	-	-
	Minimo	No Drenado	12.72	16.96	0.000005	0.102	0.043	0.002	15	11	-	-
Suelo Residual	Máximo	No Drenado	20.4	22.89	0.00001	0.035	0.014	0.0004	25	22	-	-
	Minimo	No Drenado	14.05	17.77	0.00001	0.05	0.035	0.0015	15	10	-	-
Roca	-	No Poroso	24	24	-	-	-	-	200	35	3000000	0.15

Figura 7-3 Ejemplo de Malla de Elementos Finitos (sección 2)



7.1.3 Etapas de análisis

Cada una de las secciones evaluadas contempló las siguientes etapas de cálculo:

- **Estado inicial de esfuerzos:** Corresponde a la aplicación al modelo de las cargas debidas al peso propio de los materiales que conforman el suelo. Comprende una primera fase de aplicación de cargas en condición no drenada, y una fase posterior de consolidación bajo el peso propio de los materiales. Esta etapa pretende solamente establecer el estado de esfuerzos de la masa de cada uno de los elementos de la malla, los desplazamientos generados por estos procesos no son tenidos en cuenta en las siguientes etapas del análisis. En todos los análisis se consideró que el nivel freático coincide con la superficie del terreno. Ver Figura 7-4 y 7-5.

Figura 7-4 Ejemplo de distribución de los esfuerzos efectivos antes de la construcción de las viviendas. Sección de Análisis No. 2.

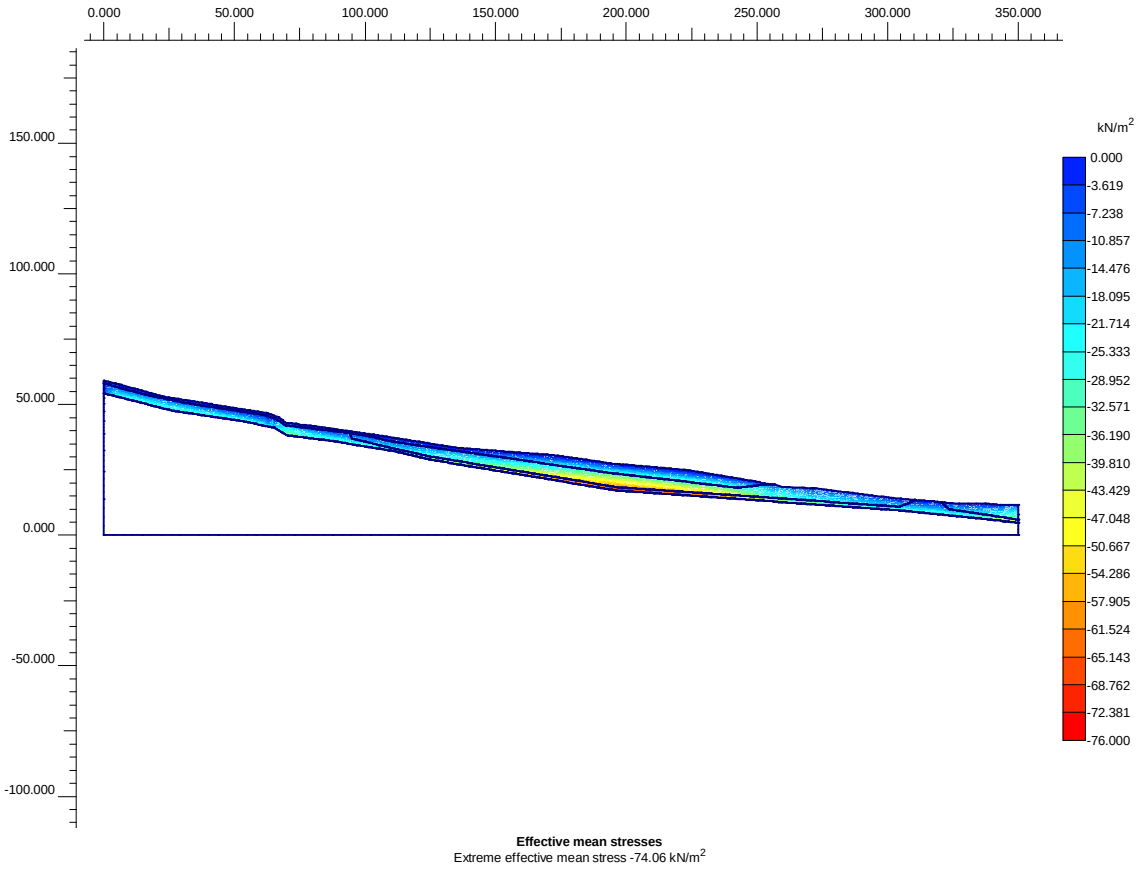
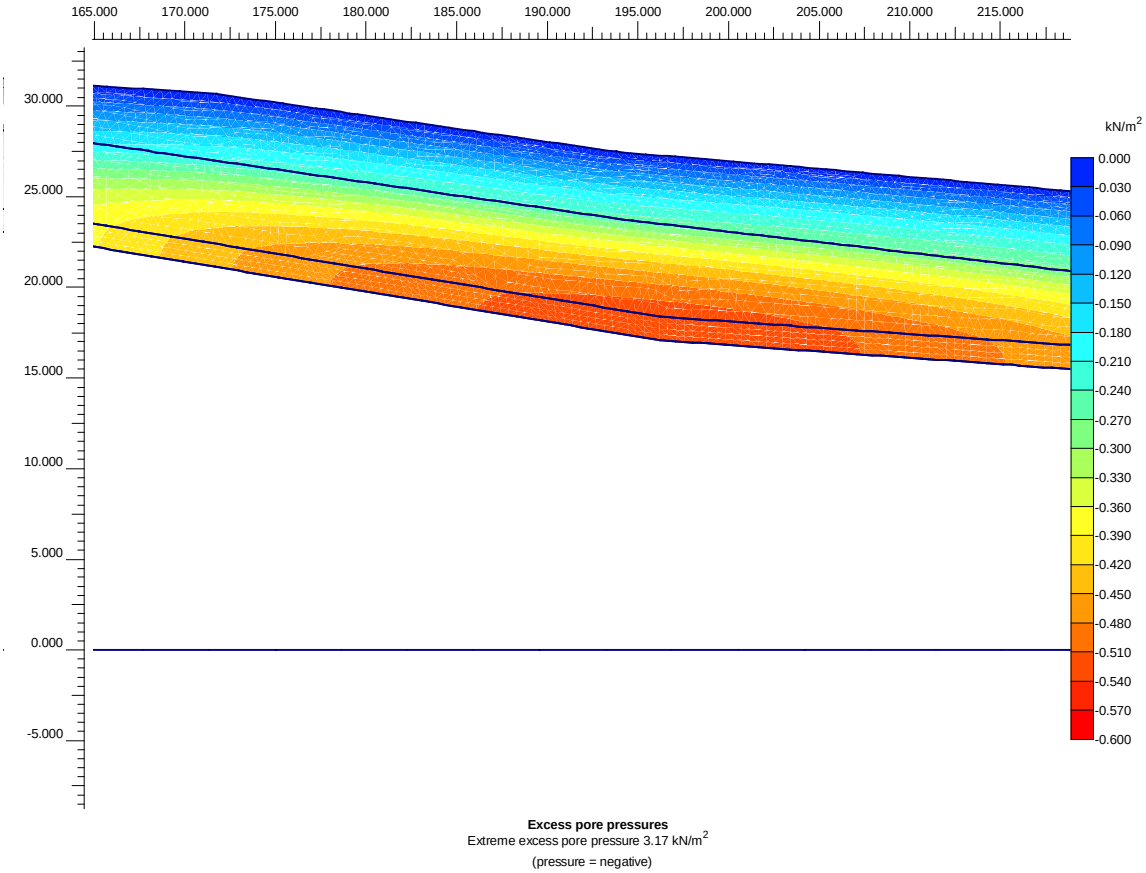


Figura 7-5 Ejemplo de distribución de excesos de presiones de poros antes de la construcción de las viviendas. Sección de Análisis No. 2.



Construcción de las viviendas: Considera la aplicación de las cargas de las viviendas, las cuales se modelaron mediante una sobrecarga uniforme de 20 kPa. Esta etapa corresponde a un proceso de carga no drenada que pretende establecer el cambio de esfuerzo, las deformaciones y las presiones de poros generadas durante la construcción de las viviendas, es decir un tiempo rápido de menos de un año.

- **Deformaciones por consolidación:** Con esta etapa se pretende establecer las deformaciones que ha sufrido el subsuelo debido al proceso de disipación de los excesos de presión de poros generados en la etapa de construcción de las viviendas. Se ubicaron diferentes puntos del perfil en A partir de los resultados de esta etapa se establecieron las curvas de consolidación en diferentes puntos del perfil, con lo cual se determinó las deformaciones por consolidación que se han presentado luego de treinta años de construidas las viviendas. El tiempo cero parte desde 1975 hasta el año 2005. En las figuras siguientes se muestra un ejemplo de los excesos de presión de poros y los esfuerzos efectivos obtenidos a los 30 años de construidas las viviendas, es decir en el año 2005.

Figura 7-6 Ejemplo de distribución de excesos de presiones de poros después de la construcción de las viviendas a los 30 años (año 2005). Sección de Análisis No. 2.

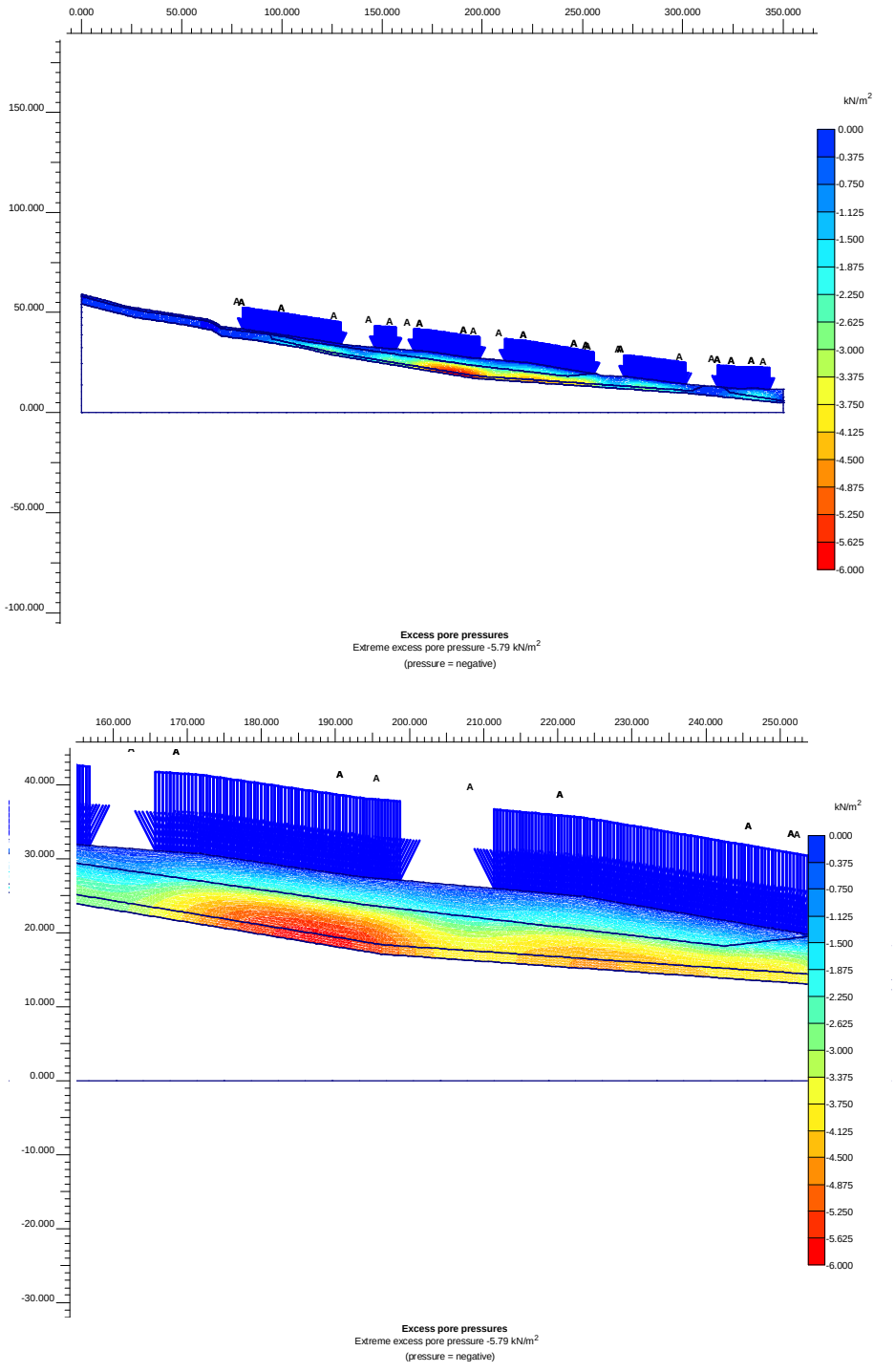


Figura 7-7 Distribución de esfuerzos efectivos después de colocada las viviendas a los 30 años (año 2005) Sección 2

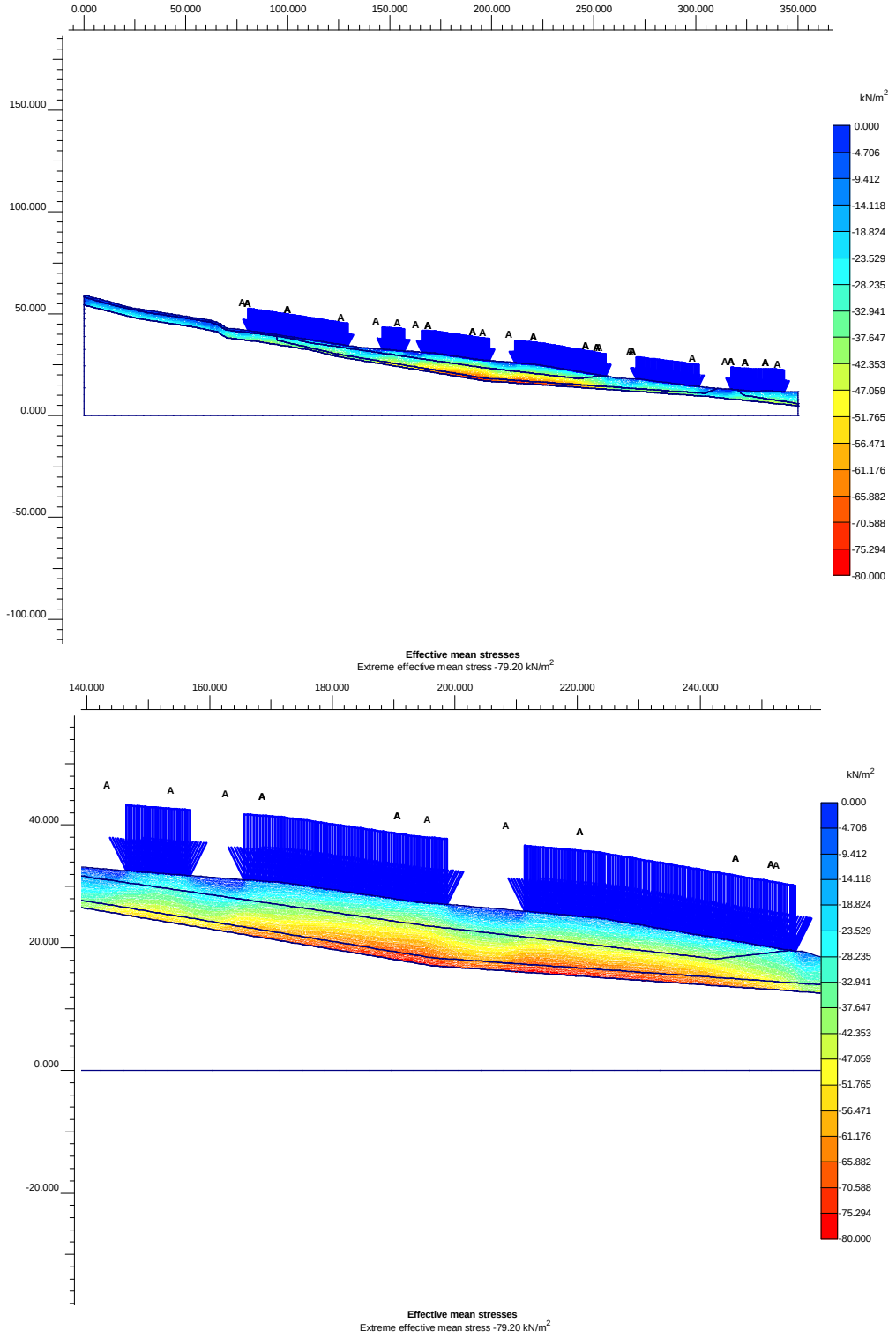
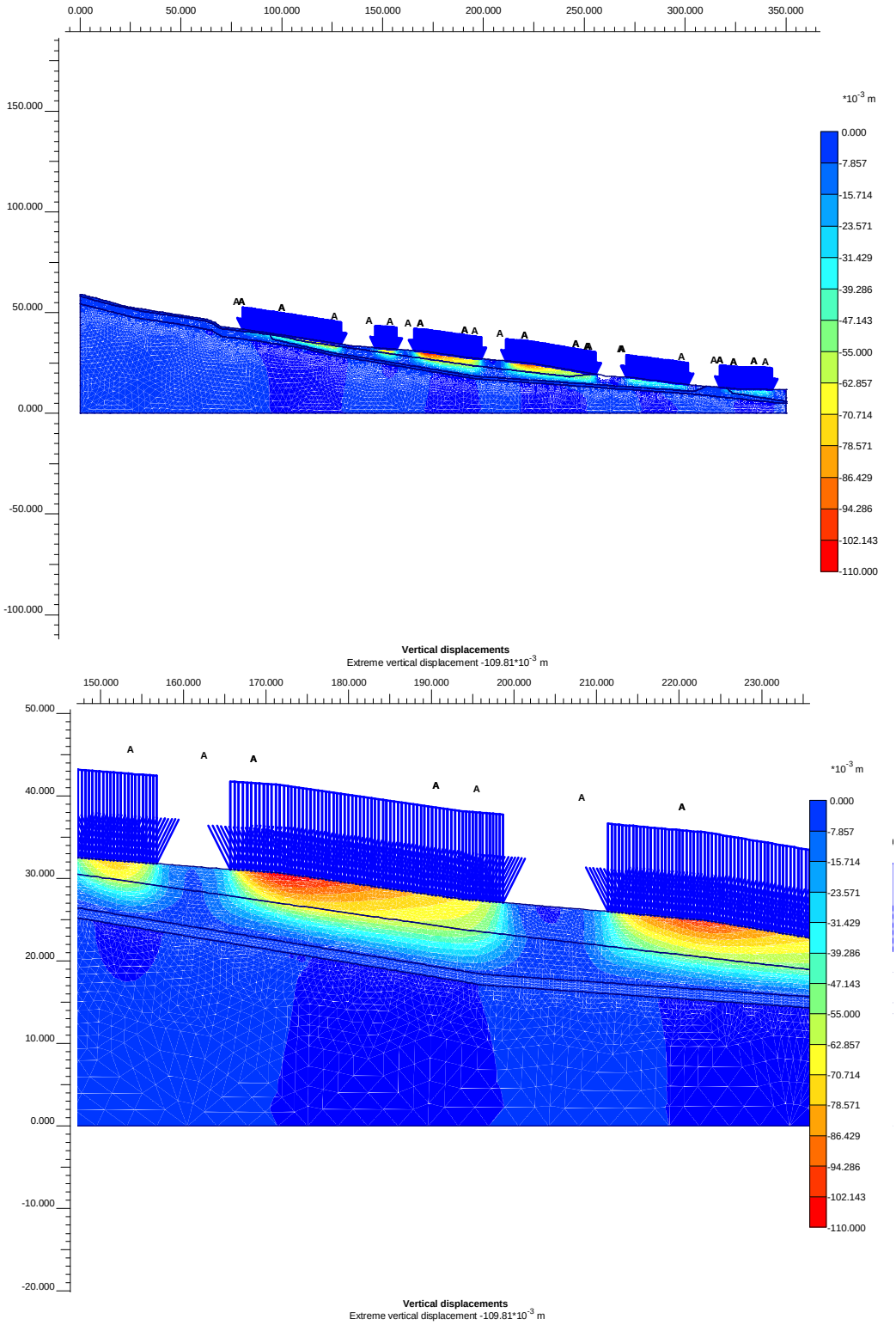


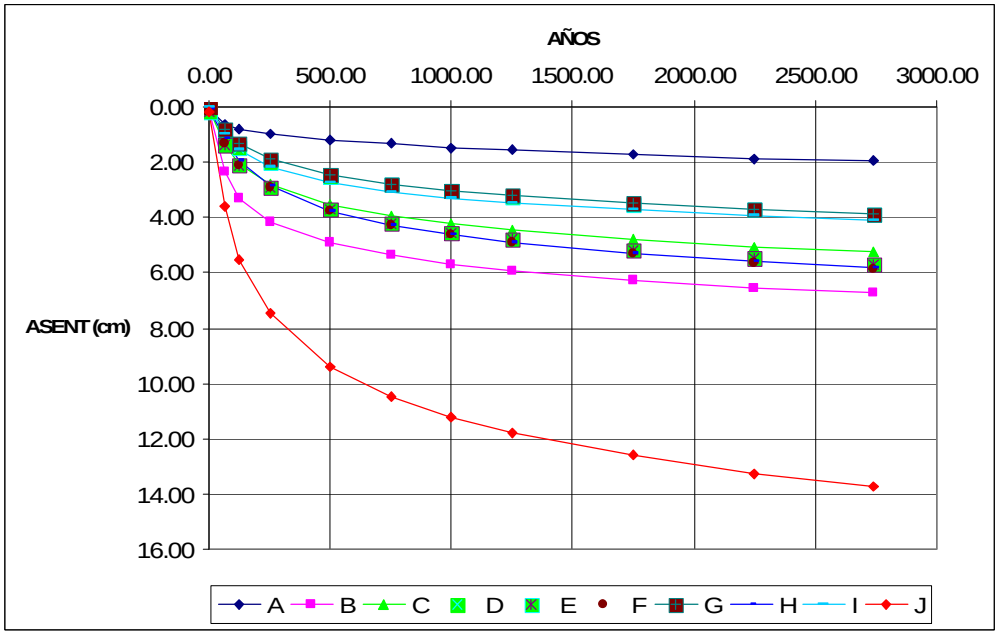
Figura 7-8 Deformaciones verticales en los últimos 30 años. Sección 2



Para cada una de las secciones de análisis se desarrolló este cálculo, colocando puntos de referencia debajo de la superficie del terreno (Plaxis solo permite 10 puntos, esto implica correr varias veces en diferentes puntos de referencia y/o obtener el paso de consolidación en el tiempo) y según la ubicación del nivel de cimentación aproximado. Estos puntos permiten evaluar para cada sección los asentamientos producidos en el tiempo y poder dibujarlos en proyección en el plano de la zona de estudio.

Para cada punto de análisis se obtiene la curva de consolidación con el tiempo. En la Figura siguiente se presenta el ejemplo para los puntos de análisis de la sección 2.

Figura 7-9 Deformaciones verticales en los últimos 30 años. Sección 2



Finalmente, considerando los valores más pesimistas de los parámetros de deformación y resistencia de los materiales, se establecieron las deformaciones en diferentes puntos a lo largo de cada sección, a partir de lo cual se determinó la variación de los asentamientos en toda la zona de estudio.

