TABLA DE CONTENIDO

1 GENERALIDADES 14

1.1 ALCANCE DEL ESTUDIO 14
1.2 ORGANIZACIÓN DEL INFORME 14
1.3 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DESARROLLADAS. 15
1.3.1 *Recopilación y Análisis de la Información Disponible* *15*
1.3.2 *Reconocimiento de Área.* *15*
1.3.3 *Levantamiento Topográfico.* *16*
1.3.4 *Exploración del Subsuelo y Ensayos de Laboratorio.* *16*
1.3.5 *Evaluación de Daños y Encuesta Socioeconómica:* *16*
1.3.6 *Análisis de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo.* *16*
1.3.7 *Alternativas y Diseños Detallados:* *16*

2 DIAGNOSTICO CONCEPTUAL 18

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS. 18
2.1.1 *Deslizamientos y Zonas Potencialmente Inestables.* *18*
2.1.2 *Problemas en las Corrientes de Agua.* *19*
2.2 DELIMITACIÓN GEOMÉTRICA DEL ÁREA DE ESTUDIO. 19
2.3 REQUERIMIENTOS DE TOPOGRAFÍA Y EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO. 20
2.4 MODELOS Y METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS. 21
2.5 EVALUACIÓN CONCEPTUAL DE LA AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DEL AREA DEL ESTUDIO. 22
2.5.1 *Amenaza.* *22*
2.5.2 *Vulnerabilidad.* *22*
2.5.3 *Riesgo.* *22*
2.6 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN 22

3 LEVENTAMIENTO TOPOGRÁFICO 24

3.1 INTRODUCCIÓN 24
3.2 LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA. 24
3.3 MÉTODO DE TRABAJO 24
3.3.1 *Enlace y Apoyo Topográfico* *24*
3.3.2 *Levantamiento Topográfico Detallado* *25*
3.4 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DE CAMPO Y DIBUJO DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO. . 25
3.5 REFERENCIAS MATERIALIZADAS PARA EL REPLANTEO Y CONTROL DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN. 25
3.6 PRODUCTO FINAL 26

4 ESTUDIO GEOLOGICO 27

4.1 INTRODUCCIÓN 27
4.2 MÉTODO DE TRABAJO 27
4.2.1 *Compilación y Análisis de Información* *27*
4.2.2 *Fotointerpretación* *28*
4.2.3 *Trabajo de Campo* *28*
4.2.4 *Elaboración de Planos* *28*
4.2.5 *Elaboración del Informe* *29*
4.3 GEOLOGÍA REGIONAL 29
4.3.1 *Estratigrafía* *29*
4.3.1.1 Grupo Guadalupe 29
4.3.1.2 Formación Guaduas (Ktg) 30
4.3.1.3 Formación Bogotá (Tpb) 31
4.3.1.4 Depósitos de Coluvión (Qc) 31
4.3.2 *Geología Estructural* *31*

4.3.2.1 Sinclinal de Tunjuelito (Usme) 31
4.3.2.2 Falla de Limas 32
4.3.2.3 Falla de Mochuelo 32
4.4 GEOLOGÍA LOCAL 32
4.4.1 *Estratigrafía* *32*
4.4.1.1 Formación Guaduas, Conjunto Medio (KTgm) 32
4.4.1.2 Depósitos de Coluvión (Qc) 33
4.4.1.3 Flujos de Tierra (Qft) 33
4.4.1.4 Rellenos Antrópicos (Ra) 34
4.4.2 *Geología Estructural* *35*
4.4.2.1 Estratificación 35
4.4.2.2 Diaclasamiento 35
4.4.2.3 Fallas 35
4.5 GEOMORFOLOGÍA 36
4.5.1 *Escarpes de Explotación Minera Abandonada (I)* *36*
4.5.2 *Rellenos de Cauces Antiguos (II)* *36*
4.5.2.1 Rellenos de Cauces para Vías (IIA) 37
4.5.2.2 Rellenos de Cauces para Viviendas (IIB) 37
4.5.3 *Rellenos Antrópicos Confinados (III)* *37*
4.5.4 *Laderas Erosionales (IV)* *37*
4.5.5 *Explanaciones Antrópicas Estables (V)* *38*
4.5.6 *Sumideros y Zonas Húmedas (VI)* *38*
4.5.7 *Rondas de Cauces Actuales (VII)* *38*
4.5.8 *Planicies Naturales (VIII)* *39*
4.5.9 *Laderas de Control Estructural (IX)* *39*
4.6 *INVENTARIO DE PROCESOS* 39
4.6.1 *Reptación* *39*
4.6.2 *Asentamientos Diferenciales* *40*
4.6.3 *Caída de Bloques* *40*
4.6.4 *Zonas de Roca Fracturada* *40*
4.6.5 *Deslizamientos Locales* *40*
4.6.6 *Erosión en Cárcava y en Surco* *40*
4.6.7 *Sumederos y Zonas Húmedas* *41*
4.7 *HIDROGEOLOGÍA* 41
4.7.1 *Escorrentía Superficial* *41*
4.7.2 *Agua Subterránea* *41*
4.7.3 *Nivel Freático* *43*
4.8 EVALUACIÓN DE CAMBIOS MORFOLÓGICOS A PARTIR DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS 43

5 ESTUDIO HIDROLOGICO 45

5.1 INTRODUCCIÓN 45
5.2 MÉTODO DE TRABAJO 45
5.2.1 *Revisión bibliográfica y recopilación de la información básica* *45*
5.2.2 *Reconocimiento de Campo* *45*
5.2.3 *Análisis de información* *46*
5.3 CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS DEL ZANJÓN DEL RECUERDO Y SU CUENCA. 46
5.4 CLIMATOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO 47
5.5 CAUDALES MÁXIMOS ESPERADOS 48

6 ESTUDIO GEOTÉCNICO 50

6.1 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO 50
6.1.1 *Exploración* *50*
6.1.2 *Ensayos In-Situ y de Laboratorio* *50*
6.1.3 *Caracterización Geotécnica del Suelo (Estratigrafía)* *51*
6.1.3.1 Laderas erosionables (IV) 51

6.1.3.2 Rellenos de Cauces para Viviendas (IIB) 54
6.1.3.3 Escarpes Antrópicos (I). 55
6.1.4 *Parámetros Geotécnicos para Análisis.* *56*
6.1.4.1 Ensayos de Corte directo 56
6.2 ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE ESTABILIDAD 56
6.2.1 *Generalidades* *56*
6.2.2 *Agentes Detonantes de los Fenómenos de Remoción en Masa* *56*
6.2.2.1 Lluvias 56
6.2.2.2 Sismos 57
6.2.2.3 Factor Antrópico 58
6.2.3 *Modelos de Estabilidad de Taludes en Suelos y Rocas Blandas* *58*
6.2.4 *Modelos de Estabilidad de Taludes en Macizos Rocosos* *59*
6.2.5 *Análisis de Estabilidad de Taludes* *59*
6.2.5.1 Parámetros de Resistencia para los Análisis de Estabilidad 59
6.2.5.2 Secciones para los Análisis de Estabilidad 62
6.2.5.3 Análisis de Estabilidad para las Secciones A-A, B-B y C-C 62
6.2.5.4 Análisis de Estabilidad para la Sección D-D 64
6.2.5.5 Análisis de Estabilidad para la Sección E-E 65
6.2.5.6 Análisis de Estabilidad para la Sección F-F 66
6.2.5.7 Análisis de Estabilidad para la Sección G-G 67
6.2.5.8 Análisis de Estabilidad para la Sección H-H 67
6.2.5.9 Análisis de Estabilidad para la Sección I-I 68
6.2.5.10 Análisis de Estabilidad para la Sección J-J 69
6.2.5.11 Análisis de Estabilidad para la Sección K-K 69
6.2.6 *Evaluación Probabilística de la Estabilidad de Taludes* *70*
6.2.6.1 Cálculo de la Probabilidad de Falla Total 70
6.2.6.2 Cálculo de la Probabilidad Condicional de Falla 71
6.2.6.3 Aproximación a la Distribución de Probabilidad del Factor de Seguridad 72
6.2.6.4 Resultados de los Análisis Probabilísticos Según Inventario de Procesos 73

7 EVALUACION Y ANALISIS DE LA AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA 78

7.1 MÉTODO DE ESTUDIO Y METODOLOGÍAS EMPLEADAS 78
7.1.1 *Procesos Erosivos Existentes.* *79*
7.1.2 *Susceptibilidad Ante Sismos* *79*
7.1.3 *Susceptibilidad ante Lluvias desde el punto de vista de Remoción en Masa.* *79*
7.1.4 *Susceptibilidad ante la Erosión Hídrica.* *80*
7.1.5 *Relieve* *80*
7.1.6 *Tipo de Materiales* *80*
7.1.7 *Susceptibilidad por Factores Antrópicos.* *81*
7.1.8 *Evaluación* *81*
7.2 CRITERIOS APLICADOS 82
7.3 DELIMITACIÓN DE LAS ZONAS DE AMENAZA. 84
7.3.1 *Zonas de Caída de Bloques* *84*
7.3.2 *Zonas de Reptación* *85*
7.3.3 *Zonas de Deslizamiento Rápido.* *86*
7.4 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR FRM 86
7.4.1 *Zona Z-1.* *87*
7.4.2 *Zona Z-2.* *87*
7.4.3 *Zona Z-3.* *88*
7.4.4 *Zona Z-4.* *89*
7.4.5 *Zona Z – 5* *90*

8 EVALUACION Y ANALISIS DE VULNERABILIDAD POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA 91

8.1 MÉTODO DE ESTUDIO Y METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS. 91

8.2 INVENTARIO DE VIVIENDAS 96
8.2.1 *Metodología y Desarrollo en Campo* *96*
8.2.2 *Procesamiento de la Información* *96*
8.2.3 *Base de Datos Georeferenciadas.* *97*
8.3 CRITERIOS APLICADOS 97
8.4 ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD POR FRM 98
8.4.1 *Vulnerabilidad de Elementos Estructurales* *99*
8.4.1.1 Viviendas 99
8.4.1.2 Líneas Vitales 99
8.4.1.3 Vulnerabilidad de las Personas 99

9 EVALUACION Y ANALISIS DE RIESGO POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA ..100

9.1 MÉTODOS DE ESTUDIO Y METODOLOGÍAS APLICADAS 100
9.2 CRITERIOS APLICADOS 101
9.3 ZONIFICACIÓN DEL RIESGO 101
9.3.1 *Zona Z-1* *102*
9.3.2 *Zona Z-2* *102*
9.3.3 *Zona Z-3* *103*
9.3.4 *Zona Z-4* *103*
9.3.5 *Zona Z-5* *103*
9.3.6 *Zona Z-6* *104*
9.3.7 *Zona Z-7* *104*
9.3.8 *Zona Z-8* *105*
9.3.9 *Zona Z-9* *105*
9.3.10 *Zona Z-10* *105*
9.4 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL RIESGO 106

10 ALTERNATIVAS DE MITIGACION 107

10.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ZONAS DE RIESGO 107
10.1.1 *Zona Z-1* *107*
10.1.2 *Zona Z-2* *107*
10.1.3 *Zona Z-3* *108*
10.1.4 *Zona Z-4* *108*
10.1.5 *Zona Z-5* *109*
10.1.6 *Zona Z-6* *109*
10.1.7 *Zona Z-7* *110*
10.1.8 *Zona Z-8* *110*
10.1.9 *Zona Z-9* *111*
10.1.10 *Zona Z-10* *111*
10.2 ALTERNATIVAS GENERALES DE MITIGACIÓN 111
10.2.1 *Reconformación* *111*
10.2.2 *Terraceo* *112*
10.2.3 *Empradización de Taludes y Areas Destapadas.* *112*
10.2.4 *Cunetas y Zanjas Revestidas.* *112*
10.2.5 *Filtros Franceses con Geosintéticos* *112*
10.2.6 *Muros de Gaviones.* *112*
10.2.7 *Muros en Tierra Reforzada con Geotextíl.* *112*
10.2.8 *Reubicación y Prohibición de Reutilización del Terreno* *113*
10.3 TRATAMIENTO DE ZONAS DE RIESGO. 113
10.3.1 *Zona Z-1* *113*
10.3.2 *Zona Z-2* *115*
10.3.3 *Zona Z-3* *115*
10.3.4 *Zona Z-4* *117*
10.3.5 *Zona Z-5* *118*

10.3.6 *Zona Z-6* *119*
10.3.7 *Zona Z-7* *121*
10.3.8 *Zona Z-8* *121*
10.3.9 *Zona Z-9.* *123*
10.3.10 *Zona Z-10* *123*
10.4 PRESUPUESTO APROXIMADO 123
10.4.1 *Origen de los Materiales para las Obras de Mitigación.* *123*
10.4.1.1 Zona Z-1. 123
10.4.1.2 Zona Z-2 124
10.4.1.3 Zona Z-3. 124
10.4.1.4 Zona Z-4. 124
10.4.1.5 Zona Z-5. 124
10.4.1.6 Zona Z-6. 124
10.4.1.7 Zona Z-8. 124
10.4.1.8 Zona Z-10. 125
10.5 ANÁLISIS DE BENEFICIO/ COSTO DE LAS ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN. 126
10.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. 126
10.6.1 *Zona Z-1* *127*
10.6.2 *Zona Z-2* *127*
10.6.3 *Zona Z-3* *127*
10.6.4 *Zona Z-4* *127*
10.6.5 *Zona Z-5* *127*
10.6.6 *Zona Z-6* *128*
10.6.7 *Zona Z-8* *128*
10.6.8 *Zona Z-10* *128*

11 DISEÑOS DETALLADOS 130

11.1 CRITERIOS DE DISEÑO 130
11.1.1 *Análisis de Estabilidad* *130*
11.1.2 *Estructuras Hidráulicas* *130*
11.1.3 *Muros en Gaviones* *131*
11.1.4 *Factores de Seguridad de las Obras Recomendadas.* *132*
11.1.4.1 Zona Z-1. 132
11.1.4.2 Zona Z-2. 133
11.1.4.3 Zona Z-3. 134
11.1.4.4 Zona Z-4. 135
11.1.4.5 Zona Z-5. 136
11.1.4.6 Zona Z-6. 136
11.1.4.7 Zona Z-8. 137
11.1.4.8 Zona Z-10. 138
11.2 PROCEDIMIENTOS PARA LA FIJACIÓN DE PRECIOS UNITARIOS 139
11.3 RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS Y MANEJO DE MATERIALES 140
11.4 SECUENCIAS DE CONSTRUCCIÓN Y PRIORIDADES 141
11.4.1 *Secuencias de Construcción* *141*
11.4.1.1 Zona Z-1. 141
11.4.1.2 Zona Z-2. 142
11.4.1.3 Zona Z-3 142
11.4.1.4 Zona Z-4 142
11.4.1.5 Zona Z-5 142
11.4.1.6 Zona Z-6 142
11.4.1.7 Zona Z-8. 143
11.4.1.8 Zona Z-10. 143
11.5 PRIORIDADES 143
11.6 PLANTEAMIENTO PAISAJÍSTICO Y MEJORAMIENTO URBANO 143
11.6.1 *Antecedentes.* *143*
11.7 DETERMINANTES DE LOCALIZACIÓN 144

11.8 ESTRUCTURACIÓN INTERNA 145
11.8.1 *Geomorfología* *145*
11.8.1.1 Propuesta de Tratamiento 145
11.9 RESUMEN DE COSTOS 146

12 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 147

12.1 ACERCA DEL ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO 147
12.2 ACERCA DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO Y DE ESTABILIDAD DE TALUDES. 148
12.3 ACERCA DE LA EVALUACIÓN DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO 149
12.4 ACERCA DE LA EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN. 150
12.5 RECOMENDACIONES 150

LISTA DE TABLAS

TABLA No. 3.1 ERROR DE CIERRE DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO 25
TABLA No. 3.2 COORDENADAS DE ENLACE 25
TABLA No.3.3 REFERENCIAS PARA EL REPLANTEO DE LAS OBRAS DE MITIGACION 26
TABLA No. 5.1 Registros meteorológicos de la zona de estudio. 47
TABLA No. 5.2 Intensidades con base en tiempos de concentración. 49
TABLA No. 5.3 Caudales máximos. 49
TABLA No. 6.1CARACTERIZACIÓN ESTRATO 1 – SECTOR SUR ORIENTAL 52
TABLA No. 6.2 CARACTERIZACIÓN ESTRATO 2 – SECTOR SUR ORIENTAL 52
TABLA No. 6.3 CARACTERIZACIÓN ESTRATO 3 – SECTOR SUR ORIENTAL 53
TABLA No. 6.4 CARACTERIZACIÓN ESTRATO 4 – SECTOR SUR ORIENTAL 53
TABLA No. 6.5 CARACTERIZACIÓN ESTRATO 1 – SECTOR NORORIENTAL 54
TABLA No. 6.6 CARACTERIZACIÓN ESTRATO 2 – SECTOR NORORIENTAL 55
TABLA No. 6.7 PARAMETROS C', ø' BASADOS EN ENSAYOS DE CORTE DIRECTO 56
TABLA No.6.8 PARAMETROS C' y ø' DETERMINADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO 59
TABLA No.6.9 RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO 61
TABLA No. 6.10 PESOS UNITARIOS TOTALES 62
TABLA No. 6.11 SECCION A-A – MECANISMO DE FALLA DE BLOQUE DESLIZANTE 62
TABLA No. 6.12 SECCION A-A CONDICION DE TALUDES INDIVIDUALES 63
TABLA No. 6.13 SECCION B-B CONDICION DE TALUDES INDIVIDUALES 63
TABLA No. 6.14 SECCION C-C CONDICION DE TALUDES INDIVIDUALES 64
TABLA No. 6.15 SECCION D-D – MECANISMO DE FALLA DE BLOQUE DESLIZANTE 65
TABLA No. 6.16 SECCION D-D MECANISMO DE FALLA CIRCULAR 65
TABLA No. 6.17 SECCION E-E – MECANISMO DE FALLA DE BLOQUE DESLIZANTE - SUPERFICIE DE FALLA DENTRO DEL COLUVION 66
TABLA No. 6.18 SECCION E-E MECANISMO DE FALLA CIRCULAR 66
TABLA No. 6.19 SECCION F-F – MECANISMO DE BLOQUE DESLIZANTE 67
TABLA No. 6.20 SECCION G-G – MECANISMO DE BLOQUE DESLIZANTE 67
TABLA No. 6.21 SECCION H-H – MECANISMO DE BLOQUE DESLIZANTE 68
TABLA No. 6.22 SECCION I-I – MECANISMO DE BLOQUE DESLIZANTE 68
TABLA No. 6.23 SECCION J-J – MECANISMO DE BLOQUE DESLIZANTE 69
TABLA No. 6.24 SECCION K-K – MECANISMO DE BLOQUE DESLIZANTE 69
TABLA No.6.25 ANÁLISIS PROBABILÍSTICOS DE ESTABILIDAD PARA LA ZONA DE REPTACION 74
TABLA No.6.26 ANÁLISIS PROBABILÍSTICOS DE ESTABILIDAD PARA LA ZONA DE RELLENOS ANTROPICOS 75
TABLA No.6.27 ANÁLISIS PROBABILÍSTICOS DE ESTABILIDAD PARA LA ZONA COLUVIONES 75
TABLA No.6.28 ANÁLISIS PROBABILÍSTICOS DE ESTABILIDAD PARA LA ZONA DEL MACIZO ROCOSO 76
TABLA No.7.1 CALIFICACION DE FACTORES INTRISECOS Y DETONANTES 78
TABLA No.7.2 CALIFICACIÓN DE PROCESOS EROSIVOS 79
TABLA No.7.3 VALORACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD SISMICA 79
TABLA No. 7.4 CALIFICACIÓN DE LA PERMEABILIDAD 80
TABLA No. 7.5 CALIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSION HIDRICA 80
TABLA No. 7.6 INFLUENCIA DEL RELIEVE 80
TABLA No. 7.7 INFLUENCIA DEL TIPO DE MATERIAL 81
TABLA No. 7.8 INFLUENCIA DE LA INTERVENCIÓN ANTROPICA 81
TABLA No. 7.9 CALIFICACION DE LA AMENAZA 84
TABLA No. 7.10 CALCULO DE LA DISTANCIA DE CAIDA DE BLOQUES 85
TABLA No. 7.11 CLASIFICACION DEL TIPO DE MOVIMIENTO 86
Tabla 8.1. Matriz de calificación de la vulnerabilidad a partir del tipo de solicitación y el tipo de vivienda. Modificada de Leone, 1960 (en Soler et al, 1998). 92
TABLA No. 8.2 CATEGORIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD 97

TABLA No. 8.3 TIPOLOGIA DE LAS VIVIENDAS ____ *98*
TABLA No.8.4 TIPOS DE SOLICITACIONES – CRITERIOS DE INTENSIDAD ____ *98*
TABLA No.8.5 GRADOS DE AFECTACIÓN DE LAS VIVIENDAS ____ *98*
TABLA No.9.1CATEGORIZACION DEL RIESGO ____ *101*
TABLA No.9.2 RIESGO - PERDIDAS ECONOMICAS ____ *101*
TABLA No. 10.1 SECCION D-D – CONDICION DE ESTABILIDAD ACTUAL ____ *113*
TABLA No.10.2 ZONA Z-1 - ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.14 Ton/m3) ____ *114*
TABLA No. 10.3 SECCION G-G – CONDICION DE ESTABILIDAD ACTUAL ____ *115*
TABLA No.10.4 ZONA Z-2 - ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.18 Ton/m3) ____ *115*
TABLA No.10.5 ZONA Z-3 - ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN (Estimado por Suceptibilidad) ____ *116*
TABLA No. 10.6 SECCION I-I – CONDICION DE ESTABILIDAD ACTUAL ____ *116*
TABLA No.10.7 ZONA Z-3 - ALTERNATIVA DE MITIGACIÓN (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.18 Ton/m3) ____ *116*
TABLA No.10.8 ZONA Z-4 - ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN (Estimado por Suceptibilidad) ____ *117*
TABLA No. 10.9 SECCION J-J CONDICION DE ESTABILIDAD ACTUAL ____ *117*
TABLA No.10.10 ZONA Z-4 - ALTERNATIVA DE MITIGACIÓN (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.18 Ton/m3) ____ *118*
TABLA No10.11 SECCION H-H – CONDICION ESTABILIDAD ACTUAL ____ *118*
TABLA No.10.12 ZONA Z-5 - ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.18 Ton/m3) ____ *118*
TABLA No10.13 ZONA Z-6 – CONDICION DE ESTABILIDAD ACTUAL ____ *119*
TABLA No.10.14 ZONA Z-6 - ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.14 Ton/m3) ____ *120*
TABLA No.10.15 ZONA Z-8 - ALTERNATIVA DE MITIGACIÓN (Estimado por Suceptibilidad) ____ *122*
TABLA No. 10.16 SECCION K-K CONDICION DE ESTABILIDAD ACTUAL ____ *122*
TABLA No.10.17 ZONA Z-8 - ALTERNATIVA DE MITIGACIÓN (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.18 Ton/m3) ____ *122*
TABLA No. 10.18 SECCION E-E – CONDICION DE ESTABILIDAD ACTUAL ____ *123*
TABLA No.10.19 ZONA Z-10 - ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.18 Ton/m3) ____ *123*
TABLA No.10.20 RESUMEN DE COSTOS DIRECTOS ESTIMADOS DE LAS ALTERNATIVAS DE MITIGACION (No incluye reubicación ni paisajismo) ____ *126*
TABLA No.10.21 OBRAS DE MITIGACION RECOMENDADAS PARA DISEÑO DETALLADO ____ *128*
TABLA No. 10.22 COSTO DIRECTO ESTIMADO DE LAS OBRAS RECOMENDADAS (No incluye reubicación ni paisajismo) ____ *129*
TABLA No.11.1 FACTORES DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-1- Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.14 Ton/m3 ____ *133*
TABLA No.11.2 FACTORES DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-2 - Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.14 Ton/m3 ____ *133*
TABLA No.11.3 FACTOR DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-3 (Evaluado por Susceptibilidad) ____ *134*
TABLA No.11.4 FACTORES DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-3 - Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.14 Ton/m3 ____ *134*
TABLA No.11.5 MURO EN GAVIONES – RESULTADOS DE ANALISIS ____ *135*
TABLA No.11.6 FACTOR DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-4 (Evaluado por Susceptibilidad) ____ *135*
TABLA No.11.7 FACTORES DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-4 (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.14 Ton/m3) ____ *136*
TABLA No.11.8 FACTORES DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-5 (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.14 Ton/m3) ____ *136*
TABLA No.11.9 FACTORES DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-6 (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.14 Ton/m3) ____ *137*
TABLA No.11.10 FACTOR DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-8 (Evaluado por Susceptibilidad) ____ *138*

TABLA No.11.11 FACTORES DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-8 (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.14 Ton/m3) *138*
TABLA No.11.12 FACTOR DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-10 (Evaluado por Susceptibilidad) *139*
TABLA No.11.13 FACTORES DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-10 (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.14 Ton/m3) *139*
TABLA No. 11.11 RESUMEN DE COSTOS DE LAS ALTERNATIVAS DE MITIGACION *146*
TABLA No.12.1 150
ALTERNATIVAS DE MITIGACION SELECCIONADAS *150*

LISTA DE FIGURAS

FIGURA No.7.1 82
RELACION PROBABILIDAD DE FALLA - SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSION_____ 82
FIGURA No.7.2 83
FACTOR DE SEGURIDAD VS. PROBABILIDAD DE FALLA. _____ 83
FIGURA No.8.1 DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD_____ 95

ANEXOS

ANEXO 1. FIGURAS

No. 1.1 LOCALIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA DEL ESTUDIO.
No. 2.1 DELIMITACIÓN GEOMÉTRICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.
No. 4.1 DIAGRAMA DE POLOS.
No. 4.2 ESTEREOGRAMA
No. 5.1 ZANJÓN DEL RECUERDO – CUENCA VERTIENTE RED DE DRENAJE.
No. 5.2 PERFIL LONGITUDINAL DEL CAUCE PRINCIPAL.
No. 5.3 PRECIPITACION MEDIA MENSUAL MULTIANUAL.
No. 5.4 TEMPERATURA MEDIA MENSUAL MULTIANUAL
No. 5.5 EVAPORACION TOTAL MENSUAL MULTIANUAL.
No. 5.6 BRILLO SOLAR TOTAL MENSUAL MULTIANUAL.
No. 5.7 VELOCIDAD DEL VIENTO MENSUAL MULTIANUAL.
No. 5.8 CURVAS INTENSIDAD – FRECUENCIA – DURACION.
No. 6.1 SECCION A-A SIN SISMO Y SATURADO C-FI.
No. 6.2 SECCION A-A CON SISMO SATURADO C-FI.
No. 6.3 SECCION A-A – LOCALIZACION DE TALUDES INDIVIDUALES
No. 6.4 SECCION B-B – LOCALIZACION DE TALUDES INDIVIDUALES
No. 6.5 SECCION C-C – LOCALIZACION DE TALUDES INDIVIDUALES
No. 6.6 SECCION D-D SIN SISMO Y SATURADO C-FI-.
No. 6.7 SECCION D-D CON SISMO Y SATURADO C-FI-.
No. 6.8 SECCION D-D SIN SISMO Y SATURADO C-FI-.
No. 6.9 SECCION D-D CON SISMO Y SATURADO C-FI-.
No. 6.10 SECCION G-G SIN SISMO Y SECO C-FI-.
No. 6.11 SECCION G-G CON SISMO Y SECO C-FI-.
No. 6.12 SECCION F-F SIN SISMO Y SECO C-FI-.
No. 6.13 SECCION F-F CON SISMO Y SECO C-FI-.
No. 6.14 SECCION F-F – LOCALIZACION DE TALUDES INDIVIDUALES
No. 6.15 SECCION H-H SIN SISMO Y SECO C-FI-.
No. 6.16 SECCION H-H CON SISMO Y SECO C-FI-.
No. 10.1 SECCION D-D CON SISMO Y DRENAJE C-FI-.
No. 10.2 TALUD 2H: 1V-SECCION DD CON SISMO Y SATURADO C-FI-.
No. 10.3 TALUD 3H: 1V-SECCION DD CON SISMO Y SATURADO C-FI-.
No. 10.4 TALUD 3H: 1V-SECCION DD CON SISMO Y DRENADO C-FI-.
No. 10.5 MURO -SECCION DD CON SISMO Y SATURADO C-FI-.
No. 10.6 MURO -SECCION DD CON SISMO Y DRENADO C-FI-.
No. 10.7 CORTE Y RELLENO -SECCION DD CON SISMO Y SATURADO C-FI-.
No. 10.8 CORTE Y RELLENO -SECCION DD CON SISMO Y DRENADO C-FI-.
No. 10.9 SECCION DD CON SISMO DRENADO C-FI – FALLA DE PIE DE TALUD.
No. 10.10 2H: 1V-SECCION DD CON SISMO Y SATURADO C-FI. CIRCULAR
No. 10.11 3H: 1V-SECCION DD CON SISMO Y SATURADO C-FI. CIRCULAR
No. 10.12 3H: 1V-SECCION DD CON SISMO Y DRENADO C-FI. CIRCULAR

No. 10.13 MURO -SECCION DD CON SISMO Y SATURADO C-FI-.
No. 10.14 MURO -SECCION DD CON SISMO Y DRENADO C-FI-.
No. 10.14 A CORTE Y RELLENO -SECCION DD CON SISMO Y SATURADO C-FI-.
No. 10.14 B CORTE Y RELLENO -SECCION DD CON SISMO Y DRENADO C-FI-.
No. 10.14 C ZONA Z-3.
No. 10.14 D ZONA Z-4.
No. 10.15 RELLENO -SECCION G-G CON SISMO Y SECO C-FI-.
No. 10.16 RELLENO -SECCION G-G CON SISMO Y SECO C-FI-.
No. 10.17 SECCION G-G CON SISMO Y SECO C-FI-.
No. 10.18 TERRACEO 2H:1V-SECCION H-H SIN SISMO Y SECO C-FI-.
No. 10.19 TERRACEO 1. 5H:1V-SECCION H-H CON SISMO Y SECO C-FI-.
No. 10.20 SECCION A-A CON SISMO DRENADO C-FI – BLOQUE DESLIZ.
No. 10.21 PARTE ALTA SECCION A-A PARAMETROS MINIMOS CON SISMO DRENADO.
No. 10.22 TERRACEO 2H:1V-SECCION A-A-ALTA- SISMO; SATURADO C-FI-.
No. 10.23 TERRACEO 2H:1V-SECCION CON SISMO Y DRENADO C-FI-.
No. 10.24 TERRACEO 2H:1V-SECCION A-A-ALTA- SISMO; DREN;GAVIONES C-FI-.
No. 10.25 TERRACEO 2H:1V-SECCION A-A-INT. BAJA CON SISMO SATURADO C-FI-.
No. 10.26 PARTE INT. BAJA SECCION A-A - C-FI- CON SISMO; DRENADO
No. 10.27 PARTE INT. BAJA SECCION A-A - C-FI- CON SISMO; DRENADO
No. 10.28 PARTE INT. BAJA SECCION A-A - C-FI- CON SISMO; DRENADO
No. 10.29 PARTE ALTA SECCION B-B - C-FI- CON SISMO; DRENADO
No. 10.30 2H: 1V-SECCION BB-ALTA CON SISMO Y SATURADO C-FI-.
No. 10.31 2H: 1V-SECCION BB-ALTA CON SISMO Y DRENADO C-FI-.
No. 10.32 PARTE INT - SECCION B C-FI. CON SISMO Y DRENADO
No. 10.33 1. 8H: 1V-SECCION BB- PARTE INTERMEDIA; SISMO Y SATURADO C-FI-.
No. 10.34 PARTE ALTA SECCION C-C - C-FI- CON SISMO; DRENADO
No. 10.35 2H: 1V-SECCION CC- PARTE ALTA CON SISMO Y SATURADO C-FI-.
No. 10.36 TERRACEO 2H:1V-SECCION CC PARTE ALTA CON SISMO Y DRENADO C-FI-
No. 10.36 A ZONA Z-8.
No. 10.37 2H: 1V-SECCION F-F ALTA CON SISMO Y SECO C-FI-. –BERMA
No. 10.38 2H: 1V-SECCION F-F ALTA CON SISMO Y SECO C-FI-. –BERMA
No. 10.39 2H: 1V-SECCION F-F ALTA CON SISMO Y SECO C-FI-. –BERMA
No. 10.40 2H: 1V-SECCION F-F ALTA CON SISMO Y SECO C-FI-. –BERMA

ANEXO 2. CUADROS

No. 4.1 REGISTRO DE DIACLASAS EN LOS NIVELES DE ARENISCA DE LA FORMACIÓN GUADUAS, MIEMBRO MEDIO (KTgm)
No. 9.1 CARACTERIZACION DE ZONAS DE RIESGO
No. 9.2 CARACTERIZACION DE SERVICIOS PUBLICOS EN LAS ZONAS DE RIESGO
No. 10.1 PRESUPUESTO APROXIMADO DETALLADO DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION
No. 10.2 MEMORIAS DE CALCULO – ANALISIS COSTO- BENEFICIO

ANEXO 3. PLANOS

No. 3.1 MAPA TOPOGRAFICO
No. 4.1 MAPA GEOLOGICO REGIONAL
No. 4.2 MAPA GEOLOGICO LOCAL
No. 4.3 CORTES GEOLOGICOS

No. 4.4 MAPA GEOMORFOLOGICO
No. 4.5 MAPA DE INVENTARIOS DE PROCESOS
No. 6.1 MAPA DE LOCALIZACION DE LA EXPLORACION GEOTECNICA
No. 6.2 PERFILES ESTRATIGRAFICOS
No. 6.3 MAPA DE LOCALIZACION DE SECCIONES DE ANALISIS DE ESTABILIDAD
No. 7.1 MAPA DE ZONIFICACION DE AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOSION EN MASA
No. 8.1 MAPA PREDIAL
No. 8.2 MAPA DE ZONIFICACION DE VULNERABILIDAD
No. 9.1 MAPA DE ZONIFICACION DE RIESGO
No. 10.1 DISEÑO CONCEPTUAL OBRAS DE MITIGACION
Z-PL-1 PLANTA GENERAL – LOCALIZACIÓN DE ZONAS CON OBRAS DE MITIGACION
Z-PL-2 COORDENADAS DE REFERENCIA PARA EL REPLANTEO DE OBRAS MITIGACION
No. 11.1 PZ-1
No. 11.2 PZ-2
No. 11.3 PZ-3
No. 11.4 PZ-4
No. 11.5 PZ-5
No. 11.6 PZ-6-1
No. 11.7 PZ-6-2
No. 11.8 PZ-6-3
No. 11.9 PZ-8
No. 11.10 PZ-10
No. 11.11 PLANTEAMIENTO CONCEPTUAL GENERAL PAISAJISTICO Y URBANISTICO

ANEXO 4. MEMORIAS DE CALCULO

No. 3.1 POLIGONAL DE LIGAMENTO Y APOYO TOPOGRAFICO
No. 3.2 CERTIFICACION DE IGAG
No. 3.3 DESCRIPCION DE REFERENCIAS PARA EL REPLANTEO Y CONTROL DE LAS OBRAS DE MITIGACION
No. 3.4 CARTERAS DE CAMPO – CALCULO DE COORDENADAS
No. 5.1 REGISTROS METEOROLOGICOS
No. 6.1 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO
No. 6.2 REGISTROS DE PERFORACION
No. 6.3 MEMORIAS DE CALCULO DE PROBABILIDAD DE FALLA Y ESTEREOGRAMAS
No. 7.1 MATRIZ DE EVALUACION DE SUCEPTIBILIDAD DE FRM
No. 8.1 FORMULARIOS PARA LA EVALUACION DE DAÑOS EN EDIFICACIONES EN CASO DE DESLIZAMIENTO
No. 8.2 GRAFICOS ESTADISTICOS
No. 10.1 ESQUEMAS TIPICOS, MEMORIAS DE CALCULO DE CANTIDADES DE OBRA
No. 11.1 MEMORIAS DE CALCULO DE LOS ANALISIS HIDRÁULICOS
No. 11.2 MEMORIA DE CALCULOS GEOTECNICOS
No. 11.3 MEMORIA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN
No. 11.4 MEMORIA DE PLANTEAMIENTO PAISAJISTICO Y MEJORAMIENTO URBANO

ANEXO 5. REGISTRO FOTOGRAFICO

No. 3.1 VALLA INDICANDO ZONA DE RIESGO
No. 3.2 ZONA DE JUEGOS INFANTILES
No. 3.3 VIA PAVIMENTADA CRA. 18 H
No. 3.4 ADECUACION DE UN LOTE PARA CONSTRUCCION DE VIVIENDAS

No. 3.5 PLACA METALICA DE REFERENCIAS
No. 3.6 ESCARPES Y BOTADERO DE MATERIAL
No. 3.7 BARRIO EL TESORITO – ZONA BAJA DEL BARRIO
No. 3.8 BARRIO EL TESORITO – CONSTRUCCIONES EN EL COSTADO SUR DEL BARRIO
No. 3.9 CASA AISLADA DENTRO DE LA CANTERA
No. 3.10 CANTERA ABANDONADA Y ZONA DE FALLA
No. 3.11 FABRICA DE CAL EN LA CRA. 18 F
No. 4.1 AFLORAMIENTO DE ARENISCAS FRACTURADAS DE LA FORMACION GUADUAS CUBIERTAS SUPERFICIALMENTE POR UN DEPOSITO DE COLUVION
No. 4.2 AFLORAMIENTO DE ARCILLOLITAS Y LIMOLITAS DE LA FORMACION GUADUAS EN EL SECTOR ORIENTAL DEL AREA DE ESTUDIO.
No. 4.3 AFLORAMIENTO DE DEPOSITOS DE COLUVION EN EL SECTOR CENTRAL DEL AREA DE ESTUDIO.
No. 4.4 DETALLE DE LOS RELLENOS ANTROPICOS MIXTOS EN EL SECTOR NORORIENTAL DEL AREA DE ESTUDIO.
No. 4.5 RELLENOS ANTROPICOS EN EL SECTOR SURORIENTAL DEL AREA DE ESTUDIO.
No. 4.6 PANORAMICA A TRAVES DEL CAUCE DEL ZANJON DEL RECUERDO
No. 4.7 RELLENOS ANTROPICOS PARA RECONFORMACION MORFOLOGICA DE UNA EXPLOTACION MINERA ANTIGUA EN FORMA DE HUECO CIRCULAR
No. 4.8 DETALLE DE LOS RELLENOS ANTROPICOS DE BASURA EN EL SECTOR SUR DEL AREA DE ESTUDIO.
No. 4.9 AFLORAMIENTO DE ARENISCAS DE LA FORMACION GUADUAS.

1 GENERALIDADES

1.1 Alcance del Estudio

En este informe se presentan los resultados del estudio efectuado por el Consorcio GEOGRALLTDA – INNOVA INGENIERIA LTDA dentro del contrato de consultoría DPAE – CCS-467-99 relacionado con el Estudio de Riesgos por Remoción en Masa y Diseños Detallados de las Obras de Mitigación para Estabilizar el Barrio El Tesorito en la localidad de Ciudad Bolívar de la Ciudad de Santafé de Bogotá.

