

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

**No IMPRIMIR**

**PORTADA**

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

**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. 485 de 2005 al CONSORCIO IGR conformado por EDGAR EDUARDO RODRÍGUEZ GRANADOS - INGENIERÍA Y GEORIESGOS LTDA, la elaboración del “Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.” contrato iniciado a partir del 10 de noviembre de 2005 con una duración de tres meses y finalizando el 10 de febrero de 2005.

La zona se enmarca en tres barrios: Gibraltar I Sector, un sector de Acacias conocido como Sector Esperanza y un sector de Altos de Jalisco conocido como Bosques Sector I y II. La zona se desarrolló en una zona de ladera, sobre terrenos dejados por la explotación de antiguas canteras y en rellenos antrópicos. Los principales fenómenos de inestabilidad en el sector corresponden a caída de rocas en una zona de escarpe (zona A) y a deslizamientos poco profundos que se presentan en las zonas de alta pendiente donde se han realizado cortes para la construcción de viviendas (zona B).

Se realizó el levantamiento topográfico de la zona llevando la poligonal de amarre desde un mojón ubicado sobre la Avenida Boyacá en cercanías de la entrada a San Francisco. En total se instalaron tres mojones de concreto desde donde se realizó las diferentes poligonal para el levantamiento de detalles.

En total se ubicaron 3 mojones de concreto, 35 puntos auxiliares para radiación de puntos y 2322 puntos de detalles.

Se identificaron dos estaciones de pluviométricas, Estación Casablanca y Altos de Jalisco y una Estación Climatológica como es la Estación Doña Juana. El valor de precipitación obtenido en la zona luego de ajustes en la serie de datos de la Estación Altos de Jalisco fue de 607 mm.

El valor medio de la temperatura es de 12,1° C. Los meses más cálidos son noviembre, marzo, abril y mayo donde se alcanzan valores cercanos a los 13° C. El más frío es el de julio, con 11,2 ° C. La Humedad Relativa es casi constante. Muestra una variación máxima del 7,0 % dentro del año. Los meses más secos son enero y febrero con valores de 69,2 y 69,9%, respectivamente. El más húmedo es julio, donde el valor medio alcanza el 78,1%.

Las horas de brillo solar varían dentro del año y se aprecian diferencias marcadas hasta de un 60% en algunos meses, con respecto a la media mensual anual. Los meses de mayor presencia de sol son mayo, agosto y noviembre con valores que varían entre las 80 y 90 horas. El mes en que se observa menos el sol es enero con cerca de 30 horas de brillo, lo que representa aproximadamente un 35% con respecto al valor mayor.

Los valores de evaporación corresponden a los obtenidos de mediciones directas en tanque, en la estación Doña Juana. Los valores de las lecturas son muy homogéneos presentándose un 10% como máxima variación.

Los valores más altos de evaporación ocurren en los meses de abril, junio, octubre y diciembre, en los cuales no se presentan indicativos muy marcados al relacionarlos con

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

las temperaturas altas y los menores valores de humedad relativa. Las cifras para estos meses están cercanas a 72 mm, presentando su mayor valor en el mes de octubre con 75,3 mm. El total anual es de 811,5 mm.

Los caudales obtenidos en la zona para un periodo de retorno de 10, 25 y 100 es de 0.64 m<sup>3</sup>/s, 0.78 m<sup>3</sup>/s y 0.99 m<sup>3</sup>/s respectivamente.

Se ubica la zona de estudio en la Formación Regadera compuesto de arenisca con intercalaciones lenticulares de lodolita. La zona de estudio se ubica en el flanco occidental del Sinclinal de Usme.

Se identificaron rocas de tipo lodolítica y areniscas, suelos residuales de los mismos materiales, depósitos coluviales antiguos estables y rellenos antrópicos de bajo espesor.

Desde el punto de vista de uso del suelo se identificaron zonas urbanas consolidadas hacia el Barrio Gibraltar, zonas urbanas no consolidadas hacia la zona de Altos de Jalisco y algunas zonas en pastos.

Se ejecutaron en total 31 sondeos, 2 trincheras, 4 apiques y 3 líneas sísmicas. Esta información permitió definir el siguiente perfil general:

- ? Capa vegetal: espesor inferior a 0.50 m
- ? Rellenos de origen antrópico: ubicados especialmente en la zona B en Altos de Jalisco con espesores que varían en promedio entre 1.0 y 3.0 m de espesor,
- ? Depósito coluvial. Ubicado en algunos puntos de la zona B en Altos de Jalisco con espesores no mayores a 1 m
- ? Suelos residuales de arenisca y/o arcillolita. Se ubica a lo largo de la zona con espesores no mayores a 2.0 m.
- ? Roca de arenisca y lentes de arcillolita. Se ubica a lo largo de la zona, con presencia de escarpes y/o ubicado a una profundidad no mayor a 4 m medido desde la superficie del terreno.

Para el análisis de discontinuidades en roca se realizaron ensayos de bloque deslizante obteniendo valores de 40° en promedio con un mínimo de 23°.

Finalmente del análisis cinemático realizado en la zona A del estudio se identificaron 7 taludes característicos, los cuales fueron confrontados con las discontinuidades del macizo rocoso obteniendo los tres tipos de falla en macizo rocoso: planar, en cuña y por volcamiento.

Para los resultados de factores de seguridad se calcularon los valores de probabilidad esperada por evento. A nivel de roca el de mayor probabilidad de ocurrencia es el modelo planar. A nivel de suelo la zona más crítica se ubica hacia el costado sur oriente del talud de Altos de Jalisco.

Finalmente se calculó la distancia de viaje de los bloques de roca en la zona A y de desplazamiento de la masa del suelo en la Zona B. Con esta información y los análisis de probabilidad se consolidó el mapa de amenaza por FRM, obteniendo las tres zonas de amenaza alta, media y baja. La zona A, en el barrio Gibraltar se obtuvo amenaza alta en el escarpe y hasta la distancia de viaje en la entrada de la primera fila de viviendas se presenta amenaza media. En la zona B de Altos de Jalisco se presenta amenaza media

hacia una pequeña área al sur oriente, una transición de amenaza media y luego amenaza baja.

La zona de estudio del barrio Gibraltar (Gibraltar I y Bosques I y II) presenta un 70% de construcciones con una tipología entre mediana a buena calidad - menos de dos pisos con estructura en mampostería - las cuales presentan una buena respuesta ante la solicitudes dadas por los eventos amenazantes (caída de rocas y deslizamientos en suelos)

Con los resultados de las encuestas de viviendas se pudo estimar que aproximadamente el 58% de los predios en la zona de influencia del estudio presentan vulnerabilidad media ante la ocurrencia de fenómenos por remoción en masa, el 38% presenta vulnerabilidad baja ante esta misma solicitud, mientras que un 4% presenta vulnerabilidad alta.

Teniendo en cuenta la tipología de viviendas que predominan correspondiente a viviendas de autoconstrucción en mampostería se recomienda contemplar este sector de la ciudad para ser incluido en un programa de mejoramiento de vivienda con la asesoría técnica adecuada para este fin.

Finalmente en el análisis de riesgo se calcularon 106 predios en riesgo bajo, 38 predios en riesgo medio y 2 predios en riesgo alto ubicados en la parte superior del escarpe del barrio Gibraltar.

Para cada una de las zonas se diseñaron las siguientes obras:

- ? Zona A: Gibraltar. Para esta zona se realizaron los diseños de protección del talud con malla triple torsión con cespedón, cuneta de coronación y muros de gavión incluyendo por obra el reasentamiento de tres predios.
- ? Zona B en Altos de Jalisco (bosques I y II sector) Para esta zona se realizó el diseño de una escalera con cunetas de drenaje integradas a su estructura.

Existen además especialmente hacia el sector de Altos de Jalisco en la parte baja y media de la ladera la presencia de infiltración de aguas negras producto del desacople de tubería de conducción entre pozos (en la gran mayoría de los casos se encuentran colmatados). Es necesario que la EAAB realice la inspección de estas tuberías o instale el sistema adecuado para la zona.

La DPAE debe implementar la medida para contener la caída de bloques en la zona A en forma inmediata, teniendo en cuenta que el último evento ocurrido importante no data de menos de dos años. El reasentamiento de las viviendas ubicadas en la parte superior puede llevarse a cabo en un tiempo no menor a los seis meses.

Es importante que la EAAB diseñe o adopte las obras existentes de drenaje de la corona, drenando en forma adecuada hacia el pozo existente en la corona del talud.

## INDICE DE TABLAS

	<b>Pag.</b>
Tabla 1-1 Fotografías Aéreas recopiladas .....	30
Tabla 1-2 Planchas de loteo y manzaneo de la zona.....	31
Tabla 1-3 Información SIRE.....	31
Tabla 2-1 Listado de coordenadas de los puntos de amarre.....	34
Tabla 2 Descripción de la estación GTS-212 .....	34
Tabla 2-3 Puntos de la poligonal primaria, secundaria y auxiliar.....	36
Tabla 2-4 Mojones materializados .....	38
Tabla 3-1 Estaciones de análisis .....	42
Tabla 3-2 Precipitación media mensual multianual – series históricas (mm).....	45
Tabla 3-3 Precipitación media mensual multianual (mm) series proyectada utilizando estación cercana 1976-2004.....	46
Tabla 3-4 Valores medios mensuales multianuales de variables climatológicas .....	48
Tabla 3-5 Valores de intensidad para diferentes periodos de retorno .....	51
Tabla 4-1 Estimativos de campo para la resistencia uniaxial compresiva de la roca intacta ( $s_{ci}$ ). Adaptada de Marinós & Hoek, 2000. ....	72
Tabla 4-2 Valores de la constante $m_i$ para roca intacta, por grupos de roca. Adaptada de Marinós & Hoek, 2000 .....	73
Tabla 4-3 Valores de $Is$ , $s_{ci}$ , $m_i$ y GSI obtenidos a partir de las tablas de Marinós & Hoek para los tipos de roca presentes en la zona de estudio .....	76
Tabla 4-4 Fotografías aéreas de análisis .....	80
Tabla 6-1 Profundidades de sondeos .....	93
Tabla 6-2 Profundidades y longitudes de Apiques y trincheras.....	94
Tabla 6-3 Velocidades y espesores de las capas obtenidos en la exploración geofísica .98	
Tabla 6-4 Cantidades de ensayos de laboratorio realizados.....	99
Tabla 6-5 Parámetros en suelo.....	105
Tabla 6-6 Compresión en roca .....	106
Tabla 6-7 Carga puntual.....	106
Tabla 6-8 Resumen de datos de bloque deslizante .....	108
Tabla 6-9 Corte directo en discontinuidad de roca de arenisca.....	108
Tabla 6-10 Análisis de muestra de agua A-1 .....	109

Tabla 6-11 Análisis de muestra de agua A-2 .....	109
Tabla 6-12 Ensayo de permeabilidad en campo .....	111
Tabla 6-13 Familia de discontinuidades.....	112
Tabla 6-14 Datos de intersecciones.....	112
Tabla 6-15 Taludes de estudio .....	113
Tabla 6-16 Resumen de taludes y tipos de falla posibles .....	114
Tabla 7-1 Valores extremos de las variables aleatorias .....	120
Tabla 7-2 Factores de seguridad por cuña .....	122
Tabla 7-3 Factor de seguridad por falla planar.....	123
Tabla 7-4 Factores de seguridad por falla por volcamiento.....	124
Tabla 7-5 Factores de seguridad para Mecanismo de Falla rotacional .....	125
Tabla 7-6. Probabilidades de agentes exógenos .....	127
Tabla 7-7 Probabilidad de falla en suelo.....	128
Tabla 7-8 Probabilidad de falla en roca para cuña y planar .....	129
Tabla 7-9 Datos de variables. Finlay et all (1999) <sup>8</sup> .....	134
Tabla 8-1 Tipificación de construcciones .....	143
Tabla 8-2 Intensidades de daño según el DRM. ....	144
Tabla 8-3 Matriz de daño (Leone, 1996).....	144
Tabla 8-4 Valores de alfa.....	145
Tabla 8-5 Valor cualitativo y cuantitativo de la Vulnerabilidad.....	145
Tabla 9-1 Matriz de valoración del riesgo (perdida esperadas %)	146
Tabla 10-1 Estimativo de costos de alternativas .....	151
Tabla 10-2 Probabilidades de falla total.....	156
Tabla 11-1 Reuniones Con la Comunidad .....	160
Tabla 11-2 Servicios públicos por viviendas .....	164
Tabla 12-1 Caudales para las sub cuencas empleando el método racional.....	170
Tabla 12-2 Dimensionamiento de Cunetas .....	171
Tabla 12-3 Lista de precios unitarios .....	171
Tabla 12-4 Presupuesto .....	172
Tabla 12-5 Cronograma de proyecto .....	175

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
Figura 1-1 Localización general.....	27
Figura 2-1 Localización de poligonales para el levantamiento topográfico.....	37
Figura 2-2 Nube de puntos .....	40
Figura 3-1 Localización de estaciones.....	43
Figura 3-2 Patrón de distribución de precipitación media (Ingeominas 2002) .....	44
Figura 3-3 Distribución intraanual de precipitación .....	47
Figura 3-4 Temperatura del aire .....	48
Figura 3-5 Variación de humedad relativa .....	49
Figura 3-6 Variación brillo solar .....	49
Figura 3-7 Variación evaporación .....	50
Figura 4-1 Marco geológico Regional del área de estudio (UPES 1999).....	56
Figura 4-2 Proyección de polos de discontinuidades medidas.....	64
Figura 4-3 Concentración de polos.....	64
Figura 4-4 Rangos típicos de GSI para areniscas (Tomado de Marinis & Hoek, 2000). El círculo verde muestra la estimación para areniscas fracturadas y el amarillo para las zonas de brecha tectónica en areniscas.....	74
Figura 4-5 Rangos típicos de GSI para limolitas, arcillolitas y lutitas (Tomado de Marinis & Hoek, 2000). El círculo rosado muestra lodolitas poco alteradas y el rojo suelos residuales.....	75
Figura 4-6 Parámetros de resistencia de areniscas cuarzosas poco alteradas.....	77
Figura 4-7 Parámetros de resistencia de lodolitas alteradas.....	78
Figura 4-8 Parámetros de resistencia de suelos residuales arcillosos (Tipo IIA a IC) .....	79
Figura 5-1 Cobertura vegetal y usos del suelo.....	91
Figura 6-1 Localización de líneas sísmicas.....	97
Figura 6-2 Resistencia a partir de SPT: Rellenos y coluvión Qra.....	100
Figura 6-3 Resistencia a partir de SPT: suelos residuales de arenisca TERare.....	101
Figura 6-4 Resistencia a partir de SPT: roca de arenisca descompuesta .....	102
Figura 6-5 Resistencia a partir de SPT: suelos residuales de lodolita TERlod .....	103
Figura 6-6 Resistencia a partir de SPT: brecha de falla Tpb.....	103
Figura 6-7 gráfico de plasticidad – materiales de análisis .....	104



Figura 6-8 Ensayo de permeabilidad .....	111
Figura 6-9 Localización de taludes .....	113
Figura 7-1 Parámetros geomecánicos del suelo .....	119
Figura 7-2 Tendencia de valores de $c$ y $\phi$ en discontinuidad.....	120
Figura 7-3 Modelo general de análisis – sección 7.2 .....	125
Figura 7-4 Sección 1- 1 geotécnica –Generación de caída de bloques (0.50 m de diámetro) .....	131
Figura 7-5 Sección 2-2 geotécnica –Generación de caída de bloques (0.80 m de diámetro) .....	131
Figura 7-6 Análisis de probabilidad. Talud 1-1 .....	132
Figura 7-7 Análisis de probabilidad Talud 2.2 .....	133
Figura 7-8 Dimensiones para el cálculo de la distancia de viaje de deslizamientos .....	135
Figura 8.1 Tipo de construcción.....	139
Figura 8.2 Habitantes en la zona de estudio .....	140
Figura 8.3 Ingreso mensual .....	140
Figura 8.4 Valor del inmueble .....	141
Figura 9-1 Pérdida esperada (%) – viviendas .....	147
Figura 10-1- Esquema de perdida de soporte de la malla triple torsión.....	152
Figura 10-2 Amenaza con obras.....	153
Figura 10-3 Árbol de decisión. Alternativas de mitigación.....	157
Figura 11-1 Tipo de construcción según antigüedad de la vivienda.....	164

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>15</b>
<b>SIMBOLOS Y ABREVIATURAS .....</b>	<b>17</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>20</b>
<b>OBJETIVO .....</b>	<b>21</b>
<b>ALCANCE DEL ESTUDIO .....</b>	<b>22</b>
<b>1 GENERALIDADES.....</b>	<b>23</b>
1.1 ACTIVIDADES REALIZADAS .....	23
1.2 LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO .....	26
1.2.1 ZONA A .....	28
1.2.2 LA ZONA B .....	29
1.3 RECOPIACION DE INFORMACION .....	30
1.3.1 INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI - IGAC .....	30
1.3.2 EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ - EAAB.....	30
1.3.3 CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL – CAR .....	30
1.3.4 DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACIÓN DISTRITAL - DAPD .....	30
1.3.5 DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE CATASTRO DISTRITAL - DACD.....	31
1.3.6 DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS - DPAE .....	31
1.4 OTROS DOCUMENTOS.....	32
<b>2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO .....</b>	<b>33</b>
2.1 METODO DE TRABAJO .....	33
2.2 ESCRIPCIÓN DE LA POLIGONAL DE AMARRE.....	33
2.3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL ÁREA .....	34
2.3.1 DESCRIPCIÓN DE LA POLIGONAL PRINCIPAL Y SECUNDARIA.....	35
2.3.2 MOJONAMIENTO DE REFERENCIA .....	38
2.4 RESUMEN DEL CAPÍTULO .....	38
<b>3 CLIMA, HIDROLOGIA, HIDRAULICA Y SISMOLOGÍA .....</b>	<b>41</b>
3.1 CLIMA, HIDROLOGÍA, HIDRAULICA .....	41
3.2 CLIMA .....	41
3.2.1 INFORMACIÓN DISPONIBLE.....	41
3.2.2 PRECIPITACIÓN MEDIA.....	45
3.2.3 TEMPERATURA DEL AIRE.....	47
3.2.4 HUMEDAD RELATIVA.....	48

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

3.2.5	BRILLO SOLAR .....	49
3.2.6	EVAPORACIÓN .....	50
<b>3.3</b>	<b>HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA .....</b>	<b>50</b>
<b>3.4</b>	<b>SISMOLOGÍA .....</b>	<b>52</b>
<b>3.5</b>	<b>RESUMEN DEL CAPÍTULO .....</b>	<b>53</b>
<b>4</b>	<b><u>ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO .....</u></b>	<b><u>55</u></b>
<b>4.1</b>	<b>ASPECTOS DE GEOLOGÍA REGIONAL .....</b>	<b>55</b>
<b>4.2</b>	<b>ESTRATIGRAFÍA .....</b>	<b>57</b>
4.2.1	FORMACIÓN REGADERA (KSG).....	57
<b>4.3</b>	<b>GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....</b>	<b>58</b>
<b>4.4</b>	<b>GEOLOGÍA LOCAL .....</b>	<b>58</b>
4.4.1	UNIDADES ROCA/SUELO .....	59
4.4.2	ANÁLISIS ESTRUCTURAL .....	63
<b>4.5</b>	<b>GEOMORFOLOGÍA .....</b>	<b>65</b>
4.5.1	MORFOESTRUCTURAL .....	65
4.5.2	MORFODINÁMICA .....	68
<b>4.6</b>	<b>PARÁMETROS DE RESISTENCIA CON METODOLOGÍA GSI .....</b>	<b>70</b>
4.6.1	DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO .....	71
4.6.2	PARÁMETROS DE ENTRADA.....	71
<b>4.7</b>	<b>OBTENCIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA GSI.....</b>	<b>76</b>
<b>4.8</b>	<b>TALUD DE 20 METROS DE ALTURA EN ARENISCAS LÍTICAS EN CAPAS GRUESAS.....</b>	<b>76</b>
<b>4.9</b>	<b>TALUD DE 20 METROS DE ALTURA EN LODOLITAS ALTERADAS .....</b>	<b>77</b>
4.9.1	TALUD DE 20 METROS DE ALTURA EN LODOLITAS ALTERADAS .....	78
<b>4.10</b>	<b>HIDROGEOLOGIA .....</b>	<b>79</b>
<b>4.11</b>	<b>ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE PROCESOS DENUDACIONALES .....</b>	<b>80</b>
4.11.1	AÑO 1951. C-604 .....	80
4.11.2	AÑO 1956. C-772 .....	81
4.11.3	AÑO 1963. R-590 .....	81
4.11.4	AÑO 1977. C-1732 .....	81
4.11.5	AÑO 1999. R-1131 .....	81
<b>4.12</b>	<b>RESUMEN DEL CAPÍTULO .....</b>	<b>87</b>
<b>5</b>	<b><u>COBERTURA VEGETAL Y USOS DEL SUELO .....</u></b>	<b><u>88</u></b>
<b>5.1</b>	<b>CATEGORIAS DE CLASIFICACIÓN.....</b>	<b>88</b>
5.1.1	ÁREAS URBANAS CONSOLIDADAS (ZUP).....	88
5.1.2	AREAS URBANAS SIN PAVIMENTAR (ZUSP).....	88
5.1.3	PASTOS O VEGETACIÓN HERBÁCEA (PN).....	89
5.1.4	ERIALES (E) .....	89
<b>5.2</b>	<b>CONDICIONES DE LA URBANIZACIÓN .....</b>	<b>89</b>
<b>6</b>	<b><u>CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA.....</u></b>	<b><u>92</u></b>
<b>6.1</b>	<b>EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO .....</b>	<b>92</b>

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

6.1.1	SONDEOS MECÁNICOS, APIQUES Y TRINCHERAS .....	92
6.1.2	PRUEBAS DE CAMPO .....	95
6.1.3	LÍNEAS GEOSISMICAS.....	95
<b>6.2</b>	<b>ENSAYOS DE LABORATORIO.....</b>	<b>99</b>
<b>6.3</b>	<b>CARACTERIZACION DE MATERIALES.....</b>	<b>99</b>
6.3.1	MATERIALES .....	99
6.3.2	RESULTADOS DE ENSAYOS EN MATERIALES .....	104
<b>6.4</b>	<b>CONDICIONES DE LA ROCA- ARENISCA.....</b>	<b>105</b>
<b>6.5</b>	<b>DISCONTINUIDADES .....</b>	<b>107</b>
<b>6.6</b>	<b>CONDICIONES DE AGUA.....</b>	<b>108</b>
<b>6.7</b>	<b>ANÁLISIS CINEMÁTICO PARA TALUDES EN ROCA.....</b>	<b>111</b>
6.7.1	FAMILIA DE DISCONTINUIDADES.....	112
6.7.2	TALUDES DE ESTUDIO.....	113
6.7.3	POSIBILIDAD CINEMÁTICA.....	114
<b>6.8</b>	<b>RESUMEN DEL CAPÍTULO .....</b>	<b>114</b>
<b><u>7</u></b>	<b><u>EVALUACIÓN DE AMENAZA POR FRM.....</u></b>	<b><u>116</u></b>
7.1	INTRODUCCIÓN .....	116
7.2	INFLUENCIA DE LAS LLUVIAS .....	117
7.3	VARIABLES ALEATORIAS: LÍMITES.....	118
7.4	ANÁLISIS DE FACTORES DE SEGURIDAD.....	120
7.4.1	TALUDES EN ROCA .....	121
7.4.2	TALUDES EN SUELO.....	124
7.5	PROBABILIDAD DE FALLA TOTAL .....	125
7.6	DISTANCIA DE VIAJE.....	129
7.6.1	TALUDES EN ROCA .....	129
7.6.2	TALUDES EN SUELO.....	133
7.7	ZONIFICACIÓN DE AMENAZA.....	135
7.8	RESUMEN DEL CAPÍTULO .....	135
<b><u>8</u></b>	<b><u>ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD .....</u></b>	<b><u>137</u></b>
8.1	INTRODUCCIÓN .....	137
8.1.1	TIPOS DE VULNERABILIDAD .....	137
8.1.2	LÍNEA BASE PARA EL ANÁLISIS.....	138
8.2	VULNERABILIDAD SOCIAL .....	138
8.3	VULNERABILIDAD FÍSICA.....	141
	CALIFICACIÓN DE LOS DAÑOS .....	144
<b><u>9</u></b>	<b><u>ANÁLISIS DE RIESGO.....</u></b>	<b><u>146</u></b>
9.1	ANÁLISIS .....	146
<b><u>10</u></b>	<b><u>ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN .....</u></b>	<b><u>149</u></b>

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

<b>10.1</b>	<b>ALTERNATIVAS PLANTEADAS .....</b>	<b>149</b>
<b>10.2</b>	<b>ANÁLISIS DE AMENAZA CON OBRAS .....</b>	<b>151</b>
<b>10.3</b>	<b>MODELO .....</b>	<b>154</b>
<b>10.4</b>	<b>PROBABILIDAD DE FALLA .....</b>	<b>155</b>
<b>10.5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>156</b>
<b>11</b>	<b><u>PLAN DE GESTIÓN SOCIAL .....</u></b>	<b><u>158</u></b>
<b>11.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>158</b>
<b>11.2</b>	<b>FASES DEL PLAN DE GESTIÓN SOCIAL .....</b>	<b>159</b>
11.2.1	SOCIALIZACIÓN DEL PROYECTO DE CONSULTORÍA.....	159
11.2.2	REUNIONES DESARROLLADAS.....	160
11.2.3	FASE II. EVALUACIÓN DE CONDICIONES SOCIALES Y ECONÓMICAS DE LA COMUNIDAD. 163	
11.2.4	FASE III. PLAN DE GESTIÓN SOCIAL.....	167
<b>12</b>	<b><u>OBRAS DE MITIGACIÓN.....</u></b>	<b><u>169</u></b>
<b>12.1</b>	<b>CONSIDERACIONES DE DISEÑO.....</b>	<b>169</b>
<b>12.2</b>	<b>DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONTROL DE ESCORRENTIA. 169</b>	
<b>12.3</b>	<b>PRECIOS UNITARIOS .....</b>	<b>171</b>
<b>12.4</b>	<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS .....</b>	<b>172</b>
<b>12.5</b>	<b>CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO.....</b>	<b>172</b>
<b>12.6</b>	<b>ESTUDIO DE VIABILIDAD DE OBRAS .....</b>	<b>172</b>
<b>12.7</b>	<b>RECOMENDACIONES DEL USOS DEL SUELO.....</b>	<b>173</b>
<b>12.8</b>	<b>PRIORIDADES DE EJECUCIÓN Y SECUENCIA CONSTRUCTIVA.....</b>	<b>173</b>
<b>12.9</b>	<b>RECOMENDACIONES DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS.....</b>	<b>174</b>
<b>12.10</b>	<b>CRONOGRAMA DE PROYECTO.....</b>	<b>174</b>
<b>12.11</b>	<b>CONDICIONES DE PROYECTO .....</b>	<b>175</b>
<b>12.12</b>	<b>MANUAL DE MANTENIMIENTO.....</b>	<b>176</b>
<b>13</b>	<b><u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</u></b>	<b><u>177</u></b>
<b>14</b>	<b><u>LIMITACIONES .....</u></b>	<b><u>179</u></b>
<b>15</b>	<b><u>BIBLIOGRAFÍA.....</u></b>	<b><u>180</u></b>

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

### **LITADO DE ANEXOS**

ANEXO 2-1 CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN EQUIPOS  
ANEXO 2-2 CARTERA DE PUNTOS DE TOPOGRAFÍA  
ANEXO 4-1 DATOS DE DISCONTINUIDADES  
ANEXO 4-2 ANALISIS MINERALÓGICO  
ANEXO 6-1 REGISTROS DE EXPLORACION  
ANEXO 6-2 ENSAYOS DE LABORATORIO  
ANEXO 6-3 NORMALIZACION DEL VALOR DE N  
ANEXO 6-4 ANÁLISIS CINEMÁTICO  
ANEXO 6-5 LÍNEAS SÍSMICAS  
ANEXO 8-1 FORMATO DE INVENTARIO DE VIVIENDAS  
ANEXO 8-2 INVENTARIO DE CAMPO DE VIVIENDAS  
ANEXO 11-1 LISTADO DE ASISTENTES  
ANEXO 12-1 MEMORIAS DE CÁLCULO CAUDALES  
ANEXO 12-2 MEMORIAS DE CALCULO DIMENSIONAMIENTO CUNETAS  
ANEXO 12-3 MEMORIAS DE CALCULO VARIOS  
ANEXO 12-4 PRECIOS UNITARIOS  
ANEXO 12-5 PRESUPUESTO  
ANEXO 12-6 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

### **LITADO DE PLANOS**

PLANO 01. TOPOGRAFÍA.  
PLANO 02. GEOLOGÍA.  
PLANO 03. GEOMORFOLOGÍA.  
PLANO 04. SECCIONES ANÁLISIS.  
PLANO 05. AMENAZA.  
PLANO 06. TIPOLOGÍA DE VIVIENDAS.  
PLANO 07. VULNERABILIDAD.  
PLANO 08. RIESGO.  
PLANO 09. OBRAS 1.  
PLANO 10. OBRAS 2.  
PLANO 11. OBRAS 3.

## 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 hidricas:** 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.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

**Movimientos en masa:** Caída de las rocas, una vez han sido fragmentadas (meteorización), 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.



## SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

**kPa:** kilo Pascal.

**m:** Metros.

**Ha:** Hectarea

**w<sub>N</sub> %:** Humedad natural.

**? T/m<sup>3</sup>:** peso unitario.

**IL:** Índice de Liquidez

**N'<sub>i</sub>:** Número de golpes corregido para un esfuerzo de confinamiento de 1 kg/cm<sup>2</sup>.

**C<sub>N</sub>:** Factor de ajuste para tener en cuenta el nivel de confinamiento.

**?<sub>1</sub>:** Factor de corrección por caída del martillo.

**?<sub>2</sub>:** Factor de corrección por longitud del sistema de varillas.

**?<sub>3</sub>:** Factor de corrección por presencia de revestimiento interno.

**?<sub>4</sub>:** Factor de corrección por diámetro de la perforación.

**?<sub>eq</sub>:** ángulo de fricción equivalente.

**c':** Cohesión.

**?':** ángulo de fricción.

**FS:** Factor de seguridad

**RQD:** Rock Quality Designation.

**SPT:** Ensayos de penetración estándar

**P<sub>x16</sub>:** valor medio de la precipitación en la estación de período corto, 16 años

**P<sub>116</sub>:** precipitación media en la estación de período largo, 16 años en este caso

**P<sub>1</sub>:** precipitación media del período largo, en este caso 29 años

**° C:** grados centígrados.

**m.s.n.m:** metros sobre el nivel del mar.

**mm:** milímetros.

**t:** Tiempo de concentración (min.)

**A:** Área de drenaje (m<sup>2</sup>).

**H:** Caída promedio (metros por cien metros) desde la parte más alta del área a drenar.

**L:** Distancia en metros sobre la línea de flujo entre el punto de diseño y el de drenaje.

**Tc:** Tiempo de concentración (min.)

**C:** Coeficiente de escorrentía (adimensional).

**S:** Pendiente media del canal principal (m/m\*100%).

**L:** longitud del Canal Principal.

**I:** intensidad.

**T<sub>R</sub> ( Años):** periodo de retorno.

**Q (m<sup>3</sup>/s):** Caudal.

**Am:** Aceleración máxima esperada.

**ci:** resistencia compresiva uniaxial.

**P:** Planar.

**C:** Cuña.

**V:** volcamiento

$p^{\uparrow}D^{\uparrow}$ : Es la probabilidad de ocurrencia de un FRM.

$P^{\uparrow}D/LS^{\uparrow}$ : Es la probabilidad condicional de que tenga lugar el FRM dado que haya lluvia y sismo.

$p^{\uparrow}LS^{\uparrow}$ : Es la probabilidad de que se presenten la lluvia y el sismo simultáneamente.

$P^{\uparrow}D/\overline{LS}^{\uparrow}$ : Es la probabilidad condicional de que se genere el FRM dado que haya lluvia y no se presente sismo.

$p^{\uparrow}\overline{LS}^{\uparrow}$ : Es la probabilidad de que haya lluvia y no se produzca sismo.

$P^{\uparrow}D/\overline{LS}^{\uparrow}$ : Es la probabilidad condicional de que ocurra el FRM dado que se presente el sismo y que no haya lluvia.

$p^{\uparrow}\overline{LS}^{\uparrow}$ : Es la probabilidad de que se presente sismo, pero no lluvia.

$P^{\uparrow}D/\overline{LS}^{\uparrow}$ : Es la probabilidad condicional de ocurra el FRM dado que no haya lluvia ni sismo.

$p^{\uparrow}\overline{LS}^{\uparrow}$ : Es la probabilidad de que no se presenten ni el sismo ni la lluvia.

**P\*:** probabilidad de ocurrencia del evento crítico.

**P:** probabilidad de no ocurrencia del evento crítico.

**T:** período de retorno.

**n:** período de análisis.

**X:** Desplazamiento.

**V:** Velocidad final.

**Vo:** Velocidad inicial.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

**a:** aceleración.

**Vi:** Valor inicial del bien (antes del evento).

**Vf:** Valor final del bien (después del evento).

**PE:** porcentaje de pérdida esperada en la ventana de tiempo (escenario actual).

**d:** porcentaje de daño asociado a la resistencia y exposición del elemento.

**p:** probabilidad asociada al FRM potencialmente destructivo

**PEV:** Pérdida esperada de una vivienda.

**Vs:** Valor de las vivienda en pesos (millones).

**R:** riesgo asumido

**Pf:** amenaza o probabilidad de falla de un talud.

**Cf:** consecuencia o costo de falla.

**BE:** beneficio obtenido.

**RA:** riesgo Asumido.

**RACP:** riesgo asumido alternativa convivir con el problema.

## INTRODUCCION

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. 485 de 2005 al CONSORCIO IGR conformado por EDGAR EDUARDO RODRÍGUEZ GRANADOS - INGENIERÍA Y GEORIESGOS LTDA, la elaboración del “Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.” contrato iniciado a partir del 10 de noviembre de 2005 con una duración de tres meses y finalizando el 10 de febrero de 2005.

De acuerdo con el “Estudio de inestabilidad del terreno para diferentes localidades de Santafé de Bogotá”, realizado por Ingeocim Ltda. Ltda (1998) para el FOPAE<sup>1</sup>, donde se obtuvo el mapa de amenaza por fenómenos de remoción en masa a escala 1:10.000, el área de estudio se encuentra en una zona de amenaza media y alta por fenómenos de remoción en masa. Es necesario actualizar esta información a una escala más detallada y llevarla hasta el nivel de evaluación del riesgo, porque se han presentado en la zona problemas de inestabilidad, asociados con caídas de rocas y deslizamientos de tierra que ponen en peligro la integridad de las personas y viviendas del sector

Se presenta a continuación el Informe Final con base en los resultados obtenidos con las visitas de reconocimiento, el diagnóstico conceptual del equipo multidisciplinario a cargo del proyecto, la topografía del terreno, la exploración del subsuelo, la geología y geomorfología de la zona, los ensayos de laboratorio, el inventario de viviendas, la amenaza, vulnerabilidad y riesgo, así como el diseño de obras de mitigación.

---

<sup>1</sup> 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.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

## **OBJETIVO**

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, la evaluación de alternativas de mitigación y los diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un el sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar, en la ciudad de Bogotá, D.C

## **ALCANCE DEL ESTUDIO**

El alcance del estudio fue el siguiente:

- ? Recopilación de información primaria y secundaria.
- ? Levantamiento topográfico detallado de la zona de estudio a escala 1:500, con curvas de nivel cada 0.50 m.
- ? Análisis de características climáticas, hidrológicas, hidrogeológicas, hidráulicas y sismológicas.
- ? Exploración del subsuelo por medio de métodos directos e indirectos; perforaciones, apiques, trincheras, línea sísmica y ejecución de ensayos de laboratorio que permitieron 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 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.
- ? Plan de Gestión Social para obras de mitigación
- ? Presupuesto detallado y especificaciones.

## 1 GENERALIDADES

### 1.1 ACTIVIDADES REALIZADAS

La consultoría realizó las siguientes actividades:

? **Revisión y análisis de información secundaria**, consistente en la recopilación y evaluación de la información disponible de la zona de estudio, como son: informes previos sobre los problemas de estabilidad identificados, estudios regionales de zonificación de amenazas, de zonificación geotécnica y microzonificación sísmica, información geológica, geomorfológica e hidrológica, fotografías aéreas, mapas temáticos y en general toda la información que se consideró necesaria para cumplir con el objeto del estudio. Esta información sirvió para determinar la situación histórica de la zona, la influencia del factor antrópico y las consecuencias de los fenómenos de remoción en masa existentes en la zona. Esta información se presenta en el Capítulo 1.

? **Levantamiento topográfico**. La información topográfica de la zona (planimétrica y altimétrica) se levantó a escala 1:500, con curvas de nivel cada 0.50 m., incluyendo localización de viviendas, vías, redes de servicios públicos, cajas de alcantarillado, tanques, corrientes de agua, accidentes topográficos y en general, todo detalle de interés para el presente estudio.

En el levantamiento topográfico se incluyó la localización de los sitios de exploración geotécnica, las estaciones de levantamiento geológico, las estaciones de levantamiento de discontinuidades y en general los sitios donde se realizaron inspecciones técnicas de interés para el estudio. Esta información es la base de trabajo de los diferentes especialistas del proyecto. Esta información se presenta en el Capítulo 2.

? **Análisis de características climáticas, hidrológicas, hidrogeológicas, hidráulicas y sísmológicas**. En el presente estudio se revisó las condiciones de lluvia, de clima como temperatura, aire, además de evaluar los caudales generados y los periodos de retorno asociados a la precipitación para el diseño hidráulico. Se identificó los parámetros sísmicos de la zona de estudio. Esta información permite identificar las condiciones de precipitación y sus periodos de retorno asociados, con el fin de involucrarlo en el modelo de amenaza. Esta información se presenta en el capítulo 3.

? **Evaluación geológica y geomorfológica**. En el presente estudio se integró la geología regional, local y de detalle, teniendo en cuenta aspectos de génesis, litología, estratigrafía y geología estructural, unidades de superficie, perfiles de meteorización y procesos de erosión. El levantamiento geológico de detalle se realizó a escala 1:250 para representarse finalmente a escala 1:500, y comprendió las actividades de reconocimiento de campo, levantamiento de columnas estratigráficas y levantamiento de datos estructurales (rumbos y buzamientos de las capas y estructuras presentes) en número suficiente para tener la información representativa requerida en los análisis de estabilidad del macizo rocoso. La evaluación geológica se orientó principalmente hacia la obtención de un modelo geológico y estratigráfico, el cual permitió optimizar la exploración geotécnica e interpretación de las condiciones regionales y locales de estabilidad. Esta información se presenta en el Capítulo 4.

? **Análisis de la cobertura y los usos del suelo.** El estudio se realizó considerando la influencia de la cobertura y el uso del suelo en las condiciones de estabilidad actuales y futuras. Esta información se presenta en el Capítulo 5.

? **Evaluación geotécnica.** Esta evaluación comprendió las siguientes etapas:

*Investigación del subsuelo.* Con base en la información geológica y geomorfológica y las condiciones generales observadas durante el reconocimiento geotécnico detallado, se definió el programa de exploración del subsuelo con el fin de identificar la distribución y las características de las unidades superficiales, los materiales de transición y las formaciones rocosas presentes en el área y así obtener muestras representativas para la caracterización físico-mecánica de tales materiales.

*Ensayos de laboratorio.* De acuerdo con los resultados de la exploración del subsuelo y de las características de las muestras obtenidas, se realizaron una serie de ensayos de laboratorio con el fin de realizar una adecuada caracterización geomecánica de los materiales presentes en el área.

*Delimitación de zonas de comportamiento geotécnico homogéneo a partir de la integración de la información geológica y geomorfológica.* De la exploración del subsuelo y de resultados de ensayos de laboratorio, se delimitó las zonas de condiciones geotécnicas similares, considerando secciones de análisis o de trabajo para la estabilidad, evaluando los mecanismos potenciales de inestabilidad, composición y distribución estratigráfica de los materiales y su relación con las condiciones geológicas y geomorfológicas, identificación de comportamientos típicos ante diferentes sollicitaciones, evaluación de parámetros representativos de resistencia, compresibilidad y relaciones esfuerzo-deformación, etc.

Esta información se presenta en el Capítulo 6 de este informe final.

? **Zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa.** En los análisis de amenaza se consideraron todas las zonas de posible influencia de los fenómenos de remoción en masa, considerando el área donde se produzca el fenómeno y las áreas definidas por las posibles trayectorias y distancias de viaje de los materiales potencialmente inestables.

Se realizaron los análisis de estabilidad en slide para condiciones de suelo y condiciones del macizo rocoso, evaluando las diferentes condiciones probables con sismo y sin sismo y con agua o sin agua, con el fin de evaluar la sensibilidad de las variables que intervienen. Además se realizó el análisis de estabilidad para la situación actual y para las que se tendría con la implementación de las medidas seleccionadas para mitigar el riesgo.

La evaluación de la amenaza se realizó considerando dos escenarios posibles, uno en las condiciones actuales y otro en las condiciones que se presenten después de la ejecución de las medidas de mitigación propuestas.

Esta información se presenta en el Capítulo 7.

? **Zonificación de vulnerabilidad.** Se cuantificaron algunas variables sociales de la zona de estudio. Se determinó la vulnerabilidad física de los predios que se encuentren dentro del área de estudio, con una representación gráfica a una escala 1:500, frente a la combinación de condiciones que generen la máxima amenaza. Lo



anterior considerando el grado de exposición, predisposición y resistencia de los elementos ante los fenómenos amenazantes.

Para la evaluación de la vulnerabilidad física se realizó el inventario de viviendas y la determinación de tipologías de construcción (materiales, sistema estructural, daños, funcionalidad, cobertura de servicios públicos, etc).

Esta información se presenta en el Capítulo 8.

- ? **Zonificación del riesgo.** El riesgo se establece como la estimación de los efectos o consecuencias físicas, sociales y económicas en términos de pérdidas (vidas humanas, lesiones personales, daños en propiedades y medios productivos), debido al fenómeno amenazante con una representación gráfica a una escala 1:500, que corresponde en este caso a un nivel de detalle de unidad predial. Esta zonificación se determinó considerando el grado de amenaza y su influencia espacial, así como el grado de vulnerabilidad de los elementos expuestos a la amenaza.

Esta información se presenta en el Capítulo 9.

- ? **Análisis de alternativas para mitigación del riesgo y diseños de las medidas más favorables.** En el presente estudio se presentaron diferentes alternativas para la mitigación del riesgo por fenómenos de inestabilidad en el área de estudio, de las cuales se seleccionó la alternativa más favorable en términos técnicos, económicos, sociales, urbanísticos, ambientales y de viabilidad para su ejecución. Esta información se presenta en el Capítulo 10.

- ? **Diseños detallados de obras.** Se realizaron los diseños de las obras sugeridas, para los cuales se incluyeron memorias de cálculo, planos, cálculo de cantidades de obra, precios unitarios, presupuesto de obra, especificaciones técnicas, recomendaciones sobre los procesos constructivos, cronograma de ejecución y manual de mantenimiento. Esta información se presenta en el Capítulo 12.

Adicionalmente, se contempló la formulación de los lineamientos que deberá tener en cuenta el contratista de construcción para garantizar durante todas las etapas la seguridad para los trabajadores de la obra y para los habitantes e infraestructura del sector, como son recomendaciones generales para el manejo de la obra (seguridad industrial, higiene y reglamento interno de trabajo), etc.

Con el fin de vincular a las comunidades de los sectores donde se adelanten estudios y obras, mediante espacios que permitan dar a conocer sobre las obras de mitigación propuestas en el desarrollo de la consultoría de tener en cuenta las observaciones y opiniones de la comunidad respecto a tales obras propuestas, así como espacios de participación durante la construcción, se incluyó un Plan de Gestión Social el cual contempló los siguientes aspectos:

- ? Determinación de los espacios y participantes de la comunidad para acompañar en la etapa de construcción de las obras.
- ? Mecanismos de interacción permanente con la comunidad y de divulgación sobre las acciones que se adelantarán.
- ? Cronogramas de trabajo con las comunidades.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

- ? Mecanismos para la solución de posibles conflictos que surjan a raíz de las obras propuestas y en ejecución.
- ? Manual de mantenimiento de la obra de mitigación propuesta, incluyendo aspectos de capacitación a la comunidad para adelantar estas actividades.

Este informe de Plan de Gestión Social se presenta en el Capítulo 11.

## **1.2 LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO**

El área de estudio es de forma irregular, de aproximadamente 2.7Ha. Está limitada por el noroccidente por la transversal 19 y por la carrera 18Z, por el nororiente por la calle 61B Sur, por el oriente por la transversal 18R, por el suroriente por la carrera 18P Bis B y por el suroccidente por la calle 62 A sur, como se muestra en la Figura 1.1:

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

### **Figura 1-1 Localizacion general**

La zona se reconoce como Gibraltar I Sector, pero en realidad son tres barrios dentro del área de estudio. La entrada al barrio se efectúa desde la Avenida Boyacá por la entrada a San Francisco desplazándose 700 m por la parte superior en sentido suroeste. Hacia la parte superior del talud se ubica un Tanque de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB conocido como Altos de Jalisco.

De acuerdo a las visitas de campo desarrolladas con los especialistas se identificaron dos zonas por sus condiciones de inestabilidad:

### 1.2.1 Zona A

Ubicada directamente sobre el barrio “*Gibraltar I Sector*”, esta zona presenta un antiguo frente de explotación de cantera donde se ubican viviendas hacia la corona y parte baja del escarpe; adicionalmente, algunas viviendas localizadas al suroeste se encuentran sobre la capa vegetal (no mayor a 1,0 m) y en el horizonte de suelo residual (en algunas zonas del escarpe con espesor mayor a 3 m).

El escarpe conformado por roca de arenisca presenta discontinuidades o planos que afectan la estabilidad, conformando bloques de roca con probabilidad de caída. En la parte inferior se construyó un muro en concreto confinando los talus del escarpe o materiales depositados en el tiempo de la ladera, y el cual funciona como barrera de contención para la caída de bloques y caída de material.

**Fotografía 1-1 Muro de retención para caída de bloques en la zona A**



### **1.2.2 La Zona B**

Localizada en el sector de *Acacias Esperanza y Altos de Jalisco Bosques I Sector* esta ubicada hacia el suroeste presenta viviendas y lotes en una ladera de pendiente media a alta con coberturas vegetales de espesores no mayores a 50 cm, rellenos antrópicos, y suelo residual de espesores no mayores a 2.0 m con problemas de inestabilidad de flujo de tierra y/o deslizamiento de tierra asociados a la intervención de la comunidad.