7.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los análisis realizados muestran que luego de treinta años de construidos las viviendas desde 1975 hasta 2005, los máximos asentamientos totales que se espera se hubiesen producido están entre 0.1 y 7 cm, encontrando que los valores máximos se presentan en las zonas donde los depósitos de los materiales transportados y los suelos residuales son mas profundos y en la parte intermedia de la ladera.

Las curvas de asentamientos en la zona del parque no se consideran representativas dado que no existen cargas aplicadas.

En la zona baja de la ladera, los asentamientos máximos esperados son inferiores a 1.5 cm, los cuales se consideran muy bajos para comprometer la estabilidad de las viviendas.

Con base en los resultados anteriores y una longitud promedio entre cimientos de 4 m se espera asentamientos diferenciales del orden de 2 cm, los cuales dado el tipo y la calidad de las construcciones se considera pueden haber contribuido, al deterioro de algunas viviendas, en especial las de menor calidad de construcción, ubicadas sobre los antiguos cauces de las quebradas, donde los depósitos de materiales arcillosos presentan mayor espesor.

Las áreas con asentamientos totales superiores a 2 cm, corresponde al 20 % del área total de la zona de estudio.

Dada las características del modelo del comportamiento del suelo empleado en los análisis, se espera que se presenten algunos asentamientos adicionales, de menor magnitud de los que ya han ocurrido. Los análisis realizados indican que los asentamientos esperados en los próximos 10 años, son del orden de 0.1 a 1.0 cm, por lo cual no se espera que los asentamientos sean la causa principal de futuros deterioros de las viviendas.

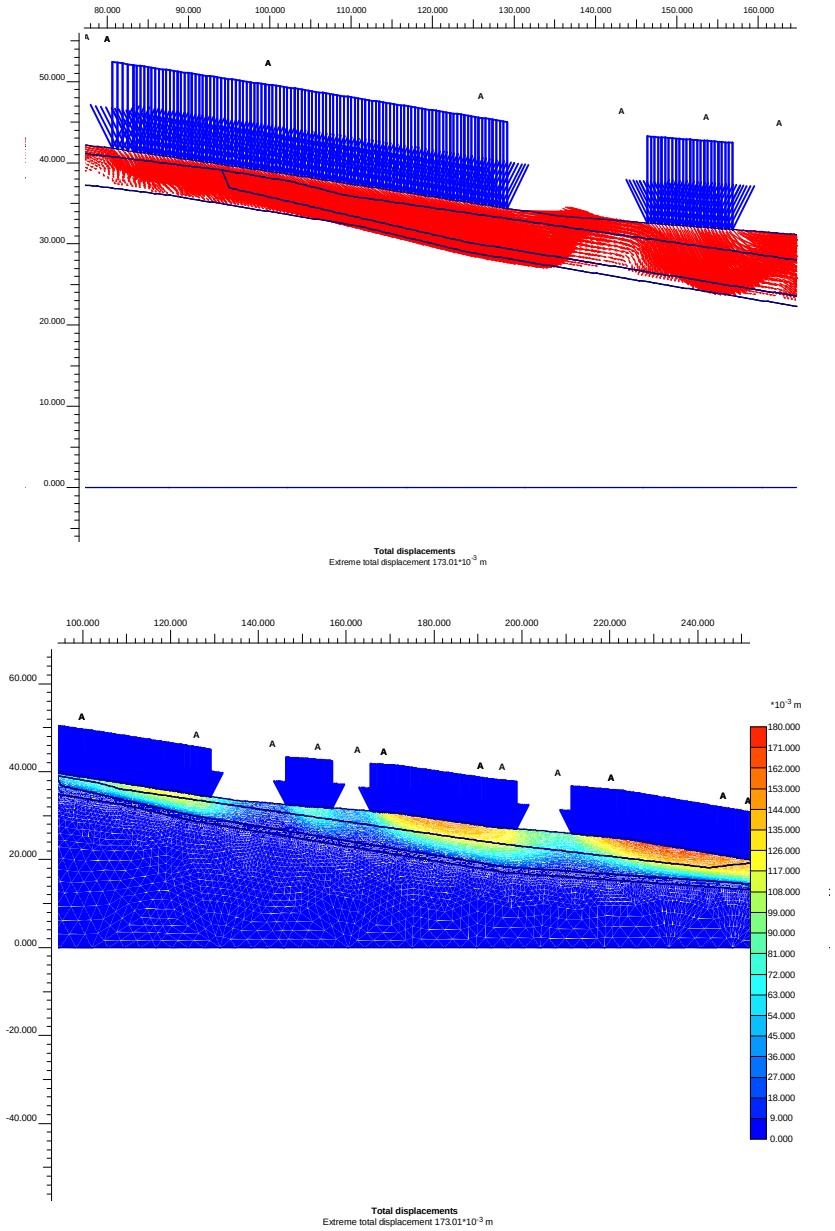
Figura 7-10 Deformaciones verticales en los últimos 30 años en la zona de estudio

7.3 ANÁLISIS DE DEFORMACIONES

7.3.1 Análisis por plaxis

En la siguiente figura (Figura 7.11) se presenta los vectores de dirección de los desplazamientos totales y su magnitud dada en los 30 años de análisis después de colocada las cargas de las viviendas.

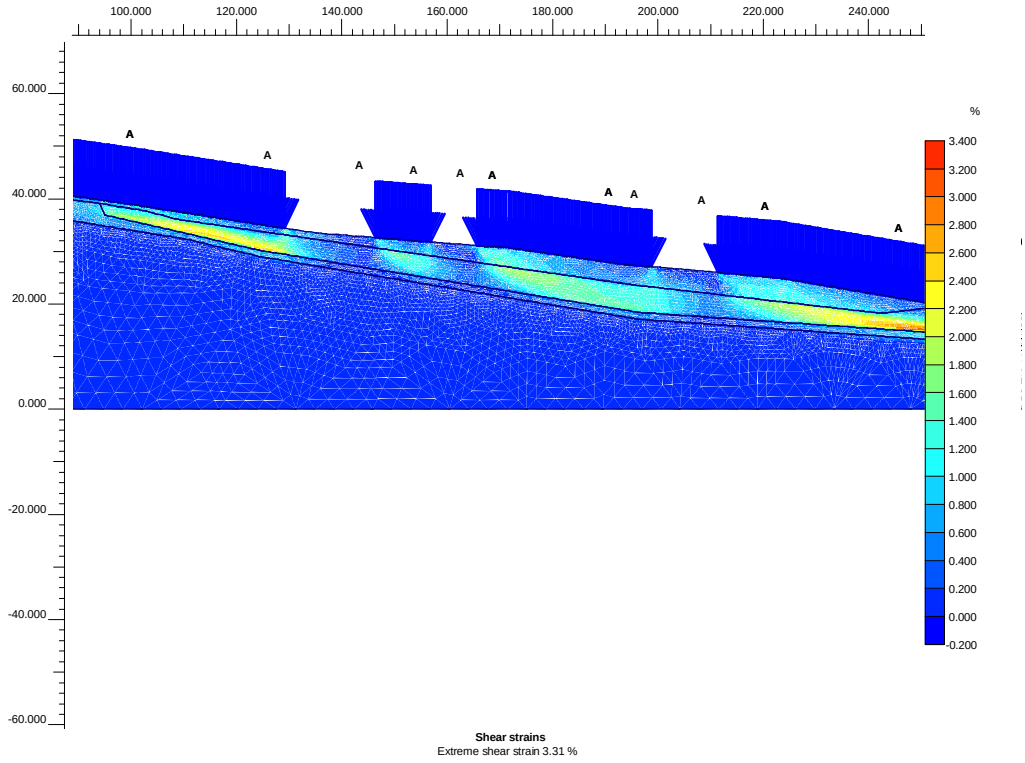
Figura 7-11 Deformaciones totales (sección 2)



Se puede observar que la línea de desplazamiento total se ubica en el contacto entre el suelo residual y los suelos transportados. El valor mayor se concentra en la segunda y tercera línea de viviendas. El valor promedio de desplazamiento total característico de la zona es de 7 cm en el peor de los casos (color cyan)

En la figura 7.12 se presenta las deformaciones totales por corte:

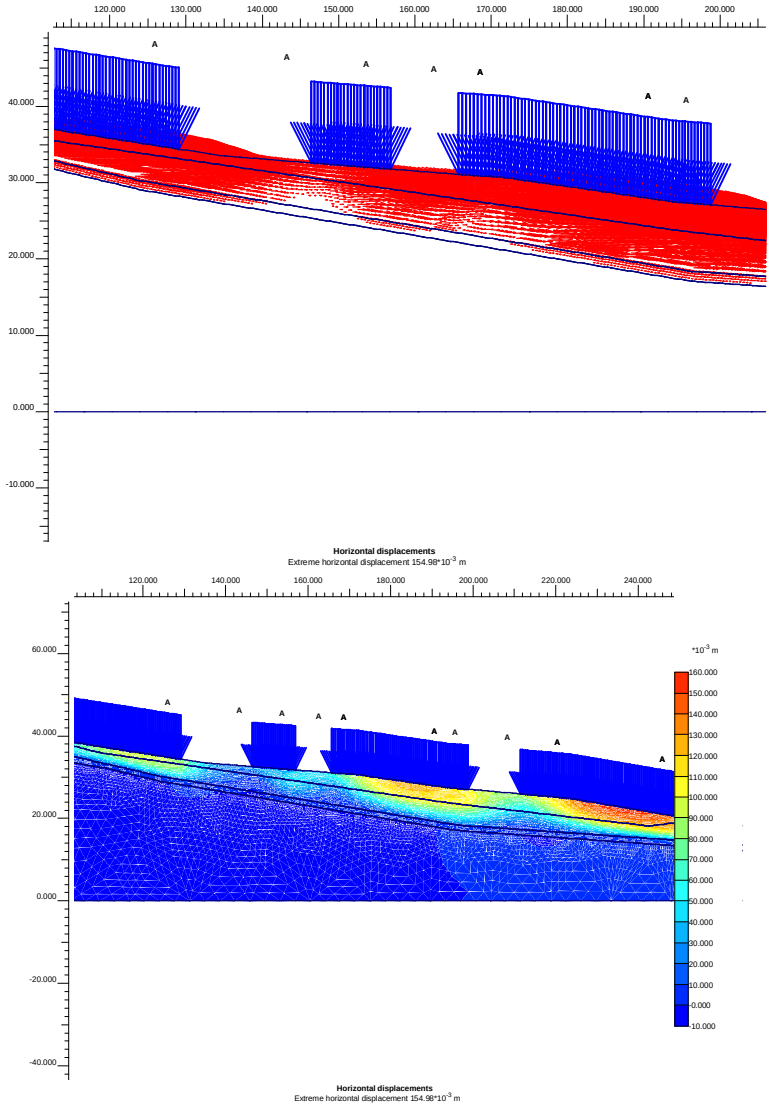
Figura 7-12 Deformaciones totales por corte



En esta figura puede verse la tendencia de deformaciones por corte (shear strains) hacia el contacto entre el suelo residual y el transportado con valores altos hacia la primera manzana y hacia la tercera manzana en la parte media de la ladera sobre la diagonal 33 bis sur.

En la figura siguiente se presenta las deformaciones horizontales de la masa de suelo de estudio:

Figura 7-13 Deformaciones horizontales de la masa de suelo



Las direcciones de las deformaciones horizontales hacen suponer un movimiento lento ladera abajo. El valor de la deformación horizontal total en el periodo de 30 años fue de 15 cm máximo.

Estas pequeñas deformaciones pueden suponer movimientos lentos de estos materiales sobre el contacto del suelo residual y los suelos transportados de tipo reptamiento.

7.3.2 Análisis por topografía y observación

En la fotografía siguiente se presenta una vista hacia el sur de la Diagonal 33 B sur:

Figura 7-14 Vista hacia el sur de la Diagonal 33 B sur



Vista hacia el sur de la Diagonal 33 B Sur. Obsérvese al fondo el daño en el pavimento y el cambio de altura de la vía.

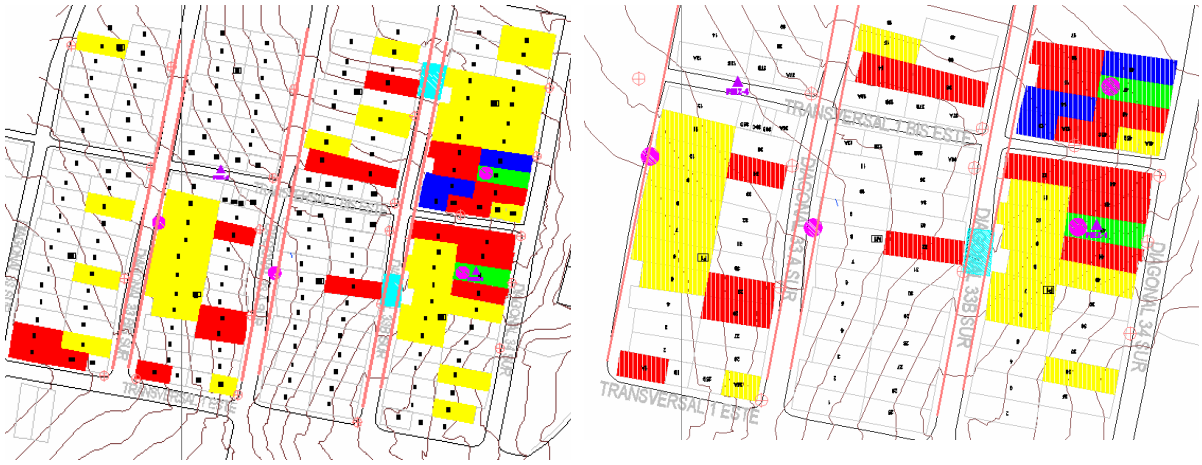


Vista hacia el norte de la Diagonal 33 B sur. Se observa el salto similar del pavimento y el continuo parcheo de la vía con pavimento asfáltico.

La fotografía fue tomada desde el punto donde se ubica el primer salto de la vía, marcado con el No. 2. Se ubica en el punto 1 el daño generalizado del pavimento y el salto del terreno. Obsérvese la deformación y tendencia de movimiento ladera abajo del sector, marcado por el alineamiento recto en el inicio de la vía al fondo, continuando con alineamiento curvo hacia el punto 2. Las viviendas ubicadas en la línea de la flecha se encuentran con daños importantes.

En la Figura 7.15 se presenta las líneas de desplazamiento obtenidas del análisis de la topografía 2005, asumiendo que el primer tramo del alineamiento de la vía y el último debieron en el momento de la construcción tener correcta dirección o paralelismo, además de haber sido comparado con el alineamiento existente en la topografía del año 1980.

Figura 7-15 Desplazamientos relativos del terreno



Se pueden calcular los siguientes valores de desplazamiento relativo:

Calle No.	Máximo desplazamiento relativo
Diagonal 33B sur	1.77 m
Diagonal 33 A sur	2.90 m
Diagonal 33 bis sur	1.22 m

Es decir que de acuerdo a comentarios de la comunidad, la vía se construyo alrededor de los años 80 se podría tener una tasa relativa de movimiento entre 5 y 11 cm por año de desplazamiento.

Se puede tener en cuenta que el borde de movimiento corresponde al del suelo transportado delimitado en el Plano de Geomorfología.

En general las viviendas ubicadas en el borde y parte central del movimiento presentan daños importantes.

8 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE AMENAZA POR FRM

Los análisis de estabilidad tienen, como objetivo principal, servir de insumo para la estimación de la probabilidad condicional de falla, la que define el nivel de amenaza por FRM. El factor de seguridad, resultado del análisis de estabilidad, tiene mayor relevancia cuando se expresa en términos de probabilidad de falla, que cuando se obtiene de manera determinística, máxime si se destacan las fuentes y grados de incertidumbre que rodean la determinación de los parámetros de análisis: cohesión, fricción, agua y sismo, la elaboración de los modelos estratigráficos (por no referirlos como geotécnicos) y las restricciones de los métodos de evaluación, entre otras. De otro lado, el factor de seguridad reportado en estudios geotécnicos está ligado habitualmente con las condiciones más críticas, no siempre válidas, y no con las más probables a las que podría someterse una ladera, pues su obtención es una tarea difícil y dispendiosa.

En este orden de ideas, es más conveniente y representativo estudiar toda la gama de los estados de trabajo a los que podrían estar sometidas las laderas. Pero el desarrollo de este tema requiere el tratamiento previo de cuatro hipótesis de trabajo: 1) el o los mecanismos de falla, 2) el procedimiento de evaluación (método de análisis), 3) los parámetros efectivos de resistencia de cada material y 4) los eventos detonantes. Las dos primeras hipótesis se asumen y manejan bajo el foco determinístico, es decir, se considera que los mecanismos de falla y los métodos de análisis son expeditos; en tanto que, con respecto a los dos últimos tópicos, se presenta incertidumbre de los valores que podrían adoptar en los análisis, bien sea por la variabilidad espacial de los parámetros de resistencia o bien, por la variabilidad temporal de los agentes detonantes; a ellos se asignan distribuciones de probabilidad, definidas por sus parámetros. A continuación se abordan, una a una, las llamadas hipótesis de trabajo.

8.1 HIPÓTESIS DE TRABAJO

8.1.1 Mecanismos de falla

Los mecanismos de falla posibles semejan: **a)** deslizamientos traslacionales de bloque detonados por saturación o presurización súbita (i.e. cambios drásticos en el régimen de agua) donde los materiales involucrados son rellenos antrópicos, depósitos fluvioglaciales (Qfg), suelos residuales de la formación Bogotá, o secuencias donde participan todos; y **b)** Movimientos compuestos en suelo –llenos mixtos (Qra) y residuales–. Unos y otros deducidos de las disposiciones geométrica y estratigráfica, en ordenanza de horizontes de suelo delgados (de hasta 2.50 m de espesor) paralelos a la superficie del terreno; del regular y bajo ángulo de contacto entre las unidades de suelo y de la ladera, en conjunto inferiores a los trece (13°) grados pero con dominio entre los 6° y 10°; y de la evolución morfodinámica especialmente de los eventos del año 2003.

El modelo de falla progresiva, y la coexistencia de planos de deslizamiento preferenciales -horizontes débiles- fueron descartados pues las laderas mantienen sus expresiones morfológicas en los últimos 15 años (deducido del análisis multitemporal – cartografías de

1980 y 2005), si se trata del primero; y los ensayos de penetración estándar develan perfiles de resistencia continuos y crecientes (Véase **Anexo 6.2 Registros de perforación**) en lo que atañe al segundo caso. Igual suerte se marco a los procesos rotacionales; la heterogeneidad del patrón litológico, contrario, sin embargo, a la similar respuesta de los parámetros de resistencia, y la carencia de rupturas en los perfiles topográficos soportan la decisión de obviarlos.

8.1.2 Modelación

Se planteó gracias a los métodos de equilibrio límite, basados en el criterio de resistencia de Mohr - Coulomb pero como función de los mecanismos evaluados; así para los deslizamientos traslacionales en suelo, se empleó como herramienta de trabajo el programa PCStable 6, y los métodos de bloque de Rankine y Janbu. En ambos casos se contemplaron la determinación de la geometría de las superficies críticas gracias a los parámetros de resistencia mínimos de los materiales involucrados.

Bajo los lineamientos anteriores, y con el fin de adelantar la tarea de evaluación de estabilidad, se establecieron 6 secciones de trabajo (1-1’ a 6-6’) que se muestran en planta y perfil en el Plano 5 Secciones de análisis.

Las secciones se subdividieron con base en las zonas homogéneas y en los materiales susceptibles; sobre los tramos resultantes se evaluaron los cuerpos potencialmente inestables según su dirección probable de movilización. Se asume, entonces, que el grado de estabilidad de cada una de las secciones (o sus partes) es atribuible a la región homogénea a la que pertenece. El lector puede apreciar en el Plano 5, el papel secundario del patrón estructural en las condiciones de trabajo actual del cuaternario y de los suelos residuales.

Asimismo, en el Anexo 8.1 se compilan los factores de seguridad obtenidos a partir de los parámetros de resistencia promedio.

A los análisis con PCSTABLE se le asignó un código alfa numérico entrelazado a la nomenclatura del sitio (A); éste diferencia sucesivamente la hipótesis de trabajo, el tipo de material, la sección de análisis y el plano de falla; v. G., el archivo AS11B1E1 representa el arreglo geométrico de bloques 1, sección 1-1’, en el primer horizonte de suelo: el relleno (denominado estrato 1: E1).

En el Anexo 8.2 se presentan los modelos generados para el análisis de estabilidad.

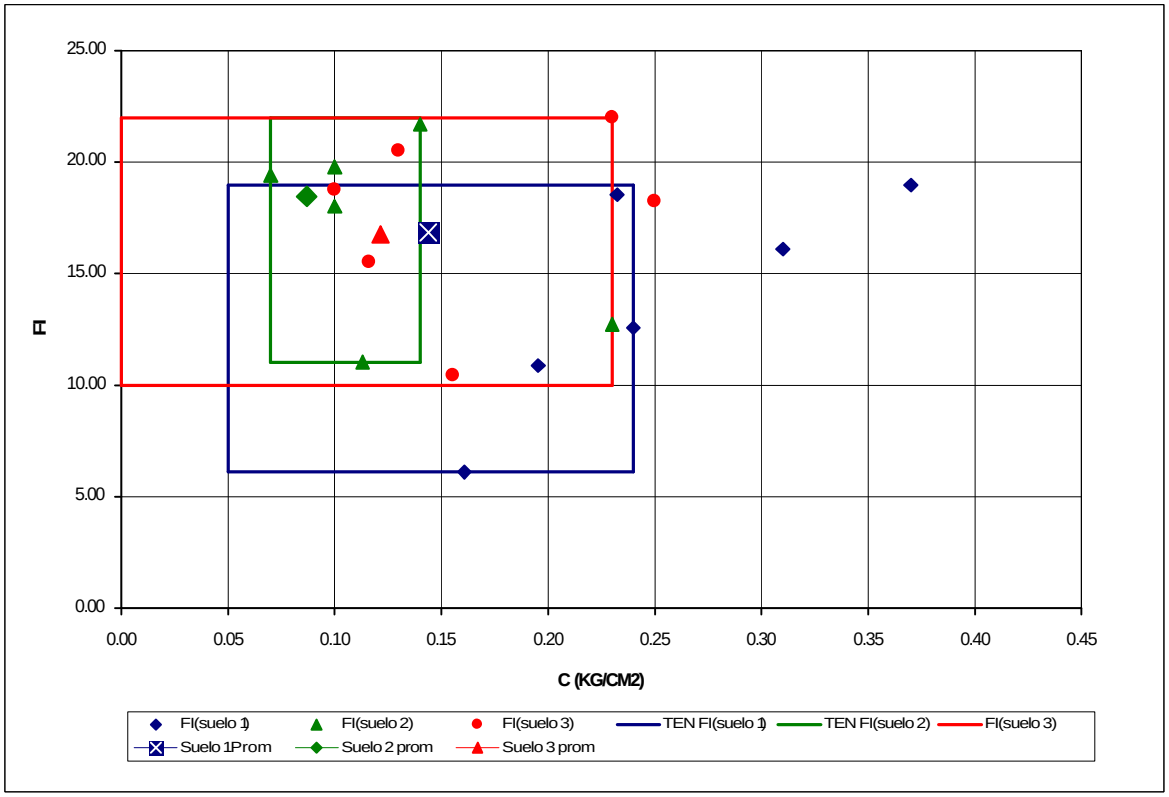
8.1.3 Parámetros de resistencia

Se obtuvieron a partir de tres fuentes básicas: 1) ensayos de laboratorio del marco de este proyecto, y que fueron consignados en el Anexo 6.3 Resumen de ensayos de laboratorio y numeral 6.5 así como en la Figura 8-1; 2) información secundaria: cortes

directos en arcillolitas, y suelos residuales del de la formación Bogotá seleccionada por similitudes litológica y geomorfológica y adoptada de los estudios de: Geoingeniería (2002) y Consultoría Colombiana (2001); su uso justifico y ratifico la primera de las fuentes a fe de descartar deficiencias en el laboratorio; 3) retroalimentación, iterativa, de los propios análisis de estabilidad en los cuerpos potencialmente inestables, para los que se adoptó como criterio que la combinación de parámetros geomecánicos mínimos, en estados de seco sin sismo condujera a una condición estable (*FS* = 1.05), tal como lo evidencia la configuración actual del terreno.