La zona del estudio está localizada al sur de Santafé de Bogotá D.C., en la localidad de Ciudad Bolívar, a la altura de la carrera 18 J con calle 80 sur, según nomenclatura urbana. Los límites del área cuya extensión es de 6 hectáreas aproximadamente, están definidos por la calle 81 sur, la carrera 18J, las calles 79 sur, la diagonal 80B sur y la carrera 18 F dentro de los cuales se localiza prácticamente la totalidad del Barrio El Tesorito.

En la Figura No. 2.1 que se encuentra el Anexo No. 1, se presenta la localización general del área de estudio la cual se encuentra bisectada por un cauce conocido como El Zanjón del Recuerdo, emplazado en la margen izquierda de la cuenca media de la vertiente del río Tunjuelito y que atraviesa los barrios El Recuerdo, Tesorito, El Tesoro y Minuto de María.

El estudio considera la evaluación de amenaza, vulnerabilidad y el riesgo por fenómenos de remoción en masa únicamente. No se refiere al efecto que pueda generar un evento sísmico en las viviendas de la zona, aunque el aspecto sísmico se tiene en cuenta al analizar el comportamiento del terreno. Hacen parte también del alcance del estudio los diseños detallados de las obras de mitigación recomendadas.

El trabajo se ejecutó en un todo de acuerdo con los términos del contrato DPAE-CCS-467-99 y atendiendo siempre las indicaciones u observaciones hechas por el DPAE través del ingeniero Danilo Ruiz Plazas y por el grupo de ingenieros de la Interventoría, a cargo de la firma INGEMETRICA LTDA, encabezado por el ingeniero Jorge Puerto.

1.2 Organización del Informe

El informe se compone de un Resumen Ejecutivo y de 12 temas principales con el siguiente contenido:

1. Generalidades.
2. Diagnóstico Conceptual.
3. Levantamiento Topográfico.
4. Estudio Geológico.
5. Estudio Hidrológico.

6. Estudio Geotécnico.
7. Evaluación y Análisis de Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa.
8. Evaluación y Análisis de Vulnerabilidad por Fenómenos de Remoción en Masa.
9. Evaluación y Análisis de Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa.
10. Alternativas de Mitigación.
11. Diseños Detallados de las Alternativas Seleccionadas.
12. Conclusiones y Recomendaciones.

ANEXO No. 1 Figuras
2 Cuadros
3 Planos
4 Memorias de Calculo
5 Registro Fotográfico

1.3 Descripción de Actividades Desarrolladas.

El método de trabajo adoptado para el desarrollo del estudio abarcó la realización de las siguientes actividades:

1.3.1 *Recopilación y Análisis de la Información Disponible*

Se reunió y consultó la información disponible sobre cartografía, fotografías aéreas, registros hidrometereológicos y climáticos, mapas geológicos, de suelos y planos topográficos con la localización de obras civiles, vivienda e infraestructura del área, en entidades como el IGAC, INGEOMINAS, EAAB, y la información sobre estudios anteriores suministrada por el DPAE.

1.3.2 *Reconocimiento de Área.*

Se efectuó un reconocimiento detallado del área de estudio por parte de especialistas en Geotécnia, Geología, Evaluación de Riesgos, Arquitectura, Diseño Civil, técnicos en perforación y exploración geotécnica, topografía y encuestadores durante el cual se adelantaron las siguientes labores principales:

- Evaluación geológica y geomorfológica del área.
- Identificación de las diferentes formaciones y materiales, disposición de estratos, depósitos cuaternarios y afloramientos rocosos.
- Identificación de factores geológicos de mayor relevancia e incidencia en los fenómenos de erosión y remoción en masa.
- Determinación de la red de drenaje natural, corrientes y nacimientos de agua.
- Sectorización geomorfológica.
- Determinación y clasificación de movimientos de falla del terreno activos y potenciales, antiguos y recientes.

- Definición de sitios de exploración del subsuelo.
- Identificación de elementos en riesgo por fenómenos de remoción en masa.

1.3.3 Levantamiento Topográfico.

En el levantamiento se utilizaron dos (2) comisiones de topografía durante 7 días. Las mediciones se realizaron con una estación electrónica total marca TOPCON GT-310 por el sistema de radiación, en un área de 6 hectáreas. Para obtener al nivel de detalle toda el área levantada, fue necesario determinar aproximadamente 2300 puntos de detalles que incluyeron la totalidad de los accidentes del terreno y de las obras existentes.

El levantamiento detallado incluyó la localización de vías existentes, paramentos de edificaciones, todas las casas, escarpes, zonas de falla, perforaciones, postes de alumbrado, energía, teléfonos, árboles, placas de referencia.

1.3.4 Exploración del Subsuelo y Ensayos de Laboratorio.

Con el fin de obtener una apropiada descripción y caracterización de los suelos y rocas que se encuentran en las zonas de mayor susceptibilidad a los fenómenos de remoción en masas, se programaron y ejecutaron ocho (8) barrenos manuales que alcanzaron profundidades variables entre 1.50 y 6.5 m y 3 apiques que alcanzaron profundidades entre 1,75 y 4,50 m. De igual manera se efectuaron dos registros en los escarpes existentes en el área los cuales muestran la estratigrafía predominante en la zona hasta alturas entre 5 y 10m.

1.3.5 Evaluación de Daños y Encuesta Socioeconómica:

Mediante la ejecución de una encuesta por Ingenieros y auxiliares, se diligenciaron los formatos suministrados por el DPAE sobre la evaluación de daños en las edificaciones esenciales para la evaluación de la vulnerabilidad.

1.3.6 Análisis de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo.

Con toda la información recolectada se procedió al diagnóstico de los procesos de inestabilidad del área, definición de los mecanismos de falla de los taludes y finalmente al análisis de amenaza por fenómenos de remoción en masa en el cual se consideraron los aspectos del relieve, tipo de materiales, procesos existentes y acción antrópica entre otros. La definición de vulnerabilidad se hizo con base en los resultados de las encuestas de evaluación sobre tipología y nivel de daños en viviendas, asociados al espesor de los materiales y a la velocidad del movimiento.. Con base en los resultados anteriores se procedió al análisis de riesgo por fenómenos de remoción en masa.

1.3.7 Alternativas y Diseños Detallados:

Las alternativas de mitigación se plantearon de acuerdo con el resultado del análisis de riesgo. Luego de exponer las diferentes alternativas posibles, se procedió a escoger aquellas que

presentaran las mejores ventajas técnicas y económicas sobre las cuales se elaboraron los diseños detallados.

2 DIAGNOSTICO CONCEPTUAL

2.1 Descripción del Problema y sus Posibles Causas.

El Barrio El Tesorito se ha visto afectado por problemas de inestabilidad del terreno, en la zona de influencia del denominado Zanjón del Recuerdo que atraviesa el barrio en sentido oriente – occidente.

La configuración topográfica de las laderas son una fuerte componente que puede generar movimiento en el sentido de las pendientes confluentes al Zanjón del Recuerdo, hecho que hace posible que la eliminación de soporte en la parte inferior de los taludes, así como el manejo inadecuado de los sistemas de drenaje del sector induzcan deslizamientos rotacionales retrogresivos en suelos y algunas caídas de bloques en material rocoso.

La impresión general es que los problemas han sido generados en gran parte, por la colocación indiscriminada de rellenos antrópicos de muy pobre calidad sobre el cause del Zanjón del Recuerdo, y sobre el sector sur oriental del barrio en el cruce de la calle 80B sur con carrera 18D bis, así como por filtraciones de agua proveniente del taponamiento del cauce del Zanjón aguas arriba de la carrera 18J y a la inexistencia de alcantarillados del barrio.

2.1.1 Deslizamientos y Zonas Potencialmente Inestables.

Se presentan varios movimientos que se describen a continuación:

- En el sector norte de la carrera 18J, se ha interrumpido el drenaje natural del Zanjón del Recuerdo con unos rellenos recientemente botados (material de excavación, basura, escombros y material orgánico). En la parte alta de estos rellenos se observan grietas de tracción que insinúan la posibilidad de desarrollo a corto plazo de un movimiento rotacional. Esta situación es agravada por la existencia de una tubería provisional de alcantarillado sanitario que descarga e infiltra sus aguas en el talud.
- Por la calle 81 sur, hace aproximadamente dos años se presentó un deslizamiento que afectó varias viviendas, por lo cual, la oficina de Prevención de Desastres, reubicó algunas familias y adquirió las respectivas áreas. En el sector, que está localizado al sur oriente del barrio, más precisamente en el cruce de la calle 80B sur con carrera 18D bis, el análisis geomorfológico multitemporal con fotografías aéreas de la zona (vuelos de 1977 y 1992) indica que este sector estaba afectado por una zona de intensa erosión que presentaba cicatrices de deslizamiento y por una alta densidad de drenaje que fue modificada por cortes realizados en el sector sur de la calle 80B sur y por rellenos en el costado norte, precisamente donde se han presentado fallas en viviendas debidas a un deslizamiento antiguo que generó el desalojo de algunas familias. La ocurrencia de este fenómeno de inestabilidad se debió a la rotura de la

tubería de alcantarillado que discurría por esta vía y que por infiltración de aguas negras saturó el material del talud. El material movido de acuerdo a reconocimiento de campo y fotointerpretación puede corresponder a rellenos antrópicos arcillosos deficientemente compactados. En la actualidad la calle 81 sur esta pavimentada en su parte alta, y sus bordillos actúan como paredes de " un canal ante las lluvias". Por tal razón las aguas de escorrentía son descargadas al final de la vía pavimentada, justamente en la zona del antiguo deslizamiento, de tal forma que se observan en la actualidad viviendas en grave peligro de colapso. Este movimiento es de tipo traslacional y se sucede a lo largo del contacto relleno arcilloso – terreno natural que corresponde a una arcillotita.

- Sobre la carrera 18 I en el límite con la antigua cantera, se encuentran taludes cuasiverticales en roca meteorizada, sobre los cuales descansan algunas viviendas que han sufrido daños estructurales. Estos daños pueden ser atribuidos a deficiencias en la construcción y/o a posibles movimientos de este talud.
- A mitad de camino entre las carreras 18J y 18F, ala margen izquierda del Zanjón del Recuerdo se encuentra un corte vertical en roca que esta cubierto superficialmente por un relleno de basuras y desechos de construcción que de llegar a saturarse puede ocasionar el colapso de una vivienda localizada sobre él.
- La antigua explotación ha dejado cortes verticales en material rocoso los cuales representan un potencial de desprendimiento de bloques rocosos.

2.1.2 Problemas en las Corrientes de Agua.

Se observaron los siguientes eventos:

- El Zanjón del Recuerdo que atraviesa el área del estudio de occidente a oriente ha sido interrumpido por rellenos antrópicos aguas arriba de la carrera 18J y aproximadamente en la mitad del tramo comprendido entre las carreras 18F y 18J.
- Tal como se mencionó anteriormente hay vertimientos indiscriminados de aguas servidas sobre los distintos taludes del área del estudio y principalmente los localizados sobre la carrera 18J y la calle 81 sur.

2.2 Delimitación Geométrica del área de Estudio.

El sector a estudiar está localizado al sur de Santa Fe de Bogotá, D.C., en la localidad de Ciudad Bolívar, a la altura de la carrera 18J con calle 80 sur, según nomenclatura urbana. El área de estudio se enmarca geométricamente en una zona conformada por la calle 81 sur, la carrera 18J, las calles 79 sur, la diagonal 80B sur y la carrera 18F. Y comprende aproximadamente 6 hectáreas de terreno sobre las cuales se localiza prácticamente la totalidad del barrio El Tesorito (ver figura 2.1 en el Anexo No. 1).

2.3 Requerimientos de Topografía y Exploración del Subsuelo.

Se realiza un completo levantamiento topográfico del área de estudio que incluya su área de influencia. Este levantamiento topográfico detallará los rasgos geomorfológicos principales de los procesos de inestabilidad tanto activos como potenciales, haciendo énfasis en la localización de escapes, flujos de agua, cárcavas y otros rasgos de erosión. La labor de topografía se encamina a la obtención del modelo digital del terreno, que a su vez permitirá la evaluación de las pendientes del terreno y el patrón de drenaje, y la obtención de perfiles sobre los cuales se realizaran los análisis de estabilidad. Dado el detalle de los trabajos y las pendientes del terreno se hace necesario trabajar a una escala adecuada, 1:500, con curvas de nivel cada metro. Adicionalmente, se deberán localizar las viviendas, las vías, tuberías de acueducto y alcantarillado, pozos, cercas, postes, obras existentes (puentes, muros, etc.) y todo tipo de elementos que sean indispensables en los análisis de riesgo.

La Planimetría del área se desarrollará por medio de estaciones topográficas totales, dotadas de colectores electrónicos de datos, mientras que los levantamientos altimétricos se desarrollarán mediante nivelación efectuada con nivel automático de precisión. Los levantamientos en la zona del estudio se harán localizando una poligonal abscisada y nivelada geométricamente con nivel de precisión. Posteriormente por radiación con estación total se desarrollará el levantamiento topográfico de detalles como vías, viviendas, redes de servicios públicos, corrientes de agua, accidentes topográficos y en general todo detalle de interés para el presente estudio. Finalmente, en la zona se materializarán suficientes referencias topográficas para el replanteo de las obras de mitigación.

De acuerdo con las visitas de campo, se estima conveniente realizar la investigación del subsuelo con base en exploración directa por medio de barrenos manuales. Se plantea en primera instancia la ejecución de 6 barrenos manuales de cuatro metros de profundidad cada una para un total de 24 m de perforación. Se espera obtener de ellos muestras alteradas e inalteradas que permitan caracterizar los distintos materiales presentes en la zona y en especial de las zonas de inestabilidad activas y potenciales. De encontrarse niveles competentes de roca a una profundidad menor a los cuatro metros, se plantea la investigación de sitios adicionales hasta alcanzar los 24 m programados de perforación.

Por otra parte, en la zona se encuentran varios afloramientos de roca sobre los cuales se realizarán registros de campo que permitan correlacionar la información obtenida en los barrenos con la información obtenida en dichos afloramientos.

Los resultados de la exploración del subsuelo y los ensayos de laboratorio se emplearán en la elaboración de un mapa de zonificación de las áreas homogéneas con base en las propiedades físico-mecánicas de los geomateriales encontrados. Adicionalmente, permitirá correlacionar la litología de la zona, la posición del nivel freático, los modelos de falla y los parámetros de

resistencia necesarios para los análisis de estabilidad de taludes de las zonas homogéneas.

De la exploración del subsuelo se obtendrán muestras inalteradas, las cuales se ensayarán en condiciones de laboratorio para obtener las propiedades índice y de resistencia al corte (parámetros Cu, C' y ϕ'). Para las muestras de suelo alteradas se realizarán ensayos típicos de clasificación. Por otra parte durante el avance de la exploración se realizarán ensayos de resistencia " In Situ" por medio del SPT o Cono Dinámico. Los ensayos de laboratorio incluirán pruebas de clasificación (límites de Atterberg, granulometrías), pruebas de resistencia (compresión inconfinada, corte directo) y pruebas indicativas de resistencia y compresibilidad (humedad natural y peso unitario).

2.4 Modelos y Metodologías de Análisis.

El desarrollo del presente estudio se basa fundamentalmente en la propuesta metodológica desarrollada por González (1990ª y b).

Los análisis geotécnicos concernientes a la estabilidad de taludes se realizarán sobre las secciones topográficas más desfavorables en cada una de las zonas homogéneas, utilizando los programas de computador PCSTABLE, UTEXAS2 y/o BISTAT. Para el estudio de macizos rocosos, el Consorcio posee software especializado para el análisis de discontinuidades (DIPS) y para el análisis de estabilidad con fallas planares y cuñas (SWEDGE). Se realizarán análisis tanto estáticos como dinámicos para la condición actual y futura, para diferentes posiciones del nivel freático y antes y después de realizadas las obras de mitigación recomendadas.

Para la evaluación de la vulnerabilidad se definirán los elementos que se encuentran dentro del área de influencia del fenómeno, así como también su caracterización pensando en su resistencia a sufrir daños, perjuicios o perturbaciones cuando el evento se exprese sobre ellos.

Para la clasificación de los elementos expuestos se plantean 3 grandes grupos, que reflejan las debilidades y fortalezas físicas y funcionales del sector: humanos, físicos y funcionales socioculturales. De acuerdo con la información particular de cada elemento registrada en una ficha técnica, puede establecerse su nivel de respuesta ante el evento. En el caso de los elementos físicos la respuesta corresponde a su resistencia estructural (tipo de vivienda, cimentación, etc.). La evaluación final se realiza por medio de una matriz de respuesta (Leone, 1996 y Soler, González y Vesga, 1999) que expresa y permite calificar la magnitud de la afectación en la zona considerada con amenaza alta, moderada y baja.

Una vez evaluada la amenaza y la vulnerabilidad, se procederá a la valoración de los elementos expuestos, para lo cual se asignará a cada elemento un valor económico, un valor social y un valor estratégico, de los cuales estos dos últimos se dan en forma cualitativa y relativa. Conocido el valor de los elementos, así como su afectación acumulada puede determinarse las consecuencias, calculando el riesgo como producto de la probabilidad de falla y el costo de la falla para cada caso.

2.5 Evaluación Conceptual de la Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo del Area del Estudio.

2.5.1 *Amenaza.*

De acuerdo con las cinco categorías de Amenaza, adoptada en el artículo " Resultados de Evaluación de la Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa en Santafé de Bogotá" (Alvaro González), la zona que ha sido llenada recientemente con materiales botados en el sector norte de la carrera 18J se encuentra en estado activo presentando un grado de amenaza alto.

La zona donde se presentó hace dos años un deslizamiento se encuentra en estado potencialmente activo con un grado de amenaza media alta.

La zona de la carrera 18 I en el límite con la antigua cantera se encuentra en estado potencialmente activo con grado de amenaza media.

La zona del corte vertical a en roca que está cubierto superficialmente por un relleno de basuras, se encuentra en estado potencialmente activo con un grado de amenaza alto.

2.5.2 *Vulnerabilidad.*

A excepción de los cortes verticales en roca localizados en la margen derecha del Zanjón del Recuerdo que tienen un grado de vulnerabilidad media baja, los demás sitios presentan un grado de vulnerabilidad alta que se ve reflejado en la posible destrucción de las viviendas y las consecuentes pérdidas de vidas humanas de los moradores de ellas.

2.5.3 *Riesgo.*

Con base en las categorizaciones de la amenaza y la vulnerabilidad se puede establecer la forma preliminar que los sectores que presentan fenómenos activos o potencialmente activos tienen en términos generales un riesgo alto y en el resto del área se presentaría un riesgo medio a bajo.

2.6 Alternativas de Solución

Para la zona que ha sido rellenada recientemente con materiales botados, en el sector norte de la carrera 18J, se propone un manejo de aguas servidas y la recuperación del cauce antiguo del Zanjón, retirando los rellenos antrópicos y las viviendas existentes.

Para la zona del deslizamiento ocurrido hace dos años se recomienda efectuar un manejo de aguas de escorrentía mediante cunetas, la construcción del alcantarillado pluvial, la implementación de un sistema de filtros y el desalojo de varias viviendas (actualmente hay una vivienda a punto de colapsar). Para el sitio localizado sobre la carrera 18 I en el límite con la antigua cantera, se recomienda continuar el relleno que se adelanta actualmente, construyendo una zona recreacional para evitar la construcción de viviendas que sufrirían problemas por asentamientos diferenciales y proteger el talud contra erosión (concreto lanzado, malla y pernos de anclaje). Como alternativa se plantea la construcción de un talud 3:1 con material de relleno compactado técnicamente protegido con empadrización.

En el sitio de corte vertical cubierto con un relleno superficial de basuras, se recomienda el retiro de la vivienda localizada sobre el borde del talud, la remoción del relleno de basuras y la reconformación de la topografía.

Para los cortes verticales en el material rocoso se recomienda remover los bloques sueltos y efectuar una protección contra erosión de las superficies expuestas con concreto lanzado y malla.

Se recomienda recuperar el cauce del Zanjón del Recuerdo en toda el área de estudio, y en la zona alta de la carrera 18 J, en donde el cauce ha sido rellenado. Se debe restituir su sección hidráulica para lograr un adecuado manejo de las aguas lluvias de la cuenca.

3 LEVENTAMIENTO TOPOGRÁFICO

3.1 Introducción

El presente capitulo describe la metodología de trabajo empleada para llevar a cabo el estudio topográfico detallado y dibujo del Barrio el Tesorito. El trabajo incluyó la localización y el dibujo de vías existentes, paramentos de manzanas (incluyendo casa por casa), escarpes, zonas de falla, perforaciones, parques infantiles, identificación de zonas verdes, postes, árboles y demás detalles necesarios para llevar a cabo los análisis de fenómenos de remoción en masa objeto del presente estudio.

3.2 Localización y Características Generales del Área.

El sector estudiado está localizado al sur de Santa Fe de Bogotá, D.C., en la localidad de Ciudad Bolívar, a la altura de la carrera 18 J con calle 80 sur, según nomenclatura urbana.

El área de estudio se enmarca geométricamente en una zona conformada por la calle 81 sur, la carrera 18 J, las calles 79 sur, la diagonal 80B sur y la carrera 18F. y comprende aproximadamente 6 hectáreas de terreno sobre las cuales se localiza prácticamente la totalidad del barrio El Tesorito.

La zona de estudio se encuentra bisectada por un cauce conocido como el Zanjon del Recuerdo, emplazado en la margen izquierda de la cuenca media vertiente del río Tunjuelito y que atraviesa los barrios El Recuerdo, Tesorito, El Tesoro y Minuto de Maria.

En términos generales la configuración actual del área está dominada por los rasgos topográficos dejados por una antigua explotación minera, dentro de los cuales predominan escarpes verticales en la zona sur y centro occidental, laderas erosionables en el sector sur oriental, rellenos antrópicos sobre cauces antiguos en el sector noroccidental y algunos rellenos antrópicos confinados en el sector norte del barrio.

3.3 Método de Trabajo

3.3.1 Enlace y Apoyo Topográfico

El enlace en coordenadas de la zona del estudio al Sistema Nacional, se efectuó a partir de los vértices geodésicos del IGAC Nos. CD-605 y CD-606 localizados en la vía a Villavicencio, cerca de la entrada al botadero de Doña Juana.

Para el apoyo y control del levantamiento se determinaron dos poligonales cerradas; una poligonal cerrada de 4.3 Km de longitud con 5 vértices y la otra poligonal por el perímetro de la zona en estudio de 0.7 Km. Estas poligonales fueron efectuadas con estación electrónica total. La nivelación de precisión se llevo a partir del CD-606 hasta el BM#1 (placa GC-755-01-4) localizado en la zona del estudio. Para las poligonales de enlace y de apoyo así como para la nivelación de la primera se obtuvo el siguiente error de cierre, tabla No. 3.1:

TABLA No. 3.1 ERROR DE CIERRE DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

ACTIVIDAD	ERROR DE CIERRE (Ver Anexo 4 Mem. 3.1)	
	Planimetría	Altimetría
Poligonal de enlace	1: 114413	0.002 m.
Poligonal de Apoyo	1: 14984	-

La relación de coordenadas y cotas de los vértices de enlace se muestran a continuación (tabla No. 3.2), y en el Anexo No.4 (Mem. No. 3.2), se incluyen las respectivas certificaciones del IGAC.

TABLA No. 3.2 COORDENADAS DE ENLACE

MOJON	NORTE	ESTE	COTA (m.s.n.m.)
CD-605	92685.745	94465.450	2610.950
CD-606	93333.907	94296.546	2583.766

3.3.2 Levantamiento Topográfico Detallado

En el levantamiento se utilizaron dos (2) comisiones de topografía durante 7 días. Las mediciones se realizaron con una estación electrónica total marca TOPCON GT-310 por el sistema de radiación, en un área de 5 hectáreas. Para obtener al nivel de detalle toda el área levantada, fue necesario determinar aproximadamente 2300 puntos de detalles que incluyeron la totalidad de los accidentes del terreno y de las obras existentes.

Para la nivelación se utilizo un nivel automático marca TOPCON AT-G2; se nivelaron los deltas de la poligonal perimetral y por ultimo, las cuatro (4) placas de referencia, que servirán de base para el replanteo de las obras de mitigación.

El levantamiento detallado incluyó la localización de vías existentes, paramentos de edificaciones, todas las casas, escarpes, zonas de falla, perforaciones, postes de alumbrado, energía, teléfonos, árboles, placas de referencia (ver Anexo No.4 (Mem. No. 3.3)), etc.

La densidad de puntos levantados permitió obtener en el dibujo del área curvas de nivel con intervalos de 1.0 m.

3.4 Procesamiento de la Información de Campo y Dibujo del Levantamiento Topográfico.

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

3.5 Referencias Materializadas para el Replanteo y Control de las Obras de Mitigación.

Con el fin de contar con puntos topográficos en el área del Barrio que faciliten y permitan apoyar en

cualquier momento mediciones topográficas de cualquier índole y para la localización y control de las obras de mitigación, se materializaron cuatro placas metálicas sobre los sardineles existentes, cuya localización planimétrica y altimétrica es la siguiente, tabla No. 3.3:

TABLA No.3.3 REFERENCIAS PARA EL REPLANTEO DE LAS OBRAS DE MITIGACION

PLACA	NORTE	ESTE	COTA (m.s.n.m.)
PLT-1	93310.670	92272.214	2742.111
PLT-2	93349.382	92433.896	2742.760
PLT-3	93603.237	92351.681	2708.103
PLT-4	93501.659	92155.089	2730.922

En el Anexo No. 4 Mem. No. 3.3 se muestra la descripción de la localización en campo de estas referencias.

3.6 Producto Final

Se preparó un plano general del Barrio el Tesorito a escala 1: 500 el cual se presenta en el Anexo No. 3 Plano 3.1 de este informe. Las carteras topográficas con los respectivos cálculos y esquemas de campo se presentan en el Anexo No. 4 (Mem. No. 3.4) de este informe.

4 ESTUDIO GEOLOGICO

4.1 Introducción

La descripción geológica del área de estudio además de ser una de las primeras actividades a realizar en cualquier determinación de Riesgo por deslizamiento, es la base para entender la problemática y la dinámica superficial y para enfocar los análisis de estabilidad de taludes a la solución de los problemas reinantes.

Es importante enmarcar el área de estudio dentro de la geología regional para conocer las unidades litológicas principales así como las características estructurales que podrían condicionar tanto la posición estratigráfica de la secuencia litológica como el estado de esfuerzos presente y el grado de fracturación correspondiente.

La geología que se presenta a continuación es el resultado de la compilación bibliográfica realizada en diferentes fuentes disponibles y cotejada a la luz de los resultados de la exploración geológica local del área de estudio. El presente capítulo contiene el informe geológico regional con el respectivo plano geológico.

4.2 Método de trabajo

A continuación se describen las actividades llevadas a cabo para la realización del presente estudio.

4.2.1 Compilación y Análisis de Información

Inicialmente se compiló y analizó la información disponible en Ingeominas en donde se destacan los trabajos de la Zonificación Geotectónica del Distrito Especial de Santafé de Bogotá (Ingeominas 1988), el Estudio Hidrogeológico de las Zonas de Soacha y Ciudad Bolívar (Ingeominas, 1988) con cartografía geológica de la zona en escala 1:10.000, y el Mapa Geológico de Santafé de Bogotá en escala 1: 50.000 (Ingeominas, 1997).

A pesar de las pequeñas diferencias en la cartografía, condicionadas principalmente por las diferencias en la escala de trabajo y por las diferencias en el enfoque metodológico de cada uno de los trabajos, la cartografía encontrada se ajusta muy bien a las observaciones de campo.

A continuación se analizó la información suministrada por la UPES, dentro de la que se destacan los informes geológico y geomorfológico realizados dentro de la ZONIFICACIÓN POR INESTABILIDAD DEL TERRENO PARA DIFERENTES LOCALIDADES EN LA CIUDAD DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ D.C (Ingeocim Ltda., 1998), los cuales se tomaron como base para la realización del informe geológico regional y para el ajuste de la cartografía geológica local.

La información consultada fue resumida y presentada en el mapa geológico regional.

4.2.2 Fotointerpretación

La fotointerpretación se realizó con el fin de obtener un análisis multitemporal del área de estudio, tendiente a ubicar principalmente rellenos antrópicos y fenómenos erosivos antiguos que pudieran enmascararse debido al proceso de urbanización. El estudio de fotografías aéreas antiguas, en este caso de los años de 1977, 1991 y 1992, permite cartografiar los rasgos geológicos que se encuentran fuertemente enmascarados debido a la realización de las obras de urbanismo, sin embargo aún en los contactos más antiguos ya se presentaba alguna influencia de construcciones lo que limitó un poco la obtención de datos geológicos regionales a partir del análisis geomorfológico, sin embargo, fue una herramienta supremamente útil en la determinación de rellenos y de cauces antiguos, así como para entender la evolución urbanística del área.

La fotointerpretación se realizó en contactos de pequeña escala (1:50.00 y 1:6.700) que se ajustan perfectamente a las necesidades del estudio, con énfasis en las formaciones superficiales y en los procesos erosivos antiguos y actuales. Los contactos fotográficos utilizados corresponden a los vuelos 28619 C-1724 fotografías 088 y 089 de enero de 1977 en escala 1:6700, Vuelo 8556 R-1131 fotografías 1902 y 1903 de 1990 a 1991 en escala 1: 5000 y Vuelo 8578 R-1131 Fotografías 3541 y 3542 de 1991 a 1992.

4.2.3 Trabajo de Campo

El trabajo de campo se enfocó en la comprobación de las observaciones de la fotointerpretación y de la geología regional, y en el levantamiento detallado de las formaciones superficiales, los procesos erosivos y todos aquellos rasgos geológicos detallados que puedan tener influencia en la estabilidad del terreno o de las viviendas y construcciones en el área de estudio.

Para la cartografía geológica se contó con la plancha topográfica en escala 1:500 lo que permitió detallar y localizar con buena aproximación todos los rasgos mencionados.

Durante esta etapa se identificó una zona de falla que no se encuentra referenciada en la geología regional pero que coincide con un lineamiento fotogeológico observado en las fotografías aéreas.

La presencia de buenos afloramientos en las antiguas zonas de cantera permitió el mapeo directo de las unidades geológicas, con énfasis en las formaciones superficiales de mayor influencia en la estabilidad general del área.

4.2.4 Elaboración de Planos

Los planos geológicos se realizaron sobre la base topográfica en escala 1:500, levantados directamente para la realización del estudio, las unidades geológicas fueron mapeadas directamente en el terreno ya que las excavaciones realizadas tanto para explotaciones mineras como para la construcción de viviendas, dificultan la identificación de las unidades a partir del análisis de las fotografías aéreas, y con la escala de trabajo seleccionada, la fotointerpretación regional (escala 1:25,000 o similar) no permitiría el grado de detalle esperado.

Los contactos geológicos fueron ajustados con ayuda de las fotografías aéreas, en especial en cuanto al contorno de los rellenos antrópicos.

4.2.5 *Elaboración del Informe*

El informe geológico se enfocó, primero a la descripción general de las unidades geológicas regionales y después a la descripción detallada de la geología local con énfasis en las formaciones superficiales, la presencia de rellenos y los procesos erosivos. Se incluye en el texto las fotografías y figuras necesarias para presentar, de la manera mas clara, los rasgos geológicos con mayor influencia en la estabilidad actual y futura y que deban ser tenidos en cuenta para el análisis de la amenaza y para la planeación de las obras de mitigación.

4.3 Geología Regional

A continuación se presenta la descripción geológica regional del área de estudio (ver mapa geológico regional, Plano No. 4.1, Anexo No. 3)

4.3.1 *Estratigrafía*

Las unidades geológicas regionales con influencia en el área de estudio, comprenden desde rocas del Cretáceo Terciario hasta depósitos y suelos Cuaternarios.

4.3.1.1 Grupo Guadalupe

Aflora completamente en el área de interés, representado por las cuatro formaciones que lo constituyen y que se describen a continuación:

4.3.1.1.1 Formación Arenisca Dura (Ksgd)

La Formación Arenisca Dura aflora al occidente del área de estudio. Está compuesta por una gruesa sucesión de areniscas de grano fino a muy fino, a veces de grano medio, con buena selección, duras, de color blanco a gris amarillento, cuarzosas con cemento silíceo, a veces con mica, laminación fina ondulada característica, en bancos muy gruesos con intercalaciones de limolitas, lodolitas, porcelanitas y arcillolitas de colores claros y en capas finas.

4.3.1.1.2 Formación Plaeners (Ksgp)

La Formación Plaeners aflora en el sector occidental, como una franja delgada en contacto con la formación anterior. Geomorfológicamente casi siempre muestra superficies suaves y deprimidas, debido a su poca resistencia a la erosión. Se compone de una alternancia de bancos de lodolitas silíceas de color gris a marrón, porcelanitas (Chert), liditas y areniscas de grano fino, con bancos de arcillolitas y lodolitas arenosas de color gris a verdoso, físiles y blandas. Estos bancos tienen espesores no mayores a 3.0 m.

4.3.1.1.3 Formación Arenisca de Labor (Ksgl)

Esta formación aflora en el occidente del área, fuera del área de estudio y se compone

principalmente de areniscas de grano fino a medio, cuarzosas, generalmente duras, bien seleccionadas y a veces lodosas, formando capas de 0.05 a 1.5 m de espesor. Hay intercalaciones en bancos hasta 2.5 m de espesor compuestos por arcillolitas gris claro, laminadas.

La arenisca de termina en un horizonte de espesor variable (20 a 40 m) de una interestratificación fina, entre areniscas, lodolitas y arcillolitas, con colores gris, violáceo y amarillento. Cuando la sección no se conoce bien, puede haber confusión entre el horizonte superior de la Formación Arenisca de Labor y la Formación Plaeners.

4.3.1.1.4 Formación Arenisca Tierna (Ksgt)

Aflora hacia el occidente fuera del área de estudio, y está constituida por areniscas cuarzosas, de grano fino a medio, a veces ligeramente conglomeráticas y lodosas, de color blanco manchadas de amarillo, rojizo y marrón por los óxidos de hierro, son característicamente friables, poseen laminación cruzada y gradada normal, pero también hay capas masivas y estratificación lenticular. Las capas de arenisca oscilan entre 0.2 y 2 m de espesor. Son frecuentes las intercalaciones de arcillolita gris clara.

4.3.1.2 Formación Guaduas (Ktg)

Aflora en toda el Area de estudio en donde se encuentra en contacto con las rocas del grupo Guadalupe. La Formación Guaduas consta principalmente de Lutitas con frecuentes intercalaciones de arenisca. Se ha subdividido en tres conjuntos: Superior, Medio e Inferior.

4.3.1.2.1 Conjunto Inferior (Ktgi)

Aflora hacia el occidente del Área del estudio. Se compone de arcillolitas grices y amarillas, laminadas, con intercalaciones de Hard Grounds (costras de óxidos de hierro), con espesores de 10 cm. En ocasiones aparecen intercalaciones de areníscas de grano fino a medio en capas hasta de 20 cm de espesor y a veces lentes de carbón.

4.3.1.2.2 Conjunto Medio (KTgm)

Corresponde a la unidad geológica regional dominante en el Área de estudio en donde se encuentra parcialmente cubierta por depósitos cuaternarios. Regionalmente se destaca morfológicamente en el relieve por presentar mayor resistencia a la erosión, aunque no hace parte de altos cerros, si forma pendientes estructurales relativamente suaves.

El conjunto medio de la formación Guaduas está determinado por dos niveles de areniscas separados por una masa de arcillolitas gris oscuras compactas que contienen mantos de carbón potencialmente explotables.

Las areniscas son cuarzosas de grano fino a medio a muy grueso y a veces conglomeráticas, son de color blanco, amarillo y marrón, generalmente con compactas, pero localmente friables, tienen cemento silíceo y ferruginoso.

4.3.1.2.3 Conjunto Superior (KTgs)

No aflora en el Área de estudio donde se ha erosionado completamente.

Consta de arcillolitas abigarradas (rojizas, azuladas, verdes y moradas) en las que se localmente hay mantos de carbón y bancos de areniscas poco compactas de grano medio a grueso.

4.3.1.3 Formación Bogotá (Tpb)

Aflora al oriente del Área de estudio. Tiene una expresión morfológica de relieve suave por su composición arcillosa. Está constituida por arcillolitas plásticas de tonos violáceos, grises, con algunas intercalaciones de areniscas de color amarillo a rojizo, de grano muy fino a medio, lodosas, formando bancos hasta de 22 m de espesor.

4.3.1.4 Depósitos de Coluvión (Qc)

Los depósitos de Coluvión afloran al norte y al oriente del área de estudio cubriendo las unidades geológicas más antiguas. Son depósitos de ladera resultantes de la fracturación y el transporte que han sufrido las otras unidades geológicas presentes en el área. Se originan en zonas fracturadas de alta pendiente que facilitan el movimiento por gravedad o en procesos de remoción en masa. Si los depósitos son matriz soportados se denominan Coluviones, mientras que si son clastosoportados se denominan Talus. En el área de estudio no se identificaron estas dos unidades y se mapearon genéricamente como coluviones.

Estos depósitos están constituidos por guijos y bloques de arenisca cuarzosa embebidos en una matriz que varía de arcillosa a areno arcillosa. El espesor de estos depósitos es muy variable (1 a 20 m) y depende del relieve preexistente a la depositación y al potencial de desplazamiento del material desplazado.

Debido a su composición granulométrica, los depósitos coluviales son generalmente permeables, captadores de agua y muy susceptibles a inestabilizarse, especialmente cuando se localizan en zonas de alta pendiente (> 30°).

4.3.2 *Geología Estructural*

La zona de interés se caracteriza por ser una de las partes mas fuertemente plegadas en la Cordillera Oriental, con numerosas fallas, lineamientos y pliegues, de los cuales solamente las estructuras principales reciben nombres específicos. El área de estudio se localiza regionalmente entre el eje del Anticlinal de Cheba y el Sinclinal de Tunjuelito.

A continuación se describen las estructuras geológicas más importantes con influencia en el área de estudio.

4.3.2.1 Sinclinal de Tunjuelito (Usme)

Se trata de una estructura muy importante en el área de estudio ya que controla la posición estratigráfica de las rocas aflorantes en el área de estudio, que corresponden al flanco oriental o

convergente del sinclinal.

Esta estructura fue mapeada en el mapa geológico, Localidad de Ciudad Bolívar (Ingeocim Ltda, 1977), sin embargo fue extractado del mapa geológico de Santafé de Bogotá (Ingeominas, 1997) por considerar que las unidades locales del Área de estudio están influenciadas estructuralmente por esta estructura.

El eje del plegamiento tiene dirección aproximada N-S, longitud superior a 20 k y su eje se inclina de sur a norte. El eje occidental se halla en posición normal con buzamientos hasta de 45°, mientras que el flanco oriental está invertido.

4.3.2.2 Falla de Limas

En la cartografía geológica del Estudio Hidrológico de las zonas de Soacha y Ciudad Bolívar (Ingeominas, 1988) la falla fue trazada atravesando el área de estudio en dirección aproximada N45E. La falla presenta dirección variable desde N-S hasta N50E con el plano de falla aproximadamente vertical y con poco desplazamiento en la secuencia estratigráfica, aunque su zona de influencia puede alcanzar los 50 m. En la zona de falla se presenta un importante brechamiento y fracturación de la roca, lo que es aprovechado para la explotación para material de construcción. A lo largo de todo el trazo de la falla existen numerosas explotaciones mineras.