Esta intervención obedece a cortes inadecuados, es decir cortes verticales sin manejo de aguas lluvias ni medidas de contención, obras de contención sin diseño estructural adecuada, con ausencia de acero de refuerzo o medidas de manejo de drenaje adecuadas.

La zona hacia el costado suroeste limita con el área conocida como Altos de Jalisco, en donde se encuentra un antiguo frente de explotación de materiales de arenisca . En esta zona se ejecutaron obras de muros en gavión, pernos y concreto lanzado, así como obras de drenaje.

Estas obras fueron diseñadas por la firma Ingetec S.A. en 1999 para la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias del Distrito – DPAE. De acuerdo a la consulta de este estudio los espesores de estos rellenos y suelo residual no deben ser superiores a 7 m. Estas condiciones fueron verificadas en campo.

#### **Fotografía 1-2 Zona B Barrio Altos de Jalisco (Bosques I y II Sector)**



Las labores de exploración del subsuelo fueron orientadas a determinar espesores de los rellenos ejecutados por la comunidad y el suelo residual hacia la zona B, la calidad y condiciones geomecánicas de los macizos expuestos hacia la zona A.

### **1.3 RECOPIACION DE INFORMACION**

El análisis de la información recopilada pretende comprender de forma general 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 requirieron para subsanar los inconvenientes por información no existente.

#### **1.3.1 Instituto geográfico agustín codazzi - IGAC**

Se adquirió la plancha IGAC No. L46 en escala 1:2000 del año 1979.

Se solicitaron y utilizaron las siguientes fotografías aéreas de diferentes décadas, destinadas al análisis multitemporal geomorfológico:

**Tabla 1-1 Fotografías Aéreas recopiladas**

<b>Año</b>	<b>Vuelo</b>	<b>Fotografías</b>
1955	C-743	001-000-999, 170-169-168
1956	C-772	272-275
1969	C-1244	31-33
1973	C-1438	36-37
1977	C1728	245-248
1986	C2265	49-52
1996	R1212	139-140

El análisis se desarrolla en el capítulo 4 – Geología y geomorfología en donde se incluye la foto escaneada y el análisis.

#### **1.3.2 Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB**

Con el fin de realizar los análisis hidrológicos de la zona en estudio, se recopiló información pluviométrica y pluviográfica de las estaciones cercanas, como la Estación Casablanca y la Estación Tanque Jalisco.

La EAAB no cuenta con una estación climatológica cercana al área de estudio.

#### **1.3.3 Corporación Autónoma Regional – CAR**

Se recopiló en la entidad la información de la Estación Climatológica Doña Juana la cual tiene registros desde marzo de 1989. Estos registros corresponden a Parámetros de Temperatura, brillo solar, evapotranspiración.

#### **1.3.4 Departamento Administrativo de Planeación Distrital - DAPD**

Se recopiló las siguientes planchas cartográficas de la zona de estudio:

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

**Tabla 1-2 Planchas de loteo y manzaneo de la zona**

Barrio	Escala	Plancha	Año
Acacias	1:500	CB 30/4-17 No. 4	1994
Altos de Jalisco	1:500	CB 1/4 – 2 No. 3	1987
Gibraltar I y II	1:1000	CB 17/4	1996

Estos planos incluyen los límites del área del proyecto. Esta información sirvió para asignar la manzana y el número de predio catastral.

### 1.3.5 Departamento Administrativo de Catastro Distrital - DACD

Se recopiló el plano catastral y de loteo incorporado a la plancha L-46 A el cual es una restitución de fotografías aéreas de la zona del 2001 a escala 1:500. Igualmente, con el fin de aclarar una zona del proyecto se solicitó la Manzana 002521 36 a escala 1:250 de 2003.

### 1.3.6 Dirección de Prevención y Atención de Emergencias - DPAE

Existen 11 registros de documentos en el Sistema de Información de Emergencias - SIRE desarrollados para el barrio Gibraltar y la zona los cuales se relacionan a continuación:

**Tabla 1-3 Información SIRE**

#Reg	Identificador	Tipo de Informe	Subtipo de Informe	Fecha de Elaboración
<u>1</u>	RO-16334	Respuesta Oficial DPAE	Comunidad	08/11/2005
<u>2</u>	RO-15916	Respuesta Oficial DPAE	Comunidad	22/09/2005
<u>3</u>	RO-14244	Respuesta Oficial DPAE	Institucional	05/05/2005
<u>4</u>	RO-12465	Respuesta Oficial DPAE	Institucional	28/10/2004
<u>5</u>	RO-12153	Respuesta Oficial DPAE	Comunidad	22/09/2004
<u>6</u>	DI-2110	Diagnóstico o Informe de Visita	Diagnostico de Emergencias	10/09/2004
<u>7</u>	DI-2029	Diagnóstico o Informe de Visita	Diagnostico de Emergencias	04/06/2004
<u>8</u>	RO-10579	Respuesta Oficial DPAE	Comunidad	02/02/2004
<u>9</u>	RO-10570	Respuesta Oficial DPAE	Institucional	30/01/2004
<u>10</u>	RO-8914	Respuesta Oficial DPAE	Institucional	13/12/2002
<u>11</u>	RO-8746	Respuesta Oficial DPAE	Institucional	06/11/2002

De esta información es de destacarse los dos diagnósticos por emergencias DI-2110 y DI-2029 los cuales tienen en resumen la siguiente información:

**Diagnóstico Técnico 2029:** reportado el 3 de junio de 2004 en la Calle 62 Bis sur No. 18R-34. El evento se describe como un flujo de tierras (aproximadamente 2.0 m<sup>3</sup>) en el corte vertical de 4.0 m de altura y efectuado para conformar la explanación de la vivienda. El fenómeno fue causado por la ausencia de una estructura de contención y por la meteorización del material por acción del agua lluvia especialmente. Este evento afectó a cuatro familias en sus viviendas, las cuales fueron incluidas en el proceso de reubicación del Distrito.

**Diagnostico Técnico 2110.** Reportado el 24 de agosto de 2004 en la Carreras 18T y 18R con Calles 61D Sur y 61B Bis Sur. El evento atendido consistió en el desprendimiento

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

local de bloques de arenisca con un tamaño inferior a los 50 cm de diámetro en el costado suroccidental del talud localizado entre las Carreras 18T y 18R con Calles 61D Sur y 61B Bis Sur.

El evento se presentó como consecuencia del alto grado de diaclasamiento y fracturamiento de los materiales que conforman el talud y el aporte de aguas servidas provenientes de la parte alta, las cuales ocasionaron una reducción de la resistencia al corte en las discontinuidades y adicionalmente generaron empujes en las mismas favoreciendo el desprendimiento de bloques que caen ladera abajo.

Se recomendó realizar algunas obras de intervención pero no se sugirió reubicación de viviendas. Este punto corresponde a la antigua zona (A) de extracción minera.

De las **cartas de respuesta** es importante destacar la visita realizada a la Calle 63 sur No. 18P-14 (ref. 9) en donde se presentó un colapso de un muro de contención en concreto reforzado de aproximadamente 3.00 m de altura ubicado en la mitad del predio referido. El colapso del muro se produjo a raíz de las excavaciones que se realizaron en su base y el ingreso de agua lluvia al suelo de la parte posterior del mismo, generando presiones excesivas de agua a las cuales no estaba diseñado el muro, además del proceso de socavación que afectó la estabilidad del muro. Se recomendó realizar el mejoramiento del mismo. Este predio se encuentra por fuera del área de estudio.

La DPAE a través de un Contratista para el año 2000 realizó los diseños de la obra de mitigación en el barrio Altos de Jalisco, ubicado hacia el costado suroeste consistente en muros en gavión, cuneta perimetral y concreto lanzado y pernos. Según comentarios de la comunidad se reubicaron algunas viviendas ubicadas en la parte superior de la ladera. Esta obra obedece a un estudio de riesgo ejecutado por la firma Ingetec S.A. para la DPAE en el año 1999.

De la evaluación en campo de esta zona se concluye que las obras diseñadas fueron ejecutadas en su totalidad, funcionando en general correctamente, especialmente el sistema de drenaje superior. La zona con muro en gavión presenta pérdida de cubrimiento de pastos.

#### **1.4 OTROS DOCUMENTOS**

Se consultó el Informe Ejecutivo del Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá de 1997 realizado por INGEOMINAS y la Universidad de los Andes<sup>2</sup>. Este documento sirvió para determinar las condiciones sísmicas y parámetros de diseño en el análisis de inestabilidad de la zona las cuales se presentan en el Capítulo 3.

---

<sup>2</sup> AIS, INGEOMINAS, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES (1996), "Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia", Comité AIS 300 – Amenaza Sísmica, Bogotá.



## **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 registró 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, requisito indispensable para la validez del levantamiento; posteriormente se localizaron en puntos estratégicos las estaciones para conformar poligonales internas (primarias, 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.

En la Figura 2-1 y Figura 2-2 se presenta la línea de amarre y la nube de puntos respectivamente realizada de acuerdo con el desarrollo de una 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 1 y todos los insumos en el Anexo 2.2,

### **2.2 ESCRIPCIÓN DE LA POLIGONAL DE AMARRE**

Para realizar la poligonal de amarre se utilizó el vértice IGAC CD-608-A el cual se ubica en la Avenida Boyacá. Desde este vértice se lleva la poligonal hasta la zona de estudio, materializando los mojones en concreto (PG-No.) y cerrando la poligonal en el mismo vértice IGAC.

Se realizaron en total 12 cambios hasta nuevamente llevar la poligonal hasta el vértice IGAC. El error obtenido por la poligonal de amarre fue de 0.0082 m en 1455.59 m, longitud total de la poligonal.

Estos puntos de amarre y el vértice IGAC se presentan en la tabla siguiente:

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

PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCION
1	95920.104	93172.075	2571.805	CD-608-A
2	96196.4367	93145.4915	2570.403	-1
3	96188.4723	93064.5923	2572.242	D-2
4	96105.0132	92989.0075	2575.538	D-E
5	95999.9193	92906.891	2577.205	P-G1
6	95922.7959	92834.0078	2578.343	P-G2
7	95880.604	92748.9601	2579.508	P-G3
8	95771.4502	92839.9575	2598.868	D-4
9	95681.8343	92869.678	2618.53	D-5
10	95716.4551	92956.963	2647.388	D-6
11	95761.4044	92949.9034	2649.741	D-7
12	95781.3349	92973.1669	2650.049	D-8
13	95814.451	93008.887	2640.076	D-9
14	95920.099	93172.0724	2571.811	CIERRE

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 5000 puntos topográficos. En el Anexo 2.2 se presentan el certificado de coordenadas IGAC del Vértice CD-608-A utilizado para el ajuste de coordenadas.

El equipo en resumen tiene las siguientes características:

**Tabla 2 Descripción de la estación GTS-212**

INSTRUMENTO	ESTACIÓN
Modelo	GTS-235
Marca	TOPCON
Precisión angular	Segundo
Precisión en distancia	1mm + 5ppm

Este equipo fue calibrado inicialmente para la ejecución de este trabajo, certificado que se presenta en el Anexo 2.1.

### 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 del programa TRIPOD DATA SYSTEM – TDS, (software libre en Internet) 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 principal y secundaria**

Una vez georeferenciada el área a través de la poligonal de amarre, se procedió a la materialización de una poligonal principal y secundaria dentro del área de estudio. Estas poligonales están conformada por 35 puntos o estaciones de referencia. Desde estos puntos identificados como AUX se establecen visuales de apoyo a los sitios radiados para la obtención de la nube de puntos. Sus coordenadas se muestran en la Tabla 2-3 y en la Figura 2.1.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

**Tabla 2-3 Puntos de la poligonal primaria, secundaria y auxiliar**

PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCION
15	95967.5465	92939.8427	2588.863	AUX-1
16	95979.5746	92883.756	2577.633	AUX-2
17	95954.7292	92862.9579	2577.749	AUX-3
167	95964.2019	92899.4062	2583.725	AUX-4 (1)
190	95927.2148	92884.5643	2591.324	AUX-4 (2)
191	95904.5171	92901.5184	2607.255	AUX-5
192	95887.1278	92903.1734	2615.712	AUX-6
193	95863.8232	92929.6658	2634.775	AUX-7
451	95916.3445	92927.9551	2615.408	AUX-8
583	95795.3368	92928.339	2647.856	AUX-9
597	95748.3447	92921.5153	2641.787	AUX-10
659	95782.5802	92916.0006	2640.54	AUX-11
669	95817.0723	92907.7933	2636.249	AUX-12
678	95843.766	92949.3553	2642.989	AUX-13
693	95819.7521	92939.2575	2646.457	AUX-14
735	95881.4052	92954.7046	2634.493	AUX-15
759	95938.1897	92945.3003	2612.317	AUX-16
912	95947.0144	92976.0153	2614.535	AUX-17
936	95984.0992	92957.7298	2599.561	AUX-18
1033	96029.55	92935.3873	2576.635	AUX-19
1034	96003.2443	92971.0899	2596.99	AUX-20
1207	95884.6705	92858.7284	2594.692	AUX-21
1208	95835.0316	92897.1439	2622.342	AUX-22
1375	95863.0902	92833.7109	2589.905	AUX-23
1507	95830.1084	92899.5949	2625.22	AUX-24
1531	95808.3461	92884.0125	2625.629	AUX-25
1539	95775.5644	92864.1131	2613.6	AUX-26
1659	95732.8862	92898.7448	2629.163	AUX-27
1678	95702.3747	92856.5243	2613.953	AUX-28
1687	95755.3519	92881.6424	2623.429	AUX-29
1722	95769.0855	92891.7006	2628.763	AUX-30
1782	95762.8053	92900.526	2633.524	AUX-31
1844	95804.1033	92846.2273	2600.571	AUX-32
2078	95813.6688	92825.2776	2591.868	AUX-33
2079	95832.9084	92847.654	2592.023	AUX-34

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

**Figura 2-1 Localización de poligonales para el levantamiento topográfico**




Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

En total incluyendo los puntos de amarre, los mojones de referencia y auxiliares se identificaron 2332 puntos. Los datos se presentan en el Anexo 2.2. 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 identificadas con letra: P-GNo., cuyos datos de coordenadas y elevación se relacionan en la Tabla 2-4.

**Tabla 2-4 Mojones materializados**

Punto No.	Norte	Este	Elevación	Referencia	Registro Fotográfico
5	95999.919	92906.891	2577.205	P-G1	
6	95922.796	92834.008	2578.343	P-G2	
7	95880.604	92748.960	2579.508	P-G3	

### 2.4 RESUMEN DEL CAPÍTULO

Se realizó el levantamiento topográfico de la zona llevando la poligonal de amarre desde un mojón ubicado sobre la Avenida Boyacá en cercanías de la entrada a San Francisco. En total se instalaron tres mojones de concreto desde donde se realizó las diferentes poligonales para el levantamiento de detalles.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

En total se ubicaron 3 mojones de concreto, 35 puntos auxiliares para radiación de puntos y 2322 puntos de detalles.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

### **Figura 2-2 Nube de puntos**



Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

## **PLANOS**

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

## **ANEXO 2-1 CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN EQUIPOS**

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

## **ANEXO 2-2CARTERA DE PUNTOS DE TOPOGRAFÍA**

### **3 CLIMA, HIDROLOGÍA, HIDRAULICA Y SISMOLOGÍA**

#### **3.1 CLIMA, HIDROLOGÍA, HIDRAULICA**

Dentro del marco de los estudios de riesgo por remoción en masa 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.

Las condiciones de precipitación evaluadas en los párrafos siguientes permitirán determinar los periodos de retorno de la lluvia crítica y el tiempo de ocurrencia de la misma, datos que permitirán asociar las condiciones de falla o no en las zonas de ladera para la condición de lluvia.

De la misma forma, la evaluación de las condiciones de precipitación permitirán calcular los caudales que deben ser transportados con obras de drenaje artificial en el caso de requerirse este tipo de obras.

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.

En este capítulo del informe se adelanta una caracterización de los elementos que constituyen el clima del área e hidrología.

#### **3.2 CLIMA**

La caracterización del clima del área se llevó a cabo con base en la información de los elementos constitutivos del mismo, sobre los cuales se realizó una recopilación de información para la zona.

##### **3.2.1 Información disponible**

De acuerdo con las investigaciones adelantadas tanto en la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB-ESP, en la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR y en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, IDEAM, se encontró que aunque existen varias estaciones de medición, en no todas ellas se miden los elementos del clima necesarios para los objetivos propuestos.

Teniendo en cuenta esto además para seleccionar la estación de estudio se tuvo en cuenta la escogencia de distancia al sitio de estudio, que presentará condiciones topográficas, de clima y cuencas similares.

De esta forma se seleccionó la de Doña Juana, cuya información corresponde con el mayor número de parámetros de estudio y adicionalmente, es la estación más cercana al área de interés a una distancia aproximada de 4.3 km siguiendo la Avenida Boyacá.

La caracterización de la precipitación media se adelantó con la información correspondiente a la estación del Tanque Jalisco Tunal con periodo de registro 1957 – 1991, la cual se complementó utilizando como apoyo los registros de la estación Casablanca, cuya serie de registros es de los años 1976 – 2004 y se encuentra situada

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

en la zona cercana con el objeto de obtener y comprobar una posible proyección a valores mas recientes.

La precipitación máxima se determinó a partir de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) obtenidas por la EAAB-ESP para el sector, con información proveniente de la estación Casablanca. Esta selección se llevó a cabo teniendo en cuenta los objetivos perseguidos con su determinación.

En la Tabla siguiente se presenta los datos de las estaciones seleccionadas:

**Tabla 3-1 Estaciones de análisis**

<b>Estación</b>	<b>Tipo</b>	<b>Nombre</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Altitud (msnm)</b>	<b>Años registro</b>
2120197	PM	Casablanca	997400	990500	2665	1976-2004
2120630	CP	Doña Juana	992300	993700	2700	1989-2002
20059(P- 045)	PM	Tanque Jalisco Tunal	992966	995845	2599	1957-1991

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

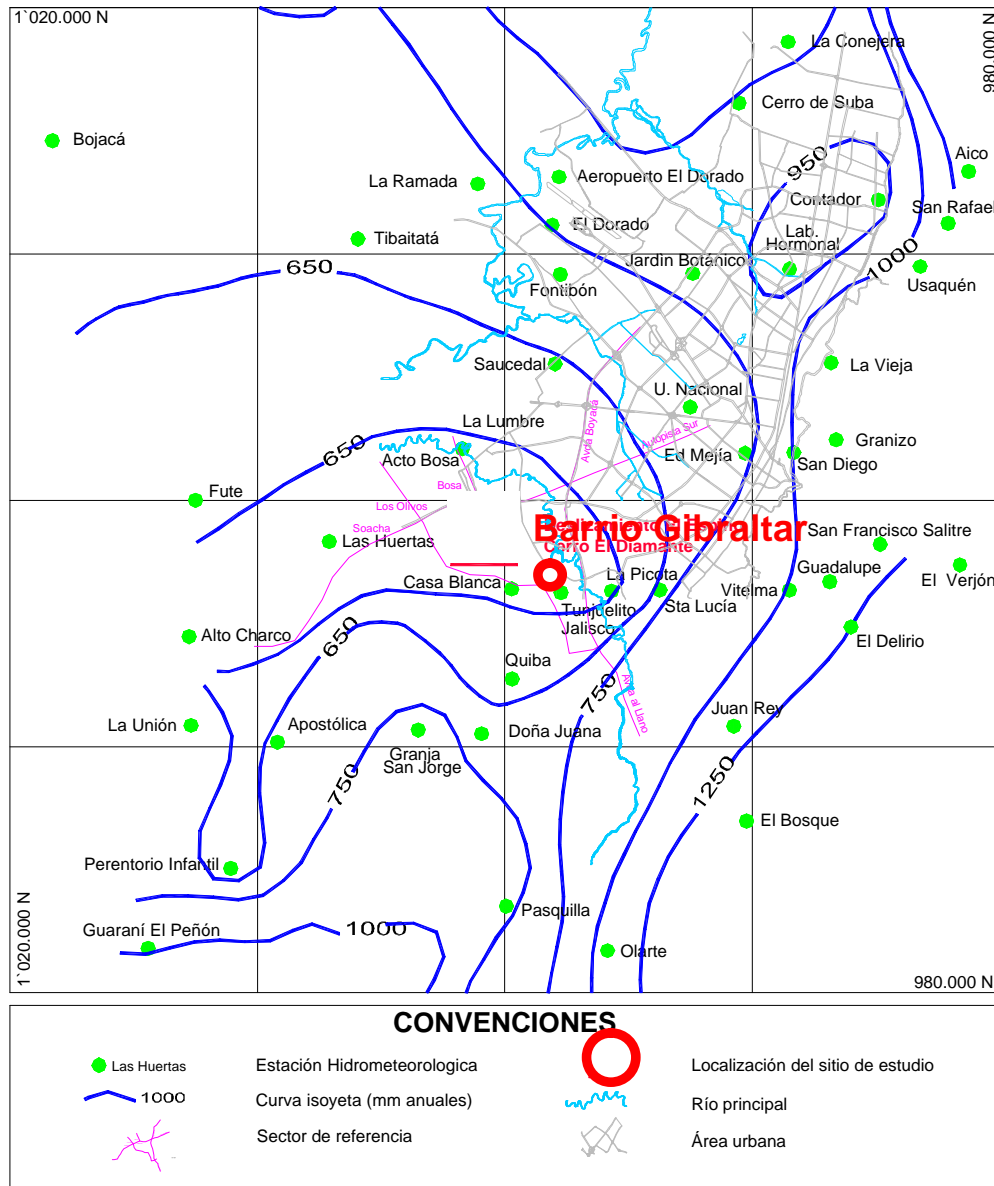
---

### **Figura 3-1 Localización de estaciones**

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

En la figura siguiente se presenta el patrón de distribución territorial de la precipitación media mensual en la Sabana de Bogotá, obtenido por Ingeominas para el Estudio de Deslizamiento del Barrio El Espino en la Localidad de Ciudad Bolívar para la DPAE en 2002<sup>3</sup>.

**Figura 3-2 Patrón de distribución de precipitación media (Ingeominas 2002)**



Como se mencionó anteriormente se seleccionó para efecto de análisis, la información sobre evaporación media mensual, temperatura media del aire, humedad relativa media

<sup>3</sup> 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.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

mensual y brillo solar de la estación Doña Juana y los valores totales mensuales de precipitación correspondientes.

### 3.2.2 Precipitación media

De acuerdo con el patrón de distribución territorial, los valores medios anuales multianuales de precipitación disminuyen de occidente a oriente en esta zona de estudio de la Sabana. El valor total anual medio multianual, de acuerdo con la información de la estación Tanque Jalisco Tunal es de 565.1 mm, valor que coincide con lo observado en el patrón de isoyetas de la figura anterior.

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 Casablanca y Tanque Jalisco Tunal, como ya se mencionó. Los valores medios mensuales y anuales de las series históricas se presentan en la tabla siguiente. Dado que, como se anotó antes, las series no corresponden al mismo período de información y a manera de verificación se procede a homogeneizarlas al período más reciente, considerado las dos estaciones como representativas del régimen en el área.

**Tabla 3-2 Precipitación media mensual multianual – series históricas (mm)**

ESTACION	MESES												TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Tanque Jalisco Tunal	14,9	25,8	40,8	74,0	69,9	46,2	32,0	36,0	41,8	80,1	71,1	32,5	565.1
Casablanca	21,0	29,8	49,2	77,5	76,8	47,1	36,2	37,5	52,8	72,3	64,4	30,5	595,1

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

$$(P_{x16}/P_{116}) * P_{129}$$

Donde

$P_{x16}$  es el valor medio de la precipitación en la estación de período corto, en este caso, 16 años

$P_{116}$  es la precipitación media en la estación de período largo, para el período corto, 16 años en este caso

$P_{129}$  es la media del período largo, en este caso 29 años

De la aplicación de esta metodología se obtuvieron los valores medios multianuales de la estación Tanque Jalisco Tunal proyectada al periodo 1976 – 2004, con el fin de mediante la homogenización utilizada, verificar posibles cambios aproximados a causa de la carencia de los registros de 1991 a 2004 de la estación en mención. Los valores obtenidos se presentan en la tabla siguiente:



**Tabla 3-3 Precipitación media mensual multianual (mm) series proyectada utilizando estación cercana 1976-2004**

ESTACION	MESES												TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Tanque Jalisco Tunal	19,6	34,2	57,0	78,4	72,4	51,3	29,8	33,4	48,1	78,9	68,3	35,7	606,9

De los resultados obtenidos se puede observar una muy pequeña variación en la verificación con una diferencia de aproximadamente 42 mm en el total del año y en los promedios mensuales una variación de 3.5 mm, lo cual es considerado pequeño.

Por lo anteriormente analizado unido con la cercanía de la estación y la diferencia de nivel de las estaciones, se decide consideran los registros de precipitación de la estación Tanque de Jalisco como representativos del área y utilizarlos con los registros de la serie original en el periodo que se posee.

### **Distribución espacial**

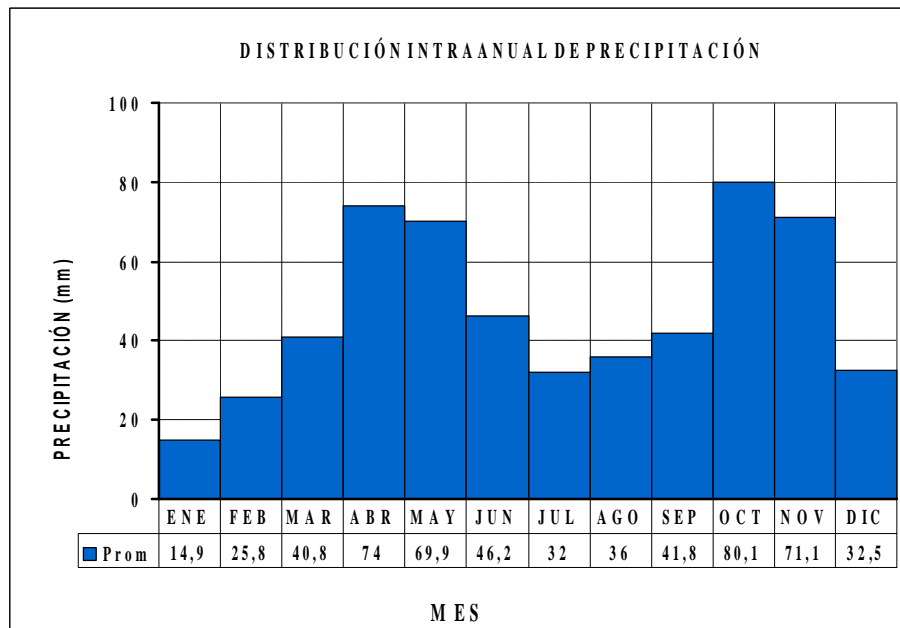
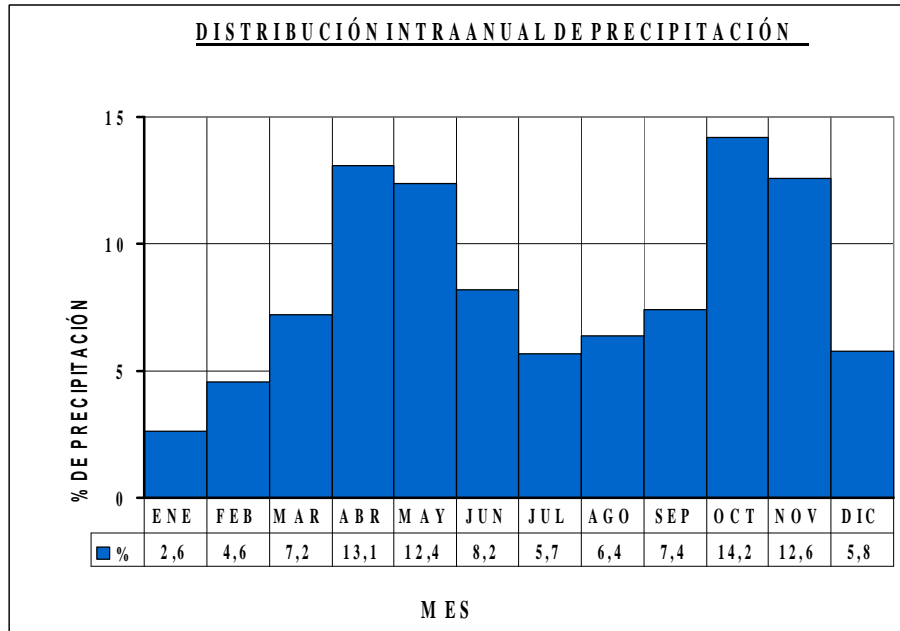
La definición de la distribución espacial en la Sabana de Bogotá la realizó INGEOMINAS en el marco de los estudios de deslizamientos en el Sector El Espino<sup>4</sup> mencionado anteriormente, área localizada en el sur oriente de la localidad de Ciudad Bolívar. Como se puede apreciar en la figura 3.2 los mayores valores de precipitación media anual multianual se presentan en el nororiente de la ciudad y decrecen hacia el sur y sur oeste de la Sabana. Para el área de interés se observan tentativamente valores medios anuales menores a 650 mm, que son acertados con lo obtenido de la información de la estación anteriormente citada.

### **Distribución temporal**

La distribución intra anual de la precipitación obedece a un modelo bimodal, en el que se evidencian dos períodos lluviosos intercalados con períodos secos. El primer período lluvioso o húmedo corresponde a los meses de abril y mayo, en el que tiene ocurrencia el 25,46 % de la precipitación anual. El segundo se localiza entre los meses de octubre y noviembre, en el que ocurre el 26,75 % del total anual. Los períodos secos corresponden a los meses de enero - febrero, el primero y a julio - agosto el segundo. La variación intra anual de la precipitación en el área y sus valores se aprecian en la figura siguiente (datos obtenidos del análisis de datos de las estaciones mencionadas anteriormente):

<sup>4</sup> 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.

**Figura 3-3 Distribución intraanual de precipitación**



### 3.2.3 Temperatura del aire

Para los siguientes análisis se analizó la información obtenida en la Estación Doña Juana. Estos datos son digitalizados, procesados y analizados por el consultor.

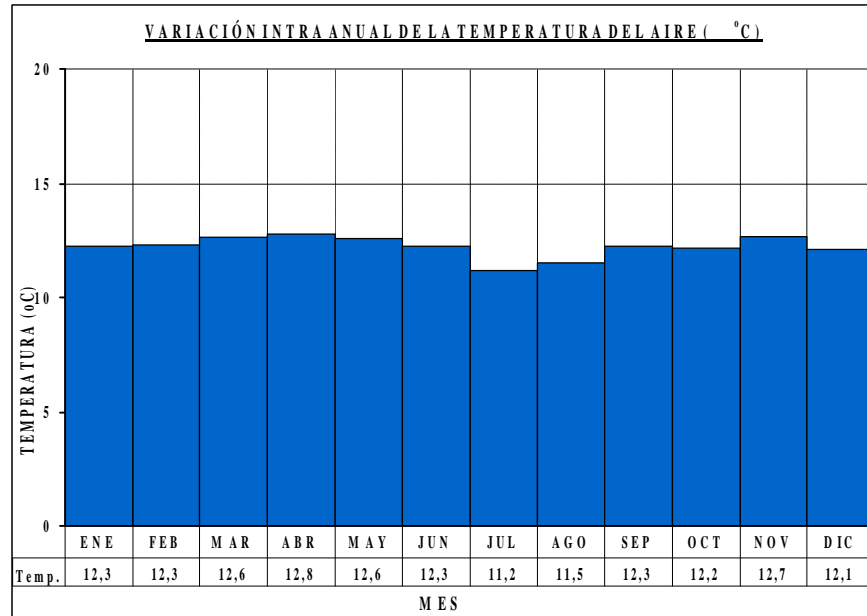
La temperatura media del aire es más o menos constante a lo largo del año, la máxima variación es de 1,6 ° C entre el mes más frío y el más cálido. El valor medio de la

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

temperatura es de 12,1° C. Los meses más cálidos son noviembre, marzo, abril y mayo donde se alcanzan valores cercanos a los 13° C. El más frío es el de julio, con 11,2 ° C.

En la Figura siguiente se representa la variación intra anual de la temperatura y se muestran los valores típicos.

**Figura 3-4 Temperatura del aire**



En la tabla siguiente se presentan los valores medios mensuales principales, obtenidos de la estación climatológica principal Doña Juana - CAR (código 2120630) la cual se encuentra ubicada a 2700 m.s.n.m dentro de la localidad de Ciudad Bolívar.

**Tabla 3-4 Valores medios mensuales multianuales de variables climatológicas**

	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Temperatura (°C)	12.3	12.3	12.6	12.8	12.6	12.3	11.2	11.5	12.3	12.2	12.7	12.1
Humedad Relativa, (%)	69	70	73	73	77	75	78	75	71	71	73	72
Brillo Solar (hr)	32	38	65	60	92	53	53	80	40	50	79	43
Evaporación	65,8	67,1	60,2	71,6	65,3	72,7	63,5	66,9	65,9	75,3	65,5	72,0

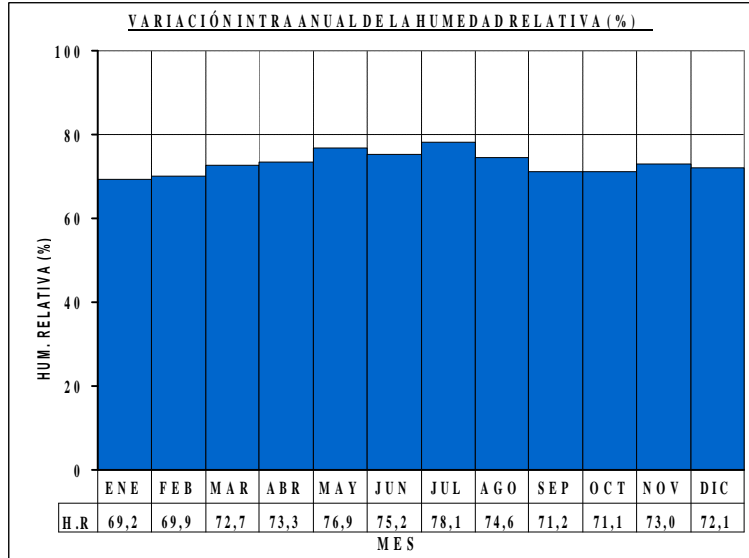
### 3.2.4 Humedad relativa

La Humedad Relativa es casi constante. Muestra una variación máxima del 7,0 % dentro del año. Los meses más secos son enero y febrero con valores de 69,2 y 69,9%, respectivamente. El más húmedo es julio, donde el valor medio alcanza el 78,1%. En la

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

Figura siguiente se representa la variación intra anual de la humedad relativa y se muestran los valores típicos.

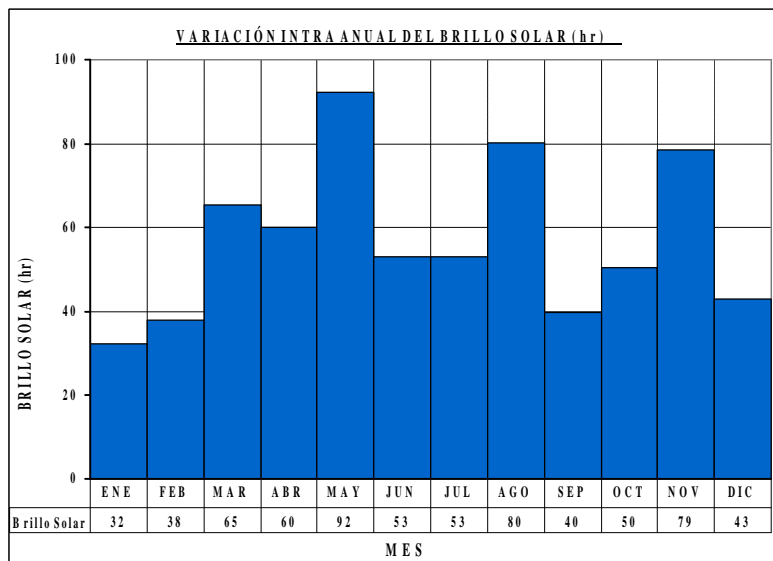
**Figura 3-5 Variación de humedad relativa**



### 3.2.5 Brillo solar

Las horas de brillo solar varían dentro del año y se aprecian diferencias marcadas hasta de un 60% en algunos meses, con respecto a la media mensual anual. Los meses de mayor presencia de sol son mayo, agosto y noviembre con valores que varían entre las 80 y 90 horas. El mes en que se observa menos el sol es enero con cerca de 30 horas de brillo, lo que representa aproximadamente un 35% con respecto al valor mayor. Los valores mensuales y la variación dentro del año se ilustran en la figura siguiente:

**Figura 3-6 Variación brillo solar**



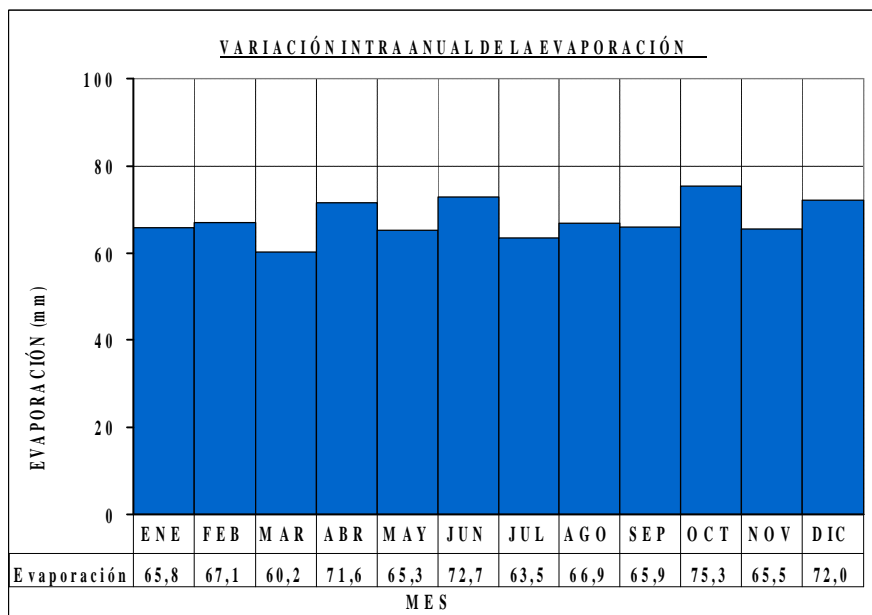
### 3.2.6 Evaporación

Los valores de evaporación corresponden a los obtenidos de mediciones directas en tanque, en la estación Doña Juana. Los valores de las lecturas son muy homogéneos presentándose un 10% como máxima variación.

Los valores más altos de evaporación ocurren en los meses de abril, junio, octubre y diciembre, en los cuales no se presentan indicadores muy marcados al relacionarlos con las temperaturas altas y los menores valores de humedad relativa. Las cifras para estos meses están cercanas a 72 mm, presentando su mayor valor en el mes de octubre con 75,3 mm. El total anual es de 811,5 mm.

En la Figura siguiente se representa la variación intra anual de la evaporación y se muestran los valores típicos.

**Figura 3-7 Variación evaporación**



### 3.3 HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA

Los análisis hidrológicos se encaminaron a determinar los valores de escorrentía para diferentes períodos de recurrencia en el área bajo estudio, la cual se limita desde la parte alta del cerro del tanque Jalisco descendiendo hacia la parte inferior del área de estudio.

De acuerdo a lo citado para efectos de la determinación de los caudales de escorrentía del área se emplearon las curvas de Intensidad Duración Frecuencia desarrolladas por la EAAB-ESP en contrato con la firma IRH Ltda., empresa que analizó y determinó estas curvas para el diseño de tuberías, así como un programa para el análisis.

La selección se llevó a cabo teniendo en cuenta que para efectos de determinación de los valores de escorrentía, dada la magnitud del área adyacente, los tiempos de concentración correspondientes son de tan sólo unos pocos minutos, como se aprecia en el siguiente cálculo.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

El tiempo de concentración para la cuenca trazada, se calculo utilizando las ecuaciones enunciadas a continuación:

- Formula modificada de Bransby -Williams:

$$t = 0.14464 * \frac{L}{H^{0.20} A^{0.10}}$$

Donde:

t = Tiempo de concentración (min.)

A = Área de drenaje (m<sup>2</sup>).

H = Caída promedio (metros por cien metros) desde la parte más alta del área a drenar hasta el punto de diseño.

L = Distancia en metros medida sobre la línea natural de flujo entre el punto de diseño y el punto de drenaje que toma el tiempo más largo en llegar a la sección de diseño.

- Formula para diseño de aeropuertos:

$$T_c = 1.8(1.1 + C) \sqrt{L} / \sqrt[3]{S}$$

Donde:

T<sub>c</sub> = Tiempo de concentración (min.)

C = Coeficiente de escorrentía (adimensional).

S = Pendiente media del canal principal (m/m\*100%).

L = longitud del Canal Principal

De los cálculos de tiempo de concentración para la cuenca trazada hasta el punto mas bajo resultó aproximadamente de 7.5 minutos.

La ecuación de las curvas IDF – EAAB E.S.P. es de la forma:

$$I = C_1 \text{ Duración}^{C_2} X_0^{C_2}$$

De la aplicación de la anterior expresión se obtuvieron los valores de intensidad en mm/hr que se presentan en la tabla siguiente

**Tabla 3-5 Valores de intensidad para diferentes periodos de retorno**

T <sub>R</sub> (Años)	C <sub>1</sub>	X <sub>0</sub>	C <sub>2</sub>	I (mm/hr)
3	2443.3	24.5	-1.06	62,0
5	2857.4	23.0	- 1.07	73,8
10	3547.1	22.3	-1.08	90,7
25	4113.4	20.9	- 1.08	110,8
50	4651.4	20.4	- 1.08	127,7
100	5465.1	20.5	- 1.10	139,9

Dado que no fue posible determinar la distribución temporal de los aguaceros, ante la carencia de pluviogramas, se optó por obtener los caudales de escorrentía para la cuenca trazada que en este caso es toda la zona de estudio, ya que el área es límite o borde superior de la cuenca (por ello no se incluye la figura o plano de la cuenca respectiva) mediante el empleo de la fórmula Racional, utilizando un coeficiente de escorrentía del 60%:

Del empleo del primer método se obtuvieron los valores que se muestran en la tabla siguiente para los periodos de retorno indicados.

**Tabla 3-5 Caudales obtenidos empleando el método racional**

<b>T<sub>R</sub> ( Años)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>
3	0,44
5	0,52
10	0,64
25	0,78
50	0,90
100	0,99

Los análisis hidráulicos se circunscribieron a adelantar la revisión de las redes de drenaje artificial existentes en el área.

Puesto que existen redes de drenaje de aguas lluvias a través de canales y de aguas servidas por pozos, no se consideró necesario profundizar en el estudio de sistemas de drenaje para el área.

Hacia el costado de Altos de Jalisco en la parte baja existe infiltraciones importantes de agua que provienen de los pozos de la parte alta. Aun cuando se revisaron y se encuentran en algunos casos colmatados pero en buen estado, los sistemas de tubería entre pozo no presentan total hermeticidad, generando saturación de los materiales.

### **3.4 SISMOLOGÍA**

La zona de estudio de acuerdo al Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá (INGEOMINAS – Universidad de Los Andes. 1997<sup>5</sup>) se ubica en la Zona 1 – Cerros. Para esta zona el parámetro *Am* (Aceleración máxima esperada) tiene un valor de 0,24, el cual

---

<sup>5</sup> INGEOMINAS - UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. (1997). Microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá. Agosto.

debe ser utilizado para los análisis de estabilidad. Este valor tiene un periodo de retorno de 475 años.

Si este valor se compara con los valores de Aa en la Norma Sismo resistente de Colombia NSR-98 podría uno decir que se encuentra en una zona de amenaza sísmica alta y no media tal y como identifica este código a la ciudad de Bogotá. De esta forma las edificaciones que se encuentren en esta zona deben poseer un sistema estructural tal que disipe la energía en forma eficiente con pórtico de concreto que confinen la mampostería y cimientos a nivel de la roca.

En la zona de estudio el porcentaje de viviendas que cumplen este aspecto es bajo lo que implica que en la ocurrencia del sismo de diseño planteado en esta zona en el Decreto 074 de 2000 las viviendas podían sufrir daños importantes. Este aspecto es incluido en la evaluación de vulnerabilidad de las viviendas y su posterior análisis condicionando la estructura a fenómenos de remoción en masa y no a deformaciones por sismo a nivel estructural el cual es otro tipo de estudio.

En cuanto al sistema de fallas existente se presenta en la zona la “Falla del Mochuelo” en sentido oriente – occidente identificada claramente en la zona en los estudios geológicos. Dentro de la zona de estudio se encuentra un sistema de fallas en sentido norte – sur aproximadamente y que corresponde a la zona de explotación.

Las condiciones de esta zona en cuanto a materiales corresponden a la ubicación directa en el terreno de la roca que en este caso es la arenisca y algunos puntos de lodolitas. Los espesores de depósito son bajos a nulos y el cambio de pendiente solo se produce en la parte inferior.

### **3.5 RESUMEN DEL CAPÍTULO**

Se identificaron dos estaciones de pluviométricas, Estación Casablanca y Altos de Jalisco y una Estación Climatológica como es la Estación Doña Juana. El valor de precipitación obtenido en la zona luego de ajustes en la serie de datos de la Estación Altos de Jalisco fue de 607 mm.

La distribución intra anual de la precipitación obedece a un modelo bimodal, en el que se evidencian dos períodos lluviosos intercalados con períodos secos. El primer período lluvioso o húmedo corresponde a los meses de abril y mayo y el segundo se localiza entre los meses de octubre y noviembre. Los períodos secos corresponden a los meses de enero - febrero, el primero y a julio - agosto el segundo.

El valor medio de la temperatura es de 12,1° C. Los meses más cálidos son noviembre, marzo, abril y mayo donde se alcanzan valores cercanos a los 13° C. El más frío es el de julio, con 11,2 ° C. La Humedad Relativa es casi constante. Muestra una variación máxima del 7,0 % dentro del año. Los meses más secos son enero y febrero con valores de 69,2 y 69,9%, respectivamente. El más húmedo es julio, donde el valor medio alcanza el 78,1%.