Este último principio básico para la justificación de las cohesiones mínimas tanto para los rellenos como para los suelos residuales -unos y otros adoptados como homogéneos e isotrópicos- (véase Anexo 8.1)

Figura 8-1 Intervalos de probabilidad



Los valores máximos y mínimos esperados, se calculan mediante la suma y sustracción de los coeficientes de variación (c.v) para c' y para tg ?', deducidos éstos para cada uno de los materiales; empero, justificados los extremos del dominio con partes del espacio muestral, es decir, con parejas c', ?' provenientes de cortes directos, si se trata del cuaternario; el material rocoso se circunscribió a una sola pareja de propiedades de resistencia pues sus papel es intrascendente en los procesos de inestabilidad.

Tal procedimiento implicó trabajar, en ocasiones, las endógenas como variables independientes (supuesto no siempre valido), así: .

$$c'_{\max} \; ? \; c'_{prom} \; ? \; c.v_c \; ? \; c'_{prom} \qquad tg?'_{\max} \; ? \; tg?'_{prom} \; ? \; c.v_t \; ? tg?'_{prom}$$

$$c'_{\min} \; ? \; c'_{prom} \; ? \; c.v_c \; ? \; c'_{prom} \qquad tg?'_{\min} \; ? \; tg?'_{prom} \; ? \; c.v_t \; ? tg?'_{prom}$$

La tarea así expuesta, involucró estudiar el modelo de falla de los posibles deslizamientos (véase el numeral 8.2 Evaluación de Amenaza) enmarcados en las secciones de análisis, mediante el ensayo de varios juegos de parámetros.

Las combinaciones propias de cada uno se muestran en las memorias de cálculo del Anexo 8.3 Resultados de Calibración de Parámetros. En Tabla 8.1 se listan los valores promedio de los parámetros estáticos y dinámicos de resistencia según el tipo de material y su fuente.

Tabla 8-1 Valores de parámetros de resistencia

TIPO DE SUELO	PARÁMETROS EXTREMOS				PARÁMETROS PROMEDIO						TIPO
	cmax (t/m2)	fmax	cmin (t/m2)	fmin	Distribución Triangular		Distribución Normal (Adoptados)		Distribución Normal (CD únicamente)		
					cprom (t/m2)	fprom	cprom (t/m2)t	fpromt	cprom (t/m2)cd	fpromcd	
SUELO 1	2.40	19	0.50	6.07	1.45	12.13	1.44	16.81	2.51	15.47	Relleno
SUELO 2	1.40	22	0.70	11.00	1.05	15.45	0.87	18.47	1.26	17.18	Transportado
SUELO 3	2.30	22	0.00	10.00	1.15	15.06	1.22	16.75	1.64	17.64	Residual
ROCA	20.00	40									Roca

Otros espectros de parámetros estudiados se condensan en las tablas del Anexo 8.1 Resultados de Calibración de Parámetros, ellos fueron rechazados pues no satisfacían el criterio adoptado en la retroalimentación.

8.2 AGENTES DETONANTES

Los agentes detonantes se establecen como condiciones asociadas a la ocurrencia de lluvias (Ll) y sismos (Eq).

8.2.1 Agua

En la definición de los agentes exógenos, la mayor incertidumbre radica en la relación entre la ocurrencia de las lluvias y la presencia del agua al interior del talud; en este sentido y a fe de reducir tal incertidumbre se recurrió a la disposición de piezómetros en distintos puntos de la ladera (véanse la Figura 8.2 y la Tabla 8.2– Lecturas de Piezómetros). Las mediciones permitieron fijar como supuestos de relación predictiva los siguientes:

- La saturación de las capas de suelo –llenos, fluvioglacial y residuales–, pero bajo condiciones de flujo libre, gestados por el régimen hidrogeológico, los periodos invernales o la rotura de las redes de servicio (agua blanca, lluvia y sanitaria).
- El trabajo libre de agua de los paquetes de roca.

Premisas apoyadas no sólo en las mediciones piezométricas, sin obviar su sesgo conservador: las lecturas apenas alcanzan como rasero máximo los cincuenta centímetros bajo la superficie del terreno, sino las pruebas de calidad de agua. Los contenidos de sulfatos y aluminio en el sondeo 4 y su ausencia en el sondeo 9 sirven de bastiones.

La función de probabilidad de dicha variable (Zw) se basó en la obtención para las Estaciones Vitelma, Juan Rey y El Delirio -las más cercanas a el barrio Atenas- de los periodos de retorno en función de lluvias acumuladas para una duración dada, mediante una distribución Gumbel de la forma:

$$Tr = \frac{1}{1 - \exp(-\exp(-a(Lld - b)))}$$

O, lo que es lo mismo,

$$p = 1 - \exp(-\exp(-a(Lld - b)))$$

donde:

Tr: Periodo de retorno (años)

p: Probabilidad de ocurrencia anual de Lld

Lld: Precipitación acumulada para una duración dada (mm)

a y b: Coeficientes de Gumbel que son función de la duración de la lluvia crítica para la cada Estación, mediante las siguientes expresiones (Ingeocim, 1998 – Capítulo hidrología):

Figura 8-2 Piezómetros

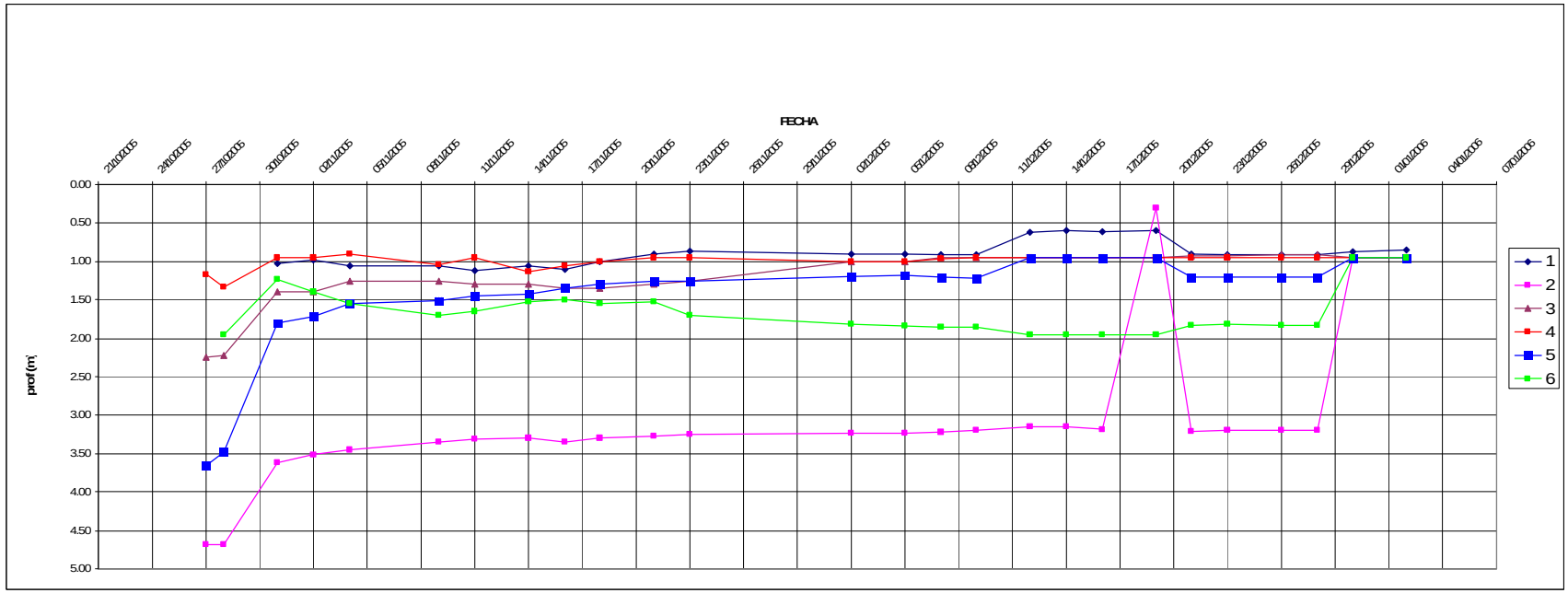


Tabla 8-2 Lecturas de piezómetros

	26/10/2005	27/10/2005	28/10/2005	31/10/2005	02/11/2005	04/11/2005	09/11/2005	11/11/2005	14/11/2005	16/11/2005	18/11/2005	21/11/2005	23/11/2005	02/12/2005	05/12/2005	07/12/2005	09/12/2005	12/12/2005	14/12/2005	16/12/2005	19/12/2005	21/12/2005	23/12/2005	26/12/2005	28/12/2005	30/12/2005	02/01/2006
PIEZOMETRO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1				1.03	0.98	1.05	1.05	1.12	1.05	1.1	1	0.9	0.86	0.90	0.90	0.91	0.91	0.62	0.60	0.61	0.60	0.90	0.91	0.91	0.91	0.87	0.85
2	4.75	4.68	4.68	3.62	3.52	3.45	3.35	3.31	3.3	3.35	3.3	3.28	3.25	3.23	3.23	3.22	3.20	3.15	3.15	3.18	0.30	3.21	3.20	3.20	3.20	0.95	0.95
3	2.19	2.25	2.23	1.40	1.40	1.25	1.25	1.30	1.3	1.35	1.35	1.3	1.25	1.00	1.00	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.93	0.93	0.92	0.92	0.95	0.95
4	1.25	1.17	1.34	0.95	0.95	0.90	1.04	0.95	1.13	1.05	1	0.95	0.95	1.00	1.00	0.97	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
5	3.94	3.65	3.48	1.80	1.71	1.55	1.51	1.45	1.42	1.35	1.3	1.25	1.25	1.19	1.18	1.20	1.22	0.95	0.95	0.95	0.95	1.21	1.20	1.21	1.20	0.95	0.95
6			1.95	1.23	1.40	1.55	1.70	1.65	1.52	1.5	1.55	1.52	1.7	1.82	1.84	1.85	1.85	1.95	1.95	1.95	1.95	1.83	1.82	1.83	1.83	0.95	0.95

$$a = a1 \cdot Dcr^2 + a2 \cdot Dcr + a3$$

$$b = b1 \cdot Dcr^2 + b2 \cdot Dcr + b3$$

donde:

Dcr: Es la duración de la lluvia crítica (días), y

a1, a2, a3, b1, b2 y b3 son coeficientes asociados con cada estación climatológica.

De acuerdo con Castellanos y Zamudio y González (1999), la Dcr es función de la Lluvia crítica, Llcr, (en mm) y se escribe en términos de la precipitación anual, Lla (también en mm), así:

$$Dcr = 3.2829042331 \cdot Llcr^{0.4157115679}$$

$$Llcr = 51.42096 + 0.403521 \cdot Lla$$

Dado que la precipitación anual multianual, Lla, en las Estaciones oscilan entre 1018.8 mm, si se trata de la Vitelma, y 1246.40, en lo que atañe a El Delirio, con promedio aritmético para las tres de 1190 mm (ver capítulo 3 Climatología), la precipitación crítica, Llcr, es 502.96 mm; su duración, Dcr, 43 días y su periodo de retorno, Tr, 28.44 años.

Para otros escenarios de exposición se tiene que:

$$p_n = 1 - \exp(-n \cdot p)$$

donde:

pn: Probabilidad de ocurrencia de Lld, para una exposición de n años

n: Tiempo de exposición (años)

p: Probabilidad de ocurrencia anual de Lld

o

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

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

donde:

P+= probabilidad de ocurrencia del evento crítico

P- = probabilidad de no ocurrencia del evento crítico

T = período de retorno

n = período de análisis o exposición

8.2.2 Sismo

Con respecto al sismo, se tienen las siguientes consideraciones:

- El Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia, EGASC, determina para Bogotá un a_m de 0.20g, para un período de retorno Tr = 475 años (probabilidad de ocurrencia de 10% en 50 años).
- La Microzonificación Sísmica de Bogotá, MZSB, determina para los cerros de Bogotá (zona 1) un a_m de 0.24g.

Lo anterior significa que, en términos generales, para el Barrio Atenas, localizado en zona de cerros, el factor de amplificación es 1.2, además, para efectos de análisis seudo-estáticos de estabilidad se toman los 2/3 de a_m ya que ésta considera valores pico.

Así, la curva de amenaza presentada por el EGASC para Bogotá se afecta por las consideraciones mencionadas para un escenario de 1 año de exposición y se ajusta a la siguiente distribución Gumbel:

$$p = 1 - \exp\left(-\exp\left(-a\left(\frac{a_h}{g}\right)^{0.25} - b\right)\right)$$

donde:

ah/g: Coeficiente de aceleración horizontal del terreno

a: Coeficiente de Gumbel = 16.85895

b: Coeficiente de Gumbel = 0.319692

Para otros escenarios se tiene:

$$p_n = 1 - \exp(-n \cdot p)$$

donde:

p_n: Probabilidad para exposición de n años

n: Tiempo de exposición (años)

p = probabilidad anual (= 1/475)

Por último, de las secciones de análisis se abstrajo por similitud morfológica, que la aceleración máxima en roca utilizada en los análisis pseudos estáticos es equivalente a la aceleración pico. Los valores mínimos son siempre nulos.

8.3 EVALUACIÓN DE AMENAZA

La amenaza por fenómenos de remoción en masa, entendida como la posibilidad de falla durante un tiempo de exposición dado, puede hacerse mediante análisis cuantitativos: probabilísticos o determinísticos, o por métodos puramente empíricos. En este estudio, la evaluación, acorde con la escala de trabajo y con el grado de investigación, que no es

otra cosa que la incorporación y empleo de los resultados de la investigación geotécnica, se hace en términos probabilísticos. La amenaza, entonces, es función de múltiples factores, ya sean internos o externos que la controlan, expresados, unos, como valores únicos, y, otros, como variables aleatorias.

En el caso de deslizamientos, la amenaza puede describirse mediante la evaluación del factor de seguridad FS como parámetro específico de estabilidad (Sánchez, 2000). Pero para estimar la probabilidad de falla es necesario conocer la distribución estadística del factor de seguridad (González, 2001)[6] específicamente sus dos primeros momentos: la media y la desviación estándar $?_{FS}$ y $?_{FS}$. La solución a la relación entre estas dos variables y la obtención de las mismas, se plantea aquí con el soporte de los lineamientos metodológicos de los Estimativos Puntuales, PEM (Rosenblueth, 1975 y Harr, 1987)[7].

El PEM permite, conocidas las distribuciones estadísticas de los n parámetros que intervienen en el problema, combinados en un algoritmo que resulta en un factor de seguridad, obtener el promedio y la desviación estándar de dicho FS y por ende, la probabilidad condicional. Pero para su puesta en marcha es preponderante definir las hipótesis de trabajo determinísticas (mecanismo de falla y métodos de análisis), y las hipótesis de trabajo probabilísticas (parámetros de resistencia y agentes detonantes), las últimas mediante funciones de probabilidad y los parámetros que las definen, p.e. función de distribución (triangular, normal, lognormal, etc), la Media, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

8.3.1 Consideraciones

Por limitaciones inherentes a las herramientas computacionales utilizadas en el cálculo del FS, sólo se empleó el PEM, puesto que los mecanismos de suelo fueron corridos en PC-Stable 6, algo limitado en la generación de las combinaciones. Fijos los comportamientos de las fuentes de incertidumbre y la probabilidad de sus valores extremos, se obtuvieron los valores de FS para las 16 posibles combinaciones de los 4 parámetros críticos involucrados: cohesión, ángulo de fricción, sismo y lluvia. Finalmente, con los valores de la media y la desviación estándar del FS, se calculó la probabilidad de falla, como la probabilidad de que el FS sea menor que 1.0. Todas las valoraciones se efectuaron contemplando dos escenarios de exposición: actual (1 año) y a mediano plazo (10 años) con el fin de establecer sensibilidad con respecto a esta variable.

[6] GONZÁLEZ, Álvaro (1999). Estimativos de parámetros efectivos de resistencia con el SPT en X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana. Sociedad Colombiana de Ingenieros – Sociedad Colombiana de Geotecnia. Bogotá. 1999.

[7] HARR. Reliability based design in civil enginnering. Dover. Pp. 187 – 222. 1987.

8.3.2 Análisis de Resultados

De los resultados obtenidos, se concluye que para los escenarios actual y a 10 años, el conjunto completo de superficies libres poseen probabilidades de falla inferiores a 0.112, con moda entre 0.04 y 0.08; los planos preferenciales de falla se disponen indiferentemente en los contactos litológicos de relleno-fluvioglacial, fluvioglacial-suelo residual y suelo residual-arcillolita. De matiz especial son el primero y el último pues develan los mayores potenciales de movilización, al punto que los umbrales de probabilidad recaen en ellos y a lo largo de las secciones 1-1 y 2-2.

Para el escenario de 25 años, las franjas medias de las secciones 1-1, 2-2 y 3-3 migran a probabilidades condicionales de 0.154, 0.153 y 0.159, respectivamente. Cualquiera sea el caso las coronas que se demarcan en el perímetro del fluvioglacial.

Las Tablas 8.3 a 8.8 (Resumen de los factores de seguridad y de la probabilidad de falla condicional) y el Anexo 8.3 Superficies críticas de Stable muestran los resultados obtenidos de los análisis de estabilidad. En unas y otras reseñan que puede esperarse la falla de las laderas cinemáticamente activas (entiéndase las rotuladas como 1-1 y 2-2), en un modelo de disminución progresiva de los parámetros de resistencia en el plano de deslizamiento, es decir, toda vez que sus coeficientes de resistencia se aproximen a los residuales pero sólo bajo acción sísmica, bien en estados secos o saturados.

Tabla 8-3 Análisis de probabilidad Sección 1-1

Resumen de los factores de seguridad y de la probabilidad de falla condicional
Falla Traslacional - Condición Estática - Sección 1-1
Valores Probables - Tr agua = 28.44 años

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL						
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS						
				cr a	cr a	cr a	cr b	cr b	cr b	cr b
				S11B2E1	S11B3E1	S11B1E2	S11B1E1	S11B2E2	S11B3E2	S11B1E3
				Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar
Fricción	Cohesion (T/m²)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Sin	6.012	4.323	3.551	5.803	3.423	3.543	3.375
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Sin	4.841	3.228	2.459	4.406	2.824	2.805	2.409
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Sin	2.064	2.168	3.080	2.838	3.089	3.129	2.003
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Sin	1.426	1.063	1.979	1.418	2.488	2.387	1.043
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Con	2.865	2.144	1.488	2.434	1.455	1.457	1.384
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Con	2.370	1.655	1.037	1.910	1.212	1.167	1.021
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Con	1.187	1.022	1.270	1.135	1.303	1.249	0.784
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Con	0.671	0.520	0.818	0.587	1.057	0.981	0.463
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Sin	4.399	2.949	2.227	4.107	2.294	2.399	2.401
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Sin	3.820	2.435	1.645	3.423	1.961	1.973	1.898
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Sin	1.594	1.222	1.836	1.674	2.005	2.046	1.302
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Sin	1.003	0.692	1.284	0.959	1.672	1.616	0.710
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Con	2.053	1.431	0.899	1.668	1.025	1.045	1.023
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Con	1.850	1.243	0.685	1.459	0.891	0.877	0.842
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Con	0.683	0.543	0.725	0.622	0.885	0.878	0.524
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Con	0.459	0.328	0.520	0.381	0.749	0.705	0.142
Material										
				ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g
Valores paramétricos empleados en cada sección		ϕ_{max}		19.0	19.0	22.0	19.0	22.0	22.0	22.0
		ϕ_{min}		6.07	6.07	11.0	6.1	11.0	11.0	10.0
		C_{max} (ton/m²)		2.40	2.40	1.40	2.40	1.40	1.40	2.30
		C_{min} (ton/m²)		0.50	0.50	0.70	0.50	0.70	0.70	0.00
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM			Ln	0.0861	0.0699	0.0024	0.0549	0.0001	0.0003	0.0745
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			Ln	0.0968	0.0817	0.0155	0.0744	0.0059	0.0067	0.1130
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM			Ln	0.1119	0.0967	0.0446	0.1008	0.0272	0.0277	0.1639

Tabla 8-4 Análisis de probabilidad Sección 2-2

Resumen de los factores de seguridad y de la probabilidad de falla condicional

Falla Traslacional - Condición Estática - Sección 2-2

Valores Probables - Tr agua = 28.44 años

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL					
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS					
				cr a	cr a	cr b	cr b	cr b	cr b
				S22B1E1	S22B2E1	S22B1E2	S22B2E2	S22B2E3	S22B1E3
				Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar
Fricción	Cohesion (T/m^2)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Sin	5.639	6.331	3.837	3.984	3.754	4.079
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Sin	3.891	4.225	2.425	2.509	2.396	2.685
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Sin	3.180	3.738	3.378	3.427	2.495	2.692
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Sin	1.433	1.631	1.960	1.952	1.137	1.283
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Con	1.996	1.878	1.262	1.240	1.182	1.310
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Con	1.915	1.289	0.804	0.796	0.778	0.875
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Con	1.084	1.070	1.093	1.051	0.748	0.818
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Con	0.502	0.479	0.633	0.607	0.346	0.377
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Sin	4.288	2.878	2.643	2.831	2.371	3.078
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Sin	3.216	2.105	1.747	1.881	1.603	2.143
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Sin	2.121	1.489	2.236	2.341	1.444	1.851
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Sin	1.052	0.714	1.336	1.390	0.680	0.894
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Con	1.461	1.344	0.826	0.851	0.903	0.970
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Con	1.138	1.017	0.560	0.583	0.638	0.691
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Con	0.678	0.660	0.678	0.687	0.515	0.527
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Con	0.352	0.329	0.411	0.418	0.150	0.241
Material									
				ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g
Valores paramétricos empleados en cada sección		ϕ_{max}		**19.0**	**19.0**	**22.0**	**22.0**	**22.0**	**22.0**
		ϕ_{min}		**6.07**	**6.07**	**11.0**	**11.0**	**10.0**	**10.0**
		C_{max} (ton/m^2)		**2.40**	**2.40**	**1.40**	**1.40**	**2.30**	**2.30**
		C_{min} (ton/m^2)		**0.50**	**0.50**	**0.70**	**0.70**	**0.00**	**0.00**
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM			Ln	0.0440	0.0385	0.0066	0.0073	0.0607	0.0434
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			Ln	0.0606	0.0770	0.0239	0.0241	0.1092	0.0708
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM			Ln	0.0851	0.1258	0.0555	0.0547	0.1706	0.1010