En las cartografías de Ingeocim y de Ingeominas, y en las fotografías aéreas no fue identificada esta estructura sin embargo, se presenta su descripción.

4.3.2.3 Falla de Mochuelo

Esta falla atraviesa el área de interés fuera del área de estudio, en dirección norte sur. Corresponde a una falla de rumbo de desplazamiento dextrolateral que afecta principalmente rocas de la formación Guadalupe inferior y de la formación Bogotá. En el trabajo de Ingeocim la falla fue categorizada como una falla de cabalgamiento.

Algunas fallas secundarias, de rumbo, atraviesan en área en dirección E-W pero no tienen influencia directa en el área de estudio.

4.4 Geología Local

La geología local o detallada de la zona fue realizada en escala 1:500, haciendo especial énfasis en las formaciones superficiales debido a su mayor influencia en la estabilidad general del área.

4.4.1 Estratigrafía

A continuación se describen las unidades geológicas que afloran directamente en el área de estudio (ver mapa geológico local, Plano No.4.2, Anexo No. 3 y corte geológicos, Plano No. 4.3, Anexo No. 3).

4.4.1.1 Formación Guaduas, Conjunto Medio (KTgm)

La formación Guaduas esta constituida por una secuencia de arcillolitas y limolitas muy

meteorizadas de color amarillo y blanco con tonalidades rojizas. Superficialmente las arcillolitas se encuentran muy fracturadas en forma de prismas ortogonales hasta de 3 cm de altura mínima.

La secuencia arcillolítica esta interestratificada con una capa de arenisca que aflora al occidente del área y que corresponde a una arenisca cuarzosa de grano medio de color blanco amarillento de dureza media, dispuesta en bancos de 1.5 a 3.0 m de espesor, poco diaclasados. Las areniscas que afloran en el costado oriental del Zanjón del Recuerdo presentan mayor fracturamiento formando bloques de 0.50 m de arista. La dirección de la estratificación medida en los bancos de arenisca varía de N35 – 50E / 25 SE. (ver Anexo No. 5, fotografía No.4.1).

En el sector nororiental del área de estudio aflora una secuencia de arcillolitas abigarradas (violeta, amarillo y gris con pátinas rojizas) ver Anexo No. 5, fotografía No.4.2.

4.4.1.2 Depósitos de Coluvión (Qc)

Afloran indistintamente en toda el área de estudio recubriendo indiscriminadamente las rocas de la formación Guaduas. Corresponden a depósitos de bloques, cantos y gravas angulares de arenisca embebidos en una matriz arcillosa o areno arcillosa. Los bloques de arenisca varían en tamaño desde mayores de 1.0 m hasta gravas menores de 1.0 cm de arista, y están conformados por arenisca cuarzosa de grano medio, bien gradada, de dureza media. Ver Anexo No. 5, fotografía No.4.3.

Cuando la matriz es arcillosa, el depósito es matriz soportado y la matriz corresponde a una arcilla de color blanco y amarillo con vetas rojizas, seca y que se ablanda rápidamente en contacto con el agua.

Cuando la matriz es arenosa el depósito es predominantemente clasto soportado.

Sobre estos depósitos se desarrolla un suelo orgánico pobre de características similares, con espesor inferior a 0.5 m por lo que no fue cartografiado como una unidad independiente.

A pesar de que este tipo de depósito está frecuentemente relacionado con problemas de estabilidad por fenómenos de remoción en masa, en el área de estudio no se encontraron fenómenos erosivos importantes a excepción del sector central norte en cercanías al Zanjón del Recuerdo en donde se presentan pequeños desplomes de material y cárcavas de erosión relacionadas con la excavación de una antigua vía de penetración.

4.4.1.3 Flujos de Tierra (Qft)

El término flujo de tierras se utiliza para describir flujos lentos en materiales de comportamiento plástico, relativamente secos, como arcillas o rocas descompuestas arcillosas. En el costado suroccidental del área de estudio se presenta un depósito arcilloso de poca compactación que se originó por depositación hidráulica después de que se construyó la carrera 81 H, como consecuencia del material arrastrado por las aguas de escorrentía que descendían por la vía mencionada y que perdían su energía debido a la disminución en el grado de pendiente al llegar al

sector en donde actualmente se localizan.

4.4.1.4 Rellenos Antrópicos (Ra)

Los rellenos antrópicos afloran en el costado noroccidental y en el costado suroriental del área de estudio, y en dos sectores más pequeños en el sector norte. Consisten en rellenos no consolidados de material mixto, realizados con el fin de regularizar el terreno o para ganar espacio en el proceso de urbanización. En el área de estudio se diferencian tres tipos de rellenos antrópicos:

4.4.1.4.1 Rellenos Antrópicos de excavación (Rae)

Corresponden a rellenos mixtos de escombros, tierra y basura en el sector noroccidental, realizados con el fin de ganar espacio sobre el cauce del Zanjón del Recuerdo. Son materiales de muy bajo grado de compactación, sin ningún tipo de gradación y que comienzan a evidenciar problemas de estabilidad por asentamiento y erosión. Debido a la alta permeabilidad de los materiales, son muy susceptibles a la erosión hidráulica. Ver Anexo No. 5, fotografía No.4.4.

En el sector suroriental se presentan rellenos de material de excavación, producto de la excavación de la calle 80b y de las viviendas aledañas a medida que avanzó el proceso de urbanización. Corresponden a rellenos de material arcilloso, localmente húmedo, con muy bajo grado de compactación y afectado por procesos avanzados de erosión. Ver Anexo No. 5, fotografía No.4.5.

Adicionalmente se realizaron rellenos de mayor grado de compactación durante la excavación y construcción de las vías de penetración para la extracción del material de cantera en el sector central del área. Corresponden a rellenos de material arcilloso o arenoso, realizados con el fin de cruzar el Zanjón del Recuerdo y de construir la vía actual de penetración al sector central del área de estudio. Ver Anexo No. 5, fotografía No.4.6.

En el sector norte se está realizando un relleno de este tipo con el fin de restablecer morfológicamente el terreno después de que finalizó una extracción de material de cantera que dejó una excavación semi – circular (ver Anexo No. 5, fotografía No.4.7), igualmente hacia el oriente de este relleno en proceso, se identificó otro de iguales características a partir de las fotografías aéreas en un sector actualmente plano y cerca de donde se están llevando a cabo algunas construcciones recientes (Cancha de Tejo en construcción).

El Límite de los rellenos fue ajustado con ayuda del análisis geomorfológico multitemporal a partir de las fotografías aéreas.

4.4.1.4.2 Rellenos de Basura (Rab)

Aparecen en dos sectores aislados, uno en el sector sur del área y otro en el sector central norte. Corresponden a rellenos de basura y material de excavación realizados para nivelación del terreno para la construcción de viviendas, son depósitos de todo tipo de basura (plásticos, etc.), material orgánico o de descapote y desechos de construcción. Carecen absolutamente de

cualquier tipo de selección o compactación. Ver Anexo No. 5, fotografía No.4.8.

4.4.2 *Geología Estructural*

Las estructuras geológicas que se describen a continuación corresponden a estratificación, diaclasamiento y fallas.

4.4.2.1 Estratificación

La tendencia general de las rocas que afloran en el área de estudio es N35-50E/25SE, con grandes variaciones de tipo local debido a plegamientos. Los pliegues no fueron identificados debido a las grandes modificaciones morfológicas causadas por la intervención antrópica. En el sector sur la estratificación fue medida como N65W/70NE.

4.4.2.2 Diaclasamiento

En las rocas predominantemente blandas no se registraron sistemas de diaclasamiento generales debido a la meteorización y al alto grado de fracturamiento. En los sectores arenosos se determinaron 3 familias principales de diaclasamiento, N80E/70SE, N80W/60SW y N10W/65SW. El primer sistema presenta espaciamiento de 0.30 – 1.0 m, el segundo sistema presenta un espaciamiento de 3 m y el tercer sistema de 2 m en promedio.

Las familias 2 y 3 son poco frecuentes, pero cuando se presentan forman cuñas al combinarse con la estratificación. La dirección del deslizamiento de esta cuña es N50E.

La familia 1 puede formar deslizamiento por volcamiento cuando la dirección del talud es su paralelo a la dirección de la diaclasa.

4.4.2.3 Fallas

En el sector central, en el escarpe de explotación minera antiguo, en el afloramiento de areniscas, se identificó una estructura que fue catalogada como una falla local, y que se correlacionó con un pequeño lineamiento observado en las fotografías aéreas. La zona de falla se identificó por la presencia de una zona de roca muy fracturada y que pone en contacto el nivel de arenisca con arcillolitas y en donde a cada lado de la estructura la dirección de buzamiento de la estratificación es contraria, y varía en distancias cortas de N40w a N30E y buzamiento de 60 a 65 grados hacia el oeste.

En la zona de falla se observa una veta de arcilla blanca (caolín) que corta transversalmente la estratificación de areniscas de la formación Guaduas (ver Anexo No. 5, fotografía No.4.9), la roca en cercanías de esta veta se encuentra muy meteorizada. Se presenta brecha de falla, constituida por bloques angulares de arenisca embebidos en una matriz arcillosa de 5.0 a 10 m de espesor.

La zona de falla solamente fue observada en un afloramiento del talud de corte abandonado de una de las canteras, ya que esta se encuentra cubierta por los depósitos de coluvión, por lo que se considera que, en este sector, la falla no tiene actividad cuaternaria, sin embargo debido al alto

grado de intervención del paisaje por la explotación de canteras antiguas, los rasgos geomorfológicos han sido completamente modificados y no se puede hacer una afirmación contundente, sin embargo no ha sido correlacionada con ninguna estructura en la geología regional por lo que se asume que su influencia es de tipo local.

4.5 Geomorfología

La geomorfología del área fue realizada, al igual que la geología detallada, en la base topográfica en escala 1:500 (ver mapa Geomorfológico, Plano No. 4.4 y mapa de Inventario de Procesos, Plano No.4.5; Anexo No. 3), a partir de las observaciones de campo y del análisis de las fotografías aéreas. Debe resaltarse la dificultad de definir unidades geomorfológicas a una escala de trabajo tan detallada y en una zona con tanta intervención humana, lo que enmascara completamente los rasgos geomorfológicos característicos de las diferentes unidades geológicas. Por tal motivo la zonificación geomorfológica fue enfocada a la identificación de áreas con comportamiento geotécnico similar, desde el punto de vista geológico, de pendientes naturales o artificiales y de estabilidad de taludes.

El área de estudio se encuentra enmarcada dentro de una unidad geomorfológica de relieve colinado de control estructural, con crestas redondeadas, que corresponde a materiales arcillosos principalmente.

Las unidades en las que se ha dividido el área de estudio están directamente relacionadas con el grado de intervención antrópica, por ser este el factor de degradación de mayor influencia en el área de estudio.

En la descripción geomorfológica se incluye la descripción de procesos erosivos, por considerar que estos están estrechamente relacionados con las geoformas actuales, y debido a que la escala de trabajo no amerita una separación de estas características.

4.5.1 Escarpes de Explotación Minera Abandonada (I)

Corresponden a taludes artificiales subverticales que permanecen como producto de la explotación de canteras antiguas. Son taludes conformados en areniscas, arcillolitas e incluso en material de coluvión.

Estos taludes de alta pendiente conformados artificialmente en alturas hasta de 8.0 m de altura están sometidos a fenómenos erosivos por caída de bloques, en los taludes conformados en arenisca y en coluvión a erosión en cárcava y en surco y pequeños desplomes en los taludes conformados en coluvión, y a erosión intensa y deslizamiento rotacional o planar en los taludes conformados en arcillolitas.

4.5.2 Rellenos de Cauces Antiguos (II)

Corresponden a rellenos antrópicos de diferente origen, edad y grado de compactación, realizados

sobre cauces antiguos, sin ningún tipo de control hidráulico, con el fin de atravesar con vías el cauce existente y más recientemente ganar terreno para la construcción de nuevas viviendas. Se han diferenciado dos categorías:

4.5.2.1 Rellenos de Cauces para Vías (IIA)

Son rellenos antrópicos de material de excavación, realizados con el fin de atravesar los cauces existentes durante la construcción de las vías de penetración para la explotación de las canteras. En los dos cruces del Zanjón del Recuerdo fueron construidas alcantarillas que garantizan la continuidad en el flujo del agua. El material es arcilloso con aportes pequeños de bloques de arenisca.

En este tipo de material no se observan procesos erosivos importantes.

4.5.2.2 Rellenos de Cauces para Viviendas (IIB)

Son rellenos antrópicos de material mixto, escombros de excavación, suelo orgánico, escombros de construcción y basura, que le confieren a estos materiales un grado de variabilidad muy alto. Se observan principalmente en el sector noroccidental y suroriental del área. Estos materiales presentan un grado de compactación muy bajo y una permeabilidad muy alta, lo que les confiere características especiales como fuente de origen de movimientos en masa. Los depósitos del sector noroccidental presentan una mayor susceptibilidad a la erosión por la carencia de cobertura vegetal y por el mayor grado de inclinación del talud de reposo.

Estos materiales presentan procesos erosivos agudos por socavación, carcavamiento y asentamientos diferenciales en el sector noroccidental y por reptación lenta y asentamientos diferenciales en el sector suroriental.

4.5.3 *Rellenos Antrópicos Confinados (III)*

Son rellenos antrópicos de material de excavación principalmente, realizados para reconformar morfológicamente antiguas explotaciones de material arcilloso de forma circular a manera de “huecos”. Corresponden a rellenos de carácter arcilloso principalmente, con muy baja compactación y con gran capacidad para retener agua. El hecho de estar confinados le confiere una buena estabilidad por remoción en masa a los materiales de esta zona.

No se observaron procesos erosivos en este tipo de material sin embargo se anticipa que las construcciones que se adelanten en esta zona podrían presentar problemas de asentamientos diferenciales.

4.5.4 *Laderas Erosionales (IV)*

Corresponde al sector suroccidental del área en donde se conjuga la presencia de rellenos antrópicos de cauces antiguos con la presencia de zonas de erosión activa antigua y una alta densidad de drenaje tanto antigua como actual. El sector está constituido por depósitos antrópicos

sobre rocas predominantemente arcillosas que estaban sometidas a intensos fenómenos de erosión antes de la construcción de las viviendas.

Se observan fenómenos erosivos intensos de reptación, asentamientos diferenciales y desarrollo de cárcavas. El material se encuentra húmedo en algunos sectores lo que puede corresponder con presencia de un nivel freático alto o con fugas internas de las redes de acueducto o alcantarillado.

La red de drenaje natural que fue parcialmente modificada durante la construcción de las viviendas, aún drena por el sector lo que contribuye a los problemas de inundación de las viviendas, reportados por algunos habitantes de la zona.

4.5.5 *Explanaciones Antrópicas Estables (V)*

Corresponde al sector central y nororiental del área de estudio, en donde se realizaron explanaciones para urbanizar y durante la explotación de las canteras. Corresponden a material de roca “in situ” desprovisto de cualquier cobertura cuaternaria, y en donde las condiciones topográficas no favorecen el desarrollo de ningún tipo de erosión. Son zonas aptas para urbanizar previo el análisis de estabilidad de las laderas circundantes.

No se observan procesos erosivos actuales o potenciales en esta zona.

4.5.6 *Sumideros y Zonas Húmedas (VI)*

Corresponden a zonas diferentes que tienen en común la presencia de agua. Los sumideros son zonas en donde se encuentra agua superficial almacenada, alimentada superficial o subterráneamente y que produce una geoforma similar a un lago o estanque. Las zonas húmedas son zonas en donde se encuentra humedad superficial alimentada superficial o subterráneamente pero no en cantidad suficiente para originar un espejo de agua.

Se decidió agrupar estas dos estructuras diferentes en una sola zona geomorfológica por considerar que deberán tener un tratamiento geotécnico similar. Se destaca un pequeño estanque en el sector central del área de estudio, desarrollado en areniscas y alimentado por el nivel freático. En el sector central norte, se encontró un “punto de agua” que corresponde al parecer con una excavación minera antigua que fue parcialmente rellenada.

No se observan fenómenos erosivos asociados a esta zona, sin embargo la presencia de agua deberá ser considerada para el desarrollo de cualquier obra e idealmente deberían conservarse, de ser posible, dentro de un planteamiento urbanístico general.

4.5.7 *Rondas de Cauces Actuales (VII)*

Las rondas de cauces actuales corresponden a las ladearas que definen un cauce permanente o de aguas lluvias, en este caso se circunscriben al cauce del Zanjón del Recuerdo. Corresponde a un cauce de alta incisión con pendientes naturales abruptas que ha sido muy modificado antrópicamente, tanto para la construcción de las vías urbanas, como durante la explotación

minera y más recientemente durante el desarrollo urbano del área.
El régimen hídrico de la corriente ha sido fuertemente modificado y disminuido su poder erosivo. Se observan fenómenos incipientes de reptación superficial.

4.5.8 Planicies Naturales (VIII)

Corresponden a sectores planos o de baja pendiente con poca intervención antrópica. Se presentan en el sector occidental y en el sector nororiental del área. Están constituidas por rocas predominantemente arcillosas de la formación Guaduas y por depósitos de coluvión.
Son sectores estables en donde no se observan fenómenos erosivos importantes.

4.5.9 Laderas de Control Estructural (IX)

Esta zona corresponde a laderas de colinas de pendiente alta (mayores a 30 grados), controladas por la inclinación estructural de la unidad sedimentaria. En el sector occidental esta zona está representada por la ladera de una colina baja, que ha quedado aislada como remanente del relieve antiguo original. La ladera está constituida por niveles de arcillolita recubiertos por un depósito de coluvión de 3.3 m de espesor promedio.
Esta zona está afectada por fenómenos de erosión superficial en cárcavas y surcos.

4.6 *Inventario de Procesos*

El inventario de procesos del área fue realizado, al igual que la geomorfología en la base topográfica en escala 1:500 (ver Anexo No. 3 Mapa de Inventario de Procesos Plano No. 4.5).
A diferencia de la descripción de procesos erosivos potenciales realizada en el numeral 4.5 de geomofología, el inventario de procesos presenta una descripción de los procesos actuales observados directamente en el área y que confirman en muchos casos las proyecciones realizadas a partir de análisis geomorfológico.
Muchos de los procesos potenciales descritos en la geomorfología no se han presentado por diferentes causas, desde la misma construcción de obras (muros de contención), hasta la no intervención de los terrenos en donde apenas se están terminando los rellenos antrópicos.

4.6.1 Reptación

El fenómeno de reptación se define como un desplazamiento lento del terreno, el cual ocurre en laderas de baja pendiente y en materiales arcillosos principalmente. En el área de estudio se presentan dos principales sometidos a fenómenos de receptación: el primero corresponde al sector suroriental (en el costado norte de la Calle 80B), en donde se observa un movimiento continuo de la masa de suelo en dirección de la pendiente, y que se correlacionó con la presencia de llenos importantes en una zona antigua de alta densidad de drenaje. El fenómeno se evidencia por la formación de salientes topográficas redondeadas y por el asentamiento diferencial de algunas viviendas lo que ha generado agrietamientos importantes.

En el sector más oriental de esta zona la construcción de muros de contención, en mampostería, de algunas viviendas ha detenido localmente el fenómeno de reptación.

El segundo sector con fenómenos de reptación corresponde al lecho del Zanjón del recuerdo, especialmente en el sector más bajo 8occidental), donde este fenómeno ha producido asentamientos diferenciales en un sector de la fábrica de Cal.

4.6.2 Asentamientos Diferenciales

Los asentamientos diferenciales están correlacionados con la presencia de materiales blandos o poco compactados sometidos a cargas puntuales, lo que origina desplazamiento local del material y produce asentamientos de la cimentación de las obras construidas sobre este tipo de terrenos.

Este tipo de proceso se produce en el sector noroccidental en el costado oriental de la Carrera 18I, correlacionado con la presencia de un relleno espeso sobre un brazo abandonado del Zanjón del Recuerdo. El fenómeno de asentamiento se restringe al sector oriental del relleno.

En la zona de la fábrica de Cal, cerca del Zanjón del recuerdo, en la zona descrita en el numeral anterior, se presentan asentamientos diferenciales que tienen a punto de colapsar un muro.

4.6.3 Caída de Bloques

Este fenómeno consiste en la caída de bloques de roca y está íntimamente relacionado con la presencia de rocas competentes y con taludes de excavación subverticales. Este fenómeno se restringe exclusivamente a la zona geomorfológica (I) Escarpes de Explotación Minera abandonada. La caída de bloques se presenta tanto en taludes conformados por areniscas fracturadas como por depósitos de Coluvión.

4.6.4 Zonas de Roca Fracturada

Corresponden a afloramientos de roca competente (arenisca) con un RQD (Rock Quality Designation) menor del 30 %. Estas zonas se encontraron en el sector central del área de estudio correlacionadas con el corredor de la zona de falla. En estas zonas se presenta caída de bloques como fenómeno erosivo principal.

4.6.5 Deslizamientos Locales

Corresponde a deslizamientos pequeños de tipo planar o circular asociados con niveles de roca blandos, suelos arcillosos o rellenos antrópicos poco compactados. Se presentan en la zona Geomorfológica (I) Escarpes de Explotación Minera Abandonada, en donde los taludes están conformados por arcillolita, en coluviones de matriz arcillosa y en taludes de rellenos antrópicos.

4.6.6 Erosión en Cárcava y en Surco

Corresponde a la formación de cárcavas y surcos de erosión en laderas de pendiente moderada conformadas por coluviones de matriz arenosa. Se presenta principalmente en el sector central

cerca de la trinchera Tr-4 y en los alrededores de la vivienda del sector central.

4.6.7 Sumederos y Zonas Húmedas

Corresponden a zonas diferentes que tienen en común la presencia de agua. Los sumideros son zonas en donde se encuentra agua superficial almacenada, alimentada superficialmente o subterráneamente y que produce una geoforma similar a un lago o estanque. Las zonas húmedas son zonas en donde se encuentra humedad superficial alimentada superficial o subterráneamente pero no en calidad suficiente para originar un espejo de agua.

Se destaca un pequeño estanque en el sector central del área del estudio, desarrollando en areniscas y alimentado por el nivel freático. En el sector central norte, se encontró un " punto de agua" que corresponde al parecer con una excavación minera antigua que fue parcialmente rellenada. En el sector occidental cerca de la perforación S-6, se encontró un sector amplio, anegado al parecer por aporte de aguas del alcantarillado precario construido por los habitantes de este sector. La presencia de esta agua debe tenerse en cuenta como factor de posible desestabilización hacia futura del talud cercano que da hacia el cauce del Zanjón del recuerdo.

4.7 *Hidrogeología*

A continuación se presentan las características hidrogeológicas generales detectadas en el levantamiento geológico de campo.

4.7.1 Escorrentía Superficial

En el área de estudio se encontraron aguas superficiales de origen natural y de origen antrópico. El sistema de drenaje principal corresponde al Zanjón del Recuerdo que recoge las aguas de escorrentería de toda el área, tanto las aguas naturales que drenan desde el occidente a través del antiguo cause del Zanjón y desde el centro del área desde la laguna central, como las aguas de origen antrópico que drenan desde los descoles de alcantarillado de las viviendas del sector noroccidental. Adicionalmente se suman todas las aguas recogidas por la calle 80B y que drenan por la ladera suroriental en dirección norte hacia un antiguo afluente del Zanjón.

Las aguas de descole del sector noroccidental afectan la estabilidad del relleno del mismo sector generando cárcavas de erosión en uno de los casos y en otro saturando el material de coluvión aledaño al Zanjón en el sector occidental de la trinchera Tr-4.

Las aguas de escorrentía natural que drenan por el sector suroriental acentúan el problema de estabilidad de este sector contribuyendo con la saturación del material.

4.7.2 Agua Subterránea

La unidad Formación Guaduas Miembro medio se comporta en general como un acuífero debido a su composición litológica que corresponde principalmente a capas de areniscas con intercalaciones de arcillolita.

Directamente en el área de estudio, el nivel de areniscas de la formación Guaduas, se comporta como un acuífero libre, en la parte central se observa la presencia del nivel freático alimentando una pequeña laguna sobre capas de arenisca al parecer muy cerca del contacto con la unidad de arcillolita. Al norte del área muy cerca de la Calle 79 se encontró otro punto de agua relacionado con la cercanía a la superficie de capas de arsenisca cubiertas por depósitos de coluvión y muy cerca del contacto con la unidad de arcillolita. En conclusión se podría decir que el nivel freático se encuentra en el contacto entre la unidad de arenisca y la unidad de arcillilita.

En el sector suroriental (zona inestable) se encontró otro afloramiento de agua que se relacionó, en este caso, con la saturación del material de relleno principalmente arcilloso sobre capas de arcillolita, alimentado por infiltración desde la parte superior de la vía. Los suelos de este sector, de carácter arcilloso a areno arcilloso y los rellenos antrópicos de composición similar se comportan como acuitardos (formación geológica que contiene agua, pero la transmite muy lentamente).

El perfil litológico en esta zona, basado en el resultado de la exploración del subsuelo(ver capitulo 6 apiques No. AP-4, AP-5 Y AP-6 y sondeos No. S1, S1´, S2, S3 y S4) indica la presencia de rellenos arcillosos de espesor variable sobre depósitos de coluvión compuestos por bloques de arenisca en matriz arenosa. De otro lado, el análisis geomorfológico indica que esta zona correspondía antiguamente a un sector inestable de alta erosión y cortado por una pequeña red de drenajes cortos desde el sector de la calle 80B hacia el Zanjón del Recuerdo.

Los drenajes descritos fueron intervenidos, desviados, interrumpidos o rellenados sin cambiar completamente la condición del drenaje general que aún corre por la Calle 80B en dirección oeste-este y que durante escorrentías máximas puede desbordar y correr en dirección norte cruzando la zona inestable.

Todo lo anterior indica que se puede presentar un flujo de agua subterránea a través de los depósitos de3 coluvión que están por debajo de los rellenos arcillosos y que durante “picos” de saturación, los coluviones pueden transmitir agua hacia los rellenos. Adicionalmente, a pesar del predominio arcilloso de los rellenos antrópicos, el fracturamiento que se produce durante la estación seca les permite absorber una cantidad de agua suficiente para saturar el material y generar los procesos de reptación.

Los niveles de arcillolita de la formación Guaduas se comportan como un acuicluso (formación que pude contener agua pero no puede transmitirla).

La presencia de una cobertura de suelos homogéneos en casi toda el área de estudio, y el carácter predominantemente arcilloso de estos suelos hace que los fenómenos de infiltración y escorrentía estén controlados por las características hidrogeológicas tanto de los coluviones como de los rellenos antrópicos.

Las aguas subterráneas en el área de estudio corren principalmente de oeste a este, siguiendo la dirección de la pendiente topográfica y la dirección principal del buzamiento de las capas de unidad

sedimentaria. La presencia de un punto de agua en el sector central, confirma la característica de acuífero libre de las capas de arenisca de la formación Guaduas y adicionalmente que el flujo de agua viene desde la parte superior (topográficamente) al oeste del área de estudio, donde afloran superficialmente las capas de arenisca y donde se alimenta la recarga por infiltración superficial principalmente, y sale a superficie en el sector central del área por los dos puntos de agua identificados durante la cartografía y marcados en el plano geológico.

El sector sur occidental (zona inestable) presenta un régimen ligeramente diferente como se mencionó anteriormente, debido a que el flujo de agua subterránea se hace a través de capas originalmente superficiales que actualmente se encuentran recubiertas por rellenos antrópicos.

4.7.3 Nivel Freático

El nivel freático fue identificado en el sondeo de exploración No. S5 a 1,50 m de profundidad, en el apique No. AP-3 a 2,60 m de profundidad y tres sitios superficiales localizados uno en el sector sur oriental, otro en el sector central (lago) y el último en el sector central norte (ver capitulo 6 Estudio Geotécnico).

El primer registro de nivel freático mencionado, 1,50 m de profundidad en el sondeo No. S5, corresponde al relleno antrópico del sector noroccidental, y se relaciona con la saturación del material de relleno producida por aporte de aguas desde el sistema de alcantarillado, que debe presentar daños locales, producidos por los mismos fenómenos de asentamientos diferenciales que han afectado las viviendas de este sector.

El nivel freático reportado en el apique No. AP-3 a 2,60 m de profundidad, se relaciona con un paleosuelo (nivel de suelo original cubierto actualmente por material transportado) y debe tener conexión directa con el punto de agua que alimenta la laguna central.

Los dos aflojamientos de agua subterránea localizados en la base topográfica del escarpe de explotación minera central reflejan el nivel freático natural.

Es posible la presencia de niveles de agua " confinados" en los diferentes rellenos antrópicos, debido a las condiciones mismas de origen de los rellenos y al carácter impermeable del material que los conforma, adicionalmente pueden presentarse aportes importantes de agua debido a fugas y daños en los acueductos y alcantarillados locales.

4.8 Evaluación de Cambios Morfológicos a partir de Fotografías Aéreas

De las fotografías aéreas de 1977 se realizaron las siguientes observaciones:

La vía del sector occidental (Cra. 18F) ya había sido construida y al parecer no se dispuso de alcantarillas para garantizar la continuidad de las aguas del Zanjón del Recuerdo lo que comenzó a generar una zona de inundación en el costado occidental de la vía, que aún hoy día permanece y ha comenzado a drenar por encima de la vía, generando un nuevo cauce que está restableciendo el cruce original del Zanjón.

En el costado oriental el Zanjón presentaba un brazo corto de alta erosión que quedó abandonado al interrumpirse el cauce por la construcción de la vía. Este cauce fue prácticamente invadido con la construcción de un relleno misto (escombros de construcción, basuras, material de descapote) sobre el cual fueron construidas algunas viviendas que han presentado problemas de asentamientos diferenciales.

Fotografías más recientes (1992), muestran que sobre este lecho aún no se habían realizado los rellenos, por lo que se consideran como rellenos relativamente recientes.

En el sector nororiental se observa (1972), una intensa actividad minera por el desarrollo de excavaciones circulares en forma de huecos, algunos de los cuales están hoy día llenos de agua. La morfología de este sector es la de una ladera corta, de inclinación media con escarpes abruptos producto de la explotación minera. En el año de 1992 se observa un progreso de las excavaciones y comienza a evidenciarse la explanación que se observa hoy en día en la parte baja del Área de estudio. Del análisis anterior se deducen los rellenos antiguos marcados en el plano geológico y se anticipan problemas geotécnicos en las construcciones situadas sobre ellos.

El sector donde se localiza la actual fábrica de cal correspondía a una vía de acceso hacia las explotaciones mineras centrales. La construcción de la vía implicó algunos rellenos sobre el Zanjón del Recuerdo. Durante la construcción de la fábrica, parte de los rellenos fueron removidos y se depositaron nuevos rellenos que modificaron el cauce del Zanjón y sobre los cuales se presentan actualmente problemas de asentamiento en los muros de dicha fábrica.

En el sector central entre la casa central y la colina suroriental, existía un pequeño caño de alta incisión que remataba a la altura de la calle 80B en una zona amplia de erosión intensa y alta densidad de drenaje, que se prolongaba hacia el sur en el antigua barrio. En este sector no existía ni la calle 80B, ni el sector sur de la Cra. 18F, ni las viviendas del costado suroccidental.

En el año de 1992 se observa que todo el cauce de este caño fue rellenado, se construyeron las vías faltantes a la configuración actual del barrio y las viviendas de este sector, algunas localizadas adaptándose a la topografía y otras sobre rellenos producidos por la excavación y regularización morfológica del área. Los drenajes naturales antiguos fueron parcialmente modificados y algunas viviendas se construyeron sobre los mismos obstruyendo el drenaje natural.

A pesar de las edificaciones el agua sigue hoy día drenando por este sector y originando problemas de inundación a los moradores.

La identificación de esta zona de erosión antigua, explica suficientemente los problemas de estabilidad reportados en este sector.

5 ESTUDIO HIDROLOGICO

5.1 Introducción

La zona de estudio se encuentra bisectada por un cauce conocido como el Zanjón del Recuerdo, emplazado en la margen izquierda de la cuenca media, vertiente del río Tunjuelito y que atraviesa los barrios El Recuerdo, Tesorito y el Minuto de María.

Para el análisis de los diferentes fenómenos de remoción en masa que se presentan en la zona de estudio es necesario el conocimiento integral de los aspectos hidrológicos, hidráulicos, geológicos, geotécnicos y físicos o topográficos, estos tres últimos tratados en capítulos anteriores.

En este capítulo, además, de la definición de las características propias de la cuenca y los aspectos climatológicos de la zona de estudio se hace énfasis en el calculo de los caudales máximos esperados para diferentes periodos de retorno por ser estos los que finalmente determinan las dimensiones de las obras de drenaje y de manera indirecta, dan idea de la capacidad de transporte de sedimentos del cauce.

5.2 Método de trabajo

El presente estudio se desarrollo dentro de las tres siguientes fases:

5.2.1 Revisión bibliográfica y recopilación de la información básica

Dentro de esta actividad en primer lugar, se obtuvo la información cartográfica necesaria para definir las características hidrográficas del cauce y su cuenca, siendo esta:

- Planchas IGAC L 65 Y 75 escala: 1:2000 del 1979;
- Fotografías aéreas 3541 y 3542 del vuelo 8578 R-1131 de 1991 y 92; y
- Levantamiento topográfico de la zona de estudio escala 1: 500.

La información meteorológica se obtuvo a través del Área de Hidrología del centro de investigaciones de la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB – E.S.P. consistiendo esta de:

- Registros meteorológicos de las estaciones Vitelma y La Regadera;
- Coeficientes para las ecuaciones Intensidad – Frecuencia - Duración aplicables a la zona de estudio; y
- El informe general del estudio para el análisis y caracterización de las tormentas en la Sabana de Bogotá. IRH, 1995.

5.2.2 Reconocimiento de Campo

Esta actividad busca determinar las condiciones actuales de utilización y uso del suelo dentro de la cuenca vertiente del Zanjón del Recuerdo; además, de la estimación del coeficiente de resistencia

del flujo del cauce partiendo del tipo de superficie de este, la vegetación presente de acuerdo con su tipo, densidad, distribución y altura, las irregularidades y obstrucciones del cauce y la presencia de procesos tanto de sedimentación como de erosión y los niveles de agua existentes.

5.2.3 Análisis de información

Con base en las actividades anteriores se procedió al análisis de la información para determinar los parámetros de influencia de la cuenca, el análisis de las precipitaciones y la definición del método de calculo del los caudales máximos esperados.

5.3 Características Hidrográficas del Zanjón del Recuerdo y su Cuenca.

Cada cauce y su respectiva cuenca vertiente se pueden caracterizar por medio de parámetros cuantitativos conocidos como las características hidrográficas. A estos se pueden relacionar la longitud del cauce y sus afluentes, la conformación de la red hidrográfica, su densidad, el área de la cuenca, la pendiente del cauce y la cuenca y otras más que se presentaran a continuación.

El Zanjón del recuerdo nace en la parte alta de la vereda de Quiba a una altitud cercana a los 2980 msnm y desde allí recorre 783m hasta la zona de estudio. Para la evaluación de las características propias del cauce y su cuenca se consideraron dos secciones de control, una sobre la carrera 18 I, que se llamara punto B y otra sobre la carrera 18f, que se llamara punto A.

La cuenca vertiente a la zona de estudio (Ver Anexo No. 1, Fig. 5.1), corresponde a la parte alta o de recepción de toda la cuenca del Zanjón del Recuerdo y para el punto de control B se logra apreciar un apreciar un encajonamiento de la corriente principal, el área de la cuenca es de:

- 259,456.31 m² -0.25 km²⇒ PC.A
- 151,876.62 m² -0.15 km²⇒ PC.B

De las fotos aéreas y de las observaciones en campo se encontró que cerca del 40% de la cuenca se encuentra urbanizada y que la parte restante del área ha sido objeto de la deforestación encontrándose hoy una vegetación espontánea, herbácea, invasora, de tipo xerófica, con carencia de vegetación arbustiva definida o en su efecto zonas abandonadas de explotación mineras.

Los suelos, por otra parte, se caracterizan por su bajo contenido de materia orgánica, y son el producto del a intensa meteorización de las rocas paréntales, arsenicas y arcillolitas de la formación Guaduas, dando preferencia a la fracción arenosa.

La cuenca tiene una orientación O-E, lo cual implica una mayor duración de la exposición solar, lo que a su vez aumenta tanto la evaporación como la evotranspiración.

En cuento a los parámetros que se relacionan la forma de la cuenca se tiene el factor de forma, Kf, que relaciona la forma de la cuenca con la de un cuadro, así:

$$Kf = A / L^2, \quad (5.1);$$

Donde A es el área de captación, km²; y L es la longitud de la cuenca, km. Para ambos puntos de control $Kf \approx 0.25$, lo cual indica que la cuenca es relativamente ancha lo cual no propicia la

concentración de la escorrentía y la formación de grandes crecidas.

El otro parámetro de forma es el coeficiente de compacidad, Kc, que relaciona la forma de la cuenca con una circunferencia:

Kc 0 0,28 P / A½, (5.2);

Donde P es le perímetro de la cuenca, km. Para ambos puntos de control Kc ≈ 1.50, lo cual indica que la forma de la cuenca es de oval redonda oblonga.

Cabe destacar que la cuenca esta eficientemente drenada puesto que la densidad de drenaje es mayor de 13 km / km², calculada esta como la relación entre la longitud de todas las corrientes y el área de la cuenca.

Finalmente, la longitud del cauce principal es de:

- 977,03 m ⇒PC.A
- 718.55 m ⇒PC.B

y su pendiente (Ver Anexo No. 1, Fig. 5.2):

- 23,3 % ⇒PC.A
- 23,8 % ⇒PC.B

Obtenidos estos valore por el método de compensación de áreas.

5.4 Climatología de la Zona de Estudio

Para determinar las características climatológicas de la zona de estudio se obtuvieron los registros meteorológicos de las siguientes estaciones, cuyos registros se presentan en el Anexo No. 4 Mem. No. 5.1.

TABLA No. 5.1 Registros meteorológicos de la zona de estudio.

CODIGO	ESTACION	OPERADOR	TIPO	ELEVACION msnm	NORTE	ESTE	AÑOS REGISTRO
2120872	San Jorge	IDEAM	PVG	2900	990.300	988.500	27
2120509	La Regadera	EAAB	MET	3050	978.730	993.289	29
2120524	Vitelma	EAAB	MET	2800	997.540	1.000.600	58

La precipitación media mensual multianual se analizo con las estaciones San Jorge y La Regadera, encontrando que tiene un comportamiento unimodal, con un periodo húmedo en los meses de abril a noviembre y un periodo seco de diciembre a abril típico de la zona de los Llanos Orientales.

La precipitación media anual es del orden de los 1100 mm, con un máximo mensual en junio - julio de 215 mm y un mínimo mensual en enero de 21 mm (Ver Anexo No. 1 Fig. 5.3).