Las horas de brillo solar varían dentro del año y se aprecian diferencias marcadas hasta de un 60% en algunos meses, con respecto a la media mensual anual. Los meses de mayor presencia de sol son mayo, agosto y noviembre con valores que varían entre las 80 y 90 horas. El mes en que se observa menos el sol es enero con cerca de 30 horas de brillo, lo que representa aproximadamente un 35% con respecto al valor mayor.



Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

Los valores de evaporación corresponden a los obtenidos de mediciones directas en tanque, en la estación Doña Juana. Los valores de las lecturas son muy homogéneos presentándose un 10% como máxima variación.

Los valores más altos de evaporación ocurren en los meses de abril, junio, octubre y diciembre, en los cuales no se presentan indicativos muy marcados al relacionarlos con las temperaturas altas y los menores valores de humedad relativa. Las cifras para estos meses están cercanas a 72 mm, presentando su mayor valor en el mes de octubre con 75,3 mm. El total anual es de 811,5 mm.

Los caudales obtenidos en la zona para un periodo de retorno de 10, 25 y 100 es de 0.64 m<sup>3</sup>/s, 0.78 m<sup>3</sup>/s y 0.99 m<sup>3</sup>/s respectivamente.

## **4 ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO**

El estudio geológico de la zona se desarrolla bajo dos aspectos: 1) a nivel regional con el fin de identificar las unidades principales, los sistemas de fallas principales y plegamientos 2) a nivel local identificando o agrupando por unidades de tipos de roca cartografiable, suelos recientes y condiciones de falla en la zona.

Dentro del estudio geológico se realiza el levantamiento de discontinuidades que permite agrupar familias características del macizo rocoso para la posterior evaluación de inestabilidad.

El estudio nivel de geomorfología identifica procesos de remoción en masa cartografiables activos y/o recientes, con el fin de realizar la sectorización de susceptibilidad de inestabilidad de roca o suelo.

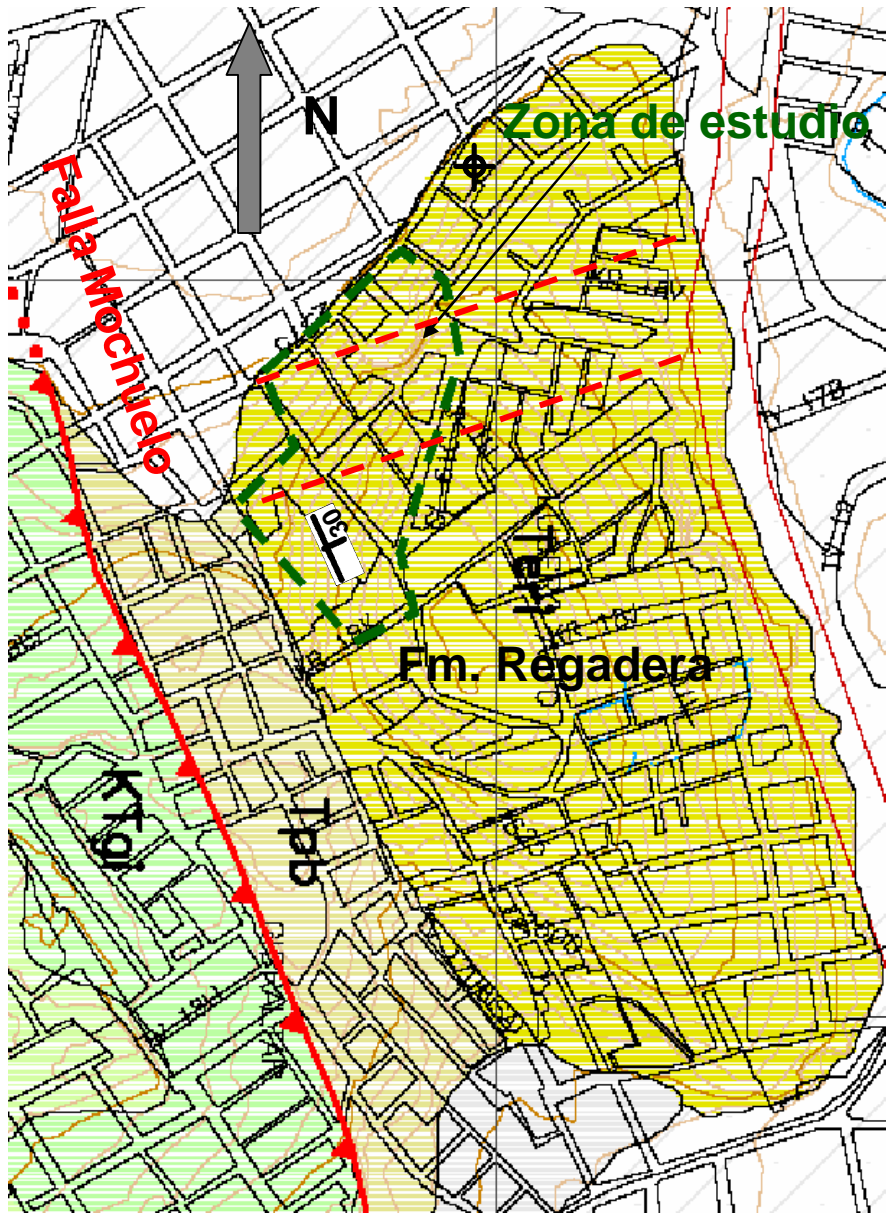
Posteriormente se realiza un análisis multitemporal con fotografías de la zona, evaluando los cambios de formas, la intervención antrópica y los procesos de remoción en masa antiguos, así como procesos de rellenos antrópicos para cimentación de viviendas.

Esta información finalmente permitirá consolidar el perfil estratigráfico de la zona, compilado con la investigación del subsuelo y el posterior análisis con la información geotécnica.

### **4.1 ASPECTOS DE GEOLOGÍA REGIONAL**

Se encuentra sobre una secuencia sedimentaria que hace parte del flanco occidental del Sinclinal de Usme y en la que predominan areniscas amarillas, rosadas y violáceas, líticas (varían a conglomerados) dispuestas en capas gruesas (más de 3 metros de espesor) intercaladas con lodolitas grises y multicolores no fisibles que conforman la Formación Regadera.

**Figura 4-1 Marco geológico Regional del área de estudio (UPES 1999)**



La Formación Regadera (Teri) se presenta en color amarillo. La Formación Bogotá (Tpb) se presenta con color habano. La Formación KTgi se presenta en color verde.

La ladera se encuentra cubierta parcialmente por un coluvión fino productos de procesos morfodinámicos antiguos (se encuentran por debajo de una capa con influencia de cenizas volcánicas, por lo cual es posible que se trate de la Fm. Mondoñedo).

Estos suelos transportados (coluvión mencionado anteriormente) cubrían originalmente casi toda el área de estudio, pero fueron removidos por la actividad antrópica (explotación de materiales y adecuación de terrenos para urbanismo) que dejó al

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

descubierto horizontes de areniscas y lodolitas alteradas, muy susceptibles a la acción de las aguas freáticas y de las aguas superficiales.

Los macizos rocosos se encuentran intensamente fracturados, llegando a presentar brechamiento (espesores de zona de daño observados de menos de 1 m) en algunos lugares, aunque es preciso anotar que dado el pobre grado de cementación el comportamiento frágil no es totalmente marcado sobre el macizo rocoso. Los procesos tectónicos se relacionan con fallas normales de rumbo cercano a E-W ortogonales a la Falla del Mochuelo. (Ver Figura 4.1 con color rojo raya discontinua y raya continua respectivamente). Igualmente se presenta la orientación de planos de estratificación medidos en campo (en negro con dato tomado).

## **4.2 ESTRATIGRAFÍA**

En este numeral se tiene como referencia la información del Léxico Estratigráfico Internacional (Da Porta, 1973).

### **4.2.1 Formación Regadera (Ksg)**

- ? Nombre: Propuesto por Hubach (1951). El nombre de esta unidad procede del Embalse de La Regadera ubicado al sur de Usme (Cundinamarca).
- ? Edad: Eoceno medio
- ? Área tipo y límites: La formación queda comprendida entre las arcillolitas de la Formación Bogotá en la parte inferior y las de la Formación Usme en la parte superior. Julivert<sup>6</sup> le asigna como sección tipo Valle del Tunjuelo.
- ? Características físicas de la roca en el área tipo: conjunto de bancos detríticos resistentes, de areniscas de tamaño variable, pero generalmente grueso, alternando con conglomerados y con niveles de arcillas abigarradas. En el conjunto predominan las areniscas y conglomerados dando a esta unidad el carácter de nivel duro que destaca netamente en el relieve dando fuertes crestones.
- ? Características físicas de la roca en el área de estudio: Intercalación de areniscas con arcillolitas, con predominio de las primeras. Las areniscas se disponen en bancos que alcanzan 15 metros de espesor, de grano fino a medio, de color amarillo claro a blanco, altamente fracturadas y meteorizadas, con dureza baja y resistencia débil a friable. El contacto con las arcillolitas es erosivo. Las lodolitas (arcillolitas limosas) son de color amarillo claro y violeta, moderada a altamente meteorizadas. Las capas de arenisca tienen espesor promedio de 10 metros y presentan intercalaciones de lodolitas de hasta 2 m de espesor. Estas litologías se formaron a partir de sedimentos depositados en ambientes continentales de tipo fluvial.
- ? Características geotécnicas y procesos morfodinámicos típicos:

---

<sup>6</sup> JULIVERT, M. Léxico estratigráfico internacional. Vol V, fasc. 4ª Colombia. 1968.

La Formación Regadera ha sido estudiada y sus parámetros geotécnicos cuantificados en la Localidad de Rafael Uribe en estudios contratados por el DAMA<sup>7</sup>. Tanto areniscas como arcillolitas presentan comportamiento de roca blanda. Los estudios sobre los macizos rocosos (areniscas) han dado como resultado macizos tipo IV y V, según la clasificación de Bieniawski, es decir, macizos de calidad mala y muy mala. Los procesos típicos en los escarpes de contrapendiente de areniscas son caídas de bloques de areniscas friables.

En las zonas de suelos residuales arcillosos se presentan deslizamientos rotacionales y traslacionales generalmente de tamaños pequeños (menos de 500 m<sup>2</sup> y de poco espesor), 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). Cuando se han extraído arcillolitas infrayacentes a areniscas quedan voladizos que configuran la posibilidad de caída.

En los estudios llevados a cabo por el DAMA (2004)<sup>5</sup> en la zona de chircales de la Localidad de Rafael Uribe, se tienen valores de cohesión para lodolitas entre 0 y 2,4 ton/m<sup>2</sup> y ángulo de fricción interna para lodolitas entre 17 a 34° y de 20 a 34° para areniscas. Los valores similares pueden explicarse dada la matriz arcillosa de las areniscas y el hecho que la textura de estas rocas sea matriz-soportada.

### **4.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

La zona de estudio se ubica en el flanco occidental del Sinclinal de Usme, pero dicho flanco presenta replegamientos menores y fuerte afectación tectónica. El Mapa Geológico de Ingeocim-DPAE (1999)<sup>8</sup> mostrado en la Figura 4.1 incluye una falla de cabalgamiento (Falla de Mochuelo) que hace desaparecer parte del Grupo Guaduas (el Mb. Superior), la Formación Cacho y la mayor parte de la Fm. Bogotá. El trazo de falla se ubica 100 metros al occidente de la zona de estudio.

En cuanto a plegamientos, no se observa este tipo de estructuras dentro de la zona de interés.

### **4.4 GEOLOGÍA LOCAL**

Se llevó a cabo el levantamiento cartográfico, con el intento de caracterizar cada una de las unidades de roca aflorantes en la zona de estudio (ver Plano 2 – Geología). Las areniscas dispuestas en capas muy gruesas tienen formas lenticulares, con gradación lateral a lodolitas y conglomerados lodosos, razón por la cual es difícil definir una columna estratigráfica detallada, máxime si la mayor parte del área se encuentra cubierta por viviendas.

---

<sup>7</sup> DAMA. 2004. Definición de factores de seguridad adecuados en la Zona X de Suspensión minera (Localidad de Rafael Uribe). Informe interno de avance.

<sup>8</sup> 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.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

Todo ello llevó a describir y cartografiar unidades agrupándolas en dos tipos principales: areniscas lodosas (que pueden gradar a conglomerados lodoso e incluir lentes de arcillolita de menos de 1 m de espesor) y lodolitas (cuando el espesor de las capas finogranulares es mayor de 1 m)

A continuación se describen las unidades, de más antigua a más reciente:

#### **4.4.1 Unidades roca/suelo**

##### **Unidad de areniscas lodosas de la Fm. Regadera (Ter - Are)**

Esta unidad suprayace la mayor parte de la zona de estudio y aflora a manera de parches en las zonas en las cuales la ladera fue intervenida para adecuar la actividad de construcción de viviendas. El mejor afloramiento se encuentra al norte, en el escarpe dejado por la actividad extractiva.

Consiste de areniscas laminadas líticas, micáceas, de grano fino a medio, con cuarzo y chert negro, de colores amarillos, blancuzcos y horizontes color lila y rosados, con matriz arcillosa de color blanco (probablemente caolinítica), matriz-soportadas. Gradan o contienen horizontes conglomeráticos matriz-soportados, con fragmentos redondeados a muy redondeados, de cuarzo hialino, cuarzo lechoso, cuarzo rosado y chert gris y negro y tamaño de guijo entre 2 y 10 mm y no se observa imbricación. Algunos horizontes arenosos tienen intraclastos arcillosos, junto con los guijos y también se observan niveles de arenisca bien cementadas con óxidos de hierro, con aureolas de oxidación. Estas capas tienen formas lenticulares (max 60 cm de espesor).

Se disponen en capas lenticulares con espesor máximo de 4 m que pueden contener lentes de lodolita dentro de arenisca que alcancen longitudes de 5 m y espesores de 50 cm. Contienen abundantes rasgos sedimentarios tales como estratificación interna inclinada, superficies erosivas internas, etc.

Alteran a suelos residuales arenosos de plasticidad media, consistencia media, generalmente muy húmedos.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

#### **Fotografía 4-1 Areniscas líticas de la Fm. Regadera**



#### **Fotografía 4-2 Horizontes conglomeráticos dentro de las unidades de arenisca**



#### **Unidad de Lodolitas de la Fm. Regadera (Ter - Lod1)**

Consiste de lodolitas (arcillolitas limosas) grises, rojas y amarillentas, no fisibles, que pueden alcanzar 3 m de espesor, con estructuras internas (laminación) evidenciadas por cambio a colores amarillos intercaladas con capas delgadas de areniscas lodosas (menos de 5 cm de espesor).

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

Alteran predominantemente a arcillas limosas de alta plasticidad que pierden rápidamente sus características de cohesión y resistencia con la adición de agua (Susceptibilidad a flujos de lodo)

**Fotografía 4-3 Lodolitas color lila con formas tabulares por la existencia de venas ricas en óxidos de hierro**



**Unidad de coluviones (Qcol) (Formación Mondoñedo?)**

Se aclara que en el ejercicio de la geología, tal como en la geotecnia en general, existe la incertidumbre. Cuando no se tienen certezas sobre a que formación geológica corresponde el material expuesto, el geólogo debe hacer patente dicha incertidumbre y es de uso corriente expresar dicha incertidumbre con un signo de interrogación. Este signo ha sido incluido en esta Unidad que se describe a continuación.

Coluvión clasto-soportado no reciente (cubierto por suelos negros con influencia de cenizas volcánicas) con fragmentos de areniscas líticas subangulares y angulares con aureolas de oxidación que dan una cementación secundaria. El tamaño máximo de los fragmentos pétreos es de 40 cm y el tamaño promedio de 1 a 5 cm, generalmente aplanados. La matriz es areno-limosa gris clara en seco y gris parda a oscura en húmedo. El depósito tiene alta permeabilidad y su espesor varía entre 50 cm. y 2 m.

Es probable que corresponda a la Fm. Mondoñedo, descrita (Van der Hammen, 1995) como: “secuencia de depósitos coluviales de grano fino intercalados con paleosuelos... los colores rojizos... son atribuidos a condiciones relativas de humedad. Los sedimentos limosos verdosos suprayacentes probablemente representan cenizas volcánicas meteorizadas” De acuerdo con el mismo autor, esta formación se depositó en el Cuaternario Tardío (última glaciación y Holoceno)

En algunos afloramientos, por debajo de este coluvión fino se observó un coluvión más grueso, con bloques angulares de 20 a 40 cm, clasto soportado, con matriz limo-arenosa y fragmentos pétreos de areniscas líticas.

Sobre esta unidad se observan cortes sub-verticales de hasta 1,5 metros, sin problemas de estabilidad. Alteran a suelos arenosos, rojizos.



Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

**Fotografía 4-4 Coluvión fino cubierto por limos grises y rellenos antrópicos**



### **Unidad de suelos oscuros (Qcen)**

La cobertura original de suelos oscuros producto de la acción orgánica sobre horizontes de cenizas provenientes de la Cordillera Central se conserva especialmente en algunos puntos de la parte alta (oriente) de la zona de estudio. Consiste de suelos limosos de color gris claro, de plasticidad media, consistencia media y alta humedad natural. que en ciertos afloramientos suprayacen un horizonte de turba o “neme” (suelo negro endurecido, con fragmentos pétreos de arenisca) con espesor menor de 30 cm. Esta unidad no es cartografiable por los bajos espesores y la pobre interpretación por ausencia de horizontes del material en superficie, razón por la cual no aparece en el mapa geológico.

### **Unidad de rellenos antrópicos (Qra)**

Relleno de 40 cm a 2 metros de espesor (el espesor más observado varia entre 4 y 60 cm), con matriz limosa a arenosa-lodosa de color gris medio, matriz soportados, con fragmentos pétreos de tamaño variado generalmente provenientes del coluvión fino, plásticos y restos variados..

La unidad de coluviones finos (Fm. Mondoñedo?) y la unidad de suelos oscuros no aparecen en el mapa debido a su espesor (menor de 2 m) y a que prácticamente han desaparecido por la intervención antrópica (cortes, explanaciones y cubrimiento con zonas duras).

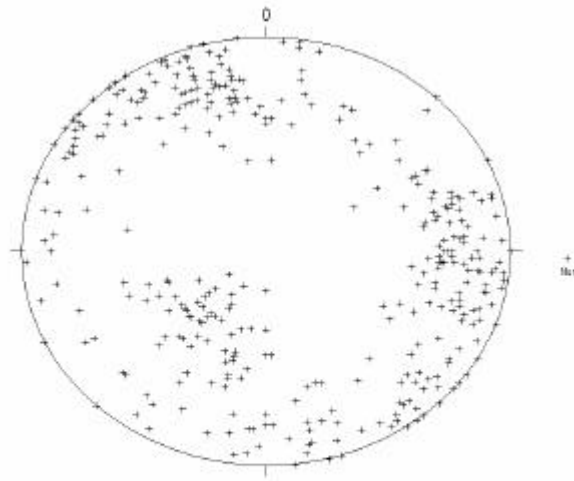
## **4.4.2 Análisis estructural**

### **Mediciones**

En el Anexo 4.1 se presenta el inventario de las diaclasas y discontinuidades medidas en campo. Este trabajo se enfatizó en el escarpe dejado por la extracción de materiales, ubicado al norte de la zona de estudio. Es importante anotar que las discontinuidades incluyeron la estratificación y las fallas menores, evidenciadas por brechamiento. En total se midieron del orden de 360 datos, que constituyen una muestra representativa de las discontinuidades del sector. Estos datos se presentan en la figura siguiente analizados por medio del programa STERONETT.

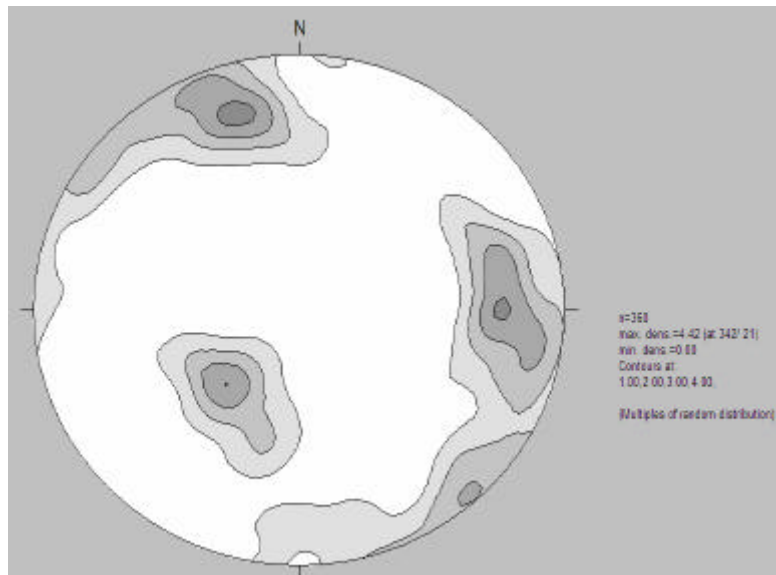
Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

**Figura 4-2 Proyección de polos de discontinuidades medidas**



Los resultados obtenidos muestran un sistema principal de diaclasamiento D-1 con promedio de 162/69 y 318/85, este sistema de fracturamiento acompaña el sistema de fallas observado en la zona de estudio (N72E al parecer con predominio del tipo normal); el sistema de fracturamiento D-2 con predominio 270/65 y 93/74; el predominio de estratificación resulto de 43/33 y la estratificación interna inclinada en 14/44. Todos los datos anteriores están dados como azimut de buzamiento/buzamiento. En La figura siguiente se presenta la concentración de polos de los datos analizados.

**Figura 4-3 Concentración de polos**



### Fotografía 4-5 Medición de discontinuidades



Nótese el fracturamiento subvertical paralelo a la falla que se observa en el centro de la imagen.

## 4.5 GEOMORFOLOGÍA

### 4.5.1 Morfoestructural

La zona se ubica en una forma de loma estructural desarrollada sobre areniscas. Hace parte de las laderas cercanas al Piedemonte sur de la Sabana de Bogotá y presenta una morfología de ladera con pendientes que varían entre 15 y 25° y sectores sometidos previamente a extracción con pendientes sub-verticales (y aun voladizos con taludes de más de 20 metros de altura) donde la configuración morfológica define la posibilidad cinemática de caída de bloques en los taludes afectados por extracción minera.

En algunas laderas no afectadas por extracción se observan suelos no litificados de diversos orígenes y composiciones ubicados sobre zonas de pendientes mayores de 15° que podrían ser susceptibles a los deslizamientos.

La zona de interés se encuentra en la parte alta de una ladera de tipo estructural que conforma un monoclinal fallado con inclinación hacia el oriente en cuya configuración morfológica es claro el control estructural de rocas de resistencia media ante la erosión.

La ladera tenía una inclinación promedio de 20 a 25°, pero fue intervenida por labores extractivas (como fuente de materiales de construcción) mediante cortes aproximadamente ortogonales al rumbo de las capas en la parte más baja de la ladera.

Como consecuencia de estas actividades, se crearon condiciones cinemáticas para la desestabilización de pequeñas porciones de macizo rocoso (no es posible la ocurrencia de fallas planares) por la creación de escarpes antrópicos sub-verticales sobre rocas sometidas a esfuerzos (voladuras) que disminuyeron sus características de resistencia.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

### **Laderas de contrapendiente con intervención alta (actividad extractiva) (Lcp<sub>A</sub>)**

Se ubican en la parte baja de la zona de estudio, en las áreas que fueron intervenidas por la actividad extractiva. Se desarrollan sobre areniscas y en menor proporción lodolitas cubiertas por suelos coluviales delgados y suelos oscuros.

Estas laderas corresponden a los escarpes producidos por la actividad extractiva o por el retroceso de ellos mediante procesos de remoción en masa. Sus pendientes son subverticales, con segmentos en voladizo. Están sujetos a la caída de bloques, dado su fracturamiento y la disminución de sus características de resistencia por los esfuerzos a los que fueron sometidos durante su laboreo como yacimiento minero. Sus pendientes varían entre 60 y 90°, con algunos taludes o porciones de talud en voladizo.

#### **Fotografía 4-6 Ladera sometida a extracción de materiales de construcción**



Ladera sometida a extracción de materiales de construcción.

### **Laderas de contrapendiente con intervención media (Lcp<sub>M</sub>)**

Corresponde con las porciones de ladera en los cuales la intervención se dio para la adecuación del terreno a la construcción de viviendas. Esta adecuación consistió en destapar los horizontes de roca subyacente, mediante cortes de máximo 2 metros de altura. El material sobrante, junto con desechos y basura fueron depositados sobre la ladera, constituyendo los rellenos antrópicos. Los rangos típicos de pendiente para estas zonas no intervenidas varían entre 20 y 25°, con pequeños taludes de corte verticales y subverticales.

No se observaron procesos de remoción en masa sobre esta unidad, a excepción de pequeños flujos de tierra sobre lodolitas en la parte oriental.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

#### **Fotografía 4-7 Ladera de contrapendiente con intervención media**



#### **Laderas de contrapendiente con intervención baja (Lcp<sub>B</sub>)**

Son pequeños parches de ladera prácticamente sin intervención (ubicados al oriente de la zona). La intervención que se ha dado consiste en la construcción de zanjas de corona y algunos tramos de caminos en material dura. La cobertura de estas zonas es la original de la ladera: el coluvión fino cubierto por una delgada capa de suelos oscuros limosos. Los rangos típicos de pendiente para estas zonas no intervenidas varían entre 20 y 25°. No se observaron procesos de remoción en masa sobre esta unidad.

#### **Fotografía 4-8 Ladera de contrapendiente con intervención baja**



## 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.

Los procesos de meteorización se muestran en estadios avanzados en algunas zonas de brecha de falla, donde se observan suelos arenosos y limosos de colores rojizos. Estos colores, concordantes con altos contenidos de óxidos e hidróxidos de hierro se relacionan con ambientes húmedos, no con los ambientes secos semidesérticos como el que actualmente se encuentra en la zona de estudio. Todo lo anterior permite inferir que el partes del área tuvieron estabilidad en el tiempo, pero que dicha situación fue modificada por la intervención antrópica (extracción de materiales y urbanización).

#### 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 encuentran surcos desarrollados sobre las caras desnudas de los escarpes naturales en los que afloran suelos residuales arenosos y la fotointerpretación muestra carcavamiento en las laderas correspondientes a la pendiente estructural, fuera del área de estudio hacia el oriente.

#### Procesos de remoción en masa

Los procesos de remoción en masa se clasifican según Varnes<sup>9</sup> dado en la publicación de Transportation Research Board, Special Report 176. USA. Esta clasificación se presenta convenientemente mencionada en el Manual de Estabilidad de Taludes del Instituto Nacional de Vías. A continuación se describen a partir de estas definiciones los procesos de remoción en masa encontrados en la zona.

#### 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).

Los deslizamientos presentes en la zona de estudio se clasifican, de acuerdo con su forma de ruptura como:

---

<sup>9</sup> Cruden, D. y Varnes D. Landslides Types and Processes. Universidad de Alberta. 1991.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

### Deslizamientos rotacionales

La superficie de ruptura es circular o semicircular y cóncava hacia arriba. El movimiento se efectúa por rotación alrededor de un eje paralelo al talud. Se presenta un pequeño deslizamiento de menos de 100 m<sup>2</sup> en materiales aproximadamente homogéneos, tales como suelos residuales arcillosos y lodosos situados al oriente de la zona de estudio.

### Flujos

Es común que cuando una masa de detritos se ablanda por acción del agua hasta tener una consistencia blanda o fluida, se pone en movimiento, alcanzando velocidades altas, que dependen de la intensidad y duración de las lluvias y de la pendiente del terreno. Los flujos de lodo pueden ser generados de muchas maneras:

Para el caso de estudio, los flujos de lodo se relacionan con los materiales lodosos arrancados por procesos erosivos que son transportados de esta manera en la época de lluvias. Se ubican hacia el oriente de la zona de estudio y son de pequeña magnitud, relacionados con pequeños deslizamientos sobre lodolitas.

También existen un pequeño flujo relacionado con el afloramiento de limos rojos antiguos en el escarpe remanente de la extracción de materiales ubicado al norte.

### **Fotografía 4-9 Flujo de Detritos**



Flujos de detritos en el escarpe dejado por la extracción de materiales. El material fino (predominantemente limos rojizos) se encuentra en el trazo de la principal falla detectada en la zona de estudio.

### **Caídas y desprendimientos**

Una caída representa la disgregación rápida de un volumen de material litológico a lo largo de una superficie sobre la cual ocurre muy poco desplazamiento cortante. Este movimiento ocurre sobre taludes verticales, sub-verticales o en voladizos, donde la gravedad constituye el principal agente motor del movimiento. Las caídas,



Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

desprendimientos o desplomes son generados por procesos similares; ellos se distinguen solamente por la magnitud del fenómeno.

Las caídas son generalmente movimientos intermitentes en caída libre, asociados a escarpes de macizos rocosos con material litológico relativamente resistente y que presentan fracturamiento moderado a intenso; el volumen de material afectado es generalmente bajo y representa fragmentos independientes (cantos a bloques)

En los desprendimientos se produce una disgregación de masa litológica ya sea de suelo o roca fracturada y existe un descenso súbito con fragmentación del material a lo largo de una ladera de fuerte pendiente.

En los desplomes hay una disgregación de una masa litológica generalmente rocosa y de volumen considerable y forma en la base o pie un depósito caótico de material grueso.

En el caso de la zona de estudio el proceso se da a partir de las areniscas dispuestas en bancos con desprendimiento y caída de material en fragmentos mayores de 30 cm.

En cuanto a volumen, el fragmento más grande observado tiene aproximadamente 1 m<sup>3</sup>; es importante anotar que la masa del fragmento se relaciona directamente con la energía cinética que alcance el bloque en su caída y por lo tanto en el potencial de daño que pueda causar.

#### **Fotografía 4-10 Posibilidad cinemática de caída de bloques**



Caída de bloques, por volteo, por planares y por cuñas, en el escarpe de la antigua extracción de materiales ubicado al norte de la zona de estudio.

#### **4.6 PARÁMETROS DE RESISTENCIA CON METODOLOGÍA GSI**

El índice de resistencia geológica (Geological Strength Index, GSI) es una herramienta útil en la estimación de la resistencia de macizos rocosos. Este procedimiento de determinación de la resistencia sirve como marco general y fue ajustado con la realización de ensayos de laboratorio con muestras de las rocas recuperadas de la zona

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

de estudio. La clasificación GSI respeta en gran medida las restricciones geológicas que ocurren en la naturaleza y se reflejan en la información geológica.

El método se basa en la estimación o la medición en laboratorio de la resistencia compresiva uniaxial ( $\sigma_{ci}$ ) y la constante del material ( $m_i$ ), las cuales están relacionadas con las propiedades friccionales de la roca. Idealmente, estas propiedades básicas deben ser obtenidas en laboratorio, pero es posible llevar a cabo estimativos a través de tablas desarrolladas por Marinis & Hoek (2000)<sup>10</sup>.

#### **4.6.1 Descripción del macizo rocoso**

Laderas compuestas por areniscas liticas de baja cementación, matriz soportadas (con matriz lodosa, al parecer caolinitica dados sus colores casi blancos) con fracturamiento variable entre intenso y muy intenso (números de Cecil entre 7 y 8, es decir desde tras familias de discontinuidades y discontinuidades dispersas hasta brechas y harina de falla) y con intercalaciones lenticulares de rocas finogranulares que incluyen lodolitas no fisibles y lodolitas intercaladas con areniscas en capas muy delgadas (1 – 2 cm), en general alteradas por meteorización y por la influencia una falla cercana identificada en este estudio y con comportamiento de suelo residual arenoso en los horizontes cercanos a la superficie.

#### **4.6.2 Parámetros de entrada**

En las tablas se indica con color rojizo la calificación de las rocas finogranulares (lodolitas) y en color amarillento la calificación para las capas gruesas de arenisca fracturada. Lo anterior con el fin de obtener una caracterización geomecánica de los horizontes involucrados en el modelo geotécnico.

---

<sup>10</sup> HOEK, Evert y BRAY, John. Rock slope Engineering. Institution of Mining and Metallurgy. Great Britain University Press. Cambridge. 1974

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

**Tabla 4-1 Estimativos de campo para la resistencia uniaxial compresiva de la roca intacta ( $s_{ci}$ ). Adaptada de Marinós & Hoek, 2000<sup>11</sup>.**

Grado*	Término	Resistencia compresiva uniaxial ( $s_{ci}$ ) (Mpa)	Índice de carga puntual ( $m_i$ ) (Mpa)	Diagnóstico de campo para resistencia	Ejemplo	Caso de estudio
R6	Extremadamente fuerte	> 250	> 10	Solamente pueden ser obtenidas esquirlas con un martillo de geólogo	Basalto fresco, chert, diabasa, granito, neis, cuarcita	
R5	Muy fuerte	100 - 250	4 - 10	La muestra requiere muchos golpes de martillo de geólogo para fracturarla	Anfibolita, cuarzoarenita, basalto, gabro, neis, granodiorita	
R4	Fuerte	50 - 100	2 - 4	La muestra requiere mas de un golpe de martillo de geólogo para fracturarla	Arenisca cuarzosa, caliza, mármol	
R3	Medianamente fuerte	25 - 50	1 - 2	No puede ser incidida o pelada con navaja. Puede ser fracturada con un solo golpe de martillo de geólogo	Arenisca lodosa, concreto, filita, esquisto, limolita	Areniscas Regadera afectadas por tectonismo
R2	Débil	5 - 25	**	Puede ser pelada con navaja con dificultad, puede hacerse incisión con un golpe fuerte del pico del martillo de geólogo	Lutitas, lodolitas, arcillolitas.	
R1	Muy débil	1 - 5	**	Se disgrega si se golpea de manera firme con el pico del martillo de geólogo, puede ser pelada con navaja	Suelos residuales, shales	Lodolitas alteradas a Suelos residuales arcillosos
R0	Extremadamente débil	0,25 - 1	**	Puede ser incidida con la uña	Harina de falla, milonita, cataclasita	

\* Grado de acuerdo a Brown (1981)

\*\* Los ensayos de carga puntual en roca con una resistencia a la compresión uniaxial menor de 25 mPa probablemente produzcan resultados muy ambiguos.

<sup>11</sup> HOEK. Evert y BRAY, John. Rock slope Engineering. Institution of Mining an Metalurgy. Great Britain University Press. Cambridge. 1974

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

**Tabla 4-2 Valores de la constante  $m_i$  para roca intacta, por grupos de roca.  
Adaptada de Marinis & Hoek, 2000<sup>12</sup>**

Tipo de roca	Clase	Grupo	Textura			
			Gruesa	Media	Fina	Muy fina
Sedimentaria	Clástica	Conglomerados o brechas = *		Areniscas = $17 \pm 4$	Limolitas = $7 \pm 2$	Arcillolitas = $17 \pm 4$
					Grauvacas = $18 \pm 3$	Shales = $6 \pm 2$
						Margas = $17 \pm 4$
	No clástica	Calcáreas	Caliza cristalina = $12 \pm 3$	Caliza esparítica = $10 \pm 2$	Caliza micrítica = $9 \pm 2$	Dolomitas = $9 \pm 3$
		Evaporitas		Yeso = $8 \pm 2$	Anhidrita = $12 \pm 2$	
		Organicas				Creta = $7 \pm 2$
	Metamorfica	No foliadas	Marmoles = $9 \pm 3$	Hornfelsa = $19 \pm 4$	Cuarcitas = $20 \pm 3$	
Metarenisca = $19 \pm 3$						
Foliadas levemente		Migmatita = $29 \pm 3$	Anfibolitas = $26 \pm 6$	Neises = $28 \pm 5$		
	Foliadas		Esquisto = $12 \pm 3$	Filita = $7 \pm 3$	Pizarra = $7 \pm 4$	

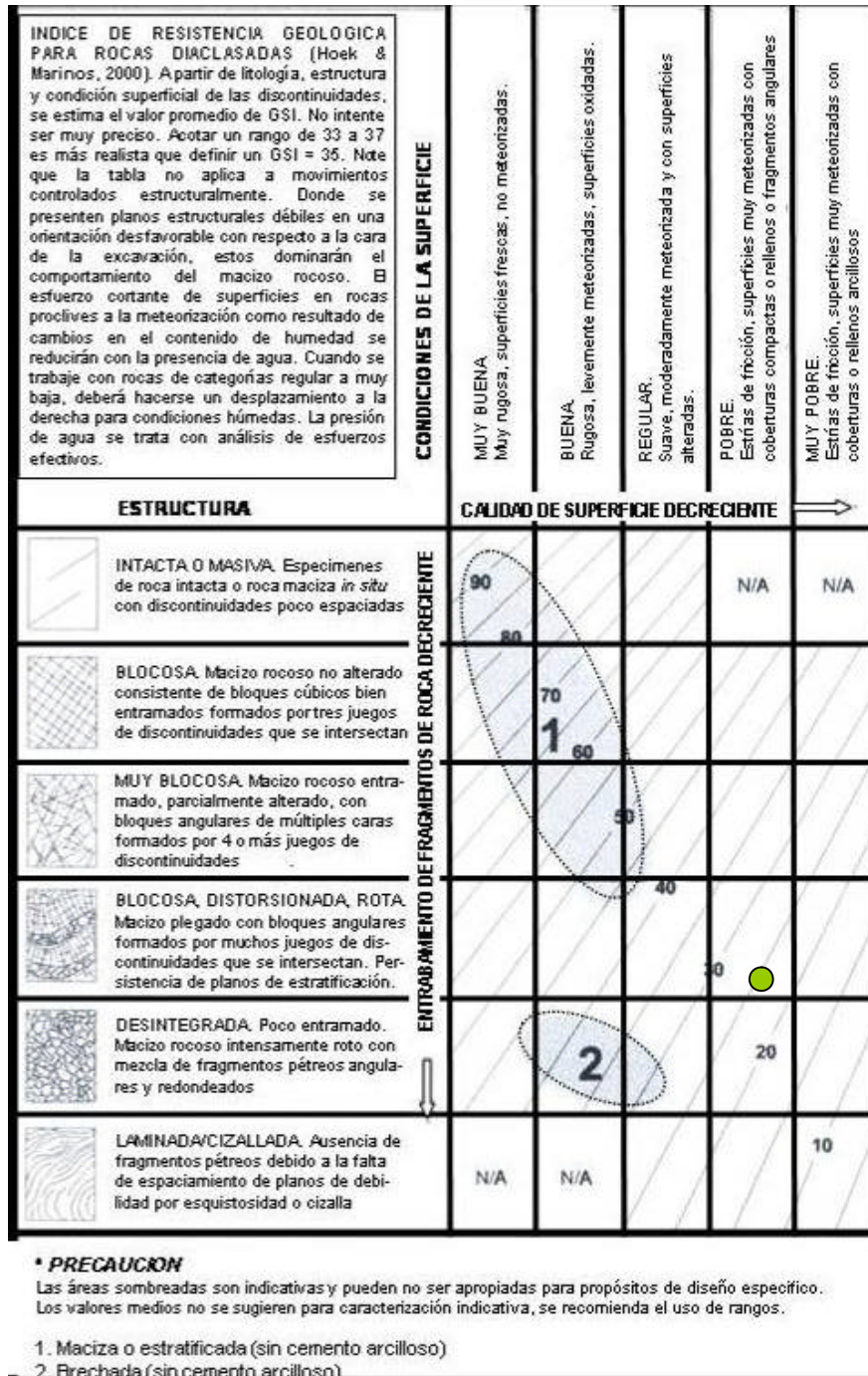
\* Valor dado de acuerdo con criterio del geólogo, pues las rocas brechoides o conglomeráticas tienen una gran dispersión en sus valores de resistencia, dependiente de la textura de la matriz y de si el armazón es matriz o clasto soportado.

\*\* Los resultados de carga puntual por debajo de 25 MPa son muy ambiguos

<sup>12</sup> HOEK. Evert y BRAY, John. Rock slope Engineering. Institution of Mining and Metallurgy. Great Britain University Press. Cambridge. 1974

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

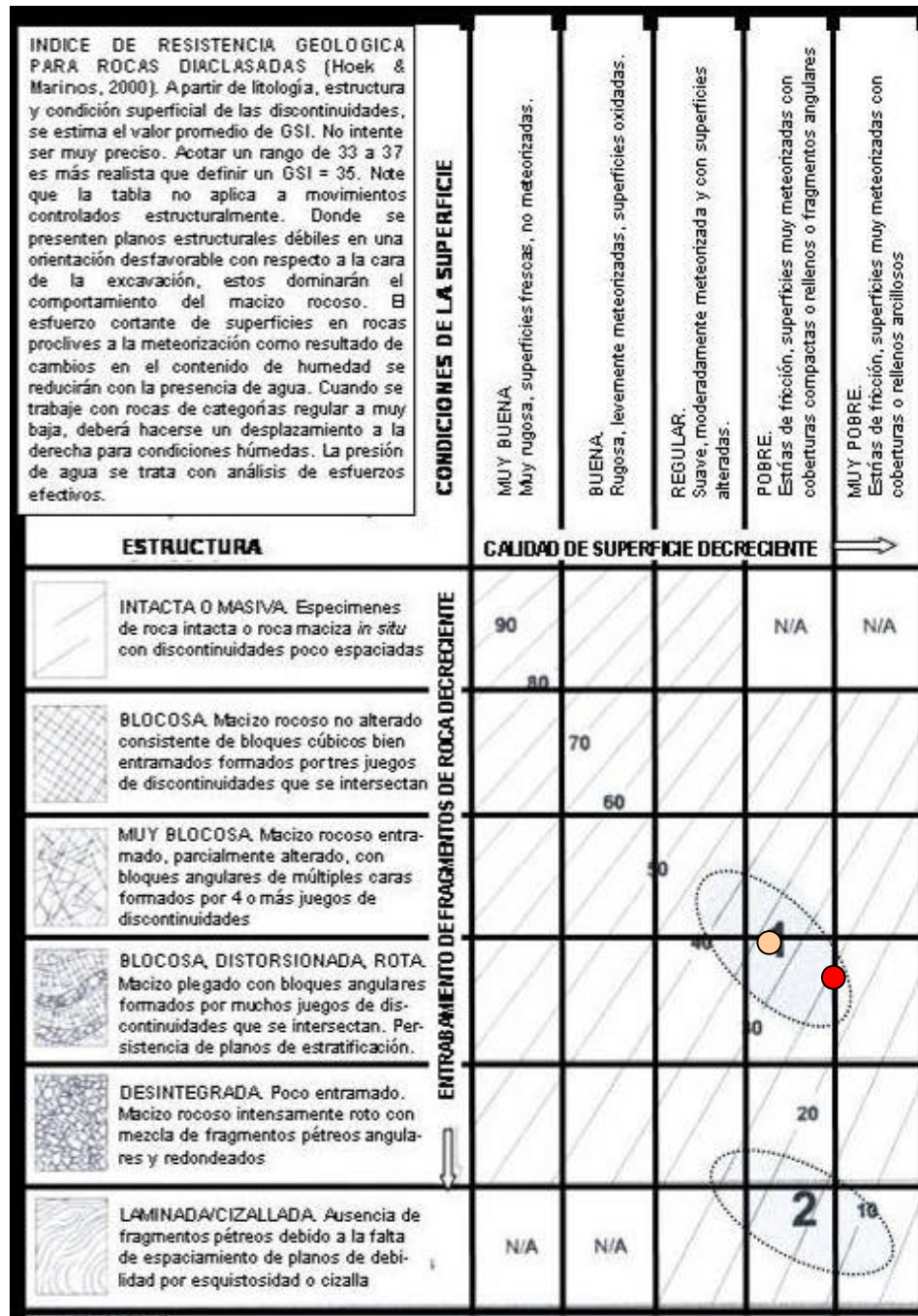
**Figura 4-4 Rangos típicos de GSI para areniscas (Tomado de Marinós & Hoek, 2000<sup>13</sup>). El círculo verde muestra la estimación para areniscas fracturadas y el amarillo para las zonas de brecha tectónica en areniscas.**



<sup>13</sup> HOEK, Evert y BRAY, John. Rock slope Engineering. Institution of Mining and Metallurgy. Great Britain University Press. Cambridge. 1974

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

**Figura 4-5 Rangos típicos de GSI para limolitas, arcillolitas y lutitas (Tomado de Marinós & Hoek, 2000). El círculo rosado muestra lodolitas poco alteradas y el rojo suelos residuales.**



**\* PRECAUCION**

Las áreas sombreadas son indicativas y pueden no ser apropiadas para propósitos de diseño específico. Los valores medios no se sugieren para caracterización indicativa, se recomienda el uso de rangos.