Tabla 8-5 Análisis de probabilidad sección 3-3

Resumen de los factores de seguridad y de la probabilidad de falla condicional

Falla Traslacional - Condición Estática - Sección 3-3

Valores Probables - Tr agua = 28.44 años

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL		
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS		
				cr a	cr b	cr b
				S33B1E1	S33B1E2	S33B2E2
				Planar	Planar	Planar
Fricción	Cohesion (T/m^2)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Sin	6.577	4.590	4.556
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Sin	5.099	3.101	3.164
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Sin	3.071	2.711	2.507
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Sin	1.589	1.216	1.119
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Con	2.410	1.663	1.734
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Con	1.912	1.152	1.234
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Con	1.079	0.939	0.909
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Con	0.576	0.421	0.417
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Sin	5.353	2.656	3.196
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Sin	4.342	1.958	2.405
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Sin	2282.000	1.351	1.469
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Sin	1.265	0.646	0.686
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Con	1.976	1.179	1.199
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Con	1.650	0.898	0.937
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Con	0.794	0.569	0.512
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Con	0.461	0.356	0.268
Material						
				ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g
Valores paramétricos empleados en cada sección		ϕ_{max}		**19.0**	**22.0**	**22.0**
		ϕ_{min}		**6.07**	**10.0**	**10.0**
		C_{max} (ton/m²)		**2.40**	**2.30**	**2.30**
		C_{min} (ton/m²)		**0.50**	**0.00**	**0.00**
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM			Ln	0.0507	0.0574	0.0682
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			Ln	0.0612	0.1010	0.1008
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM			Ln	0.0762	0.1564	0.1445

Tabla 8-6 Análisis de probabilidad Sección 4-4

Resumen de los factores de seguridad y de la probabilidad de falla condicional

Falla Traslacional - Condición Estática - Sección 4-4

Valores Probables - Tr agua = 28.44 años

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL				
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS				
				cr b	cr b	cr b	cr b	cr b
				S44B1E1	S44B1E2	S44B1E3	S44B2E2	S44B2E3
				Planar	Planar	Planar	Planar	Planar
Fricción	Cohesion (T/m^2)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Sin	14.109	3.007	5.048	3.970	5.678
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Sin	12.498	2.790	3.557	3.297	3.904
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Sin	4.793	2.882	3.094	3.587	3.365
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Sin	3.178	2.659	1.593	2.912	1.585
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Con	5.503	0.940	1.650	1.217	1.747
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Con	4.943	0.889	1.185	1.025	1.227
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Con	1.796	0.903	0.967	1.092	0.985
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Con	1.230	0.848	0.494	0.898	0.463
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Sin	11.197	2.898	3.817	2.994	3.906
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Sin	10.330	2.767	2.970	2.631	2.951
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Sin	3.332	2.744	2.163	2.682	2.014
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Sin	2.461	2.658	1.312	2.316	1.060
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Con	4.261	0.903	1.217	0.907	1.178
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Con	4.004	0.877	0.979	0.816	0.927
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Con	1.189	0.873	0.658	0.807	0.562
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Con	0.926	0.843	0.449	0.715	0.342
Material								
				ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g
Valores paramétricos empleados en cada sección		ϕ_{max}		**19.0**	**22.0**	**22.0**	**22.0**	**22.0**
		ϕ_{min}		**6.07**	**11.0**	**10.0**	**11.0**	**10.0**
		C_{max} (ton/m^2)		**2.40**	**1.40**	**2.30**	**1.40**	**2.30**
		C_{min} (ton/m^2)		**0.50**	**0.70**	**0.00**	**0.70**	**0.00**
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM			Ln	0.0522	0.0021	0.0281	0.0007	0.0346
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			Ln	0.0588	0.0201	0.0416	0.0106	0.0552
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM			Ln	0.0654	0.0476	0.0652	0.0364	0.0873

Tabla 8-7 Análisis de probabilidad sección 5-5

Resumen de los factores de seguridad y de la probabilidad de falla condicional

Falla Traslacional - Condición Estática - Sección 5-5

Valores Probables - Tr agua = 28.44 años

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL				
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS				
				cr b	cr b	cr b	cr b	cr b
				S55B1E1	S55B1E2	S55B2E2	S55B1E3	S55B2E3
				Planar	Planar	Planar	Planar	Planar
Fricción	Cohesion (T/m^2)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Sin	7.336	6.848	5.379	7.337	4.288
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Sin	6.333	4.716	3.815	5.193	2.985
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Sin	3.833	5.481	3.542	4.669	2.540
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Sin	2.813	3.346	1.972	2.510	1.225
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Con	3.026	2.081	1.855	2.008	1.684
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Con	2.667	1.458	1.343	1.434	1.197
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Con	1.544	1.645	1.183	1.224	0.956
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Con	1.170	1.018	0.682	0.641	0.461
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Sin	5.366	4.292	3.388	4.549	2.730
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Sin	4.861	3.221	2.605	3.477	2.079
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Sin	2.509	3.181	1.894	2.397	1.301
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Sin	1.984	2.107	1.100	1.308	0.636
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Con	2.176	1.251	1.114	1.217	1.027
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Con	2.031	0.965	0.893	0.949	0.813
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Con	0.982	0.910	0.592	0.583	0.468
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Con	0.819	0.615	0.420	0.304	0.220
Material								
				ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g
Valores paramétricos empleados en cada sección		ϕ_{max}		**19.0**	**22.0**	**22.0**	**22.0**	**22.0**
		ϕ_{min}		**6.07**	**11.0**	**10.0**	**10.0**	**10.0**
		C_{max} (ton/m²)		**2.40**	**1.40**	**2.30**	**2.30**	**2.30**
		C_{min} (ton/m²)		**0.50**	**0.70**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM			Ln	0.0126	0.0007	0.0197	0.0115	0.0552
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			Ln	0.0197	0.0057	0.0399	0.0297	0.1002
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM			Ln	0.0299	0.0211	0.0733	0.0601	0.1588

Tabla 8-8 Análisis de probabilidad sección 6-6

Resumen de los factores de seguridad y de la probabilidad de falla condicional
Falla Traslacional - Condición Estática - Sección 6-6
Valores Probables - Tr agua = 28.44 años

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL							
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS							
				cr b	cr a	cr b	cr a	cr a	cr b	cr a	cr a
				S66B1E1	S66B1E2	S66B1E3	S66B2E1	S66B2E2	S66B2E3	S66B3E2	S66B3E3
				Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar
Fricción	Cohesion (T/m²)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Sin	6.991	4.008	3.650	6.321	4.829	4.915	4.787	4.935
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Sin	4.973	2.860	2.515	4.416	3.456	3.239	3.551	3.330
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Sin	3.827	2.790	2.395	3.535	3.342	3.155	3.395	3.143
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Sin	1.807	1.643	1.257	1.628	1.968	1.480	2.155	1.509
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Con	2.070	1.429	1.422	2.010	1.525	1.656	1.488	1.540
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Con	1.508	1.042	1.003	1.438	1.114	1.057	1.122	1.055
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Con	1.090	0.969	0.897	1.090	1.026	0.967	1.026	0.942
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Con	0.528	0.593	0.484	0.512	0.621	0.466	0.661	0.461
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Sin	5.355	2.717	2.557	4.796	3.235	3.367	3.228	3.429
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Sin	4.070	2.050	1.879	3.600	2.440	2.377	2.507	2.456
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Sin	2.631	1.692	1.476	2.401	1.996	1.883	2.060	1.906
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Sin	1.343	1.028	0.796	1.197	1.201	0.896	1.336	0.933
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Con	1.577	0.941	0.955	1.515	0.997	1.048	0.979	1.040
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Con	1.241	0.739	0.731	1.175	0.780	0.770	0.784	0.777
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Con	0.729	0.563	0.512	0.723	0.585	0.548	0.594	0.534
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Con	0.389	0.395	0.307	0.373	0.397	0.290	0.413	0.279
Material											
				ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g	ah=0.24 g
Valores paramétricos empleados en cada sección		ϕ_{max}		19.0	22.0	22.0	19.0	22.0	22.0	22.0	22.0
		ϕ_{min}		6.07	10.00	10.00	6.1	10.0	10.0	10.0	10.0
		C_{max} (ton/m²)		2.40	2.30	2.30	2.40	2.30	2.30	2.30	2.30
		C_{min} (ton/m²)		0.50	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM			Ln	0.0333	0.0157	0.0437	0.0371	0.0097	0.0350	0.0050	0.0332
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			Ln	0.0457	0.0425	0.0813	0.0511	0.0300	0.0626	0.0220	0.0598
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM			Ln	0.0652	0.0836	0.1327	0.0727	0.0644	0.1033	0.0533	0.0995

Los deslizamientos, con énfasis en los cortes 1-1, 2-2 y 3-3, pueden darse también en estados de presurización si la cabeza piezométrica asciende por encima de la superficie del terreno; principio abstraído al marcar que los factores de seguridad tanto para los parámetros promedio como para los mínimos (fijados aquí como residuales) en condiciones de saturación son próximos a 1.05 o inferiores a él. Labor de fácil desempeño cuando se produce el frecuente lavado de los horizontes débiles –el relleno y el suelo residual-, tarea ejecutada o coadyuvada por las aguas de infiltración y, ante todo, por los vertimientos líquidos emanados de las redes de acueducto y alcantarillado o de las viviendas fundadas a lo largo y ancho de las laderas. No obstante, durante el periodo de monitoreo y en especial en la época de lluvias tal escenario no tuvo lugar.

De otra parte, para las funciones de distribución de las variables endógenas (parámetros de resistencia) deducidas en este estudio no habría cambios en los estados de amenaza aún si el periodo de recurrencia cae drásticamente hasta los cinco años. Todas las laderas permanecerían en amenaza baja para los horizontes de 1 y 10 años y en media a 25 años. Las probabilidades condicionales sufrirían modificaciones importantes sí y sólo sí los máximos (de las funciones de distribución) se reducen a la mitad. Supuesto únicamente valido si los materiales estuviesen por completo reblandecidos. Tal presunción innegablemente desvirtuaría la investigación llevada a cabo hasta aquí y sus resultados además reposan en el contexto de los "supuestos".

Esta fenomenología abre la puerta a las deformaciones locales, a los asentamientos, a las deficiencias estructurales y al potencial de expansión - colapso de los suelos, para ser una o todas las fuentes de explicación de los daños en las edificaciones.

8.3.3 Distancias de viaje de las masas potencialmente inestables

Gracias a la continuidad y regularidad de la ladera, y por ende a la falta de expresiones de liberación, cortes, escarpes, dislocaciones o cambios morfométricos, las masas potenciales de movilización se diagraman en el mismo espacio en el que se circunscriben su escarpe principal y su pata; en otras palabras se marcan exclusivamente por la superficie de deslizamiento. En consecuencia en esta ocasión carece de sentido la aplicación de método o técnica alguna para deducir posibles distancias de viaje.

8.4 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA

Conjugados los datos obtenidos por el PEM, en materia de probabilidad de falla y los cuerpos potenciales de movilización, en materia de distancia de afectación, el área pudo dividirse en tres categorías de similar condición de amenaza: Baja, Media y Alta, para los dos horizontes temporales analizados: actual y mediano plazo –10 años- (Véanse la Tabla 8.3 a la Tabla 8.8 (Resumen de los factores de seguridad y de la probabilidad de falla condicional). La clasificación de las zonas se realizó con base en la escala propuesta por González y Millán (1999) para el "Estudio de Zonificación de Santa Fe de Bogotá", modificada por IGR.

De esta manera, la amenaza a 1 año y 10 años, exhibe como escenarios de mayor potencial las zonas homogéneas VFG y LD en dominios de las manzanas P1, P2 y M1 (véase Plano 3 – Geomorfología) representadas por las secciones 1-1, 2-2 y 3-3; todas con categoría baja y probabilidades condicionales totales desde 0.005 hasta 0.109. Los espacios de menor posibilidad engloban los corredores Norte y Nororiental de las regiones LD y VFG –bloques F2, E2, C1 y B- y la unidad LED, es decir los subespacios fijados por los cortes 1-1 (ápice), 4-4, 5-5 y 6-6. En estos dos recintos la probabilidad condicional no supera el 6%.

La respuesta a 25 años se intensifica al punto de fijar categorías dominantes de amenaza media. Las laderas de las secciones 1-1, 2-2 y 3-3 migran a 0.15. Situación similar acontece con los demás cortes (4-4, 5-5 y 6-6), pero con la salvedad de que ellos preservan su categoría baja.

Tabla 8-9 Categorías de amenaza para Periodos de Diseño de Hasta 10 años

Nivel de amenaza	Pf
Baja	< 0.125
Media	0.125 – 0.44
Alta	>0.44

ANEXO 8-1FACTORES DE SEGURIDAD CON VALORES PROMEDIO

ANEXO 8-2 MODELOS DE ANÁLISIS STABLE

ANEXO 8-3 RESULTADOS DE CALIBRACIÓN

9 VULNERABILIDAD Y RIESGO

9.1 VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad, entendida como la predisposición intrínseca de un sujeto o elemento a sufrir daño debido a posibles acciones externas, o como el grado de reacción adversa de un sistema o parte de él ante la ocurrencia de un evento amenazante, es una función de la exposición y de la resiliencia (entendida aquí como resistencia), variables dependientes a su vez de la solicitud v.g. un deslizamiento. Es medible al grado de severidad de las consecuencias esperadas; su cuantificación está dada por dos connotaciones: una en términos de costos por el daño físico y otra por el peso específico de las variables que inciden en la función socioeconómica (Millán, J.A., 2000). Su evolución contribuye en forma fundamental al conocimiento del riesgo mediante interacciones del elemento susceptible con el ambiente peligroso; en otras palabras, tiene como objetivo analizar la respuesta de los elementos frente a los diferentes fenómenos de remoción en masa potenciales y actuales y, junto con la evaluación de amenaza, dilucidar el(los) tratamiento(s) por adelantar. Dentro del referido contexto, por ejemplo, si las viviendas no se localizan en la zona de influencia o, se encuentran expuestos y gracias a su resistencia no sufren daño alguno, puede optarse por convivir con el problema; en caso contrario, y según sea la gravedad de las consecuencias, se debe recurrir a obras de estabilidad o a programas de reubicación.

Puede ser analizada o tratada desde diversas perspectivas: a) La física, circunscrita exclusivamente a los elementos ocupados por los asentamientos humanos, b) La social, enmarcada en la comunidad dentro de un territorio y en su capacidad o dificultad para recuperarse; en este punto se idealizan las respuestas: psicológica, organizacional, institucional, educativa, ideológica-creencias y patrones culturales-; c) La económica-financiera y b) La política. En adelante nos concentraremos exclusivamente en las dos primeras, de la segunda sólo se esbozarán rasgos básicos y generales.

9.1.1 METODOLOGÍA

Criterios aplicados

Acorde con la concepción de vulnerabilidad asimilada para este proyecto, la determinación de un índice que permita evaluarla involucra a las variables: resistencia y solicitud; su asignación trae consigo grados de incertidumbre que aunada con la ausencia de modelos objetivos, universales y de apropiado sustento teórico, hacen que esta tarea tenga algún nivel de subjetividad. Sin embargo, y en aras de subsanar éstas limitaciones, la metodología empleada en este estudio, está fundada en la propuesta de LEONE (1996)[8] con algunas modificaciones del consultor.

Este procedimiento expresa la vulnerabilidad en función de los posibles daños que pudiesen sufrir los elementos expuestos situados en la zona de afectación previsible por

[8] LEONE,F. Concept de Vulnerabilité appliqué a l´évalution des riesques generés par les phenomenes de mouvemenst de terrain. Tesis de Doctorado. Universidad Joseph Fourier, Grenoble I. 1996.

el fenómeno, y que se encuentran definidos en formas teórica y porcentual, a partir de las intensidades de daño.

Empleará como conceptos de referencia -o criterios de evaluación- (Sánchez M, 2005): la resistencia, la forma y la adaptabilidad, todos bajo los prismas y directrices del razonamiento aproximado (y gracias al uso de herramientas como: la distribución triangular, los intervalos y por que no la lógica difusa) y de la probabilidad subjetiva.

Aunque LEONE[9] categoriza los niveles de resistencia con base en los sistemas estructurales de las unidades residenciales, en este caso se toman en cuenta además otras variables como: calidad de la construcción, sistemas de cimentación, estructura y recubrimiento de la cubierta y daños en la construcción que se consideraron importantes. Por su parte, la forma y la adaptabilidad son pilares importantes para la conceptualización final de la tipología de viviendas. Las mencionadas variables fueron ponderadas (véanse Tabla 9.1 a 9.4).

Tabla 9-1 Evaluación de la capacidad de respuesta de la edificación

VARIABLE	SISTEMA ESTRUCTURAL	CALIDAD DE LA CONSTRUCCION	PARTES ESTRUCTURALES	TIPO DE CIMENTACION	DAÑO EN LA CONSTRUCCION	CALIFICACION
PESO IMP	20	20	20	20	20	A, B, C, D, E, F, G

Tabla 9-2 Calificación para variable: Sistema estructural

SISTEMA ESTRUCTURAL		
CATEGORIZACIÓN	**DESCRIPCIÓN**	**PONDERACIÓN (%)**
Bueno	Pórtico, mampostería estructural, muros portantes confinados	20
Regular	Muros portantes no confinados o combinación de confinados y pórtico con muros no confinados	14
Malo	Vivienda de 3 pisos con muros portantes no confinados, estructuras en materiales de recuperación o viviendas prefabricadas.	6

[9] LEONE,F. Concept de Vulnerabilité appliqué a l´évalution des riesques generés par les phenomenes de mouvemenst de terrain. Tesis de Doctorado. Universidad Joseph Fourier, Grenoble I. 1996.

Tabla 9-3 Calificación para variable: Daño en la construcción

DAÑO EN LA CONSTRUCCIÓN		
CATEGORIZACIÓN	**DESCRIPCIÓN**	**PONDERACIÓN (%)**
Ninguno	Sin fisuras , ni tipo de fractura alguno	20
Leve	Fisuras o grietas catalogadas como leves de acuerdo con el instructivo.	18
Moderado	Existen grietas intermedias en el instructivo.	15
Alto parcial	Grietas en un solo elemento estructural o no estructural	10
Alto total	Grietas que representan daño alto, en varios elementos de la estructura.	4
Severo parcial	Grietas de daño severo, en un solo elemento estructural o no estructural	8
Severo total	Grietas de daño severo, en varios elementos de la estructura.	1

Tabla 9-4 Calificación para variable: Calidad de la construcción

CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN		
CATEGORIZACIÓN	**DESCRIPCIÓN**	**PONDERACIÓN (%)**
Buena	Muros plomados, elementos estructurales definidos geométricamente.	15
Regular	Muros con desplome, con elementos estructurales y no estructurales no definidos, hormigueo, losas irregulares.	10
Mala	Hormigueo intenso, muros con inclinaciones severas, y juntas totalmente irregulares.	5

Tabla 9-5 Calificación para variable: Partes estructurales

PARTES ESTRUCTURALES		
CATEGORIZACIÓN	**DESCRIPCIÓN**	**PONDERACIÓN (%)**
Bueno	Estructura del techo y entrepisos en concreto, metal o madera y cubierta en concreto, amarres laterales en la estructura principal y entre ella y los entrepisos, y continuidad de los elementos estructurales.	20
Regular	Estructura del techo y entrepisos en concreto o metal y cubierta en asbesto-cemento o Zinc, amarres laterales en la estructura principal, irregularidad en la continuidad de los elementos estructurales.	15
Malo	Estructura del techo y entrepisos en madera y cubierta en asbesto-cemento o Zinc, distribución irregular de elementos estructurales con o sin continuidad.	10
Pésimo	Estructura del techo y entrepisos en concreto, metal o madera y cubierta en material de recuperación.	5

Tabla 9-6 Calificación para variable: Sistema de cimentación

SISTEMA DE CIMENTACIÓN		
CATEGORIZACIÓN	**DESCRIPCIÓN**	**PONDERACIÓN (%)**
Bueno	Zapatas y vigas de amarre	17
Regular	Zapatas aisladas o vigas de amarre.	13
Malo	Placas de concreto o concreto ciclópeo.	9
Pésimo	No hay cimentación homologable con los anteriores o es inexistente	3

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

NIVEL A: Viviendas que cumplen con parámetros mínimos de rigidez y solidez estructural, tipo pórtico, mampostería estructural o de muros confinados, exenta de daños o con leves daños, buena calidad de la construcción y de cubierta, y con zapatas y vigas de amarre.

NIVEL B: Unidades residenciales con parámetros mínimos de rigidez y solidez estructural, tipo pórtico, mampostería estructural o de muros portantes confinados, con calidad de la construcción de buena a regular, cubiertas en concreto, cimentación en zapatas y viga de amarre, con daños catalogados desde leves hasta moderados.

NIVEL C: El sistema estructural es de muros portantes no confinados, o combinación de confinados y pórtico con muros no confinados, con daños no mayores a moderados y calidad regular de la construcción. La cubierta es en concreto, asbesto-cemento o zinc, y la cimentación es de zapatas aisladas o vigas de amarre, o de zapatas con vigas de amarre.

NIVEL D: Encierra muros portantes no confinados o combinación de confinados y pórtico con muros no confinados, cubiertas en asbesto-cemento o zinc, con daños moderados y calidad de la construcción de regular a mala. La cimentación está compuesta por zapatas aisladas o vigas de amarre, o por placas de concreto simple o ciclópeo.

NIVEL E: El sistema estructural es de muros portantes no confinados, o combinación de confinados y pórtico con muros no confinados, cubiertas en asbesto-cemento o zinc sobre estructuras de madera, con mala calidad de la construcción y daños hasta altos parciales. La cimentación es en placas de concreto simple o ciclópeo.

NIVEL F: Viviendas de tres pisos con muros no confinados, casas prefabricadas o las hechas de materiales de recuperación, con cubiertas en cartón, zinc, madera, u otros menos resistentes. La cimentación es de placas de concreto simple o ciclópeo, o no es homologable con otros sistemas, o es inexistente.

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

Información primaria

El primer paso para la estructuración del modelo de vulnerabilidad reside en conocer las componentes del sistema: los deslizamientos, tema tratado en los capítulos 4 y 8 geología y amenaza y las unidades físicas y las familias expuestas. La recopilación de los datos que permiten evaluar la capacidad de respuesta de la dos últimas y determinar su nivel de daño se solventó a través del inventario de las viviendas.

- Inventario de viviendas

El estudio de la vulnerabilidad de los elementos expuestos, en este caso las viviendas, se realizó utilizando como instrumento de recolección el "Formulario para la evaluación de daños y estado en edificaciones por fenómenos de remoción en masa". El formato está conformado por 4 secciones: La primera de ellas denominada: Datos Generales, comprende información concerniente al propietario, a la ubicación espacial y catastral de los predios y a las características orgánicas de las viviendas. La segunda: Condición

Estructural, indaga acerca de las características de fundación y de estructura de las construcciones así como de su calidad constructiva. La tercera titulada: Daños, se enfoca hacia la categorización de las averías o expresiones "patológicas" (a priori) en elementos estructurales y no estructurales, a la auscultación sobre filtraciones, y al planteamiento de alguna medida a priori de acuerdo con lo observado. Y la última condensa datos enmarcados en el contexto social.

Finalmente, contiene un espacio para observaciones, en las que se plasman comentarios de los habitantes o apreciaciones del aforador que en alguna medida contribuyen al estudio. En el Anexo 9.1 se disponen el formato de campo con el instructivo que sirvió como guía para su utilización.