La temperatura media anual tiene pocas variaciones a lo largo del año, estando entre 14 y 15°C (ver Anexo No. 1, Fig. 5.4)

El comportamiento de la evaporación media mensual total, esta de acuerdo con el régimen de

lluvias, presentando las mayores valores de evaporación en el mes más seco, enero –92 mm, y la menor evaporación en el mes más húmedo, julio –28mm. La evaporación media anual total multianual es de 691 mm (Ver Anexo No.1, Fig. 5.5).

La humedad relativa presente poca variación a lo largo del año, con valores medios mensuales entre 68 y 75% y un medio multianual del 73%.

El brillo solar esta de acuerdo con el régimen de lluvias, presentando los mayores valores en el mes más seco, enero 197hr., y los menores en el mes más húmedo, junio – 87hr. La exposición total es de 1431hr. al año (Ver Anexo No. 1 Fig. 5.6).

Finalmente, la velocidad del viento es casi constante a lo largo del año con un valor promedio de 4.9 m/seg (ver Anexo No. 1, Fig. 5.7).

Con base en el estudio para el análisis y caracterización de las tormentas en la sabana de Bogotá, se obtuvo que la zona de estudio se encuentra dentro de la zona 4 y se obtuvieron a través de la oficina de diseño de la EAAB-ESP los valores de los coeficientes para el calculo de las curvas de intensidad – duración – frecuencia de las lluvias para el nodo más cercano a la zona de estudio, los cuales se presentan en el Anexo No. de los registros meteorológicos (Anexo No. 4 Mem. 5.1). Partiendo de estos se construyeron los diferentes curvas IDF que se presentan en el Anexo No. 1 Fig. 5.8.

5.5 Caudales Máximos Esperados

El estudio hidrológicos del Zanjón del Recuerdo, fue elaborado con el fin de obtener los caudales máximos esperados para diferentes periodos de retorno, a la altura de los puntos de control A y B, teniendo en cuenta los efectos antrópicos que se viene presentando.

Dado el tamaño de la cuenca, se adopto como método de calculo de los caudales el método racional, el cual considera que si una lluvia con una intensidad i se indica instantáneamente y continua indefinidamente, el valor de la escorrentía se incrementara hasta el tiempo de concentración, tc, a partir del cual toda la cuenca contribuye al caudal en la sección de análisis. El producto de la intensidad de la lluvia y al área de la cuenca A es el caudal de la entrada del sistema, iA, y la relación de este caudal pico, que se presenta al tiempo de concentración se conoce como el coeficiente de escorrentía, $C(0 \leq C \geqslant 1)$. Llegando así a la siguiente expresión:

$$Q = CiA, \quad (5.3)$$

El coeficiente de escorrentía depende de la permeabilidad, pendiente y capacidad de almacenamiento de la superficie tanto artificial como natural. Se asumió para este estudio un valor de 0.85 teniendo en cuenta la probable urbanización de la cuenca en un corto plazo.

La intensidad de la lluvia se selecciona en función de su duración y su periodo de retorno, la duración es igual al tiempo de concentración para la cuenca en consideración, en este caso se adopto la ecuación de Kirpich:

Tc 0 0.0663 (L / S^½)^0.77, (5.4)

Donde L es la longitud del cauce en km y S es la pendiente del cauce. Así, para los puntos de control A y B se obtuvo:

- tc = 6.8 min ⇒ PA.C
- tc = 5.7 min ⇒ PC.B

Con base en estos tiempos de concentración, se hallaron las siguientes intensidades:

TABLA No. 5.2 Intensidades con base en tiempos de concentración.

Tr, años	I, mm/hr
3	51
5	62
10	72
25	90
50	102
100	103

Para obtener valores de caudales en m³/sg se emplea la expresión 5.3 modificada:

Q = CiA / 3.6, (5.3)

Para los valores antes analizados y con la anterior expresión se calcularon los caudales máximos esperados para diferentes periodos de retorno y en los diferentes puntos de la cuenca, así:

TABLA No. 5.3 Caudales máximos.

Tr, años	I, mm / hr	QA, m³/seg	QB, m³ /seg
3	51	3,2	1,8
5	62	6,8	2,2
10	72	4,4	2,6
25	90	5,5	3,2
50	102	6,2	3,7
100	113	6,9	4,0

6 ESTUDIO GEOTÉCNICO

6.1 Investigación del Subsuelo

6.1.1 *Exploración*

De acuerdo con los resultados de los análisis Geológicos y Geomorfológicos (ver capítulo 4) efectuados en área del estudio, las áreas de mayor susceptibilidad a los fenómenos de remoción en masa son las denominadas Rellenos de Cauces para Viviendas (IIB), Escarpes Antrópicos (I) y Laderas Erosionales (IV).

Los rellenos de cauces para viviendas (IIB) son rellenos antrópicos de material mixto, escombros de excavación, suelo orgánico, escombros de construcción y basura, que le confieren a estos materiales un grado de variabilidad muy alto. Se observan principalmente en el sector noroccidental y suroriental del área.

El escarpe antrópico (I) que de acuerdo a información de la comunidad ha presentado problemas de inestabilidad y que por lo tanto puede ameritar análisis, se encuentra localizado un poco al noroccidente de la zona central del área de estudio.

Las laderas erosionables (IV) se localizan en el sector suroccidental del área en donde se conjuga la presencia de rellenos antrópicos de cauces antiguos con la presencia de zonas de erosión activa antigua y una alta densidad de drenaje tanto antigua como actual. Se observan fenómenos erosivos intensos de reptación, asentamientos diferenciales y desarrollo de cárcavas.

Con el fin de obtener una apropiada descripción y caracterización de los suelos y rocas que se encuentran en las zonas de mayor susceptibilidad a los fenómenos de remoción en masas anteriormente descritas, se programaron y ejecutaron ocho (8) barrenos manuales que alcanzaron profundidades variables entre 1.50 y 6.5 m. Adicionalmente en la zona en donde la comunidad ha informado de problemas de inestabilidad, se realizaron 3 apiques que alcanzaron profundidades entre 1,75 y 4,50 m.

De igual manera se efectuaron dos registros en los escarpes existentes en el área los cuales muestran la estratigrafía predominante en la zona hasta alturas entre 5 y 10 m.

En el Plano 6.1 del Anexo No.3, se presenta la localización de los sondeos y apiques realizados.

6.1.2 *Ensayos In-Situ y de Laboratorio*

Durante el avance de cada perforación se identificaron visualmente los suelos y rocas encontradas, se recuperaron muestras inalteradas con tubo Shelby y muestras remoldeadas de material en bolsa.

Con el objeto de estimar por medio de correlaciones los parámetros de resistencia al corte se efectuaron ensayos “in situ” de penetración estándar (SPT).

Todas las muestras recuperadas del subsuelo fueron identificadas visualmente. Se desarrolló un programa de ensayos de laboratorio sobre muestras representativas de los diferentes estratos y niveles de suelo y roca para determinar su clasificación y sus características de resistencia.

Teniendo en cuenta la estratigrafía, se realizaron ensayos de laboratorio que incluyeron pruebas de clasificación (límites de consistencia y granulometrías simplificadas), pruebas de resistencia (compresión inconfinada y corte directo) y pruebas indicativas de consistencia (humedad natural y peso unitario).

Los ensayos de corte directo se realizaron sobre los diferentes materiales encontrados en la zona los cuales servirán de base para realizar los análisis de estabilidad.

En el Anexo No. 4 (Mem. No.6.1), se presenta el resultado de los ensayos de laboratorio realizados así como el respectivo cuadro resumen de los mismos.

6.1.3 *Caracterización Geotécnica del Suelo (Estratigrafía)*

La caracterización geotécnica de los suelos del área del estudio se efectuó para las zonas de laderas erosionables (IV), para escarpes antrópicos (I), y para los rellenos de cauces para viviendas (IIB).

En el Anexo No. 4 (Mem. No. 6.2), se presentan los registros de las perforaciones efectuadas y en el Anexo No.3 Plano 6.2, las secciones transversales A-A, B-B, C-C, D-D, E-E, F-F, con la estratigrafía encontrada.

A continuación se presenta la caracterización geotécnica del suelo presente en dichas zonas:

6.1.3.1 Laderas erosionables (IV).

De acuerdo con los barrenos manuales S-1, S-1A, S-2, S-3, S-4 y S-7 efectuados en el sector suroccidental del área del estudio se encontró la siguiente estratigrafía:

Capa Vegetal

Desde la superficie del terreno y hasta aproximadamente 0.15 m de profundidad, se encuentra una CAPA VEGETAL constituida por pasto y raíces.

Esta capa no fue detectada en el barreno manual S-4.

<u>Estrato 1</u>

Debajo de la capa vegetal y hasta una profundidad variable entre 0,35 m, y 1,70 m se encuentra un relleno heterogéneo de escombros de construcción y basuras en una matriz de arcilla limosa carmelita grisácea de compactación baja. Este estrato no fue detectado en los barrenos manuales S-1A y S-3.

La caracterización simplificada de este estrato se presenta a continuación, tabla 6.1:

TABLA No. 6.1CARACTERIZACIÓN ESTRATO 1 – SECTOR SUR ORIENTAL

Propiedad	Mínimo	Promedio	Máximo
Humedad Natural, %	14	20	27
Límite Líquido, %	31	40	51
Límite Plástico, %	17	20	22
Índice de Plasticidad, %	14	20	30
Índice de Liquidez	- 0,008	0,084	0,22
Índice de Consistencia	0,78	0,92	1,008
Índice de Fluidez	6,75	10,09	12,21
Peso Unitario Total, T/m^3		1,98	
Resultado del Ensayo de Penetración Estándar (SPT)	2	4 (24)	6
Clasificación Unificada de Suelos (USCS)		CL, CH	
Profundidad al inicio del estrato, m	0	0,13	0,20
Profundidad al final del estrato, m	0,35	1,15	1,70
Espesor del estrato, m	0,35	1,02	1,55

( ) El dato entre paréntesis corresponde a un dato atípico registrado en el barreno S-3 entre 1,15 y 1,60 m de profundidad.

Estrato 2

Debajo del estrato 1 y hasta una profundidad variable entre 0,55 m y 2.70 m, se encuentra una ARCILLA LIMOSA gris con vetas oxidadas amarillas, algunas raíces finas, plasticidad media a alta, consistencia firme.

La caracterización simplificada de este estrato se presenta a continuación, tabla 6.2:

TABLA No. 6.2 CARACTERIZACIÓN ESTRATO 2 – SECTOR SUR ORIENTAL

Propiedad	Mínimo	Promedio	Máximo
Humedad Natural, %	20	23	25
Límite Líquido, %	41	54	66
Límite Plástico, %	20	21	23
Índice de Plasticidad, %	19	33	45
Índice de Liquidez	0,018	0,066	0,130
Índice de Consistencia	0,87	0,93	0,98
Índice de Fluidez	12,21	14,05	17,85
Propiedad	Mínimo	Promedio	Máximo
Peso Unitario Total, T/m^3	2,14	2,16	2,18
Resultado del Ensayo de Penetración Estándar (SPT)	5	7	10
Clasificación Unificada de Suelos (USCS)		CH/CL	
Profundidad al inicio del estrato, m	0,15	0,75	1,20
Profundidad al final del estrato, m	0,55	1,48	2,70
Espesor del estrato, m	0,30	0,73	1,50

Estrato 3

Debajo del estrato 2 y hasta una profundidad variable entre 2,30 m y más de 4,05 m, se encuentra una ARCILLA LIMOSA gris clara a gris rojiza, con vetas oxidadas habanas, amarillas o violetas, de

consistencia firme a muy firme. (Suelo Residual).

La caracterización simplificada de este estrato se presenta a continuación, tabla 6.3:

TABLA No. 6.3 CARACTERIZACIÓN ESTRATO 3 – SECTOR SUR ORIENTAL

Propiedad	Mínimo	Promedio	Máximo
Humedad Natural, %		21	
Límite Líquido, %		49	
Límite Plástico, %		18	
Indice de Plasticidad, %		31	
Peso Unitario Total, T/m^3	2,12	2,17	2,21
Compresión Inconfinada, kg/cm^2		1,79	
Resultado del Ensayo de Penetración Estándar (SPT)	10	14	17
Clasificación Unificada de Suelos (USCS)		CL	
Profundidad al inicio del estrato, m	1,65	2,18	2,70
Profundidad al final del estrato, m	2,30	> 3,18	> 4,05
Espesor del estrato, m	0,65	> 1,00	> 1,35

Este estrato solamente fue detectado en los barrenos manuales S-2 y S-7.

Estrato 4

Debajo del estrato 3 y hasta una profundidad variable entre 2,10 m y 3,15 m, se encuentra una ARCILLOLITA limosa gris clara a rojiza, vetas oxidadas habanas y amarillas, algunos tonos violeta, plasticidad alta, consistencia firme a dura.

La caracterización simplificada de este estrato se presenta a continuación, tabla 6.4:

TABLA No. 6.4 CARACTERIZACIÓN ESTRATO 4 – SECTOR SUR ORIENTAL

Propiedad	Mínimo	Promedio	Máximo
Humedad Natural, %	16	17	18
Límite Líquido, %	60	63	66
Límite Plástico, %	23	24	26
Indice de Plasticidad, %	37	39	42
Indice de Liquidez	- 0,24	- 0,19	-0,14
Indice de Consistencia	1,14	1,19	1,24
Indice de Fluidez	18,45	19,60	21,66
Peso Unitario Total, T/m^3	2,09	2,13	2,18
Compresión Inconfinada, kg/cm^2		7,42	
Resultado del Ensayo de Penetración Estándar (SPT)	21(17)	34	51
Clasificación Unificada de Suelos (USCS)		CH	
Profundidad al inicio del estrato, m	0,35	1,45	2,30
Profundidad al final del estrato, m	> 2,10	> 2,70	> 3,15
Espesor del estrato, m	> 0,30	> 1,17	> 1,75

() El dato entre paréntesis corresponde a un valor atípico registrado en el barreno manual S-3, entre 3,00 y 3,15 m de profundidad.

Este estrato no fue detectado en los barrenos manuales S-1, S-1 A y S-7.

Estrato 5

Debajo del estrato 2 y hasta una profundidad variable entre 0,57 m y 1,25 (máximas profundidades exploradas en los barreno No.S-1 y S-1A) se encontró una ARENISCA fina limosa habana amarillenta, consistencia dura (N> 50 golpes/pie).

Este estrato solamente fue detectado en los barrenos manuales S-1 y S-1 A

Nivel Freático

El nivel freático no fue detectado en este sector.

6.1.3.2 Rellenos de Cauces para Viviendas (IIB)

De acuerdo con los barrenos manuales S-5, y S-6, localizados en el sector nororiental del Área del estudio se tiene la siguiente estratigrafía.

Estrato 1

Desde la superficie del terreno y hasta una profundidad variable entre 1,75 m y 5,80, se encontró un RELLENO HETEROGÉNEO compuesto por escombros de construcción, plásticos y basuras en matriz de arcilla limo arenosa (g, m, f) gris habana y limo arcilloso gris oscuro, vetas negras y oxidadas, raíces, plasticidad media a alta, suelto.

La caracterización simplificada de este estrato se presenta a continuación, tabla 6.5:

TABLA No. 6.5 CARACTERIZACIÓN ESTRATO 1 – SECTOR NORORIENTAL

Propiedad	Mínimo	Promedio	Máximo
Humedad Natural, %	20	24	27
Límite Líquido, %	34	36	40
Límite Plástico, %	15	17	18
Indice de Plasticidad, %	17	19	22
Indice de Liquidez	0,39	0,44	0,50
Indice de Consistencia	0,50	0,55	0,61
Indice de Fluidez	9,25	10,44	11,34
Resultado del Ensayo de Penetración Estándar (SPT)	1	1	3
Clasificación Unificada de Suelos (USCS)		CL	
Profundidad al inicio del estrato, m	0	0	0
Profundidad al final del estrato, m	1,75	3,77	5,80
Espesor del estrato, m	1.75	3,77	5,80

En el sondeo S-5 entre 3,85 m y 5,80 m de profundidad, este relleno se encuentra medio compacto.(N entre 5 y 16 golpes/pie).

Estrato 2

Debajo del relleno heterogéneo, y hasta una profundidad variable entre 2,20 m y 6,10 m (máxima profundidad explorada en los barrenos S-6 y S-5 , respectivamente), se encontró una ARCILLA LIMO ARENOSA (f) a arena (f) arcillolimosa gris, vetas oxidadas carmelitas y rojizas, con gravas de arenisca (m,f) rojiza amarillenta, plasticidad baja, consistencia firme a muy firme.

La caracterización simplificada de este estrato se presenta a continuación, tabla 6.6:

TABLA No. 6.6 CARACTERIZACIÓN ESTRATO 2 – SECTOR NORORIENTAL

Propiedad	Mínimo	Promedio	Máximo
Humedad Natural, %	11	16	21
Límite Líquido, %		25	
Límite Plástico, %		13	
Indice de Plasticidad, %		12	
Indice de Liquidez		-0,16	
Indice de Consistencia		1,16	
Indice de Fluidez		8,88	
Propiedad	Mínimo	Promedio	Máximo
Peso Unitario Total, T/m^3	2,05	2,07	2,09
Resultado del Ensayo de Penetración Estándar (SPT)	12	19	26
Clasificación Unificada de Suelos (USCS)		SC / CL	
Profundidad al inicio del estrato, m	1,75	3,78	5,80
Profundidad al final del estrato, m	> 2,20	> 4,15	> 6,10
Espesor del estrato, m	> 0,30	> 0,37	> 0,45

Nivel Freático

El nivel freático se detectó en el sondeo No.S-5 a 1,50 m de profundidad.

6.1.3.3 Escarpes Antrópicos (I).

De acuerdo con los apiques AP-1, AP-2 y AP-3, en este sector se tiene la siguiente estratigrafía:

Capa Vegetal

Desde la superficie del terreno y hasta una profundidad variable entre 0,20 y 0,80 m, se encuentra una CAPA VEGETAL constituida por pasto y raíces.

Estrato 1

Debajo de la capa vegetal y hasta 4,5 m de profundidad, se encuentra un RELLENO HETEROGÉNEO compuesto por escombros de construcción y basuras en matriz de limo arcilloso gris habano, algunas gravas finas de arenisca, compactación baja a media.

Este estrato solamente fue detectado en el apique AP-3.

Estrato No.2

Debajo de la capa vegetal se encuentra una ARCILLA LIMOSA gris clara a habana, vetas oxidadas, algunas gravas de arenisca media fina, consistencia media a firme.

Este estrato no fue detectado en el apique AP-3.

Estrato 5

Debajo del estrato 2 y hasta la máxima profundidad explorada, se encuentra una ARENISCA fina limosa habana, consistencia dura.

En el sitio del apique AP-2, entre 0,35 m y 1,50 m de profundidad, se encuentra una bolsa de material constituida por gravas de arenisca (g,m,f) en matriz de limo arenoso (g,m,f) y arcilloso, carmelito, consistencia media.

Nivel Freático

En nivel freático solamente fue detectado en el apique AP-3 a 2,60 m de profundidad.

6.1.4 Parámetros Geotécnicos para Análisis.

Con el objeto de determinar los parámetros a largo plazo (ángulo de fricción interna drenada y resistencia al corte drenada) de los suelos y las rocas blandas presentes en el sector, se realizaron ensayos de corte directo en condición inundada.

6.1.4.1 Ensayos de Corte directo

Se realizaron cuatro ensayos de corte directo con el fin de evaluar los parámetros de resistencia drenada en laboratorio. Los resultados de estos ensayos que fueron efectuados en condición inundada, se presentan a continuación, tabla 6.7:

TABLA No. 6.7 PARAMETROS C', ø' BASADOS EN ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

Sondeo No	Muestra No	Profundidad m	Estrato No.	Peso Unitario T/m^3	Humed. Natural %	C' T/m^2	ø' °
1ª	1	0,25 – 0,50	2	2,14	22	1,7	24
4	1	0,50 – 0,90	4	2,15	16	5,3	10
7	3	1,70 – 2,10	2	2,18	20	2,0	24
7	4	2,75 – 3,00	3	2,13	20	1,4	14

6.2 Análisis Probabilístico de Estabilidad

6.2.1 Generalidades

Con el fin de evaluar la estabilidad actual y futura de las diferentes zonas homogéneas, se realizaron análisis de estabilidad para los distintos taludes de conformación de estas zonas. Se estudiaron diferentes secciones con varios posibles mecanismos de falla que permitieron analizar la estabilidad de depósitos no consolidados de origen cuaternario. Adicionalmente, en los sitios en los cuales se tenían escarpes rocosos constituidos por areniscas, se hicieron análisis de estabilidad en roca considerando la distribución espacial de las discontinuidades (diaclasamiento).

6.2.2 Agentes Detonantes de los Fenómenos de Remoción en Masa

Los principales agentes detonantes de los posibles fenómenos de remoción en masa en el barrio El Tesorito son principalmente el sismo, la lluvia, la intervención antrópica relacionada con excavaciones y rellenos indiscriminados y finalmente el manejo inadecuado de las aguas negras y lluvias del sector.

6.2.2.1 Lluvias

La influencia de las lluvias en la estabilidad de taludes ha sido comprobada suficientemente por varios investigadores, pues es claro que al subir el nivel freático en la masa de suelo se provoca la

reducción de los esfuerzos efectivos. Esto conlleva a una notable reducción de la resistencia del suelo con lo que se puede llegar en algunos casos a condiciones de falla del talud.

Partiendo de un estudio realizado por González y otros[1](1999), la evaluación de la lluvia como agente detonante de estabilidad se estima con base en el concepto de la lluvia critica establecido para la ciudad de Santa Fe de Bogotá D.C. Este concepto se fundamenta en la evaluación estadística de varios deslizamientos ocurridos en la ciudad y su correlación con las lluvias de esos mismos períodos. En el mencionado estudio se determinó que la lluvia crítica para el sector en el cual se encuentra localizado el barrio El Tesorito presenta un período de retorno de 26.5 años y una intensidad de 203.3 mm durante 30 días. Debido a que los análisis de estabilidad consideran saturación del suelo cuando se involucra el agente lluvia, en los análisis probabilísticos se empleó un período de retorno de 25 años para la lluvia crítica.

Para la determinación de la cantidad de agua percolada y para el establecimiento de los niveles de agua en la masa de suelo, lo normal es realizar un balance hídrico de la zona que permite modelar el proceso de infiltración de las aguas lluvias en un medio no saturado. En dicho modelo se emplean las propiedades del suelo tales como la permeabilidad, humedad, grado de saturación, etc. En el caso del presente estudio, se utilizaron dos simplificaciones para considerar el proceso de infiltración por aguas lluvias en los análisis de estabilidad. La primera, tiene en cuenta una situación en la cual el talud está totalmente seco y la segunda, considera el talud totalmente saturado. Esta última condición se puede considerar cuando se tengan fugas en tuberías como las que se han presentado en el pasado en este sector y por el agrietamiento del terreno en períodos de fuertes y prolongados veranos.

6.2.2.2 Sismos

Los sismos ejercen una gran influencia en el comportamiento de las laderas por la gran solicitación que le hacen. La norma NSR-98 sitúa los suelos del Barrio El Tesorito dentro de un perfil de suelo característico Tipo E que considera los efectos locales de amplificación de la onda sísmica por suelo. Para efectos de los análisis de estabilidad en condición dinámica se utilizó un sismo con una aceleración horizontal de 0.24g para un período de retorno de 475 años. Este valor de aceleración corresponde al parámetro establecido en el Estudio de Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá y tiene en cuenta fenómenos de amplificación topográfica de la onda. En este punto es importante anotar que los análisis seudoestáticos de estabilidad de taludes en materiales que presentan baja deformación ante cargas dinámicas, como es el caso de este estudio, se deberían utilizar valores de aceleración máximos de 0.15g, representativos para sismos con magnitud de

[1] González, Relaciones de Precipitación Crítica – Duración de Lluvias que Disparan Movimientos de Masa en Santafé de Bogotá - Colombia

hasta 81/4 (Seed, H. B. Considerations in the Earthquake Resistant Design of Earth and Rockfill Dams. British Geotechnical Society, 19 Rankine Lecture. Geotecnique 29, No. 3, 215-263, 1979). Por lo anterior, el valor adoptado en el estudio es bastante alto, pero ya que todos los estudios del DPAE se han realizado con esta consideración, los análisis efectuados tienen la finalidad de unificar criterios.

6.2.2.3 Factor Antrópico

El factor antrópico es uno de los aspectos de mayor incidencia en los fenómenos de remoción en masa del sector. La explotación minera de materiales para construcción y la colocación indiscriminada de rellenos heterogéneos sueltos por parte del hombre, sobre la ladera natural del sector, han contribuido en gran medida a la generación de los actuales problemas de inestabilidad presentes en la parte suroriental del barrio El Tesorito. Estos rellenos han modificado el patrón de drenaje de aguas lluvias de la zona permitiendo la concentración de las aguas en algunos sitios en los cuales se han presentado fenómenos erosivos importantes. Finalmente, la influencia antrópica se ve plasmada en la deforestación y en las fugas de los sistemas de aguas negras y de acueducto que han sido construidos deficientemente en la zona por el hombre.

Los anteriores aspectos que involucran el factor antrópico crean situaciones de conflicto con el medio ambiente natural y desequilibran las condiciones de estabilidad de las laderas. Es así, que al no poder ser evaluada exactamente la influencia del hombre en la ladera, su modelación dentro de los análisis de estabilidad se convierte en un elemento subjetivo con un alto grado de incertidumbre. Por ello, en este estudio las evaluaciones se han limitado solo a los eventos de orden natural (sismo y lluvia).

6.2.3 *Modelos de Estabilidad de Taludes en Suelos y Rocas Blandas*

Con el fin de analizar la condición de los taludes existentes en el área del estudio, se realizaron una serie de análisis de estabilidad que permitieron estudiar el comportamiento de la totalidad de los taludes en suelos y en rocas blandas presentes en la totalidad de la zona de estudio

Para efectuar los correspondientes análisis se utilizó el programa PCSTABL6 desarrollado por la Universidad de Pordue (USA). Con este programa se modelaron superficies de falla cuasi circulares tipo Janbu y se analizaron superficies de bloque deslizante que pretenden simular la condición de talud infinito.

De acuerdo con la cartografía geológica de toda el área de estudio y los perfiles geológico - geotécnicos realizados para las zonas críticas, se logró determinar que los fenómenos de inestabilidad presentes en el área se relacionan con movimientos de tipo rotacional que se desarrollan sobre la capa superior de suelo en contacto con roca blanda. Este tipo de falla para la zona de estudio en consideración, involucra un espesor moderado de suelo.

6.2.4 Modelos de Estabilidad de Taludes en Macizos Rocosos

En los taludes en roca el sistema potencial de superficies de falla existe de antemano en el macizo rocoso, pero la cinemática del deslizamiento se debe verificar para determinar la posible dirección y las superficies en las que es físicamente posible que se presente cualquier tipo de movimiento.

Con este fin se emplearon proyecciones estereográficas para los diferentes sistemas de discontinuidad, la estratificación y el talud de análisis.

Con el resultado del análisis anterior se evaluó la estabilidad al deslizamiento de las diferentes cuñas para lo cual se empleó el programa de computador QUIII desarrollado por el Consultor y que emplea el método estático de análisis para cuñas en tres dimensiones de Wittke (1964,1965a, 1965b, 1966 y 1990). Este programa permite también calcular la estabilidad de las cuñas a la rotación, el valor de la tensión optima de anclaje para alcanzar un factor de seguridad dado y el valor del coeficiente de aceleración sísmica para un factor de seguridad al deslizamiento igual a uno.

Los análisis se realizaron para una altura máxima de talud de 8 m.

6.2.5 Análisis de Estabilidad de Taludes

Teniendo en cuenta que los factores detonantes de inestabilidad posibles en el barrio El Tesorito se relacionan con la presencia de agua y/o con la posibilidad de ocurrencia de un evento sísmico, los análisis probabilísticos de estabilidad de taludes para suelos se realizaron considerando la variación de estos dos parámetros para las siguientes condiciones:

- Talud seco sin considerar sismo
- Talud seco sometido a solicitación sísmica
- Talud saturado sin considerar sismo
- Talud saturado sometido a solicitación sísmica

6.2.5.1 Parámetros de Resistencia para los Análisis de Estabilidad

Durante la etapa de investigación geotécnica se realizaron cuatro ensayos de corte directo con el fin de caracterizar la totalidad de los depósitos de suelo presentes en cada una de las unidades geológicas de la zona de estudio.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de corte directo, tabla 6.8:

TABLA No.6.8 PARAMETROS C' y ø' DETERMINADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

Sondeo No	Muestra No	profundidad m	Estrato No.	Unidad Geológica	Peso Unitario T/m^3	Humed. Natural %	C' T/m^2	ø' °
1 A	1	0,25 – 0,50	1	Rae	2,14	22	1,7	24
4	1	0,50 – 0,90	4	KTgm Meteorizado	2,15	16	5,3*	10
7	3	1,70 – 2,10	2	Qc	2,18	20	2,0	24
7	4	2,75 – 3,00	3	KTgm Meteorizado	2,13	20	1,4	14

* Este resultado corresponde a una roca blanda (qu= 7.42 Kg/cm2), por lo tanto no se empleará para los análisis de estabilidad en suelo.

De conformidad con el Mapa Geológico Local (Anexo No. 3, Plano No. 4.2), las unidades geológicas mencionadas en la tabla anterior tienen la siguiente descripción:

- Unidad geológica Rae: constituida por rellenos antrópicos de escombros de excavación, arcillas y material de descapote. En particular, la muestra ensayada corresponde a una arcilla limosa gris de alta plasticidad, con vetas amarillas y rojizas.
- Unidad geológica Qc: conformada por depósitos de coluvión, bloques, guijos y gravas angulares en matriz arcillosa y/o arenosa. La muestra ensayada procede de un coluvión que presenta una matriz de arcilla limosa gris habana, vetas de arena (f) amarilla, vetas oxidadas, algunas gravas, plasticidad media.
- Unidad geológica KTgm Meteorizada: corresponde a la Formación Guaduas Miembro Medio que está constituida por Areniscas cuarzosas de grano fino a medio y Arcillolitas abigarradas. La muestra ensayada corresponde a una arcillolita limosa gris de alta plasticidad, con tonos violetas.

De acuerdo con los parámetros de resistencia determinados con los ensayos de corte directo y teniendo en cuenta que los suelos ensayados en cada una de las unidades geológicas estudiadas son arcillas limosas, se adoptan los siguientes parámetros de resistencia para todas las secciones de análisis.

Cmin= 1.4 t/m2
Ø min= 10°
Cmax= 2.0 t/m2
Ø max= 24°

Además de los ensayos de corte directo, durante la etapa de investigación geotécnica se realizó una caracterización del suelo mediante ensayos básicos de laboratorio. Esta caracterización se resume en la tabla No.6.9 que se presenta a continuación:

TABLA No.6.9 RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

SONDEO	PROFUND. (m)	Wn (%)	L.L (%)	L.P (%)	I.P (%)	GRADACION		USCS	qu kg/cm2	PESO UNT TOTAL t/m3	UNIDAD GEOLÓGICA
						No.4	No.200				
1	1,00 - 1,20	25	66	23	43			CH		2.14	Rae
1A	0,25 - 0,55	22	66	21	45			CH		2.14	Rae
2	0,90 - 1,00	17	32	17	14	91	61	CL		1.98	Rae
	1,30 - 1,60	15						CL		1.98	Rae
	2,30 - 2,60	18	63	26	37			CH		2.09	KTgm
3	0,60 - 0,70	18	35	18	17			CL		1.98	Rae
	1,15 - 1,60	20						CL		1.98	Rae
	1,80 - 2,10	17	60	23	37	99	75	CH		2.10	KTgm
4	0,50 - 0,90	16	66	24	42			CH		2.15	KTgm
	1,80 - 2,10	16						CH	7.42	2.18	KTgm
5	0,40 - 1,0	20						CL		1.98	Rae
	1,40 - 1,50	27	40	18	22			CL		1.98	Rae
	1,65 - 2,10	25	35	18	17			CL		1.98	Rae
	2,40 - 3,00	21						CL		1.98	Rae
	4,60 - 5,05	26	35	18	17			CL		1.98	Rae
	5,95 - 6,10	21				98	47	SC		2.09	Qc
6	0,50 - 1,10	24	34	15	19			CL		1.98	Rae
	1,75 - 2,00	11	25	13	12			CL		2.05	Qc
7	0,60 - 0,80	27	51	21	30			CH		1.98	Rae
	0,95 - 1,40	24	41	22	19			CL		2.18	Qc
	1,70 - 2,10	20	42	20	23			CL		2.18	Qc
	2,75 - 3,00	21	49	18	32			CL		2.12	KTgm
	3,6 - 4,05	21						CL	1.79	2.21	KTgm
AP-1	0,90 - 1,15	20	68	24	44			CH	5.09	2.13	Qc
	1,45 - 1,75	15	70	25	45	75	56	CH			Qc
AP-2	0,70 - 0,90	14	37	19	18	63	26	SC			Qc
	1,05 - 1,50	13						SC			Qc
	1,80 - 2,40	28	71	31	41			CH	1.67	1.98	Qc
AP-3	1,05 - 1,50	35	57	24	33			CH			Rae
	1,90 - 2,30	24	53	25	28			CH	1.11	2.03	Rae
	2,60 - 2,90	29	44	22	22			CL			Rae
	3,20 - 3,50	17	44	23	20			CL			KTgm

A continuación en la tabla No. 6.10 se presentan los valores del peso unitario total para cada una de las unidades geológicas consideradas los cuales fueron obtenidos de los ensayos de corte directo (ver tabla No. 6.8). Estos son los valores que se utilizarán en los análisis de estabilidad.

TABLA No. 6.10 PESOS UNITARIOS TOTALES

UNIDAD GEOLOGICA	PESO UNITARIO TOTAL T/m3
Rae	2.14
Qc	2.18
KTgm Residual	2.14

6.2.5.2 Secciones para los Análisis de Estabilidad

En los análisis de estabilidad se utilizaron las secciones A-A, B'-B', C-C, D-D, E-E, F-F, G'–G', H-H, I-I, J-J y K-K. Estas secciones se encuentran localizadas en el Plano No 6.1 del Anexo No. 3.

6.2.5.3 Análisis de Estabilidad para las Secciones A-A, B-B y C-C

Estas secciones permiten estudiar la zona inestable del sector sur oriental, localizada al norte de la calle 80B. Es una zona expuesta a amenaza por reptación, con evidencias de movimiento lento del terreno y erosión superficial. En este sector se presenta un movimiento continuo de la masa una masa de suelo superficial en dirección de la pendiente que de acuerdo con el estudio geológico y geomorfológico se correlaciona con la presencia de rellenos antrópicos sobre una zona antigua de alta densidad de drenaje. Los materiales en reptación están compuestos por rellenos heterogéneos de escombros de excavación, escombros de construcción y basuras en una matriz de arcilla limosa de baja compactación.

Análisis para la Sección A-A:

Utilizando los parámetros de resistencia mínimos obtenidos en los ensayos de corte directo (C=1.4 t/m2, φ=10° y γ= 2.14 t/m3) y considerando la saturación del material y condiciones estáticas y dinámicas del talud, se obtuvieron los siguientes factores de seguridad para la sección A-A:

TABLA No. 6.11 SECCION A-A – MECANISMO DE FALLA DE BLOQUE DESLIZANTE

METODOLOGÍA	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Bloque Deslizante	Sin Sismo y Saturado	1.82	1.50	AA1
	Con Sismo y Saturado	1.00	1.00	AA2

Los resultados de los análisis empleando la metodología del bloque deslizante se presentan gráficamente en las figuras No. 6.1 y 6.2 del Anexo No. 1.

Los anteriores resultados sugieren que no es necesario incrementar el factor de seguridad de la sección A-A, al considerar en los análisis una probable superficie de falla del tipo bloque deslizante para las dos condiciones de carga estudiadas.

Teniendo en cuenta que existen evidencias de movimientos localizados a lo largo del talud, se procedió a evaluar la condición de los taludes individuales de la parte alta, intermedia alta, intermedia baja y baja de la sección (ver figura No. 6.3 del Anexo No. 1 para la localización de los taludes individuales), utilizando las parámetros de resistencia mínimos obtenidos en los ensayos

de corte directo (C=1.4 t/m2, φ=10° y γ= 2.14 t/m3)

Los resultados de estos análisis se presentan a continuación en la tabla No. 6.12:

TABLA No. 6.12 SECCION A-A CONDICION DE TALUDES INDIVIDUALES

SECTOR	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Parte Alta	Sin Sismo y Saturado	1.30	1.50	AA3
	Con Sismo y Saturado	0.86	1.00	AA4
Parte Intermedia Alta	Sin Sismo y Saturado	1.91	1.50	AA5
	Con Sismo y Saturado	1.38	1.00	AA6
Parte Intermedia Baja	Sin Sismo y Saturado	1.18	1.50	AA7
	Con Sismo y Saturado	0.87	1.00	AA8
Parte Baja	Sin Sismo y Saturado	2.23	1.50	AA9
	Con Sismo y Saturado	1.08	1.00	AA10

Los resultados de los análisis de estabilidad de los taludes individuales para la sección A-A se presentan gráficamente en el Anexo No.1, figuras 6.3.A, 6.3.B, 6.3.C, 6.3.D, 6.3.E, 6.3.F, 6.3.G y 6.3.H.

Los resultados de la tabla anterior sugieren que para los sectores resaltados se requiere incrementar los factores de seguridad. Las medidas necesarias para alcanzar este propósito se analizarán en el capítulo 10 Alternativas de Mitigación.

Análisis para la Sección B-B:

Teniendo en cuenta que existen evidencias de movimientos localizados a lo largo del talud, se procedió a evaluar la condición de estabilidad de los taludes individuales de la parte alta, intermedia, y baja de la sección B-B (ver figura No. 6.4 del Anexo No. 1 para la localización de los taludes individuales), utilizando las parámetros de resistencia mínimos obtenidos en los ensayos de corte directo (C=1.4 t/m2, φ=10° y γ= 2.14 t/m3).

Los resultados de estos análisis se presentan a continuación en la tabla No. 6.13:

TABLA No. 6.13 SECCION B-B CONDICION DE TALUDES INDIVIDUALES

SECTOR	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Parte Alta	Sin Sismo y Saturado	1.47	1.50	BB1
	Con Sismo y Saturado	0.94	1.00	BB2
Parte Intermedia	Sin Sismo y Saturado	1.17	1.50	BB3
	Con Sismo y Saturado	0.84	1.00	BB4
Parte Baja	Sin Sismo y Saturado	2.56	1.50	BB5
	Con Sismo y Saturado	1.39	1.00	BB6

Los resultados de los análisis de estabilidad de los taludes individuales para la sección B-B se presentan gráficamente en el Anexo No.1, figuras 6.4.A, 6.4.B, 6.4.C, 6.4.D, 6.4.E y 6.4.F.

Los resultados de la tabla anterior sugieren que para las zonas resaltadas se requiere incrementar los factores de seguridad actuales. Las medidas necesarias para alcanzar este propósito se

analizarán en el capítulo 10 Alternativas de Mitigación.