1. Estratificadas, foliadas, fracturadas
2. Cizalladas, brechadas

Estas rocas blandas son clasificadas en GSI como asociadas con procesos tectónicos. Por demás no recomendadas. Lo mismo es cierto para mármoles típicos.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

**Tabla 4-3 Valores de  $s_{ci}$ ,  $m_i$  y GSI obtenidos a partir de las tablas de Marinos & Hoek<sup>14</sup> para los tipos de roca presentes en la zona de estudio**

Tipo de roca	$s_{ci}$ (MPa)	$Is$ (MPa)	$m_i$	GSI
Areniscas líticas en capas gruesas	25 - 50	1 - 2	$17 \pm 4$	40 - 45
Lodolitas abigarradas	5 - 25	**	$6 \pm 2$	30 - 35
Suelos residuales arcillosos	1 - 5	**	$6 \pm 2$	20 - 25

\* Los resultados de carga puntual por debajo de 25 MPa son muy ambiguos

#### 4.7 OBTENCIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA GSI

El siguiente paso es estimar las propiedades mecánicas del macizo rocoso de acuerdo con los procedimientos descritos por Hoek & Brown (1997, en Marinos & Hoek, 2000) tal como se muestra en el cuadro. Los valores de  $s_n$  se evalúan para cada tipología de material, asumiendo una altura de talud de 20 metros y que el talud es homogéneo (es decir, constituido por una única litología) Los valores de resistencia en superficie se asumen con esfuerzos normales cercanos a cero (0,1 MPa)

#### 4.8 TALUD DE 20 METROS DE ALTURA EN ARENISCAS LÍTICAS EN CAPAS GRUESAS

El esfuerzo normal máximo para el cálculo de parámetros de resistencia se muestra a continuación:

Espesor total material  $H = 20$  m  
 Peso unitario areniscas (asumido)  $\gamma_{tss} = 2,1$  ton/m<sup>3</sup>

$$s_n = (H * \gamma_{tss}) = (20 \text{ m} * 2,1 \text{ ton/m}^3)$$

$$s_n = 42,0 \text{ ton/m}^2 = 0,42 \text{ MPa}$$

Los valores correspondientes son:

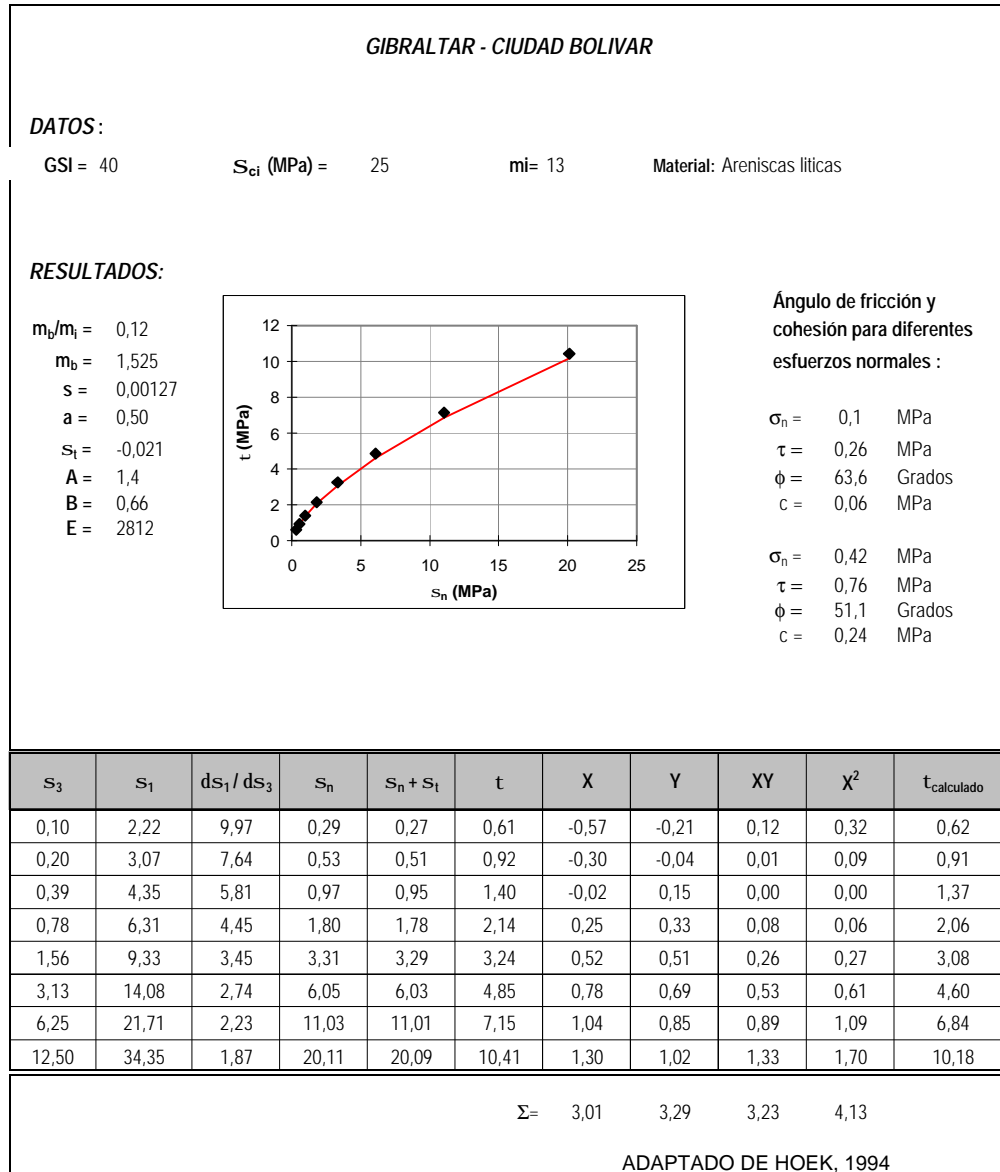
$$\alpha = 51,1^\circ$$

$$c = 0,24 \text{ MPa}$$

<sup>14</sup> HOEK. Evert y BRAY, John. Rock slope Engineering. Institution of Mining and Metallurgy. Great Britain University Press. Cambridge. 1974.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

**Figura 4-6 Parámetros de resistencia de areniscas cuarzosas poco alteradas**



#### 4.9 TALUD DE 20 METROS DE ALTURA EN LODOLITAS ALTERADAS

El esfuerzo normal máximo para el cálculo de parámetros de resistencia se muestra a continuación:

Espesor total material

$H = 20$  m

Peso unitario lodolitas (asumido)

$\gamma_{tss} = 2,0$  ton/m<sup>3</sup>

$$s_n = (H * \gamma_{tss}) = (20 \text{ m} * 2,0 \text{ ton/m}^3)$$

$$s_n = 40,0 \text{ ton/m}^2 = 0,40 \text{ MPa}$$



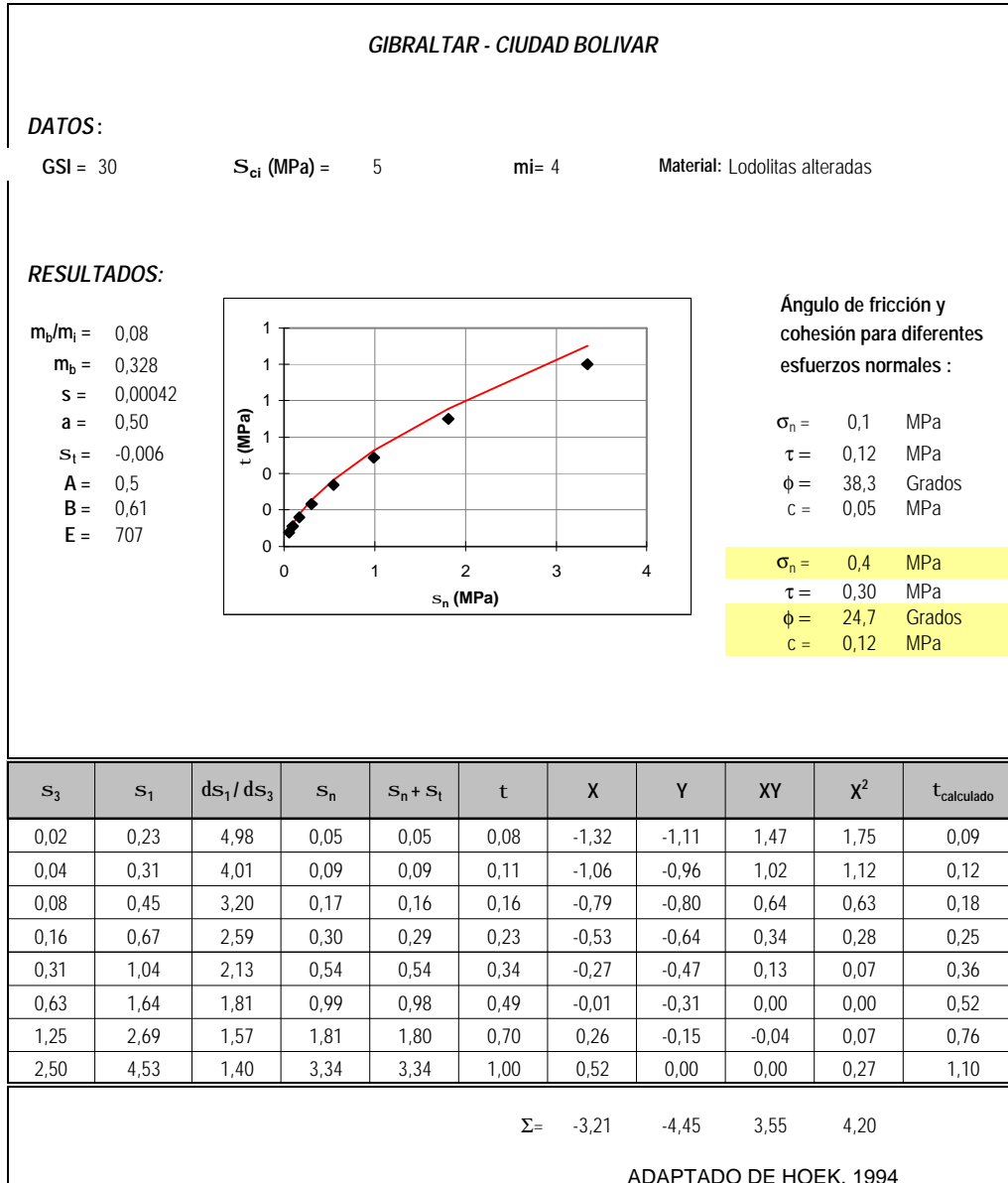
Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

Los valores correspondientes son:

$$\phi = 24,7^\circ$$

$$c = 0,12 \text{ MPa}$$

**Figura 4-7 Parámetros de resistencia de lodolitas alteradas**



#### 4.9.1 TALUD DE 20 METROS DE ALTURA EN LODOLITAS ALTERADAS

El esfuerzo normal máximo para el cálculo de parámetros de resistencia se muestra a continuación:

Espesor total material

$$H = 20 \text{ m}$$

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

Peso unitario lodolitas (asumido)

$\gamma_{tss} = 2,0 \text{ ton/m}^3$

$$s_n = (H * \gamma_{tss}) = (20 \text{ m} * 2,0 \text{ ton/m}^3)$$

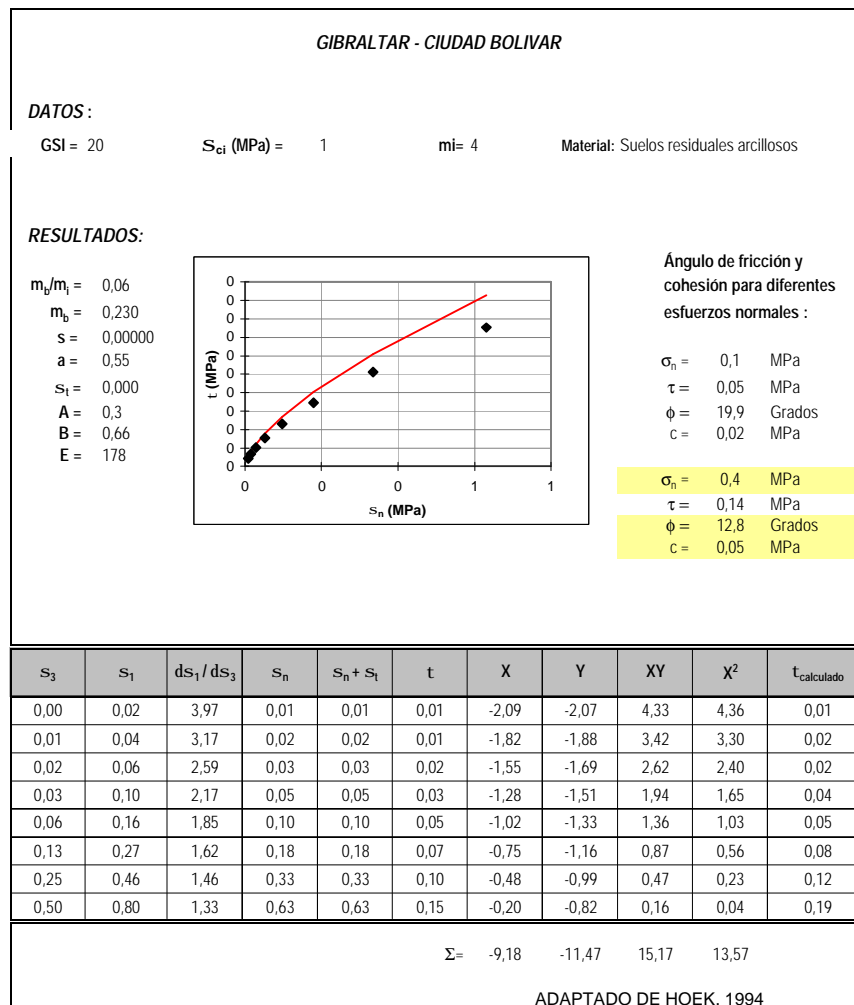
$$s_n = 40,0 \text{ ton/m}^2 = 0,40 \text{ MPa}$$

Los valores correspondientes (Figura 8) son:

$$\phi = 12,8^\circ$$

$$c = 0,05 \text{ MPa}$$

**Figura 4-8 Parámetros de resistencia de suelos residuales arcillosos (Tipo IIA a IC)**



#### 4.10 HIDROGEOLOGIA

Al tratarse de rocas blandas, se podría afirmar que tienen poca importancia hidrogeológica, sin interés como reservorio de agua; sin embargo las características

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

litológicas de algunos niveles (arenosos a conglomeráticos) y debido a que la descripción menciona que se encuentran poco cementadas, se le asigna un comportamiento acuífero de pobres características.

En el caso de la zona de estudio, además de las características de baja porosidad y permeabilidad dado su comportamiento matriz-soportado, es importante tener en cuenta el intenso fracturamiento del macizo rocoso, lo cual define una permeabilidad secundaria alta. No obstante, la zona no tiene una posibilidad de recarga, pues es un cerro aislado.

Teniendo estas consideraciones en cuenta, es poco probable tener niveles freáticos altos. Las condiciones dadas anteriormente concluyen en que los aspectos de hidrogeología no son relevantes para el sitio de estudio.

#### **4.11 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE PROCESOS DENUDACIONALES**

Las fotografías aéreas solicitadas se presentan en la tabla siguiente:

**Tabla 4-4 Fotografías aéreas de análisis**

<b>Numero de Vuelo</b>	<b>Fecha d/m/año</b>	<b>Escala</b>	<b>Fotos</b>
C- 604	1951	1:25000	017 a 019
C- 772	1956	1:9000	139 - 141
R-590	1963	1:42.000	22 y 23
R-667	1973	1:10.000	124 y 123
C-1732	1977	1:8.000	24 y 25
R- 1131	1990	1:5000	2139 – 2141
C- 2717	2004	1:20.300	114 – 115

A continuación se presenta el análisis de la zona de estudio.

##### **4.11.1 Año 1951. C-604**

Se utilizaron las fotos 017 a 019 a escala 1:25000. La zona no presenta intervención urbana. Carcavamiento en la zona de pendiente estructural. Evidencias de pequeños procesos de remoción en masa en la zona de estudio. Cubrimiento vegetal con herbáceas. La única vía que existe a esta fecha es la actual calle 62.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

#### **4.11.2 Año 1956. C-772**

Se utilizaron las fotos 139 a 141 a escala 1:9000. Sin intervención urbana dentro de la zona de estudio. A esta fecha ya ha iniciado la actividad extractiva, con extracción de materiales dentro de la zona de estudio (el actual escarpe ubicado al norte, que en adelante se denominará escarpe norte) Se aprecia carcavamiento en esta cara de la loma (el escarpe de contrapendiente) También existen pequeños caminos de vaca, evidencia de procesos de remoción en masa muy lentos. Ya es evidente la retícula urbanística en la zona plana al occidente (barrio Las Acacias)

#### **4.11.3 Año 1963. R-590**

Se utilizaron las fotos 22 y 23 a escala 1:42500. Avance de la actividad extractiva en el escarpe norte. Inicio del desarrollo urbanístico dentro de la zona de estudio.

#### **4.11.4 Año 1977. C-1732**

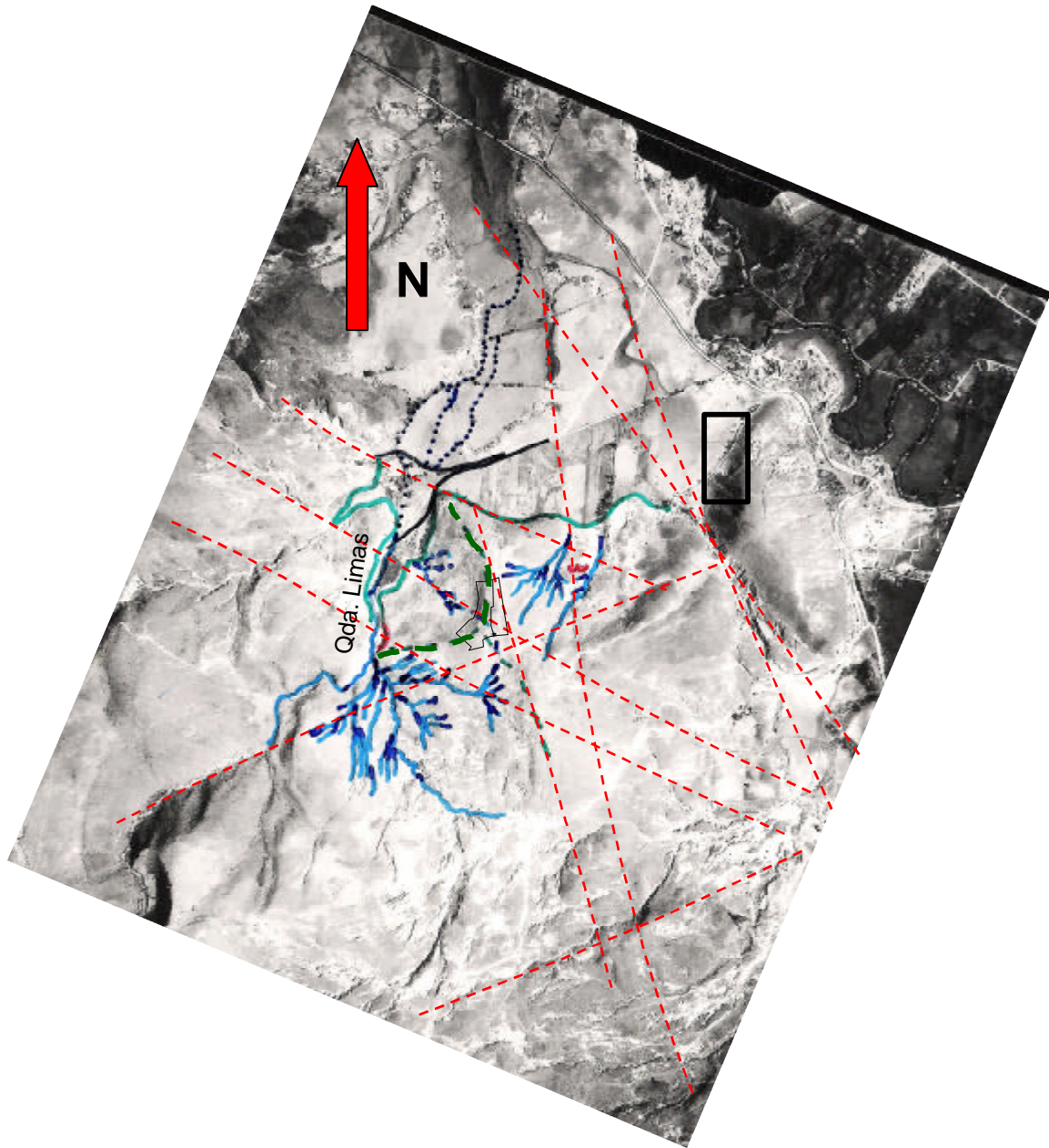
Se utilizaron las fotos 24 y 25 a escala 1:8000. El escarpe norte ha avanzado ladera adentro, y en esta imagen es evidente el estilo de extracción, con despate y desplome de macizo rocoso, dejando barrancos sub-verticales. La urbanización ya existe en la zona de estudio, con la totalidad de las manzanas que colindan con la calle 62. También se aprecia la subverticalidad del escarpe que fue cubierto posteriormente por concreto lanzado, ubicado al suroccidente.

#### **4.11.5 Año 1999. R-1131**

Se utilizaron las fotos 2139 a 2141 a escala 1:5000. La configuración urbanística es similar a la actual. Al parecer la actividad extractiva ya había finalizado para esta época (por un lado ya existen viviendas en la parte alta del talud del escarpe norte y por otra se observa vegetación en la parte baja) y existen evidencias de inestabilidad por caídas y flujos de detritos. El tanque de Altos de Jalisco ya ha sido construido.

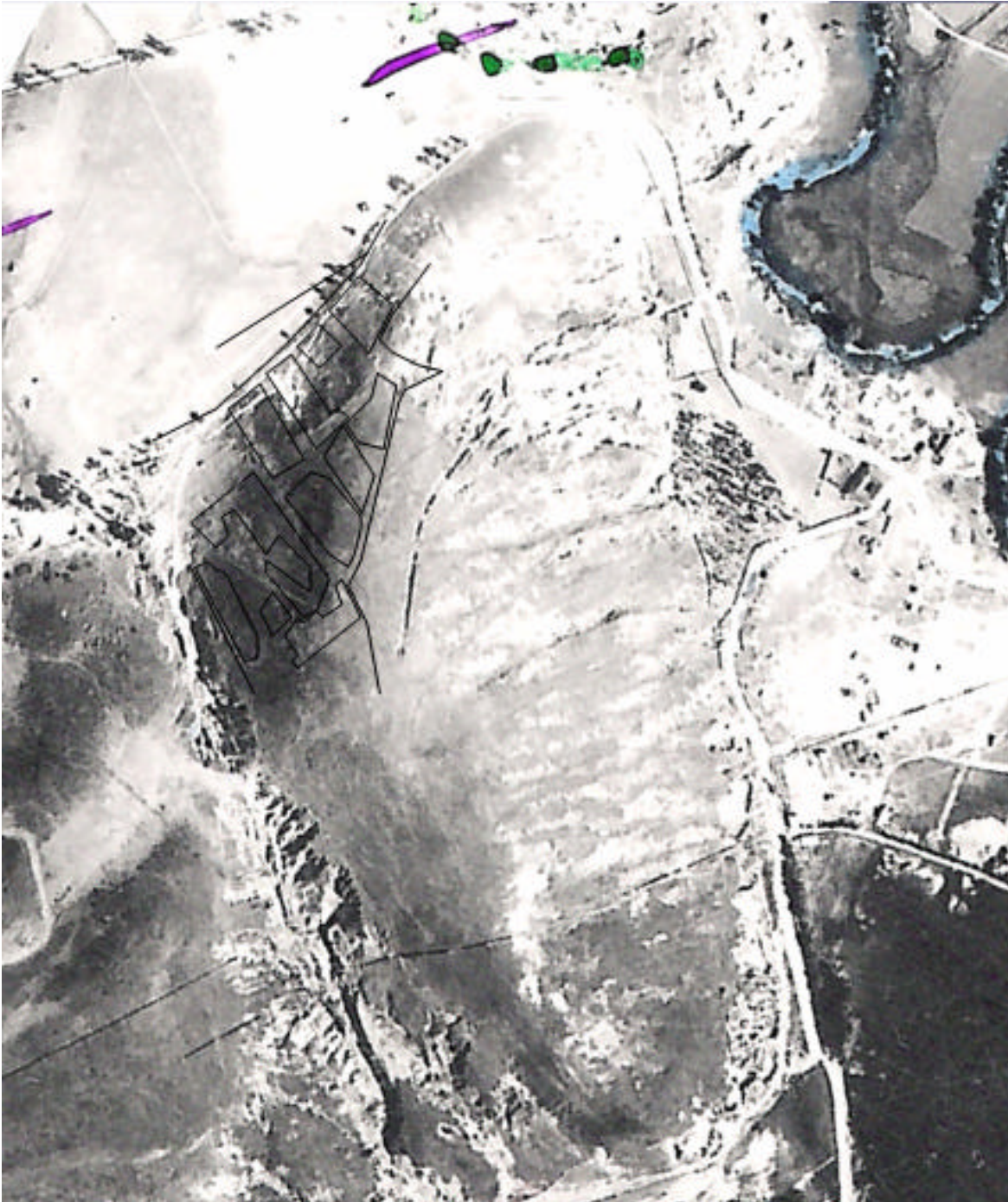
A continuación se presenta el registro de fotos.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.



C-604 (1951). Foto 18. Análisis regional: Sin intervención urbana. Muchas zonas de baja pendiente moderada afectadas por procesos de remoción en masa. En la cobertura vegetal predomina la vegetación herbácea. Nótese los lineamientos fotogeológicos que evidencian la complejidad tectónica del flanco occidental del Sinclinal de Usme. En el recuadro, la zona de estudio.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.



C-604 (1951). Foto 18. Sin intervención urbana. Carcavamiento en la zona de pendiente estructural y en la zona baja ubicada hacia el suroccidente. Evidencias de pequeños procesos de remoción en masa de carácter superficial en la zona de estudio. En la cobertura vegetal predomina la vegetación herbácea. La única vía que existe a esta fecha es la actual calle 62, en la parte baja.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.



R590 (1963) Foto 22. Sin intervención urbana dentro de la zona de estudio. A esta fecha ya ha iniciado la actividad extractiva, con extracción de materiales dentro de la zona de estudio (el actual escarpe ubicado al norte, que en adelante se denominará escarpe norte) Se aprecia carcavamiento en esta cara de la loma (el escarpe de contrapendiente) También existen pequeños caminos de vaca, evidencia de procesos de remoción en masa muy lentos. Ya es evidente la retícula urbanística en la zona plana al occidente (barrio Las Acacias)

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.



C-1732 (1977). Foto 24. Nótese los caminos de vaca en las porciones de ladera con mayor pendiente. El escarpe norte ha avanzado ladera adentro, y en esta imagen es evidente el estilo de extracción, con despate y desplome de macizo rocoso, dejando barrancos sub-verticales. La urbanización ya existe en la zona de estudio, con la totalidad de las manzanas que colindan con la calle 62. También se aprecia la subverticalidad del escarpe que fue cubierto por concreto lanzado, ubicado al suroccidente, adyacente a la zona de estudio. La fotografía aérea presenta una pequeña distorsión angular.



Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.



R1131 (1990) Foto 2140. La configuración urbanística es similar a la actual. Al parecer la actividad extractiva ya había finalizado para esta época (por un lado ya existen viviendas en la parte alta del talud del escarpe norte y por otra se observa vegetación en la parte baja) y existen evidencias de inestabilidad por caídas y flujos de detritos.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

#### **4.12 RESUMEN DEL CAPÍTULO**

Se ubica la zona de estudio en la Formación Regadera compuesto de arenisca con intercalaciones lenticulares de lodolita. La zona de estudio se ubica en el flanco occidental del Sinclinal de Usme.

El Mapa Geológico de Ingeocim-DPAE (1999)<sup>15</sup> mostrado en la Figura 4.1 incluye una falla de cabalgamiento (Falla de Mochuelo) que hace desaparecer parte del Grupo Guaduas (el Mb. Superior), la Formación Cacho y la mayor parte de la Fm. Bogotá. El trazo de falla se ubica 100 metros al occidente de la zona de estudio.

Se identificaron rocas de tipo lodolítica y areniscas, suelos residuales de los mismos materiales, depósitos coluviales antiguos estables y rellenos antrópicos de bajo espesor.

A nivel estructural se midieron y analizaron las familias obteniendo dos familias de discontinuidades.

---

<sup>15</sup> 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.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

## **ANEXO 4-1 DATOS DE DISCONTINUIDADES**

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

## **ANEXO 4-2 ANALISIS MINERALÓGICO**

## **5 COBERTURA VEGETAL Y USOS DEL SUELO**

### **5.1 CATEGORIAS DE CLASIFICACIÓN**

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.

Se define como cobertura vegetal a suelos orgánicos delgados con pastos delgados o arbustos bajos.

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.

#### **5.1.1 ÁREAS URBANAS CONSOLIDADAS (ZUP)**

Constituye aquellas áreas cien por ciento consolidadas (construcciones y vías). Estas zonas están limitadas por bordes de muros, bordes de escaleras, las cuales se encuentran en general en sentido oriente – occidente y ocupando toda la ladera, calles peatonales pavimentadas con sus respectivas zonas de servicios.

Esta área está particularmente ubicada hacia el barrio Gibraltar I sector y el sector La Esperanza del barrio Las Acacias.

#### **5.1.2 AREAS URBANAS SIN PAVIMENTAR (ZUSP)**

Constituye zonas suburbanas, no pavimentadas, adecuadas con material de relleno o construidas sobre la roca y o depósitos de suelo. La comunidad ubica las viviendas sobre estos materiales con servicios pero sin la generación de vías adecuadas internas.

En general el acceso se realiza por medio de calles peatonales pavimentadas adyacentes. Los habitantes carecen de infraestructura urbana. Esta zona se ubica especialmente hacia la parte alta del sector de Altos de Jalisco. Estas áreas no corresponden a loteo sin consolidar ya que estas se incluyen en la zona PN.

### **5.1.3 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.

En la zona de estudio se presenta estas zonas con alguna intervención antrópica como cortes de capa vegetal, bajos espesores de suelos y manejo de drenaje bajo a nulo especialmente en lotes sin consolidar.

### **5.1.4 ERIALES (E)**

Corresponde a las áreas de canteras y afloramientos de roca, desprovistos de vegetación, con diferentes grados de erosión. Presentan limitaciones para el crecimiento de la vegetación u otro tipo de cobertura.

Esta área tiene dos connotaciones en la zona de estudio: la primera hacia el barrio Gibraltar I sector donde hace referencia a un antiguo escarpe minero abandonado con posibilidad alta de caída de bloques con un muro de contención o barrera en concreto, y segundo hacia el barrio Altos de Jalisco con zonas de antigua cantera con obras de mitigación tal como concreto lanzado, malla y pernos, así como empradización. En este estudio tiene mas importancia la primera zona por las posibilidades del evento.

## **5.2 CONDICIONES DE LA URBANIZACIÓN**

De acuerdo a los mapas obtenidos del IGAC de 1981 y las planchas catastrales de legalización de los barrios se tiene los siguientes comentarios:

- ? La zona del barrio Gibraltar I sector se encuentra tal y como se visualizaba en el año 1981, con una fuerte intervención urbana hacia la parte baja y alta del escarpe con barrios como las Acacias y Domingo Lain. No existe ningún plantemiento de zona de verde ni puntos comunales ya que el sector pertenece a un gran barrio como lo es Gibraltar el cual cuenta con su propia infraestructura. El sector nació incorporado a la zona de Gibraltar teniendo en cuenta como zona verde lo que actualmente se conoce como Bosque I Sector.
- ? Hacia la parte alta de la zona de estudio en el barrio Altos de Jalisco, las zonas existentes de lotes e intervención urbana no corresponden especialmente hacia las viviendas que colindan con el escarpe intervenido en 1999. Estas viviendas que se ubican en una zona ZUSP no cuentan con infraestructura porque no fueron incorporados en el plano de legalización. Aun cuando la comunidad dice que estos lotes están legalizados (corroborados por los recibos de servicios públicos) no existe la certeza en el plano de legalización. Esta zona presenta la división de lotes y la pérdida de los límites reales de loteo.
- ? La zona ubicada en la parte superior del cerro, que corresponde al Tanque de la EAAB, ha presentado dos dinámicas importantes, una cuando se construyó el primer tanque en los años 80 y dos con la incorporación de la construcción moderna en el año 2003. Es importante mencionar que el desarrollo de la zona se generó a partir de

la vía que conduce hacia el Tanque la cual parte hoy en día esta pavimentada. En general las viviendas se ubicaron abajo de esta vía.

El uso del suelo en la zona pertenece directamente a viviendas de uno y dos pisos en un 95% aproximadamente. Sobre la vía de entrada principal, carrera 18 Z se presenta comercio y hacia la parte baja del barrio Altos de Jalisco la presencia de depósitos de madera.

Esta información permite concluir que la zona se encuentra en gran medida consolidada, con algunos puntos sin intervención por parte del gobierno y en condiciones inadecuadas de calidad de vida. El aporte de esta información esta orientado a evaluar el uso del suelo actual con el fin de cambiarlo si es el caso por obras de mitigación.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

### **Figura 5-1 Cobertura vegetal y usos del suelo**



## **6 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA**

Para determinar las características y propiedades geomecánicas de los materiales que conforman el subsuelo, se adelantaron una serie de actividades de exploración del subsuelo consistente en perforaciones mecánicas, trincheras, apiques y ensayos de laboratorio. En este numeral se describen los resultados alcanzados, el análisis y zonificación geotécnica y parametrización para la valoración de amenaza en la zona.

La información obtenida en este capítulo fue consolidada con el capítulo 4 – Geología, con el fin de plantear los perfiles de análisis. Es decir se confrontó la información obtenida en profundidad con los sondeos, las líneas sísmicas con la obtenida del trabajo de campo y fotointerpretación de la Geología y Geomorfología.

### **6.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO**

De acuerdo con las condiciones de la zona de estudio, se estableció el plan de exploración presentado en el Plano 1 – Geología con el objeto de establecer las principales condiciones del subsuelo en relación con la distribución de los materiales y su comportamiento mecánico. La exploración del subsuelo contempló métodos directos como sondeos, apiques, trincheras y métodos indirectos como línea sísmica y medidas de permeabilidad.

El programa de exploración contempló la ejecución de treinta y un sondeos, dos trincheras, cuatro apiques, tres líneas sísmicas y siete puntos de obtención de muestras en toda el área de estudio con el fin de establecer o caracterizar la estratigrafía allí presente y obtener la información básica para el desarrollo del estudio, especialmente los perfiles de análisis o secciones para la estabilidad de la zona y posterior análisis de amenaza.

#### **6.1.1 Sondeos Mecánicos, Apiques y Trincheras**

Se realizaron 31 sondeos con profundidad variable entre 1 y 10 m durante los cuales se recuperaron muestras de los materiales encontrados, permitiendo 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.

Además, se ejecutaron 2 trincheras y 4 apiques. Las trincheras permitieron identificar sobre un perfil los diferentes materiales existentes, como complemento a la labor geológica. Los apiques permitieron obtener muestras inalteradas de bloque de mejor calidad y tamaño para facilitar el tallado de muestras.

Se ejecutaron además 7 puntos de obtención de muestras en taludes en roca y de bloque en suelo.

La distribución de los sondeos mecánicos presentada anteriormente, permitió identificar la secuencia estratigráfica de materiales y corroborar información de geología regional y local. En el Anexo 6.1 se presentan los resúmenes gráficos de los registros de cada una

de las perforaciones realizadas (información procesada y de campo). Las profundidades alcanzadas se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 6-1 Profundidades de sondeos**

SONDEO No.	PROFUNDIDAD (M)		
	SUELO	COLUVIÓN	ROCA
1	4.05		
2	0.85		
3	0.50		
4	1.90		
5	7.00		
6	2.50		
7	5.50		2.00
8	2.00		3.00
9	7.00		3.00
10	2.00	2.00	2.00
11	1.15		
12	1.50		
13	2.50		
14	4.95		
15	2.10		
16	3.30		
17	1.05		
18	1.55		
19	2.70		
20	1.85		
21	1.95		
22	2.85		
23	2.55		
24	0.75		
25	2.10		
26	2.00		
27	2.00		
28	1.05		
29	3.25		
30	2.60		
31	3.00		
<b>TOTAL</b>	<b>80.05</b>	<b>2.00</b>	<b>10.00</b>

En la propuesta se planteó la ejecución total de 80 metros lineales en suelo y 12 metros lineales en roca. Estos metros lineales fueron desarrollados en su totalidad.

En la Tabla siguiente se presenta la relación de profundidades y longitudes logradas con los apiques y trincheras respectivamente:

**Tabla 6-2 Profundidades y longitudes de Apiques y trincheras**

<b>Exploración</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Longitud (m)</b>
Apique AP-1	0.50	
Apique AP-2	0.35	
Apique AP-3	0.75	
Apique AP-4	0.75	
Trinchera TR-1		6.35
Trinchera TR-2		7.80
TOTAL	2.35	14.15

De la propuesta se encontraba programado 10 ml de trinchera y 10 ml de apiques. No se ejecutaron más apiques en razón a la presencia directa de roca y a la cantidad suficiente de sondeos.

En total se obtuvieron 85 muestras alteradas del ensayo de penetración estandar – SPT por medio de la cuchara partida y 2 muestras de tubo de pared delgada - shelby. Los ensayos de laboratorio se presentan en el Anexo 6.2

Los sondeos, trincheras y apiques permitieron definir el siguiente perfil general:

- ? Capa vegetal: espesor inferior a 0.50 m
- ? Rellenos de origen antrópico: ubicados especialmente en la zona B en Altos de Jalisco con espesores que varían en promedio entre 1.0 y 3.0 m de espesor,
- ? Depósito coluvial. Ubicado en algunos puntos de la zona B en Altos de Jalisco con espesores no mayores a 1 m
- ? Suelos residuales de arenisca y/o arcillolita. Se ubica a lo largo de la zona con espesores no mayores a 2.0 m.
- ? Roca de arenisca y lentes de arcillolita. Se ubica a lo largo de la zona, con presencia de escarpes y/o ubicado a una profundidad no mayor a 4 m medido desde la superficie del terreno.

### **6.1.2 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, información incluida en el Anexo 6.3

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

En el proceso de rotación en roca el valor de RQD fue de cero, recuperando muestras pero con longitudes menores a 10 cm. El % de recobro fue inferior al 15% debido a las condiciones pobres de resistencia ante el agua y al grado de fracturamiento alto de la roca por el sistema de fallas existentes.

En la mayoría de los sondeos, no se detectó presencia de agua, a excepción de dos sondeos realizados en la parte baja, en los cuales durante la perforación se encontró el nivel freático. El nivel de agua en la zona se ha determinado en algunas viviendas como humedad importante o como filtración sobre las paredes de lote. En una casa de la zona se presenta el goteo de agua en el talud con un caudal importante diario. De esta vivienda se tomó una muestra resultados que se presentan posteriormente en el numeral 6.6 de este informe.

Para evaluar las condiciones de permeabilidad se realizaron ensayos de campo por medio de la metodología propuesta por A. González<sup>16</sup>, realizando un pequeño agujero, midiendo sus dimensiones, colocando agua dentro y midiendo el tiempo de drenaje de la misma.

### **6.1.3 Líneas Geosísmicas**

Adicionalmente, con el fin de complementar la información geotécnica del subsuelo obtenida por métodos de exploración directos, se realizó tres líneas de exploración geosísmica de refracción.

Estas líneas permiten obtener los contornos en profundidad entre estratos de suelo, roca fracturada y roca fresca, complementando los perfiles desarrollados geotécnicamente y de esta forma el modelo final de análisis,

Además este análisis permite determinar la profundidad de roca y las velocidades de ondas de compresión [ $v_p$ ] de los estratos que conforman el subsuelo.

Luego de la definición y localización en campo de la línea se procedió a la adquisición de datos y posteriormente a la interpretación en la oficina. La adquisición de datos se realizó empleando un sismógrafo marca Geometrics de 12 canales computarizado; geófonos; cables y demás accesorios necesarios. El equipo cuenta con software de recepción de

---

<sup>16</sup> 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.

datos, control de calidad e interpretación, por lo que la información es almacenada en medio digital.

La línea de refracción de 100m de longitud se realizó con separación de geófonos de 9 m. En la figura 6.1 se muestra la localización de las líneas sísmicas ejecutadas.

El sistema de activación fue con golpes con martillo sobre una platina metálica y se hizo el proceso de generación de ondas en cuatro puntos (denominados shotpoint) y cada registro tiene los tiempos de llegada de los doce geófonos.

La interpretación se hizo empleando el software SIP (Seismic Interpretation Programs) que cuenta con varios programas para aplicaciones específicas dentro del proceso de interpretación (Rimrock Geophysics, 1995). El método que utiliza el programa es conocido como "Delay Times" ó tiempos de retraso, el cual tiene las siguientes fases de interpretación:

- ? Tiempos de llegada de las ondas: Estos tiempos se definen con el empleo del programa SIPIK de una manera semiautomática, marcando los tiempos de llegada de las ondas.
- ? Entrada de datos y creación de archivos: Corresponde al proceso de generación de los archivos de cada línea sísmica o spread, la cual se compone de cuatro registros correspondientes a cada shotpoint y cada registro tiene los tiempos de llegada de los doce geófonos. El programa utilizado en este proceso se llama SIPIN.
- ? Tiempos de retraso: Se asignan en forma semiautomática las capas a las que pertenece cada lectura de tiempos de llegada reuniendo los resultados en la gráfica Tiempo-Distancia. En este proceso, el programa estima las velocidades, espesores y profundidades de las capas.
- ? Revisión: Usualmente es necesario calcular de manera iterativa cada línea sísmica hasta obtener velocidades similares para cada capa. Es de notar, que entre mayor sea la complejidad de los perfiles estratigráficos mayor será el número de iteraciones. Adicionalmente, para este proceso se realiza la consulta de información geológica y geotécnica con el fin de establecer correlaciones entre velocidades, espesores y materiales.
- ? Interpretación final: Luego de obtener un modelo matemáticamente satisfactorio en el proceso anterior, nuevamente se realiza una comparación con la información litológica y estructural; y con los registros de perforación cercanos a cada línea. En esta etapa normalmente es necesario reinterpretar y ajustar los modelos previamente definidos.

En el ANEXO 6-5 se presenta el perfil promedio obtenido a partir de la exploración con la línea de exploración geosísmica, en la cual se definieron 3 materiales. En la Tabla 6-3 se presenta un resumen de los rangos de velocidades y espesores obtenidos para cada capa en cada línea.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

### **Figura 6-1 Localización de líneas sísmicas**

**Tabla 6-3 Velocidades y espesores de las capas obtenidos en la exploración geofísica**

Línea de refracción		Velocidad, $v_p$ [m/s]	Espesor [m]
LR1	Capa 1	414	0.1 – 1.8
	Capa 2	1241	2.6 – 10.4
	Capa 3	2196	-
LR2	Capa 1	257	0.0 – 1.1
	Capa 2	579	1.6 – 4.7
	Capa 3	2637	-
LR3	Capa 1	397	0.0 – 1.9
	Capa 2	1486	11.0 – 16.1
	Capa 3	3146	-

En general, los resultados muestran que la velocidad aumenta con la profundidad, siendo la capa 3 la correspondiente a la roca, con velocidades mayores a 2000 m/s. La capa 1 que tiene una velocidad compresional entre 257 y 414 m/s, corresponde a depósitos coluviales y/o rellenos antrópicos con espesores muy variables ya que tiene entre 10 centímetros y 2 metros. Para la capa 2, la velocidad aumenta entre 1241 y 1486 m/s y llega hasta profundidades variables entre 3 y 16 metros, normalmente esta velocidad representa una roca muy fracturada. En la línea LR2 se encontró una capa 2 con una velocidad de onda de 579 m/s, la cual hace presumir la presencia de lentes de arcillolita y/o suelos residuales de arenisca y arcillolita los cuales se encuentran muy alterados en zona de brecha de falla. Finalmente, la capa 3, corresponde al basamento y la velocidad hallada entre 2196 y 3146 m/s es representativa de una roca relativamente sana, tipo arenisca con intercalaciones de arcillolitas.

Como se muestra finalmente los espesores de la capa 1 son muy delgados comprobando la exploración de los sondeos y de esta forma mejorando los perfiles de las secciones de análisis. La roca fracturada mencionada como capa 2 se ubica hasta los 16 m en algunos casos, consolidando el modelo de que la presencia de roca y su calidad es variable pero en general de buenas condiciones de estabilidad.

Con la estratigrafía mencionada anteriormente y los perfiles desarrollados por la línea sísmica, así como la información de perforaciones, apiques y trincheras, la geología desarrollada, se consolidó e incorporó esta información en las secciones de análisis del Plano 4 de este informe.

En la propuesta del consultor se plantearon 4 líneas sísmicas. Solo se desarrollaron 3 tal y como se presentó anteriormente.

## 6.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

Sobre las muestras obtenidas de los sondeos ejecutados se desarrollaron ensayos de clasificación, compresión inconfinaada, desleimiento, bloque deslizantes entre otros ensayos. En el Anexo 6.2 se presenta los resultados de laboratorio ejecutados.

En la Tabla siguiente se presenta la cantidad de ensayos de laboratorio realizados:

**Tabla 6-4 CANTIDADES DE ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS**

<b>Ensayo de laboratorio</b>	<b>Cantidad</b>
Contenido de humedad natural	43
Lavado sobre tamiz No. 200	36
Límites de consistencia	37
Peso unitario	15
Compresión inconfinaada (suelo)	9
Compresión simple (roca)	9
Carga puntual	5
Corte directo en suelo	4
Corte directo en roca	4
Bloque deslizante	9
Sección delgada y petrografía	1
Sulfatos, aluminio y amonio	2

## 6.3 CARACTERIZACION DE MATERIALES

La caracterización geomecánica, tanto de los materiales como de las discontinuidades, se hizo con base en los resultados obtenidos en el programa de investigación del subsuelo, ensayos de laboratorio y las condiciones geológicas y geomorfológicas.

La caracterización se realizó a partir de las unidades litológicas del subsuelo y para lo cual se correlacionaron las descripciones geológicas con los resultados de las pruebas de campo y laboratorio ejecutados y de esta forma se estableció la Zonificación Geotécnica.

### 6.3.1 MATERIALES

En los siguientes numerales se presenta la descripción de cada material detectado en el sitio del proyecto.



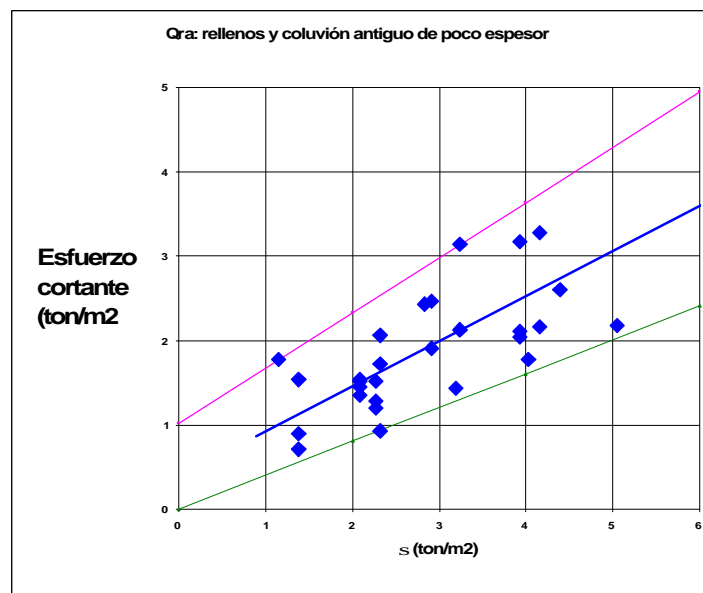
### Rellenos antrópicos y Coluvión

Los puntos donde se apreció el coluvión se presenta como clasto - soportado con espesores no superiores a 1m, que se encuentra compuesto por fragmentos de arenisca en matriz areno-arcillosa color negro a violeta, de humedad y plasticidad baja. Se ubican en forma escasa en la ladera y sin continuidad aparente debido a la intervención antrópica de la comunidad. El coluvión es antiguo y estable. El número de golpes registrado en la prueba de penetración estándar, N, fue mayor a 50 y por ello fue necesario realizar rotación en este tipo de material.