En total se escrutaron 395 habitaciones (en adelante y en los próximos capítulos los términos: viviendas, residencias, unidades habitacionales o habitaciones se manejarán como sinónimos), pero la captura de información por núcleo familiar apenas toco el 89.4 %. En 42 habitaciones no fue posible su ingreso a pesar del repetido intento (entre dos y tres veces) de acercamiento. Del universo de viviendas, siete (7) responden a lotes vacíos y casas abandonadas y uno sólo, el predio 42 de la manzana P1, hace parte del programa de reubicación de la DPAE.

? Definición del tipo de solicitud

A partir de la evaluación de estabilidad descrita en el capítulo 6.0, de los resultados de amenaza y de la estimación de las distancias de viaje que alcanzarían las masas potenciales, se determinaron los probables tipos de solicitaciones a los que están expuestas o se expondrían las unidades residenciales, resumidas en desplazamientos verticales y horizontales, pero con tres grados de intensidad. (véase Anexo 9.2 - columna solicitación).

9.1.2 VULNERABILIDAD SOCIAL

La vulnerabilidad en este contexto, se define como la susceptibilidad de un grupo social ante la ocurrencia de un desastre que ocasione daños físicos en las edificaciones, vías y elementos urbanísticos, o alteraciones permanentes o temporales en la estructura orgánica y funcionamiento de una comunidad; es una medida indirecta de su capacidad de respuesta y de su resiliencia. Aunque su evaluación es muy subjetiva, se pueden examinar variables que la revelen en alguna medida. En este orden de ideas, el acopio de datos involucró tópicos como: la capacidad económica de los pobladores, la cobertura de los servicios públicos, las organizaciones cívicas, la tipología de viviendas y, el nivel de conocimiento que los habitantes tienen del problema de estabilidad y de las actuales y potenciales repercusiones que éste ocasiona o puede ocasionar sobre sus viviendas.

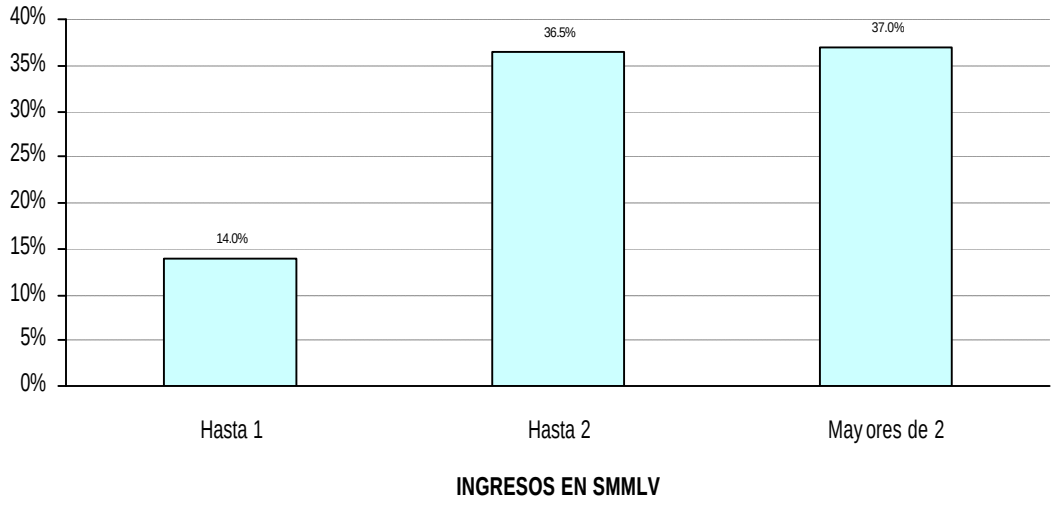
El referido abanico de variables permite entonces, dilucidar y plantear la "línea base" del grupo social, plataforma indispensable, si se desea cuantificar de manera alguna la vulnerabilidad social; estimar el tiempo de recuperación de los habitantes en caso de un desastre y dilucidar la ayuda necesaria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

? Capacidad económica de los Pobladores

El nivel de ingresos de la población en general se puede concebir como medio-bajo, entendido éste como el suficiente para surtir las necesidades básicas de supervivencia.

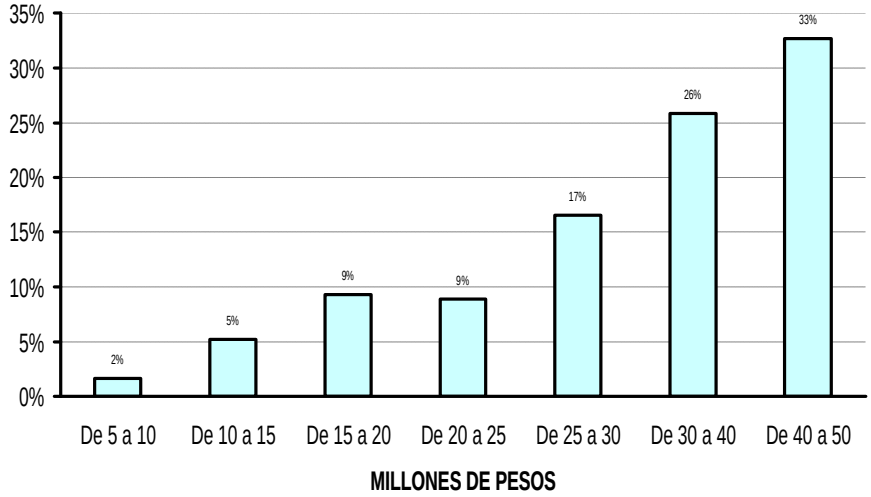
De acuerdo con la percepción en el aforo de las unidades residenciales, los ingresos mensuales alcanzan el salario mínimo en el 14% de los casos, el 36.5% recibe desde $400,000 hasta $800,000, el 37% supera los dos salarios mínimos y del 12% se desconoce información alguna, ingresos apenas suficientes para un grupo familiar constituido en promedio por 8 integrantes (aunque con una moda de 6), y delicado para el 47% pues en tales núcleos la población supera los 6 habitantes.

Figura 9-1 Capacidad económica



El valor comercial de las viviendas oscila entre 20 y 30 millones, para el 26% de las unidades, entre 30 y 50 millones para el 59%; otros intervalos de menor cuantía se pueden apreciar en la Figura 9-2. Empero, su costo en sí no pasaría de ser una cifra anecdótica, si no se entrelaza con la propiedad: de este particular conjunto el 30% de las unidades es alquilada, y en alguna proporción cohabitan propietarios y arrendatarios.

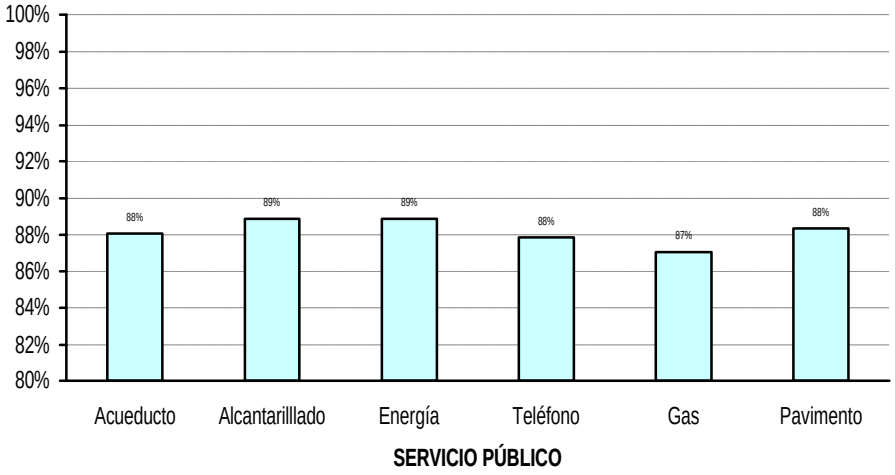
Figura 9-2 Valoración comercial de la vivienda por los propietarios



? Cobertura de Servicios Públicos

Todas las familias encuestadas poseen energía eléctrica, acueducto, teléfono y alcantarillado, Y todas las calles se encuentran pavimentadas. (Figura 9-3).

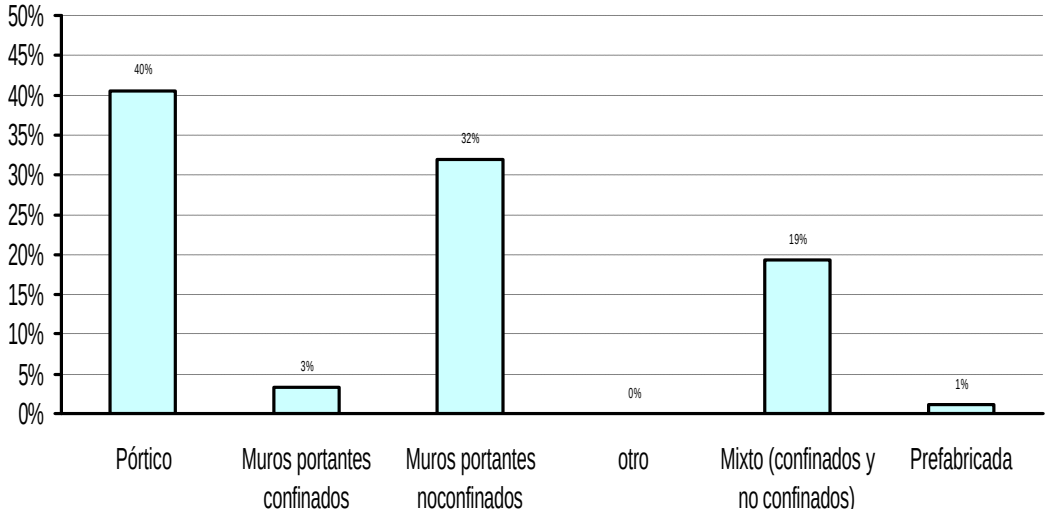
Figura 9-3 Cobertura de servicios públicos



? Tipología de las viviendas

Aunque el tipo de vivienda y sus características físicas se analizarán dentro del contexto de la vulnerabilidad física, las construcciones en sí mismas son indicativo de la calidad de vida de los habitantes. El 40% de las edificaciones exhiben un sistema estructural aporticado, el 32% está conformado por muros portantes no confinados, i.e. ausencia de columnas; el 19% combina éste con una simulación de pórtico (i.e. muros confinados o pórticos aislados, y muros no confinados en el resto de la construcción), y el 3% consiste en estructuras de muros portantes confinados. Lotes vacíos y otros sistemas de baja respuesta, componen el restante 5% (véase Figura 9-4)

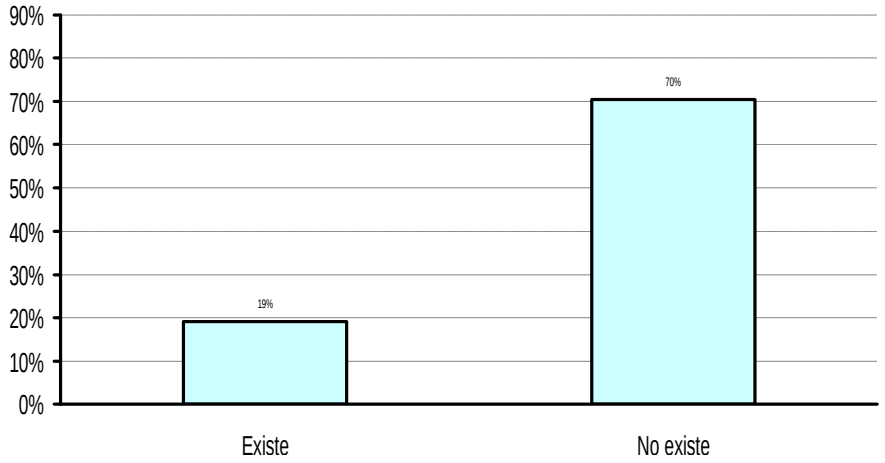
Figura 9-4 Sistema estructural



? Percepción del Peligro

Tan solo el 19% de los habitantes muestra preocupación por los daños en las edificaciones, pero sin asociarlo a los fenómenos de inestabilidad. Por los demás, no existe percepción del peligro por algún proceso morfodinámico. (Véase Figura 9-5).

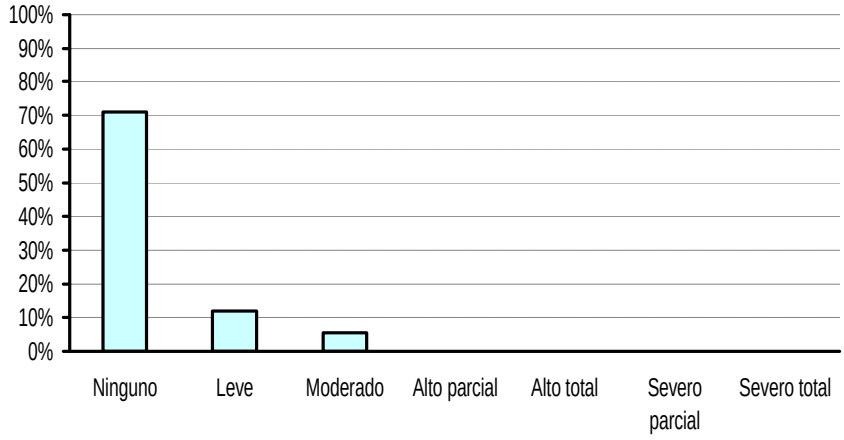
Figura 9-5 Percepción del peligro



? Daños generales de la construcción

Se estableció el nivel de daño general en las viviendas con base en las características geométricas de las grietas en los elementos de las estructuras, en su ubicación y su cantidad. Esta información se obtuvo a partir de la observación directa en las unidades residenciales, y de los comentarios de sus habitantes. Los criterios encaminados a establecer el nivel de daño general de las estructuras, se consigna en el instructivo del formato de recolección, dispuesto en el Anexo 9.2. En la Figura 9-6 se exponen los resultados de éste ítem y de ella se puede extractar que en más del 70% no se presenta algún tipo de daño, y que los existentes oscilan desde moderados hasta altos totales.

Figura 9-6 Daños generales de la construcción



? Recuperación económica

Con el fin de cuantificar la vulnerabilidad social se determinó como unidad comparativa el tiempo en años que tomaría cada núcleo familiar en recuperar su patrimonio actual. Dicha recuperación se haría efectiva en el momento en que, a través de un ahorro mensual, la acumulación monetaria iguale al monto patrimonial hoy día. La tasa de ahorro, es decir la capacidad de endeudamiento, se definió como una fracción del salario, y es función del ingreso mensual. De esta forma, para familias con ingresos de hasta 1 salario mínimo la capacidad de ahorro es de apenas el 10%, mientras para aquellas que perciben más de 2 salarios mínimos la tasa de endeudamiento asciende al 30%, como se puede apreciar en la Tabla 9-7**.**

Tabla 9-7 Capacidad de endeudamiento

CATEGORÍA DE INGRESOS	CAPACIDAD DE ENDEUDAMIENTO
Hasta 1 SMMLV	10%
Entre 1 y 2 SMMLV	20%
Más de 2 SMMLV	30%

De otra parte las pérdidas potenciales por la ocurrencia del evento, en muy pocos casos serían iguales al 100% del patrimonio. Así entonces, la fracción del patrimonio a recuperar parece ser sensato, es proporcional a la intensidad de daño, definida en la Tabla 9-8 (véase numeral 9.1.3 Vulnerabilidad física-Cualificación de daños). Por ejemplo, en viviendas con intensidades de daño 1 las pérdidas esperadas se aproximan al 10% de su patrimonio, y aquellas con intensidad de 5 alcanzan hasta el 50%. La relación entre la intensidad de daño y el porcentaje de pérdidas se ilustra en la Tabla 9-8.

Tabla 9-8 Porcentaje de pérdidas

INTENSIDAD DE DAÑO	PORCENTAJE DE PÉRDIDAS
1	10%
2	20%
3	30%
4	40%
5	50%

La recuperación económica en años, se determinó entonces con la siguiente ecuación:

$$RE\ ?\ \frac{Patrimonio}{SalarioMensual} * \frac{\%Pérdidas}{1200} * CE^{?1}$$

En dónde:

RE :Recuperación económica en años

$\%Pérdidas$: Fracción del patrimonio. Véase Tabla 9.8

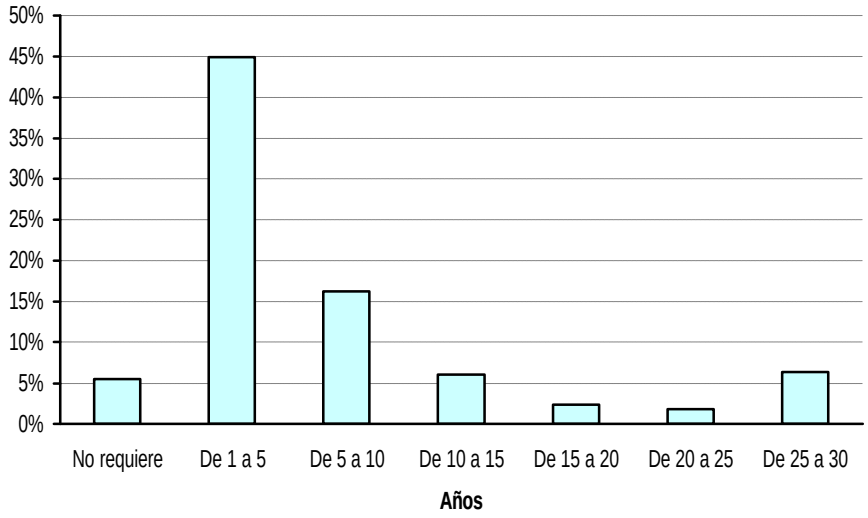
CE : Capacidad de endeudamiento (Tabla 9.7).

El resultado del análisis anterior se registra en la Tabla 9-7 en la columna recuperación económica.

En conclusión, si llegase a ocurrir el evento, cerca de la mitad de las viviendas no se verían afectadas -el 45%-, gracias a que son para sus universos (por tipología) las mejores edificaciones o están por fuera de las franjas de afectación. Sin embargo, el 22% tardaría de 5 a 10 años para recuperar su patrimonio, el 10% necesitaría de 10 a 15 años, y sólo el 2% esperaría más de 15 años. Esta clasificación se expresa en la Figura 9-7.

En cuanto a la respuesta de la población durante la ejecución del proyecto, fue relativamente positiva: en la mayoría de los casos se permitió al aforador observar los elementos interiores de las casas; aportaron información pertinente; y se mostraron inquietos por conocer los motivos que llevaron a la DPAE para la realización de un estudio de este tipo, en los terrenos que atañen sus domicilios.

Figura 9-7 Recuperación económica en años



9.1.3 VULNERABILIDAD FÍSICA

La vulnerabilidad física –viviendas-, se expresa como una medida porcentual de los costos de las averías originadas por un agente destructor, en este caso los Fenómenos de Remoción en Masa (FRM). La fracción (expresado en partes por uno) del perjuicio sobre el inmueble, definido con ID, índice de daño, es proporcional a la exposición de los elementos e inversamente proporcional a su resistencia. El primer tópico se estudió con base en las posibles longitudes de afectación de los potenciales procesos de inestabilidad, y el segundo con la tipología de viviendas, como se explica a continuación:.

? Cualificación de los daños

Los perjuicios que se producirían sobre las unidades, están condicionados por dos grupos de variables: el de exposición y el de resistencia. El primero involucra el tipo de evento (deslizamientos traslacionales, flujos o desplomes etc.), la localización de las viviendas

con respecto al mismo y la solicitación que el proceso ejerza sobre los componentes; el segundo, cubre la calidad, propiedades y atributos de las casas, que, como se ha expresado antes, se condensan en la tipología. La contribución de las variables ya expuestas para este estudio se registra en la matriz de intensidad de daño dada en la Tabla 9-9 La asociación de la intensidad con una descripción cualitativa del perjuicio y con una tasa de daño, se hizo de acuerdo con la tabla propuesta por el DRM (DELEGATION AUX RISQUES MAJEURS) y presentada por LEONE, 1996[10].

Tabla 9-9 Matriz de Intensidad de daño

SOLICITACIÓN	A	B	C	D	E	F	G
Desplazamiento vertical bajo (<1cm)	1	1	2	2	2	3	3
Desplazamiento vertical medio (>1cm y hasta 4 cm)	2	2	3	3	3	4	5
Desplazamiento vertical alto (>4 cm)	2	3	4	4	5	5	5
Impacto bajo (Bloques de tierra con presiones inferiores a 1/3 de la altura de los muros)	2	2	2	3	3	4	4
Impacto medio (Bloques con empujes de tierra entre 1/3 y 2/3 el porte de de los muros)	2	3	3	3	4	5	5
Impacto alto(Bloques con empujes de tierra por encima de los 2/3 de la altura de los muros)	3	3	4	4	4	5	5

Tabla 9-10 Tabla de clasificación de daños propuesta por DRM

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

[10] LEONE,F. Concept de Vulnerabilité appliqué a l´évalution des riesques generés par les phenomenes de mouvemenst de terrain. Tesis de Doctorado. Universidad Joseph Fourier, Grenoble I. 1996.

? Área de afectación

Es la medida de la zona averiada en la ocurrencia del evento, y es siempre mayor al área de exposición (véase Tabla 9-11).

Tabla 9-11 Área de afectación según área de exposición

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

? Tasa de daño

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

$$TD \; ? \; \%daño \; ? \; A_{afectación}$$

? Costo de daños o Costo de falla

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

$$C_f \; ? \; VII \; ? \; TD$$

? Índice de vulnerabilidad física

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

$$IVF \; ? \; \frac{C_f}{VII}$$

Costo de falla

Valor inicial de inmueble

El Anexo 9.2 muestra los diferentes componentes del análisis y el índice de vulnerabilidad para el abanico completo de viviendas; por su parte la Tabla 9-12 categoriza los niveles de vulnerabilidad desde Bajo hasta Alto.

Tabla 9-12 Categorización de los niveles de vulnerabilidad

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

9.1.4 ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD

A partir de los resultados arrojados en el Anexo 9.2, se infiere, que el 7% de las viviendas manifiestan vulnerabilidad alta y el 22%, media. El 71% restante ostentan niveles bajos. Este fenómeno encuentra explicación en las bajas tasas de daño, dado que si bien los sistemas estructurales no cumplen satisfactoriamente las exigencias de la Norma Sismorresistente Colombiana (NSR-98), el mayor porcentaje de residencias están exentas de daños, y la mitad de ellas poseen tolerable calidad de las construcciones, con entrepisos en concreto y sistemas estructurales y de cimentación aceptables.

Por otra parte, las que denotan alta vulnerabilidad se lo deben a débiles materiales de la estructura, sistemas de construcción de pobre respuesta, así como índices de daño asignados para las solicitaciones de desplazamiento vertical, medios y altos. En este orden de ideas, los niveles altos de vulnerabilidad coinciden con viviendas de mala calidad o de mayor exposición, es decir los predios 9 a 12 y 41 a 44 de la manzana P1, las unidades 45C a 50 y 13 a 17 de la P2, y 6 a 9 y 28 a 30 del bloque F1.

Las habitaciones 03 a 08, 34 a 39, 41 y 42 de la manzana Q1, las 8, 40, 18, 20, 53 y 24 A del bloque P; las 8, 11, 12A, 12B, 32 y 35 del subespacio M1, las 14, 15, 16, 38 y 43 de la manzana M2; las 19 A y 19 B de la L; las 1, 2, 13A y 13B de la A; la vivienda 2 de la manzana C1, las 4 y 5 de la B1; y buena parte de las residencias en los bloques F1, F2 y E1, tienen nivel medio, y los restantes, bajo.