Análisis para la Sección C-C:

Para esta sección se evaluó la condición de estabilidad de las partes alta y baja (ver figura No. 6.5 del Anexo No. 1 para la localización de los taludes individuales) utilizando las parámetros de resistencia mínimos obtenidos en los ensayos de corte directo (C=1.4 t/m2, φ=10° y γ= 2.14 t/m3).

Los resultados de los análisis realizados para la sección C-C se presentan a continuación en la tabla No. 6.14:

TABLA No. 6.14 SECCION C-C CONDICION DE TALUDES INDIVIDUALES

SECTOR	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Parte Alta	Sin Sismo y Saturado	1.55	1.50	CC1
	Con Sismo y Saturado	1.01	1.00	CC2
Parte Baja	Sin Sismo y Saturado	2.89	1.50	CC3
	Con Sismo y Saturado	1.70	1.00	CC4

Los resultados de los análisis de estabilidad de los taludes individuales para la sección C-C se presentan gráficamente en el Anexo No.1, figuras 6.5.A, 6.5.B, 6.5.C y 6.5.D.

Los anteriores resultados sugieren que para la sección C-C no se requiere incrementar los factores de seguridad.

6.2.5.4 Análisis de Estabilidad para la Sección D-D

Esta sección permite estudiar la zona inestable conformada por un importante relleno antrópico localizado en la parte occidental del área de estudio, al oriente de la carrera 18I. Este relleno que fue colocado en forma indiscriminada por el hombre, taponó un antiguo brazo de la quebrada conocida con el nombre del Zanjón del Recuerdo, obstruyéndose así una importante zona de drenaje natural. La zona está expuesta a amenaza por deslizamiento rápido, con evidencias de asentamiento diferenciales del terreno y erosión superficial en cárcava y en surco (ver mapa de Inventario de Procesos, Plano No. 4.5 del Anexo No. 3). Se identifican dos mecanismos potenciales de falla; uno circular de pie de talud que involucra únicamente el material del relleno que tiene un espesor máximo promedio de 6 m y otro de bloque deslizante por el contacto del relleno con el material natural del antiguo brazo afluente al Zanjón del Recuerdo. El relleno está conformado por escombros de construcción suelo orgánico y basuras en una matriz de arcilla limo arenosa y limo arenoso de plasticidad media y consistencia blanda.

Análisis para la Sección D-D:

Teniendo en cuenta que esta zona actualmente presenta evidencias de movimiento activo (importantes asentamientos del terreno que han ocasionado grietas en casas e incluso la reubicación de una vivienda prefabricada) se modeló la totalidad de la sección utilizando los parámetros mínimos obtenidos en los ensayos de corte directo (C=1.4 t/m2, φ=10° y γ= 2.14 t/m3).

Los resultados de los análisis considerando el mecanismo de bloque deslizante se muestran

gráficamente en las figuras No. 6.6 y 6.7 del Anexo No. 1 y se resumen en la tabla No. 6.15 que se presenta a continuación.

TABLA No. 6.15 SECCION D-D – MECANISMO DE FALLA DE BLOQUE DESLIZANTE

METODOLOGÍA	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Bloque Deslizante	Sin Sismo y Saturado	2.09	1.50	DD1
	Con Sismo y Saturado	0.71	1.00	DD2

Los anteriores resultados sugieren la necesidad de incrementar el factor de seguridad de la zona ante una solicitación sísmica. Las medidas necesarias se analizarán en el capítulo 10 Alternativas de Mitigación.

Teniendo en cuenta que existen evidencias de deslizamiento relacionados con fallas de pie de talud, se efectuó un análisis con un modelo de falla circular para este sector. Los resultados de los análisis se presentan gráficamente en las figuras No. 6.8 y 6.9 del Anexo No. 1 y se resumen en la tabla No. 6.16 que se muestra a continuación:

TABLA No. 6.16 SECCION D-D MECANISMO DE FALLA CIRCULAR

METODOLOGÍA	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Falla Circular	Sin Sismo y Saturado	0.96	1.50	DD3
	Con Sismo y Saturado	0.61	1.00	DD4

Los anteriores resultados sugieren que para las zonas resaltadas se requiere incrementar los factores de seguridad actuales. Las medidas necesarias para alcanzar este propósito se analizarán en el capítulo 10 Alternativas de Mitigación.

6.2.5.5 Análisis de Estabilidad para la Sección E-E

Esta sección se utilizó para analizar la estabilidad de un talud de conformación de una explotación minera abandonada, localizada aproximadamente en la parte central del área de estudio, justo encima de la laguna existente. La zona se caracteriza por presentar roca arenisca totalmente fracturada.

Análisis para la Sección E-E:

Teniendo en cuenta que esta zona actualmente presenta evidencias de movimiento activo (desprendimientos de roca fracturada generados en fallas circulares), el coluvión superior de la sección se modeló utilizando los parámetros mínimos obtenidos en los ensayos de corte directo (C=1.4 t/m2, φ=10° y γ= 2.18 t/m3), y la roca fracturada con los parámetros máximos determinados en el ensayo de corte realizado para el coluvión (C=2 t/m2, φ=24° y γ= 2.18 t/m3).

Los resultados de los análisis considerando una superficie de falla dentro del coluvión superior y un mecanismo de bloque deslizante, se muestran gráficamente en las figuras No.6.9.A y 6.9.B del Anexo No. 1 y se resumen en la tabla No. 6.17 que se presenta a continuación.

TABLA No. 6.17 SECCION E-E – MECANISMO DE FALLA DE BLOQUE DESLIZANTE - SUPERFICIE DE FALLA DENTRO DEL COLUVION

METODOLOGÍA	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Bloque Deslizante	Sin Sismo y Seco	2.23	1.50	EE1
	Con Sismo y Seco	1.15	1.00	EE2

Los anteriores resultados sugieren que no es necesario incrementar el factor de seguridad para controlar una posible falla dentro del coluvión.

Teniendo en cuenta que existen evidencias de deslizamiento relacionadas con fallas de pie de talud dentro del material rocoso fracturado, se efectuó un análisis con un modelo de falla circular para este sector. Los resultados de los análisis se presentan gráficamente en las figuras No. 6.9.C y 6.9.D del Anexo No. 1 y se resumen en la tabla No. 6.18 que se muestra a continuación:

TABLA No. 6.18 SECCION E-E MECANISMO DE FALLA CIRCULAR

METODOLOGÍA	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Falla Circular	Sin Sismo y Seco	1.21	1.50	EE3
	Con Sismo y Seco	0.86	1.00	EE4

Los anteriores resultados sugieren que se requiere incrementar los factores de seguridad actuales. Las medidas necesarias para alcanzar este propósito se analizarán en el capítulo 10 Alternativas de Mitigación.

6.2.5.6 Análisis de Estabilidad para la Sección F-F

Esta sección permite estudiar la zona norte del área de estudio que comprende un sector del escarpe de una antigua explotación minera (actualmente abandonada). Los taludes de la antigua explotación minera están conformados por un material de coluvión de 2.5 m y 4 m de espesor aproximado el cual descansa sobre un suelo residual de arcillolita muy dura (ver mapa Geológico Local, Plano 4.2 del Anexo No. 3). Debido a lo anterior se identifica un mecanismo potencial de falla de bloque deslizante entre el contacto del coluvión y el suelo residual. Los resultados de los análisis se muestran gráficamente en las figuras No.6.10 y 6.11 del Anexo No. 1 y se resumen en la tabla No. 6.19 que se presenta a continuación.

TABLA No. 6.19 SECCION F-F – MECANISMO DE BLOQUE DESLIZANTE

METODOLOGÍA	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Bloque Deslizante	Sin Sismo y Seco	2.24	1.50	FF5
	Con Sismo y Seco	0.99	1.00	FF6

Los anteriores resultados sugieren que no es necesario incrementar los factores de seguridad para la sección F-F.

6.2.5.7 Análisis de Estabilidad para la Sección G-G

Esta sección permite estudiar la zona inestable correspondiente al sector del escarpe de una antigua explotación minera (actualmente abandonada) localizada en el sector central del área de estudio, entre las carreras 18 H y 18 G. Algunas de las viviendas del sector reportan daños por asentamientos diferenciales. El talud de la antigua explotación minera está conformado por un espesor de 7 m de material de coluvión de bloques, cantos y gravas de arenisca embebidos en una matriz areno arcillosa el cual descansa sobre un suelo residual de arcillolita muy dura (ver mapa Geológico Local, Plano 4.2 del Anexo No. 3). Debido a lo anterior se identifica un mecanismo potencial de falla de bloque deslizante entre el contacto del coluvión y el suelo residual. La inestabilidad del talud afecta viviendas construidas muy cerca de la corona.

Análisis para la Sección G-G:

Utilizando los parámetros de resistencia mínimos obtenidos en los ensayos de corte directo (C = 1.4 t/m^2, ø =10° y γ = 2.18 t/m^3), se obtuvieron los siguientes factores de seguridad para el talud determinado por la sección G-G que presenta hoy en día evidencias de movimiento activo (asentamientos del terreno que han ocasionado grietas en las casas adyacentes al talud). Los resultados del análisis se muestran gráficamente en las figuras No. 6.12 y 6.13 del Anexo No. 1 y se resumen en la tabla No.6.20 que se presenta a continuación:

TABLA No. 6.20 SECCION G-G – MECANISMO DE BLOQUE DESLIZANTE

METODOLOGÍA	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Bloque Deslizante	Sin Sismo y Seco	1.29	1.50	GG5
	Con Sismo y Seco	0.73	1.00	GG6

Los anteriores resultados sugieren que se requiere incrementar los factores de seguridad para la sección G-G. Las medidas necesarias para alcanzar este propósito se analizarán en el capítulo 10 Alternativas de Mitigación.

6.2.5.8 Análisis de Estabilidad para la Sección H-H

Esta sección permite estudiar la zona central del área de estudio. Esta sección comprende un talud conformado por material de coluvión conformado con bloques, cantos y gravas de arenisca

embebidos en una matriz areno arcillosa.

Análisis para la Sección H-H:

Con el fin de analizar el estado actual del talud se utilizaron los parámetros de resistencia al corte mínimos determinados en el laboratorio (C = 1.4 t/m^2, ø =10° y γ = 2.18 t/m^3).

Los resultados del análisis considerando un mecanismo de bloque deslizante se muestran gráficamente en las figuras No. 6.14 y 6.15 del Anexo No. 1, y se resumen en la tabla No. 6.21 que se presenta a continuación:

TABLA No. 6.21 SECCION H-H – MECANISMO DE BLOQUE DESLIZANTE

METODOLOGÍA	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Bloque Deslizante	Sin Sismo y Seco	1.12	1.50	HH3A
	Con Sismo y Seco	0.73	1.00	HH4A

Los anteriores resultados sugieren que se requiere incrementar los factores de seguridad para la sección H-H. Las medidas necesarias para alcanzar este propósito se analizarán en el capítulo 10 Alternativas de Mitigación.

6.2.5.9 Análisis de Estabilidad para la Sección I-I

Esta sección se utilizó para evaluar la condición de estabilidad del sector central de la zona norte del área de estudio. En este sector se encuentran unos rellenos antrópicos de basuras de baja compactación sobre los cuales se halla construida una vivienda (calificada como tugurio). Es una zona expuesta a amenaza por deslizamiento rápido. El mecanismo de falla inferido para este tipo de material es falla súbita, disparado por saturación del material y/o por efecto sísmico.

Con el fin de analizar la estabilidad del talud se utilizaron los parámetros de resistencia al corte mínimos determinados en el laboratorio (C = 1.4 t/m^2, ø =10° y γ = 2.18 t/m^3).

Los resultados de los análisis considerando un mecanismo de bloque deslizante se muestran gráficamente en las figuras No. 6.16 y 6.17 del Anexo No. 1, y se resumen en la tabla No. 6.22 que se presenta a continuación:

TABLA No. 6.22 SECCION I-I – MECANISMO DE BLOQUE DESLIZANTE

METODOLOGÍA	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Bloque Deslizante	Sin Sismo y Seco	1.11	1.50	II1
	Con Sismo y Seco	0.84	1.00	II2

Los anteriores resultados sugieren que se requiere incrementar los factores de seguridad para la sección I-I. Las medidas necesarias para alcanzar este propósito se analizarán en el capítulo 10 Alternativas de Mitigación.

6.2.5.10 Análisis de Estabilidad para la Sección J-J

Esta sección se utilizó para evaluar la condición de estabilidad de un relleno reciente colocado en la zona norte del área de estudio. Es una zona expuesta a amenaza por deslizamiento rápido, con evidencias erosión superficial en cárcava y en surco (ver Anexo No. 3 Mapa de Inventario de Procesos, Plano No. 4.5). El mecanismo de falla es circular e involucra únicamente el material del relleno el cual tiene un espesor máximo promedio de 4 m.

Con el fin de analizar la estabilidad del talud se utilizaron los parámetros de resistencia al corte mínimos determinados en el laboratorio (C = 1.4 t/m^2, ø =10° y γ = 2.18 t/m^3).

Los resultados de los análisis considerando un mecanismo de bloque deslizante se muestran gráficamente en las figuras No. 6.18 y 6.19 del Anexo No. 1, y se resumen en la tabla No. 6.23 que se presenta a continuación:

TABLA No. 6.23 SECCION J-J – MECANISMO DE BLOQUE DESLIZANTE

METODOLOGÍA	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Bloque Deslizante	Sin Sismo y Seco	1.58	1.50	JJ1
	Con Sismo y Seco	0.96	1.00	JJ2

Los anteriores resultados sugieren que se requiere incrementar el factor de seguridad dinámico para la sección J-J. Las medidas necesarias para alcanzar este propósito se analizarán en el capítulo 10 Alternativas de Mitigación.

6.2.5.11 Análisis de Estabilidad para la Sección K-K

Esta sección se utilizó para evaluar la condición de estabilidad del escarpe de la antigua explotación minera abandonada, localizado al norte del Zanjón del Recuerdo (ver Anexo No. 3 plano No. 9.1). Es una zona expuesta a amenaza por deslizamiento del coluvión localizado encima del macizo rocoso y caída de bloques (ver mapa de Inventario de Procesos, Anexo No. 3 Plano No. 4.5). Con el fin de analizar la estabilidad del talud del coluvión se utilizaron los parámetros de resistencia al corte mínimos determinados en el laboratorio (C = 1.4 t/m^2, ø =10° y γ = 2.18 t/m^3).

Los resultados de los análisis considerando un mecanismo de bloque deslizante se muestran gráficamente en las figuras No. 6.20 y 6.21 del Anexo No. 1, y se resumen en la tabla No. 6.24 que se presenta a continuación:

TABLA No. 6.24 SECCION K-K – MECANISMO DE BLOQUE DESLIZANTE

METODOLOGÍA	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Bloque Deslizante	Sin Sismo y Seco	1.76	1.50	KK1
	Con Sismo y Seco	0.96	1.00	KK2

Los anteriores resultados sugieren que se requiere incrementar el factor de seguridad dinámico para la sección K-K. Las medidas necesarias para alcanzar este propósito se analizarán en el capítulo 10 Alternativas de Mitigación.

6.2.6 *Evaluación Probabilística de la Estabilidad de Taludes*

6.2.6.1 Cálculo de la Probabilidad de Falla Total

La probabilidad de falla por deslizamiento se evalúa en términos de los eventos condicionantes a través de la Ley de Probabilidades Totales. Para este caso, esos eventos condicionantes se definieron como "sismo" y "lluvia". Por lo tanto, la probabilidad de falla total por deslizamiento, P_f (D), está definida por la siguiente ecuación que considera todas las posibles combinaciones de estos dos eventos:

$$P_f(D) = P(D|LS)\,p(LS) + P(D|L\bar{S})\,p(L\bar{S}) + P(D|\bar{L}S)\,p(\bar{L}S) + P(D|\bar{L}\bar{S})\,p(\bar{L}\bar{S})$$

donde:

P_f(D| LL,S): probabilidad condicional de falla del talud cuando se presenta una lluvia LL y un sismo S.

P_f(D| LL,S): probabilidad condicional de falla del talud cuando se presenta un sismo S y no se tiene una lluvia LL.

P_f(D| LL,S): probabilidad condicional de falla del talud cuando se presenta una lluvia LL y no se tiene un sismo S.

P_f(D| LL,S): probabilidad condicional de falla del talud en su condición natural, es decir, sin sismo ni lluvia.

$$p(SL): \quad (1-(1/T_S)^t\,(1-1/T_L)^t$$

$$p(\bar{S}L): \quad (1-1/T_S)^t)(1-(1-1/T_L)^t)$$

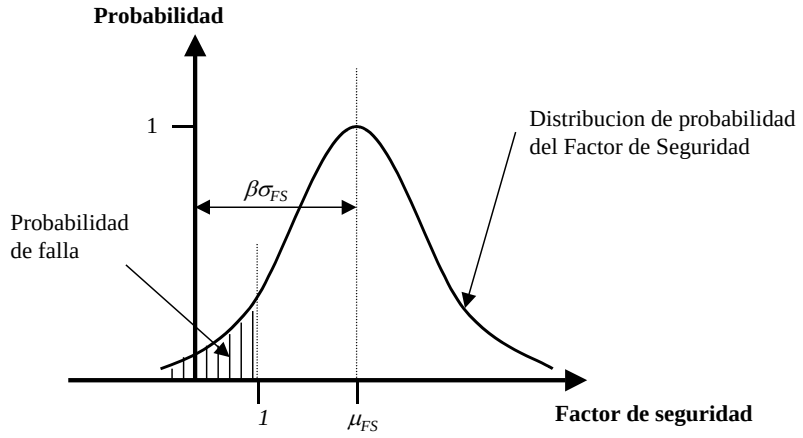
$$p(S\bar{L}): \quad (1-(1-1/T_S)^t)(1-1/T_L)^t$$

$$p(\bar{S}\bar{L}): \quad (1-1/T_S)^t\,(1-1/T_L)^t$$

Las últimas cuatro expresiones en la ecuación consideran la probabilidad de ocurrencia y de no-ocurrencia de sismo y lluvia. Se calculan con base en su período de retorno exclusivamente. Los valore de T_S y T_L corresponden a los períodos de retorno del sismo y la lluvia. Para el caso del sismo se tomó un valor de 475 años que corresponde a un sismo con una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años; es el sismo de diseño exigido por la norma NSR-98. Para la lluvia se tomo un valor de periodo de retorno de 25 años.

6.2.6.2 Cálculo de la Probabilidad Condicional de Falla

Las probabilidades condicionales indicadas en la ecuación anterior se obtuvieron con base en el cálculo del '"Factor de seguridad". Considerando que el Factor de Seguridad (FS) sigue una distribución de probabilidad normal, en la figura que se presenta a continuación se indica el rango de valores para los cuales se presenta la falla del Talud (área achurada que corresponde a una probabilidad de falla).



Distribución de probabilidad del Factor de Seguridad

Teniendo en cuenta que el factor de seguridad (FS) se define como:

$$FS = \frac{R}{A}$$

Donde:

R: Fuerzas resistentes.

A: Fuerzas actuantes.

La falla se producirá cuando el factor de seguridad alcance un valor inferior a 1 (*FS*<1).

Si se define el índice de confiabilidad β, como:

$$\beta = \frac{\mu_{FS} - 1}{\sigma_{FS}}$$

donde:

μ_{FS}: valor medio

σ_{FS} :desviación estándar del factor de seguridad

Tenemos que la probabilidad de falla considerando una distribución normal se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$P_f = 1 - \Phi(\beta)$$

6.2.6.3 Aproximación a la Distribución de Probabilidad del Factor de Seguridad

Para este tipo de problemas existen varios métodos de análisis entre los que se encuentran la aproximación del problema por medio de las Series de Taylor, la implementación de las técnicas de Montecarlo o el método de Estimación Puntual propuesto por Rosemblueth[1] (1975).

Para el desarrollo del presente estudio se utilizó el método de estimación puntual[2,3] asociado al factor de seguridad. Este modelo considera los resultados de análisis de estabilidad, las variables geotécnicas involucradas en ellos, y el valor medio y la desviación estándar del factor de seguridad.

6.2.6.3.1 Descripción General del Método de Estimación Puntual

Para una función de estado límite dada por $Z = g(X_1, X_2, ..., X_m)$ en al cual X_i denota una variable aleatoria, se pueden obtener 2^m estimativos puntuales de Z, z^k, con k = 1,2,3,…2^m de la siguiente forma:

$$z_k = g(\mu_1 + \eta_{1k}\sigma_1, \mu_2 + +\eta_{2k}\sigma_2, ..., \mu_m + \eta_{mk}\sigma_m)$$

donde:

μ_i: media de la variable X_i

σ_i: desviación estándar de la variable X_i

η_{ik}: coeficientes que toman valores de 1 y –1 y que satisfacen la siguiente ecuación:

$$k = 1 + \sum_{i=1}^{m} 2^{i-2}(1 + \eta_{ik})$$

Los momentos de la función de estado límite, Z, se pueden estimar como:

$$E[Z^r] = \sum_{k=1}^{2^m} \pi_k z_k^r$$

Donde π_k denota el peso del *k*-ésimo estimativo puntual y está dado por:

$$\pi_k = 2^{-m}$$

La fórmula anterior aplica si todas las variables X_i son independientes. Sin embargo, si las variables X_i no son independientes, el *k*-ésimo estimativo puntual está dado por:

[2] Rosenblueth, Point estimates for probability moments, Porc. Nat. Acadm., Sci. Ame., Vol 72, (10) (1975)

[3] Kottegoda N.T., Rosso R., Probability, Statistics and Reliability for Civil and Environmental Engineers. McGraw Hill (1998).

[4] Harr M., Realiability Based design in Civil Engineering, Dover, (1987).

$$\pi_k = 2^{-m}\left(\sum_{i=1}^{m-1}\sum_{j=i+1}^{m}\eta_{ik}\eta_{jk}\rho_{ij}\right)$$

Donde ρ_{ij} corresponde al coeficiente de correlación entre X_i y X_j.

6.2.6.3.2 Método de Estimación Puntual para el Caso de Deslizamiento

Para el caso de deslizamientos, como el considerado en el presente estudio, el valor medio y la varianza del factor de seguridad se evaluaron utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\mu_{FS} = \frac{1}{4}(FS(\phi^+, c^+) + FS(\phi^+, c^-) + FS(\phi^-, c^+) + FS(\phi^-, c^-))$$

$$\sigma_{FS} = \left[\frac{1}{4}(FS(\phi^+, c^+) + FS(\phi^+, c^-) + FS(\phi^-, c^+) + FS(\phi^-, c^-)) - \mu_{FS}^2\right]^{1/2}$$

Donde:

ϕ^+ y ϕ^-: representan el valor de ϕ más o menos la desviación estándar

c^+ y c^-: representan el valor de c más o menos la desviación estándar.

6.2.6.4 Resultados de los Análisis Probabilísticos Según Inventario de Procesos

6.2.6.4.1 Análisis Probabilístico para la Zona de Reptación

La zona de reptación se encuentra localizada en el sector suroriental del barrio (costado norte de la calle 80B). Corresponde a una zona en donde se observa un movimiento continuo de la masa de suelo en dirección de la pendiente que se correlacionó con la presencia de rellenos importantes en una zona antigua de alta densidad de drenaje. El fenómeno se evidencia por la formación de salientes topográficas redondeadas y por el asentamiento diferencial de algunas viviendas que se traduce en agrietamientos importantes. En el sector más oriental de esta zona, los muros de algunas viviendas han detenido localmente el fenómeno.

Para el análisis de esta zona se emplearon los cortes geológico-geotécnicos A-A, B-B y C-C que se encuentran ubicados en el plano No. 6.1 del Anexo No. 3.

Los resultados de los análisis probabilísticos para estas secciones se resumen a continuación en la tabla No. 6.25:

TABLA No.6.25 ANÁLISIS PROBABILÍSTICOS DE ESTABILIDAD PARA LA ZONA DE REPTACION

SECCION ANALISIS	SECTOR	F.S. PONDERADO	PROBABILIDAD FALLA
Bloque Deslizante	Total	1.54	0.074
A-A	Parte Alta	1.23	0.20
	Parte Intermedia	1.78	0.022
	Parte Intermedia Baja	1.16	0.25
	Parte Baja	1.57	0.041
B-B	Parte Alta	1.35	0.11
	Parte Intermedia Alta	1.14	0.28
	Parte Baja	1.85	0.015
C-C	Parte Alta	1.41	0.085
	Parte Baja	2.43	0.0046

En términos generales puede concluirse que los factores de seguridad ponderados obtenidos mediante la metodología de probabilidad de falla (los cuales incluyen la probabilidad total de ocurrencia de los eventos detonantes durante el periodo de exposición de 25 años) muestran algunos sectores con valores de factor de seguridad inferiores a 1.5, lo cual es indicativo de la necesidad de estudiar medidas para mejorar su condición actual. Las obras requeridas en estos sectores serán analizadas en el capítulo 10 Alternativas de Mitigación.

6.2.6.4.2 Análisis Probabilístico para la Zona de Rellenos Antrópicos

En la zona noroccidental del área de estudio se localiza un sector en el cual se tienen unos rellenos antrópicos constituidos con materiales blandos o poco compactados. Esta condición ocasiona que las obras construidas sobre este tipo de terrenos presenten problemas de asentamientos diferenciales.

Este tipo de proceso que se produce en el sector noroccidental, en el costado oriental de la carrera 18I, está correlacionado con la presencia de un relleno antrópico espeso sobre un brazo abandonado del zanjón El Recuerdo. El fenómeno de asentamiento se restringe al sector oriental del relleno.

Para el análisis de esta zona se empleó el corte geológico-geotécnico D-D que se encuentran localizado en el plano No. 6.1 del Anexo No. 3.

Los resultados de los análisis probabilísticos para esta sección se resumen a continuación, tabla 6.26:

TABLA No.6.26 ANÁLISIS PROBABILÍSTICOS DE ESTABILIDAD PARA LA ZONA DE RELLENOS ANTROPICOS

SECCION ANÁLISIS	F.S. PONDERADO	PROBABILIDAD FALLA
Bloque Deslizante – sección total	1.48	0.19
Falla Circular – de pie de talud.	0.96	0.58

De acuerdo con lo anterior, la condición más desfavorable para la sección D-D corresponde a una falla circular de pie de talud. Las obras requeridas para estabilizar esta zona serán analizadas en el capítulo 10 Alternativas de Mitigación.

6.2.6.4.3 Análisis Probabilístico para las Zonas de los Coluviones

Los resultados de los análisis probabilísticos para las zonas de coluviones se resumen a continuación, tabla 6.27:

TABLA No.6.27 ANÁLISIS PROBABILÍSTICOS DE ESTABILIDAD PARA LA ZONA COLUVIONES

SECCION ANALISIS	SECTOR	F.S. PONDERADO	PROBABILIDAD FALLA
F-F	Total	1.08	0.380
G-G	Total	1.00	0.497
H-H	Total	1.15	0.260

En términos generales puede concluirse que los factores de seguridad ponderados obtenidos mediante la metodología de probabilidad de falla (los cuales incluyen la probabilidad total de ocurrencia de los eventos detonantes durante el periodo de exposición de 25 años) muestran algunos sectores con valores de factor de seguridad inferiores a 1.5, lo cual es indicativo de la necesidad de estudiar medidas para mejorar su condición actual. Las obras requeridas en estos sectores serán analizadas en el capítulo 10 Alternativas de Mitigación.

6.2.6.4.4 Análisis Probabilístico para el Macizo Rocoso del Sector Sur

El diseño y análisis de taludes en roca es de alguna forma diferente al de los taludes en suelo debido a la presencia de discontinuidades en el macizo rocoso. La orientación espacial de estas discontinuidades y la resistencia al corte a lo largo de ellas gobiernan la estabilidad de los taludes en roca. Por lo que el método de análisis empleado debe tener en cuenta la intersección tridimensional de los sistemas de diaclasas entre si y de estas con la superficie del talud en roca.

Para el caso especifico del barrio Tesorito, se analizó el macizo rocoso localizado en el sector sur que, en adelante se llamara talud sur, el cual está compuesto por una arenisca cuarzosa de grano medio de color blanco amarillento de dureza media, dispuesta en bancos de 1.5 a 3.0 m de espesor, poco diaclasados. La dirección de la estratificación medida en los bancos de arenisca varía de N35 – 50E / 25 SE.

Del levantamiento de diaclasas realizado se determinaron cuatro sistemas de diaclasas, al parecer

formadas por la relajación del macizo rocoso como consecuencia de la excavación realizada para la explotación de materiales de construcción, los cuales se presentan a continuación de acuerdo con los diagramas de concentración de polos realizados:

- Sistema 1, D1⇒ N 84° W / 81° SW;
- Sistema 2, D2⇒ N 20° E / 55° NW;
- Sistema 3, D3⇒ N 15° W / 55° SW;
- Sistema 4, D4⇒ N 40° W / 32° NE.

De las características de las discontinuidades se tiene que estas son poco continuas y su espaciamiento se encuentra en el rango de 0.7 a 3 m , generalmente no tienen relleno y se encuentran casi cerradas, la roca intacta es dura y bien cementada por lo que se espera que las discontinuidades sean rugosas y onduladas.

De las anteriores consideraciones el Consultor asumió para sus análisis de estabilidad que la resistencia de las diaclasas esta dada por un ángulo de fricción interna con un valor máximo de 38° y uno mínimo de 32°.

Para la determinación de la probabilidad de falla total se empleó el mismo tratamiento de los taludes en suelo para cada una de las probables cuñas y el caso crítico se adoptó para el talud en general. Debido a los cambios de dirección, el talud rocoso se subdividió de la siguiente forma:

- Talud 1⇒ N 63° E / 68° NW;
- Talud 2⇒ N 50° W / 75° NE;
- Talud 3⇒ N 80° E / 61° NW;
- Talud 4⇒ N S / 58° E;
- Talud 5⇒ N 70° W / 45° NE.

Por su similitud y facilidad en el análisis, se consideraron tres grupos uno conformado por el talud 1 y el 3, que se llamará sector uno; otro por el talud 5 y el 2, que se llamará sector cinco; y el último por el talud 4 o sector cuatro; para cada uno de ellos se presenta el correspondiente Estereograma que permite determinar las superficies potenciales de deslizamiento (Ver figuras en Anexo No. 4 Mem. No. 6.3 Memorias de calculo de probabilidades de falla y estereogramas).

Los resultados de los análisis probabilísticos para el macizo rocoso se resumen a continuación, tabla No. 6.28:

TABLA No.6.28 ANÁLISIS PROBABILÍSTICOS DE ESTABILIDAD PARA LA ZONA DEL MACIZO ROCOSO

SECTOR DEL TALUD	F.S. PONDERADO	PROBABILIDAD FALLA	CUÑA SUSCEPTIBLE DE DESLIZAMIENTO	DIACLASA 1	DIACLASA 2
Uno	1.42	0.0041	D2 +D4	N20E/55NW	N40W/32NE
Cuatro	1.35	0.0092	D4+ES7	N40W/32NE	N50E/25E
Cinco	1.44	0.0033	D2+D4	N20E/55NW	N40W/32E

De acuerdo con el análisis cinemático (ver anexo No. 4 (Mem. No. 6.3)) las cuñas susceptibles de deslizamiento son las cuñas formadas por la intersección de los planos de diaclasamiento D2 y D4 (N20E/55NW, N40W/32NE) para el conjunto de taludes uno (1) y cinco (5) (ver tabla No. 6.24, anterior), y la cuña formada por la intersección del plano de diaclasas D4(N40W/32NE) con el plano de estratificación (N50E/25SE).

El resultado de los análisis de estabilidad indican que todas las cuñas presentan baja probabilidad de falla (< de 0.009) para factores de seguridad de 1.35 a 1.44 (ver Anexo No. 4 Mem. No. 6.3). Este resultado se explica debido a la baja inclinación de las cuñas (< de 30°).

Las observaciones de campo indican que las cuñas de roca formadas en los taludes, son cuñas pequeñas del orden de 0.70 m de altura promedio.

Las Memorias de Cálculo correspondientes a los análisis de estabilidad y al cálculo de la probabilidad de falla para esta zona se presentan en el Anexo No. 4 (Mem. No. 6.3).

6.2.6.4.5 Análisis para Materiales Sobre los Escarpes de Roca.

Sobre el macizo rocoso localizado en el sector sur tratado en el numeral anterior se encuentra un espesor de 2.5 m de material de coluvión, desde el cual se ha observado desprendimientos de bloques.

La probabilidad de falla de este material se calculó a través de una correlación entre Susceptibilidad a FRM y Probabilidad de Falla. La metodología de cálculo se expone en el capítulo 7 - Amenaza.

De acuerdo con esos análisis la condición actual del factor de seguridad evaluado por susceptibilidad para este sector es de FS= 0.90, lo cual es indicativo de la necesidad de estudiar medidas para mejorar su condición actual. Las obras requeridas en estos sectores serán analizadas en el capítulo 10 Alternativas de Mitigación.

6.2.6.4.6 Análisis para taludes de Explotaciones Mineras Abandonadas (Sección E-E).

En los taludes mencionados, taludes de explotaciones mineras abandonadas (compuestos por roca totalmente fracturada), la probabilidad de falla de este material se calculó a través de una correlación entre Susceptibilidad a FRM y Probabilidad de Falla. La metodología de cálculo se expone en el capítulo 7 - Amenaza.

De acuerdo con esos análisis la condición actual del factor de seguridad evaluado por susceptibilidad para este sector es de FS= 0.98, lo cual es indicativo de la necesidad de estudiar medidas para mejorar su condición actual. Las obras requeridas en estos sectores serán analizadas en el capítulo 10 Alternativas de Mitigación.

7 EVALUACION Y ANALISIS DE LA AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA

7.1 Método de Estudio y Metodologías Empleadas

Para determinar el grado de amenaza por FRM en la zona del barrio Tesorito, se siguieron dos metodologías. En la primera se realiza la identificación de susceptibilidad del terreno a los fenómenos de erosión, como desencadenadores de los fenómenos de remoción en masa (caída de bloques principalmente) y en la segunda metodología se analiza la probabilidad de falla de los taludes expuestos a partir de los análisis de estabilidad, considerando como eventos detonantes la saturación del terreno y la ocurrencia del sismo de diseño contemplado en la Norma Sismo Resistente NSR-98.

Para determinar el grado de amenaza a FRM en zonas en donde el fenómeno detonante principal es la erosión, como es el caso de la parte superior de los taludes de explotaciones mineras abandonadas, localizadas en el sector central y en el sector oriental, se utiliza una metodología basada en la metodología de Cantillo (1998), en IGL, 1999. En esta metodología se propone una correlación espacial y temporal de la amenaza, teniendo en cuenta varios factores intrínsecos y detonantes a los cuales se les asigna un valor de calificación. En total se consideran siete (7) factores a los cuales se les asigna un peso, dicho peso se determina a partir de la comparación con resultados obtenidos de los análisis de estabilidad. Los factores utilizados y el peso asignado se presentan a continuación, tabla 7.1:

TABLA No.7.1 CALIFICACION DE FACTORES INTRISECOS Y DETONANTES

FACTOR	PESO
1. Procesos erosivos existentes	30 %
2. Susceptibilidad Sísmica	15 %
3. Susceptibilidad ante Lluvias (Remoción en masa)	15 %
4. Susceptibilidad ante Erosión Hídrica	10 %
5. Relieve	10 %
6. Tipo de Materiales	10 %
7. Susceptibilidad por Factores Antrópicos	10 %

Tomado de IGL 1999.

Cada uno de los factores mencionados se califica de 10 a 50 dependiendo de su influencia en la generación de FRM, desde la menor influencia 10 hasta la mayor 50. Al final cada valor es corregido por su peso y se obtiene una calificación. Dicha calificación se correlaciona con valores de probabilidad de falla obtenidos a partir de los análisis de estabilidad realizados en la zona, con el fin de obtener la relación que existe entre la calificación de susceptibilidad y la probabilidad de falla, y finalmente con la amenaza. Cada uno de los factores establecidos se califica de la siguiente manera:

7.1.1 Procesos Erosivos Existentes.

Los procesos existentes se analizan a partir del plano de inventario de procesos. Se tiene en cuenta si el material o la zona analizada presenta indicios de fenómenos erosivos antiguos, clasificados de acuerdo a su velocidad de movimiento así, tabla 7.2:

TABLA No.7.2 CALIFICACIÓN DE PROCESOS EROSIVOS

ZONA	VALORACIÓN
1. Potencialmente Inestable	10
2. En Reptación (< de 0.06 m/ año)	20
3. Flujo de Tierras muy Lento (0.06 – 1.5 m/ año)	30
4. Flujo de Tierras Lento (1.5 m/año – 1.5 m/mes)	40
5. En deslizamiento (Incluye caída de Rocas)	50

Tomado de IGL 1999.

7.1.2 Susceptibilidad Ante Sismos

Esta parte de la evaluación de la amenaza se refiere a la activación o reactivación de deslizamientos y de caídas de roca bajo cargas sísmicas y a la eventual generación de casos nuevos. Se establece que los sectores que ya muestran inestabilidad por FRM serían mas susceptibles, y en menor grado los diferentes materiales hasta llegar a roca.

La valoración de la susceptibilidad sísmica se basa en la clasificación de Medvedev, 1965 (en Ingemétrica, 1999), tabla 7.3:

TABLA No.7.3 VALORACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD SISMICA

SUSCEPTIBILIDAD ANTE SISMOS DE:	CALIFICACIÓN
1. Rocas Duras	10
2. Rocas Alteradas	20
3. Depósitos y Suelos Residuales	30
4. Rellenos Antrópicos	40
5. Depósitos Saturados	50

Tomado de Ingemétrica, 1999.

7.1.3 Susceptibilidad ante Lluvias desde el punto de vista de Remoción en Masa.

El agua infiltrada juega un papel muy importante como disparadora de FRM al crear o aumentar presiones de poros, con la consecuente disminución de la resistencia al corte efectiva de los materiales.

El análisis de la influencia de las condiciones hidrogeológicas para la susceptibilidad del terreno a los FRM, se realiza desde el punto de vista de la permeabilidad según los siguientes criterios, tabla No. 7.4:

TABLA No. 7.4 CALIFICACIÓN DE LA PERMEABILIDAD

PERMEABILIDAD	CALIFICACIÓN
1. Alta (> 20 m/día)	10
2. Media (5-20 m/día)	20
3. Baja (0.5-5 m/día)	30
4. Muy Baja (0.1-0.5 m/día)	40
5. Impermeable (< 0.5 m/día)	50

Tomado de Ingemétrica, 1999.

Para los materiales analizados, la permeabilidad se asignó desde el punto de vista cualitativo, ya que no se dispone de datos de permeabilidad registrados en campo:

7.1.4 *Susceptibilidad ante la Erosión Hídrica.*

Las aguas Lluvias saturan y ablandan los suelos y las rocas arcillosas, erosionan los materiales de baja densidad como los suelos arenosos y los coluviones de matriz granular, así como superficies de arcilla desecada y agrietada previamente a la ocurrencia de las lluvias.

La susceptibilidad de los materiales ante la erosión hídrica se tomó de Lomtadze, 1984 (En Ingemétrica, 1999), tabla 7.5:

TABLA No. 7.5 CALIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSION HIDRICA

SUSCEPTIBILIDAD ANTE EROSIÓN HÍDRICA DE:	CALIFICACIÓN
1. Rocas Duras	10
2. Rocas Alteradas	20
3. Depósitos Cohesivos	30
4. Depósitos Granulares no Cohesivos	40
5. Rellenos Antrópicos	50

Tomado de Ingemétrica, 1999.