Los rellenos presentes corresponden a materiales depositados para permitir la conformación de los taludes y posteriormente la construcción. Presentan en promedio espesores no mayores a 1.5 m pero algunos puntos en la ladera pueden tener del orden de 3 a 4 m. que clasifica su fracción fina en el Sistema de clasificación unificado como CL, CH. Presentan humedades entre baja y media, con una granulometría uniforme. En general los rellenos son derivados de actividades antrópicas, tales como: actividades mineras, botaderos de material de construcción y basuras en un menor grado.

En la Figura siguiente se presenta la evaluación del ángulo de fricción y cohesión pico y residual, utilizando la metodología planteada por el Ing. Álvaro González (1999)<sup>17</sup>.

**Figura 6-2 Resistencia a partir de SPT: Rellenos y coluvión Qra**



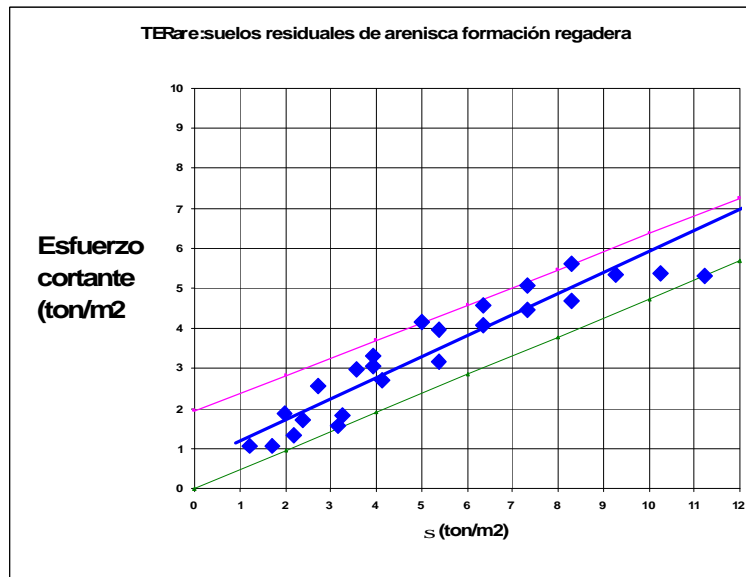
### Suelo residual de arenisca – TERare

<sup>17</sup> 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.

Los suelos provenientes de la arenisca de la formación regadera presentan en promedio espesores de menos de 2,0 m. La plasticidad es baja con valores de IP inferiores a 10 clasificando su fracción fina como CL-ML y con porcentajes de arena fina superiores a 65%. Este tipo de suelo se presenta en la gran mayoría del área de estudio.

En la Figura siguiente se presenta la evaluación del cálculo del ángulo de fricción y cohesión pico y residual, utilizando la metodología planteada por el Ing. Álvaro González (1999)<sup>18</sup>.

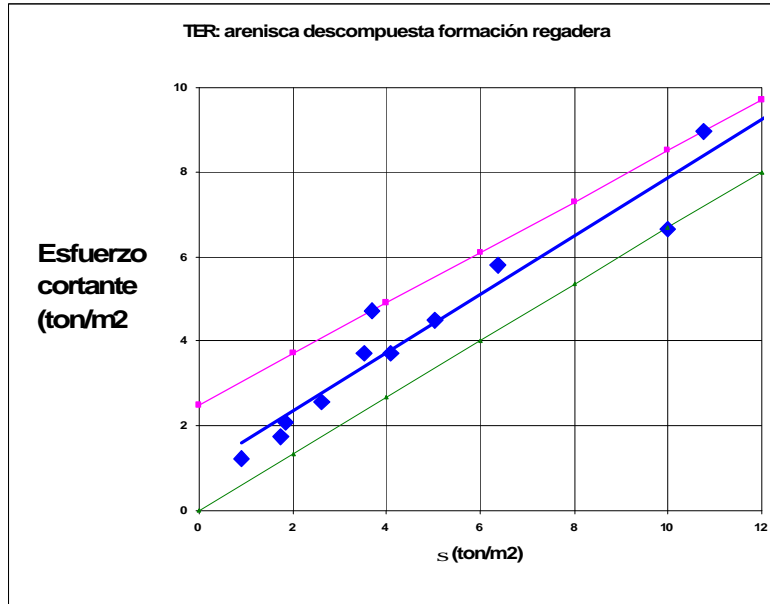
**Figura 6-3 Resistencia a partir de SPT: suelos residuales de arenisca TERare**



En algunos puntos de la arenisca de la formación regadera se obtuvo valores de N para la roca fracturada y casi natural la cual se identificó como “descompuesta”. En la Figura siguiente se presenta el valor de N obtenido en campo para estos materiales:

<sup>18</sup> 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.

**Figura 6-4 Resistencia a partir de SPT: roca de arenisca descompuesta**



#### Suelo residual de lodolita – TERlod

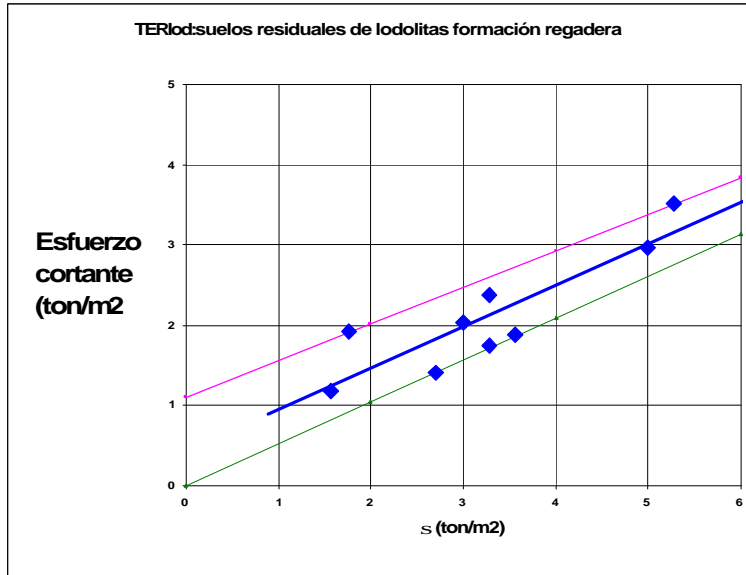
En algunos puntos de la zona se presentan suelos residuales de lodolita. Tal y como se expuso en el capítulo de geología estos niveles son lenticulares y por tanto no se puede determinar su continuidad. De esta forma en algunos sondeos se detecto suelos que provienen de este tipo de roca y por ello se incluyó en el análisis.

Estos suelos presentan en promedio espesores menores de 1,5 m. La plasticidad es variable con valores de IP desde 6 hasta 38 clasificando su fracción fina como CL a CH con porcentajes de pasa tamiz mayores a 40%.

En la Figura siguiente se presenta la evaluación del ángulo de fricción y cohesión pico y residual, utilizando la metodología planteada por el Ing. Álvaro González (1999)<sup>19</sup>.

<sup>19</sup> 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.

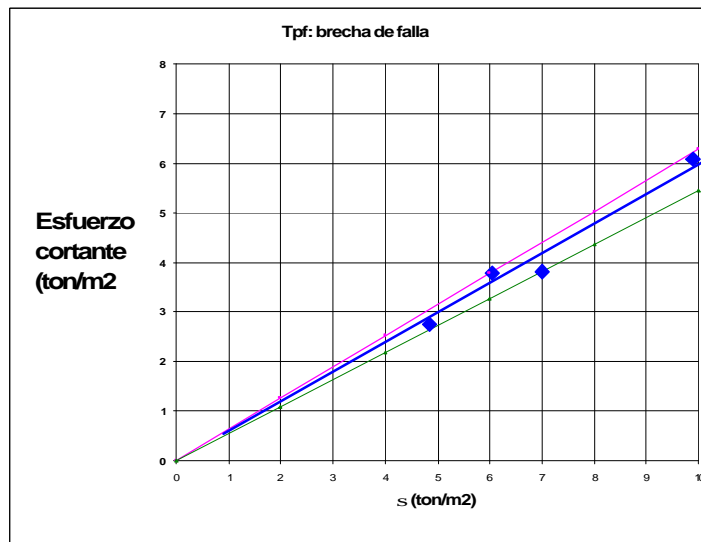
**Figura 6-5 Resistencia a partir de SPT: suelos residuales de lodolita TERlod**



### Brecha de falla Tpb

En la zona del escarpe minero se presenta un área de brecha de falla compuesto de arcilla arenosa de color rojizo de alta plasticidad con % de arcilla de 42% y 58% de arena. En la figura siguiente se presenta la evaluación de la resistencia del material y su envolvente determinada:

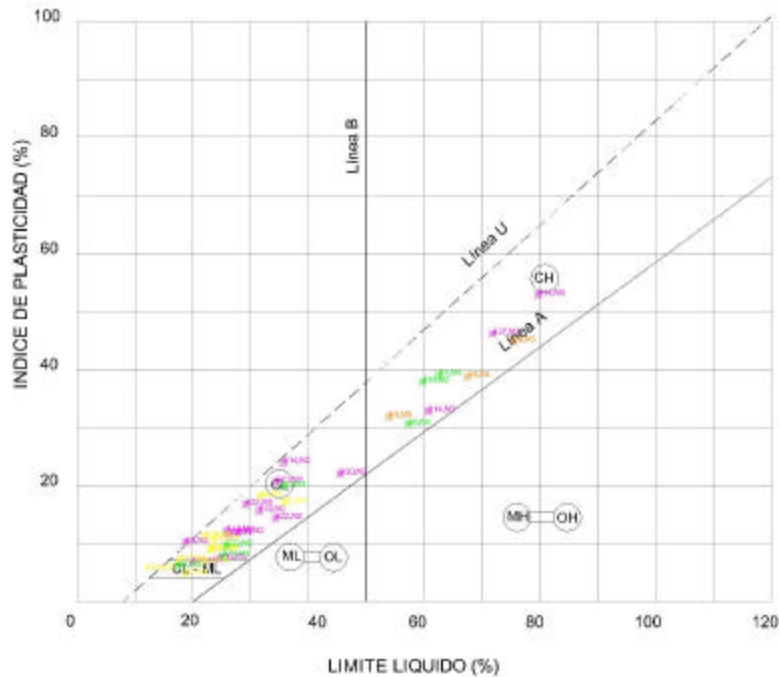
**Figura 6-6 Resistencia a partir de SPT: brecha de falla Tpb**



### 6.3.2 RESULTADOS DE ENSAYOS EN MATERIALES

En la siguiente figura se presenta los resultados de plasticidad obtenido en los diferentes materiales descritos anteriormente:

**Figura 6-7 gráfico de plasticidad – materiales de análisis**



Con color amarillo se identifican los suelos residuales de arenisca – TERare. Con color verde se identifican los suelos residuales de lodolita – TERlod. Con color morado se identifican los rellenos antrópicos y coluviones antiguos. Con color café se identifica la brecha de falla.

En el Anexo 6.2 se presentan los resultados de plasticidad para cada tipo de suelo identificado.

Se realizaron cuatro cortes directos en los diferentes materiales obteniendo los siguientes resultados:

TIPO	$C_{max}$ ( $t/m^2$ )	$\gamma$ (max)	$C_{min}$ ( $t/m^2$ )	$\gamma$ (min)	MUESTRA
TERare	0.30	31.70	0.00	19	PT14
Qra	3.00	28.60	0.70	19	S14M1
Qra	5.00	35.00	1.00	16	S13M1
TERare	1.50	31.10	0.00	21	PT16

No fue posible técnicamente obtener una muestra de suelo residual de lodolita por su ubicación espacial al ser lenticular o por las condiciones de alta resistencia en los pocos escarpes existentes. Con las perforaciones con rotación este material se desintegra totalmente.

En la tabla siguiente se presenta los resultados obtenidos por el ensayo de penetración estandar normalizado, en condición pico y residual:

**Tabla 6-5 Parámetros en suelo**

<b>MATERIAL</b>	<b>TIPO</b>	<b>c<sub>max</sub> (t/m<sup>2</sup>)</b>	<b>?(max)</b>	<b>c<sub>min</sub> (t/m<sup>2</sup>)</b>	<b>?(min)</b>
Roca: arenisca descompuesta	TER	2.508	30.9	0.000	33.7
Suelo residual de arenisca	TERare	1.928	23.9	0.000	25.4
Suelo residual de lodolita	TERlod	1.112	24.5	0.000	27.6
Rellenos y coluvión	Qra	1.011	33.3	0.000	21.9
Brecha de falla	Tpf	0.000	32.2	0.000	28.5

#### **6.4 CONDICIONES DE LA ROCA- ARENISCA**

Se realizaron ensayos de compresión inconfiada en roca y carga puntual en testigos de roca de arenisca (Para la lodolita no fue posible obtener un núcleo para realizar este tipo de ensayos por su profundidad, condición lenticular y/o calidad existente – alterada a suelo)

En la tabla siguiente se presentan los resultados obtenidos en roca:

**Tabla 6-6 Compresión en roca**

No.	PUNTO	MUESTRA	? t (g/cm3)?	CARGA MÁXIMA (KG)	ESFUERZO MÁXIMO (KG/CM2)
1	2	1	2.358	7390.00	387.13
2	2	5	2.299	5550.00	288.40
3	4	7	2.065	223.00	13.13
4	9	-	2.036	1840.00	97.57
5	10	-	1.919	298.00	16.47
6	12	-	2.055	1600.00	83.14
7	13	-	1.996	470.00	23.94
8	15	-	1.808	223.00	12.17
PROMEDIO			2.067	2199.25	115.24
MAXIMO			2.358	7390.00	387.13
MÍNIMO			1.808	223.00	12.17
DESVIACION ESTANDAR			0.183	2753.59	143.62

En la tabla siguiente se presenta los resultados de carga puntual realizados:

**Tabla 6-7 Carga puntual**

CARGA PUNTUAL	MUESTRA	Is PROM (KG/CM2)
AP2	6	1.71
PUNTO 3	5	2.2
PUNTO 1	4	2.84
PUNTO 7	3	31.43
PUNTO 5	2	1.8
MÁXIMO		31.43
MINIMO		1.71
PROMEDIO		8.00

En una muestra de arenisca se realizó un ensayo de desleimiento en agua obteniendo en 30 minutos aproximadamente un suelo arenoso, perdiendo totalmente su condición de roca.

En el ensayo de desleimiento y durabilidad se obtuvo en una muestra un Id de 98% a 500 revoluciones y en otra en la revolución 400 se desintegro totalmente.

La arenisca de la zona es friable, deleznable y aparentemente soluble.

### **ANALISIS MINERALÓGICOS**

Debido a que la roca de arenisca se solubiliza sumergiéndola en agua se desarrolló un análisis mineralógico que permitiera determinar las causas de esta situación.

De esta forma se realizó una sección delgada y posteriormente el análisis mineralógico en una muestra de arenisca de color naranja obteniendo los siguientes resultados:

- ? El predominio de tamaño de grano es de arena fina.
- ? El porcentaje de arcilla y óxidos de hierro es de 11.4% poco cementada y deleznable.
- ? Texturalmente la forma de los granos son subangulares a subredondeados (éste último en los tamaños arena media) y la esferidad es baja.
- ? La muestra contienen cristales de cuarzo monocristalino, policristalino fino y muy fino con algunos granos micro y criptocristalino (chert), plagioplasas y fragmentos de roca, volcánicos metamórficos y sedimentarios. La matriz es arcillosa – ferruginosa, contiene muy poco cemento siliceo.
- ? Clasifica como Sublitoarenita.

La conclusión obtenida es que la componente de la matriz arcillosa es fácilmente lavable generando cambios importantes de plasticidad perdiendo sus condiciones de aglutinante con los granos de arena cuando se encuentra sumergida. En condiciones normales de lavado se degrada pero sin perder las condiciones de la roca.

## **6.5 DISCONTINUIDADES**

Las discontinuidades fueron descritas a partir de la información obtenida de los afloramientos, tomando como base los procedimientos sugeridos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, ISRM – 1981<sup>20</sup>. En los afloramientos rocosos se tomaron datos estructurales (azimut de buzamiento y buzamiento) y propiedades de las discontinuidades.

En general, los planos de estratificación, son secos; de persistencia media a poco continua; con separación que varía de 5cm a 20cm, con abertura ligeramente cerrada a abierta y relleno de limo u otros. Las paredes son rugosas.

### **Pruebas de bloque deslizante**

Para la determinación de la resistencia al deslizamiento entre discontinuidades, se realizaron pruebas de bloque deslizante en condición seca. Las muestras fueron tomadas de manera que comprendieran en su interior una sección de un plano de discontinuidad.

En la Tabla siguiente se presenta un resumen de los datos obtenidos de bloque deslizante en muestras de la zona de estudio:

---

<sup>20</sup> ISRM. Rock characterization testing and monitoring – suggested methods. ET Brown pergamon press. 1981.



**Tabla 6-8 Resumen de datos de bloque deslizante**

PUNTO	AREA (cm2)	Peso bloque superior (gr)	Peso bloque inferior (gr)	ANGULO MEDIDO												PROM.
				24	26	18	25	24	23	25	24	21	22			
PT5	132.4	719.0	3531.0	24	26	18	25	24	23	25	24	21	22		23.20	
PT18	126.4	523.4	3460.6	45	40	35	35	40	38	35	35	37	35		37.50	
A	47.5	280.5	746.3	47	45	48	45	45	47	47	47	45	45	47	46.18	
PT20	148.2	1678.8	3043.6	57	60	55	55	50	53	50	49	50	52	54	53.18	
B	110.0	842.1	2254.0	47	45	42	42	40	43	42	40	40	42	42	42.27	
C	157.5	2075.0	4750.0	40	38	40	37	37	35	37	40	38	37		37.90	
D	108.0	839.6	2075.3	42	40	37	35	35	32	35	33	33	35		35.70	
A <sub>R</sub>	47.5	280.5	839.6	45	44	44	42	42	43	43	43	42	43	43	43.09	
D <sub>R</sub>	108.0	746.3	2075.3	39	38	36	37	36	33	34	35	34	32		35.40	
<b>PROMEDIO</b>															39.88	
<b>DESVIACION ESTANDAR</b>															9.08	
<b>X+?</b>															48.96	
<b>X-?</b>															30.80	
<b>MAXIMO</b>															53.18	
<b>MINIMO</b>															23.20	

Las muestras a excepción de PT5 fueron obtenidas en la zona del escarpe minero. La discontinuidad de la muestra marcada como A<sub>R</sub> y D<sub>R</sub> fue humedecida previamente y nuevamente ejecutado el ensayo obteniendo valores ligeramente inferiores al inicialmente ejecutado. Esto con el fin de evaluar las condiciones con lluvia en la zona.

#### **Ensayos de corte directo en discontinuidad**

Se lograron realizar cuatro ensayos de corte directo en discontinuidad de arenisca de muestras obtenidas del escarpe en la zona A – Gibraltar I Sector en condición inundada obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 6-9 Corte directo en discontinuidad de roca de arenisca**

MUESTRA	PICO	
	c (t/m <sup>2</sup> )	??
PT-18 ESCARPE	0.60	33.70
PT-1 M4	0.10	13.70
PT-5 M1	2.20	31.10
BLOQUE B M1	0.20	17.10

## **6.6 CONDICIONES DE AGUA**

En solo dos sondeos ubicados hacia la parte baja se detecto la presencia de agua, para las demás exploraciones realizadas no se detecto presencia de agua. Algunas casas presentan niveles altos de humedad en paredes, especialmente las viviendas ubicadas

hacia la parte media de la ladera. Se obtuvieron dos muestras de agua las cuales se encuentran marcadas como A-1 y A-2 en el Plano 2 de este proyecto.

En una vivienda ubicada a media ladera (A-1), existe un lloradero natural de agua de donde se obtuvo una muestra la cual fue enviada al laboratorio. Se evaluaron sulfatos y aluminio para descartar entre agua natural y agua de llave y amonio para descartar agua natural y agua residual. Los resultados de esta muestra se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 6-10 Análisis de muestra de agua A-1**

<b>Parámetro medido</b>	<b>Valor</b>
Sulfato SO <sub>4</sub>	77,0 mg/l
Aluminio Al	<0,36 mg/l
Amonio NH <sub>4</sub>	0.75 mg/l

Los valores obtenidos muestran que se puede considerar el agua de origen natural. Con la permeabilidad media encontrada el agua drena fácilmente hasta este punto, saturando y drenando en forma desordenada hacia la cara del talud.

Hacia el costado occidente de la zona de estudio se tomo otra muestra de agua obteniendo los siguientes resultados (A-2).

**Tabla 6-11 Análisis de muestra de agua A-2**

<b>Parámetro medido</b>	<b>Valor</b>
Sulfato SO <sub>4</sub>	<0,001 mg/l
Aluminio Al	1,8 mg/l
Amonio NH <sub>4</sub>	119,3 mg/l

De esta muestra se puede decir que es de origen residual, aguas negras que probablemente están saturando el material, generando problemas de estabilidad en los rellenos y suelos residuales, además de generar un problema de medio ambiente importante.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

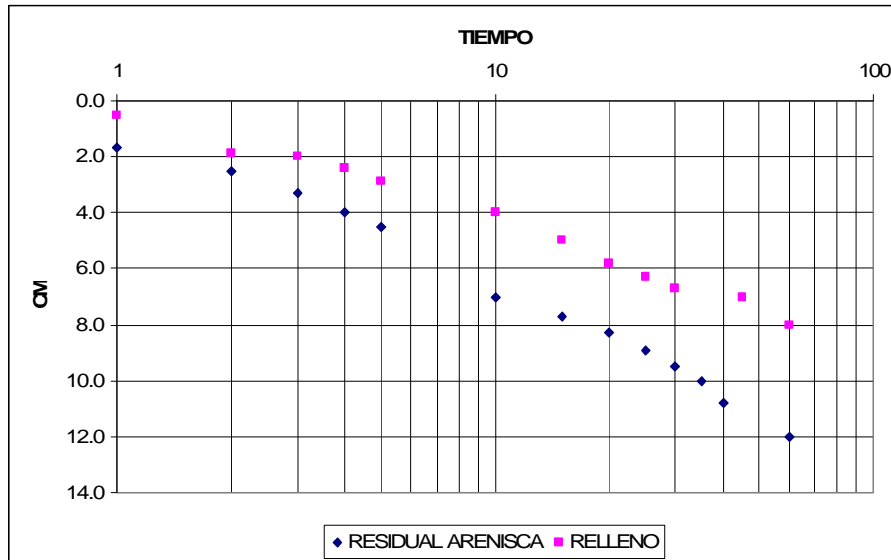
Se realizaron dos ensayos para determinar la velocidad de infiltración del agua en campo, por medio de ensayos de percolación (permeabilidad in situ) siguiendo las recomendaciones del método desarrollado por González (1987)<sup>21</sup>.

Los resultados se presentan en la siguiente figura:

---

<sup>21</sup> 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.

**Figura 6-8 Ensayo de permeabilidad**



Los valores obtenidos se presentan en la tabla siguiente:

**Tabla 6-12 Ensayo de permeabilidad en campo**

Ensayo	Tipo de material	Permeabilidad (cm/s) [cm/h]	Apreciación de la permeabilidad	Localización ensayo
1	Relleno y coluvión antiguo	$2.22 \times 10^{-3}$ [8cm/h]	Media	A media ladera
2	Suelo residual de arenisca	$3.33 \times 10^{-3}$ [12cm/h]	Media	A media ladera

Como se puede observar estos materiales tienen permeabilidad media. Esto implica que el agua se puede infiltrar rápidamente drenando con facilidad hacia puntos inferiores de cota. Esto ayuda a que no se saturen los materiales o se acumule agua que puedan generar una disminución importante de los parámetros geomecánicos, siendo favorable a la estabilidad. Con fines prácticos siendo esta una condición de evaluación conceptual, el agua del análisis de amenaza se contempló ubicado inmediatamente debajo del nivel del terreno en la condición más crítica y sin agua en la condición menos crítica.

## 6.7 ANÁLISIS CINEMÁTICO PARA TALUDES EN ROCA

En este análisis se evalúan los modos probables de falla (planar, volteo y en cuña) para el conjunto de taludes en los que se expresa el macizo rocoso, contrastándolos con los posibles planos de movilización detectados en el levantamiento estructural. La evaluación persigue dilucidar acerca de los modos que sean probables y detectar los planos involucrados en dichos modos.

El análisis debe llevarse a identificar la distancia de viaje probable del bloque crítico. El análisis permite apoyar el manejo de la amenaza y su valor de probabilidad dentro del área de trabajo.

### 6.7.1 Familia de discontinuidades

En el capítulo de geología se presenta la evaluación estructural de macizo rocoso de acuerdo a cada una de las estaciones levantadas en el trabajo de campo, así como el análisis de las familias de discontinuidades de acuerdo las zonas divididas por el sistema de fallas existente en la zona.

En la siguiente tabla se presenta los datos de las familias típicas identificadas para el análisis del macizo rocoso y la estratificación.

**Tabla 6-13 Familia de discontinuidades**

Plano No.	Az. buzamiento ? <sub>d</sub>	Buzamiento ? <sub>d</sub>
E	43	33
D11	162	69
D12	318	85
D21	270	65
D22	93	74

Las familias de discontinuidades se dibujaron en el programa STERONETT con el fin de determinar los puntos de intersección que se utilizaron en el análisis obteniendo los siguientes resultados:

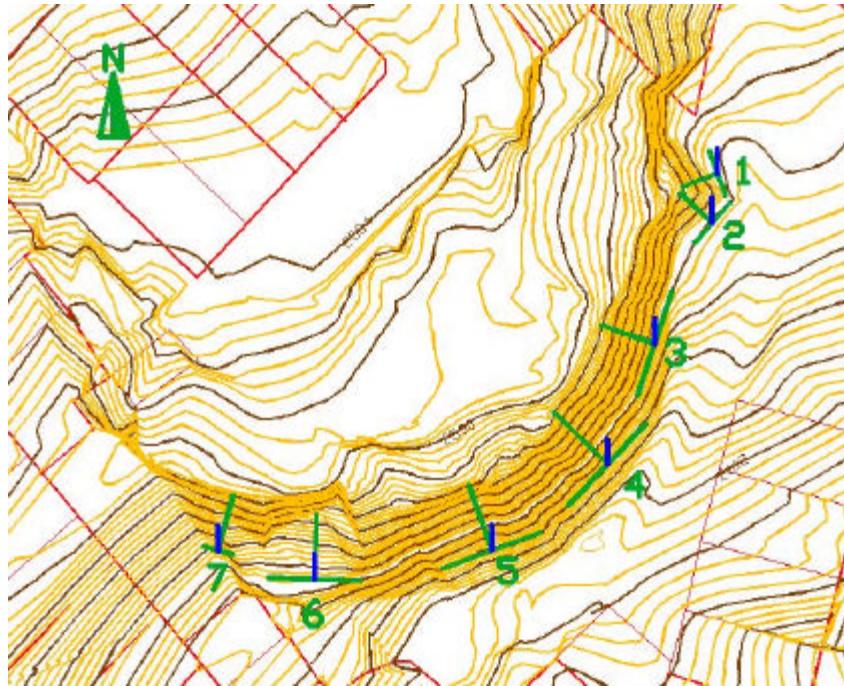
**Tabla 6-14 Datos de intersecciones**

Plano No.	Az. buzamiento ? <sub>d</sub>	Buzamiento ? <sub>d</sub>
ED11	83	27
ED12	44	32
ED21	350	21
ED22	13	29
D11D12	233	42
D11D21	220	54
D11D22	140	67
D12D21	236	61
D12D22	38	64

### 6.7.2 Taludes de estudio

Se identificaron en la zonificación geomorfológica una zona probable de caída de bloque. Para esta zona se ubicaron taludes típicos que representaran la posibilidad de caída de bloques dentro del análisis. En la Figura 7.1 se presenta la ubicación de los taludes típicos. Para el análisis de caída de bloques se seleccionaron las secciones 1, 2 y 3 trazadas en el plano geológico.

**Figura 6-9 Localización de taludes**



En la Tabla 6-15 se presentan los datos de los taludes determinados para la zona.

**Tabla 6-15 Taludes de estudio**

TALUD	L	COTA (msnm)		? COTA?	PENDIENTE	ORIENTACION. TALUD	
		arriba	abajo			??	??
1	2.894	2604	2598	5.5	1.90	249	62
2	3.225	2604	2598	6	1.86	312	62
3	4.568	2604	2592	11.5	2.52	288	68
4	6.149	2608	2592	15.5	2.52	314	68
5	5.542	2608	2594	14	2.53	340	68
6	4.866	2603	2597	5	1.03	2	46
7	4.649	2602	2592	5	1.08	16	47

### 6.7.3 Posibilidad cinemática

Una vez se han definido las familias de discontinuidades, las intersecciones de discontinuidades y los taludes de estudio se puede proceder a la realización del análisis cinemático, cálculo presentando en el Anexo 6.4. En este análisis se evidencia que bajo las condiciones geométricas mencionadas para los taludes y consecuentemente con las disposiciones de las diaclasas, ocurren mecanismos de falla tipo planar, cuña y volcamiento y cuña en los diferentes sitios probables de este fenómeno.

En la tabla siguiente se presenta los resultados obtenidos:

**Tabla 6-16 Resumen de taludes y tipos de falla posibles**

TALUD	ORIENT. TALUD		D11		D12		D21		D22		E		MOVIMIENTO		
	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	P	C	V
1	249	62												D11D12	D22
2	312	62													
3	288	68											D21		
4	314	68	162	69	318	85	270	65	93	74	43	33			D11
5	340	68												ED21	D11
6	2	46												ED21	D11
7	16	47												ED21	

P: Planar, C: Cuña, V: volcamiento

### 6.8 RESUMEN DEL CAPÍTULO

Se ejecutaron en total 31 sondeos, 2 trincheras, 4 apiques y 3 líneas sísmicas. Esta información permitió definir el siguiente perfil general:

- ? Capa vegetal: espesor inferior a 0.50 m
- ? Rellenos de origen antrópico: ubicados especialmente en la zona B en Altos de Jalisco con espesores que varían en promedio entre 1.0 y 3.0 m de espesor,
- ? Depósito coluvial. Ubicado en algunos puntos de la zona B en Altos de Jalisco con espesores no mayores a 1 m

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

- ? Suelos residuales de arenisca y/o arcillolita. Se ubica a lo largo de la zona con espesores no mayores a 2.0 m.
- ? Roca de arenisca y lentes de arcillolita. Se ubica a lo largo de la zona, con presencia de escarpes y/o ubicado a una profundidad no mayor a 4 m medido desde la superficie del terreno.

Los materiales fueron caracterizados con sus propiedades geomecánicas por medio del ensayo de SPT o penetración estandar obteniendo los siguientes resultados:

MATERIAL	TIPO	$c_{max}$ (t/m <sup>2</sup> )	$\gamma$ (max)	$c_{min}$ (t/m <sup>2</sup> )	$\gamma$ (min)
Roca: arenisca descompuesta	TER	2.508	30.9	0.000	33.7
Suelo residual de arenisca	TERare	1.928	23.9	0.000	25.4
Suelo residual de lodolita	TERlod	1.112	24.5	0.000	27.6
Rellenos y coluvión	Qra	1.011	33.3	0.000	21.9
Brecha de falla	Tpf	0.000	32.2	0.000	28.5

Por medio del ensayo de corte directo se obtuvieron los siguientes valores para los suelos residuales de arenisca (TERare) y rellenos/coluvión (Qra):

TIPO	$c_{max}$ (t/m <sup>2</sup> )	$\gamma$ (max)	$c_{min}$ (t/m <sup>2</sup> )	$\gamma$ (min)
TERare	0.30	31.70	0.00	19
Qra	3.00	28.60	0.70	19
Qra	5.00	35.00	1.00	16
TERare	1.50	31.10	0.00	21

Para el análisis de discontinuidades en roca se realizaron ensayos de bloque deslizante obteniendo valores de 40° en promedio con un mínimo de 23°. Los cortes directos realizados en discontinuidad en roca presentaron los siguientes valores:

MUESTRA	PICO	
	$c$ (t/m <sup>2</sup> )	$\gamma$
PT-18 ESCARPE	0.60	33.70
PT-1 M4	0.10	13.70
PT-5 M1	2.20	31.10
BLOQUE B M1	0.20	17.10

Finalmente del análisis cinemático realizado en la zona A del estudio se identificaron 7 taludes característicos, los cuales fueron confrontados con las discontinuidades del macizo rocoso obteniendo los tres tipos de falla en macizo rocoso: planar, en cuña y por volcamiento.



Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

## **ANEXO 6-1 REGISTROS DE EXPLORACION**

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

## **ANEXO 6-2 ENSAYOS DE LABORATORIO**

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

## **ANEXO 6-3 NORMALIZACION DEL VALOR DE N**

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

## **ANEXO 6-4 ANÁLISIS CINEMÁTICO**

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

## **ANEXO 6-5 LÍNEAS SÍSMICAS**

## 7 EVALUACIÓN DE AMENAZA POR FRM

### 7.1 INTRODUCCIÓN

La amenaza se debe entender como la probabilidad de que ocurra la falla para cualquier mecanismo en un determinado lapso de tiempo. Esta amenaza se relaciona con el sitio puntual de donde se desprenden los materiales, bien sea en la caída de bloques o bien en los eventos rotacionales. No obstante, es innegable que por efectos gravitatorios las masas deslizadas pueden avanzar y eventualmente comprometer áreas adicionales. En este capítulo se abordan ambos tópicos: por una parte, la probabilidad de falla de los materiales y por otra, la probabilidad de que ellos avancen. La conjugación de estos dos elementos permite la definición de franjas de amenaza graduales semi-paralelas a los taludes (hacia arriba y hacia abajo) que tienen que ver con las distancias de viaje, eventos retrogresivos o afectación de terrenos de los taludes que involucran los materiales y su resistencia al deslizamiento.

Así pues, la primera etapa para taludes en roca consiste en definir desde el punto de vista cinemático su posibilidad de evento como falla planar, cuña o volcamiento frente a cada uno de los taludes existentes a lo largo del macizo rocoso y donde existe la posibilidad de este fenómeno de acuerdo a la zonificación geomorfológico, esto definido en el capítulo 6; para taludes en suelo se requiere definir la o las secciones típicas para análisis dadas en el capítulo de geología y la configuración de suelos y sus propiedades mecánicas. La segunda etapa consiste en definir por mecanismo de falla, la curva de probabilidad de colapso que es función del factor de seguridad, FS para las combinaciones de variables aleatorias extremas como son: parámetros geomecánicos ( $c$  y  $\phi$ ) e influencia de los sismos y las lluvias (Rosenblueth, 1975 y Hart, 1987) dentro de la probabilidad total.

La tercera etapa consiste en la definición de las distancias de viaje: como funciones de probabilidad a partir de eventos aleatorios en roca y como valor único en la posible falla rotacional en suelo para valores promedio y valores máximos probables.

Además, con el fin de corroborar el valor de amenaza, fuera del área de influencia de los fenómenos de inestabilidad o fenómenos inventariados a nivel geológico se calcula la amenaza por medio de la susceptibilidad a FRM teniendo en cuenta las diferentes propiedades de los materiales involucrados y las condiciones del macizo rocoso y suelo. Esta delimitación involucra además los límites de la unidad geomorfológica de ladera y los límites del área de estudio, así como un análisis del diseñador con el fin de considerar intervenciones futuras de laderas y control de construcción sin medidas de mitigación adecuadas.

? La zona de estudio presenta dos posibles tipos de fenómeno de remoción en masa: 1) Falla por caída de bloques a nivel de roca y 1) movimiento rotacional en suelo por rellenos, coluviones delgados y suelos residuales de arenisca y lodolita. Inicialmente se realizó una sectorización de taludes y áreas teniendo en cuenta la zonificación geomorfológica. Se identificaron siete (7) taludes de estudio, los tres primeros para caída de bloques y los cuatro siguientes para análisis de estabilidad.

## 7.2 INFLUENCIA DE LAS LLUVIAS

Generalmente los fenómenos de remoción en masa están asociados con los periodos lluviosos, pues la precipitación es uno de sus principales detonantes. Por esta razón, es necesario conocer el régimen pluviométrico temporal y espacial, es decir, identificar los meses más lluviosos datos dados en el capítulo 4.

La precipitación es el factor que comúnmente se asocia con los fenómenos de remoción en masa, debido a que la mayoría de los deslizamientos ocurren en aguaceros de gran magnitud, o durante los periodos lluviosos, ya que al producirse la precipitación, el agua puede ser conducida por la superficie en forma de escorrentía o puede filtrarse a través de ella. El primero de estos dos fenómenos ocasiona problemas de erosión, principalmente en zonas donde no hay cobertura vegetal, donde la presencia de surcos y cárcavas puede hacer al talud susceptible al deslizamiento por medio de la infiltración, además de la permeabilidad media de los materiales, el agua procedente de la lluvia puede actuar en el talud o ladera de varias formas:

- ? Aumentando la presión de poros y por consiguiente disminuyendo los esfuerzos efectivos y la resistencia al corte.
- ? Originando presiones hidrostáticas en las diaclasas de las masas rocas produciendo fuerzas hidrodinámicas, especialmente cuando el agua fluye en sentido paralelo a la superficie del talud o ladera.
- ? Reduciendo la cohesión del material (reblandecimiento)
- ? Acelerando la meteorización
- ? Produciendo erosión interna
- ? Incrementando el peso total de la masa por humedecimiento de la misma.

El efecto adverso de los anteriores procesos en la estabilidad del talud o ladera va aumentando por la ocurrencia de las lluvias, durante varios días consecutivos o con pocos días de diferencia debido a que el talud no ha drenado el agua infiltrada de una lluvia cuando ocurre la siguiente y produce un fenómeno de acumulación progresiva hasta alcanzar los umbrales de inestabilidad que disparan el movimiento de una parte o de toda la ladera.

Para determinar la relación precipitación crítica – duración (relación lluvia – movimiento) es necesario disponer de un inventario detallado de movimientos con fecha de ocurrencia y localización del evento, para lo cual aunque la DPAE ha desarrollado bitácoras y registros históricos no se encontró suficiente información para realizar el análisis estadístico local (insuficiencia de datos en el tiempo). Por ello se recurre al estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por inestabilidad del terreno de varias localidades de Bogotá ejecutado por Ingeocim en 1998<sup>22</sup>, en donde a partir de un inventario histórico de deslizamiento en toda Bogotá detonados

---

<sup>22</sup> 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 lluvias y registros históricos de precipitaciones diarias de estaciones en la ciudad, se encontró que la ciudad se puede dividir en zonas teniendo como ecuación para el suroccidente de Bogotá las siguientes:

ZONA	LLUVIA CRITICA (mm)	DURACIÓN (DIAS)
Suroccidental	$0.3609 \times \text{LLUVIA ANUAL (mm)}$	$3.2829 * \text{LLCRITICA}^{0.4157}$

El valor total anual medio multianual es de 616 mm en la estación Casa Blanca, la más cercana al área con una serie valores de longitud suficiente para adelantar estimativos confiables, datos dados en el Capítulo 4.

Para el barrio con valores de lluvia anual de 616 mm, corresponde una precipitación acumulada crítica de 222.70 mm, con una duración de 31 días. El periodo de retorno en esta zona y para la lluvia crítica esta dado en el estudio de Ingeocim Ltda<sup>23</sup> para 29 años de acuerdo al mapa de periodo de retorno asociados a la localidad Ciudad Bolívar. De acuerdo con estos resultados se puede concluir que el papel del agua, es el de servir como agente disparador para periodos de exposición cortos (< 30 años), lo cual sólo podría explicarse por la conjugación de más de una fuente, v.gr. aguas lluvias y aguas servidas.

### 7.3 VARIABLES ALEATORIAS: LÍMITES

Se consideran como variables aleatorias o fuentes de incertidumbre: la cohesión, el ángulo de fricción, el grado de reblandecimiento de los materiales (relacionado con la lluvia) o la presencia de presiones de agua y la aceleración sísmica. Las tres primeras, denominadas endógenas, se estimaron para cada material y la última, entendida como evento condicionante o exógeno, recibió tratamiento basado en la Microzonificación Sísmica de Bogotá. Todos los demás parámetros se suponen conocidos y con muy baja variabilidad, es decir, determinísticos. La incorporación de los agentes disparadores de los procesos de inestabilidad en los modelos de análisis se concentrará en este numeral exclusivamente a la acción de la lluvia y el sismo y no a agentes antrópicos u otros.

Los parámetros de resistencia son producto de la caracterización geomecánica expuesta en el capítulo anterior, la aceleración horizontal del terreno en caso de sismo se tiene en 0.24g, correspondiente a la Zona I, Cerros, lo que por una parte desestima los efectos locales de amplificación en taludes, pero por otra, trabaja con un periodo de retorno de 475, bastante conservador para este tipo de fenómeno.

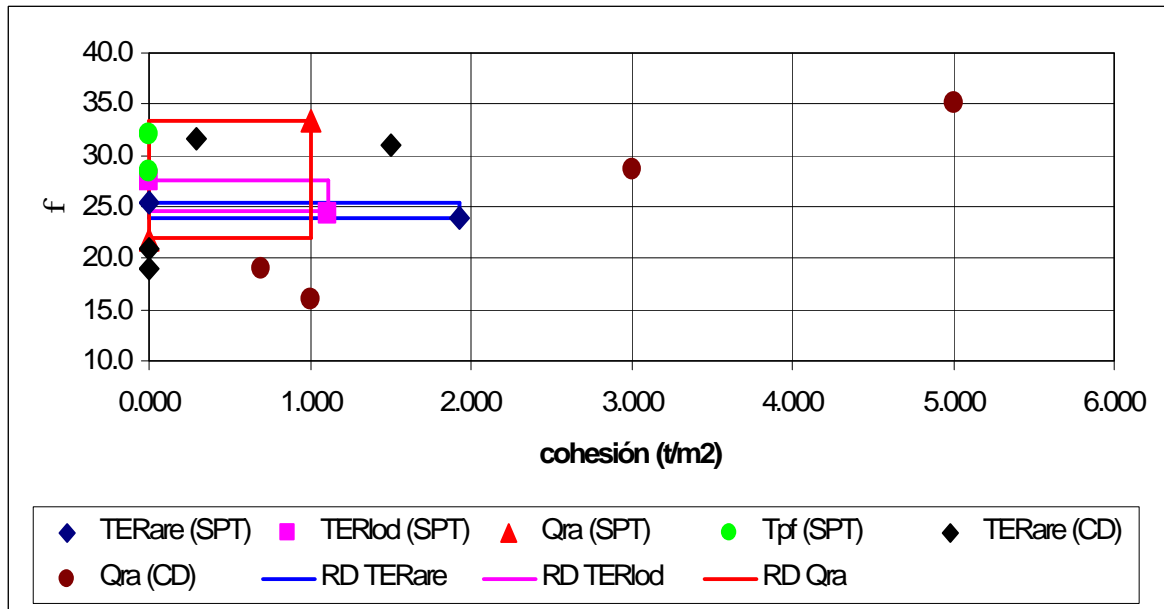
En la figura siguiente se resumen los parámetros geomecánicos de los suelos encontrados en la zona de estudio:

---

<sup>23</sup> 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.



**Figura 7-1 Parámetros geomecánicos del suelo**



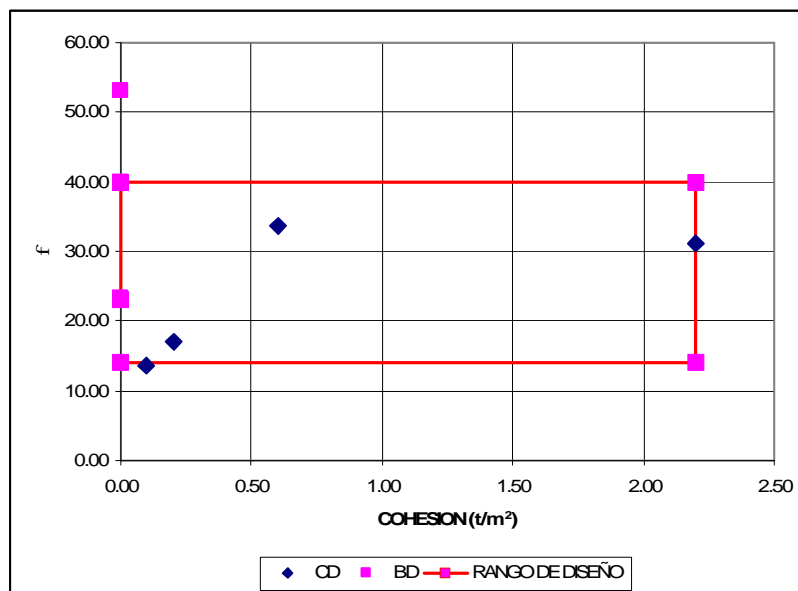
Los valores con la sigla CD o SPT hacen mención a que fueron obtenidos por corte directo o penetración estándar respectivamente. La sigla RD hace mención al rango utilizado en el análisis o de diseño.

No se tuvieron en cuenta valores muy altos de cohesión obtenidos por el corte directo ya que podrían sesgar el resultado hacia valores de probabilidad muy bajos siendo el análisis en extremo conservador. Igualmente se promediaron valores de ángulo de fricción que permitan desechar valores muy bajos de este parámetro.

Para el análisis de discontinuidad se tuvo en cuenta un nivel del 50% la altura de la cuña para condiciones extremas de agua. Para el análisis en suelo el agua se tomó sobre la superficie del terreno.

En la Figura siguiente se presenta la nube de puntos de valores de características geomecánicas de la discontinuidad en roca obtenido por corte directo y bloque deslizante::

**Figura 7-2 Tendencia de valores de  $c$  y  $\phi$  en discontinuidad**



Los valores de  $\phi$  adoptados para el análisis de discontinuidad es de  $13^\circ$  como valor mínimo y de  $40^\circ$  como valor máximo (tomando el valor promedio como este límite). El valor de  $c$  adoptado para el análisis fue de  $0 \text{ t/m}^2$  como valor mínimo y de  $2.2 \text{ t/m}^2$  ( $0.22 \text{ kg/cm}^2$ ) como valor máximo. Los valores de cohesión tienen un valor o rango amplio condicionado a los resultados de corte directo pero dentro de valores razonables del análisis.

En la Tabla 7-1 se resumen los valores extremos de los parámetros utilizados:  $c_{\min}$ ,  $c_{\max}$ ,  $\phi_{\min}$ ,  $\phi_{\max}$ , para los diferentes materiales involucrados en los modelos de análisis.