9.2 RIESGO

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

$$Riesgo \; ? \; P_f \; ? \; C_f$$

P_f : Probabilidad de falla

C_f : Costo de falla

Con el fin obviar el subjetivo contexto de los costos de capital, no comparables en un marco global ya que ellos son el resultado de las diferencias de los montos de inversión en cada vivienda, es mejor recurrir al índice de riesgo, puesto que esta situación podría conducir a tergiversaciones y vicios en el concepto, tales como que las pérdidas en

viviendas de cuantiosa inversión aparecerían con un valor de perjuicio potencial elevado con respeto a unas más modestas aunque su condición de riesgo fuera semejante. Por lo tanto, por simplicidad en la presentación de los resultados, se abstrajeron los costos de capital.

El Índice de riesgo se define como:

$$IR \ ? \ P_f \ ? \ IVF$$

IR : Índice de riesgo

P_f : Probabilidad de falla

IVF : Índice de vulnerabilidad física

Para este caso se obtuvieron los intervalos de cualificación de las pérdidas probables a partir de la conjugación –producto punto- de los niveles de vulnerabilidad y de amenaza aplicados al proyecto, pero asumida cada una como variable independiente (Véase Tabla 9-13).

Tabla 9-13 Categorización del riesgo

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

9.3 ZONIFICACIÓN DEL RIESGO

Como se deduce del Anexo 9.2: el 23% de las viviendas expone riesgo medio, el 75% bajo y el 2% ostenta niveles de riesgo alto. Esta distribución se justifica en el porcentaje de casas con pequeños niveles de vulnerabilidad, en los bajos grados de exposición de los domicilios, y, principalmente en las bajas probabilidades de falla; es decir, es reducida la fusión de niveles medios o altos de vulnerabilidad, con zonas de amenaza media o alta.

El resultado del análisis revela que las unidades con probabilidad altas de daño son: las 41 a 44 y 9 a 12 de la manzana P1; buena parte de las construcciones en los bloques F1, P2, E2, F2, M1 y Q reposan en riesgo medio, el conjunto completo de residencias de esta categoría se ilustran en el Anexo 9.2. Las restantes viviendas exhiben riesgo bajo.

En concordancia, las alternativas de solución estarán destinadas a evitar un aumento en los niveles de riesgo, y reducirlo eventualmente en aquellos sectores que poseen niveles medios.

ANEXO 9-1 FORMATO DE INVENTARIO DE VIVIENDAS

ANEXO 9-2 INVENTARIO DE VIVIENDAS DE CAMPO

10 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

10.1 ANÁLISIS DE VIVIENDAS

Con el fin de determinar el posible origen de las patologías de orden estructural presentes en un grupo de viviendas del Barrio Atenas se programó una visita de inspección de dichas casas con la participación de un Ingeniero Estructural y un ingeniero Geotecnista. Las viviendas evaluadas correspondieron a las ubicadas en los lotes 3, 8, 9, 10,13, 14, 16, 18 y 19 de la Manzana P-1.

Las viviendas ubicadas en los lotes 3, 8, 10, 14, 18 y 19 corresponden a edificaciones catalogas como de NIVEL E de acuerdo con la metodología general de evaluación de vulnerabilidad del presente estudio.

Es así como su sistema estructural es de muros portantes simples (no confinados) o combinación de confinados y pórtico con muros no confinados, cubiertas en asbesto-cemento o zinc sobre estructuras de madera, con mala calidad de la construcción y daños hasta parcialmente altos. La cimentación en general es de placas de concreto simple o ciclópeo. Las tres edificaciones restantes corresponden a los NIVEL A y B: Viviendas que cumplen con parámetros mínimos de rigidez y solidez estructural, tipo pórtico, mampostería estructural o de muros confinados, exenta de daños o con leves daños, y de cubierta, y con zapatas y vigas de amarre. Los niveles A y B se diferencian por la calidad de la construcción, buena para el Nivel A y de regular a buena para el nivel B.



Foto Nº 1 Muro medianero de mala calidad. Presenta revoque parcial y ausencia de elementos de confinamiento. Se encuentra agrietado y desplomado.

Las viviendas evaluadas de NIVEL E son viviendas de un solo piso construidas con piezas de mampostería sólidas o huecas cuyos espacios interiores han sido objeto de ampliaciones sucesivas.

La calidad de la construcción se puede catalogar generalmente como de regular a mala dada la friabilidad del mortero de pega (bajos contenidos de cemento), inadecuados o inexistentes controles de calidad en la mano de obra (colocación de las piezas) y la

ausencia de traba entre muros ortogonales. La rigidez y resistencia de los muros simples se ve aumentada en algún grado por la presencia generalizada de pañetes de acabado o revoques. Los sistemas de cubierta encontrados corresponden a entramados de madera apoyados directamente sobre los muros simples de carga.



Foto Nº 2 Muro medianero de mala calidad. No existe una adecuada disposición (traba) de las piezas de mampostería. Es evidente el desplome del mismo. Se puede apreciar la condición precaria del apoyo de la estructura de cubierta.

A nivel de cimentación las viviendas en su gran mayoría se emplazan sobre vigas corridas de concreto ciclópeo. Dada la condición quebrada del terreno las zonas bajas de los lotes han sido rellenadas en algunos casos con materiales de desecho (escombros) sin que existan elementos estructurales de contención. Estos rellenos se apoyan entonces en muros simples o en el mejor de los casos en muros confinados correspondientes a viviendas vecinas.



Foto Nº 3 Detalle de cimentación sobre concreto ciclópeo. Se aprecia la deformación del muro a nivel de cimentación y de cubierta debido a los asentamientos generalizados del terreno.



Foto Nº 4 Imagen correspondiente a relleno en ejecución, el cual se apoyará finalmente contra los muros medianeros de las construcciones vecinas. No se realiza un control mínimo sobre los materiales de relleno (desechos de construcción).



Foto Nº 6 Desplome de 5 cm. de muro ante

En general la patología predominante corresponde a presencia de fisuras y grietas en placas de piso y en muros. De la misma forma se evidenció en los casos de mayor gravedad el desplome de muros, generalmente los largos de lindero o medianeros, los cuales corresponden con los pasillos o circulaciones interiores por lo cual no cuentan con elementos de soporte lateral fuera del plano como muros perpendiculares. Por el tipo de cubiertas predominantes tampoco cuentan con elementos de soporte adecuados en su nivel superior. En muros interiores se pudieron evidenciar desplomes de hasta 7%, los cuales son a todas luces inaceptables desde el punto de vista funcional.



Foto Nº 5 Grieta en placa de piso y en muro divisorio**.**





Foto Nº 7 y 8 Muros correspondientes al área de baños, en edificación de Nivel E, los cuales se encuentran totalmente desplomados. La losa de piso se encuentra a su vez agrietada.

Uno de los casos más significativos de la patología presente en la zona es el de la edificación ubicada en el lote Nº 9. En este lote esquinero se encuentra una edificación de dos niveles la cual ha sido intervenida a nivel de fachada y muros interiores. En uno de sus costados fue reemplazada parcialmente la fachada de mampostería simple por un pórtico de concreto reforzado. Los muros interiores fueron reparados con inyecciones de mortero y la utilización de grapas de acero, con las cuales se consolidaron las grietas existentes.



Foto Nº 9 Vista exterior vivienda de dos niveles. Reparada mediante la reposición de



Foto Nº 10 Detalle de la fachada. Se observa cambio de alineamiento entre el sector



Foto Nº 11 Los muros reparados presentan un ligero agrietamiento, lo que podría indicar la reactivación de los movimientos del terreno que generaron el agrietamiento inicial.



Foto Nº 12 La fachada que no ha sido intervenida presenta un desplome significativo en el primer y segundo nivel.

En la inspección realizada se observó una ligera reactivación del agrietamiento, lo cual indicaría la reanudación de los movimientos del terreno.

Sin embargo los agrietamientos pueden generarse también por algún movimiento mínimo de la fachada no reparada. Esta se encuentra desplomada y en el segundo nivel con peligro inminente de colapso, ya que al movimiento del terreno se le suma una deflexión grande del voladizo de apoyo, lo que genera la rotación del muro sobre la base.

Esta condición ha sido atendida solo desde el punto de vista funcional de ocultar el agrietamiento mediante pañete con mortero de cemento, requiriéndose urgentemente el anclaje del muro, su apuntalamiento o la demolición del mismo. Es importante prohibir el paso en la acera mientras se realizan las labores de estabilización o reconstrucción de la fachada de segundo nivel.



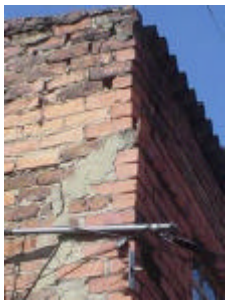


Foto Nº 13 y 14 se aprecia el desplazamiento de la fachada de segundo nivel, la cual se encuentra totalmente desprendida de los muros medianeros.

10.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es de suma importancia realizar el apuntalamiento preventivo o la demolición de los muros que presentan desplomes significativos en la mayoría de las viviendas evaluadas. Estos muros pueden presentar condiciones de inestabilidad ante ligeros movimientos del terreno, incluyendo vibraciones ambientales generadas por el paso de vehículos. De la misma manera se debe revisar concienzudamente el estado de las cubiertas las cuales están perdiendo soporte paulatinamente.

De manera urgente se debe realizar el anclaje o la demolición de la fachada en la vivienda del lote Nº 9, ya que se encuentra en una condición crítica y amenaza la seguridad de los transeúntes que pasan cerca de la mencionada vivienda. Una acción preventiva puede ser la utilización de perfiles estructurales tipo ángulo anclados a los muro reparados y la sujeción de los muros a los mismos, o cualquier otro sistema de reforzamiento para elementos no estructurales.

También es de suma importancia suspender todas las actividades constructivas en la zona, en particular los trabajos de rellenos con escombros, dada la condición de inestabilidad generalizada en muros de lindero o divisorios.

11 ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN

En los siguientes numerales se realizará una descripción y análisis de alternativas de mitigación desde el punto de vista cualitativo con un énfasis en el riesgo social generado en la zona.

La razón principal de abordar la intervención en la zona bajo este concepto radica en los resultados obtenidos a nivel de amenaza por FRM, donde la probabilidad asociada es media a baja en una ventana de tiempo de 25 años con implicaciones de reptamiento de la ladera los cuales no pueden ser manejados desde el marco

11.1 EVALUACION DEL PROBLEMA

La evaluación y análisis de amenaza por FRM, compresibilidad y demás arrogan los siguientes resultados:

? Amenaza por FRM media a baja para un periodo de tiempo de 25 años. (AFRM)

? Asentamientos en las zonas críticas estructurales del orden entre 4 y 10 cm en 30 años. (AZC)

? Deformaciones en el terreno del orden de 2 m en 25 años con tasas de movimiento de 1 a 7 cm por año. Posibilidad de reptamiento de la ladera en los suelos existentes. (DC)

? Daños estructurales con peligro de colapso en muros de fachada e internos para viviendas ubicadas en la parte media del barrio. (DE)

? Procesos de expansión y contracción de suelos arcillosos de influencia media a baja para las viviendas.

Es importante aclarar que el resultado o problema obedece posiblemente a reptamiento en laderas, con influencia media a baja por asentamientos y expansión y contracción de los suelos. Las medidas por tanto están orientados a este tipo de problema.

11.2 INTERVENCIÓN DEL PROBLEMA

Para cada uno de los problemas planteados anteriormente se definen las siguientes medidas de intervención al problema:

? Construcción de sistema de drenaje con batería de drenes y trincheras denantes en vías. El problema reducirá en alguna medida el reptamiento de ladera y la posibilidad de expansión y contracción de los suelos, pero generaría problemas de consolidación rápida en viviendas fuera de la zona a intervenir.

La influencia del nivel de agua en los factores de seguridad generados en el análisis de amenaza no es relevante teniendo en general valores superiores a 2.0. Desde el punto de vista de consolidación los valores esperados de asentamientos en las viviendas a largo plazo (mas de 100 años) puede ser mayores a 10 cm. Es decir que al colocar el sistema

de drenaje se pueden acelerar los asentamientos de este orden y en zonas que no están involucradas pero que se ubican en suelos residuales de origen arcilloso.

El sistema de drenaje actual de escorrentía superficial funciona en condiciones aceptables. Es importante revisar el sistema de pozos en razón a los movimientos probables existentes.

? Evacuación de viviendas por priorización en daño estructural. Evacuar a las familias en viviendas con mayores daños dentro de un nivel de prioridad por daño estructural.

? Monitoreo geotécnico de áreas críticas. Esta medida obedece a ajustar el modelo planteado en este informe, conducente a obtener límites o bordes así como tasas de movimiento y/o deformaciones de la masa de suelo. El modelo ajustado permitirá orientar las demás acciones en la zona.

? Monitoreo de viviendas estructurales. Mantener en control los diferentes daños observados en la zona y su evolución.

? Cambio de uso urbano. Dependiendo de la evolución de las medidas implementadas en el tiempo, la ocupación de la zona como parque.

? Mantenimiento de sistema de drenaje de aguas negras y potable. Necesario debido a que es posible que existan drenajes rotos o desempatados que estén ayudando al problema existente.

La relación con cada uno de los problemas se evalúa teniendo en cuenta la influencia en la reducción del problema como IA, IM, IB, influencia alta, media a baja respectivamente.

Tabla 11-1 Relación de mitigación con el problema

INTERVENCIÓN	AFRM	AZC	DC	DE	VALORACION DE LA MEDIDA
Construcción de sistema de drenaje con batería de drenes y trincheras denantes en vías.	IA	IM	IM	IB	IM
Evacuación de viviendas por priorización en el tiempo.	IB	IM	IB	IA	IM
Monitoreo estructural de viviendas	IM	IB	IB	IA	IM
Monitoreo geotécnico de áreas críticas	IA	IA	IA	IM	IA
Cambio de uso urbano (parque)	IA	IA	IA	IM	IA
Mantenimiento de sistema de drenaje de aguas negras y potable.	IA	IM	IM	IB	IM

AFRM: Amenaza por FRM media. AZC: Asentamiento en zonas críticas, DC:Deformaciones del terreno, DE: Daños estructurales

Como se puede observar cada tipo de intervención tiene una influencia importante en el manejo del problema entre media a alta, siendo que cada una puede aportar al manejo de la zona. En los un merales siguientes se presenta la valoración de cada aspecto en la mitigabilidad del problema frente a diferentes aspectos de costos, social entre otros.

11.3 MATRIZ DE VALORACIÓN

De acuerdo a la evaluación básica del problema y al tipo de intervención se plantea una valoración del beneficio obtenido al ejecutar dicha medida y en función de cada variable así:

TIEMPO DE EJECUCIÓN (TE)

Se debe entender que las medidas a ejecutar deben ser ejecutados en tiempo de priorización tal que la entidad responsable realmente las ejecute. De esta forma se plantea los siguientes niveles de ejecución:

B: En el futuro (más de un año) de acuerdo a las evaluaciones de la zona

M: Necesario más no inmediato (entre seis meses y un año)

A: Inmediato en el tiempo (menos de seis meses)

IMPACTO POR REDUCCIÓN DEL PROBLEMA (IRP)

Se debe entender que la reducción del problema puede ser en forma directa con obras que impidan la ocurrencia del fenómeno o en forma indirecta como puede ser el reasentamiento evitando la pérdida de vidas humanas, el cual es el logro final. De esta forma se evalúa de la siguiente forma:

A: Alta cuando la medida reduce el problema ya sea directa o indirecta. Reducen a corto y mediano plazo.

M: Media, cuando se esperan resultados pero la reducción no es total. Reducen en alguna forma a corto y mediano plazo.

B: Baja, cuando se ejecutan acciones pero no logran impacto a corto plazo.

COSTOS DE EJECUCIÓN DE MEDIDA (C)

B: Bajo. Cuando la medida supera los quinientos millones de pesos ($ 500.000.000)

M: Medio. Cuando la medida supera los cien millones de pesos ($ 100.000.000) y es inferior a los quinientos millones de pesos ($ 500.000.000)

A: Alto. Cuando el costo de la medida es inferior a cien millones de pesos ($100.000.000)

COSTO SOCIAL (S)

Teniendo en cuenta que la comunidad se siente apropiada a la zona, las medidas a ejecutar pueden generar un beneficio bajo (B) cuando se realiza reasentamientos en la zona o un beneficio alto (A) cuando no se ejecuten este tipo de medidas

COSTO PÚBLICO (P)

Teniendo en cuenta la intervención que el distrito debe realizar desde el punto de vista de gestión, recursos, condiciones sociales entre otros aspectos se evalúa desde la óptica de la DPAE si as medidas a ejecutar pueden generar un beneficio bajo para la entidad (B) por la dificultad de consecución de recursos, o manejo interinstitucional complejo, o un

beneficio alto (A) cuando es solo potestativo de la misma entidad la medida a implementar y su control.

Teniendo en cuenta las variables de análisis y la matriz del problema se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 11-2 Valoración de medidas a implementar

INTERVENCIÓN	I	Tiempo de ejecución	Impacto	Medida	Social	Público	Beneficio
		TE	IRP	C	S	P	
Construcción de sistema de drenaje con batería de drenes y trincheras denantes en vías.	IM	B	M	B	M	B	M
Evacuación de viviendas por priorización en daño estructural.	IM	M	A	M	B	M	A
Monitoreo estructural de viviendas	IM	A	B	A	A	A	A
Monitoreo geotécnico de áreas críticas	IA	A	B	A	A	A	A
Cambio de uso urbano (parque)	IA	B	M	B	M	M	M
Mantenimiento de sistema de drenaje de aguas negras y potable.	IM	A	M	A	B	M	M

IA, IM, IB: impacto alto, medio o bajo. B,M,A: bajo, medio o alto beneficio.

Como se puede observar las medidas a ejecutar en la zona obedecen a un monitoreo geotécnico y estructural con la evacuación de varias viviendas en una primera prioridad desde el punto de vista estructural. Las demás medidas pueden ser ejecutadas de acuerdo a la evolución del problema y según el monitoreo.

El mantenimiento de redes brinda un beneficio medio en la zona en razón a que el problema también radica en el agua natural que existe en la zona. Por tanto aun cuando es necesario reportar esta situación a la DPAE, no implica necesariamente un beneficio alto de la medida.

11.4 ANÁLISIS DE MEDIDAS PLANTEADAS

11.4.1 EVACUACIÓN DE FAMILIAS POR DAÑO ESTRUCTURAL

Es necesario definir tres niveles desde el punto de vista de prioridad así:

- **Prioridad alta por evacuación.** Aquellas viviendas que presentan daños en fachada, muros internos con deformaciones importantes, daños en uniones de elementos, grietas en placa entre otros daños estructurales. Esta prioridad de viviendas implica evacuarlas en forma inmediata POR DAÑO ESTRUCTURAL.
- **Prioridad alta seguimiento estructural.** Por los daños presentados y evaluados en este estudio es necesario continuar con la evaluación de deformaciones y daños estructurales definiendo la evacuación o no del predio.
- **Prioridad media seguimiento estructural.** Aquellas viviendas que presentan daño pero su ocupación aun es adecuada. Debe incluirse en la valoración del monitoreo estructural.

? **Prioridad baja.** Las demás sin daño y no involucradas en zonas críticas de daño. El seguimiento debe ser adelantado por la comunidad.

La definición final de que las familias incluidas en una valoración de prioridad alta y que deben ser reasentadas inicialmente por DAÑO ESTRUCTURAL debe ser definido finalmente por la DPAE

De acuerdo a la evaluación realizada por el análisis de inventario de viviendas, por el patólogo de esta consultoría se presenta la Figura siguiente por daños en viviendas:

Figura 11-1 Daños en Viviendas

De estas viviendas se puede mencionar las siguientes con prioridad alta por daño estructural:

Tabla 11-3 Prioridad alta por evacuación

No. plano tipología	Dirección predio
P2 LOTE 13	DIAG. 33B SUR No 2-03E
P2 LOTE 14	DIAG 33B SUR No 2-11E
P2 LOTE 48	DIAG 34 SUR No 2-22E

En los demás lotes con daños altos a medios que se muestran en la figura anterior se ubican en una prioridad media. Los demás predios se ubican en una prioridad baja a nula.

11.4.2 MONITOREO GEOTÉCNICO Y ESTRUCTURAL

Se plantea la ejecución de un monitoreo geotécnico y estructural con campañas quincenales durante un año en donde se contemple los siguientes aspectos:

Evaluación estructural.

Campañas quincenales con la instalación de regletas en deformaciones en muro o aberturas, así como la medición de inclinación de puntos en ángulo en fachada, muros, entre otros aspectos. Estas campañas se deben ejecutar llevando un formulario de daño y una tendencia en tiempo garantizando así la continuidad de la inspección. De acuerdo a la clasificación mencionada anteriormente el número de viviendas a evaluar es el siguiente y según la Figura 11.1:

Tabla 11-4 Evaluación estructural

Tipo	Cantidad	Observación
Prioridad alta para evacuación (color azul)	3	Se debe seguir evaluando hasta tanto se evacue o reasiente estas viviendas
Prioridad alta para seguimiento estructural	28	Se debe realizar el seguimiento y decidir si se evacua o no.
Prioridad media para seguimiento estructural	40	Seguimiento menos detallado de grietas y deformaciones.
TOTAL	71	

Evaluación geotécnica.

Se considera evaluar dos efectos:

a) Deformaciones y desplazamientos.

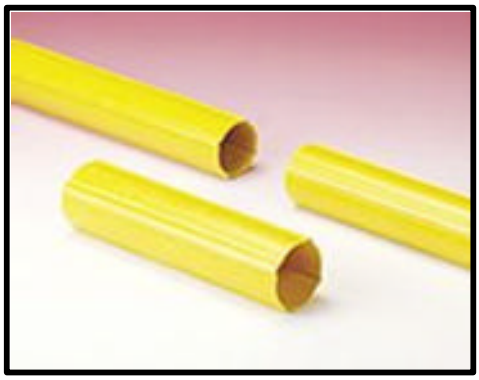
Se deben instalar dos inclinómetros a lado y lado de la zona crítica ubicada abajo del parque en los predios reubicados inicialmente por la DPAE. Estos inclinómetros deben ser de tubería ranurada para poder introducir el torpedo electrónico de medición. Se debe instalar además un inclinómetro hacia la parte media de la zona de estudio en la zona cercana al predio en donde se ejecutó el sondeo 12. En total son 3 inclinómetros.

La instalación de los inclinómetros se lleva a cabo de la siguiente manera:

? Una vez terminada la perforación hasta la profundidad requerida, la tubería ranurada se hinca cuidadosamente dentro del pozo con la ayuda de la torre de la máquina de perforación. Estando la tubería colocada en la perforación, se orientan un par de ranuras en la dirección principal del movimiento del talud y se aplica alrededor de las paredes una lechada de agua-cemento con el objetivo de mejorar la estabilidad de la tubería dentro del pozo. En superficie se construye una base en concreto para proteger la tapa de la perforación. Es importante tener en cuenta que la tubería debe instalarse lo más vertical posible (inclinación < 3°) para evitar errores posteriores en la toma de lecturas con el torpedo.

? Los registros se deben tomar cada 15 días desde la instalación del inclinómetro, mediante la utilización de un torpedo biaxial para lectura de inclinómetros con su respectiva caja de registro de datos (Figura 11.2).

Figura 11-2 Tipo de tubería y modelos de torpedo para toma de lecturas







Se deben instalar además 40 mojones ejecutados con mojones en el terreno de 40 cm de profundidad, 10 cm de diámetro, colocando una platina en la parte superior que referencia cada punto. Esta malla de mojones debe levantarse con topografía de precisión. Debido a que las tasas de movimiento que se presumen son bajas, los valores de error y el cierre deben ser completamente ajustados para evitar que el rango de valores de desplazamiento este en el rango de error del equipo.

b) Nivel piezométrico.