7.1.5 *Relieve*

La influencia del relieve en la generación de FRM se analizó desde el punto de vista de las pendientes así, tabla 7.6:

TABLA No. 7.6 INFLUENCIA DEL RELIEVE

RANGO DE PENDIENTES	CALIFICACIÓN
1. 0 - 2 Grados	10
2. 2 – 4 Grados	20
3. 4 – 8 Grados	30
4. 8 - 20Grados	40
5. > 20 Grados	50

Tomado de Ingemétrica, 1999.

7.1.6 *Tipo de Materiales*

La influencia de la litología en la susceptibilidad ante los FRM se valoró de la siguiente manera,

tabla 7.7:

TABLA No. 7.7 INFLUENCIA DEL TIPO DE MATERIAL

TIPÓ DE MATERIAL	CALIFICACIÓN
1. Rocas Duras. Arenisca	10
2. Rocas Alteradas. Arcillolita	20
3. Depósitos y Suelos Residuales Qc , Qsr	30
4. Rellenos Antrópicos. Rae	40
5. Rellenos Antrópicos de Basuras. Rab	50

Modificado de IGL, 1999.

7.1.7 *Susceptibilidad por Factores Antrópicos.*

La actividad Antrópica, reflejada en el área de estudio en construcción de viviendas, excavaciones para explotación de materiales, construcción de rellenos, deforestación, cambio y obstrucción de drenajes naturales, etc., puede introducir factores inestabilizantes en el terreno.
La influencia antrópica fue valorada de la siguiente manera, tabla 7.8:

TABLA No. 7.8 INFLUENCIA DE LA INTERVENCIÓN ANTROPICA

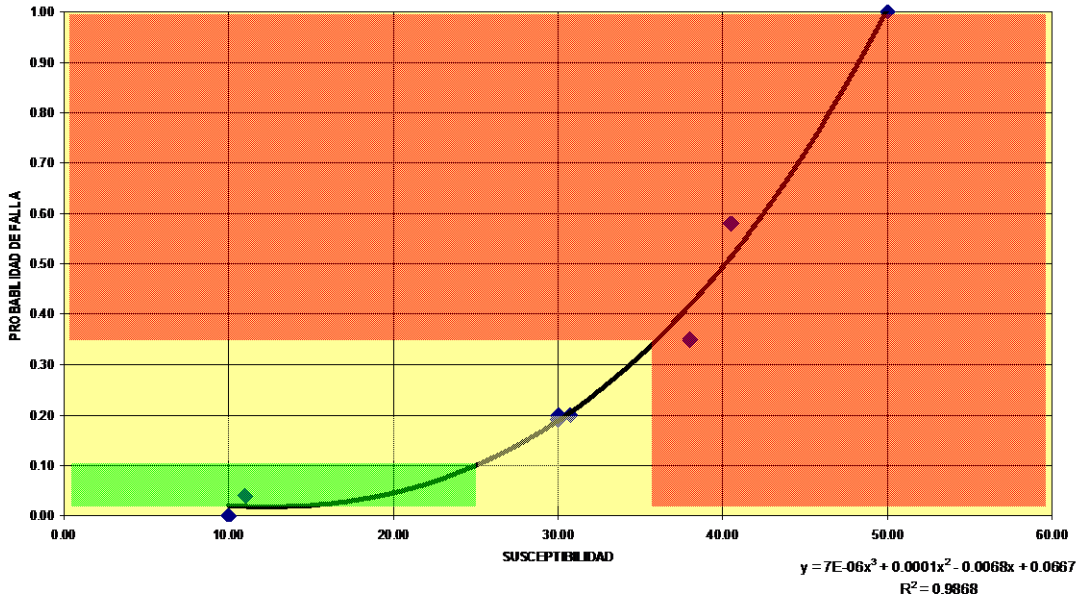
INTERVENCIÓN ANTRÓPICA	CALIFICACIÓN
1.Construcción de Viviendas sin Corte y sin Relleno	10
2. Deforestación	20
3. Construcción de Rellenos para Vías	30
4. Construcción de Rellenos para Viviendas	40
5. Cortes para Canteras	50

7.1.8 *Evaluación*

Con la metodología anterior se evaluaron adicionalmente algunos taludes en donde se asignó una probabilidad de falla a partir de modelos matemáticos, con lo que se realizó una correlación entre Susceptibilidad a FRM y Probabilidad de Falla como se muestra en la siguiente gráfica 7.1:

FIGURA No.7.1

RELACION PROBABILIDAD DE FALLA - SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSION



En los taludes mencionados, taludes de explotaciones mineras abandonadas, se utilizó la metodología de susceptibilidad a FRM, asignando la probabilidad de falla obtenida de la correlación anterior.

En el Anexo No. 4 (Mem. No. 7.1) se presentan las memorias de cálculo de los resultados de probabilidad de falla a partir del método de susceptibilidad a FRM.

En las zonas donde se determinó la posibilidad de deslizamientos masivos que pudieran analizarse a partir de modelos matemáticos se realizaron análisis de estabilidad tal como se presenta en el numeral 6.2 del estudio geotécnico, y en los sectores de taludes conformados por roca se realizaron análisis de estabilidad de cuñas con ayuda de programas de computador especializados los cuales se incluyen también en el numeral 6.2 del Estudio Geotécnico.

7.2 Criterios Aplicados

La determinación de la Amenaza por FRM tomada como la probabilidad de ocurrencia del fenómeno (probabilidad de falla), se realizó acudiendo a la correlación con el factor de seguridad con el fin de tratar de determinar de una forma semicuantitativa, la probabilidad de ocurrencia de algún FRM durante un tiempo de exposición determinado, teniendo en cuenta la materialización de dos fenómenos detonantes dados (saturación y sismo).

Como criterio de estabilidad de taludes se tomó el Factor de Seguridad, clasificando las zonas en tres rangos de estabilidad así:

FS < 1.1 Inestable

FS = 1.1 a 1.5 Estado límite de Equilibrio

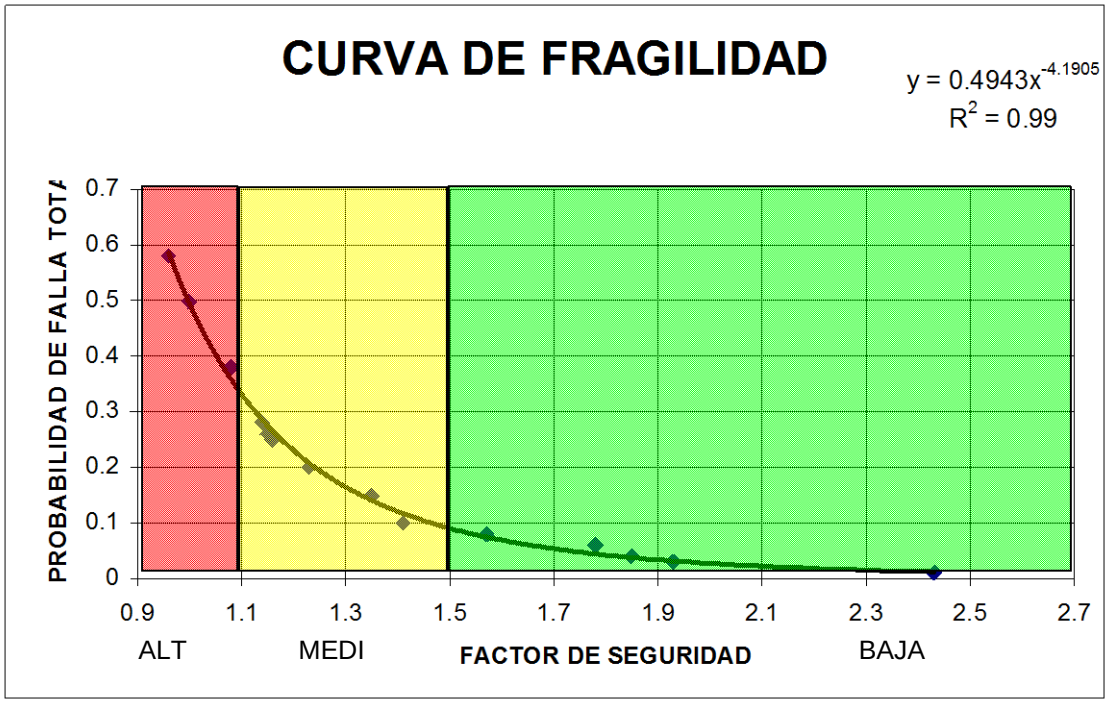
FS > 1.5 Estable

Los rangos escogidos se manejan normalmente para el diseño de taludes y son aceptados de manera general con posibles variaciones pequeñas.

La probabilidad de falla, que es el resultado de los análisis de estabilidad considerando simultáneamente la probabilidad de ocurrencia de los factores detonantes, se correlacionó directamente con los resultados del factor de seguridad, tal como se muestra en la gráfica 7.2 siguiente:

FIGURA No.7.2

FACTOR DE SEGURIDAD VS. PROBABILIDAD DE FALLA.



De la correlación entre los factores de seguridad y la probabilidad de falla se determinaron los rangos, que permiten la clasificación de la Amenaza en tres categorías alta, media y baja, como sigue, tabla 7.9:

TABLA No. 7.9 CALIFICACION DE LA AMENAZA

AMENAZA	PROBABILIDAD DE FALLA
ALTA	> 0.34
MEDIA	0.10 - 0.34
BAJA	< 0.10

Para la determinación del grado de Amenaza en las zonas afectadas por caídas de bloques se realizó una correlación entre la susceptibilidad de los materiales a la erosión, teniendo en cuenta aspectos litológicos, topográficos, morfológicos y de cobertura vegetal, con la ocurrencia de fenómenos detonantes, en este caso lluvias. La relación mencionada se describe en el numeral 7.4.

En cuanto a los taludes rocosos, se les realizó un análisis cinemático de taludes y se determinaron los factores de seguridad y probabilidades de falla de manera similar a los análisis de estabilidad de taludes.

Los análisis de estabilidad por caída de bloques indican que los taludes presentan cuñas de roca con probabilidad de falla baja.

El tamaño de cuña es menor de 1.0 m según lo observado en el registro geológico de discontinuidades.

7.3 Delimitación de las Zonas de Amenaza.

La delimitación de las zonas de amenaza es un proceso que comienza desde el reconocimiento geológico inicial, en donde se divide el área en unidades de diferente susceptibilidad a los FRM. Posteriormente, en la zonificación geomorfológica, se enfatiza aún mas, ya que se subdividen las zonas geológicas homogéneas con base en su comportamiento diferente frente a los procesos erosivos, y con base en características morfológicas naturales o artificiales, que son el reflejo de las características de estabilidad actuales del terreno o las condicionantes para las características de estabilidad futura.

Una observación rápida de los planos geomorfológicos y de procesos, comparados con el plano de amenaza, muestra claramente la estrecha relación entre amenaza y geomorfología y deja en claro la importancia del reconocimiento geológico inicial para el desarrollo de la evaluación de la amenaza.

A continuación se presentan los criterios utilizados para la delimitación de las zonas de amenaza:

7.3.1 Zonas de Caída de Bloques

Las zonas sometidas a fenómenos de caída de rocas, corresponden a la Zona I, escarpes antrópicos, del Mapa Geomorfológico (plano 4.4, Anexo No. 3), y a las zonas sometida a fenómenos de caída de bloques y zonas sometidas a fenómenos de deslizamientos locales tipo

planar o rotacional de pequeña magnitud, del Mapa de Inventario de Procesos (Plano No. 4.5, Anexo No. 3).

Adicionalmente, con el fin de determinar el área de afectación del fenómeno de caída de bloques, se calculó el posible avance de un bloque de roca descendiendo por la ladera según la ecuación de Grechischev:

$Xh= [(\alpha + 45)/450] \times H$

Donde,

Xh = Distancia horizontal desde el píe del talud en metros

H = Altura del talud en metros

α = Inclinación del talud en grados

Las distancias calculadas se corrigieron por un factor de seguridad de 1.5 para tener en cuenta el efecto sísmico. Los resultados del cálculo de distancias se presenta en la tabla siguiente, en donde se presentan diferentes combinaciones de altura e inclinación del talud presentes en el área de estudio, tabla 7.10:

TABLA No. 7.10 CALCULO DE LA DISTANCIA DE CAIDA DE BLOQUES

ALTURA DEL TALUD (m)	INCLINACIÓN (°)	DISTANCIA (m)
5	68	1.88
6	75	2.40
7	64	2.54
8	58	2.75
9	45	2.70
10	68	3.77

7.3.2 *Zonas de Reptación*

Las zonas sometidas a fenómenos de reptación corresponden a las zonas IV, laderas erosionables, IIB, rellenos de cauces antiguos para viviendas y VII, rondas de cauces actuales del Mapa Geomorfológico (plano No. 4.4, Anexo No. 3), y zona sometida a fenómenos de reptación del Mapa de Inventario de Procesos (plano No. 4.5, Anexo No. 3).

La influencia de la zona de reptación se determina a partir del estudio geológico, por observación directa del fenómeno en campo. La velocidad del movimiento no pudo obtenerse a partir de un análisis multitemporal de fotografías aéreas ya que el fenómeno no se detalla en la fotografías. Para determinar la velocidad del movimiento directamente en campo se requeriría de un seguimiento e incluso de instrumentación del área lo cual esta fuera del alcance del estudio.

Para determinar el alcance del desplazamiento de la masa de suelo en los deslizamientos lentos, se utilizó la siguiente relación entre velocidad de movimiento y tiempo de exposición. Por definición

la velocidad del movimiento es menor de 0,06 m/año (IGL, 1999) lo que durante el tiempo de exposición considerado en este estudio (25 años), representaría 1.5 m.

Entre una zona de amenaza alta y otra de amenaza baja se trazó un corredor de transición de amenaza intermedia. El ancho de esta zona fue escogido haciéndolo coincidir aproximadamente con el ancho de la zona de influencia de la zona de caída de bloques.

7.3.3 Zonas de Deslizamiento Rápido.

Las zonas de deslizamiento rápido se definieron con base en las características geotécnicas del material y con base en el análisis geológico y corresponden a las zonas I, escarpes antrópicos, IIB, rellenos de cauces antiguos para viviendas y VII, rondas de cauces actuales, del Mapa Geomorfológico (Plano 4.4, Anexo No. 3) y zonas con problemas de asentamientos diferenciales, zonas sometidas a erosión en surco y zonas sometidas a fenómenos de deslizamientos locales tipo planar o rotacional de pequeña magnitud, del Mapa de Inventario de Procesos (Plano No. 4.5, Anexo No. 3).

La delimitación en el sentido del movimiento de la zona de influencia, en aquellos sitios donde se prevén mecanismos de falla por deslizamiento rápido o falla súbita, se realizó a partir del análisis morfológico y geotécnico de las zonas, aplicando el criterio del evaluador con base en su experiencia en deslizamientos similares.

La delimitación del área de amenaza por el lado posterior del talud se escogió respetando un corredor necesario para la construcción de una obra de control de escorrentía superficial, tal como una cuneta o zanja de coronación, o un sendero de protección.

7.4 Zonificación de Amenaza por FRM

En el Mapa de Zonificación de amenaza por FRM (plano No.7.1, Anexo No. 3), se presentan las zonas de amenaza clasificadas en las tres categorías mencionada anteriormente, y adicionalmente una delimitación en zonas de Z-1 a Z-5 , realizada con el fin de incluir, no solamente la probabilidad de ocurrencia del fenómeno, sino adicionalmente el tipo de fenómeno, agrupado en las categorías que se presentan a continuación, tabla 7.11:

TABLA No. 7.11 CLASIFICACION DEL TIPO DE MOVIMIENTO

TIPO DE MOVIMIENTO	FENÓMENO	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN
DESLIZAMIENTO LENTO	REPTACIÓN	Vmov < 0.06 m/año
DESLIZAMIENTO RÁPIDO	DESLIZAMIENTO	Vmov > 0.06 m/año
CAÍDA DE BLOQUES	DESLIZAMIENTO DE CUÑAS	BLOQUES DE ROCA

La descripción de las zonas y su localización espacial se realiza con base en la descripción geomorfológica y con base en el Mapa de Inventario de Procesos (plano No. 4.5, Anexo No. 3). A continuación se describen las zonas partiendo del sector de la carrera 18I en dirección de las

manecillas del reloj.

7.4.1 Zona Z-1.

Corresponde a rellenos antrópicos activos, que en el área de estudio se localizan en el sector central, al oriente de la carrera 18I y en el sector norte, al oriente de la carrera 18G (ver mapa de zonificación de amenaza, plano No. 7.1, Anexo No. 3). Estos taludes están conformados por material mixto: basura, material de descapote (suelo orgánico principalmente), escombros de excavación (suelo arcilloso) y escombros de construcción. Durante la realización de los rellenos, tal como se observó directamente en el sector, no se realiza ninguna obra de preparación del terreno como remoción de la capa orgánica superficial, construcción de drenes, canalización de drenajes naturales existentes, etc. El material se deposita sin ninguna técnica y sin compactación. El ángulo de inclinación promedio del talud es de 40°. El terreno carece de cualquier protección por cobertura vegetal y el talud del sector oriental de la carrera 18I, está afectado por la escorrentía de un sistema precario de alcantarillado construido al parecer por los habitantes de la zona, dicha escorrentía ha generado una cárcava de erosión desde la parte superior del talud.

Las características anteriores indican la alta susceptibilidad de este tipo de material a los procesos erosivos producidos por la acción de las aguas de escorrentía, ya sea de origen natural o antrópico.

El tipo de FRM asociado con estos taludes es deslizamiento rápido. La delimitación del área de influencia de estas zonas se realizó con base en el análisis geológico y geomorfológico. Para el caso concreto de la zona aledaña a la carrera 18I, se determinó el sector de mayor espesor de relleno con base en lo observado durante la fotointerpretación. El tipo de material utilizado para la conformación del relleno consiste en suelo orgánico, escombros de excavación y gran cantidad de desechos sólidos. Según lo observado en las perforaciones, durante el periodo de exploración el grado de compactación es muy bajo y tiene un alto contenido de humedad, lo que permite anticipar que de presentarse un deslizamiento del talud, este podría comprometer una gran extensión del relleno por el desconfinamiento del material.

El análisis sobre las características geotécnicas del material (Indice de Plasticidad, contenido de humedad) y sobre los factores detonantes que podrían disparar el fenómeno (lluvia y sismo), indican que el tipo de falla asociada a este sector es deslizamiento rápido, aunque no se presenta ninguna evidencia directa de este tipo de fenómeno en el área. Por análisis de fotografías aéreas es imposible determinar la velocidad de movimiento de un fenómeno de este tipo.

7.4.2 Zona Z-2.

Corresponde a laderas de pendiente moderada a alta en ocasiones rematadas por taludes subverticales de baja altura (< de 2.5 m) en la parte superior, conformados por material de coluvión, bloques de arenisca en matriz arenosa a arcillosa. Se presentan en el sector

noroccidental y en el sector central del área de estudio. Toda la zona esta afectada por erosión en cárcava o en surco y por pequeños deslizamientos locales de baja magnitud generados por la pérdida de soporte de los bloques de arenisca cuando avanza el proceso de erosión de la matriz.

Los taludes se encuentran recubiertos por una capa de suelo orgánico hasta de 0.5 m de espesor y por una capa homogénea de pastos.

El tipo de FRM asociado con esta zona es deslizamiento rápido. La delimitación de estas áreas guarda concordancia con los resultados de los análisis de estabilidad, sin embargo se aplica una pequeña corrección condicionada por factores de difícil evaluación y valoración, como la presencia de viviendas. Este factor se valora analíticamente, bajo la premisa que si ocurre un deslizamiento y la corona de este se acerca a la vivienda, esta se verá inevitablemente afectada por el deslizamiento, porque aunque no sea destruida inmediatamente, por seguridad deberá ser evacuada y muy posiblemente demolida.

7.4.3 *Zona Z-3.*

Esta zona agrupa todos los taludes de explotaciones mineras antiguas abandonadas, conformados por taludes de alta inclinación (mayor de 45°), cortados en rocas de la Formación Guaduas, areniscas fracturadas o arcillolitas muy fracturadas, recubiertas por una capa de material de coluvión hasta de 2.5 m de espesor. Esta zona se presenta en todo el sector central del área de estudio y en el pequeño cerro aislado en el sector oriental.

Estos taludes están sometidos a diferentes fenómenos de remoción en masa, desde erosión intensa en los depósitos de coluvión, hasta deslizamiento diédrico o planar de cuñas de roca en los taludes conformados por arenisca. Los taludes muy fracturados como los conformados por arcillolitas presentan deslizamientos locales debido al la gran susceptibilidad a la erosión de los mismos.

En estos taludes la causa principal de generación de inestabilidad es la intensa actividad antrópica, que ha producido cambios notables en el estado de equilibrio geomecánico natural del área, reflejado en la modificación de la cobertura vegetal natural, cambio abrupto en la pendiente natural debido a los cortes realizados para extraer el material de cantera, lo que ha modificado el estado de esfuerzos natural del macizo rocoso.

Lo anterior produce condiciones geotécnicas diferentes a las cuales el sistema macizo rocoso no se ha adaptado por lo que se encuentra en estado de “acomodamiento”. El inexistente manejo de aguas superficiales es un factor que facilita el desarrollo de procesos de erosión hídrica.

Los análisis de estabilidad realizados con base en las familias de diaclasamiento identificados durante la etapa de exploración geológica y que se muestran en el numeral 6.2 del Estudio Geotécnico, indican que las cuñas de roca potencialmente inestables en los taludes del sector central sur, presentan una probabilidad de falla intermedia a baja, sin embargo la amenaza de be

considerar además de la probabilidad de falla de cuñas de roca, desde el punto de vista cinemático, todos los factores de desequilibrio mencionados anteriormente, por lo que se recurre a la determinación de la amenaza a partir del método de susceptibilidad a FRM de Cantillo, 1998, IGL, 1999.

La susceptibilidad a la erosión de los taludes conformados por coluviones es muy alta, debido a la escasa cobertura vegetal, el alto grado de inclinación de los taludes de corte y la pérdida adicional de soporte que presentan, cuando se generan deslizamientos de roca en el sector inferior de los taludes conformados por arcillolita.

7.4.4 Zona Z-4.

Esta zona corresponde con los rellenos antrópicos y los suelos residuales de espesor variable y de carácter predominantemente arcilloso. Se restringen exclusivamente a la zona inestable del sector suroriental del área de estudio.

El FRM predominante en estos materiales es un deslizamiento lento de una capa de suelo superficial relativamente delgada, que puede deslizar por el contacto entre el material de relleno y el material original o por el contacto entre el suelo residual y el material parental menos meteorizado.

El grado de Amenaza de este tipo de materiales fue determinado por análisis de estabilidad que contemplaron todas las posibles variaciones en los parámetros geotécnicos del material y la probabilidad de ocurrencia de los fenómenos detonantes típicos, como son la saturación del terreno y la ocurrencia de un evento sísmico de cierta magnitud determinada. El tipo de FRM asociado con esta zona es la reptación.

Vale la pena anotar que el sector occidental de esta zona presenta espesores de relleno inferiores a un metro como lo indican los sondeos geotécnicos S-1, S-4 y el apique de comprobación AP-5. Adicionalmente los análisis de estabilidad de este sector arrojaron resultados de probabilidad de falla de 0.34, lo que corresponde a u una zona de amenaza intermedia de acuerdo con los rangos mostrados en el numeral 7.2.

Esta zona sin embargo es bastante susceptible a inundación por efecto del vertimiento de aguas provenientes de la calle 80B, y que encuentra en este sitio un cauce natural antiguo obstruido que drenaba hacia el zanjón del Recuerdo. Por tal razón y teniendo en cuenta que el fenómeno de inundación ha sido el principal agente detonante del fenómeno de inestabilidad registrado anteriormente en la zona, se decide asignarle a este sector una calificación de amenaza alta.

La delimitación de esta zona se realizó considerando, como se mencionó anteriormente, un corredor de protección, que permita la construcción de una obra de protección general o un sendero peatonal.

7.4.5 *Zona Z – 5*

Esta zona corresponde con los rellenos antrópicos de basura constituidos por material mixto desde escombros de construcción hasta todo tipo de desecho domésticos. Se localizan, uno al norte del área ocupado por una vivienda, y otro en el sector central norte, de mayor extensión y que afecta la parte posterior de varias viviendas.

Los materiales carecen de compactación, selección o clasificación, y adicionalmente el terreno no tuvo ningún tipo de preparación anterior a la colocación del relleno.

Los antecedentes indican que este tipo de materiales pueden presentar fallas súbitas aún en mejores condiciones de manejo. Las dos zonas presentan talud vertical por una de sus caras, por donde se considera que podría presentarse la falla. Lo anterior indica que la zona se cataloga como de amenaza alta.

La delimitación de esta zona se realizó con base únicamente en la extensión aproximada del depósito y la posible zona de influencia del material deslizado de presentarse el fenómeno de remoción en masa.

8 EVALUACION Y ANALISIS DE VULNERABILIDAD POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA

8.1 Método de Estudio y Metodologías de Análisis.

La vulnerabilidad ha sido definida como el grado de daño, perjuicio o perturbación que potencialmente pueda sufrir un elemento que es sometido a los efectos negativos de un fenómeno natural o artificial, con una determinada magnitud.

- Los objetivos específicos de la evaluación de la vulnerabilidad, son los siguientes:
- Identificar y localizar los elementos bajo amenaza. Para esto, se realizó el reconocimiento directo de cada una de las viviendas del área de estudio y se registró la información en fichas técnicas.
- Definición de la susceptibilidad de los elementos. Para esto se consideraron en la evaluación dos grandes grupos:

- Elementos Estructurales y
- Personas

Para los elementos estructurales, es decir las viviendas, los índices de daño dependen del tipo de movimiento, la intensidad de las solicitaciones y las características de los elementos expuestos. Para las personas se utilizaron los mismos parámetros teniendo en cuenta además el numero máximo de habitantes en cada vivienda para dos escenarios: día y noche.

Para la zona de estudio el Consultor ha determinado que los fenómenos de remoción en masa que se pueden presentar son deslizamientos de tipo rotacional de los depósitos de suelos superiores, de volúmenes limitados y caída de bloques de roca. Es claro que el tipo de solicitación ejercida sobre las viviendas depende de la localización del elemento expuesto en referencia al sitio donde ocurre el fenómeno.

Para el caso de deslizamientos, los daños que van a sufrir las viviendas en el cuerpo del movimiento se pueden relacionar con los desplazamientos laterales, los cuales a su vez dependen de la rapidez del movimiento. En la zona de abajo del cuerpo del deslizamiento, los daños de las viviendas se pueden relacionar con las presiones laterales, las cuales se pueden asociar con la altura que alcanza la acumulación de material contra la vivienda y para el caso de caída de bloques el daño se relaciona con la magnitud del impacto que se relaciona directamente con el tamaño de los bloques y con la distancia de la vivienda al sitio donde se generan.

Para hallara la vulnerabilidad de un elemento es necesario determinar, inicialmente, la amenaza a la que se encuentra expuesto. Para la metodología seleccionada, la amenaza se presenta según el tipo de solicitación, en tres categorías principales, deslizamientos, presiones laterales e impactos. Los criterios de clasificación de los fenómenos anteriores se presentan en el numeral 8.3.

Lo siguiente es determinar el grado de afectación que sufre el elemento frente a la solicitación

determinada, para ello se recurre a la metodología planteada por Leone (1960), en Soler, el al, 1998. En dicha metodología se plantea una matriz de evaluación que relaciona directamente el tipo de solicitación con el tipo de edificación, clasificado en cuatro grupos B1 a B4, los cuales se describen en el numeral 8.3. La matriz de evaluación de Leone fue modificada por el consultor, al considerar que en algunas clasificaciones el daño de los elementos podría ser diferente a lo esperado en el área de estudio, basado a las observaciones realizadas. Adicionalmente y por consenso del grupo evaluador se asignó un valor de vulnerabilidad a los lotes vacíos, tal como se indica en la matriz, tabla 8.1:

Tabla 8.1. Matriz de calificación de la vulnerabilidad a partir del tipo de solicitación y el tipo de vivienda. Modificada de Leone, 1960 (en Soler et al, 1998).

EVENTO	SOLICITACIÓN	TIPO DE VIVIENDA				
		B 1	B 2	B 3	B 4	LV
DESLIZAMIENTO	Deslizamiento Lento Deslizamiento Rápido	ALTA ALTA	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	BAJA MEDIA	MEDIA ALTA
PRESIONES LATERALES	BAJA MEDIA ALTA	ALTA ALTA ALTA	MEDIA ALTA ALTA	MEDIA MEDIA ALTA	BAJA MEDIA MEDIA	MEDIA ALTA ALTA
CAÍDA DE BLOQUES	IMPACTOS	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO	MEDIA

De acuerdo con el análisis de las características geológicas, geotécnicas y geomorfológicas de los materiales y de la identificación de los procesos erosivos del Mapa de Inventario de Procesos (Plano No.4.5, Anexo No. 3), se realizó una primera aproximación para determinar el tipo de solicitación en cada una de las zonas de amenaza. Para calificar la velocidad del movimiento (lento o rápido), se estableció con base en los resultados de laboratorio, que los suelos de la zona Z-4 se caracterizan por tener plasticidades bajas que los hacen poco susceptibles a cambios de resistencia ante solicitaciones dinámicas; al no existir una degradación del material por esfuerzo cortante cíclico, al tenerse taludes de poca altura, al no tenerse procesos erosivos superficiales importantes y al no presentarse problemas de erosión interna por posible saturación del material debido a su carácter cohesivo, se consideró que los movimientos de esta zona son lentos; todo lo anterior sustentado a que las evidencias visuales de movimiento existentes en la actualidad en esta zona, muestran muy pequeños desplazamientos de los taludes.

En las zonas restantes en las cuales se presentan rellenos granulares, rellenos de basuras y depósitos coluviales con matriz arenosa, se estableció que ante una posible saturación del material y ante fenómenos dinámicos, la movilidad cíclica es tal que el aumento de la presión intersticial puede llevar a esfuerzos verticales efectivos prácticamente nulos que llevarían a fenómenos de falla súbita de carácter rápido.

Algunos autores plantean la posibilidad de medir la velocidad de deslizamientos a partir del análisis multitemporal de fotografías aéreas, esto es válido para deslizamientos lentos de gran extensión y

en áreas con registros fotográficos periódicos. En el caso del Barrio El Tesorito, debido a la poca extensión de los fenómenos activos y a la actividad muy reciente de los fenómenos lentos (sector sur oriental), no es posible realizar un análisis de este tipo. Debe tenerse en cuenta que la morfología del sector fue completamente modificada durante la construcción del barrio, lo que hace que las manifestaciones de los fenómenos erosivos activos sean relativamente recientes.

El sector del relleno antrópico nor occidental, es un sector activo, en donde constantemente están cambiando las condiciones topográficas, aumentándole volumen del relleno, reparando viviendas y enmascarando las evidencias de FRM durante el proceso de urbanización, por lo que se hace muy difícil encontrar evidencias directas de los fenómenos y deben buscarse estas en el análisis geomorfológico y el la fotointerpretación.

En los sectores aparentemente estables, Zonas 4 y 5, se asume que los materiales están en un equilibrio estático, pero que podrían fallar con la ocurrencia de los fenómenos detonantes considerados.

Lo anterior se basa en el análisis conjunto de las condiciones geológicas y geomorfológicas con las condiciones geotécnicas de los materiales.

El tipo de vivienda fue registrado durante la realización de las encuestas, en las cuales se incluye un numeral exclusivo para dicha clasificación, sin embargo se propone una modificación de la clasificación utilizando para ello los datos de la encuesta. La modificación se basa en el hecho de que una vivienda de cierto tipo que presente daños en los elementos estructurales, daños o antecedentes de daños por FRM anteriores, etc. presentará un grado de desempeño menor frente a las solicitaciones y consecuentemente una mayor vulnerabilidad. En la figura 8.1 se muestra un diagrama de flujo en donde se ilustra la forma en que se modifica la vulnerabilidad con base en algunos parámetros de daño. Se aclara que la modificación del tipo de vivienda a un tipo menor (ejemplo de B2 a B1), es solo con el fin de calificar su vulnerabilidad. Las viviendas de tipo B4 no son analizadas debido a que no se reportó ninguna durante el censo de vivienda.

Las zonas en donde no se registran viviendas y que corresponden a las “Zonas comunes del Barrio”, se consideran dentro del análisis por consenso realizado con la interventoría, al considerar que la ocurrencia de FRM en estos terrenos afecta directamente a los residentes del barrio de diferentes maneras, por degradación ambiental, desvalorización de sus predios e indirectamente por exposición, ya que podrían verse afectados directamente si están localizados en una zona de estas en donde ocurra un deslizamiento o un fenómeno de caída de bloques.

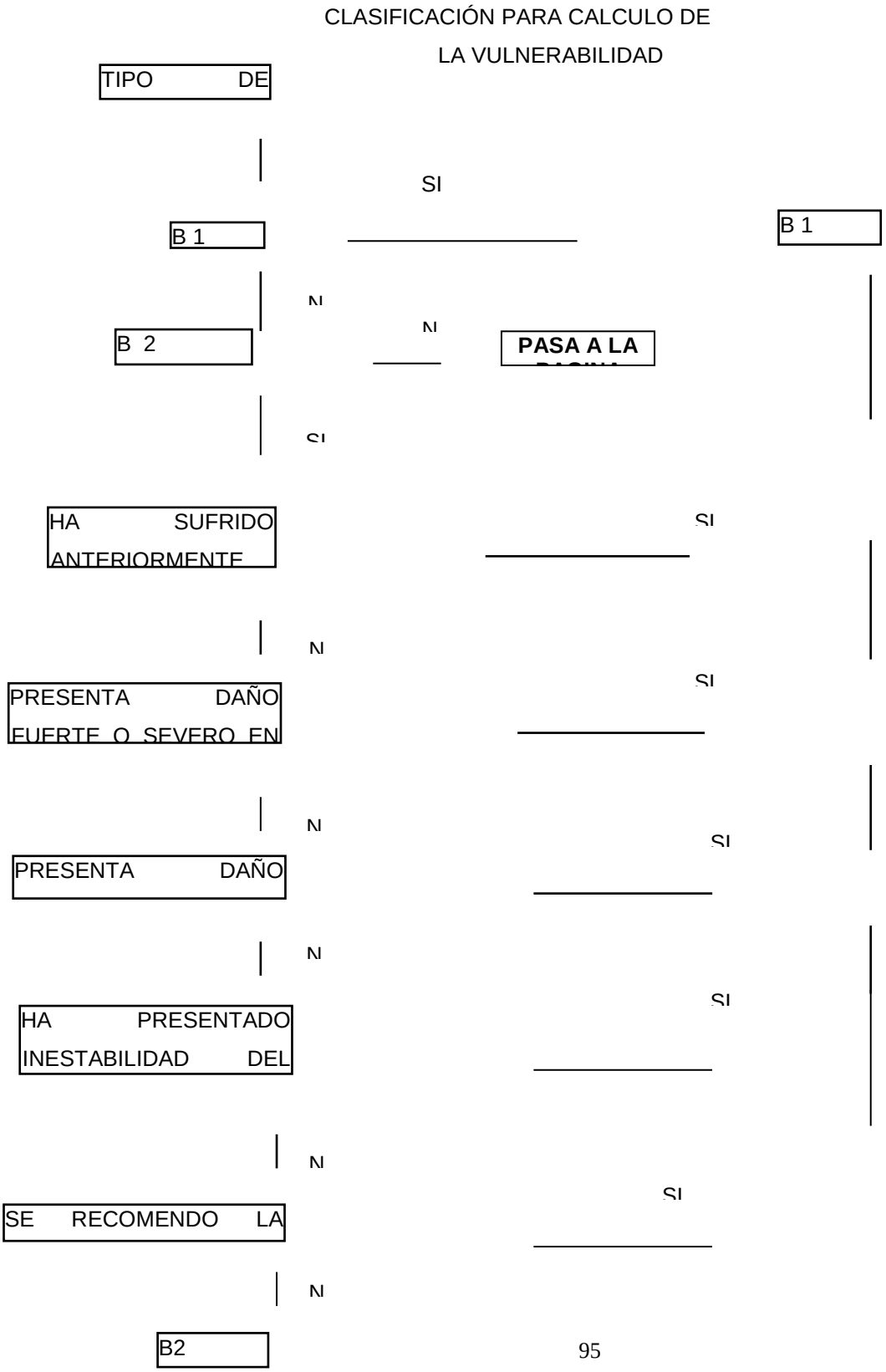
Estimar la vulnerabilidad de terrenos baldíos es una tarea difícil, ya que la extensión del elemento expuesto (el terreno), sobrepasa en mucho a la extensión del FRM analizado, por lo tanto el consultor estima que la vulnerabilidad del terreno es igual a 1, pero restringida a la zona de influencia del FRM analizado. La extensión, en área, del deslizamiento representa un porcentaje del total del terreno baldío y finalmente representa la vulnerabilidad del terreno, visto este como

una entidad única.

Para considerar la vulnerabilidad de las personas, se considera que la afectación de estas es un fenómeno secundario, producido por el colapso total o parcial de la edificación involucrada en el deslizamiento. El planteamiento anterior se basa en la consideración de que, a nivel urbano, las víctimas de deslizamientos, en su mayoría, corresponden a los habitantes (o visitantes) de las viviendas, y en muy pocas ocasiones a transeúntes localizados en el área justamente en el momento de ocurrencia del deslizamiento. Por lo tanto la vulnerabilidad de las personas se asimila completamente con la vulnerabilidad de las viviendas.

En los lotes vacíos se considera que no se afectan personas ante la materialización de la amenaza ya que la probabilidad de que ocurra un fenómeno de remoción en masa súbito, en el justo momento de que un visitante o transeúnte ocasional se encuentre en el sitio se considera demasiado bajo, a menos de que se tratará de un área de reunión social como un parque o una locación deportiva. En el área de estudio, en las zonas de amenaza alta, solamente el sector noroccidental está atravesado por un sendero o paso peatonal pero la posible afectación de transeúntes en esta zona, dadas las consideraciones anteriores no fue valorada.

FIGURA No.8.1 DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD



La vulnerabilidad de líneas vitales, vías, redes eléctricas, telefónicas, de acueducto y de alcantarillado, se consideró de manera similar a la de las áreas baldías, o sea, afectación total en el área de influencia del deslizamiento, por considerar además que este tipo de estructuras en el área de estudio, no presentan ningún tipo de protección frente a la ocurrencia de FRM.

8.2 Inventario de Viviendas

El Inventario de Viviendas es una actividad importante para el estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo. Su objeto principal es:

- Establecer una tipología de vivienda que permita evaluar la resistencia de las construcciones frente a un tipo de amenaza específico.
- Evaluar las condiciones sociales y económicas de la población amenazada con el fin de establecer su capacidad de respuesta.

La recopilación de la información de las viviendas situadas dentro del área de estudio se basó en el formulario de viviendas suministrado por el DPAE. Con dicho formulario se consigue recopilar la información necesaria para las evaluaciones de tipo social, económico y estructural, requeridas en el estudio. Los formularios diligenciados se presentan en el Anexo No. 4 (Mem. No. 8.1).