**Tabla 7-1 Valores extremos de las variables aleatorias**

MATERIAL	TIPO	$c_{\max} \text{ (t/m}^2\text{)}$	$\phi_{\text{(max)}}$	$c_{\min} \text{ (t/m}^2\text{)}$	$\phi_{\text{(min)}}$
Roca: arenisca descompuesta	TER	2.508	30.9	0.000	33.7
Suelo residual de arenisca	TERare	1.928	23.9	0.000	25.4
Suelo residual de lodolita	TERlod	1.112	24.5	0.000	27.6
Rellenos y coluvión	Qra	1.011	33.3	0.000	21.9
Brecha de falla	Tpf	0.000	32.2	0.000	28.5
Discontinuidad en arenisca	Dare	2.200	40.0	0.000	13.0

#### 7.4 ANÁLISIS DE FACTORES DE SEGURIDAD

La evaluación de estabilidad se efectúa para el talud rocoso y para los mecanismos mencionados anteriormente. Para el talud en suelo se modelo de acuerdo a los métodos de equilibrio límite.

#### **7.4.1 Taludes en roca**

De acuerdo con los resultados del análisis cinemático, son factibles fallas de tipo planar, cuña y volcamiento en la zona de estudio. Los párrafos siguientes se destinan a una breve descripción de dichos tipos de falla que se presentan en el sitio.

##### **Mecanismo de falla en cuña**

Los factores de seguridad se obtienen mediante el empleo de una hoja de cálculo que sistematiza la expresión propuesta por Low (1996)<sup>24</sup> cuyo desarrollo matemático se muestra en el Anexo 7.1. Low parte de la geometría de la cuña, las consideraciones mecánicas de cada discontinuidad y el manejo del parámetro de agua. Las consideraciones de sismo no descritas en el artículo fueron resueltas por el consultor de acuerdo a la definición del problema y las consideraciones dadas en el artículo.

El desarrollar esta programación facilita al consultor el control de datos y el análisis del problema, así como la validación de todas las cuñas generadas en un tiempo prudencial de análisis.

Se utilizó como altura de la cuña para la zona de 3,0 m de escarpe de arenisca. Se utilizó una altura de agua del 50% de la altura total de la cuña.

En la tabla siguiente se presenta el resumen de factores de seguridad.

Tal y como se observa, y utilizando las propiedades mencionadas anteriormente el potencial de falla en cuña es evidente.

---

<sup>24</sup> LOW, B. K. Reliability analysis of rock wedges in Journal of geotechnical and geoinveronmental engineering. June 1997.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

**Tabla 7-2 Factores de seguridad por cuña**

TALUD 1				
VALORES PARA EL FS	CON AGUA		SIN AGUA	
	CON SISMO	SIN SISMO	CON SISMO	SIN SISMO
<b>Cmin - fmin</b>	0.10	0.52	0.45	0.86
<b>Cmin - fmax</b>	0.38	1.88	1.63	3.13
<b>Cmax - fmin</b>	11.77	12.18	12.11	12.53
<b>Cmax - fmax</b>	12.04	13.54	13.29	14.79
TALUD 5				
VALORES PARA EL FS	CON AGUA		SIN AGUA	
	CON SISMO	SIN SISMO	CON SISMO	SIN SISMO
<b>Cmin - fmin</b>	0.38	0.61	0.57	0.79
<b>Cmin - fmax</b>	1.39	2.20	2.07	2.88
<b>Cmax - fmin</b>	4.60	4.82	4.78	5.01
<b>Cmax - fmax</b>	5.60	6.42	6.28	7.09
TALUD 6				
VALORES PARA EL FS	CON AGUA		SIN AGUA	
	CON SISMO	SIN SISMO	CON SISMO	SIN SISMO
<b>Cmin - fmin</b>	0.32	0.58	0.53	0.79
<b>Cmin - fmax</b>	1.16	2.10	1.94	2.88
<b>Cmax - fmin</b>	5.80	6.06	6.01	6.27
<b>Cmax - fmax</b>	6.64	7.58	7.42	8.36
TALUD 7				
VALORES PARA EL FS	CON AGUA		SIN AGUA	
	CON SISMO	SIN SISMO	CON SISMO	SIN SISMO
<b>Cmin - fmin</b>	0.35	0.59	0.55	0.79
<b>Cmin - fmax</b>	1.26	2.14	2.00	2.88
<b>Cmax - fmin</b>	5.82	6.06	6.02	6.26
<b>Cmax - fmax</b>	6.73	7.61	7.47	8.35

## Mecanismo de falla planar

Los factores de seguridad se obtienen mediante el empleo de una hoja de cálculo que sistematiza la expresión propuesta por Hoek y Bray (1981)<sup>25</sup>.

La altura utilizada de generación de bloques fue de 3.0 m. La altura de agua utilizada fue de 1.5 m, es decir el 50% de la altura del bloque de falla probable. En la tabla siguiente se presenta el resumen de factores de seguridad obtenidos.

<sup>25</sup> HOEK. Evert y BRAY, John. Rock slope Engineering. Institution of Mining an Metalurgy. Great Britain University Press. Cambridge. 1974.

**Tabla 7-3 Factor de seguridad por falla planar**

	<b>SECCION</b>	<b>1</b>
SIN SISMO Y SIN LLUVIA	FS ++	6,77
	FS +-	6,58
	FS -+	0,39
	FS --	0,2
CON SISMO Y SIN LLUVIA	FS ++	6,57
	FS +-	6,48
	FS -+	0,19
	FS --	0,1
CON LLUVIA Y SIN SISMO	FS ++	6,65
	FS +-	6,51
	FS -+	0,27
	FS --	0,14
CON LLUVIA Y SISMO	FS ++	6,44
	FS +-	6,41
	FS -+	0,07
	FS --	0,04
AMENAZA		ALTA/MEDIA

Como se puede observar existe inestabilidad para condiciones actuales, es decir sin sismo y sin lluvia.

### **Mecanismo de falla por volcamiento**

Para el análisis de falla por volteo o volcamiento se empleó una hoja electrónica elaborada para tal fin que contempla las fuerzas actuantes en un elemento de roca cuya geometría está definida por el plano de estratificación y discontinuidad que generan este mecanismo, así como las fuerzas resistentes para obtener el factor de seguridad a partir de la relación de momentos resistentes y actuantes.

En el anexo 7.3 se indican los resultados de este análisis. En la tabla siguiente se presentan los resultados obtenidos para cada talud de falla por volcamiento:

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

**Tabla 7-4 Factores de seguridad por falla por volcamiento**

Fricción	Cohesion (T/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo	TALUD 1	TALUD 4	TALUD 5	TALUD 6
$\phi_{max}$	$C_{max}$	Sin	Sin	5.85	5.19	5.19	11.83
$\phi_{max}$	$C_{max}$	Sin	Con	2.90	2.65	2.65	4.14
$\phi_{max}$	$C_{max}$	Con	Sin	5.70	5.07	5.07	11.10
$\phi_{max}$	$C_{max}$	Con	Con	2.86	2.62	2.62	4.04
$\phi_{max}$	$C_{min}$	Sin	Sin	4.80	4.19	4.19	10.66
$\phi_{max}$	$C_{min}$	Sin	Con	2.38	2.14	2.14	3.73
$\phi_{max}$	$C_{min}$	Con	Sin	4.68	4.10	4.10	10.00
$\phi_{max}$	$C_{min}$	Con	Con	2.35	2.12	2.12	3.64
$\phi_{min}$	$C_{max}$	Sin	Sin	3.33	2.95	2.95	6.82
$\phi_{min}$	$C_{max}$	Sin	Con	2.09	1.89	1.89	3.27
$\phi_{min}$	$C_{max}$	Con	Sin	3.28	2.91	2.91	6.57
$\phi_{min}$	$C_{max}$	Con	Con	2.07	1.87	1.87	3.21
$\phi_{min}$	$C_{min}$	Sin	Sin	2.72	2.36	2.36	6.14
$\phi_{min}$	$C_{min}$	Sin	Con	1.70	1.52	1.52	2.94
$\phi_{min}$	$C_{min}$	Con	Sin	2.68	2.33	2.33	5.91
$\phi_{min}$	$C_{min}$	Con	Con	1.69	1.50	1.50	2.88

Como se puede observar existe estabilidad en el macizo rocoso por este mecanismo de falla.

#### 7.4.2 Taludes en suelo

Se utilizaron las secciones 4 a la 7 identificadas en el plano de geología, las cuales fueron divididas por partes adicionales para realizar el análisis. La evaluación de estabilidad se planteó con métodos de equilibrio límite: falla rotacional sobre superficie crítica, empleando como herramienta de trabajo el programa SLIDE, y aplicando diferentes métodos de análisis, corrida modelo que se muestra en el Anexo 7.2. Se calculo los factores de seguridad críticos generados en el talud teniendo en cuenta las condiciones de espesores de suelo residual, rellenos y continuidad de la roca.

En la tabla siguiente se presentan los factores de seguridad obtenidos para cada tipo de sección.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

**Tabla 7-5 Factores de seguridad para Mecanismo de Falla rotacional**

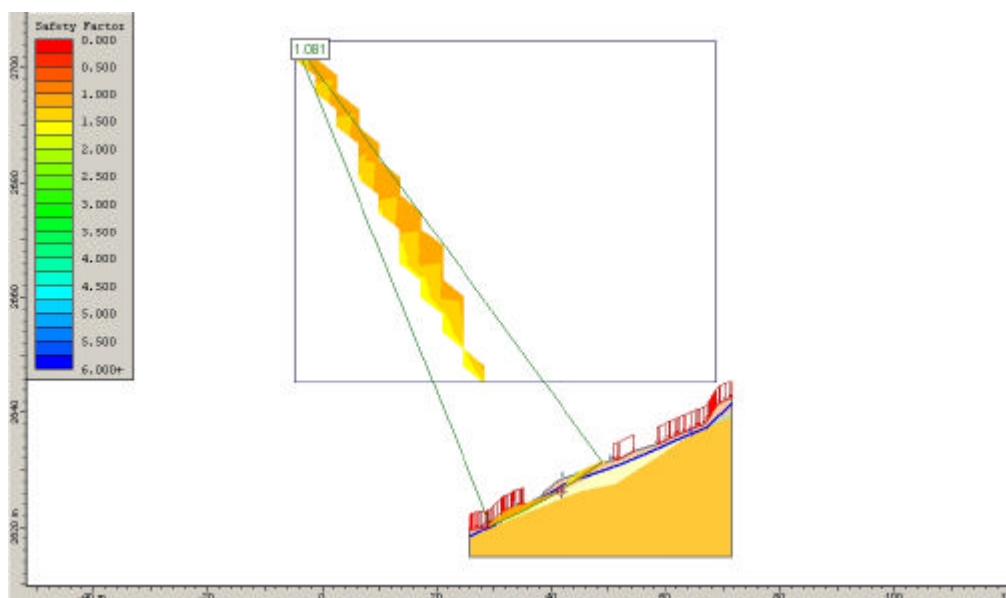
	SECCION	4	4	4	5	5	6	7	7
	TRAMO	1	2	3	1	2	1	1	2
SIN SISMO Y SIN LLUVIA	FS ++	2.51	1.774	2.615	2.029	2.053	1.546	2.121	1.5
	FS +-	2.125	1.618	2.247	1.535	1.564	1.205	1.652	1.097
	FS -+	1.611	1.253	1.622	1.302	1.542	0.9	1.246	1.068
	FS --	1.213	0.852	0.801	0.811	0.96	0.56	0.776	0.667
CON SISMO Y SIN LLUVIA	FS ++	1.636	1.222	1.685	1.265	1.239	1.265	1.499	1.198
	FS +-	1.401	1.09	1.461	0.984	0.954	0.998	1.181	0.885
	FS -+	1.02	0.791	1.02	0.796	0.905	0.71	0.848	0.839
	FS --	0.772	0.536	0.591	0.496	0.563	0.443	0.529	0.522
CON LLUVIA Y SIN SISMO	FS ++	2.379	1.583	2.441	1.69	1.548	1.526	1.957	1.464
	FS +-	2.032	1.466	2.135	1.323	1.236	1.192	1.549	1.074
	FS -+	1.482	1.037	1.464	0.977	1.023	0.879	1.081	1.034
	FS --	1.12	0.715	0.68	0.608	0.638	0.547	0.674	0.645
CON LLUVIA Y SISMO	FS ++	1.546	1.079	1.577	1.032	0.915	1.247	1.376	1.168
	FS +-	1.337	0.986	1.38	0.829	0.742	0.987	1.104	0.866
	FS -+	0.993	0.64	0.911	0.566	0.573	0.692	0.727	0.809
	FS --	0.708	0.439	0.407	0.353	0.375	0.432	0.452	0.503

Donde FS hace referencia al factor de seguridad y el primer más o menos a la cohesión máxima o mínima y el segundo más o menos al ángulo de fricción máximo o mínimo.

En el Anexo 7.2 se presenta las secciones de análisis y algunos resultados del SLIDE.

En la figura siguiente se presenta un modelo de slide para los taludes de estudio:

**Figura 7-3 Modelo general de análisis – sección 7.2**



## 7.5 PROBABILIDAD DE FALLA TOTAL

La amenaza, entendida como la probabilidad de excedencia de un parámetro específico durante un tiempo de exposición determinado, puede describirse en el caso de fenómenos de remoción en masa, 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)<sup>26</sup>. La solución a la relación existente entre estas dos variables y la obtención de las mismas, se plantea aquí siguiendo los lineamientos metodológicos de los Estimativos Puntuales, PEM (Rosenblueth, 1975 y Hart, 1987). Por lo tanto, la probabilidad de ocurrencia de un evento particular (FRM) se evalúa en términos de sus eventos condicionantes a través de la ley de probabilidades totales, en donde la probabilidad de ocurrencia de un FRM está definida por la siguiente ecuación:

$$p^D = P^D/LS \cdot p^{LS} + P^D/L\bar{S} \cdot p^{L\bar{S}} + P^D/\bar{L}S \cdot p^{\bar{L}S} + P^D/\bar{L}\bar{S} \cdot p^{\bar{L}\bar{S}}$$

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

$p^D$ : Es la probabilidad de ocurrencia de un FRM.

$P^D/LS$ : Es la probabilidad condicional de que tenga lugar el FRM dado que haya lluvia y sismo.

$p^{LS}$ : Es la probabilidad de que se presenten la lluvia y el sismo simultáneamente.

$P^D/L\bar{S}$ : Es la probabilidad condicional de que se genere el FRM dado que haya lluvia y no se presente sismo.

$p^{L\bar{S}}$ : Es la probabilidad de que haya lluvia y no se produzca sismo.

$P^D/\bar{L}S$ : Es la probabilidad condicional de que ocurra el FRM dado que se presente el sismo y que no haya lluvia.

$p^{\bar{L}S}$ : Es la probabilidad de que se presente sismo, pero no lluvia.

$P^D/\bar{L}\bar{S}$ : Es la probabilidad condicional de ocurra el FRM dado que no haya lluvia ni sismo.

$p^{\bar{L}\bar{S}}$ : Es la probabilidad de que no se presenten ni el sismo ni la lluvia.

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

Bajo el marco teórico expuesto, la evaluación de amenaza requiere entonces como insumos: los mecanismos de falla; en este sentido, se recurre a los tratados en el numeral anterior y a la probabilidad de las variables involucradas como sismo y lluvia tratado también anteriormente. Estos elementos, coligados con los resultados del análisis de estabilidad para las distintas combinaciones permiten determinar las curvas de probabilidad de falla para cada uno de los taludes en estudio.

---

<sup>26</sup> 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.



La probabilidad de falla de los distintos mecanismos, se obtiene mediante el cálculo del factor de seguridad para las 16 diferentes combinaciones de variables extremas y su ajuste a funciones de probabilidad Normal y/o Weibull.

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

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

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

donde:

$P^+$  = probabilidad de ocurrencia del evento crítico

$P^-$  = probabilidad de no ocurrencia del evento crítico

$T$  = período de retorno

$n$  = período de análisis

El análisis para los agentes exógenos se presenta a continuación:

**Tabla 7-6. Probabilidades de agentes exógenos**

Periodo de análisis	Actual (1 año)		Mediano plazo (10 años)	
	Ocurrencia	No ocurrencia	Ocurrencia	No ocurrencia
Agua, T=29 años	0.035	0.965	0.292	0.708
Sismo, T=475 años	0.002	0.998	0.020	0.979

Finalmente, para cada mecanismo de falla se calculó la probabilidad total para amenaza actual y mediano plazo (10 años) para la condición más desfavorable, resultados que se presentan en el Anexo 7.3.

Los niveles de amenaza se definen de acuerdo al siguiente rango dado por la DPAE para estudios de amenaza:

• Amenaza baja: probabilidad de falla entre 0.01 y 0.12

• Amenaza media: Probabilidad de falla entre 0.12 y 0.40

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

? Amenaza alta: Probabilidad de falla entre 0.40 y 1.00

De acuerdo a los valores obtenidos de probabilidad se tienen en la siguiente tabla los valores de probabilidad total asociada a los diferentes eventos para la zona B con suelos:

**Tabla 7-7 Probabilidad de falla en suelo**

SECCION	TRAMO	PROBABILIDAD			AMENAZA
		LOG NORMAL	NORMAL	WEIBULL	
4	1	0.02	0.04	0.00	BAJA
4	2	0.16	0.15	0.06	MEDIA
4	3	0.13	0.11	0.02	MEDIA
5	1	0.19	0.17	0.09	MEDIA
5	2	0.08	0.09	0.02	BAJA
6	1	0.52	0.44	0.44	ALTA/MEDIA
7	1	0.20	0.18	0.10	MEDIA
7	2	0.44	0.39	0.38	MEDIA/ALTA

La amenaza por deslizamiento actual y a mediano plazo (10 años) no muestra cambios significativos en sus resultados, indicando la baja influencia de los eventos detonantes a través del tiempo.

Para la zona A por mecanismo de falla por discontinuidad se tienen los siguientes valores de probabilidad:

**Tabla 7-8 Probabilidad de falla en roca para cuña y planar**

<b>TALUD 1 FALLA EN CUÑA D11D12</b>					
<b>DISTRIBUCIÓN</b>	<b>1. SIN SISMO Y SIN LLUVIA</b>	<b>3. CON LLUVIA Y SIN SISMO</b>	<b>2. CON SISMO Y SIN LLUVIA</b>	<b>4. CON LLUVIA Y CON SISMO</b>	<b>TOTAL</b>
LOGNORMAL	0.0754790	0.0169878	0.0003711	0.0000874	0.09
NORMAL	0.1105268	0.0150534	0.0002977	0.0000404	0.13
WEIBULL	0.0000148	0.0000665	0.0000022	0.0000023	0.00
<b>TALUD 5 FALLA EN CUÑA ED21</b>					
<b>DISTRIBUCIÓN</b>	<b>1. SIN SISMO Y SIN LLUVIA</b>	<b>3. CON LLUVIA Y SIN SISMO</b>	<b>2. CON SISMO Y SIN LLUVIA</b>	<b>4. CON LLUVIA Y CON SISMO</b>	<b>TOTAL</b>
LOGNORMAL	0.0779435	0.0146321	0.0003075	0.0000555	0.09
NORMAL	0.0904686	0.0128215	0.0002562	0.0000371	0.10
WEIBULL	0.0003389	0.0004704	0.0000135	0.0000079	0.00
<b>TALUD 6 FALLA EN CUÑA ED21</b>					
<b>DISTRIBUCIÓN</b>	<b>1. SIN SISMO Y SIN LLUVIA</b>	<b>3. CON LLUVIA Y SIN SISMO</b>	<b>2. CON SISMO Y SIN LLUVIA</b>	<b>4. CON LLUVIA Y CON SISMO</b>	<b>TOTAL</b>
LOGNORMAL	0.0794698	0.0154589	0.0003270	0.0000611	0.10
NORMAL	0.0964441	0.0136068	0.0002714	0.0000386	0.11
WEIBULL	0.0002277	0.0003870	0.0000114	0.0000071	0.00
<b>TALUD 7 FALLA EN CUÑA ED21</b>					
<b>DISTRIBUCIÓN</b>	<b>1. SIN SISMO Y SIN LLUVIA</b>	<b>3. CON LLUVIA Y SIN SISMO</b>	<b>2. CON SISMO Y SIN LLUVIA</b>	<b>4. CON LLUVIA Y CON SISMO</b>	<b>TOTAL</b>
LOGNORMAL	0.0794572	0.0149855	0.0003152	0.0000574	0.09
NORMAL	0.0964029	0.0134154	0.0002668	0.0000375	0.11
WEIBULL	0.0002283	0.0003408	0.0000099	0.0000059	0.00
<b>TALUD 3 FALLA PLANAR D21</b>					
<b>DISTRIBUCIÓN</b>	<b>1. SIN SISMO Y SIN LLUVIA</b>	<b>3. CON LLUVIA Y SIN SISMO</b>	<b>2. CON SISMO Y SIN LLUVIA</b>	<b>4. CON LLUVIA Y CON SISMO</b>	<b>TOTAL</b>
LOGNORMAL	0.3778217	0.0469456	0.0009650	0.0001237	0.43
NORMAL	0.1955631	0.0225797	0.0004395	0.0000507	0.22
WEIBULL	0.0598704	0.0078993	0.0001664	0.0000215	0.07

La probabilidad para falla en cuña obtenida en amenaza actual fue de 0.13 en el talud 1 con una condición de amenaza media a baja para este modelo. Para el modelo de cuña se presenta amenaza alta en el talud 3. Para la falla en volcamiento los valores obtenidos altos de factores de seguridad generan una probabilidad baja.

Es decir que solo para la condición de falla planar se genera una condición de amenaza alta a media.

## 7.6 DISTANCIA DE VIAJE

### 7.6.1 Taludes en roca

El evento de caída de bloques se presenta a lo largo de tres secciones de talud delimitados y mostrados en el Plano de Geología donde existe la presencia de arenisca y como se mencionó arriba, mediante mecanismos de falla planar, en cuña y volcamiento. Indistintamente del

mecanismo, los bloques caen y recorren alguna distancia antes de detenerse: convierten su energía potencial en energía cinética y ésta se va disipando en el recorrido. Con el fin de identificar el alcance de los bloques inestables en la caída se hace necesario: 1. Conocer las dimensiones del bloque; 2. Establecer la topografía del terreno en la trayectoria; 3. Establecer las posibles condiciones de caída y 4. Emplear un simulador aleatorio de trayectorias pues es éste el tipo de comportamiento de este tipo de eventos.

En lo que se refiere al primer aspecto, de acuerdo con las observaciones de campo, los bloques caídos son de diferentes dimensiones pero predominan los bloques alargados (dos dimensiones mayores a la tercera) geometría que se relaciona con la separación y la persistencia de las discontinuidades. El análisis con este tipo de bloques brinda datos conservadores para el análisis y por ello con el fin de considerar la situación más crítica se puede figurar mediante bloques esferoidales que de acuerdo a la evaluación en campo pueden darse del orden de 1.00 m de diámetro.

Este diámetro de bloque y su forma (esférica) es la más crítica generando mayores distancias y valores de velocidad y energía cinética, es decir se considera bloque crítico.

Con respecto a la topografía del terreno se utilizó las secciones identificadas como 1 a 3.

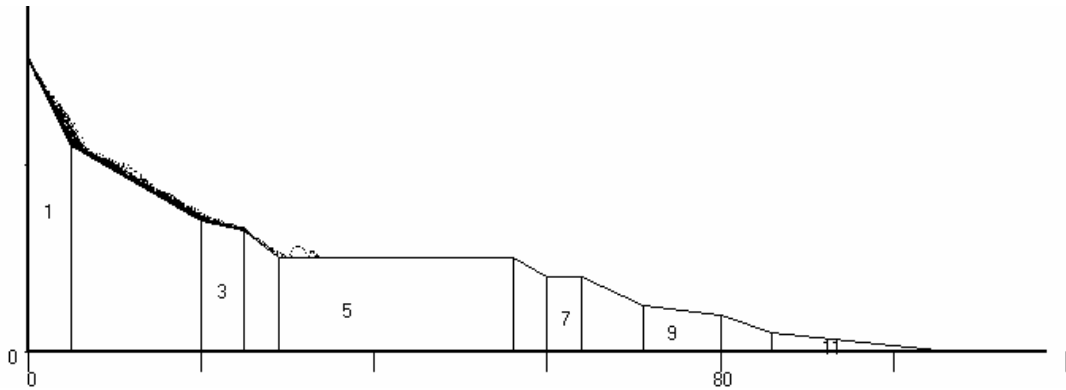
El tercer asunto, las condiciones de caída, pueden ser por caída libre o mediante la acción de un agente externo como un sismo, lo que se puede representar con una velocidad inicial, cálculo que se presente adelante. Finalmente, como simulador se utiliza el programa de computador CRSP (Colorado Rock Fall Simulation Program)<sup>27</sup> que permite el ingreso de las dimensiones y forma del bloque, la topografía que se simula por medio de coeficientes de rugosidad normal y tangencial, así como diferentes condiciones iniciales de velocidad. Como resultado se obtienen la distancia máxima alcanzada por el bloque, su velocidad y energía cinética en el trayecto.

No obstante, con el fin de que el análisis sea representativo, se hizo un tratamiento estadístico de varios bloques cayendo aleatoriamente desde la corona del talud y/o desde alguna zona dada de la sección, se combinaron dos condiciones iniciales de velocidad, nula y de 1.53 m/s que corresponde a sismo y cuatro geometrías crítica posible de 0.5m, 0.6m, 0.8m y 1.0m de diámetro, esferoidal, en cada caso se corrieron 100 bloques.

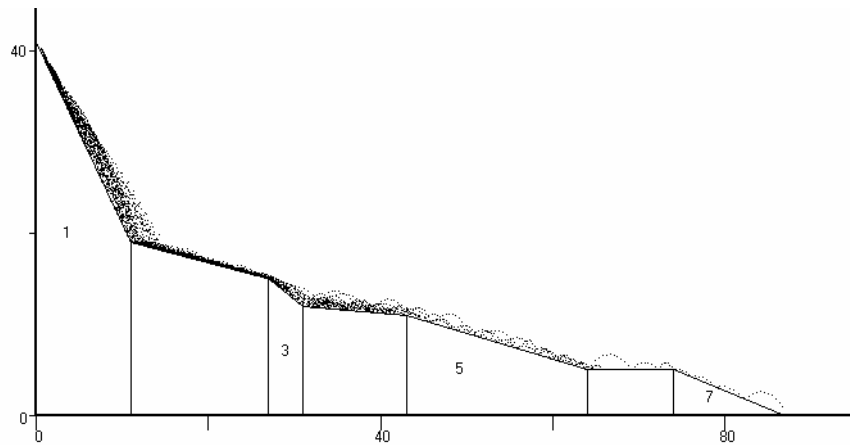
---

<sup>27</sup> COLORADO ROCKFALL SIMULATION PROGRAM. Version 4 . Colorado Department of Transportation. March 2000.

**Figura 7-4 Sección 1- 1 geotécnica –Generación de caída de bloques (0.50 m de diámetro)**



**Figura 7-5 Sección 2-2 geotécnica –Generación de caída de bloques (0.80 m de diámetro)**



En el anexo 7.4 se presentan los análisis y corridas para cada una de las secciones de análisis.

La velocidad de 1.54 m/s se deduce de acuerdo a la ecuación de movimiento uniformemente acelerado:

$$a = \frac{V^2 - V_0^2}{2X}$$

Donde:

X: Desplazamiento

V: Velocidad final

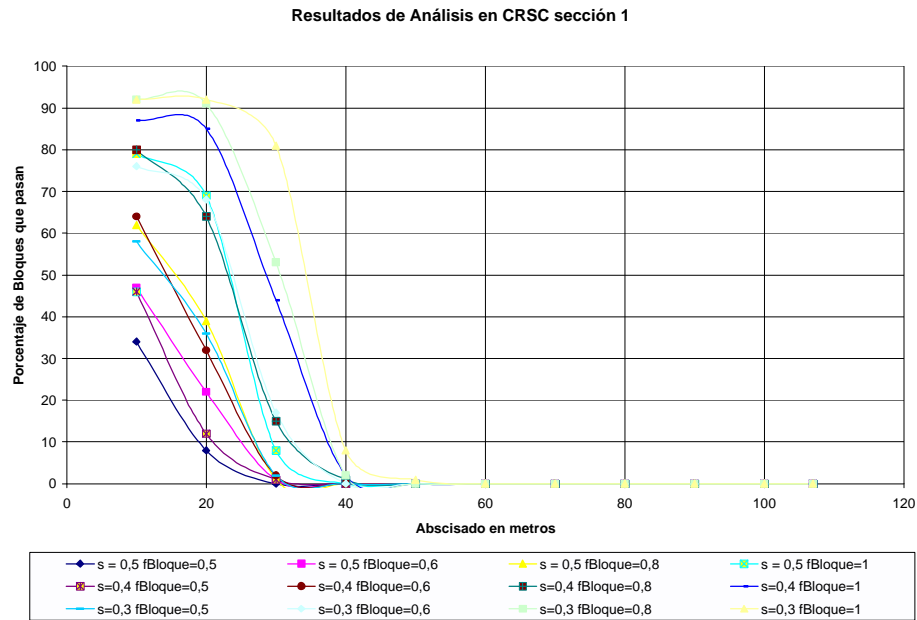
V<sub>0</sub>: Velocidad inicial

a: aceleración

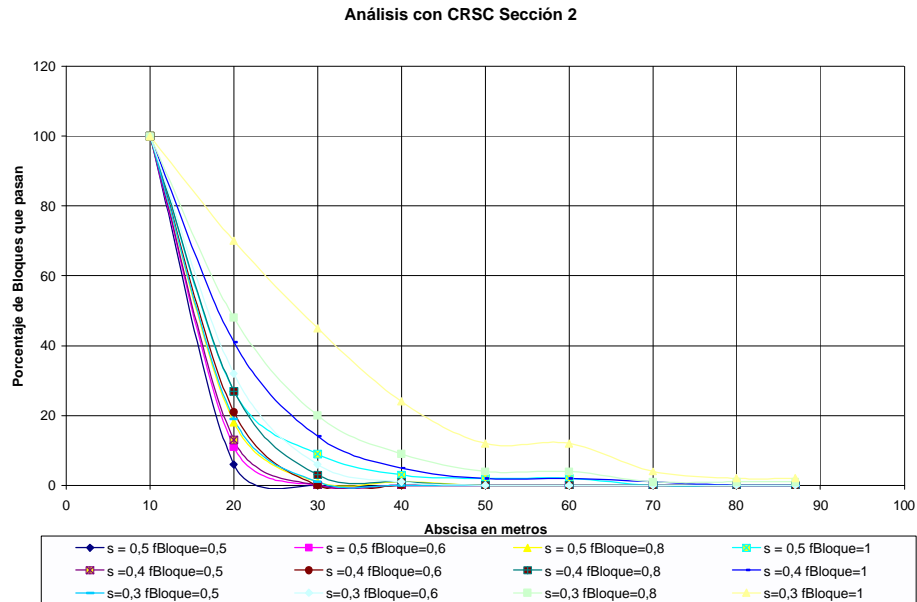
Asumiendo valores de X: distancia o desplazamiento una vez el diámetro del bloque, la aceleración de 0.24 de la gravedad y la velocidad inicial de 0 m/s se obtiene una velocidad final de 1.54 m/s.

Los resultados se tabularon para obtener curvas de probabilidad de llegada *Probabilidad de D, vs Distancia a la corona del talud*. En la Figura siguiente se presentan los datos obtenidos de distancia de viaje para las secciones de estudio y los diferentes diámetros.

**Figura 7-6 Análisis de probabilidad. Talud 1-1**



**Figura 7-7 Análisis de probabilidad Talud 2.2**



La selección de la distancia con el fin de realizar la sectorización para amenaza se realiza teniendo en cuenta los siguientes rangos:

Probabilidad alta de distancia:  $1.0 < P(D) < 0.40$

Probabilidad media de distancia:  $0.12 < P(D) < 0.40$

Probabilidad baja de distancia:  $0.01 < P(D) < 0.12$

Es importante mencionar que la probabilidad de distancia esta asociada a la probabilidad del evento como tal. Para eventos de amenaza media, la probabilidad alta de distancia será asociada a amenaza media, la probabilidad media y baja de distancia a amenaza baja. Para amenaza alta por mecanismo de falla, la probabilidad alta de distancia estará asociada a la amenaza alta, la probabilidad media de distancia a amenaza media y la probabilidad baja de distancia a amenaza baja por mecanismo de falla.

Finalmente y con el fin de que el modelo sea correcto se reviso frente a lo ocurrido en agosto de 2004 (DI-2110 Diagnóstico emitido por la DPAE), con valores acertados a la realidad .

## 7.6.2 Taludes en suelo

La trayectoria de viaje de una masa inestable depende del tipo de material y del mecanismo en tanto que su alcance es función de las características topográficas del sitio y de las dimensiones de la masa.

Para deslizamientos el cálculo de la distancia de viaje se puede llevar a cabo aplicando las expresiones formuladas por Finlay, Mostyn y Fell, 1999<sup>28</sup>, que permiten obtener la distancia de viaje, L, en función de las dimensiones de la masa potencialmente inestable. En este caso se requieren entonces: las dimensiones de la masa potencialmente inestable y la topografía del talud. Ambas incertidumbres se despejan interpretando el talud de suelo con ayuda de la sección, cuya topografía se muestra en el plano topográfico y la sección geológica. Las dimensiones de la masa potencialmente inestable se obtienen de los análisis de estabilidad donde se establece una superficie crítica.

Los valores adoptados para el análisis provienen de los datos analizados por el autor mencionado, teniendo en cuenta el comportamiento de una serie de taludes y su potencial de falla. En la siguiente tabla se presentan los datos parametrizados por el autor mencionado de donde se obtienen los valores para el análisis de distancia de la masa inestable de suelo de acuerdo a las dimensiones dadas en la figura 7.6.

**Tabla 7-9 Datos de variables. Finlay et all (1999)<sup>8</sup>.**

Variable dependiente	Tipo de ecuación	Componentes de la ecuación VD = C0 + C1*I1 + C2*I2				
		C0	C1	I1	C2	I2
<b>CUT SLOPE</b>						
log L	LCI	0.062	0.965	log H	-0.558	log (tan A)
	Mean	0.109	1.01		-0.506	
	UCI	0.156	1.055		-0.454	
H4	LCI	0.453	0.525	D	0.0217	H
	Mean	0.678	0.695		0.0537	
	UCI	0.903	0.866		0.0858	
<b>FILL SLOPE</b>						
log L	LCI	0.269	0.325	log H	0.166	log (V/W)
	Mean	0.453	0.547		0.305	
	UCI	0.693	0.768		0.443	
<b>RETAINING WALL</b>						
log L	LCI	0.037	0.35	log H	0.108	log (V/W)
	Mean	0.178	0.587		0.309	
	UCI	0.319	0.825		0.15	
<b>BOULDER FALL</b>						
log L	LCI	0.041	0.515	log H	-0.629	log (tan A)
	Mean	0.253	0.703		-0.417	
	UCI	0.466	0.891		-0.206	

LCI and UCI are the lower and upper 95% confidence intervals, respectively

Variables

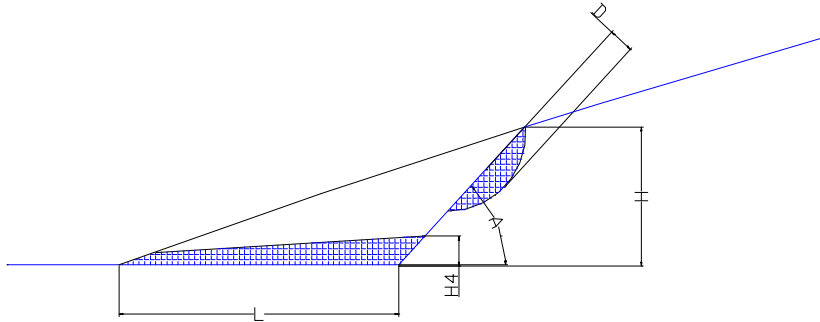
- L: Distancia de viaje
- H4: Espesor de la masa al caer
- D: Espesor del deslizamiento
- H: Altura del talud
- V: Volumen del deslizamiento
- W: Ancho en planta del deslizamiento

<sup>28</sup> FINLAY, P.J., MOSTYN, G.R. y FELL, R. Landslide Risk Assessment – Prediction of Travel Distance. Australia. Julio de 1998.



Para las diferentes zonas el promedio de avance es de 6 m. Existen valores mayores a 12 m los cuales no son tenidos en cuenta para el análisis.

**Figura 7-8 Dimensiones para el cálculo de la distancia de viaje de deslizamientos**



En el Anexo 7.5 se presenta el análisis de distancia de viaje. Esto se conjuga entre cada una de las diferentes análisis de amenaza o niveles y se traslapa si es el caso tal como se mencionara adelante.

## 7.7 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA

Los pasos para realizar la zonificación son los siguientes:

1. Ubicar la zona de aferencia del talud de estudio.
2. Identificar el área de influencia de la superficie crítica de análisis.
3. Dentro del área inestable se considera con valor de amenaza de acuerdo al valor calculado anteriormente. La distancia de viaje evalúa la distancia hasta donde se debe dibujar el valor de amenaza.
4. Hacia atrás de la corona de la superficie crítica de movimiento se determina las condiciones retrogresivas y su posible avance, para lo cual en este caso se tomo la distancia de 2,0 m y 5,0 m, adoptado de acuerdo al potencial erosivo del material y la perdida de soporte por eventos detonantes.
5. El mapa geomorfológico será límite del suelo en movimiento o crítico.

Esta información fue trasladada al plano topográfico y según la ubicación de los taludes de estudio. En el Plano No. 6 se indican los resultados luego de llevar a cabo los pasos descritos anteriormente, determinando así las zonas de amenaza baja, media y alta por fenómenos de remoción en masa. Para la construcción de este mapa no fue necesario discriminar por tipo de procesos (caída de bloques y deslizamientos de suelo), pues como se determinó en terreno existen zonas afectadas y con potencial de afectación claramente identificadas con los procesos mencionados.

## 7.8 RESUMEN DEL CAPÍTULO

De acuerdo a las condiciones del subsuelo y los parámetros obtenidos en el Capítulo 6 se analizaron y consolidaron los valores de análisis de estabilidad en suelo y roca así:

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

<b>MATERIAL</b>	<b>TIPO</b>	<b>c<sub>max</sub> (t/m<sup>2</sup>)</b>	<b>φ<sub>(max)</sub></b>	<b>c<sub>min</sub> (t/m<sup>2</sup>)</b>	<b>φ<sub>(min)</sub></b>
Roca: arenisca descompuesta	TER	2.508	30.9	0.000	33.7
Suelo residual de arenisca	TERare	1.928	23.9	0.000	25.4
Suelo residual de lodolita	TERlod	1.112	24.5	0.000	27.6
Rellenos y coluvión	Qra	1.011	33.3	0.000	21.9
Brecha de falla	Tpf	0.000	32.2	0.000	28.5
Discontinuidad en arenisca	Dare	2.200	40.0	0.000	13.0

Se realizó dos tipos de análisis de estabilidad.: 1) en roca evaluando modelo de falla planar, en cuña y volcamiento y calculando los factores de seguridad con y sin sismo, con y sin nivel de agua; 2) En suelo evaluando la estabilidad por modelos de tipo rotacional y trasnacional.

Para los resultados de factores de seguridad se calcularon los valores de probabilidad esperada por evento. A nivel de roca el de mayor probabilidad de ocurrencia es el modelo planar. A nivel de suelo la zona más crítica se ubica hacia el costado del talud de Altos de Jalisco.

Finalmente se calculó la distancia de viaje de los bloques de roca en la zona A y de desplazamiento de la masa del suelo en la Zona B. Con esta información y los análisis de probabilidad se consolidó el mapa de amenaza por FRM.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

## **ANEXO 7-1 ESQUEMA DE LOW – FALLA EN CUÑA**

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

## **ANEXO 7-2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD**

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

## **ANEXO 7-3 PROBABILIDAD**

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

## **ANEXO 7-4 ANÁLISIS DE CAÍDA DE BLOQUES**

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

## **ANEXO 7-5 DISTANCIA DE VIAJE EN SUELO**

## **8 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD**

### **8.1 INTRODUCCIÓN**

La vulnerabilidad se puede definir como una condición existente en la sociedad o un grupo social, implicando población, entorno urbano e infraestructura urbana los cuales pueden verse afectados y sufrir daño o pérdida en caso de materialización de una amenaza. La vulnerabilidad puede generarse como social, física, económica, institucional, etc.

La vulnerabilidad física de esta forma puede definirse en función del grado de exposición de cada uno de los elementos del entorno y de su nivel de resistencia ante la ocurrencia de un evento.

La evaluación de la vulnerabilidad tiene como objetivo analizar la condición existente de las viviendas frente a la amenaza teniendo en cuenta aspectos de exposición y resistencia de los elementos expuestos en la zona de estudio, información que conjugada con la evaluación de la amenaza y las condiciones de pérdidas se traduce en riesgo. Este análisis permitirá determinar las medidas y tratamientos que se pretendan desarrollar en la zona, disminuyendo el grado de exposición o incrementando la resistencia de los elementos expuestos.

Se optó por evaluar la vulnerabilidad de las viviendas a partir del grado de exposición de éstas ante el fenómeno amenazante (Índice de exposición, IE) y del comportamiento de las construcciones en tal circunstancia (Índice de resistencia, IR). Finalmente se conjugaran los índices antes descritos para estimar la vulnerabilidad física.

#### **8.1.1 Tipos de vulnerabilidad**

Las sociedades expuestas a diferentes eventos de origen natural pueden presentar problemas de índole social por su dificultad para recuperarse pues entre otros pierden sus lazos familiares, vecinales y de ciudad o hasta la vida; de índole institucional por la poca respuesta o la incapacidad de gobernar al generarse el problema; de carácter económico por la dificultad para volver a invertir o recuperar lo existente y de carácter físico que involucra las pérdidas tangibles y directas por la ocurrencia del evento.

Para este estudio el análisis estará enfocado a los siguientes tipos de vulnerabilidad:

- ? Vulnerabilidad social - VS: Es presentada por el nivel de ingresos y las condiciones económicas existentes en la población de la zona. Se relaciona directamente con parámetros como la resiliencia, el cual mide el poder de recuperación por si misma de una comunidad luego de ocurrido el evento. La evaluación es meramente cualitativa y basada en la descripción de campo, sin ser involucrado en la valoración de vulnerabilidad física de viviendas.
- ? Vulnerabilidad física - VF: presentada por los elementos expuestos principalmente las viviendas.

La vulnerabilidad institucional que mide el papel del Estado y las posibles consecuencias que atraería a la localidad, la ciudad y la región la ocurrencia de un evento y cuál sería la capacidad



de respuesta de los entes de gobierno no es tenida en cuenta en este estudio. Se relaciona con la confianza existente actualmente hacia el gobierno, del papel ejecutado a nivel de mejoramiento de la conciencia pública y la solución pronta de los problemas urbanos los cuales son una percepción meramente subjetiva.

### **8.1.2 Línea base para el análisis**

Con el fin de determinar la "línea base", conocida como aquellas variables iniciales de una sociedad que pueden verse afectadas por la ocurrencia de un evento, en este caso de fenómeno de remoción en masa, se encuestaron en campo los residentes de cada uno de los predios existentes aferentes y de importancia en el área de estudio mediante el "Formulario para el inventario de viviendas" desarrollado por la DPAAE. Dicho formulario se diligenció con base en las respuestas de las personas interrogadas o con las observaciones de las condiciones existentes. Una copia de este formulario se presenta en el Anexo 8.1.

En el Anexo 8.2 se presenta la relación de predios inspeccionados a través de los formularios diligenciados en el campo. En total se inspeccionaron 167 predios de los cuales 12 son lotes vacíos.

## **8.2 VULNERABILIDAD SOCIAL**

La vulnerabilidad social corresponde a las características psicológicas, sociales, económicas, políticas y culturales que condicionan el comportamiento preventivo y la capacidad de respuesta del grupo social para atender la emergencia, la rehabilitación y la recuperación. La VS es consecuencia directa del empobrecimiento, del incremento demográfico, de la urbanización acelerada y sin planificación.

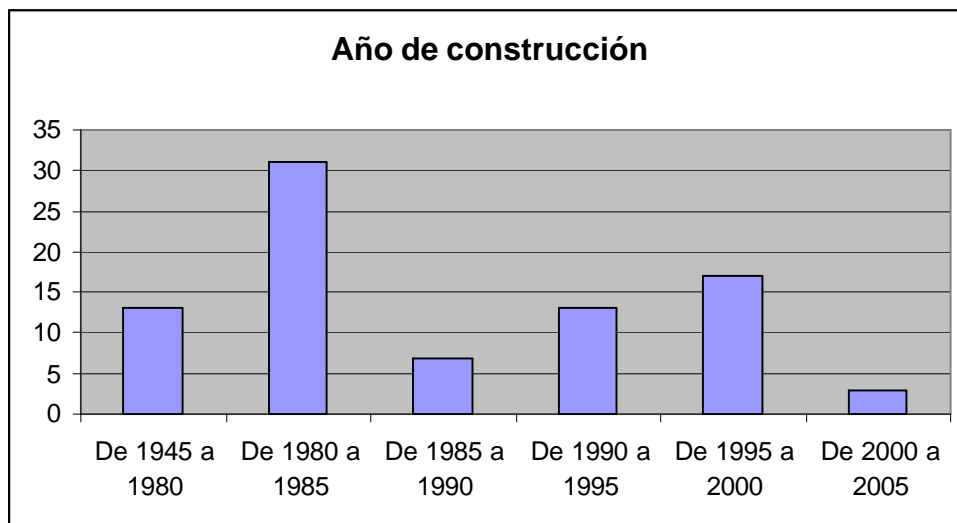
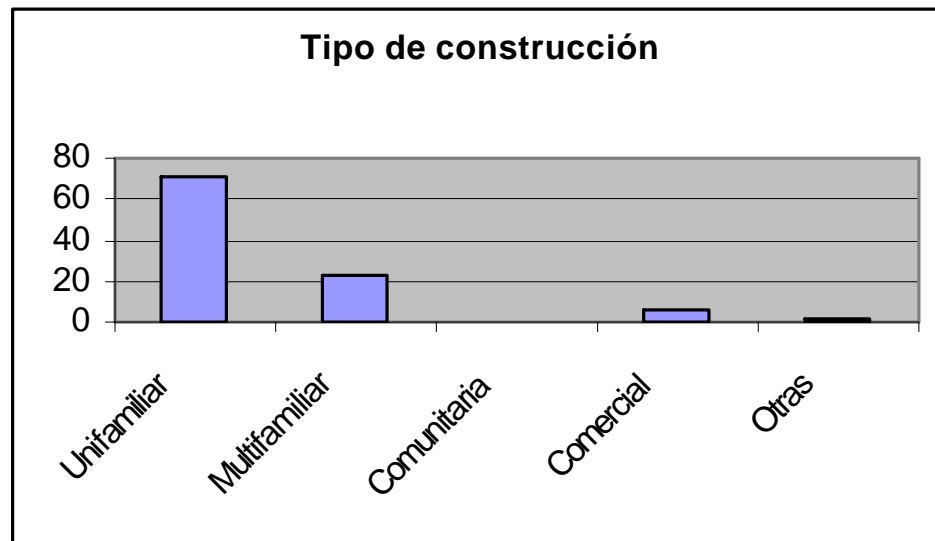
Existen comunidades que presentan una respuesta inmediata en condiciones aceptables pero a mediano o largo plazo no continúan dentro del proceso de consolidación de su línea base. De forma inversa pueden existir comunidades que pueden responder poco en forma inmediata pero a mediano y largo plazo pueden llegar nuevamente a su línea base en forma coherente y sin contratiempos. Más aun, comunidades pueden volver a su condición original o línea base, sin necesidad de recurrir a elementos externos o sin haber adoptado un programa lógico de retorno a la normalidad.