Se considera continuar con las lecturas de piezómetros instalados por esta consultoría cada quince días. En total son seis piezometros.

Costos

Los costos se presentan en el ANEXO 11-2.

En la Figura siguiente se presenta la ubicación de las viviendas de prioridad, los puntos de mojones, la ubicación de piezómetros e inclinómetros.

Figura 11-3 Monitoreo geotécnico y estructural

ANEXO 11-1 DESCRIPCIÓN DE PREDIOS CON PRIORIDAD ALTA

No. plano	**Dirección predio**
P2 LOTE 13	DIAG. 33B SUR No. 2-03 E



Muro de fachada con posibilidad de colapso hacia el anden. Es posible que por las cargas actuantes y la poca capacidad de resistencia se halla deformado agravado por las deformaciones en el piso



Deformación lateral hacia la esquina del predio. Se realizó una nueva estructura aporticada que marca el cambio de quiebre y deformación lateral.

No. plano	**Dirección predio**
P2 LOTE 14	DIAG 33B SUR No. 2-11 E



Deformación (6 cm H en 1 m) en la parte posterior del predio de un baño.



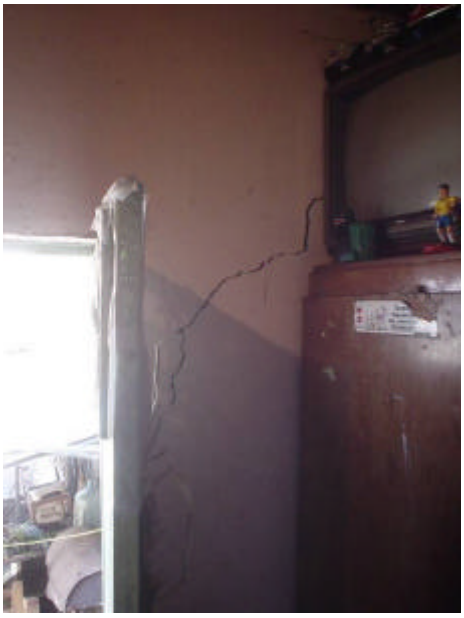
Daño en el muro de mampostería vecino al predio P2 L13

No. plano	**Dirección predio**
P2 LOTE 48	DIAG 34 SUR No. 2-22 E



Desplazamiento de muro de 4 cm hacia el lote reubicado por la DPAE.





Asentamiento de la losa de piso hacia el predio reubicado.

ANEXO 11-2 ANÁLISIS DE COSTOS DE MONITOREO

A. PERSONAL					
ITEM	**DESCRIPCION**	**DEDICACION TOTAL (Hombre-mes)**	**TARIFA MES**	**FACTOR MULTIPLICADOR**	**COSTO TOTAL**
1	Director	1.00	$ 4,000,000	2.1	$ 8,400,000
2	Especialista en geotécnia	1.80	$ 2,800,000	2.1	$ 10,584,000
3	Especialista en estructuras	1.80	$ 2,800,000	2.1	$ 10,584,000
4	Ingeniero Auxiliar	3.60	$ 1,400,000	2.1	$ 10,584,000
5	Dibujante	1.20	$ 1,300,000	2.1	$ 3,276,000
				SUBTOTAL PERSONAL (A)	$ 43,428,000
B. EXPLORACION DEL SUBSUELO					
ITEM	**DESCRIPCION**	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**VALOR UNITARIO**	**COSTO TOTAL**
6	Perforacion en roca	ml	9	$ 150,000	$ 1,350,000
7	Perforación en suelo con equipo manual	ml	18	$ 38,000	$ 684,000
				SUBTOTAL EXPLORACION DEL SUBSUELO (B)	$ 2,034,000
C. INSTALACION Y LECTURAS					
ITEM	**DESCRIPCION**	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**VALOR UNITARIO**	**COSTO TOTAL**
8	Tuberia para inclinometros	ml	27	$ 150,000	$ 4,050,000
9	Instalación mojones	unidad	40	$ 30,000	$ 1,200,000
9	Campañas de lectura piezometros e inclinometros	lecturas	816	$ 10,000	$ 8,160,000
10	Campañas de lectura de medición topográfica	campaña	24	$ 800,000	$ 19,200,000
				SUBTOTAL ENSAYOS DE LABORATORIO (C)	$ 13,410,000
D. OTROS					
ITEM	**DESCRIPCION**	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**VALOR UNITARIO**	**COSTO TOTAL**
11	Papeleria, impresión planos	global	1	$ 1,000,000	$ 1,000,000
12	Transporte	dias	24	$ 100,000	$ 2,400,000
				SUBTOTAL OTROS (D)	$ 3,400,000
				SUBTOTAL (A+B+C+D)	$ 62,272,000
				IVA (16%)	$ 9,963,520
				TOTAL	$ 72,235,520

12 GESTION SOCIAL

12.1 INTRODUCCIÓN

El conjunto de acciones individuales y colectivas que una comunidad emprende en torno a una problemática social que les afecta, es entendida como gestión social, en la medida que permite que la comunidad, involucrada en proyectos de obras civiles, aporte desde su percepción y vivencia, el conocimiento de la problemática que exige intervención estatal y a la vez lleva inmerso un compromiso de participación activa en el hallazgo de las posibles soluciones a esa problemática, apropiándose del proyecto y logrando su sostenibilidad en el tiempo.

Al hablar de participación activa, nos referimos en primer lugar al proceso mediante el cual las personas individual y colectivamente van siendo sujetos de su propia historia, es decir, van logrando el control de las decisiones y acciones que tienen que ver en el entorno donde desarrollan sus vidas. Significa que el proceso les permite desarrollar conocimiento, habilidades y destrezas para planear las acciones tendientes a transformar su realidad en forma organizada y coordinada y realizar gestión de recursos técnicos y financieros que les permita responder y responsabilizarse de ejecutar las acciones pertinentes dentro de la problemática que les afecta.

Sin embargo, para que esta participación sea efectiva, las instituciones del Estado, en este caso la DPAE, deben ofrecer capacitación y motivación sobre los temas sensibles y de interés de las comunidades (en este caso sobre prevención de riesgos por remoción de masa y la participación comunitaria), para que estos temas vayan siendo incorporados en los procesos de socialización comunitaria y contribuyan a reforzar los procesos mismos de empoderamiento de las comunidades para que sean sujetos de su propia historia.

En los proyectos de obras civiles es importante tener en cuenta las observaciones y opiniones de las personas y las comunidades involucradas, respecto de tales proyectos y de las obras propuestas para que haya apropiación interés y compromiso; una de las estrategias para lograr este propósito se concreta en la creación de espacios de participación donde se concrete el desarrollo de un Plan de Gestión Social.

El Plan de Gestión Social construido en el marco de este proyecto, en el Barrio Atenas de la localidad de San Cristóbal, se justifica en la medida que permite a la comunidad habitante en este sector, participar en las diferentes etapas del proyecto y apropiarse de los beneficios de la ejecución de las obras resultantes. La gestión social se inicia con la asistencia a las reuniones que programadas por el equipo técnico, aportando su percepción y su conocimiento en torno a las necesidades y a las problemáticas que los afectan, seguida por el suministro de la información particular, que se solicita en la encuesta, sobre cada una de las viviendas y concretada en una decidida participación y compromiso en la realización de las actividades que conlleven las posibles soluciones la tales problemáticas.

El grado de injerencia que pueden tener las variables sociales, en el ejercicio de diagnóstico y que fueron analizadas particularmente el capítulo de vulnerabilidad, parte de abordar algunas amenazas de orden antrópico y aceptar la participación del componente social en el diagnóstico sobre las posibles amenazas de origen natural o

mixto. En este sentido, el proceso de consulta meramente técnico (encuesta), lleva inmerso un ejercicio de interacción con actores relevantes, líderes y representantes de la comunidad donde va dando la motivación para la conformación de un grupo de trabajo fortalecido bajo la orientación profesional de quienes como responsables de la ejecución del proyecto intervienen.

La participación del componente social es una estrategia que soporta y fortalece los diferentes momentos del desarrollo de un proyecto de riesgos, contribuye de un modo significativo a aportar mecanismos, estrategias y alternativas de interacción con las comunidades de cara a los requerimientos de soluciones estructurales que reclaman cada día y con urgencia estos sectores, en cuyo contexto la problemática es cada vez más compleja y exige respuestas positivas en lo referente al diseño y ejecución de la política pública en materia de desarrollo social.

Teniendo en cuenta el contexto anterior, en este proyecto, la gestión social contempla tres momentos:

- Momento I. Socialización del proyecto de Consultoría
- Momento II. Evaluación de condiciones sociales y económicas de la comunidad
- Momento III. Plan de Gestión Social.

Impacto:

Con la ejecución del Plan de Gestión Social se busca que al finalizar esta consultoría, los habitantes involucrados en el proceso tengan un mayor reconocimiento de su problemática, relacionada con riesgo de deslizamiento por remoción, hayan previsto mecanismos que les permitan continuar su participación en los procesos siguientes y diseñado estrategias de intervención en las obras y acciones que se deriven del proyecto.

12.2 MOMENTOS DEL PLAN DE GESTIÓN SOCIAL

12.2.1 Socialización del proyecto de Consultoría:

Como momento previo a la interacción con las comunidades se realizaron tres visitas de reconocimiento de área por parte del equipo ejecutor donde se realizaron los primeros acercamientos con la población. Por otra parte, y teniendo en cuenta que durante el proceso se estaría en permanente interacción con las comunidades residentes en la zona de influencia se diseñó una estrategia de abordaje e interacción que se basó en la identificación de líderes, en comunicaciones individuales con actores involucrados y en reuniones generales con los miembros de la comunidad afectada.

Desde el inicio de la consultoría y a lo largo de su desarrollo se tuvo un contacto permanente con los líderes comunitarios del barrio, se realizaron reuniones con los residentes en donde se informó sobre los objetivos, se trabajó sobre el papel de los afectados en los proyectos de obras civiles y se presentaron los avances del proyecto. Estas reuniones (3) permitieron conocer las opiniones de los residentes, las expectativas frente a la consultoría y se planteó concertadamente cual será su papel en el momento de la ejecución de las obras.

12.2.2 Reuniones Realizadas:

La interlocución con la comunidad del barrio Atenas se inicia a partir de la identificación de los líderes comunitarios mediante la consulta de la información de las localidades, existente en la página Web de la secretaría de Gobierno y la información sobre integrantes de las Juntas de Acción comunal del Departamento Administrativo de Acción Comunal – DAAC.

Las reuniones de interlocución con las comunidades se realizaron a través de convocatorias que fueron realizadas por el equipo consultor a través de la Junta de Acción Comunal cuyos integrantes asumieron la tarea de informar mediante la fijaron avisos, perifoneo y realizaron visitas a las viviendas para generar efecto cascada de información.

Tabla 12-1 Reuniones con la comunidad

REUNION No.	FECHA	OBJETIVO
1	Octubre de 2005	Presentación inicial proyecto y Acción comunitaria
2	Diciembre2005	Avances Informe Parcial No. 2
3	Febrero 2006	Informe Final

Reunión No. 1: Octubre de 2005

El día 4 de octubre se realizó la primera reunión con la población residente en el área de influencia, en el Salón Comunal de barrio, con presencia de representantes de la Junta de Acción Comunal, JAC, el jefe de proyecto, la asesora social y un nutrido grupo de miembros de la comunidad (100 personas aproximadamente). En esta reunión se trataron los siguientes temas:

? Presentación de los propósitos del proyecto. Se presentó el proyecto mediante copias impresas, en donde se mostró el mapa de la zona de estudio, la ubicación espacial y los lineamientos básicos del proyecto. Esta tarea requirió de una explicación minuciosa y personalizada dado que para la mayoría los conceptos y términos utilizados eran novedosos y por otra parte algunos de los asistentes no sabían leer

? Definición de responsabilidades de cada una de las partes: comunidad y equipo técnico. En este momento se planteó el alcance del proyecto y se realizó un dialogo entre las partes donde, primero se presentaron los alcances del proyecto, se plantearon las responsabilidades y se motivó a la comunidad a pensar en mecanismos para apropiar el proyecto y facilitar su desarrollo y segundo se escucharon las opiniones de los asistentes en torno al proyecto a sus expectativas y a sus inquietudes. En cuanto a las responsabilidades de las partes concretamente la comunidad se comprometió a facilitar el acceso a las viviendas, contribuir en la ubicación de obras realizadas y en la identificación de áreas en riesgo.

Otro punto central de la reunión fue el de la identificación de mecanismos para afrontar el riesgo y hacer el seguimiento a los resultados de la consultoría. Dado que la JAC cuenta

con el reconocimiento de su trabajo y de su compromiso por parte de la comunidad, se acuerda que sea ella la encargada de liderar las tareas

- Coordinar con los residentes en el sector un monitoreo permanente en torno a alteraciones en la estructura de sus viviendas, e informar a la Junta de acción comunal o autoridades locales sobre los posibles cambios o alteraciones de las condiciones actuales.
- Estar informados de los resultados de esta consultoría y sus recomendaciones
- Identificar las acciones que proponga la DPAE como resultado de esta consultoría
- Coordinar el proceso de seguimiento a las obras y acciones que la DPAE defina como resultado de esta consultoría
- Verificar que las obras y acciones derivadas de esta consultoría, se realicen
- Sensibilizar a los residentes en el cuidado y preservación de las actividades y obras que se realicen como resultado de esta consultoría.

Esta primera reunión de presentación del proyecto permitió escuchar opiniones que indican que la problemática viene de mucho tiempo atrás, que se han evidenciado problemas don el acueducto y alcantarillado. Por otra parte, esta reunión generó inquietud por cuanto muchos de los asistentes consideraron que ellos también eran afectados y no estaban incluidos dentro del área de estudio.

Con lo acontecido en esta reunión se logró percibir que los residentes en este sector del barrio Atenas han desarrollado procesos que permiten identificarlos como una comunidad con sentimiento de pertenencia, arraigo y apropiación del entorno social y geográfico, con lideres consolidaos que gozan de respeto y credibilidad

Reunión No. 2: Diciembre de 2005

Este día se presentó los resultados finales de los trabajos de campo adelantados. El análisis básico de geología y las determinaciones de amenaza obtenidas hasta el momento.

Dentro del proceso de apropiación de la consultoría los residentes intervienen señalando nuevos lugares con problemas de agrietamiento de viviendas y filtraciones de agua.

Como continuidad del proceso de participación, se plantea una reunión para el mes de febrero donde se presente los resultados finales de la consultoría

Reunión No. 3: Febrero de 2006

El día 12 de febrero se llevó a cabo la última reunión con la comunidad a la cual asistió un masivamente la población involucrada en el proyecto (alrededor de 150 personas), ver listado de asistencia anexo

Los objetivos de esta reunión fueron:

- Presentar resultados técnicos de la consultoría: Se presentaron gráficamente los resultados de la consultoría y se informó a los dueños de uno de los predios que el resultado arrojado implica su reubicación

- Reiterar con los asistentes el compromiso de apropiarse del proceso derivado de este proyecto y de hacer seguimiento a la situación que lo origina.

Conocidos los resultados del estudio, los residentes en las viviendas de mayor afectación expresaron su inquietud en torno a cual sería el proceso a seguir en caso que definitivamente tengan que abandonar su predio. Hubo muchas inquietudes con respecto a los predios con afectación sobre los que no se ha tomado una decisión y sobre los predios que estando afectados no fueron incluidos en el área de estudio

Se decidió que para continuar participando activamente en este proceso, deberían convocar a la DPAE para que se pronuncie en torno a los resultados y las actividades que devienen de ellos.

12.2.3 Evaluación de condiciones sociales y económicas de la comunidad.

El Barrio Atenas está ubicado al sur oriente de la ciudad de Bogota, en la localidad cuarta de San Cristóbal, UPZ del Veinte de Julio la más pequeña y más densamente poblada de la localidad; es uno de los barrios más antiguos de esta UPZ. La UPZ tiene un total de 27.183 viviendas de las cuales el 1.5% corresponden al área de estudio de este proyecto, La estratificación socioeconómica vigente en el distrito clasifica el área de estudio y el barrio en general como estrato 2(Bajo).

Teniendo en cuenta el análisis de vulnerabilidad precedente, nos concentramos en esta fase en presentar una síntesis de la infraestructura de servicios públicos, tomando como fuentes de información la encuesta de inventario de viviendas aportado por la DPAE, y aplicada en cada uno de los predios; las relatorías de las reuniones con la comunidad y la información obtenida en entrevistas informales

- **Propiedad :**

Este es un barrio consolidado donde los asentamientos poblacionales iniciaron hace más de 40 años, pero aún los predios de los que se obtuvo información (87%), en su gran mayoría está ocupado por sus propietarios,.los cuales cuentan con documentos que acreditan su propiedad

- **Vivienda:**

En la tipificación de las viviendas realizada en el capítulo de vulnerabilidad puede verse que existe gran variedad en la construcción; este es un barrio que se construyó paulatinamente según la capacidad económica de sus pobladores y por ende se encuentran viviendas con estructuras y materiales diversos inclusive en la misma construcción; además la autoconstrucción y la construcción informal son predominantes en esa zona

En el área de estudio se encuentran algunos lotes sin construir, entre ellos el de un predio que ya entró en el programa de reubicación de la DPAE

No obstante que los residentes son concientes de que sus viviendas están ubicadas en un área de riesgo hay gran preocupación por mantenerlas en buen estado y hacerles mantenimiento para evitar el deterioro; es así por ejemplo que en la construcción identificada con la mayor afectación, sus propietarios han realizado intentos de adecuación para evitar el avance de la afectación de la estructura.

? **Servicios Públicos:**

La totalidad de las viviendas, en las que se logró obtener la información, cuentan con todos los servicios públicos domiciliarios energía eléctrica, acueducto y alcantarillado y telefonía fija y gas domiciliario.

Mas del 95% de las calles están pavimentadas y el acceso a la zona de estudio puede hacerse en los servicios de transporte urbano que tienen ruta al interior del barrio incluyendo los buses alimentadores de transmilenio que pueden ser abordados en paraderos cercanos al barrio

? **Cocina:**

En la gran mayoría de las viviendas se utiliza para la cocción de los alimentos gas domiciliario (hay viviendas que cuentan con más de in medidor); las restantes viviendas se utiliza principalmente el gas propano que se adquiere en los carros distribuidores que pasan a diario o un expendio cercano.

? **Manejo de Basuras:**

El servicio de recolección de basuras es prestado por las empresas privadas del distrito que realizan la labor de recolección dos veces por semana y que acceden a la casi totalidad de las calles del barrio.

Algunas personas manifestaron inconformidad con el servicio prestado puesto que el carro recolector no pasa por todas las calles y tienen que estar pendientes para llevarla en el momento preciso para no causar molestias a los vecinos.

? **Educación:**

Los niños en edad escolar asisten principalmente a la escuela ubicada en la parte alta del barrio y a instituciones educativas distritales de los barrios vecinos (La Victoria, los Alpes, 20 de Julio); el recorrido para ir desde el barrio al colegio a donde asisten se cubre generalmente a pie y puede demorar entre 10 y 20 minutos.

? **Seguridad social:**

Por las entrevistas realizadas, se puede percibir que si bien hay un número importante de personas inscritos al SISBEN y que son beneficiarios de salud subsidiada; también hay un número importante de personas y familias cubiertos por los planes obligatorios de salud ya que o bien son empleados o tienen contrato de prestación de servicios que les obliga a cotizar a una EPS lo cual les genera grandes problema porque muchas de ellos al terminar el contrato quedan desprotegidos y es difícil volver a acceder al SISBEN. Para acceder a la atención médica principalmente se acude a los hospitales de La Victoria y San Blas, el centro de salud de este mismo barrio

? **Procedencia y sentido de pertenencia:**

Como se dijo anteriormente la gran mayoría de los predios está ocupada por sus propietarios quienes conviven con otros miembros de su familia o tienen parte de su vivienda arrendada.

El tiempo de residencia en el barrio es diverso; hay residentes que manifiestan estar allí desde hace más de 45 años y que tienen la historia de conformación del barrio, con su

información y la información arrojada por la encuesta puede verse que el proceso de consolidación del barrio está centrado la década del 70.

En general hay gran sentido de pertenencia y un alto nivel de arraigo en los residentes en esta área dado a que, como ellos lo manifiestan, allí "hemos estado toda la vida, levantado la familia y construido lazos de amistad, solidaridad y apoyo con los vecinos; relaciones que serla muy difícil de lograr en otro lugar al que lleguemos"[11]

Las mayores ventajas que le encuentran a residir en este lugar se relacionan con la facilidad de desplazarse, hay buen servicio de transporte, y rápidamente se llega a las dos avenidas importantes, la cercanía del centro de la ciudad, la ubicación en los alrededores de colegios y escuelas del distrito, centros comerciales relativamente cerca.

Como desventajas señalan particularmente los problemas que tienen con la ubicación en una zona de riesgo, la afectación que están teniendo sus viviendas y la incertidumbre que este hecho les genera. De otra parte señalan como problemático la inseguridad que se ha incrementado por la presencia de grupos de personas ajenos al barrio, los robos a las residencias y los atracos callejeros.

En general se percibe que los residentes actúan como una comunidad; se conocen y reconocen entre sí, se brindan apoyo en los aspectos más elementales de la convivencia diaria como por ejemplo poder contar con la posibilidad de que el tendero le fíe el mercado diario mientras llega la quincena; que el(a) vecino(a) lleve o recoja los niños de la escuela y los cuide en su casa mientras los padres o encargados regresan del trabajo o hacen una diligencia; que cuando salga o regrese los vecinos se saluden y lo hagan con nombre propio; y muchos otros aspectos que también encierran las discusiones de vecinos que no por lo regular no tienen mayor trascendencia.

Uno de los aspectos preocupa a los habitantes de esta área es la incertidumbre que se genera con el deterioro de sus viviendas y el desconocimiento de las causas concretas de este deterioro; si bien son conciente de que sus viviendas están construidas sobre la ronda de una antigua quebrada, y que esto puede estar generando problemas de inestabilidad, creen también que hay otros problemas asociados y que tienen que ver con fallas en las tuberías de acueducto y alcantarillado.

? **Nivel Organizacional:**

El barrio cuenta con su respectiva Junta de Acción Comunal que es el medio fundamental y con reconocimiento para la interlocución entre la comunidad y las entidades gubernamentales.

Los miembros de la Junta actual, y parece ser una constante cuando se eligen los representantes a ella, son residentes con una larga trayectoria de permanencia en el barrio y con tradición de liderazgo porque en muchos casos lis padres fueron en una época los representantes y hoy son los hijos de ellos. Este último aspecto es positivo en cuanto hay una experiencia en el manejo administrativo y conocimiento de las atribuciones y alcance de su accionar; sin embargo en un momento dado puede ser una

[11] Entrevista informal a residente en el área de estudio asistente a la primera reunión con la comunidad llevada a cabo en octubre de 2005

desventaja por cuanto se van generando intereses y manejos que no favorecen a todos los socios de la organización.

A partir de las actitudes y resultados de las reuniones realizadas en el barrio se puede percibir que la JAC, como organismo de interlocución para este proyecto ofrece las siguientes garantías:

? Gran poder de convocatoria, que se demuestra con la asistencia masiva e informada a las reuniones programadas

? Unidad de criterio en la orientación, dado que no importa con cual de los miembros directivos de la Junta se comunique los lineamientos y orientaciones son las mismas y hay rotación de la información al interior de la administración.