8.2.1 Metodología y Desarrollo en Campo

El equipo humano encabezado por el ingeniero evaluador, contó con un grupo de apoyo con experiencia en aspectos sociales, quienes se encargaron de divulgar la labor en curso ante los habitantes de la comunidad.

El mapa predial No. 8.1 (ver Anexo No.3) muestra la numeración de las viviendas, y es la base topográfica para la base de datos georeferenciada realizada con toda la información de las encuestas en un sistema de información geográfica.

8.2.2 Procesamiento de la Información

Del procesamiento de la información se obtuvieron gráficas estadísticas (ver Anexo No. 4 Mem. No. 8.2) por medio de las cuales se puede obtener las siguientes conclusiones de interés para la caracterización del riesgo:

- El 40% de los lotes están sin construir y el 45% están destinados a vivienda unifamiliar
- El 74% de la viviendas no presentan daños apreciables, mientras que el 11% presentan daños por deslizamiento del terreno, el 3% danos por inundación y el 2% danos por asentamientos.
- El 56% de las viviendas presentan una regular calidad de construcción, mientras que el 15 % presentan una mala calidad y solamente el 8% una buena calidad.
- El 61% de las construcciones son de 1 piso, el 8% son de 2 pisos y el 2% de más de 2 pisos.
- El 17% de las construcciones tienen de 1 a 3 años de edad, el 15% menos de 1 año, el 15% tienen de 3 a 6 años, el 15% mas de 3 años y el 10% de 6 a 10 años.

- El 59% de las viviendas no presentan inestabilidad en el suelo de fundación, el 13% presentan deslizamiento y el 4% presentan hundimientos leves y el 4% presentan fenómenos de reptación.
- El 22% de las viviendas tienen un valor estimado por el propietario menor a $10 millones, el 17% de $10 a $15 millones y el 9% de 15 a 30 millones.

8.2.3 Base de Datos Georeferenciadas.

La base de datos georeferenciada que se presenta con el mapa predial fue realizada con base en la información levantada en el formulario para la evaluación de daños en edificaciones en caso de deslizamiento (ver Anexo No.4 (11)).

Esta base de datos es de gran utilidad para el cálculo de la vulnerabilidad ya que tiene no solamente la clasificación del tipo de vivienda sino además otros parámetros que permiten en análisis estructural global de la vivienda.

Para el cálculo del riesgo la base georeferenciada permite su cuantificación al suministrar la información de costos y numero de habitantes de cada vivienda que al cruzarla con la afectación real (vulnerabilidad) y la probabilidad de ocurrencia del FRM entrega el valor de afectación en perdidas económicas o en numero de damnificados.

La base de datos total puede ser desplegada en cualquiera de los mapas temáticos de amenaza, vulnerabilidad o riesgo y permite al usuario obtener en cualquier momento toda la información física o social de una vivienda en cualquiera de las categorías de amenaza, riesgo o vulnerabilidad.

La base de datos utilizada en el presente trabajo fue diseñada en hoja de cálculo de calculo tipo excel y anexada luego a la base topográfica por medio del programa ArcView.

8.3 Criterios Aplicados

Para la determinación de la Vulnerabilidad se escogieron tres rangos, cada uno relacionado con el porcentaje de afectación sufrido por la vivienda ante el caso de materialización de la amenaza, la clasificación en los tres grupos se realiza de manera similar a la de los rangos de amenaza, tabla 8.2.

TABLA No. 8.2 CATEGORIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Vulnerabilidad	Grado de Afectación
Alta	0.20 – 1.00
Media	0.06 - 0.19
Baja	0.00 - 0.05

Para determinar el grado de afectación de las viviendas se realizó una clasificación de las mismas durante la etapa de recolección de información, esta clasificación se hizo para cuatro grupos de vivienda, a según el estado de construcción observado así, tabla 8.3:

TABLA No. 8.3 TIPOLOGIA DE LAS VIVIENDAS

TIPO DE VIVIENDA	DESCRIPCIÓN
B 1	Tugurios. Ranchos
B 2	Casas de Mampostería o Prefabricadas
B 3	Casas hasta de 2 niveles, de buena calidad de construcción y con estructura
B 4	Casas de mas de 2 niveles con buena calidad de construcción y con estructura
LV	Lotes vacíos sin construcciones

El grado de desempeño o de afectación de cada tipo de vivienda depende no solo de la calidad de construcción sino además de el tipo de solicitación o tipo de FRM al que se ve expuesta. Para el caso de deslizamientos el daño depende de la localización de la vivienda dentro del cuerpo del deslizamiento (zona de movimiento) o dentro de la zona de depositación del mismo (zona de presiones laterales).

En la primera zona, los daños se pueden relacionar directamente con la velocidad del movimiento, mientras en la segunda dependen del grado de presión al que se vea sometida la vivienda, relacionada comúnmente con la altura de la capa deslizada con relación a la altura de la vivienda, a continuación se presenta la clasificación del tipo de solicitación, relacionada con el criterio de intensidad, tabla 8.4:

TABLA No.8.4 TIPOS DE SOLICITACIONES – CRITERIOS DE INTENSIDAD

SOLICITACIÓN	CALIFICACIÓN	CRITERIO DE INTENSIDAD
Deslizamiento	Lento	Vmov < 1 m/año
	Rápido	Vmov > 1 m/año
Presiones Laterales	Baja Media Alta	Hacum < 1/3 Hvivienda Hacum = 1/3 - 2/3 de Hvivienda Hacum > 2/3 Hvivienda

Tomada de Soler et al, 1998.

La vulnerabilidad está relacionada directamente con el grado de afectación de la vivienda tal como se describe a continuación, tabla 8.5:

TABLA No.8.5 GRADOS DE AFECTACIÓN DE LAS VIVIENDAS

VULNERABILIDAD	GRADO DE AFECTACIÓN	DESCRIPCIÓN
ALTA	0.20- 1	Daños graves o destrucción total de la Estructura
MEDIA	0.06 - 0.19	Daños Importantes. Fisuración de elementos
BAJA	0.0 - 0.05	Daños ligeros, no estructurales. Estabilidad no afectada

8.4 Zonificación de Vulnerabilidad por FRM

En el Mapa de zonificación de la Vulnerabilidad a los FRM (ver Anexo No. 3, Plano 8.2) se presentan las zonas de vulnerabilidad clasificadas en las tres categorías mencionadas

anteriormente.

8.4.1 *Vulnerabilidad de Elementos Estructurales*

8.4.1.1 Viviendas

El tipo de solicitación de cada vivienda se realizó a partir del mapa de amenaza, analizando la localización de cada vivienda con relación a cada FRM y determinando si la vivienda está sometida a deslizamiento, presiones laterales o impacto.

La vulnerabilidad de cada vivienda fue obtenida con ayuda del SIG, cruzando la información de la solicitación, con la del tipo de vivienda como se indicó en la tabla No.8.1. Determinación de La vulnerabilidad según tipo de solicitación y tipo de vivienda.

8.4.1.2 Líneas Vitales

La vulnerabilidad de las líneas vitales (vías, redes eléctricas , telefónicas, de acueducto y de alcantarillado, se consideró igual a 1, lo que significa afectación total en el área de influencia del deslizamiento. Lo anterior es válido ya que estas estructuras presentan muy poca o ninguna resistencia frente a la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, y menos aún en el área de estudio en donde estas estructuras son muchas veces construidas por los mismos habitantes del sector sin ninguna especificación técnica.

Los sectores en donde las líneas vitales se verían más afectados por la ocurrencia de FRM, corresponden al sector occidental (Carrera 18I) en donde el deslizamiento del relleno antrópico del este sector podría comprometer la vía, las redes eléctricas, de alcantarillado pluvial y sanitario, teniendo en cuenta que la vía fue construida sobre un relleno y no se le implementó ninguna obra de conducción de agua que permitiera el flujo normal del Zanjón del Recuerdo desde los barrios altos del sector occidental.

Otro zona crítica corresponde al sector suroriental en donde los FRM podrían afectar parte de la calle 80B, la red de acueducto y alcantarillado, la red de aguas lluvias, la red de aguas negras, las redes eléctricas, y un tramo corto de la carrera 18D.

8.4.1.3 Vulnerabilidad de las Personas

Tal como se mencionó anteriormente, a nivel urbano la afectación de las personas es un fenómeno secundario producido por el colapso parcial o total de la edificación involucrada en el deslizamiento, por lo tanto la vulnerabilidad de las personas se asimila completamente con la vulnerabilidad de las viviendas.

Con el fin de presentar datos sobre posibles afectados en caso de ocurrencia de un FRM, en el mapa de zonificación de vulnerabilidad (Plano No. 8.2, Anexo No. 3) se incluye para cada vivienda el numero total de habitantes de acuerdo con el resultado del inventario de viviendas.

9 EVALUACION Y ANALISIS DE RIESGO POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA

9.1 Métodos de Estudio y Metodologías Aplicadas

El riesgo se define como el efecto combinado de la probabilidad de ocurrencia de un evento dañino y sus consecuencias en un contexto determinado (Blockley, 1992)[4]. Dados los resultados del estudio de amenaza y la inspección y caracterización de elementos expuestos, la evaluación del riesgo se dividirá en dos, de acuerdo con el tipo de pérdidas: (1) afectación física (Valor económico directo); y (2) afectación social (número de damnificados).

El riego específico se calcula como:

$R=P_f*ID*C\$$

donde:

P_f : La probabilidad de falla

ID: Indice de daño del elemento

C$: Costo del elemento o numero máximo de personas dentro de la vivienda

El riesgo en líneas vitales se expresará como longitud del tramo afectado, para cada una de las líneas consideradas, acueducto, alcantarillado, redes telefónicas y eléctricas y vías.

Una vez calculado el riesgo, se procederá a definir un índice de riesgo, IR, que servirá de base para la zonificación de la zona de estudio y que se determinará mediante la siguiente expresión:

$$IR = \frac{R_i - R_{min}}{R_{max} - R_{min}}$$

donde:

R_i: Costo de pérdida en un caso dado

R_{min}: Costo mínimo de pérdida en la zona de estudio

R_{max}: Costo máximo de pérdida en la zona de estudio.

El costo de pérdidas para los lotes vacíos se estima a partir de el valor del lote asignado durante la realización de las encuestas, el cual en algunos casos fue estimado por el propietario y en otros se asignó por el evaluador en relación con el costo general de las construcciones.

Para estimar el costo de los lotes baldíos, se les asignó un" índice de costo", equivalente al valor de los lotes vacíos en el área.

Para las líneas vitales no se realizó una valoración económica ya que se considera que un estimativo en metros lineales es un parámetro de comparación y evaluación bastante útil.

Para el caso de las personas se decidió presentar la evaluación en numero de damnificados, sin discriminar en cada caso el número de heridos o víctimas fatales, ya que no se dispone de

[4] Blockley D.I., Engineering safety, McGraw Hill, 1992.

suficiente información para realizar esta evaluación. Bajo este parámetro todos los habitantes de una vivienda resultarían afectados por el colapso de la misma, y en proporción menor ante el colapso parcial o daño menor.

9.2 Criterios Aplicados

El Riesgo como se mencionó anteriormente se determinó por la combinación entre la probabilidad de ocurrencia del FRM (Amenaza) y el grado de afectación del elemento frente al FRM (vulnerabilidad), valorado en términos económicos al multiplicar por el valor económico del elemento.

En el caso de la afectación de las personas se sustituye el termino de valor económico por el número de personas máximo que puedan estar en la vivienda. No se realizó un estimativo de afectación de personas en los escenarios de día y noche debido a que la diferencia de ocupación de predios entre día y noche es de únicamente 14 personas.

El índice de riesgo permite realizar una valoración de la intensidad de riesgo para la zona específica de análisis, sin embargo no puede ser comparada con índices de riesgo realizados en otras zonas, aún utilizando los mismos parámetros de análisis.

El Riesgo fue clasificado en tres categorías, con base en el índice de riesgo como se muestra en la tabla No. 9.1, siguiente:

TABLA No.9.1CATEGORIZACION DEL RIESGO

Riesgo	Índice de Riesgo
Alto	>0.064
Medio	0.013 a 0.064
Bajo	<0.013

Los límites de los índices de riesgo para las tres categorías de riesgo se escogieron teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la evaluación.

El significado en términos de pérdidas económicas de las tres categorías de riesgo establecidas es el siguiente, tabla 9.2:

TABLA No.9.2 RIESGO - PERDIDAS ECONOMICAS

Riesgo	Perdidas Económicas por Lote (miles)
Alto	640 a 9860
Medio	136.8 a 640
Bajo	8 a 136.8

9.3 Zonificación del Riesgo

En el plano No.9.1 Anexo No. 3, se muestra la zonificación de Riesgo con base en las tres

categorías descritas anteriormente. Con el fin de presentar una mejor descripción de la zona, se dividió esta en 10 zonas de riesgo Z1 a Z-10, como se muestra en la figura explicativa incluida en el plano 9.1, Anexo No. 3. A continuación se presenta la descripción de dichas zonas de riesgo:

9.3.1 *Zona Z-1*

Corresponde al sector del relleno antrópico occidental y parte del talud natural, localizado al oriente de la Cra 18I (ver plano No. 9.1, Anexo No. 3). Es una zona expuesta a amenaza por deslizamiento rápido, con evidencias de asentamientos diferenciales del terreno y erosión superficial en cárcava y en surco (ver mapa de Inventario de Procesos, Plano No. 4.5 Anexo No. 3). Ocupa un área total de 2.659.2 m2 en la cual se localizan 8 viviendas, en donde viven un total de 37 personas. (ver, memorias de cálculo, Anexo No. 2, cuadro 9.1).

De las casas expuestas 2 se califican como tugurios y 6 como casas de mampostería o prefabricadas, y se afecta un lote vacío y 2,203 m2 de áreas baldías o comunes.

Los análisis de riesgo indican que podrían presentarse pérdidas económicas directas por caída o destrucción de vivienda y daño directo en el terreno por 72.63 millones de pesos, 37.81 metros lineales de vías, alcantarillados y líneas eléctricas y telefónicas, y un estimativo de 22 damnificados.

De las viviendas expuestas el 13 % no poseen acueducto, el 50 % el suministro es oficial y el 38 % el suministro es comunitario. El 63 % posee alcantarillado oficial y el 38 % alcantarillado comunitario. El 88 % posee servicio de electricidad oficial y el 13 % servicio pirata. El 13 % no utiliza gas como combustible para cocinar, el 88 % lo utiliza mediante suministro por cilindros individuales. El 13 % no posee servicio telefónico y el 88 % tiene servicio domiciliario (ver Anexo No. 2 cuadro No. 9.2).

9.3.2 *Zona Z-2*

Corresponde al sector del escarpe de explotación minera abandonada del sector central, localizado entre las carreras 18 H y 18 G, (ver Anexo No. 3, plano No. 9.1). Es una zona expuesta a amenaza por deslizamiento rápido. Algunas de las viviendas del sector reportan daños por asentamientos diferenciales. El talud de la zona corresponde a un talud de explotación minera abandonado, conformado por material de coluvión y recubierto superficialmente por pastos (ver mapa Geológico Local, Anexo No. 3 Plano 4.1). Ocupa un área total de 692.80 m2 en la cual se localizan 3 viviendas, en donde viven un total de 27 personas. En una de las viviendas del sector funciona actualmente un jardín infantil de ICBF. (ver Anexo No. 2, cuadro 9.1).

De las casas expuestas 3 se califican como tugurios, y se afectan 3 lotes vacíos y 403.7 m2 de áreas baldías o comunes.

Los análisis de riesgo indican que podrían presentarse pérdidas económicas directas por caída o destrucción de vivienda y daño directo en el terreno por 36.52 millones de pesos, sin afectación de

líneas vitales, y un estimativo de 20 damnificados.

De las viviendas expuestas todas poseen acueducto , alcantarillado y servicio de electricidad oficial. Todas utilizan gas como combustible para cocinar mediante suministro por cilindros individuales. Todas poseen servicio telefónico domiciliario (ver Anexo No. 2, cuadro No. 9.2).

9.3.3 *Zona Z-3*

Corresponde a una vivienda ubicada sobre la carrera 18 Gbis, construida sobre un relleno antrópico de basuras (ver Anexo No. 3 plano No. 9.1). Es una zona expuesta a amenaza por deslizamiento rápido. Ocupa un área total de 47.16 m2, y en este momento viven 6 personas en la vivienda. (ver, Anexo No. 2, cuadro 9.1).

La casa fue calificada como tugurio, el colapso del relleno afectaría adicionalmente 16.35 m2 de áreas baldías o comunes.

Los análisis de riesgo indican que podrían presentarse pérdidas económicas directas por caída o destrucción de vivienda y daño directo en el terreno por 1.2 millones de pesos, y un estimativo de 1 damnificados (ver Anexo No. 2, cuadro No. 9.2).

9.3.4 *Zona Z-4*

Corresponde al sector del relleno antrópico norte, localizado al sur de la calle 79 (ver Anexo No. 3 plano No. 9.1). Es una zona expuesta a amenaza por deslizamiento rápido, con evidencias de asentamientos diferenciales del terreno y erosión superficial en cárcava y en surco (ver mapa de Inventario de Procesos, Anexo No. 3 Plano No. 4.5). Ocupa un área total de 340.47 m2, cerca de la cual se localiza 1 vivienda, y un lote vacío, en donde viven un total de 6 personas. (ver, Anexo No. 2, cuadro 9.1).

La casa expuesta se califican como una casas de mampostería o prefabricadas, y se afecta un lote vacío y 292.55 m2 de áreas baldías o comunes. L afectación directa de la vivienda ocurre en un área pequeña de la parte posterior de la misma.

Los análisis de riesgo indican que podrían presentarse pérdidas económicas directas por caída o destrucción de vivienda y daño directo en el terreno por 6.41 millones de pesos, no se afectan líneas vitales, y un estimativo de 1 damnificado.

9.3.5 *Zona Z-5*

Corresponde al sector central, constituido por un talud natural del Zanjón del Recuerdo, conformado por material de coluvión (ver Anexo No. 3 plano No. 9.1). Es una zona expuesta a amenaza por deslizamiento rápido, con evidencias de erosión superficial en cárcava y en surco (ver mapa de Inventario de Procesos, Anexo No. 3 Plano No. 4.5). Ocupa un área total de 1,286.47 m2 en la cual se localiza 1 vivienda, en donde viven un total de 18 personas. (ver Anexo No. 2 cuadro 9.1).

La casa expuestas se califican como tugurio. La zona afecta 1,170 m2 de áreas baldías o comunes.

Los análisis de riesgo indican que podrían presentarse pérdidas económicas directas por caída o destrucción de vivienda, y daño directo en el terreno por 3.5 millones de pesos, no se afectan líneas vitales y se esperan 6 damnificados.

9.3.6 *Zona Z-6*

Corresponde la zona inestable del sector sur oriental, localizado al norte de la calle 80B (ver Anexo No. 3 plano No. 9.1). Es una zona expuesta a amenaza por reptación, con evidencias de reptación del terreno y erosión superficial (ver mapa de Inventario de Procesos, Anexo No. 3 Plano No. 4.5). Ocupa un área total de 3,931.29 m2 en la cual se localizan 24 viviendas, en donde viven un total de 91 personas. (ver, Anexo No. 2, cuadro 9.1).

El la parte central de la zona de riesgo alto se observan “parches” de riesgo medio. Estos corresponden a los lotes vacíos de antiguas viviendas que fueron demolidas. La intervención de la vulnerabilidad de las viviendas por parte del DPAE, con la reubicación de las familias y la demolición de las viviendas, se constituye en una medida importante de mitigación que se ve reflejada en la disminución del riesgo.

De las casas expuestas 12 se califican como tugurios, 8 como casas de mampostería o prefabricadas y 4 como casas hasta de 2 niveles con estructura y se afectan 9 lotes vacíos y 1,915.85 m2 de áreas baldías o comunes.

Los análisis de riesgo indican que podrían presentarse pérdidas económicas directas por caída o destrucción de vivienda y daño directo en el terreno por 46.75 millones de pesos, 40 metros lineales de vías, alcantarillados y líneas eléctricas y telefónicas, y un estimativo de 18 damnificados.

De las viviendas expuestas el 21% no poseen acueducto, el 50 % el suministro es oficial y el 29 % el suministro es comunitario. El 17 % no posee alcantarillado , el 54 % posee alcantarillado oficial y el 29 % alcantarillado comunitario. El 17 % no posee servicio de electricidad, 75 % posee servicio de electricidad oficial y el 8 % servicio pirata. El 38 % no utiliza gas como combustible para cocinar, el 63 % lo utiliza mediante suministro por cilindros individuales. El 58 % no posee servicio telefónico y el 38 % tiene servicio domiciliario (ver Anexo No. 2 cuadro No. 9.2).

9.3.7 *Zona Z-7*

Corresponde al sector occidental localizado al occidente de la carrera 18F (ver Anexo No. 3 plano No. 9.1). Es una zona adyacente al Zanjón del Recuerdo expuesta a amenaza por reptación, con evidencias de asentamientos diferenciales del terreno y reptación (ver mapa de Inventario de Procesos, Anexo No. 3 Plano No. 4.5). Ocupa un área total de 512.29 m2 en la cual no se localizan viviendas, aunque afecta un costado de la fábrica de cal, localizada en este sector. (ver

Anexo No. 2, cuadro 9.1).

Se afecta parte de la fábrica y 350.77 m2 de áreas baldías o comunes.

Los análisis de riesgo indican que podrían presentarse pérdidas económicas directas por caída o destrucción la construcción y daño directo en el terreno por 1.16 millones de pesos, 3.25 metros lineales de vías.

9.3.8 *Zona Z-8*

Corresponde al sector del talud de explotación minera antigua abandonado del sector central, localizado al sur del Zanjón del recuerdo (ver Anexo No. 3 plano No. 9.1). Es una zona expuesta a amenaza por caída de bloques, (ver mapa de Inventario de Procesos, Anexo No. 3 Plano No. 4.5). Ocupa un área total de 973 m2 en la cual se localizan 2 viviendas, en donde viven un total de 12 personas. (ver Anexo No. 2, cuadro 9.1).

Las casas expuestas se califican como casas de mampostería o prefabricada. En total se afectan 813.91 m2 de áreas baldías o comunes.

Los análisis de riesgo indican que podrían presentarse pérdidas económicas directas por caída o destrucción de vivienda y daño directo en el terreno por 2.74 millones de pesos, y un estimativo de 2 damnificados.

9.3.9 *Zona Z-9*

Corresponde a la colina remanente del sector oriental, localizado al occidente de la carrera 18F (ver Anexo No. 3 plano No. 9.1). Es una zona expuesta a amenaza por deslizamiento rápido y caída de bloques, (ver mapa de Inventario de Procesos, Anexo No. 3 Plano No. 4.5). Ocupa un área total de 733.28 m2 en la cual no se localizan viviendas. (ver Anexo No. 2, cuadro 9.1).

Los análisis de riesgo indican que podrían presentarse pérdidas económicas directas por daño en el terreno por 0.36 millones de pesos.

9.3.10 *Zona Z-10*

Corresponde al escarpe de explotación minera antigua abandonado, localizado al norte del Zanjón del Recuerdo (ver Anexo No. 3 plano No. 9.1). Es una zona expuesta a amenaza caída de bloques (ver mapa de Inventario de Procesos, Anexo No. 3 Plano No. 4.5). Ocupa un área total de 1,876.62 m2 en la cual se localiza 1 vivienda, en donde viven 3 personas. (ver Anexo No. 2, cuadro 9.1).

La casa expuesta se califican como tugurio. En total hay expuestos 1,856 m2 de áreas baldías o comunes.

Los análisis de riesgo indican que podrían presentarse pérdidas económicas directas por caída o destrucción de vivienda y daño directo en el terreno por 0.71 millones de pesos, y 1 damnificados.

9.4 Resultados de la Evaluación del Riesgo

Los resultados totales de la evaluación del riesgo en todas las zonas descritas en el numeral anterior, se presentan en el Anexo No. 2, cuadro No. 9.1.

El número total de viviendas expuestas a amenaza por FRM es de 42, que representan el 42 % de las construcciones del área, de estas el 48 % son tugurios, el 40 % son casas de mampostería o prefabricadas, el 12 % corresponde a casas hasta de 2 niveles con estructura y el 31 % a lotes vacíos.

El área total expuesta a amenaza por FRM es de 13,053 m2, de los cuales el 75 % corresponde a lotes baldíos o áreas comunes. La población total expuesta a amenaza por FRM es de 218 personas, de los cuales se estima que el 33 % pueden ser damnificados directos.

Las pérdidas económicas directas por FRM se estiman en 171 millones de pesos por daños en edificaciones y en el terreno, mas 81 metros lineales de vías y 312 metros lineales de redes telefónicas, eléctricas y de alcantarillados pluvial y sanitario.

10 ALTERNATIVAS DE MITIGACION

10.1 Descripción General de las Zonas de Riesgo

Con el fin de realizar el planteamiento de las medidas de mitigación del Riesgo en el Barrio El Tesorito, se analizaron las diez zonas de riesgo definidas en el capitulo 9 - Evaluación y Análisis de Riesgo por FRM.

A continuación se presenta un resumen de la problemática de cada una de las zonas en riesgo y se plantean las posibles alternativas de mitigación.

10.1.1 Zona Z-1

Corresponde al sector del relleno antrópico occidental y parte del talud natural, localizado al oriente de la carrera 18I (ver Anexo No. 3 plano No. 9.1). Es una zona expuesta a amenaza por deslizamiento rápido, con evidencias de asentamiento diferenciales del terreno y erosión superficial en cárcava y en surco (ver Anexo No. 3 Mapa de Inventario de Procesos, Plano No. 4.5). El mecanismo de falla es circular e involucra algunas casas y el material del relleno que tiene un espesor máximo promedio de 6 m, conformado por escombros de construcción suelo orgánico y basuras en una matriz de arcilla limo arenosa y limo arenoso de plasticidad media y consistencia blanda.

Ocupa un área total de 2.659.2 m2 en la cual se localizan 8 viviendas, en donde viven un total de 37 personas.

De las casas expuestas 2 se califican como tugurios y 6 como casas de mampostería o prefabricadas, y se afecta un lote vacío y 2,203 m2 de áreas baldías o comunes.

Los análisis de riesgo indican que podrían presentarse pérdidas económicas directas por caída o destrucción de vivienda y daño directo en el terreno por 72.63 millones de pesos, 37.81 metros lineales de vías, alcantarillados y líneas eléctricas y telefónicas, y un estimativo de 22 damnificados.

De las viviendas expuestas el 13 % no poseen acueducto, el 50 % el suministro es oficial y el 38 % el suministro es comunitario. El 63 % posee alcantarillado oficial y el 38 % alcantarillado comunitario. El 88 % posee servicio de electricidad oficial y el 13 % servicio pirata. El 13 % no utiliza gas como combustible para cocinar, el 88 % lo utiliza mediante suministro por cilindros individuales. El 13 % no posee servicio telefónico y el 88 % tiene servicio domiciliario.

10.1.2 Zona Z-2

Corresponde al sector del escarpe de explotación minera abandonada del sector central, localizado entre las carreras 18 H y 18 G, (ver Anexo No. 3 plano No. 9.1). Es una zona expuesta a amenaza por deslizamiento rápido. Algunas de las viviendas del sector reportan daños por asentamientos

diferenciales. El talud de la zona corresponde a un talud de explotación minera abandonado, conformado por material de coluvión y recubierto superficialmente por pastos (ver Anexo No. 3 Mapa Geológico Local, Plano 4.1). El mecanismo de falla es del tipo circular para un talud de 8 m de altura conformada por materiales de coluvión que consisten en bloques, cantos y gravas de arenisca embebidos en una matriz arenosa a areno arcillosa. La inestabilidad del talud involucran viviendas construidas muy cerca de la corona y que actúan como un sobrepeso del mismo.

Ocupa un área total de 692.80 m2 en la cual se localizan 3 viviendas, en donde viven un total de 27 personas. En una de las viviendas del sector funciona actualmente un jardín infantil de ICBF.

De las casas expuestas 3 se califican como tugurios, y se afectan 3 lotes vacíos y 403.7 m2 de áreas baldías o comunes.

Los análisis de riesgo indican que podrían presentarse pérdidas económicas directas por caída o destrucción de vivienda y daño directo en el terreno por 36.52 millones de pesos, sin afectación de líneas vitales, y un estimativo de 20 damnificados.

De las viviendas expuestas todas poseen acueducto , alcantarillado y servicio de electricidad oficial. Todas utilizan gas como combustible para cocinar mediante suministro por cilindros individuales. Todas poseen servicio telefónico domiciliario.

10.1.3 *Zona Z-3*

Corresponde a una vivienda ubicada sobre la carrera 18 G bis, construida sobre un relleno antrópico de basuras (ver Anexo No. 3, plano No. 9.1). Es una zona expuesta a amenaza por deslizamiento rápido. El mecanismo de falla inferido para este tipo de material es falla súbita, disparado por saturación del material por efecto sísmico. El relleno está constituido por material orgánico y desechos de basuras mixtos de baja compactación.

Ocupa un área total de 47.16 m2, y en este momento viven 6 personas en la vivienda.

La casa fue calificada como tugurio, el colapso del relleno afectaría adicionalmente 16.35 m2 de áreas baldías o comunes.

Los análisis de riesgo indican que podrían presentarse pérdidas económicas directas por caída o destrucción de vivienda y daño directo en el terreno por 1.2 millones de pesos, y un estimativo de 1 damnificado.

10.1.4 *Zona Z-4*

Corresponde al sector del relleno antrópico norte, localizado al sur de la calle 79 (ver Anexo No. 3, plano No. 9.1). Es una zona expuesta a amenaza por deslizamiento rápido, con evidencias de asentamientos diferenciales del terreno y erosión superficial en cárcava y en surco (ver Anexo No. 3 Mapa de Inventario de Procesos, Plano No. 4.5). El mecanismo de falla es circular e involucra únicamente el material del relleno el cual tiene un espesor máximo promedio de 4 m, conformado por escombros de construcción suelo orgánico y basuras en una matriz de arcilla limo arenosa y

limo arenoso de plasticidad media y consistencia blanda.

Ocupa un área total de 340.47 m2, cerca de la cual se localiza 1 vivienda, y un lote vacío, en donde viven un total de 6 personas.

La casa expuesta se califica como una casa de mampostería o prefabricadas, y se afecta un lote vacío y 292.55 m2 de áreas baldías o comunes. La afectación directa de la vivienda ocurre en un área pequeña de la parte posterior de la misma.

Los análisis de riesgo indican que podrían presentarse pérdidas económicas directas por caída o destrucción de vivienda y daño directo en el terreno por 6.41 millones de pesos, no se afectan líneas vitales, y un estimativo de 1 damnificado.

10.1.5 *Zona Z-5*

Corresponde al sector central, constituido por un talud natural del Zanjón del Recuerdo, conformado por material de coluvión (ver Anexo No. 3, plano No. 9.1). Es una zona expuesta a amenaza por deslizamiento rápido, con evidencias de erosión superficial en cárcava y en surco (ver Anexo No. 3 Mapa de Inventario de Procesos, Plano No. 4.5). El mecanismo de falla es del tipo circular para un talud de 10 m de altura conformada por materiales de coluvión que consisten en bloques, cantos y gravas de arenisca embebidos en una matriz arenosa a areno arcillosa. La inestabilidad del talud involucran viviendas construidas muy cerca de la corona y que actúan como un sobrepeso del mismo.

Ocupa un área total de 1,286.47 m2 en la cual se localiza 1 vivienda, en donde viven un total de 18 personas.

La casa expuesta se califica como tugurio. La zona afecta 1,170 m2 de áreas baldías o comunes.

Los análisis de riesgo indican que podrían presentarse pérdidas económicas directas por caída o destrucción de vivienda, y daño directo en el terreno por 3.5 millones de pesos, no se afectan líneas vitales y se esperan 6 damnificados.

10.1.6 *Zona Z-6*

Corresponde a la zona inestable del sector sur oriental, localizado al norte de la calle 80B (ver Anexo No. 3, plano No. 9.1). Es una zona expuesta a amenaza por reptación, con evidencias de movimiento lento del terreno y erosión superficial (ver Anexo No. 3 Mapa de Inventario de Procesos, Plano No. 4.5). En este sector se presenta un movimiento continuo de la masa una masa de suelo superficial en dirección de la pendiente que de acuerdo con el estudio geológico y geomorfológico se correlaciona con la presencia de rellenos antrópicos sobre una zona antigua de alta densidad de drenaje. Los materiales en reptación están compuestos por rellenos heterogéneos de escombros de excavación, escombros de construcción y basuras en una matriz de arcilla limosa de baja compactación.

Ocupa un área total de 3,931.29 m2 en la cual se localizan 24 viviendas, en donde viven un total de

91 personas.

De las casas expuestas 12 se califican como tugurios, 8 como casas de mampostería o prefabricadas y 4 como casas hasta de 2 niveles con estructura y se afectan 9 lotes vacíos y 1,915.85 m2 de áreas baldías o comunes.

Los análisis de riesgo indican que podrían presentarse pérdidas económicas directas por caída o destrucción de vivienda y daño directo en el terreno por 46.75 millones de pesos, 40 metros lineales de vías, alcantarillados y líneas eléctricas y telefónicas, y un estimativo de 18 damnificados.

De las viviendas expuestas el 21% no poseen acueducto, el 50 % el suministro es oficial y el 29 % el suministro es comunitario. El 17 % no posee alcantarillado , el 54 % posee alcantarillado oficial y el 29 % alcantarillado comunitario. El 17 % no posee servicio de electricidad, 75 % posee servicio de electricidad oficial y el 8 % servicio pirata. El 38 % no utiliza gas como combustible para cocinar, el 63 % lo utiliza mediante suministro por cilindros individuales. El 58 % no posee servicio telefónico y el 38 % tiene servicio domiciliario.

10.1.7 *Zona Z-7*

Corresponde al sector occidental localizado al occidente de la carrera 18F (ver Anexo No. 3, plano No. 9.1). Es una zona adyacente al Zanjón del Recuerdo expuesta a amenaza por reptación, con evidencias de asentamientos diferenciales del terreno y reptación (ver Anexo No. 3, Mapa de Inventario de Procesos, Plano No. 4.5). Al parecer el mecanismo de falla está alimentado por erosión hídrica incipiente producida por el zanjón del recuerdo.

Ocupa un área total de 512.29 m2 en la cual no se localizan viviendas, aunque afecta un costado de la fábrica de cal, localizada en este sector.

La afectación mas importante de esta zona consiste en el sector sur de la fábrica de cal en donde se observa basculamiento de uno de los muros construidos sobre rellenos antiguos de la quebrada. Adicionalmente se afectan 350.77 m2 de áreas baldías o comunes.

Los análisis de riesgo indican que podrían presentarse pérdidas económicas directas por caída o destrucción la construcción y daño directo en el terreno por 1.16 millones de pesos, 3.25 metros lineales de vías.

10.1.8 *Zona Z-8*

Corresponde al sector del talud de explotación minera antigua abandonado del sector central, localizado al sur del Zanjón del recuerdo (ver Anexo No. 3, plano No. 9.1). Es una zona expuesta a amenaza por caída de bloques, (ver Anexo No. 3 Mapa de Inventario de Procesos, Plano No. 4.5). Se ha evidenciado que el fenómeno de caída de bloques proviene principalmente de un material de coluvión y de la zona de meteorización superficial que alcanza 2.5 m de espesor promedio. Los análisis de estabilidad de los taludes de corte en el material de roca indican muy baja probabilidad

de caída de bloques formados por la intersección de planos de diaclasamiento.
Ocupa un área total de 973 m2 en la cual se localizan 2 viviendas, en donde viven un total de 12 personas.
Las casas expuestas se califican como casas de mampostería o prefabricada. En total se afectan 813.91 m2 de áreas baldías o comunes.
Los análisis de riesgo indican que podrían presentarse pérdidas económicas directas por caída o destrucción de vivienda y daño directo en el terreno por 2.74 millones de pesos, y un estimativo de 2 damnificados.

10.1.9 *Zona Z-9*

Corresponde a la colina remanente del sector oriental, localizado al occidente de la carrera 18F (ver Anexo No. 3, plano No. 9.1). Es una zona expuesta a amenaza por deslizamiento rápido y caída de bloques, (ver Anexo No. 3, Mapa de Inventario de Procesos, Plano No. 4.5). Ocupa un área total de 733.28
el terreno por 0.36 millones de pesos.

10.1.10 *Zona Z-10*

Corresponde al escarpe de explotación minera antigua abandonado, localizado al norte del Zanjón del Recuerdo (ver Anexo No. 3, plano No. 9.1). Es una zona expuesta a amenaza caída de bloques (ver Anexo No. 3, Mapa de Inventario de Procesos, Plano No. 4.5). El mecanismo de falla consiste en el efecto combinado de caída de bloques por erosión de la matriz de coluvión que recubre homogéneamente toda la zona y la generación de deslizamientos localizados de tipo circular en la arcillolita meteorizada por efecto de erosión hídrica superficial y el desconfinamiento de la masa rocosa por efecto de los cortes antrópicos.
Ocupa un área total de 1,876.62 m2 en la cual se localiza 1 vivienda, en donde viven 3 personas.
La casa expuesta se califica como tugurio. En total hay expuestos 1,856 m2 de áreas baldías o comunes.
Los análisis de riesgo indican que podrían presentarse pérdidas económicas directas por caída o destrucción de vivienda y daño directo en el terreno por 0.71 millones de pesos, y 1 damnificados.

10.2 Alternativas Generales de Mitigación

A continuación se presentan en forma general las diferentes obras de mitigación consideradas como aplicables a los tipos de inestabilidad identificados en el área del estudio.

10.2.1 *Reconformación*

Consiste en un proceso de movimiento de tierras con el fin de dar una pendiente regular y continua, o escalonada al terreno afectado por deslizamientos. La reconformación puede hacerse manualmente o mecánicamente dependiendo del espacio disponible, de arriba hacia abajo del

talud, y permite eliminar grietas, escarpes, prominencias, rellenar depresiones y grietas y en cierto grado descargar la parte alta de taludes inestables y sobrecargar la parte baja, aunque este efecto no es muy eficiente en caso de movimientos traslacionales. La reconformación sólo es posible en sectores sin construcciones. En sectores construidos será necesaria la reubicación.

10.2.2 *Terraceo*

Puede ser una variación de la reconformación, y tiene por objeto descargar zonas y a la vez facilitar el drenaje superficial por medio de cunetas y zanjas, disminuir la erosión al acortar la longitud de los taludes y proporcionar sitios de trabajo para la construcción de drenes.

10.2.3 *Empradización de Taludes y Areas Destapadas.*

Es una medida muy utilizada e importante para la estabilización de taludes. Requiere el sembrado de especies nativas de buena cobertura y rápido desarrollo sobre los materiales que se encuentre en el área del estudio.

10.2.4 *Cunetas y Zanjas Revestidas.*

Son obras prácticas, que ayudan a drenar calles y áreas específicas hacia drenajes naturales o artificiales. El revestimiento puede hacerse con tela plástica, mezcla asfáltica o con plaquetas de concreto prefabricadas o fundidas en el sitio. Exigen de un terreno estable o de un mantenimiento periódico para sellar grietas, juntas, reacomodar plaquetas o reponer la tela.