Para permitir evaluar este tipo de vulnerabilidad se recurre a los siguientes componentes:

- ? Capacidad económica: ingresos familiares
- ? Valor de bienes y enseres
- ? Valor de bienes inmuebles
- ? Cobertura de servicios
- ? Densidad poblacional - disgregación adulto - niño
- ? Percepción del riesgo
- ? Organizaciones cívicas

Las Figuras siguientes indican que predominan las viviendas unifamiliares con un periodo de construcción de 20 años atrás, lo cual puede tener cierta incidencia en la vulnerabilidad física y social, pues las construcciones no fueron llevadas a cabo bajo normas de construcción y si así fuera sería una norma no vigente (El primer código o norma para construcciones sismorresistentes del país data de 1984 – CCCSR84).

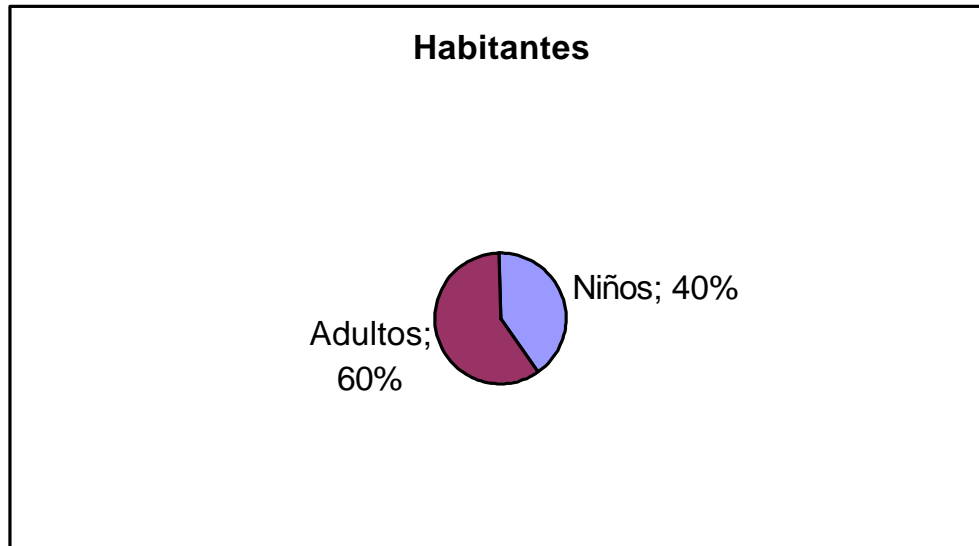
**Figura 8.1 Tipo de construcción**



De acuerdo con los resultados de las encuestas la población adulta corresponde a un 60% del total, lo cual coloca a la comunidad en una vulnerabilidad social media desde el punto de vista cualitativo, pues la capacidad de respuesta ante una situación de emergencia por deslizamiento

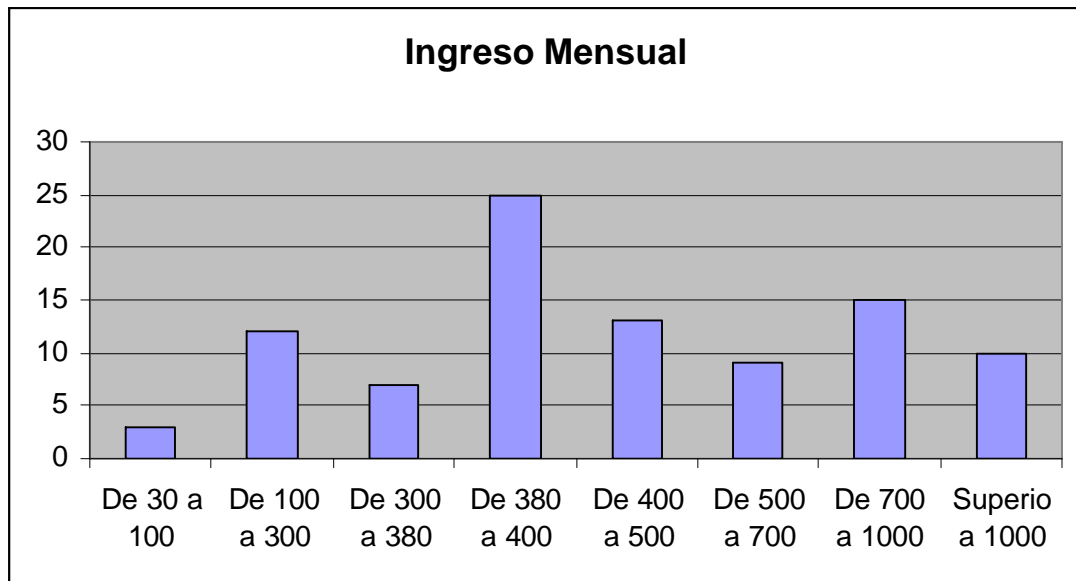
podría ser lenta al igual que la capacidad de recuperación ante esta misma situación teniendo en cuenta que la población infantil no debería destinarse a atender este tipo de situaciones.

**Figura 8.2 Habitantes en la zona de estudio**



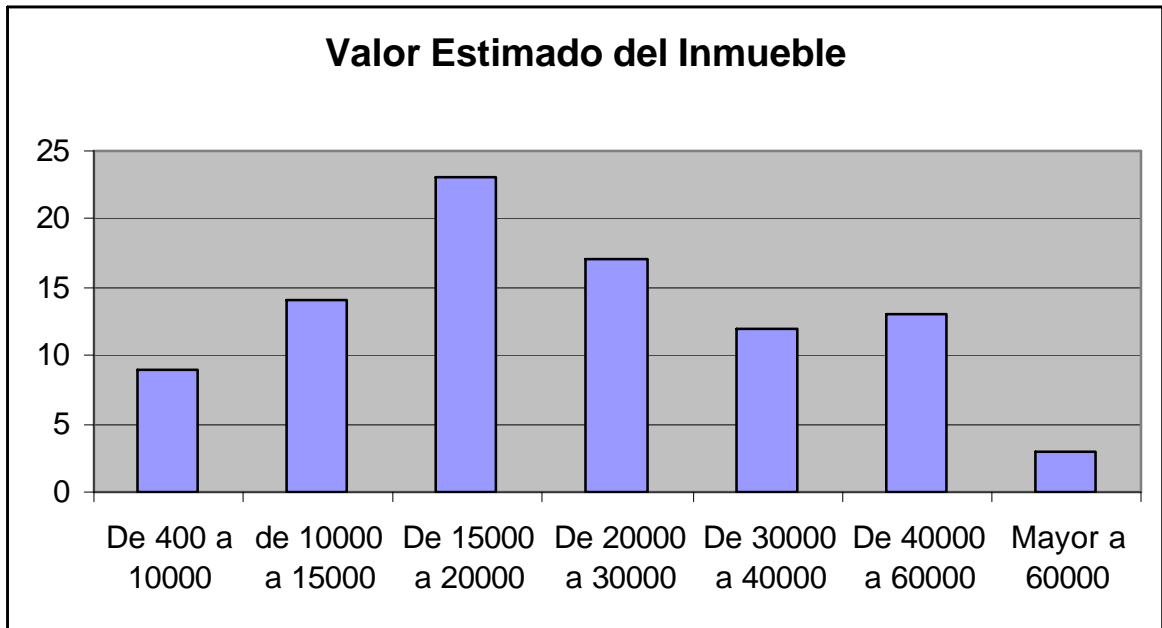
Del ingreso mensual de la comunidad el mayor porcentaje vive de un salario mínimo mensual.

**Figura 8.3 Ingreso mensual**



El valor global del inmueble oscila entre 15 a 20 millones.

Figura 8.4 Valor del inmueble



La información de vulnerabilidad social solo permite globalizar los análisis y como contexto pero no son involucrados en el análisis de vulnerabilidad física que se expone a continuación y sirve para la evaluación final de vulnerabilidad.

### 8.3 VULNERABILIDAD FÍSICA

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

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

Finalmente se conjugaron los índices antes descritos para estimar la vulnerabilidad física de las viviendas. Estas condiciones además deben tener un ajuste de las condiciones reales en el terreno y tácitamente el consultor debe evaluar los niveles de vulnerabilidad y considerarlos aceptables desde el punto de vista del análisis.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

En el Plano 5 se presenta la tipología de viviendas del área de estudio y hace referencia al tipo utilizado en este estudio. Para esto último se tuvo en cuenta la tipología de viviendas dada por Leone (1996)<sup>29</sup>, descritas en la tabla siguiente:

---

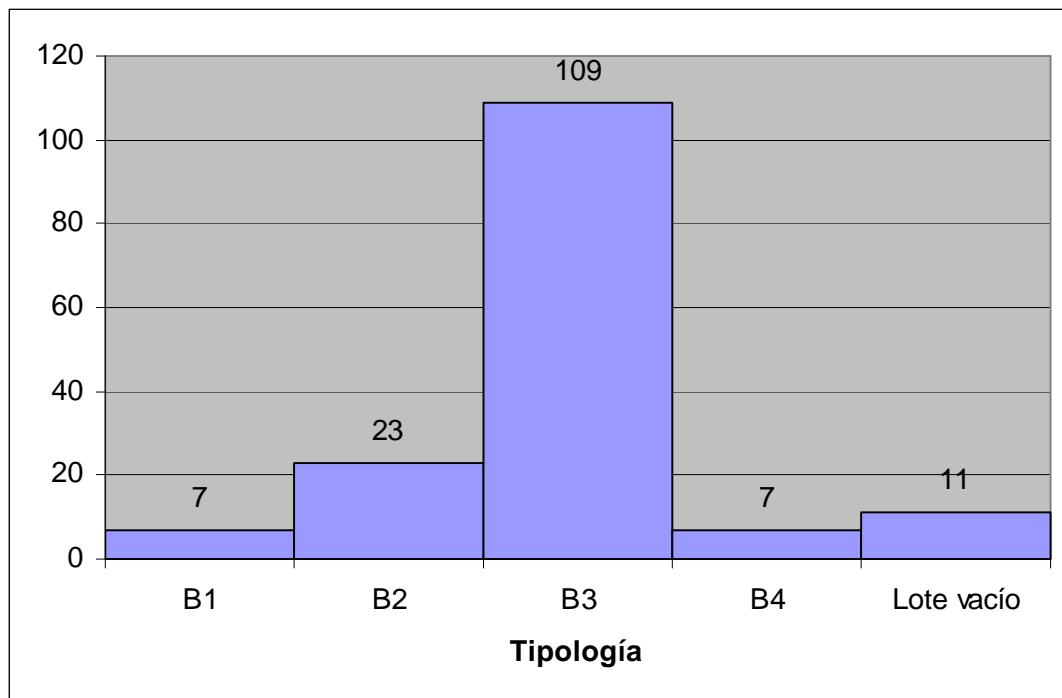
<sup>29</sup> LEONE, F. Concept de Vulnérabilité appliqué a l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvement de terrain. Tesis de Doctorado. Universidad Joseph Fourier, Grenoble I. 1996.

**Tabla 8-1 Tipificación de construcciones**

TIPO DE VIVIENDA	DESCRIPCIÓN
B1	Tugurios (ranchos). Viviendas en material de recuperación.
B2	Casas en mampostería o prefabricadas. De mala calidad constructiva. Sin refuerzo estructural ni fundación adecuada.
B3	Casas de hasta dos niveles de buena calidad de construcción (con estructura).
B4	Casas de más de dos niveles de buena calidad de construcción (con estructura).

De acuerdo con los resultados de la evaluación realizada a través de la encuesta en la zona de estudio predomina la vivienda de tipología B3 es decir construcciones de buena calidad con uno o dos niveles construidos, le sigue las viviendas de mala calidad en mampostería y prefabricadas, y en un porcentaje bajo las viviendas en material de recuperación así como las construcciones de más de dos niveles con estructura, como se indica la figura No. 8.5.

**Figura 8.5 Tipología de vivienda**



### Calificación de los daños

En la metodología propuesta por Leone<sup>30</sup>, para calificar los daños producidos en las viviendas por fenómenos de remoción en masa se sigue al criterio del DRM (Délégation aux Risques Majeurs), el cual divide los daños en cinco (5) intensidades de daño, a saber:

**Tabla 8-2 Intensidades de daño según el DRM.**

INTENSIDAD DE DAÑO	MODOS DE DAÑO	PORCENTAJE DE DAÑO
I	Daños ligeros no estructurales. Estabilidad no afectada	0.01 – 0.1
II	Fisuración de muros. Reparaciones no urgentes	0.2 – 0.3
III	Deformaciones importantes, fisuración en elementos estructurales	0.4 – 0.6
IV	Fracturación de la estructura, evacuación inmediata	0.7 – 0.8
V	Derrumbe parcial o total de la estructura	0.9 – 1.0

El porcentaje de daño o índice de daño (ID) lo define Leone, como:

$$ID = \frac{Vi - Vf}{Vi}$$

Donde,

Vi : Valor inicial del bien (antes del evento).

Vf : Valor final del bien (después del evento).

Junto la tipificación de construcciones dada en la tabla anterior y las solicitudes dadas en la metodología propuesta por Leone (1996), se encontraron los índices de daño de acuerdo a lo siguiente:

**Tabla 8-3 Matriz de daño (Leone, 1996)**

SOLICITACIÓN		TIPOLOGÍA DE VIVIENDA			
TIPO	RANGO	B1	B2	B3	B4
DESPLAZAMIENTOS VERTICALES (VV velocidad de desplazamiento)	VV1 (mm/año)	0.1	0.1	0.05	0.05
	VV2 (cm/año)	0.2	0.2	0.1	0.1
	VV3 (dm/año)	0.3	0.3	0.1	0.1
	VV4 (m/año)	0.4	0.4	0.3	0.3
	VV5 (cm/día)	0.6	0.5	0.5	0.4

<sup>30</sup> LEONE, F. Concept de Vulnérabilité appliqué a l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvement de terrain. Tesis de Doctorado. Universidad Joseph Fourier, Grenoble I. 1996.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

SOLICITACIÓN		TIPOLOGIA DE VIVIENDA			
	VV6 (cm/día)	0.9	0.8	0.8	0.8
	VV7 (cm/día)	1	1	1	1
EMPUJES LATERALES	PL1 (SF=1/3SE)	0.6	0.4	0.2	0.2
	PL2 (SF=2/3SE)	0.8	0.7	0.6	0.5
	PL3 (SF=SE)	1	1	0.9	0.8
IMPACTOS	ECv1 (cm3)	0.1	0.1	0.05	0.05
	ECv2 (m3)	0.6	0.5	0.4	0.3
	ECv3 (10 m3)	0.9	0.8	0.7	0.6
	ECv4 (>=100 m3)	1	1	0.9	0.8

La calificación de las viviendas se determinó mediante el cálculo del Índice de Vulnerabilidad Física, con base en el Índice de Pérdidas (IP) o Índice de Daños (ID), definido anteriormente; este IVF se ha calculado con la siguiente expresión empírica propuesta por Soler et al (1998) para involucrar otras variables diferentes al tipo de solicitud y la tipología de la vivienda:

$$IVF = [1 - (1 - ID)^{(1/(1-\alpha)ID)}]^{(1-\alpha)ID}$$

Donde  $\alpha$  es la dependencia o coeficiente de importancia del ID en la valoración del IVF (0 cuando es mínima y 1 cuando es máxima).

La selección del valor de  $\alpha$  o coeficiente de importancia se realizó con base en el grado de amenaza por FRM al que se encuentra sometida la estructura:

**Tabla 8-4 Valores de alfa**

Grado de Amenaza	Valor de $\alpha$
Baja	0.2
Media	0.4
Alta	0.6

La calificación de la vulnerabilidad en términos cualitativos se realizó con base en la valoración del IVF tal como se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 8-5 Valor cualitativo y cuantitativo de la Vulnerabilidad**

Categoría de la Vulnerabilidad	Valor del IVF
Alta	IVF $\geq$ 0.65
Media	0.15 $\leq$ IVF $<$ 0.65
Baja	IVF $<$ 0.15

Con lo anterior se estimó que cerca de 58% de los predios en la zona de influencia del estudio presentan vulnerabilidad media ante la ocurrencia de fenómenos por remoción en masa, el 38% presenta vulnerabilidad baja ante esta misma solicitud, mientras que el 4% presenta vulnerabilidad alta.



Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

## **ANEXO 8-1 FORMATO DE INVENTARIO DE VIVIENDAS**

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

## **ANEXO 8-2 INVENTARIO DE CAMPO DE VIVIENDAS**

## 9 ANÁLISIS DE RIESGO

El riesgo puede definirse como el conjunto de daños y pérdidas que pueden presentarse en caso de ocurrir un desastre o una emergencia. A continuación se presentará una valoración del riesgo desde el punto de vista de pérdidas económicas.

Para el cálculo de los valores comparables de costos y beneficios se utiliza el valor medio probable, en función de la esperanza matemática de ocurrencia de los fenómenos potencialmente destructivos que generarían más daños “d” y la probabilidad respectiva asociada “p” de modo que el valor estimado sería:

$$PE = d \cdot p$$

En donde:

PE: porcentaje de pérdida esperada en la ventana de tiempo (escenario actual).

d: porcentaje de daño asociado a la resistencia y exposición del elemento.

p: probabilidad asociada al FRM potencialmente destructivo

### 9.1 ANÁLISIS

De acuerdo a esto, se realiza los cálculos respectivos teniendo en cuenta los rangos dados de probabilidad de amenaza, así como los % de daño.

**Tabla 9-1 Matriz de valoración del riesgo (pérdida esperadas %)**

Intensidad de Daño	% DE DAÑO	PROBABILIDAD DE AMENAZA		
		1.00 - 0.40	0.40-0.12	0.12-0.00
1	0.055	0.055	0.022	0.0066
2	0.115	0.115	0.046	0.0138
3	0.500	0.50	0.20	0.060
4	0.750	0.75	0.20	0.090
5	0.950	0.95	0.38	0.114

De acuerdo a esta matriz y manteniendo los valores con coherencia de solicitud de la vivienda existentes se asignan los siguientes valores de pérdida asociada a las viviendas de acuerdo a la valoración planteada anteriormente.

Riesgo bajo 0.00 – 0.11

Riesgo medio 0.11 – 0.40

Riesgo alto: 0.40 – 1.00

Para estos valores dados y teniendo en cuenta el valor del elemento expuesto (vivienda), se calcula el riesgo para las viviendas como:

$$RIESGO = PEV \cdot V_s$$

PEV: Perdida esperada de una vivienda.

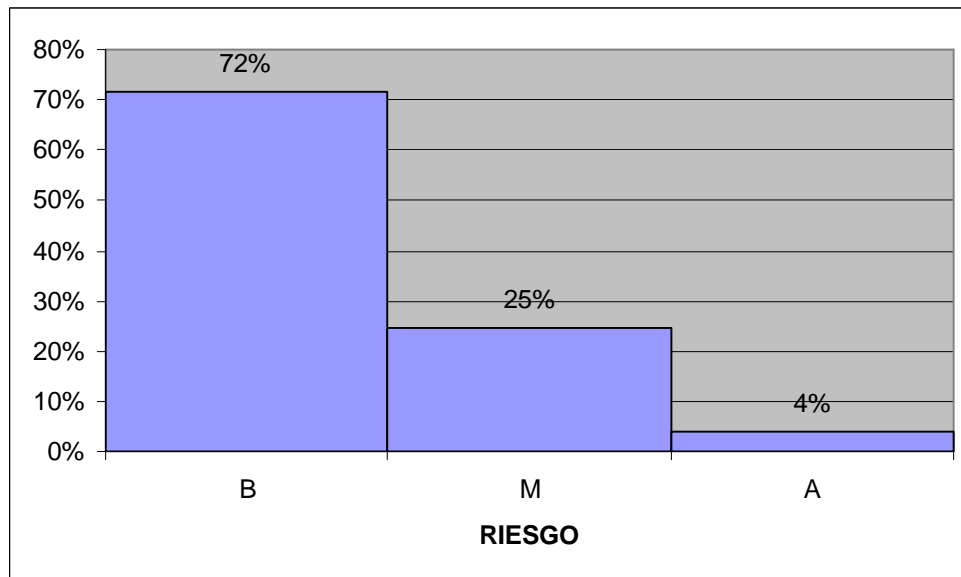
Vs: Valor de las vivienda en pesos (millones)

Finalmente, el riesgo se evaluó a partir del Índice de Riesgo (IR), expresado en función del producto del índice de vulnerabilidad física (IVF) y la probabilidad de falla (Pf) del fenómeno amenazante, es decir:

$$IR = Pf \cdot IVF$$

Con la aplicación de la matriz anterior sobre las viviendas se obtuvieron los resultados del riesgo en forma cuantitativa, representados en porcentaje en la Figura siguiente:

**Figura 9-1 Pérdida esperada (%) – viviendas**



En total se calcularon 113 predios en riesgo bajo, 39 predios en riesgo medio y 6 predios en riesgo alto los cuales son:

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

MANZANA	LOTE
C	1
C	2
27	6
27	7
27	8
27	9
27	15

En el Plano 08 se presenta la sectorización por riesgo.

Aun cuando en el análisis no se incluyó elementos de infraestructura, es necesario mencionar que existen hacia la parte superior elementos como tuberías de drenaje y postería en el escarpe minero los cuales se ubican en riesgo alto por la pérdida esperada si el talud pierde continuidad y falla. Así como hacia la parte inferior, para la vía existente si existen elementos móviles como personas o la misma vía.

## 10 ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN

### 10.1 ALTERNATIVAS PLANTEADAS

El análisis planteado anteriormente de amenaza, vulnerabilidad y riesgo presenta como resultado la existencia de dos viviendas en alto riesgo hacia el barrio Gibraltar I sector y cuatro viviendas en riesgo alto hacia el sector de Altos de Jalisco (Bosques I Sector) asociado bajo el siguiente esquema:

- ? Vivienda C-1 y 2. Ubicadas hacia la parte superior del escarpe minero en la zona A. Se puede ver afectadas por la pérdida de soporte en el talud y los rellenos mal desarrollados. En esta zona se presenta la afectación de una vivienda con riesgo medio por caída de bloques hacia la parte inferior y dos viviendas hacia la parte superior con riesgo alto por la cercanía al talud. La vivienda ubicada en la parte inferior en un evento anterior no se afectó pero los bloques quedaron justo en la entrada de la vivienda.
- ? Viviendas 27-006, 27-008, 27-009 y 27-015. Zona B. Ubicadas hacia la zona de Altos de Jalisco presentan riesgo medio en razón a la existencia de algunos rellenos y espesores importantes de suelo residual. El agua se encuentra drenando en forma importante y podría en un evento producirse pequeños flujos de tierra. La intervención debe hacerse desde el propietario hacia el terreno ya que la roca se encuentra cerca y por tanto es posible desarrollar obras de control en los predios. Se plantea como única alternativa un sistema de cunetas desde la parte alta para que drenen el agua hacia la parte inferior en las escaleras.

Finalmente, las obras de mitigación están orientadas a proteger la zona de la caída de bloques y al manejo de aguas de escorrentía superficial hacia el costado B de la zona de estudio.

Para la ZONA A se plantean las siguientes alternativas:

- ? ALTERNATIVA 1: Convivir con el problema.

LA DPAE puede asumir el riesgo y no construir ninguna obra de mitigación. Involucra el costo de daño en este caso de dos (2) viviendas y de personas que transiten en la zona, valor que es difícil de cuantificar. Por ello se considera para el análisis como el 100% del daño del valor probable de la estructura (valor promedio de estructura de \$15.000.000), una inversión en obras de recuperación estimada en un 75% del promedio de las obras civiles planteadas inicialmente como alternativas.

Para todas las alternativas que a continuación se detallan se diseñarán en la parte superior del talud una cuneta la cual debe entregar hacia la parte inferior de la ladera, drenando las aguas de escorrentía superficial que vienen de la parte superior de la ladera. La cuneta deberá ser tipo batea para no inducir una grieta de tensión.

ALTERNATIVA 2: Obras de drenaje superior combinada con malla con cespedón con muro en gavión y árboles.

En la zona de suelo residual y brecha se deberá proteger con malla, cespedón y taches largos que confinen la caída de bloques y/o material de suelo más no impedir el movimiento. Se

colocarían árboles como medida ambiental visual. Esto con el fin de que la zona se integra urbanísticamente y la comunidad lo adopte no como un punto crítico sino como un sitio de paisaje natural.

#### ALTERNATIVA 3 Obras de drenaje superior con malla con cespedón y arborización.

Similar a la alternativa anterior pero se cambiaría la construcción del muro en gavión por arborización de protección. Es importante mencionar que a pesar de que se siembren árboles que tengan una dimensión en su tronco de más de 0.30 m el proceso de crecimiento puede conllevar a asumir un riesgo adicional en el tiempo frente a la vía y las personas que transiten en el área, además de incluir el mantenimiento en el tiempo de los árboles.

#### ALTERNATIVA 4 Obras de drenaje superior+malla con mortero

Similar a la alternativa anterior pero solo se utilizaría una malla anclada con mortero. Desde el punto de vista ambiental es crítica por el impacto visual generado en la comunidad.

En las alternativas 2, 3 y 4 se contempla la reubicación de una sola familia (C1).

ZONA B: En esta zona las medidas están orientadas al manejo de aguas lluvias y al control de taludes por parte de los propietarios. En este proceso no se contempla reubicación de viviendas. El diseño final en la zona contempla la implantación de cunetas conectadas al sistema de drenaje y escaleras existente.

El análisis de alternativas estará orientado por tanto a determinar las obras para la Zona A.

En la tabla siguiente se presenta el análisis de costos de cada una de las alternativas planteadas (valores y cantidades aproximados para el análisis).

Es importante mencionar que no se incluye el costo de mantenimiento de las obras en razón a que la DPAE no tiene un programa sistemático de este tipo.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

**Tabla 10-1 Estimativo de costos de alternativas**

ZONA	ALTERNATIVA	ITEM	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
ZONA A. BARRIO GIBRALTAR I SECTOR	1. Convivir con el problema	Daños en las estructuras	Vivienda	2	\$ 15,000,000	\$ 30,000,000
		75% obras de mitigación por reconstrucción de la zona	Global	1	\$ 43,644,500	\$ 43,644,500
		<b>TOTAL</b>				
	2. Obras de drenaje+malla cespedon, muro en gavión y arborización (ambiental)	Muro en gavión	m <sup>3</sup>	82	\$ 130,000	\$ 10,608,000
		Arborización	un	20	\$ 100,000	\$ 2,000,000
		Caja de inspección	un	1	\$ 220,000	\$ 220,000
		Cuneta en concreto	ml	60	\$ 35,000	\$ 2,100,000
		Malla cespedón	m <sup>2</sup>	630	\$ 35,000	\$ 22,050,000
		Reubicación	Vivienda	1	\$ 15,000,000	\$ 15,000,000
	<b>TOTAL</b>					\$ 51,978,000
	3. Obras de drenaje+malla cespedón y arborización (protección)	Arborización	un	40	\$ 100,000	\$ 4,000,000
		Caja de inspección	un	1	\$ 250,000	\$ 250,000
		Cuneta en concreto	ml	60	\$ 35,000	\$ 2,100,000
		Malla cespedón	m <sup>2</sup>	630	\$ 35,000	\$ 22,050,000
		Reubicación	Vivienda	1	\$ 15,000,000	\$ 15,000,000
		<b>TOTAL</b>				
	4. Obras de drenaje+malla mortero	Arborización	un	26	\$ 100,000	\$ 2,600,000
		Caja de inspección	un	1	\$ 250,000	\$ 250,000
		Cuneta en concreto	ml	60	\$ 35,000	\$ 2,100,000
		Malla mortero	m <sup>2</sup>	630	\$ 55,000	\$ 34,650,000
Reubicación		Vivienda	1	\$ 15,000,000	\$ 39,600,000	
<b>TOTAL</b>					\$ 79,200,000	
ZONA B. ALTOS DE JALISCO	Obras de drenaje - Zona B	Caja de inspección	un	5	\$ 250,000	\$ 1,250,000
		Cuneta en concreto	ml	177	\$ 150,000	\$ 26,550,000
		<b>TOTAL</b>				

## 10.2 ANÁLISIS DE AMENAZA CON OBRAS

Con el fin de evaluar las condiciones esperadas de amenaza con la ubicación de las alternativas de mitigación mencionadas anteriormente, se menciona que las alternativas 2 a 4 buscan impedir el drenaje hacia el escarpe y además contener la caída de materiales. Para esto se tienen los siguientes comentarios:

### Alternativa 2 y 3.

Contempla la ubicación de un muro en gavión y árboles para reducir el impacto ambiental en los sitios de caída de bloques, y malla con cespedón. Entre la alternativa 2 y 3 la diferencia es el incremento en seguridad con la barrera con árboles. Esta alternativa permitirá el desplazamiento del bloque hasta una distancia tal que no permita la afectación. Se chequeo la validez de la alternativa desde el punto de vista de probabilidad de número de bloques caídos, la distancia de viaje con el programa CRSP<sup>31</sup> y altura de salto del bloque determinándose que ningún bloque logra continuar fuera de la obra de retención. La altura máxima esperada en este punto es del orden de 60 cm. Además, la obra se ubica en promedio dentro de la zona calculada como amenaza alta, que concluye como la zona donde la probabilidad de caída de bloques es mayor y la probabilidad por FS es más alto.

<sup>31</sup> COLORADO ROCKFALL SIMULATION PROGRAM. Version 4 . Colorado Department of Transportation. March 2000.



Es decir, aun cuando el mecanismo de falla es posible y se mantiene la probabilidad por tipo de falla, la distancia de viaje obtenida máxima será solo hasta la ubicación de la obra.

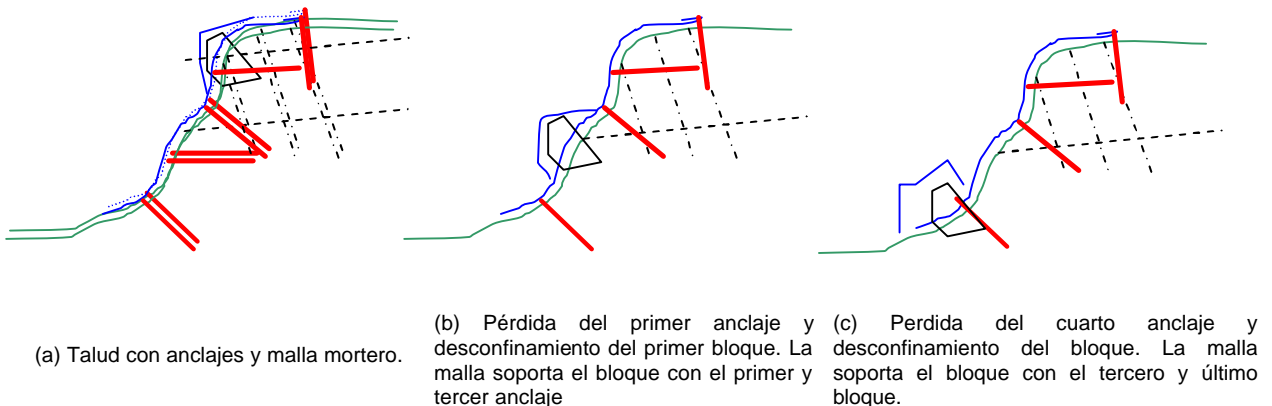
Hacia fuera de esta obra en el sentido estricto no se debe considerar la existencia de la amenaza, es decir amenaza nula (no existe posibilidad de que algún bloque pueda continuar ya que el 100% del total de bloques no pasa). Pero el consultor considera que la estructura pueda perder su integridad debido a excavaciones de la gente o por ausencia de mantenimiento y de esta forma fuera del área de la obra, la probabilidad de que pase un bloque puede existir pero sigue siendo baja, por lo tanto se ubica en zona de amenaza baja y hasta la distancia máxima calculada en el capítulo de amenaza.

Hacia la parte superior se evitará procesos erosivos con la colocación de la cuneta la cual se ubica en el borde superior de la amenaza alta. La posibilidad de desprendimientos de material se verá reducida con la colocación de un sistema de taches que confinarán el material con la malla y unos anclajes profundos en la parte baja y alta del talud para soporte de toda la malla. El factor de seguridad aumenta en razón a que los parámetros geomecánicos mantienen sus propiedades sin degradación por el agua.

#### Alternativa 4

Los bloques pueden desplazarse hasta cierta distancia que corresponde en este caso hasta el borde inferior de ubicación de la malla, el cual considera la pérdida continua de anclaje desde la parte superior hasta el anclaje diseñado en la parte inferior del talud. El mecanismo de falla puede presentarse pero la distancia de viaje se limita hasta el borde inferior por el diseño de la obra alrededor de la malla eslabonada. Además con el recubrimiento con mortero se impide en un gran porcentaje el corte por vandalismo lo que no sucede con la malla con cespedón. El problema de su uso es el impacto ambiental en la zona al quedar el talud con color gris de mortero cemento.

**Figura 10-1- Esquema de pérdida de soporte de la malla triple torsión**



En la Figura siguiente se presenta el análisis de amenaza con obras.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

**Figura 10-2 Amenaza con obras**

### 10.3 MODELO

La implementación de un modelo de decisión probabilístico, permite al diseñador seleccionar entre múltiples alternativas de solución, sin caer en un marco subjetivo donde predomine el juicio del experto. Dichos modelos están basados en un análisis comparativo entre el nivel de riesgo alcanzado por una medida de mitigación y el costo esperado en pesos para la misma.

De esta forma se adoptó como modelo de decisión el propuesto por Wu et al (1996) el cual establece:

$$R = Pf * Cf$$

Donde:

R: riesgo asumido

Pf: amenaza o probabilidad de falla de un talud.

Cf: Consecuencia o costo de falla.

Finalmente, se calcula el beneficio obtenido de cada alternativa, tomando como referencia el riesgo asumido ante la solución “convivir con el problema así:

$$BE = RACP / RA$$

Donde:

BE: Beneficio obtenido

RA: Riesgo Asumido

RACP: Riesgo asumido alternativa “convivir con el problema.

El cálculo del beneficio se calcula para cada tipo de riesgo asumido, es decir si falla o no falla el sistema con el fin de poderlo comparar y obtener el beneficio particular. En este caso si el beneficio para la condición de falla es superior al 100% se mejora la condición. Es decir si llega a fallar el valor total de daños esperados por esta falla generará un beneficio superior al respecto de la alternativa de convivir con la situación. Entre más se aleje de la condición del 100% la alternativa a ejecutar presenta mejores beneficios para el sitio.

#### COSTO DE FALLA

El costo de falla referido en el ítem anterior se obtiene como la sumatoria de todos los costos probables en los que se puede incurrir en el evento en que se presente la falla, se haya o no aplicado la obra de mitigación.

En este caso particular, la ocurrencia de un FRM dará lugar a los siguientes costos:

- ? Pérdida de la inversión inicial
- ? Retiro de material deslizado
- ? Reconfirmación de taludes

- ? Aplicación de obras civiles cuando estas aun no han sido aplicadas.
- ? Reparación y/o ejecución de obras de ejecutados.

Para establecer el costo de cada uno de los ítems anteriores se adoptaron los siguientes criterios:

- ? Involucra el costo de daño de la edificación en caso de falla del talud, considerado como el 50% del valor probable de la estructura
- ? Inversión en obras de recuperación estimada en un 75% del promedio de las obras civiles planteadas inicialmente como alternativas.

#### **10.4 PROBABILIDAD DE FALLA**

Se analiza de la siguiente forma:

- ? La probabilidad actual del movimiento esta condicionado a la falla planar con un valor de Pf de 0.44 para amenaza alta a media.
- ? Las diferentes alternativas buscan que no se sature los materiales, se resplandezca la superficie de discontinuidad y se genere el movimiento. Para la nueva condición en donde el agua no cambie las condiciones de parámetros, se asume que la probabilidad estará asociada siempre a la condición de parámetros de cohesión y fricción sin agua ya sea con sismo o sin sismo y sin que las características geomecánicas se degraden a una condición mínima, especialmente el valor de cohesión. En este caso se asume que los factores de seguridad para las condiciones de  $c_{min}$  y  $\phi_{min}$  y  $c_{min}$  con  $\phi_{max}$  son superiores a 1 (se toma un valor de 1.10). Para este valor el  $c_{min}$  asumido en este caso es de 0.80 t/m<sup>2</sup> el cual corresponde aproximadamente al valor promedio de los datos obtenidos. En este caso para la falla planar de obtiene un valor de Pf de 0.15.
- ? Es necesario identificar los valores de efectividad de la obra. La alternativa 2, la cual consta de muro en gavión es más infalible de fallar que la alternativa 3 la cual tiene aparte del muro los arboles de protección ambiental en mayor número. Por ello se asume un valor de 0.40 de efectividad de la obra para la alternativa 2 y de 0.70 para la alternativa 3. Para la alternativa 4 tiene un valor de efectividad del orden de 0.70.

Los valores de probabilidad obtenidos finalmente para el análisis se presentan en la tabla siguiente:

**Tabla 10-2 Probabilidades de falla total**

<b>Alternativa</b>	<b>Probabilidad de falla total, Pft</b>	<b>Efectividad de la obra</b>
1	0.44	0.00
2	0.15	0.40
3	0.15	0.70
4	0.15	0.70

## 10.5 RESULTADOS

De acuerdo a los beneficios obtenidos sumando el cálculo para condición en falla en cada alternativa y comparando con la alternativa No. 1 se tienen los siguientes resultados:

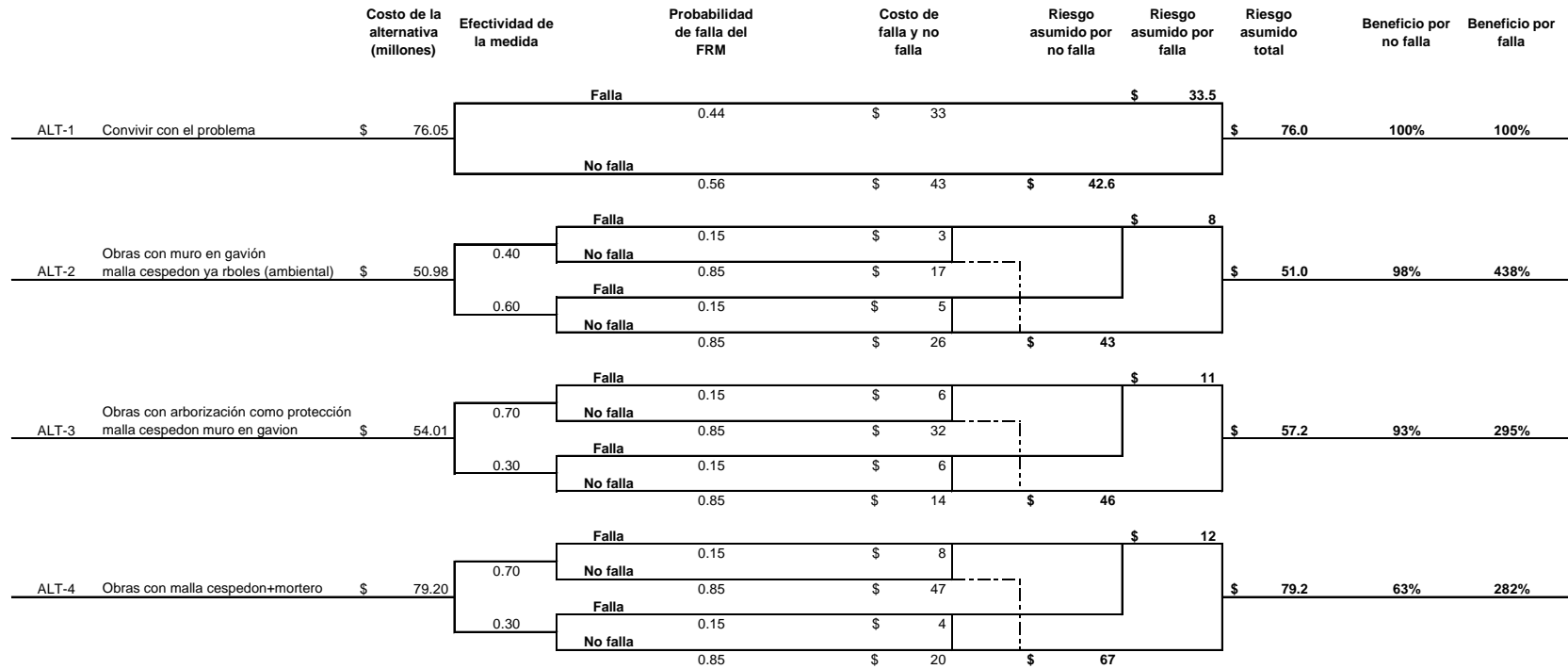
<b>Alternativa</b>	<b>Beneficio (%)</b>
1	100
2	438
3	295
4	282

Se puede observar que la alternativa que genera mayores beneficios a la zona es la alternativa No. 2 con malla cespedón, gavión y algunos árboles para manejo ambiental. Es importante anotar que aunque el evento esta confinado a la malla, la probabilidad asumida es adecuada al limitarse por las condiciones de drenaje, obras que son contempladas en todas las alternativas. Las alternativas 3 y 4 presentan un beneficio similar, pero la construcción de malla con mortero sería poco beneficioso ambientalmente..

La Figura 10-3 presenta los resultados del árbol de decisión para cada una de las alternativas y análisis planteado anteriormente.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

**Figura 10-3 Árbol de decisión. Alternativas de mitigación**



## **11 PLAN DE GESTIÓN SOCIAL**

### **11.1 INTRODUCCIÓN**

La gestión social, entendida como un conjunto de acciones individuales y colectivas de una comunidad en torno a una problemática social que les afecta, se justifica en el ámbito de un proyecto de obras civiles, en la medida que permite que la comunidad involucrada aporten desde su percepción, el conocimiento de la problemática que les afecta y a la vez permita la participación en el hallazgo de las posibles soluciones, apropiándose del proyecto y logrando su sostenibilidad en el tiempo.

.Este conjunto de acciones y actividades se conciben como la ingeniería social que conlleva el conocimiento de la realidad social que permite fortalecer las acciones y obras técnicas en la disminución y/o mitigación de los eventos de riesgo.

Con el fin de vincular a las comunidades de los sectores donde se adelanten estudios y obras, mediante espacios que permitan dar a conocer y hacer el seguimiento de las obras de mitigación, es importante tener en cuenta las observaciones y opiniones de ellas (las comunidades) respecto a tales obras propuestas, así como espacios de participación durante la construcción, se debe desarrollar un Plan de Gestión Social.

El Plan de Gestión Social en el proyecto a desarrollarse en el Barrio Gibraltar se justifica en la medida que permite a la comunidad habitante en este sector, apropiarse de los beneficios de la ejecución de las obras resultantes de este proyecto y participar en las diferentes etapas del mismo, a partir de la asistencia a las reuniones que programe el equipo técnico, aportando su percepción y su conocimiento en torno a las necesidades que los afectan y su decidida participación y compromiso en las posibles soluciones a las mismas.

Es pertinente y necesario tener en cuenta que el grado de injerencia que pueden tener las variables sociales en el ejercicio de diagnóstico parten de abordar algunas amenazas de orden antrópico y también aceptar la participación social frente a posibles amenazas de origen natural o simplemente mixto; en este sentido, el proceso de consulta desde una perspectiva meramente técnica, conduce a un ejercicio de interacción con líderes y representantes de la comunidad para la motivación y conformación de grupos de trabajo, bajo la orientación profesional de quienes como responsables de la ejecución del proyecto intervienen.

La participación del componente social como estrategia que soporta y fortalece cualquier estudio de riesgos, liderado y financiado por el Estado, 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 mayores imperativos en lo referente al diseño y ejecución de la política pública en materia de desarrollo social.

Partiendo de estos elementos, la gestión social dentro de este proyecto se desarrolla en tres fases:

Fase I.: Socialización del proyecto de Consultoría

Fase II. Evaluación de condiciones sociales y económicas de la comunidad

Fase III. Elaboración del Plan de Gestión Social.

**Impacto:**

Con la ejecución del Plan de Gestión Social se busca que al finalizar electa consultoría, los habitantes involucrados en el proceso hayan adquirido un reconocimiento de su problemática relacionada con riesgo de deslizamiento y diseñado estrategias que les permitan continuar su participación en los procesos siguientes así como el empoderamiento frente a las posibles obras de beneficio comunitario que se deriven del proceso.

**Plan estratégico:**

- ? Interacción y concertación
- ? Presencia del equipo técnico en la zona
- ? Diferenciación de grupos de interés
- ? Gestión participativa

## **11.2 FASES DEL PLAN DE GESTIÓN SOCIAL**

### **11.2.1 Socialización del proyecto de Consultoría**

Para entrar a desarrollar el trabajo requerido para este proyecto y teniendo en cuenta que durante el proceso se estaría en permanente interacción con las comunidades residentes en la zona de influencia, puesto que como objetivo del proyecto se trata de identificar zonas en riesgo y por ende viviendas en riesgo, se planteó realizar un esquema de acción participativa

A lo largo de la consultoría, se realizaron reuniones con la comunidad en donde se presentaron los avances del proyecto. Estas reuniones (5) permitieron conocer las opiniones de la comunidad, las expectativas frente a la consultoría y se planteó concertadamente cual será su papel en el momento de la ejecución de las obras.

Las convocatorias fueron realizadas por el equipo consultor a través de las Juntas de Acción Comunal quienes fijaron avisos, hicieron perifoneo y realizaron visitas a las viviendas para generar efecto cascada de información.