? Existe entre los miembros de la JAC y de la población en general del sector, con una problemática común, un sentimiento de comunidad y de búsqueda del bien común que hacen que el trabajo por el beneficio general del área se facilite, que los canales de interlocución sean efectivos, que las tareas propuestas y mas metas trazadas tengan orientación y grandes posibilidades de logros.

? Las directrices de las directivas de la junta generan seguridad en la comunidad y parecen ofrecer garantía de cumplimiento

Además existen en el barrio iglesias con líderes fuertes con poder de convocatoria, que pueden ser también apoyo en la organización y convocatoria para actividades comunitarias; la escuela se convierte también en un posible medio de interlocución entre la institucionalidad y la comunidad

? **Percepción del riesgo:**

Si bien, en general la vulnerabilidad se define como el grado de perdida de un elemento o conjunto de elementos en riesgo, la vulnerabilidad social de una comunidad asentada en un sector determinado se refiere “al estado de indefensión en que se encuentran las personas ante un cambio súbito en el entorno y que conduce de inmediato a una situación de crisis por la perdida de sus activos o recursos”[12]. Por otra parte el riesgo se define, en este caso, como “la valoración de las pérdidas por un fenómeno de remoción en masa, cuyas consecuencias pueden ser entre otras, que resulten personas damnificadas o muertas, que haya daño en propiedades y que se interrumpan las actividades económicas”[13]. Existe una relación directa entre la vulnerabilidad y el riesgo, a mayor vulnerabilidad pueden presentarse mayores riesgos, como por ejemplo en el caso que nos ocupa, para la mayoría de los residentes su vivienda es el único activo físico que poseen y además en ella se concentra su familia.

Al consultar a la comunidad la percepción sobre el riesgo, no hay una referencia directa al fenómeno que lo ocasiona sino al daño que está ocasionando, la vivienda deteriorada o sea que el riesgo se asimila a la posibilidad de daños en la estructura de su vivienda.

[12] Plan Estratégico 2004 - 2008, Departamento Administrativo de Bienestar Social del Distrito, Pag.9

[13] Monografía de San Cristóbal, disponible en:

www.bienestarbogota.gov.co/unicef/bdimagenes/monografiasan cristobal, pag 19

Salvo unos pocas referencias al hundimiento de los terrenos, no se percibe la amenaza de ser arrastrados por deslizamiento de los terreno, mas bien la visión de amenaza se centra en la probabilidad de que algunas viviendas pierdan estabilidad por la permanente filtración de agua y el agrietamiento de las estructuras. No se percibe que la comunidad ha previsto que ocurra algún evento y que eventualmente estén preparados para la ocurrencia de un evento masivo.

12.2.4 Plan de Gestión Social.

El plan de gestión social recoge, además del proceso desarrollado durante la consultoría, y que ya fue expuesto, las estrategias a corto, mediano y largo plazo desde la perspectiva social, partiendo de la racionalidad de las personas lo que conducirá a tomar medidas de precaución que reduzcan las posibilidades de riesgos a corto plazo.

Conocidos los resultados técnicos de la consultoría, el Plan de Gestión Social involucra a las familias residentes y a las entidades ejecutoras de las obras:

Desde los residentes:

- Observación permanente. Con las recomendaciones técnicas del proyecto, es fundamental la creación de un comité de vigilancia y control de los equipos de monitoreo que sean instalados en la zona, que además informe a la JAC de los cambios y alteraciones del terreno y retroalimente a la comunidad con la información que provea la DPAE
- Aprender a identificar momentos claves:
- Comunicación con las entidades distritales a cargo de la problemática.

Desde la DPAE y los contratistas de las obras:

- Capacitación sobre lo que significa la vulnerabilidad y el riesgo
- Desarrollo de acciones o programas de beneficio en la zona

Acciones de la población

Observación permanente: Repetidamente en las reuniones realizadas se concertó la creación de un comité de seguimiento de la problemática que una vez conocidos los resultados del estudio se hace necesario como mecanismo de vigilancia y comunicación con los entes decisorios

Estos representantes, estarán haciendo un monitoreo permanente para observar los cambios en el terreno y posibles daños en las viviendas para que en interacción con la JAC se notifique a las entidades locales y distritales para que evalúen la situación.

Identificación de Momentos Claves:

Durante el tiempo que dure el monitoreo, se propone que haya una intervención de la DPAE donde mediante acciones en campo, dé pautas a la comunidad para que pueda identificar las amenazas y sus manifestaciones para que en el caso que se presenten eventos, estos no sean de alta intensidad, porque la comunidad está prevenida y tiene conocimiento de las estrategias para afrontarlos.

Comunicación con las entidades distritales a cargo de la problemática:

A partir del conocimiento de los resultados de la consultoría, al que tuvieron acceso con la presentación final de la consultoría realizada en la última reunión el comité en interacción con la JAC hará seguimiento a las acciones que le corresponde realizar a la DPAE y a las demás instituciones que tengan ingerencia en la solución de los problemas que afectan la estabilidad del suelo y por ende de las viviendas (Acueducto) así como a las que les corresponda los trabajos de demolición y adecuación en los lotes que se requiera intervenir

Facilitar el restablecimiento y /o en lo posible el mejoramiento de las condiciones socioeconómicas iniciales de la población ubicada en los predios que se monitorear, buscando minimizar los impactos causados por el mismo.

Programas para la Comunidad

Capacitación sobre lo que significa la vulnerabilidad y el riesgo

Se propone que la DPAE programe, durante la construcción de las obras de mitigación según las alternativas planteadas, talleres participativos, donde se capacite a la comunidad sobre los significados y alcances de los distintos tipos de riesgo que involucren la seguridad estructural de las viviendas, y que sea de su competencia.

Utilización de recursos locales

La DPAE o las entidades contratistas pueden contribuir al mejoramiento de las condiciones de vida de los residentes y a la formación de comunidad, en el momento del desarrollo de las obras de mitigación con la generación de empleo y la demanda de bienes y servicios locales.

Reasentamiento

Dentro de las alternativas propuestas está el reasentamiento de las familias cuyas viviendas no son recuperables, lo cual implica la movilización de los bienes muebles e inmuebles; la entidad debe buscar el restablecimiento y /o en lo posible el mejoramiento de las condiciones iniciales de la familia ubicada en estos predios, buscando minimizar los impactos causados por el mismo.

13 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

13.1 CONCLUSIONES

El barrio Atenas esta localizado en las faldas de los cerros orientales que bordean la Sabana de Bogotá, allí se accede a través de la carretera oriente (antigua vía a Villavicencio). Las viviendas ubicadas en la zona son en general de 1 y 2 pisos en mampostería y pórticos incompletos, se construyeron en forma densa sobre un sector conformado por laderas de pendiente media a baja con dos zonas verdes hacia la parte superior e inferior del barrio.

Desde el año de 1974 se reportan daños en viviendas, por deslizamientos en suelos residuales de arcillolita. Agrietamientos y daños en las viviendas del sector vuelven a reportarse oficialmente en la década del 90 hasta la fecha. La anterior situación generó la necesidad del desarrollo del presente estudio especialmente por los reportes de daños de edificaciones y el inicio del proceso de reasentamiento de dos viviendas con daños altos estructurales desde el año 2003.

El área total del estudio es de aproximadamente 8.00 ha. El sector a que hace referencia este estudio se ubica aproximadamente entre la diagonal 32 C sur y la Avenida Villavicencio y entre la transversal 2 Este y la transversal 1 Este. En total se inventariaron en la zona de estudio 395 predios, de las cuales 7 son lotes vacíos y 2 son predios incluidos en el proceso de reasentamiento de la DPAE. La población influenciada por el proyecto fue de 2680 aproximadamente.

La evaluación de la zona se hizo bajo dos conceptos: el análisis de riesgo por fenómenos de remoción en masa, FRM, y el análisis por compresibilidad o evaluación de asentamientos. Bajo estas dos evaluaciones se desarrollo el proyecto, para lo cual ejecutaron labores de topografía, inventario de viviendas, geología y geomorfología, exploración del subsuelo, ensayos de laboratorio, análisis de compresibilidad, análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por FRM.

Se ejecutó la geología de la zona, en donde se ubica en rocas de la Formación Bogotá de características lodosas y arenosas, sobre las cuales se encuentra un antiguo y pequeño valle de una quebrada conformando suelos transportados (fluvio glacial) de espesor promedio entre 4 a 8 m y rellenos de origen antrópico de mediano espesor (2 a 4 m). La roca se encuentra a profundidades variables de 6 a 11 m.

Se realizaron 13 sondeos de exploración con profundidad variable entre 6 a 15 m. Se instalaron seis (6) piezómetros en la zona los cuales se leyeron periódicamente durante el desarrollo del proyecto. Se realizaron ensayos de caracterización tales como plasticidad, peso unitario entre otros y ensayos para obtener parámetros de consolidación para el análisis de compresibilidad (14) y corte directo para el análisis de estabilidad (9).

Con la topografía actual, la existente en 1960 y 1980 tomada del IGAC y la derivada del levantamiento topográfico realizado en el sector y los registros de sondeos y resultados de los ensayos de laboratorio se construyeron perfiles geotécnicos distribuidos en la zona de estudio (para un total de seis secciones), con los cuales se realizaron los análisis de estabilidad, necesarios para establecer la zonificación de amenaza por FRM.

Cada uno de los perfiles geotécnicos fue ajustado con las observaciones de campo y las consideraciones geológicas y geotécnicas, y se determinó la existencia de cuatro tipos de materiales que de menor a mayor profundidad se pueden describir como:

- **Rellenos (suelo 1).** Estos rellenos antrópicos provienen del mismo material de la zona por cortes. En pequeños casos se observa material de demolición, piedra y ladrillo. La fracción fina es predominante en estos rellenos. Estos rellenos pueden oscilar entre 1 a 5 m en los sitios de valles de quebradas.

- **Suelos transportados (suelo 2).** Estos materiales se identifican como arcillas de plasticidad media de color rojizo, con algunas tonalidades grises, los cuales se encuentran siguiendo valles antiguos de quebradas. Este material en algunos casos presenta pequeñas gravas sueltas dentro de la misma matriz. Predomina la matriz fina y el material granular no es fácilmente identificable o con condiciones de muestreo en campo. Es posible confundirlo con el suelo residual de la formación Bogotá. Los espesores obtenidos pueden estar entre 3 a 5 m.

- **Suelo residual (suelo 3).** Se presenta este tipo de material como producto de la alteración de la Formación Bogotá, con predominio de fracción arcilla de color gris a habano. Este suelo residual se confunde con los suelos transportados y solo el valor de resistencia por SPT en alguna medida permite identificarlo. Su espesor puede estar entre 1 a 3 m.

- **Formación Bogota (roca).** Se identifica intercalaciones de lodolita con arenisca. La resistencia es alta cuando se encuentra inalterada. Este material presenta una orientación tal que no favorece al movimiento. En el sondeo No. 1 se realizó 9 metros en este material que permitió identificar claramente la formación existente.

Es importante mencionar que la zona se encuentra completamente cubierta de viviendas y vías, por lo que la delimitación o contactos entre materiales se realizó por medio de las fotografías aéreas en el análisis multitemporal.

Los daños de las viviendas se encuentran identificados a lo largo del antiguo valle de una quebrada y en el contacto definido para los suelos transportados. Los rellenos, los suelos transportados y el suelo residual presentan en general condiciones de plasticidad similares por ser producto del mismo origen, dificultando la identificación de los contactos en profundidad de dichos materiales.

Para cada uno de los materiales mencionados se determinó los valores de tendencia por ensayos de corte directo para el modelamiento.

Utilizando seis secciones de análisis se evaluó las condiciones de estabilidad teniendo en cuenta el sismo y la lluvia. En el análisis de amenaza se obtuvieron valores altos en la zona adyacente al parque o crítica por daños en los predios de la manzana P1 predios 40, 41, 42 (reasentado por el distrito), 43, 44, 10, 11 y 12 la manzana P2 lote 45B. Hacia la parte baja de la manzana P2 y de las manzanas M1, F1 y F2 se presenta amenaza media, que corresponde al antiguo valle de la quebrada, así como amenaza baja en los demás predios de la zona con una ventana de tiempo de 25 años. Para una ventana de tiempo actual o a 10 años la amenaza por FRM en toda la zona de estudio obtenida fue baja.

Para el análisis de vulnerabilidad se realizó el inventario de viviendas con un total de 395 y la presencia de daños estructurales importantes en un número de no menos de 31, realizando un plano de daños alto, medio y bajo, base para el análisis de vulnerabilidad. Existen dos predios reasentados por la DPAE. Con esta primera aproximación permitió caracterizar las viviendas por niveles, además en función de su tipología. Posteriormente en el análisis se obtienen el mapa de vulnerabilidad con viviendas en grado alto así: Manzana P1 lote 41 a 49 y lote 9 a 12, manzana P2 del lote 45 a 50 y del 13 al 17 y manzana F1 del lote 28 a 30 y 6 a 9. En lotes ubicados especialmente en la manzana M1 y F1 se presentan predios con vulnerabilidad media.

Finalmente, con el mapa de amenaza y vulnerabilidad se obtiene en general viviendas en riesgo alto hacia la parte baja del parque ubicados en la manzana P1 predios 40, 41, 42 (reasentado por el distrito), 43, 44, 10, 11 y 12, riesgo con una connotación de periodo de retorno de 25 años, es decir en condiciones exigentes en el modelo.

Es importante mencionar que los análisis ejecutados por FRM no permitieron determinar con exactitud el comportamiento del modelo, mostrando condiciones de flujo lento de la ladera o reptamiento, difícil de evaluar con este procedimiento.

Se realizó el análisis de compresibilidad del suelo para las secciones de análisis teniendo en cuenta las etapas antes y después de construida las viviendas. Se presenta del orden de 4 a 10 cm de asentamiento en 30 años para las zonas críticas o de grandes daños en viviendas. El orden de magnitud de las deformaciones horizontales son similares a las verticales. Desde el punto de vista de expansión – contracción se presentan niveles medios a bajos con posibilidad de afectación en viviendas de baja altura. Los ensayos de colapsiblidad realizados en muestras dentro de la zona de daño alto de viviendas no presentan indicios de esta naturaleza.

Teniendo en cuenta las deformaciones y desplazamientos obtenidos por comparación de la topografía actual con las condiciones hace 30 años y la información anteriormente mencionada de FRM y asentamientos se puede concluir que existe un proceso de reptamiento de ladera en los últimos veinte años (20) dentro del contorno de los suelos transportados y a lo largo del antiguo cauce de quebrada acelerado a flujo lento o con una tasa mayor o inducida de movimiento probablemente por la excavación para la instalación de la red matriz de la EAAB en el año 2003.

Se realizó un análisis de costo beneficio comparativo de las alternativas existentes para reducir o mitigar el problema. Este análisis concluye que las obras de ingeniería probables de ejecución como pueden ser trincheras drenantes profundas o subdrenes son demasiado costosas, técnicamente complejas y además de tener una connotación urbana de alto impacto, además de no poder considerar a la fecha con condiciones validas y certeras del modelo para una intervención segura y directa en el problema. Es posible que estas medidas agraven el problema a otras zonas no contempladas como de alto o medio riesgo en este estudio.

13.2 RECOMENDACIONES

Con base en los resultados del estudio de riesgo por fenómenos de remoción en masa y compresiblidad del terreno, los daños que presentan algunas de las viviendas en la zona se encuentran asociados a reptamiento y/o flujo lento de la masa de suelo transportado, para lo cual se recomienda lo siguiente:

1. Incorporar a 3 familias en el Programa de Reasentamiento de Familias localizadas en Zonas de Alto Riesgo No Mitigable que habitan las viviendas que se relacionan a continuación, dado que sus viviendas presentan daños que pueden comprometer su habitabilidad en el corto plazo.

Manzana	PREDIO	DIRECCIÓN	PROPIETARIO
P2	13	DIAG. 33B SUR No 2-03E	Severo Martínez
P2	14	DIAG 33B SUR No 2-11E	Miguel Antonio Espinosa
P2	48	DIAG 34 SUR No 2-22E	Bernardino Camargo

2. Realizar un monitoreo geotécnico y estructural de la zona con el fin de ajustar el modelo y evaluar las condiciones de movimiento lento de la zona y bordes de influencia y de esta forma tomar decisiones respecto a incluir familias en el proceso de reasentamiento. El monitoreo geotécnico recomendado debe incluir la lectura de 6 piezómetros (instalados por el Consultor durante la elaboración del presente informe) y la instalación de instrumentos tales como 3 inclinómetros y 40 mojones de concreto para control topográfico. El monitoreo estructural se debe centrar en el seguimiento de los daños estructurales de 28 viviendas incluidas en prioridad alta para seguimiento estructural y de 40 por prioridad media. La distribución del sistema de monitoreo se muestra en tal figura.

3. Finalmente, se recomienda informar a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB-ESP, con el fin de que se revise y se haga el respectivo mantenimiento a las redes existentes de acueducto y alcantarillado de la la zona, además, de estructuras y elementos como: pozos de inspección de alcantarillado, sumideros, válvulas entre otros.

14 LIMITACIONES

El presente estudio se basó en la información obtenida en la exploración del subsuelo (sondeos mecánicos, trincheras, apiques y pruebas geofísicas) y los ensayos de laboratorio de muestras representativas.

Los análisis de estabilidad realizados son aproximados y la totalidad de los resultados obtenidos se han incluido en el informe. Debe entenderse que los materiales térreos son materiales inelásticos, heterogéneos y no isotrópicos, en los cuales su comportamiento no es fácilmente predecible, ni independiente del entorno climático y antrópico en el cual se encuentran.

En consecuencia, aunque se ha realizado el mejor trabajo posible, de todas formas los modelos, especialmente los probabilísticos, son limitados tanto intrínsecamente como por el factor escala del trabajo (1:500) y es de esperar que durante la implantación de las obras o el desarrollo de la evolución del terreno, se presenten discrepancias localizadas con los modelos y los planos que los representan.

Cualquier cambio obtenido en las condiciones del terreno producto de intervención antrópica, actividad sísmica y las condiciones planteadas aquí pueden cambiar las condiciones de riesgo y por lo tanto deben ser reportadas a la entidad competente y por ende al consultor.

15 BIBLIOGRAFÍA

? ACHILLEOS, Eftychos. User Guide for PCSTABL 5 M. Purpue University – West Lafayette, Indiana. Diciembre de 1988.

? ARANGO CARLOS. Estudio de suelos. Conjunto camino del Cerro. Avenida Carrera 7 No. 151-90. Estudio de Suelos. Agosto de 2004.

? ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES – INGEOMINAS. Estudio general de amenaza sísmica de Colombia. Bogotá. Octubre de 1996.

? AIS, INGEOMINAS, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES (1996), "Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia", Comité AIS 300 – Amenaza Sísmica, Bogotá.

? COLORADO ROCKFALL SIMULATION PROGRAM. Version 4 . Colorado Department of Transportation. March 2000.

? Consorcio IGR (2005), "Elaboración de Diseños de Obras en Sitios Afectados por Emergencia debido a la Temporada de lluvias - Sitio 2 Barrio Juan José Rondón".

? Computer Applications In Hydraulic Engineering, Haestad Methods Engineering Staff, Sixth. Edition 2004.

? Cruden, D. y Varnes D. Landslides Types and Processes. Universidad de Alberta. 1991.

? Chow, Ven T. Hidráulica de Canales Abiertos, Mc. Graw Hill.

? Chow, Ven T.. Hidrología Aplicada. Mc. Graw Hill

? DAMA. 2004. Definición de factores de seguridad adecuados en la Zona X de Suspensión minera (Localidad de Rafael Uribe). Informe interno de avance.

? Dirección de Prevención y Atención de Emergencias- DPAE. Seminario Estudios de riesgos por fenómenos de remoción en masa. Agosto 31 de 2000.

? DUNCAN, Michel en TURNER, A. Keith y SHUSTER, Robert. Landslides, Investigation and Mitigation – Special Report 247. National Academy Press – Washington, D.C. 1996. Chapter 13.

? FINLAY, P.J., MOSTYN, G.R. y FELL, R. Landslide Risk Assessment – Prediction of Travel Distance. Australia. Julio de 1998.

? González A. J., Zamudio E. y Castellanos R. (1999). "Relaciones de Precipitación Crítica-Duración Lluvias que Disparan Movimientos en Masa en Santa Fe de Bogotá – Colombia". Bogotá D.C. XI CPMSIF – Foz de Iguazu, Brasil.

? GONZÁLEZ, Álvaro (1999). Estimativos de parámetros efectivos de resistencia con el SPT en X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana. Sociedad Colombiana de Ingenieros – Sociedad Colombiana de Geotecnia. Bogotá. 1999.

? GOODMAN, R.E. Introduction to rock mechanics. John Wiley and sons. 1989. Cap. 8. Pp 293 – 335.

? HARR. Reliability based design in civil enginnering. Dover. Pp. 187 – 222. 1987.

? HOEK. Evert y BRAY, John. Rock slope Enginnering. Institution of Mining an Metalurgy. Great Britain University Press. Cambridge. 1974.

? INGEOCIM. Estudios de remoción en masa en varias localidades de Bogotá. Estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por inestabilidad del terreno para las localidades de Ciudad Bolívar, Rafael Uribe Uribe, San Cristóbal, Santa Fe, Chapinero, Usaquén y Suba de Santa Fe de Bogotá. Octubre de 1998.

? INGEOMINAS. Zonificación geotécnica de Santafé de Bogotá. Convenio 200-86 (Departamento Administrativo de Planeación Distrital), Informe 2081. 1993.

? INGEOMINAS (2003). “Estudio de evaluación de amenaza por deslizamiento para los Barrios El Espino y El Cerro El Diamante, e instalación y monitoreo de instrumentación geotécnica”. DPAE.

? ISRM. Rock characterization testing and monitoring – suggested methods. ET Brown pergamon press. 1981.

? INGEOMINAS - UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. (1997). Microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá. Agosto.

? INGEOMINAS (2003). “Estudio de evaluación de amenaza por deslizamiento para los Barrios El Espino y El Cerro El Diamante, e instalación y monitoreo de instrumentación geotécnica”.

? Instituto Nacional de Vias – INV. Manual de Estabilidad de Taludes, Geotecnia Vial. 1998.

? JULIVERT, M. Léxico estratigráfico internacional. Vol V, fasc. 4ª Colombia. 1968.

? KOEFOED. Otto. Geosounding principles publicado por el servicio geológico holandés (TNO).

? LEONE,F. Concept de Vulnerabilité appliqué a l´évalution des riesques generés par les phenomenes de mouvemenst de terrain. Tesis de Doctorado. Universidad Joseph Fourier, Grenoble I. 1996.

? LÓPEZ C. Ricardo A.. Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería, Segunda Edición. 1999.

? LOBOGUERRO Alberto. Proyecto de remodelación morfológica y evaluación de amenaza pr remoción en masa de la Cantera el Cedro (Localidad Usaquen). Octubre 2003.

? LOW, B. K. Reliability analisys of rock wedges in Journal of geotechnical and geoinveronmental engineering. June 1997.

? Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998, Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente

? PROSPECCIÓN, SONDEOS E INSTRUMENTACIÓN PSI LTDA. Estudio de Riesgo Barrio Madrid. Localidad Rafael Uribe Uribe. Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá Abril de 2004.

? UNION TEMPORAL RIESGOS URBANOS Germán Darío Tapia Muñoz – Edgar Rodríguez Granados. Estudio de Riesgo Barrio San Isidro. Localidad Ciudad Bolívar. Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá. Octubre de 2003.