**Tabla 11-1 Reuniones Con la Comunidad**

<b>REUNION No.</b>	<b>FECHA</b>	<b>OBJETIVO</b>
1	4 diciembre 2005	Presentación inicial proyecto. Informe Parcial No. 1
2	30 diciembre 2005	Avances Informe Parcial No. 2
3	15 de enero 2006	Acción comunitaria. Avances Informe Parcial No. 3
4	28 enero 2006	Acción comunitaria. Avances Informe Parcial No. 4
5	5 febrero 2006	Informe Final

### **11.2.2 Reuniones desarrolladas**

#### **No. 1: 4 DE DICIEMBRE de 2005**

El día 4 de diciembre se realizó la primera reunión con la comunidad en el Salón Comunal del Altos de Jalisco – Bosques I y II sector con presencia de representantes de las Juntas de Acción Comunal, JAC, el jefe de proyecto, la asesora social y un nutrido grupo de miembros de la comunidad (50 personas aproximadamente). La convocatoria fue ejecutada a través de la Junta de Acción Comunal en cartas publicadas en tiendas y postes de la zona (Ver anexo lista de asistentes).

En estas reuniones se trataron los siguientes temas:

? **Presentación de los propósitos del proyecto**

Se presentó el proyecto mediante copias impresas, en donde se mostraba 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 ya que varios de los asistentes no saben leer ni escribir

? **Definición de responsabilidades de cada uno de los participantes: comunidad y equipo técnico**

En este momento se planteó el alcance del proyecto y se realizó un dialogo entre las partes donde por una parte se presentaron las inquietudes y expectativas de la comunidad y de otra se presentaron los alcances, se plantearon las responsabilidades y se motivó a la comunidad a pensar en mecanismos para apropiar el proyecto y facilitar su desarrollo. Concretamente se comprometieron a facilitar el acceso a las viviendas, contribuir en la ubicación de obras realizadas y en la identificación de áreas en riesgo.

Como ya se estaban realizando trabajos de topografía y exploración hicieron que la comunidad estuviera expectante y que la comunicación de que se estaba realizando un trabajo de inspección de viviendas fuera bien recibido.

Las inquietudes iniciales planteadas frente a la consultoría tenían un interés individual y obedecían a saber si su predio se encuentra o no ubicado dentro de la zona del proyecto; cómo iba a ser el proceso de reubicación de la zona, dado que (tres viviendas) tienen una alta expectativa frente a que pasará en el predio en el que habitan.

Con este primer acercamiento se logran las primeras percepciones, que cobran fuerza en la medida que se desarrolla la consultoría, y que tienen que ver con los escasos sentimientos de arraigo y pertenencia que tiene la comunidad con su entorno y el poco interés por trabajar en programas de beneficio común. Se nota un marcado individualismo, escasa comunicación entre los distintos sectores geográficos, y poca credibilidad en las entidades distritales y en sus programas y proyectos

### **No. 2: 30 DE 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. La comunidad expresó su expectativa al respecto y tienen en mente que se continuara con el proceso de reubicación inmediatamente. Los problemas existentes no implican el proceso de reubicación.

Dentro del proceso de apropiación de la consultoría la comunidad interviene señalando nuevos lugares con problemas de salida permanente de agua; se decide visitar el lugar en el sector de Altos de Jalisco y tomar una muestra para análisis.

Como continuidad del proceso de participación, se plantea dos reuniones para el mes de enero.

### **No. 3: 15 DE ENERO DE 2006**

El objetivo de este encuentro concertado con la comunidad a través de las Juntas de Acción comunal de el Bosque y Gibraltar, fue el de identificar mecanismos para afrontar el riesgo y hacer el seguimiento a los resultados de la consultoría.

Mediante la técnica de lluvia de ideas se identificaron posibles mecanismos mediante los cuales la comunidad puede hacer frente a la problemática y aportar en las alternativas de solución que se planteen.

Se acordó crear un comité por barrio de dos personas cuyas tareas estarán centradas en:.

- ? Coordinar con los residentes en el sector un monitoreo permanente en torno al riesgo por deslizamiento, 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
- ? Interactuar con los miembros de la JAC para identificar las acciones que proponga la DPAE como resultado de esta consultoría
- ? En caso que la DPAE defina que hay obras en las que deben intervenir otras entidades, hacer, en coordinación con la JAC, el seguimiento al proceso con la correspondiente entidad.
- ? Verificar que las obras y acciones derivadas de esta consultoría se realicen

- ? Sensibilizar a la comunidad en el cuidado y preservación de las obras que se realicen como resultado de esta consultoría

De nuevo en esta reunión se percibe poco interés por desarrollar e intervenir en actividades de interés comunitario; en el momento de tomar la decisión de la conformación del comité la mayoría de los asistentes se habían dispersado. Además se manifiesta discrepancia entre los representantes de las Juntas de uno y otro sector.

Los representantes de la Junta de Gibraltar manifiestan escepticismo frente a que haya en la comunidad un verdadero compromiso por trabajar por el bien común dado que, en su sentir, llevan muchos años en estos procesos y no se ve por parte de las administraciones un verdadero interés en resolver la situación de las poblaciones más vulnerables como lo son ellos.

#### **No. 4: 29 de enero de 2006**

Los objetivos de esta reunión fueron:

- ? Reiterar con la comunidad el compromiso de empoderarse del proceso derivado de este proyecto y de hacer seguimiento a la situación que lo origina.
- ? 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

Esta reunión se logró concertar después de un intento al que sólo asistieron 10 personas. La comunidad estuvo muy interesada en escuchar los resultados, pero algunos residentes que tenían la expectativa de ser reasentados mostraron su desconcierto y su preocupación por no ver resuelta su situación particular: Ante esa situación se citaron de nuevo los objetivos y alcances de la consultoría.

La comunidad 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

Los residentes en la vivienda que se propone ser reubicada, aportaron los documentos pertinentes para continuar con el proceso ordinario que se realiza en estos casos.

#### **No. 5: 5 de febrero de 2006**

El objetivo de esta reunión fue el de socializar los resultados técnicos de la consultoría con todos los miembros de la comunidad las acciones a seguir a partir de los resultados de la consultoría.

Asistieron a esta reunión por solicitud de los actores locales, un representante de la DPAE, el Contralor de la Localidad de Ciudad Bolívar y un representante de la Asociación de Juntas de la Localidad.

El representante de la DPAE ilustró a la comunidad en el proceso regular que viene después de la entrega de la consultoría e hizo aclaraciones en torno a las intervenciones de la institución y sus competencias.

El Contralor se remitió a un acta de acuerdo suscrita el 31 de mayo de 2000 donde la DPAE y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado y sugirió programar una reunión con las partes involucradas para clarificar hasta donde se han cumplido los compromisos

suscritos; esta sugerencia se plantea a partir de las intervenciones de los asistentes en torno a que va a pasar con el problema de filtración de aguas que está deteriorando paulatinamente las viviendas.

La intervención del representante de Aso-juntas fue tangencial dado que esta organización no se había hecho presente durante el proceso de ejecución de la consultoría.

En esta reunión salieron a flote las discrepancias entre los distintos sectores y en especial la lucha por la figuración por parte de los representantes de las JAC.

Como resultados de la reunión los actores comunitarios interesados (tres se Bosques I Sector y uno de Gibraltar) cumpliendo los compromisos acordados, se comprometen a acompañar a los miembros de las Juntas en el seguimiento al desarrollo de las actividades derivadas del proyecto que la DPAE programe.

Se acordó la entrega de copias, a las respectivas JAC, de los mapas elaborados por la consultoría.

### **11.2.3 Fase II. Evaluación de condiciones sociales y económicas de la comunidad.**

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 :**

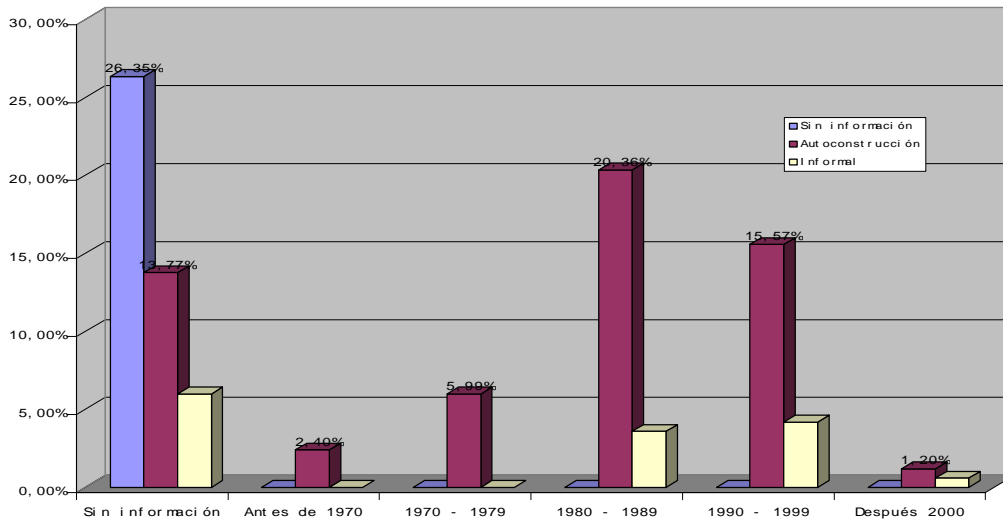
De los predios que se obtuvo información, el 75% está ocupado por sus propietarios. Esta propiedad se demuestra con escritura pública en la mayoría de casos o con un contrato de compraventa del lote; en estos casos hay una conciencia general de que sus predios no pueden ser legalizados aún, debido han sido considerados como viviendas ubicadas en zona de riesgo. De allí la expectativa porque este estudio arroje resultados que les permita legalizar su situación.

#### **? Vivienda**

Las viviendas están construidas en materiales diversos. Las hay desde la construcción con paredes en tabla y techos de Zinc, hasta construcciones en bloque con vigas y pisos en cemento, pasando por las casas prefabricadas que al parecer se han convertido en una buena opción en esta zona.

Como las viviendas de estos barrios se han ido construyendo paulatinamente, desde hace más de 30 años, se encuentran viviendas con estructuras diversas como se muestra en el capítulo de vulnerabilidad; además la autoconstrucción y la construcción informal son predominantes en esa zona, 74%, esto puede incidir en que se presenten problemas o fallas en las estructuras que son atribuidos a l problema de deslizamiento del suelo.

**Figura 11-1 Tipo de construcción según antigüedad de la vivienda**



Se percibe que los habitantes están preocupados por la incertidumbre que les causa estar en una zona considerada de riesgo y por ello tienen restricciones para realizar mejoramiento de sus viviendas, bien sea porque les niegan los créditos y ayudas estatales o bien por los deterioros permanentes que observan en sus construcciones.

#### Servicios Públicos:

La mayoría de las viviendas cuentan con la totalidad de los servicios públicos domiciliarios; como puede observarse en el cuadro 11.2, de las viviendas encuestadas el 100% cuenta con servicio de energía eléctrica legalizado; el acueducto y alcantarillado no ha sido instalado en el 2.6% de las viviendas dado que estas aparecen como ubicadas en zona de alto riesgo y no cuentan conexión legalizada y medidores.

**Tabla 11-2 Servicios públicos por viviendas**

SERVICIO	Si tiene		No tiene		Total
	Abs	%	Abs	%	
Agua	112	97,4	3	2,6	115
Alcantarillado	112	97,4	3	2,6	115
Energía eléctrica	115	100,0	0	0,0	115
Gas domiciliario	88	76,5	27	23,5	115
Teléfono	99	86,1	16	13,9	115

El servicio de telefonía fijo esta cubierto por las diferentes empresas que existen el Distrito.

El acceso a la zona de estudio se hace principalmente a pie dado que sólo hay una vía pavimentada y por lo empinado de la ladera los vehículos de transporte difícilmente logran llegar a la cima donde está ubicado un tanque del acueducto

### **Cocina**

En la mayoría de las viviendas, 76.5%, se utiliza para la cocción de los alimentos gas domiciliario el las restantes viviendas se utiliza principalmente el gas propano que se compra en expendios locales ubicados en la parte baja de la zona de estudio.

### **Manejo de Basuras**

Existe el servicio de recolección de basuras para cada barrio, los carros realizan la labor de recolección dos veces por semana y recogen en sitios estratégicos donde los residentes deben acarrear las basuras; esto implica para muchos de los residentes desplazarse una o dos cuadras para ubicar sus basuras.

La totalidad de las personas contactadas manifiestan que depositan sus basuras en ese lugar correspondiente el día que corresponde en los recorridos por la zona se pudo observar que aunque hay una preocupación por la recolección de los desechos, no hay disciplina para sacarla los días que corresponde y como proliferan los perros callejeros, la contaminación por basuras es notoria; algunos residentes se deshacen de sus desechos colocándolos en la parte alta del barranco en Gibraltar.

### **? Procedencia y sentido de pertenencia**

El 78% de los residentes encuestados son propietarios del predio que habitan y el tiempo de permanencia en el barrio de la mayoría de ellos es de más de 10 años; aunque hay personas que han vivido allí desde hace más de 20 años, el proceso de consolidación y construcción está centrado en las décadas del 80 y 90.

Son consientes de las limitaciones y carencias del barrio que actualmente habitan, no sólo a nivel de infraestructura sino también a nivel de seguridad por la presencia de grupos de jóvenes no residentes en el barrio, la inexistencia de servicio de transporte en las horas de la noche, la dificultad de acceso ya que hay calles que no cuentan aun con escalera pavimentada. Se manifiesta un deseo de buscar nueva ubicación en barrios planos que no tengan problemas en la infraestructura de servicios públicos. Las limitaciones las miden respecto a los barrios de la parte baja y se mencionan principalmente servicios públicos, escuelas, colegios, parques, iglesia y calles pavimentadas.

Uno de los aspectos que más disgusta y preocupa a los habitantes de esta área es el peligro al que están expuestos por estar sus viviendas ubicadas sobre un terreno en el cual se están presentando continuamente brotes de agua, filtraciones y humedades. El segundo aspecto que preocupa es el hecho de no tener legalizada la propiedad; un tercer aspecto es la carencia de servicios públicos legalizados.

### **? Aspectos Demográficos**

En cada vivienda habitan una o dos familias con algún parentesco; en promedio cada familia cuenta con seis miembros y en la gran mayoría de ellas hay menores de 15 años. Estos barrios habitados por familias que han vivido aquí desde hace tiempo lo cual se advierte con la presencia en la misma vivienda de familias extendidas, padres, hijos y nietos.

## **Educación**

Los niños en edad escolar asisten principalmente a las escuelas y colegios públicos del barrio Gibraltar II ubicados en la parte baja de la zona de estudio verificar pero principalmente se desplazan las Acacias y San Francisco

El recorrido para ir desde estos barrios a las escuelas a donde asisten se cubre generalmente a pie y puede demorar entre 10 y 20 minutos

## **Seguridad social**

La mayoría de los habitantes esta inscrito al SISBEN ; y acuden a los centros de salud de Candelaria Vista Hermosa y Meissen., Las personas que se encuentran empleadas mencionan tener un afiliación diferente a la otorgada por el SISBEN.

## **? Actividad Económica**

Si bien en el análisis de vulnerabilidad se presenta un informe detallado de la situación socioeconómica de la población de la zona; vale la pena señalar algunos aspectos cualitativos que aparecen en las entrevistas y en los recorridos.

El 51% de familias residentes en la zona tiene un ingreso mensual inferior al salario mínimo y una parte importante de ellos no cuentan con ningún ingreso fijo por cuanto los miembros en edad económicamente activa se encuentran todos desempleados.

Sin embargo se percibe lo presencia de personas que aunque no lo manifiestan tienen ingresos superiores y viviendas en otros lugares de la ciudad lo cual refuerza el sentimiento de desinterés por intervenir en la búsqueda de soluciones a las problemáticas del barrio

## **Nivel Organizacional**

Los barrios ubicados en el área de estudio cuentan con su respectiva Junta de Acción Comunal, que se convierte en el único medio de comunicación entre las entidades gubernamentales y la comunidad.

Aunque los miembros de la Junta son residentes con mas de cinco años de permanencia en área, no se percibe una manifestación de credibilidad y respeto entre la comunidad de sus respectivos barrios y los niveles de convocatoria para participar en actividades programadas son deficientes.

Se puede percibir que no existe entre los miembros de las JAC y de la población en general del sector, involucrados en una problemática común, un sentimiento de comunidad que les permita trabajar por el beneficio general del área. Los residentes en un barrio particular no quieren participar en actividades que se programen o beneficien al otro, porque consideran que ese no es su problema; y no se sienten seguros desarrollando actividades en un barrio que no es el suyo así se encuentre a dos cuadras de su vivienda.

Los líderes del sector el Bosque no se sienten apoyados por su comunidad cuando convocan a trabajar en el mejoramiento de las áreas comunes y son acusados de vivir de los aportes que da el Distrito para mejoras en el barrio.

Concluyendo: El sentido de comunidad está circunscrito con limitaciones, a las actividades dirigidas por la Junta de Acción Comunal; y no hay un interés por el trabajo

en común. Es una comunidad afectada por la violencia generalizada en la localidad de Ciudad Bolívar lo que genera una mayor inconformidad y menor identidad como comunidad.

Aunque existen en los alrededores centros con líderes con poder de convocatoria como lo son las iglesias y colegios, no se percibe que haya por parte de ellos un trabajo donde se promueva el sentido de pertenencia colectiva. Como consecuencia de esto se llega a que la solidaridad de grupo se limite a los vecinos más inmediatos y en contados casos a los miembros de las JAC.

## PERCEPCIÓN DEL RIESGO

En general la vulnerabilidad social de la comunidad asentada en este sector 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 pérdida de sus activos o recursos”<sup>32</sup>; y 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.

Aquí, al consultar a la comunidad la percepción sobre el riesgo, este se asimila a la posibilidad de daños en la estructura de su vivienda ocasionado por posibles deslizamientos aunque no logran entender cuales pueden ser los orígenes.

La amenaza es vista desde dos puntos de vista; uno en la probabilidad de que las viviendas sean arrastradas con el deslizamiento del terreno. El otro en la probabilidad de que algunas viviendas pierdan estabilidad por la permanente filtración de agua. Con estas miradas pareciera que la comunidad ha previsto que ocurra algún evento y que eventualmente estén preparados haciendo que la intensidad de los impactos sean menores

### 11.2.4 Fase III. Plan de Gestión Social.

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

Contenido del Plan de Gestión Social:

- ☞ Observación permanente. Creación de un comité de vigilancia y retroalimentación con las organizaciones comunitarias locales
- ☞ Aprender a identificar momentos claves
- ☞ Comunicación con las entidades distritales a cargo de la problemática.
- ☞ Capacitación sobre lo que significa la vulnerabilidad y el riesgo

**Observación permanente:** Repetidamente en las reuniones realizadas se concertó la creación de un comité de seguimiento de la problemática integrado por 2 representantes de cada sector de los barrios involucrados

---

<sup>32</sup> Plan Estratégico 2004 - 2008, Departamento Administrativo de Bienestar Social del Distrito, Pag.9



Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

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:**

En el proceso de construcción de las obras de mitigación se propone que haya una intervención de la DPAE donde mediante acciones en campo de pautas a la comunidad para que pueda identificar las amenazas y sus manifestaciones para que en casos 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 4ª y 5ª reunión (enero 29 y febrero 5) 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 embellecimiento y mejora del espacio público (IDRD)

#### **Capacitación sobre lo que significa la vulnerabilidad y el riesgo**

Se propone que la DPAE programe durante la construcción de las obras de mitigación 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.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

## **ANEXO 11-1 LISTADO DE ASISTENTES**

## **12 OBRAS DE MITIGACIÓN**

### **12.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO**

De acuerdo a la elección de la alternativa de diseño dada en el capítulo 10 que corresponden a malla con cespedón para la zona B, se realizó visita de campo con el fin de ajustar las cantidades de obra y los detalles que deben ser considerados en el diseño final. De acuerdo a la zonificación por amenaza, se desarrollarán las obras en dos zonas: zona A que corresponde a la caída de bloques

Para la zona B se decidió ajustar el diseño hacia una escalera con cunetas laterales para el manejo de aguas lluvias.

Para cada una de estas zonas se realizó una sección de detalle que permitiera calcular en forma más acertada las cantidades de obra y definiera en campo el manejo constructivo de la obra.

Para la longitud y orientación de los taches largos se tuvo en cuenta la distancia máxima de discontinuidad dada por el geólogo de acuerdo a los trabajos de campo (1,0 m), la geometría de la falla típica obtenida de los análisis (la falla en cuña y volcamiento es la típica en la zona pero la falla planar es la que brinda menores factores de seguridad) así como la orientación conveniente a nivel constructivo. De acuerdo a estas consideraciones la longitud de tache mayor considerada de 3,0 m generará soporte a dos superficies de discontinuidad, suficiente para las consideraciones de la zona. Estos taches se deben colocar en la parte superior, intermedia e inferior de la malla triple torsión con cespedón. Brindará estos taches el soporte en el evento de la caída de bloque ayudado por los taches ejecutados.

El diseño se acompañó además de la ubicación de obras de drenaje, arborización (los cuales incorporarían la zona urbanísticamente y servirían de apoyo a posibles caídas de bloque en el evento de que se rompa la malla o se degrade por falta de mantenimiento).

Los análisis y cálculos hidráulicos se encaminaron al diseño de las cunetas que impida la llegada del agua de escorrentía generada por la lluvia hasta el talud erosionado y hacia la escalera. La alternativa seleccionada consiste en tres canales, uno de ellos acoplado a la escalera, diseño el cual se presenta en un numeral siguiente.

### **12.2 DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONTROL DE ESCORRENTIA.**

De acuerdo al trazado de las cunetas propuesto para la complementación del control de la escorrentía superficial que corre sobre el área de estudio, se realizó la delimitación de las cuencas de influencia pertenecientes a cada una de las estructuras.

Para cada una de ellas se determinó el caudal utilizando el Método Racional, utilizando los mismos criterios citados anteriormente. Las memorias de cálculo se presentan en el ANEXO 12-1.

De acuerdo a los cálculos realizados se adoptarán para el predimensionamiento de cada una de las cunetas, los caudales correspondientes al periodo de retorno de cien años de la siguiente manera:

**Tabla 12-1 Caudales para las sub cuencas empleando el método racional**

Cuenca Cuneta	Q (m <sup>3</sup> /s)
No 1	0.13
No. 2	0.07
Escalera	0.13

El dimensionamiento de las cunetas se realizó con la ayuda del programa FlowMater apoyándose en la fórmula de Manning y basándose en las siguientes condiciones:

- ? Utilización de secciones trapezoidal cunetas No 1 y rectangular para las cunetas No 2 y No 3 (Escalera), de acuerdo a las condiciones del terreno.
- ? Se asume un valor del coeficiente de rugosidad de Manning de  $n = 0.017$ , el cual es recomendado para canales revestidos en concreto sin pulir (escobado o rustico).
- ? Se conservará una velocidad mínima de aproximada de 2.0 m/seg, la cual garantiza el flujo, el arrastre de sedimentos de fondo y la no sedimentación de partículas suspendidas.
- ? Igualmente se respetara una velocidad máxima permisible próxima a los 5.0 m/seg, recomendada para alcantarillados en concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup>.
- ? Los caudales para el diseño de las cunetas se asumirán de acuerdo a los calculados para el periodo de retorno de 100 años, bajo las siguientes consideraciones:

Cuneta No 1: Caudal de 0.13 m<sup>3</sup>/seg. Rango de pendientes entre 0.02 y 0.40%.

Cuneta No 2: Caudal de 0.07 m<sup>3</sup>/seg. Rango de pendientes entre 0.03 y 0.55%.

Cuneta No 3 : Escalera. Caudal de 0.13 m<sup>3</sup>/seg, el cual fue reducido aproximadamente a su cuarta parte, equivalente a 0.04 m<sup>3</sup>/seg, teniendo como criterios la proporción al área aferente de drenaje de las cunetas a lado y lado de la escalera y a las conexiones de desagüe propuestas a los pozos existentes. Rango de pendientes entre 0.15 y 0.70%.

Como resultado obtuvieron las secciones que se presentan a continuación los cuales se presentan en el Anexo 12.2:

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

**Tabla 12-2 Dimensionamiento de Cunetas**

Cuenca Cuneta	z	B (m)	h (m)
<b>SECCIÓN TRAPEZOIDAL</b>			
No 1	1	0.20	0,20
<b>SECCIÓN RECTANGULAR</b>			
No 2		0.25	0,25
En Escalera		0.20	0.20

En la escogencia de las secciones finales se tuvo en cuenta un dimensionamiento adecuado para la construcción en el terreno, mantenimiento, adición de borde libre conveniente y la sensación de seguridad a las personas de la comunidad.

De acuerdo principalmente a la topografía de los tramos de cunetas propuestos y amarrados a la conservación de las condiciones de velocidad ya citadas, se permitieron velocidades muy cercanas a la permisible máxima, teniendo como argumento la escogencia de un periodo de retorno alto (Tr 100 años) y garantizando el funcionamiento adecuado del sistema dentro de las condiciones citadas anteriormente.

### 12.3 PRECIOS UNITARIOS

En el Anexo 12.2 se presenta los precios unitarios calculados los cuales se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 12-3 Lista de precios unitarios**

CONVENCION	Actividad	Unidad	Valor
LOCREP	LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO	M2	\$ 821
RETIROBLO	RETIRO DE BLOQUES	M3	\$ 25,083
EMPRA	MALLA GALLINERO CON CESPEDÓN Y TACHES	M2	\$ 14,436
ARBOL	PLANTACIÓN DE ÁRBOLES	UN	\$ 40,050
CUNETA	CUNETA EN CONCRETO	ML	\$ 33,121
SUMIN	SUMIDERO	UN	\$ 187,063
EXMASUELO	EXCAVACIÓN MANUAL EN MATERIAL COMUN (acarreo 10 km)	M3	\$ 10,992
EXMAROCA	EXCAVACIÓN EN ROCA (acarreo 10 km)	M3	\$ 24,675
ANCVAR	ANCLAJE CON VARILLA	ML	\$ 57,033
ASEO	ASEO GENERAL (incluye retiro de escombros)	M2	\$ 2,087
MURGAV	MURO EN GAVION (INCLUYE MO Y MATERIAL)	M3	\$ 120,000
CAJAINS	CAJA DE INSPECCIÓN	UN	\$ 394,765
RELLEEX	RELLENO EN PIEDRA PEGADA	M3	\$ 56,439
TUBO PVC 8"	TUBERÍA PVC ALCANTARILLADO W-RETEN 8 "	ML	\$ 72,566
CONCRETO	CONCRETO 210 KG/CM2	M3	\$ 355,730

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

## 12.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

En el ANEXO 12-6 se presenta las especificaciones técnicas de la obra.

## 12.5 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

En el Anexo 12.3 se presenta el análisis de cantidades de obra de corte y relleno para la escalera y el análisis de los demás ítems en esta zona B utilizando el plano diseñado. Para la zona A se calculó directamente en el plano de acuerdo a las condiciones diseñadas en campo. En la tabla siguiente se presenta el presupuesto para la alternativa de diseño. Las obras planteadas se muestran en el Plano 9, 10 y 11.

**Tabla 12-4 Presupuesto**

### PRESUPUESTO

DESCRIPCION	UNID	CANT.	VALOR UNITARIO \$	VALOR/TOTAL \$
<b>ZONA A - BARRIO GIBRALTAR I SECTOR</b>				<b>100.758.090,00</b>
REASENTAMIENTO PREDIO C-001, C-002, C-003	VIVIENDA	3,00	15.000.000,00	45.000.000,00
LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO	M2	630,00	1.211,00	762.930,00
PLANTACIÓN DE ÁRBOLES	UN	26,00	40.050,00	1.041.300,00
EXCAVACIÓN MANUAL EN MATERIAL COMUN (acarreo 10 km)	M3	63,00	22.542,00	1.420.146,00
MALLA TRIPLE TORSIÓN CALIBRE 12 CON CESPEDÓN Y TACHES	M2	630,00	43.004,00	27.092.520,00
ASEO GENERAL (incluye retiro de escombros)	M2	630,00	2.087,00	1.314.810,00
CUNETA EN CONCRETO	ML	57,00	35.521,00	2.024.697,00
MURO EN GAVION (INCLUYE MO Y MATERIAL	M3	73,00	113.492,00	8.284.916,00
CAJA DE INSPECCIÓN	UN	2,00	378.487,00	756.974,00
TUBERÍA PVC ALCANTARILLADO 8 "	ML	12,00	64.734,00	1.991.937,00
MURO EN GAVION (INCLUYE MO Y MATERIAL	M3	73,00	113.492,00	8.284.916,00
DEMOLICIÓN	M2	54,00	51.536,00	2.782.944,00
<b>ZONA B ALTOS DE JALISCO</b>				<b>41.036.378,00</b>
LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO	M2	300,00	1.211,00	363.300,00
EXCAVACIÓN MANUAL EN MATERIAL COMUN (acarreo 10 km)	M3	21,30	22.542,00	480.145,00
EXCAVACIÓN EN ROCA (acarreo 10 km)	M3	49,70	34.575,00	1.718.378,00
CUNETA EN CONCRETO	ML	125,00	35.521,00	4.440.125,00
RELLENO EN PIEDRA PEGADA	M3	24,00	56.439,00	1.354.536,00
TUBERÍA PVC ALCANTARILLADO 8 "	ML	19,00	64.734,00	1.991.937,00
CONCRETO 210 KG/CM2	M3	42,00	298.831,00	12.550.902,00
ACERO DE REFUERZO	KG	3440,00	2.277,00	7.832.880,00
CAJA DE INSPECCIÓN	UN	8,00	378.487,00	3.027.896,00
BARANDA METÁLICA	ML	120,00	36.884,00	4.426.080,00
SUMIDERO	ML	11,00	259.109,00	2.850.199,00
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 141.794.468</b>
<b>ADMINISTRACION</b>	8%			<b>\$ 11.343.557</b>
<b>IMPREVISTOS</b>	7%			<b>\$ 9.925.613</b>
<b>UTILIDADES</b>	10%			<b>\$ 14.179.447</b>
<b>IVA SOBRE UTILIDADES</b>	16%			<b>\$ 2.268.711</b>
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>				<b>\$ 179.511.796</b>

## 12.6 ESTUDIO DE VIABILIDAD DE OBRAS

Las obras diseñadas presentan los siguientes inconvenientes:

- ? Reasentamiento de tres predios. Los documentos que se revisaron en campo para los habitantes están en regla, además de ser predios incluidos en el plano de legalización del barrio,
- ? La cuneta No. 1 ubicada arriba del escarpe puede ser acompañada del diseño de una vía peatonal. Inicialmente debe ser construida y posteriormente con la colocación de un paso peatonal por parte de la entidad competente se mejoraran las condiciones del sector. Esta obra se encuentra en predios urbanos del distrito.
- ? Muros en gavión, malla con cespedón. No tienen problemas por ser una zona del distrito.
- ? Cuneta y escalera. La zona es del distrito.

Se solicitó concepto de las obras a las diferentes entidades competentes por medio de carta sin recibir respuesta. La solicitud esta más enfocada a la escalera con cuneta. De estas solicitudes la más importante a considerar es la del IDU por ser esta obra de su competencia.

## **12.7 RECOMENDACIONES DEL USOS DEL SUELO**

No se realizará ningún cambio de uso del suelo o intervención directa.

## **12.8 PRIORIDADES DE EJECUCIÓN Y SECUENCIA CONSTRUCTIVA**

El diseño contemplado en la Zona A debe ser realizado en su totalidad y cada medida es integral una con la otra. Para la zona B, la prioridad es la ejecución de la cuneta antes que la escalera. El diseño contemplado aquí debido a las condiciones del terreno fue necesario acoplarlo a la estructura de la escalera y manejarlo como una sola estructura.

En el evento en que solo se decida realizar la cuneta debe remitirse a la sección planteada realizando los respectivos costos asociados a la ejecución parcial de esta obra y las excavaciones o rellenos ejecutados deben ser reducidos en proporción al área de corte.

Desde el punto de vista de prioridad es importante iniciar con las obras de la zona A y luego con la zona B.

La secuencia constructiva de la Zona A es:

- ? Compra de predios
- ? Localización y replanteo de obras.
- ? Limpieza y retiro de bloques inestables
- ? Construcción de gaviones.
- ? Limpieza de muro de retención actual.
- ? Demolición de vivienda a reubicar.
- ? Colocación y/o tendido de la malla con cespedón, desde arriba hacia abajo y colocación

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

- ? Instalación taches.
- ? Instalación total de cespedón y arreglo de malla.
- ? Aseo de zona

La secuencia constructiva de la zona B es:

- ? Localización y replanteo de obras.
- ? Excavación inicial de escalera con cunetas
- ? Instalación de formaleta.
- ? Colocación de rellenos y ejecución de cortes
- ? Colocación de concreto de escalera y baranda central.
- ? Aseo zona.

## **12.9 RECOMENDACIONES DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS**

Es necesario tener los predios a reasentar en condiciones libres. El constructor deberá realizar la demolición de estos predios y acomodar el sistema de drenaje existente a unas condiciones aceptables de funcionamiento.

Para la Zona B es importante tener en cuenta las alturas efectivas y entradas reales de los predios de estudio. Estas labores deben ser adelantadas por los dueños de cada predio.

### **12.10 CRONOGRAMA DE PROYECTO**

La ejecución de las obras conllevarán cuatro meses. Es importante tener en cuenta que para la ejecución de las obras se debe haber realizado la compra del predio para la Zona A.



**Tabla 12-5 Cronograma de proyecto**

ACTIVIDADES	MES		
	1	2	3
<b>ZONA A - GIBRALTAR I SECTOR</b>			
Localización y replanteo			
Demolición predio			
Excavacion manual en suelo			
Muro de gavión			
Cuneta de coronacion			
Malla cespedón			
Aseo			
<b>ZONA B - ALTOS DE JALISCO</b>			
Localización y replanteo			
Excavacion manual en suelo			
Excavacion en roca			
Ejecución concretos			
Aseo			

### 12.11 CONDICIONES DE PROYECTO

Es necesario incluir en los términos de referencia para construcción los siguientes ítems:

- ? Plan de Manejo Social para la construcción. El contratista deberá presentar la estrategia social a adelantar en la zona de acuerdo a los lineamientos dados en el Plan de Gestión Social de este informe, así como mantener permanentemente en la obra a un gestor social el cual será el interlocutor entre la entidad y la comunidad. Debe incluir en este plan mínimo cuatro reuniones (en fines de semana) con la comunidad para comentar el avance de la obra. El contratista debe tener como mínimo un 20% de comunidad contratada en la zona o en áreas aledañas a la zona. El plan de manejo social debe incluir la estrategia de contratación para esta comunidad. Si en un evento no se cumple el 20% debe ser justificado técnicamente..
- ? Plan de Emergencia. El contratista debe entregar su Plan de Emergencia en donde se incluya el análisis de riesgo en obra teniendo en cuenta a la comunidad, los bienes y servicios comunitarios como servicios públicos y las excavaciones que se ejecuten. El plan debe incluir como mínimo que el 20% de las personas que trabajan en la zona tengan conocimiento en primeros auxilios y reanimación cardiopulmonar –RCP. Esto debe ser garantizado con planillas de capacitación de una ARP al personal con mínimo cuatro horas de trabajo. El plan debe ser ejecutado para la zona y no se debe aceptar planes plantillas de la empresa en oficina (los cuales no son validos ya que el contratista deberá estar como mínimo el 90% de tiempo en campo. En el plan debe incluirse la empresa o empresas a las cuales esta inscrita el contratista en EPS, Pensión y ARP.
- ? Manual y reglamento de obra. Es necesario que el contratista tenga en cuenta la ejecución de un manual y reglamento de obra, el cual debe incluir los siguientes aspectos: 1) Horario de trabajo o jornada, 2) Teléfonos de contacto del residente en campo, y residente social, condiciones de higiene de trabajo, condiciones y manejo ambiental en la zona, relaciones interpersonales, relaciones con la comunidad.

## **12.12 MANUAL DE MANTENIMIENTO**

El Manual de Mantenimiento es un documento indispensable para cualquier tipo de obra. Refleja la filosofía, política, organización, procedimientos de trabajo y de control de la entidad ajustado a las disposiciones de la comunidad y la empresa constructora.

En el Manual de Mantenimiento por parte del constructor se debe indicar la Misión y Visión de la Empresa, las políticas, y objetivos de mantenimiento, los procedimientos de trabajo utilizados en la ejecución de la obra, de control y las acciones correctivas. Es importante señalar que deben incluirse sólo los procedimientos que se aplican y las instrucciones en un lenguaje común para la comunidad.

Periódicamente, se procederá a actualizar el Manual de Mantenimiento hasta el final de la obra, eliminando las instrucciones para deberes y obligaciones que estén discontinuándose incorporando las instrucciones para las nuevas obligaciones. La función de elaboración y actualización del manual queda bajo la responsabilidad del responsable en obra, el responsable de la comunidad y el responsable de la DPAE el cual debe aprobarlo y validarlo.

Desde el punto de vista de diseño el Manual de mantenimiento debe contemplar que existen algunas obras las cuales requieren mantenimiento continuo por parte de la comunidad y de la DPAE:

### **Comunidad**

**Arborización y cespedón de malla:** Requiere estar regando constantemente y por lo menos cada semana durante los dos primeros meses y posteriormente cada quince días durante seis meses. Luego es importante informar a la entidad DPAE la posible pérdida de material que pudiera generar procesos de inestabilidad.

**Cunetas:** Limpieza de basuras, tierra y demás de los espacios. Llenado de posible vacíos debajo de la cuneta (por socavación generada por el hombre)

**Escalera.** Limpieza de los pastos que puedan salir por las juntas. Llenado con arena.

### **EAAB y comunidad**

La EAAB puede realizar una revisión periódica de sumideros y cajas de inspección acompañados de la comunidad con el fin de que aprendan del tema. Posteriormente estas labores deben ser asumidas por la comunidad.

El constructor debe diseñar un manual de mantenimiento partiendo de las siguientes condiciones básicas:

### **DPAE**

**Malla con cespedón.** Revisar cada seis meses la continuidad de malla y cubrimiento, la persistencia de anclajes y taches, permanencia de cespedón.

**Cunetas,** Revisar permanencia, continuidad, juntas constructivas y buen manejo del agua antes de la temporada de lluvias en marzo y septiembre, o de acuerdo a las condiciones expresadas por el IDEAM o la entidad en el año.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

## **ANEXO 12-1 MEMORIAS DE CÁLCULO CAUDALES**

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

## **ANEXO 12-2 MEMORIAS DE CALCULO DIMENSIONAMIENTO CUNETAS**

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

## **ANEXO 12-3 MEMORIAS DE CALCULO VARIOS**

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

## **ANEXO 12-4 PRECIOS UNITARIOS**

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

## **ANEXO 12-5 PRESUPUESTO**

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

## **ANEXO 12-6 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**



## 13 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 13.1 CONCLUSIONES

El presente estudio de riesgo por fenómenos de remoción en masa se adelantó en una zona que enmarca tres barrios de la Localidad de Ciudad Bolívar: Gibraltar I Sector, un sector de Acacias conocido como Sector Esperanza y un sector de Altos de Jalisco conocido como Bosques Sector I y II. Dicha zona se desarrolló en una zona de ladera, sobre terrenos dejados por la explotación de antiguas canteras y en rellenos antrópicos, tiene un área aproximada de 2.7Ha y está limitada por el noroccidente por la transversal 19 y por la carrera 18Z, por el nororiente por la calle 61B Sur, por el oriente por la transversal 18R, por el suroriente por la carrera 18P Bis B y por el suroccidente por la calle 62 A sur. Dentro de la zona estudiada se encuentran 159 predios, de los cuales 11 son lotes, y una población de 1036 personas (de los cuales 294 son niños).

Los principales fenómenos de inestabilidad en el área de estudio corresponden a caída de rocas en una zona de escarpe (denominada en el estudios como Zona A) y a deslizamientos poco profundos que se presentan en las zonas de alta pendiente donde se han realizado cortes para la construcción de viviendas (Zona B).

En la Zona A se presentó en agosto de 2004 una situación de emergencia por la caída de bloques, la cual no afectó a personas pero dejando parcialmente sin soporte la entrada de la vivienda de la Calle 61D sur No. 18R-67 manzana C lote 1. En cuanto a la Zona B se presentó una situación de emergencia por un flujo de tierras generado en el talud de corte de la vivienda ubicada en la Calle 62 Bis sur No. 18R-34 manzana 25 lote 009 y por la ausencia de estructura de contención.

Durante la ejecución del presente estudio se adelantaron trabajos de topografía, inventario de viviendas, climatología, hidrología, hidráulica, geología y geomorfología, investigación del subsuelo, ensayos de laboratorio, caracterización geomecánica, identificación de procesos, análisis de estabilidad, análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, planteamiento de alternativas de mitigación, y diseño detallado de la medida de mitigación más conveniente para su implementación en el corto plazo.

El área de estudio se encuentra ubicada un sector de arenisca con intercalaciones de lodolitas pertenecientes a la Formación Regadera, sobre los cuales se encuentran depósitos coluviales (antiguos y estables) y rellenos antrópicos de poco espesor colocados en la conformación de algunas viviendas. La exploración del subsuelo comprendió la ejecución de 31 sondeos, 2 trincheras, 4 apiques y 2 líneas sísmicas, información que permitió identificar claramente los espesores de los diferentes materiales.

Las zonas A y B, relacionadas anteriormente, se describen así:

? **Zona A en el barrio Gibraltar I** presenta caída de bloques el cual está asociado al fracturamiento del macizo rocoso en la zona de brecha de falla y controlado por la presencia de seis (6) familias de discontinuidades identificadas en la inspección de campo. Se realizó el análisis cinemático de fallas y taludes, así como la evaluación de cada mecanismo de falla siendo el modelo de falla planar el crítico. Se evaluó la distancia de viaje encontrando que el bloque crítico solo llega hasta la entrada de las viviendas de la manzana B, situación calibrada con el evento de agosto de 2004. El calculo de amenaza evidencio probabilidad de falla alta asociada al modelo planar y probabilidad de falla media a baja para el modelo de falla en cuña o volcamiento. Las condiciones estructurales de las viviendas ubicadas arriba y abajo son similares ejecutadas en mampostería con pórtico incompleto. Los resultados del análisis de riesgo permitieron establecer que dos predios de la zona de estudio se encuentran en riesgo alto por fenómenos de remoción en masa: Manzana C – Predio 01 (Calle 61D sur #18R-67 y Prop. Rita Vargas) y Manzana C – Predio 02 (Calle 61D sur #18R-61 y Prop. Socorro Sanchez) y uno en riesgo medio Manzana C – Predio 03 (Calle 61D sur #18R-57 y Prop. Luis Eduardo Pineda):

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

**Zona B en Altos de Jalisco (bosques I y II sector)** en donde se identificó la presencia de depósitos coluviales antiguos y rellenos antrópicos de poco espesor que se ubican sobre la roca de arenisca y lentes de arcillolita, con niveles de agua natural y/o de origen residual importantes que saturan estos suelos generando pequeños flujos de tierra en temporada de invierno. El cálculo de amenaza por fenómenos de remoción en masa evidenció probabilidad de falla alta en la parte superior de la corona del talud en los lotes Manzana 27 – Predio NI138 (Calle 62A bis sur No. 18Q-40 y Orlando Vargas) y Manzana 27 – Predio NI145 (Calle 62A bis sur No. 18Q-32 y José Gustavo Olmos) y amenaza media hacia la manzana 22 y manzana 48. La mayoría de las viviendas en esta zona están ejecutadas en mampostería con pórticos incompletos. En general, el nivel de riesgo por FRM en esta zona es medio a bajo.

### 13.2 RECOMENDACIONES

Una vez definidas las zonificaciones de amenaza y riesgo por fenómenos de remoción en masa, se recomienda en general, medidas de mitigación consistentes en obras de protección y contención en el corte de antigua explotación (Zona A) y el manejo del drenaje (en la zona B de estudio). A continuación se describen dichas medidas:

a) Contener la caída de bloques en la zona A en forma inmediata por medio de una malla triple torsión con tachos de acero y cespedón, complementado con la construcción de muro en gavión en la parte baja del talud (que funcionará como barrera) y el reasentamiento de las siguientes tres viviendas:

Manzana	Predio	Dirección	Propietario
C	1	Calle 61D sur No. 18R-67	Rita Vargas
C	2	Calle 61D sur No. 18R-61	Socorro Sánchez
C	3	Calle 61D sur No. 18R-57	Luís Eduardo Pineda

El reasentamiento de estas viviendas ubicadas en la parte superior del escarpe puede llevarse a cabo antes o durante la ejecución de las obras. La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB-ESP, deberá redireccionar o remplazar el pozo de inspección de alcantarillado existente en la corona del talud y ubicado abajo del predio Manzana tal Predio tal C1 con lo que se impedirá un deterioro adicional de la ladera.

b) Construcción de una cuneta acoplada a una escalera a lo largo de la calle 62 sur que drene el agua impidiendo la saturación de los materiales que conforman el talud en la zona B. Es de notar que existen además especialmente hacia el sector de Altos de Jalisco en la parte baja y media de la ladera la presencia de infiltración de aguas negras producto del desacople de tubería de alcantarillado combinado de conducción entre pozos (en la gran mayoría de los casos se encuentran colmatados). Hacia esta zona es necesario que la EAAB-ESP revise el sistema de alcantarillado sanitario.

Se aclara que algunos de los pozos y cajas de inspección ubicados en esta zona fueron construidos por la DPAAE en un proyecto de obra anterior y por tanto se recomienda que sean incluidos dentro de un programa de mantenimiento.

El valor total de las medidas de mitigación recomendadas es de ciento setenta y nueve mil quinientos once mil setecientos noventa y seis pesos (\$ 179.511.796) discriminados en la zona A – Gibraltar por \$ 100.758.090 y Zona B – Altos de Jalisco por \$ 41.036.378, ambos valores sin AIU mas IVA.

Teniendo en cuenta la tipología de viviendas que predominan corresponden a viviendas de autoconstrucción en mampostería se recomienda contemplar este sector de la ciudad para ser incluido en un programa de mejoramiento de vivienda con la asesoría técnica adecuada para este fin.

## **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 u obras de ingeniería diferentes a las 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.

Consortio 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 engineering. Dover. Pp. 187 – 222. 1987.

Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barro Gibraltar, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

---

HOEK. Evert y BRAY, John. Rock slope Engineering. Institution of Mining and Metallurgy. 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". DPAAE.

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 Vías – INV. Manual de Estabilidad de Taludes, Geotecnia Vial. 1998.

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

KOEFOD. Otto. Geosounding principles publicado por el servicio geológico holandés (TNO).

LEONE, F. Concept de Vulnérabilité appliqué a l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvement 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 por remoción en masa de la Cantera el Cedro (Localidad Usaquén). Octubre 2003.

LOW, B. K. Reliability analysis of rock wedges in Journal of geotechnical and environmental 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.