10.2.5 *Filtros Franceses con Geosintéticos*

Consisten en filtros construidos en zanjas de 1 a 1.5 m de profundidad y de 0.5 m a 1 m de ancho, con 1 a 5 % de pendiente en el fondo, en las cuales se coloca un geotextíl drenante adecuado y luego un relleno de piedra seleccionada con tamaños entre 0.05 y 0.20 m.

10.2.6 *Muros de Gaviones.*

La construcción de este tipo de obras se recomienda en la pata de zonas de deslizamiento activas, en las márgenes de las quebradas sometidas a procesos de socavación y en general en sitios en donde se desea contener rellenos o disipar energía de corrientes de agua.

10.2.7 *Muros en Tierra Reforzada con Geotextíl.*

Este tipo de obra se recomienda para la contención de rellenos o zonas de deslizamiento muy activas, en donde se anticipen asentamientos del suelo que no puedan ser absorbidos eficientemente por estructuras rígidas. Consiste en la colocación sistemática de capas de material seleccionado de espesor constante envueltas en geotextíl. Debe proveerse de un sistema adecuado de drenaje en el cuerpo del muro comunicado con un material filtrante colocado entre el muro y el relleno sostenido.

10.2.8 Reubicación y Prohibición de Reutilización del Terreno

Es una medida de mitigación extrema aplicada a zonas específicas en donde el costo de las medidas de adecuación del terreno, sobrepasen en mucho el costo de mitigación, o en donde a pesar de la construcción de obras de mitigación no pueda garantizarse la estabilidad de la zona y por consiguiente la seguridad de las personas. Es además una obra de mitigación complementaria en zonas en donde con el fin de realizar las obras de mitigación correspondientes se deban desmontar total o parcialmente las viviendas existentes.

Debe complementarse idealmente con la realización de obras que impidan la reutilización del terreno por parte de nuevos habitantes.

10.3 Tratamiento de Zonas de Riesgo.

En esta sección se presentan las medidas de mitigación analizadas para cada una de las zonas de riesgo descritas anteriormente así como su presupuesto aproximado. En el Anexo No.4 Mem. No. 10.1 se muestran los esquemas típicos de medidas de mitigación, el diseño conceptual de las obras de mitigación se presenta en el Anexo No. 3 Plano 10.1 y las memorias de calculo de cantidades de obra se presentan en el Anexo No. 4 Mem. No. 11.1)

10.3.1 Zona Z-1

De acuerdo con el análisis efectuados en el capitulo 6 la condición actual de los taludes de este sector se resume a continuación, tabla 10.1:

TABLA No. 10.1 SECCION D-D – CONDICION DE ESTABILIDAD ACTUAL

METODOLOGÍA	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Bloque Deslizante	Sin Sismo y Saturado	2.09	1.50	DD1
	Con Sismo y Saturado	0.71	1.00	DD2
Falla Circular	Sin Sismo y Saturado	0.96	1.50	DD3
	Con Sismo y Saturado	0.61	1.00	DD4

Los resultados de los análisis de estabilidad más críticos para la situación actual (condición de carga con sismo y saturado), obtenidos empleando las metodologías de bloque deslizante y falla circular se presentan gráficamente en las figuras No. 6.6, 6.7, 6.8 y 6.9 del Anexo No. 1.

Dado que los análisis indican que se tienen factores de seguridad menores a los mínimos requeridos para la Zona No. 1 (sección D-D), se procedió a evaluar diversas alternativas de mitigación que permitan alcanzar una condición aceptable de estabilidad ante los diversos agentes detonantes.

Los resultados de los análisis de las alternativas consideradas se resumen en la tabla que se presenta a continuación, tabla 10.2:

TABLA No.10.2 ZONA Z-1 - ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.14 Ton/m3)

ALTERNATIVA DE MITIGACION	FS	CONDICION DE CARGA	ARCHIVO
1. BLOQUE DESLIZANTE			
Drenaje	2.75	Sin Sismo y Drenaje	DDDRE1
	0.95	Con Sismo y Drenaje	DDDRE2
Terraceo 2H:1V	2.03	Sin Sismo y Saturado	DT2H1V3
	0.73	Con Sismo y Saturado	DT2H1V4
Terraceo 3H:1V	1.94	Sin Sismo y Saturado	DT3H1V3
	0.74	Con Sismo y Saturado	DT3H1V4
Terraceo 3H:1V con drenaje	2.51	Sin Sismo y Drenado	DT3H1V5
	0.96	Con Sismo y Drenado	DT3H1V6
Muro de Contención	1.87	Sin Sismo y Saturado	DMURE
	0.81	Con Sismo y Saturado	DMURF
Muro de Contención con drenaje	2.50	Sin Sismo y Drenado	DMURG
	1.08	Con Sismo y Drenado	DMURD
Corte – Relleno 2H:1V	2.22	Sin Sismo y Saturado	CR1
	0.78	Con Sismo y Saturado	CR2
Corte – Relleno 2H:1V y drenaje	2.89	Sin Sismo y Drenado	CR3
	1.00	Con Sismo y Drenado	CR4
Corte 3H:!V, berma de 6 m y dren	2.37	Sin Sismo y drenado parcialmente	TE3H1V-A
	1.07	Con Sismo y drenado parcialmente	TE3H1V
2. FALLA CIRCULAR DE PIE DE TALUD			
Drenaje	1.18	Sin Sismo y Drenado	DDDRE3
	0.76	Con sismo y Drenado	DDDRE4
Terraceo 2H:1V	1.23	Sin Sismo y Saturado	DT2H1V1
	0.67	Con sismo y Saturado	DT2H1V2
Terraceo 3H:1V	1.54	Sin Sismo y Saturado	DT3H1V1
	0.85	Con sismo y Saturado	DT3H1V2
Terraceo 3H:1 y drenaje	1.83	Sin Sismo y Drenado	DDRE1
	1.01	Con sismo y Drenado	DDRE2
Muro de Contención	1.20	Sin Sismo y Saturado	DMURO
	0.69	Con sismo y Saturado	DMUROA
Muro de Contención y drenaje	1.51	Sin Sismo y Drenado	DMUROB
	0.97	Con sismo y Drenado	DMUROC
Corte – Relleno 2H:1V	1.49	Sin Sismo y Saturado	CR4D
	0.95	Con sismo y Saturado	CR4E
Corte – Relleno 2H:1V y drenaje	2.14	Sin Sismo y Drenado	CR4C
	1.35	Con sismo y Drenado	CR4B
Corte 3H:!V, berma de 6 m y dren	1.64	Sin Sismo y drenado parcialmente	TE3H1V-B
	1.01	Con Sismo y drenado parcialmente	TE3H1V-C

Los resultados de los análisis de estabilidad más críticos (condición de carga con sismo y saturado), considerando las obras de mitigación, se presentan gráficamente en las figuras 10.1 a 10.14, 10.14 A, 10.14 B, 10.14 C y 10.14 D del Anexo No. No. 1.

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior, la alternativa que satisface una condición de estabilidad aceptable es la del corte 3H:1V, con berma de 6 m y dren. Adicionalmente, esta es la única alternativa que no invade el cauce del zanjón El Recuerdo pero necesariamente requiere de

una afectación predial (viviendas No. 43 y 44).

10.3.2 *Zona Z-2*

De acuerdo con el análisis efectuados en el capitulo 6, la condición actual de los taludes de este sector se resume a continuación, tabla 10.3:

TABLA No. 10.3 SECCION G-G – CONDICION DE ESTABILIDAD ACTUAL

METODOLOGÍA	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Bloque Deslizante	Sin Sismo y Seco	1.29	1.50	GG5
	Con Sismo y Seco	0.73	1.00	GG6

Los resultados de los análisis de estabilidad obtenidos empleando la metodología de bloque deslizante se presentan gráficamente en las figuras No. 6.12 y 6.13 del Anexo No. 1.

Dado que se tienen factores de seguridad menores a los mínimos requeridos se procedió a evaluar diversas alternativas de mitigación que permitan alcanzar una condición aceptable de estabilidad ante los diversos agentes detonantes.

Los resultados de los análisis de las alternativas consideradas se resumen en la tabla que se presenta a continuación, tabla 10.4:

TABLA No.10.4 ZONA Z-2 - ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.18 Ton/m3)

ALTERNATIVA DE MITIGACION	FS	CONDICION DE CARGA	ARCHIVO
Relleno con berma 4.6 m y H=5m talud 2H:1V	2.22	Sin Sismo y Seco	RE1
	1.08	Con sismo y Seco	RE2
Relleno con berma 9.6m y H=5m talud 2H:1V	2.90	Sin Sismo y Seco	RE3
	1.24	Con sismo y Seco	RE4
Terraceo 2H:1V	1.91	Sin Sismo y Seco	RE5
	0.97	Con sismo y Seco	RE6

Los resultados de los análisis de estabilidad más críticos (condición de carga con sismo y seco) se presentan gráficamente en las figuras No. 10.15 a 10.17 del Anexo No. 1.

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior, la alternativa que satisface una condición de estabilidad aceptable es el relleno con berma de 4.6 m, altura de 5m y talud 2H:1V.

10.3.3 *Zona Z-3*

De acuerdo con el análisis efectuados en el capitulo 7, la condición actual de los taludes de la zona Z-3, evaluados por susceptibilidad, presenta un factor de seguridad de FS= 1.05.

Dado que se tienen factores de seguridad menores a los mínimos requeridos se procedió a evaluar una alternativa de mitigación que permita alcanzar una condición aceptable de estabilidad ante los

diversos agentes detonantes.

Los resultados de los análisis de la alternativa considerada se resumen en la tabla que se presenta a continuación, tabla 10.5:

TABLA No.10.5 ZONA Z-3 - ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN (Estimado por Suceptibilidad)

OBRA	FS	CONDICION DE CARGA
Remoción del terreno		
Reubicación		
Muro en Gaviones	1.50	Sin Sismo y Seco
	1.20	Con Sismo y Seco

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior, la alternativa de muro en gaviones satisface una condición de estabilidad aceptable.

Con el fin de verificar la validez de los análisis de susceptibilidad efectuados para la zona Z-3, se realizaron análisis de estabilidad de taludes. En el capítulo No. 6 se presentan los resultados de los análisis hechos para determinar la condición de estabilidad actual de los taludes de este sector. Estos análisis se resumen a continuación, tabla 10.6:

TABLA No. 10.6 SECCION I-I – CONDICION DE ESTABILIDAD ACTUAL

METODOLOGÍA	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Bloque Deslizante	Sin Sismo y Seco	1.11	1.50	II1
	Con Sismo y Seco	0.84	1.00	II2

Los resultados de los análisis de estabilidad realizados para evaluar la estabilidad actual de los taludes de la zona No. 3 se presentan gráficamente en las figuras No. 6.16 y 6.17 del Anexo No. 1.

Dado que se tienen factores de seguridad menores a los mínimos requeridos se procedió a evaluar una alternativa de mitigación que permita alcanzar una condición aceptable de estabilidad ante los diversos agentes detonantes.

Los resultados de los análisis para la alternativa considerada se resumen en la tabla que se presenta a continuación, tabla 10.7:

TABLA No.10.7 ZONA Z-3 - ALTERNATIVA DE MITIGACIÓN (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.18 Ton/m3)

ALTERNATIVA DE MITIGACION	FS	CONDICION DE CARGA	ARCHIVO
Gaviones	1.64	Sin Sismo y Seco	ZONA3B
	1.07	Con sismo y Seco	ZONA3C

Los resultados de los análisis de mostrados en la tabla anterior se presentan gráficamente en las figuras No. 10.14E y 10.14F del Anexo No. 1.

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior, se concluye categóricamente que la alternativa que satisface una condición de estabilidad aceptable para la zona Z-3 es un muro de gaviones. En este punto es importante resaltar que con los análisis de estabilidad de taludes se llegó a la misma conclusión que la que se obtuvo al hacer análisis de susceptibilidad.

10.3.4 *Zona Z-4*

De acuerdo con los análisis de susceptibilidad efectuados en el capítulo 7, la condición actual de estabilidad de esta zona, presenta un F.S. =1.25 (evaluado por susceptibilidad).

Dado que se tienen factores de seguridad menores a los mínimos requeridos se procedió a evaluar diversas alternativas de mitigación que permitan alcanzar una condición aceptable de estabilidad ante los diversos agentes detonantes.

Los resultados de los análisis de las alternativas consideradas se resumen en la tabla que se presenta a continuación, tabla 10.8:

TABLA No.10.8 ZONA Z-4 - ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN (Estimado por Suceptibilidad)

OBRA	FS	CONDICION DE CARGA
Muro en Gaviones	1.50	Sin Sismo y Seco
	1.20	Con Sismo y Seco
Terraceo 2H:1V	1.70	Sin Sismo y Seco
	1.26	Con Sismo y Seco

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior, la alternativa de terraceo 2H:1V satisface una condición de estabilidad aceptable.

Con el fin de verificar la validez de los análisis de susceptibilidad efectuados para la zona Z-4, se realizaron análisis de estabilidad de taludes. En el capítulo No. 6 se presentan los resultados de los análisis hechos para determinar la condición de estabilidad actual de los taludes de este sector. Estos análisis se resumen a continuación, tabla 10.9:

TABLA No. 10.9 SECCION J-J CONDICION DE ESTABILIDAD ACTUAL

METODOLOGÍA	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Bloque Deslizante	Sin Sismo y Seco	1.58	1.50	JJ1
	Con Sismo y Seco	0.96	1.00	JJ2

Los resultados de los análisis de estabilidad realizados para evaluar la estabilidad actual de los taludes de la zona No. 4 se presentan gráficamente en las figuras No. 6.18 y 6.19 del Anexo No. 1.

Dado que se tienen factores de seguridad menores a los mínimos requeridos se procedió a evaluar una alternativa de mitigación que permita alcanzar una condición aceptable de estabilidad ante los diversos agentes detonantes.

Los resultados de los análisis de la alternativa considerada se resumen en la tabla que se presenta a continuación, tabla 10.10:

TABLA No.10.10 ZONA Z-4 - ALTERNATIVA DE MITIGACIÓN (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.18 Ton/m3)

ALTERNATIVA DE MITIGACION	FS	CONDICION DE CARGA	ARCHIVO
Corte con talud 1.5H:1V	1.57	Sin Sismo y Seco	ZONA4B
	1.06	Con sismo y Seco	ZONA4A

Los resultados de los análisis de mostrados en la tabla anterior se presentan gráficamente en las figuras No. 10.14G y 10.14H del Anexo No. 1.

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior, se concluye que la alternativa que satisface una condición de estabilidad aceptable para la zona Z-4 es un terraceo con taludes 1.5H:1V.

10.3.5 *Zona Z-5*

De acuerdo con el análisis efectuados en el capitulo 6 la condición actual de los taludes de este sector se resume a continuación, tabla 10.7:

TABLA No10.11 SECCION H-H – CONDICION ESTABILIDAD ACTUAL

METODOLOGÍA	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Bloque Deslizante	Sin Sismo y Seco	1.12	1.50	HH3A
	Con Sismo y Seco	0.73	1.10	HH4A

Los resultados de los análisis de estabilidad mostrados en la tabla anterior, se presentan gráficamente en las figuras No. 6.14 y 6.15 del Anexo No. 1.

Dado que se tienen factores de seguridad menores a los mínimos requeridos se procedió a evaluar diversas alternativas de mitigación que permitan alcanzar una condición aceptable de estabilidad ante los diversos agentes detonantes.

Los resultados de los análisis de las alternativas consideradas se resumen en la tabla que se presenta a continuación, tabla 10.12:

TABLA No.10.12 ZONA Z-5 - ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.18 Ton/m3)

OBRA	FS	CONDICION DE CARGA	ARCHIVO
Terraceo 2H:1V	2.80	Sin Sismo y Seco	H2H1V1
	1.74	Con Sismo y seco	H2H1V2
Terraceo 1.5H:1V	1.71	Sin Sismo y Seco	H15H1V1
	1.07	Con sismo y Seco	H15H1V2

Los resultados de los análisis de estabilidad más críticos (condición de carga con sismo y seco) se presentan gráficamente en las figuras No. 10.18 y 10.19 del Anexo No. 1.

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior, la alternativa de terraceo 1.5H:1V satisface una condición de estabilidad aceptable.

10.3.6 *Zona Z-6*

De acuerdo con el análisis efectuados en el capitulo 6, la condición actual de los taludes de este sector se resume a continuación, tabla 10.13:

TABLA No10.13 ZONA Z-6 – CONDICION DE ESTABILIDAD ACTUAL

SECTOR	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Bloque Deslizante	Sin Sismo y Saturado	1.82	1.50	AA1
	Con Sismo y Saturado	1.00	1.10	AA2
Parte Alta	Sin Sismo y Saturado	1.30	1.50	AA3
	Con Sismo y Saturado	0.86	1.10	AA4
Parte Intermedia Alta	Sin Sismo y Saturado	1.91	1.50	AA5
	Con Sismo y Saturado	1.38	1.10	AA6
Parte Intermedia Baja	Sin Sismo y Saturado	1.18	1.50	AA7
	Con Sismo y Saturado	0.87	1.10	AA8
Parte Baja	Sin Sismo y Saturado	2.23	1.50	AA9
	Con Sismo y Saturado	1.08	1.10	AA10

SECCION B-B -CONDICION DE ESTABILIDAD ACTUAL

SECTOR	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Parte Alta	Sin Sismo y Saturado	1.47	1.50	BB1
	Con Sismo y Saturado	0.94	1.10	BB2
Parte Intermedia	Sin Sismo y Saturado	1.17	1.50	BB3
	Con Sismo y Saturado	0.84	1.10	BB4
Parte Baja	Sin Sismo y Saturado	2.56	1.50	BB5
	Con Sismo y Saturado	1.39	1.10	BB6

SECCION C-C - CONDICION DE ESTABILIDAD ACTUAL

SECTOR	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Parte Alta	Sin Sismo y Saturado	1.55	1.50	CC1
	Con Sismo y Saturado	1.01	1.10	CC2
Parte Baja	Sin Sismo y Saturado	2.89	1.50	CC3
	Con Sismo y Saturado	1.70	1.10	CC4

Los resultados de los análisis de estabilidad mostrados en la tabla anterior, se presentan gráficamente en las figuras No. 6.3.A a 6.3.H, 6.4.A a 6.4.F y 6.5.A a 6.5.D del Anexo No. 1.

Dado que se tienen factores de seguridad menores a los mínimos requeridos se procedió a evaluar diversas alternativas de mitigación que permitan alcanzar una condición aceptable de estabilidad ante los diversos agentes detonantes.

Los resultados de los análisis de las alternativas consideradas se resumen en la tabla que se presenta a continuación, tabla 10.14:

TABLA No.10.14 ZONA Z-6 - ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.14 Ton/m3)

ALTERNATIVA DE MITIGACION	FS	CONDICION DE CARGA	ARCHIVO
SECCION A-A			
BLOQUE DESLIZANTE			
Drenaje	2.09	Sin Sismo y Drenado	AAD1
	1.17	Con sismo y Drenado	AAD2
TALUDES INDIVIDUALES – PARTE ALTA			
Drenaje	1.48	Sin Sismo y Drenado	AA3D
	1.00	Con sismo y Drenado	AA4D
Terraceo 2H:1V	1.64	Sin Sismo y Saturado	TIAA1
	1.01	Con sismo y Saturado	TIAA2
Terraceo 2H:1V y drenaje	1.82	Sin Sismo y Drenado	TIAA3
	1.14	Con sismo y Drenado	TIAA4
Terraceo 2H:1V, Dren y Gaviones	1.74	Sin Sismo y Drenado	TIAA5
	1.13	Con sismo y Drenado	TIAA6
TALUDES INDIVIDUALES PARTE INTERMEDIA BAJA			
Terraceo 2H:1V	3.97	Sin Sismo y Drenado	TIAA7
	2.17	Con sismo y Drenado	TIAA8
Drenaje	1.34	Sin Sismo y Drenado	TIAA9
	0.99	Con sismo y Drenado	TIAA10
Drenaje mas Gaviones	1.30	Sin Sismo y Drenado	TIAA12
	0.94	Con sismo y Drenado	TIAA11
TALUDES INDIVIDUALES PARTE BAJA			
Drenaje	2.60	Sin Sismo y Drenado	TIAA12
	1.27	Con sismo y Drenado	TIAA13
SECCION B-B			
TALUDES INDIVIDUALES PARTE ALTA			
Drenaje	1.69	Sin Sismo y Drenado	TIBB1
	1.09	Con sismo y Drenado	TIBB2
Terraceo 2H:1V	1.75	Sin Sismo y Saturado	TIBB3
	1.02	Con sismo y Saturado	TIBB4
Terraceo 2H:1V y drenaje	2.01	Sin Sismo y Drenado	TIBB5
	1.18	Con sismo y Drenado	TIBB6
TALUDES INDIVIDUALES PARTE INTERMEDIA			
Drenaje	1.34	Sin Sismo y Drenado	TIBB7
	0.97	Con sismo y Drenado	TIBB8
Terraceo 1.8 H: 1V	3.23	Sin Sismo y Saturado	TUBB9
	2.23	Con sismo y Saturado	TIBB10
SECCION C-C			
TALUDES INDIVIDUALES PARTE ALTA			
Drenaje	1.16	Con Sismo y Drenado	TICC1
Terraceo 2H:1V	1.13	Con Sismo y Saturado	TICC2
Terraceo 2H:1V mas dren	1.29	Con Sismo y Drenado	TICC3

Los resultados de los análisis de estabilidad más críticos se presentan gráficamente en las figuras No. 10.20 a 10.36 del Anexo No. 1.

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior, la alternativa que satisface aceptablemente una condición de estabilidad es la instalación de drenajes en toda el área.

10.3.7 *Zona Z-7*

El diseño de las alternativas de mitigación para esta zona deben ir íntimamente ligadas a la recuperación del cauce del zanjón del recuerdo por parte del la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

Teniendo en cuenta que a la fecha de terminación de este estudio no fue posible conocer los diseños de la recuperación previstos por esa entidad para el Zanjón del Recuerdo se considera inapropiado recomendar obras sin que exista la coordinación real entre el estudio de RFRM y los estudios hidráulicos a cargo de la EAAB.

10.3.8 *Zona Z-8*

De acuerdo con el estudio geológico esta zona se compone de un macizo rocoso de areniscas masivas recubiertas por un material de coluvión.

El análisis cinemático del macizo rocoso indica que todas las cuñas formadas son pequeñas del orden de 0.70 m de altura promedio y presentan una baja probabilidad de falla (<de 0.009) para factores de seguridad de 1.35 a 1.44. Con base en la anterior y en la evidencia de que la caída de bloques proviene únicamente del coluvión de recubrimiento, las alternativas de mitigación que se plantearán se orientan al material de cobertura del macizo rocoso.

De acuerdo con el análisis de susceptibilidad efectuados en el capitulo 7 la condición actual del factor de seguridad evaluado por susceptibilidad para este sector es de FS= 0.90.

Dado que se tienen factores de seguridad menores a los mínimos requeridos se procedió a evaluar una alternativa de mitigación que permitan alcanzar una condición aceptable de estabilidad ante los diversos agentes detonantes.

Los resultados de los análisis de la alternativa considerada se resumen en la tabla que se presenta a continuación, tabla 10.15:

TABLA No.10.15 ZONA Z-8 - ALTERNATIVA DE MITIGACIÓN (Estimado por Suceptibilidad)

OBRA	FS	CONDICION DE CARGA
Terraceo 2H:1V y Barrera de Arborización		
Cerramiento en malla y aislamiento de la zona		
Terraceo 2H:1V	1.60	Sin Sismo y Seco
	1.20	Con Sismo y Seco

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior, la alternativa de Terraceo 2H:1V satisface aceptablemente la condición de estabilidad.

Con el fin de verificar la validez de los análisis de susceptibilidad efectuados para la zona Z-8, se realizaron análisis de estabilidad de taludes. En el capítulo No. 6 se presentan los resultados de los análisis hechos para determinar la condición de estabilidad actual de los taludes de este sector. Estos análisis se resumen a continuación, tabla 10.16:

TABLA No. 10.16 SECCION K-K CONDICION DE ESTABILIDAD ACTUAL

METODOLOGÍA	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Bloque Deslizante	Sin Sismo y Seco	1.76	1.50	KK1
	Con Sismo y Seco	0.96	1.00	KK2

Los resultados de los análisis de estabilidad realizados para evaluar la estabilidad actual de los taludes de la zona No. 8 se presentan gráficamente en las figuras No. 6.20 y 6.21 del Anexo No. 1.

Dado que se tienen factores de seguridad menores a los mínimos requeridos se procedió a evaluar una alternativa de mitigación que permita alcanzar una condición aceptable de estabilidad ante los diversos agentes detonantes.

Los resultados de los análisis de la alternativa considerada se resumen en la tabla que se presenta a continuación, tabla 10.17:

TABLA No.10.17 ZONA Z-8 - ALTERNATIVA DE MITIGACIÓN (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.18 Ton/m3)

ALTERNATIVA DE MITIGACION	FS	CONDICION DE CARGA	ARCHIVO
Corte con talud 2H:1V	1.79	Sin Sismo y Seco	ZONA8A
	1.09	Con sismo y Seco	ZONA8B

Los resultados de los análisis de estabilidad mostrados en la tabla anterior se presentan gráficamente en las figuras No. 10.37 y 10.38 del Anexo No. 1.

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior, se concluye que la alternativa que satisface una condición de estabilidad aceptable para la zona Z-8 es un terraceo con taludes 2H:1V.

10.3.9 *Zona Z-9.*

Teniendo en cuenta que esta zona es un área común sin elementos expuestos, no se plantean obras diferentes a las que indique el estudio paisajístico y de mejoramiento urbano del capítulo 11.

10.3.10 *Zona Z-10*

De acuerdo con el análisis efectuados en el capitulo 6 la condición actual de los taludes de este sector se resume a continuación, tabla 10.18:

TABLA No. 10.18 SECCION E-E – CONDICION DE ESTABILIDAD ACTUAL

METODOLOGÍA	CONDICION DE CARGA	FS ACTUAL	FS REQUERIDO	ARCHIVO
Bloque Deslizante	Sin Sismo y Seco	2.23	1.50	EE1
	Con Sismo y Seco	1.15	1.00	EE2
Falla Circular	Sin Sismo y Seco	1.21	1.50	EE3
	Con Sismo y Seco	0.86	1.00	EE4

Dado que para la falla circular se tienen factores de seguridad menores a los mínimos requeridos, se procedió a evaluar una alternativa de mitigación que permita alcanzar una condición aceptable de estabilidad ante los diversos agentes detonantes.

Los resultados de los análisis de la alternativa considerada se resumen en la tabla que se presenta a continuación, tabla 10.19:

TABLA No.10.19 ZONA Z-10 - ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.18 Ton/m3)

ALTERNATIVA DE MITIGACION	FS	CONDICION DE CARGA	ARCHIVO
SUPERFICIE CIRCULAR			
Terraceo 1.5H:1V	1.55	Sin Sismo y Seco	EE5
	1.06	Con Sismo y Seco	EE6

Los resultados de los análisis de estabilidad se presentan gráficamente en las figuras No. 10.39 y 10.40 del Anexo No. 1.

De acuerdo a lo anterior, la alternativa de estabilización de esta zona es terraceo con taludes 1.5H:1V.

10.4 Presupuesto Aproximado

10.4.1 *Origen de los Materiales para las Obras de Mitigación.*

10.4.1.1 Zona Z-1.

Tal como se muestra en el numeral 10.3.1 el tipo de obra que satisface una condición de estabilidad aceptable es la implementación de un terraceo con taludes 3H:1V, berma intermedia de 6 m e instalación de un sistema de drenaje.

Para construir el sistema de drenaje se podrá adquirir recebo y material filtrante de canteras existentes en el área de influencia de la localidad tal como en la vía la llano (Ingeniesa) o Quebrada Honda en el Barrio San Francisco – Villa Gloria).

10.4.1.2 Zona Z-2

Tal como se muestra en el numeral 10.3.2. el tipo de obra que satisface una condición de estabilidad aceptable es la implementación de un relleno con una berma de 4.6m, altura de 5m y taludes 2H:1V.

Los materiales necesarios para estas obras podrán ser adquiridos en canteras existentes en el área de influencia de la localidad tales como en la vía al llano (Ingeniesa) o Quebrada Honda en el Barrio San Francisco.

10.4.1.3 Zona Z-3.

En el numeral 10.3.3 se muestra que el tipo de obra más adecuada para esta zona es la implementación de un muro en gaviones.

Los materiales para construir estos gaviones podrán ser adquiridos en canteras existentes en el área de influencia de la localidad tales como en la vía al llano (Ingeniesa) o Quebrada Honda en el Barrio San Francisco.

10.4.1.4 Zona Z-4.

En el numeral 10.3.4 se indica que la obra que satisface una condición de estabilidad aceptable es la implementación de un terraceo de los materiales existentes con inclinaciones 2H:1V.

10.4.1.5 Zona Z-5.

En el numeral 10.3.5 se indica la realización de un terraceo 1.5H:1V.

10.4.1.6 Zona Z-6.

En el numeral 10.3.6 se indica la implementación de drenes en toda el área, así como la construcción de un sardinel por la calle 80B sur, para alcanzar una condición de estabilidad aceptable.

El material filtrante para la construcción de los drenes, así como los agregados gruesos y finos para la producción de los concretos se podrán adquirir en canteras existentes en el área de influencia de la localidad tales como en la vía al llano (Ingeniesa) o Quebrada Honda en el Barrio San Francisco.

En caso de optar por la compra de concreto mezclado en planta, en la Avenida Boyacá con calle 70 sur está ubicada una planta de Central de Mezclas.

10.4.1.7 Zona Z-8.

En el numeral 10.3.8 se indica para esta zona la ejecución de un Terraceo 2H:1V con una zanja de coronación en revestida en concreto.

Los agregados gruesos y finos para la elaboración del concreto se pueden adquirir en canteras existentes en el área de influencia de la localidad tales como en la vía al llano (Ingeniesa) o Quebrada Honda en el Barrio San Francisco.

En caso de optar por la compra de concreto mezclado en planta, en la Avenida Boyacá con calle 70 sur está ubicada una planta de Central de Mezclas.

10.4.1.8 Zona Z-10.

De acuerdo a lo indicado en el numeral 10.3.9 se recomienda la ejecución de un terraceo con taludes 1.5H:1V, lo cual implica la construcción de un sistema de zanjas de coronación para el manejo de aguas.

Los agregados gruesos y finos para la elaboración del concreto se pueden adquirir en canteras existentes en el área de influencia de la localidad tales como en la vía al llano (Ingeniesa) o Quebrada Honda en el Barrio San Francisco.

En caso de optar por la compra de concreto mezclado en planta, en la Avenida Boyacá con calle 70 sur está ubicada una planta de Central de Mezclas.

En el Anexo No. 1 se presenta el presupuesto detallado de todas las alternativas de mitigación planteadas.

Los precios unitarios consignados en los presupuestos detallados, tienen en cuenta el origen de los materiales descrito en el numeral 10.4.1 y son también el resultado de la comparación de precios unitarios tomados de diversos contratos de construcción del DPAE (Licitación Pública No.011-99 – Obras de Mitigación Barrio Juan Pablo II Localidad de Ciudad Bolívar, Licitación Pública No. 014-99 – Obras de Mitigación Barrio Santa Bibiana Sector Vista Hermosa Localidad de Ciudad Bolívar, Licitación Pública No.009-99 – Obras de Mitigación Barrio Jerusalén, Licitación Pública No. 012-99 – Obras de Mitigación Barrio Nueva España Localidad de San Cristóbal sur) y la EAAB-ESP (Proyectos de desmarginalización), actualmente en ejecución en la Localidad de Ciudad Bolívar.

A continuación se presenta el resumen de los costos estimados para cada alternativa de mitigación, tabla 10.20.

TABLA No.10.20 RESUMEN DE COSTOS DIRECTOS ESTIMADOS DE LAS ALTERNATIVAS DE MITIGACION (No incluye reubicación ni paisajismo)

CASO ANALIZADO	ZONA DE RIESGO – COSTO OBRA (millones)							
	Z-1	Z-2	Z-3	Z-4	Z-5	Z-6	Z-8	Z-10
Alternativas:								
Terraceo 3H:1V y berma de 6 m (en los tres metros superiores del talud)	15.8							
Terraceo general 2H:1V	13.2				64.7	85.2	11.6	
Terraceo general 3H:1V	31.1							
Terraceo 2H:1V mas Dren	18.3	28.1				105		
Muro de Contención	212.6							
Muro de Contención mas Dren	224.7							
Corte – Relleno 2H1V mas Dren.	58.0							
Relleno Berma 4.6m		47.5						
Relleno Berma 9.6 m		51.3						
Terraceo 2H:1V		21.8						
Muro en Gaviones			2.7	5.9		28.7		
Remoción del Relleno			17.7					
Reubicación			7.8		11.0			
Terraceo 1.5H:1V				4.0	6.7			21
Terraceo 2H:1V mas Muro en Gaviones mas Drenes						119.6		
Terraceo 1H:1V y Barrera de Arborización								43.7
Drenes						23.9		
Terraceo 2H:1V y Barrera de Arborización							6.1	
Cerramiento en malla y aislamiento de la zona							21.1	41.5
Terraceo 1H:1V								39.9
Berma Pasiva								61.9

10.5 Análisis de Beneficio/ Costo de las Alternativas de Mitigación.

Se efectuó la evaluación de la relación Beneficio Costo para cada alternativa de mitigación como la relación entre el costo actual de los elementos expuestos y el costo de las diferentes obras de mitigación planteadas.

Las memorias de cálculo correspondientes a la evaluación del análisis beneficio/costo, se presentan en los cuadros comparativos del Anexo No. 2 cuadro 10.2.

10.6 Conclusiones y Recomendaciones.

De acuerdo con el resultado de los análisis efectuados a las alternativas de mitigación planteadas en cada una de las zonas de riesgo, y a la evaluación de beneficio / costo, a continuación se presenta para cada zona la alternativa seleccionada y las razones de su elección:

10.6.1 *Zona Z-1*

Alternativa seleccionada: Corte con taludes 3H:1V y Drenes

Razones de Elección: F.S.=2.37 Sin sismo y parcialmente drenado (bloque deslizante)
F.S.=1.07 Con sismo y parcialmente drenado (bloque deslizante)
F.S.=1.64 Sin sismo y parcialmente drenado (superficie circular)
F.S=1.01 Con sismo y parcialmente drenado (superficie circular)
Relación Beneficio/ Costo = 7.93

Pese a ser la alternativa viable, su implementación Implica reubicación de viviendas.

10.6.2 *Zona Z-2*

Alternativa seleccionada: Relleno con talud 2H:1V, altura máxima 5 m y berma de 4.6 m

Razones de Elección: Fs= 2.22 Sin sismo y Seco
Fs= 1.08 Con sismo y Seco.
No implica reubicación de viviendas.
Relación Beneficio/ Costo = 1.75.

10.6.3 *Zona Z-3*

Alternativa seleccionada: Muro en Gaviones

Razones de Elección: Fs= 1.64 Sin sismo y Seco
Fs= 1.07 Con sismo y Seco.
No implica reubicación de viviendas.
Relación Beneficio/ Costo = 3.85.

10.6.4 *Zona Z-4*

Alternativa seleccionada: Terraceo con talud 1.5H:1V

Razones de Elección: Fs= 1.70 Sin sismo y Seco
Fs= 1.26 Con sismo y Seco.
Relación Beneficio/ Costo = 2.83.

10.6.5 *Zona Z-5*

Alternativa seleccionada: Terraceo 1.5H:1V y reubicación

Razones de Elección: Relación Beneficio/Costo=1.49. Es la alternativa técnica viable para estabilizar la zona. Sin embargo, conlleva a afectación predial

10.6.6 *Zona Z-6*

Alternativa seleccionada: Drenaje

Razones de Elección: Fs= 2.09 Sin sismo y Drenado

Fs= 1.17 Con sismo y Drenado.

No Implica Reubicación de Viviendas

Relación Beneficio/ Costo = 9.82.

Menor costo de las obras.

10.6.7 *Zona Z-8*

Alternativa seleccionada: Terraceo 2H:1V

Razones de Elección: Fs= 1.79 Sin sismo y Seco

Fs= 1.09 Con sismo y Seco.

Menor costo de las obras.

10.6.8 *Zona Z-10*

Alternativa seleccionada: Terraceo 1.5H:1V

Razones de Elección: Fs= 1.56 Sin sismo y Seco

Fs= 1.06 Con sismo y Seco.

Relación Beneficio/Costo=2. Menor costo de las obras.

A continuación se presenta el resumen de las obras de mitigación que se recomiendan para diseño detallado, tabla 10.21:

TABLA No.10.21 OBRAS DE MITIGACION RECOMENDADAS PARA DISEÑO DETALLADO

OBRAS	ZONA DE RIESGO							
	Z-1	Z-2	Z-3	Z-4	Z-5	Z-6	Z-8	Z-10
ALTERNATIVAS DE MITIGACION RECOMENDADAS								
Relleno.		▭						
Muro en Gaviones			▭					
Terraceo	▭			▭	▭		▭	▭
Drenajes						▭		

Los costos estimados correspondientes a las alternativas de mitigación recomendadas se resumen a continuación, tabla 10.22:

TABLA No. 10.22 COSTO DIRECTO ESTIMADO DE LAS OBRAS RECOMENDADAS (No incluye reubicación ni paisajismo)

CASO ANALIZADO	ZONA DE RIESGO – COSTOS (Millones de pesos)							
	Z-1	Z-2	Z-3	Z-4	Z-5	Z-6	Z-8	Z-10
ALTERNATIVAS DE MITIGACION								
Terraceo	15.8							
Relleno		47.5						
Muro en Gaviones			2.7					
Terraceo				4.0	6.8		6.2	21
Drenajes.						23.9		

De acuerdo al cuadro anterior el costo de las obras de mitigación (sin incluir reubicación, paisajismo e imprevistos) se estima en $ 127.9 millones de pesos.

11 DISEÑOS DETALLADOS

11.1 Criterios de Diseño

11.1.1 Análisis de Estabilidad

En el caso de los análisis de estabilidad de taludes se establecieron como criterios para el diseño de las obras de mitigación los siguientes:

Factor de seguridad de 1.5 para la condición estática.

Factor de seguridad mínimo entre 1.0 y 1.1para la condición dinámica.

11.1.2 Estructuras Hidráulicas

Para el diseño de la red de drenaje de la cuenca que compone el área de estudio se consideró el método Racional para estimar el caudal a partir de registros de lluvias y apoyados en las características físicas de la cuenca. El método racional puede definirse en términos cuantitativos así: El caudal de diseño (Qd) de una obra hidráulica producto de la escorrentía directa en la cuenca de área (A) que drena hacia esa obra y está sometida auna lluvia de intensidad (Id) constante, distribuida normalmente en el tiempo y en el espacio y de duración igual al tiempo de concentración (tc) de la cuenca, es igual al producto de la intensidad (Id) por el área (A), afectado por un coeficiente menor que la unidad y conocido como coeficiente de escorrentía (C).

Qd= C*Id*A

Qd= Caudal de diseño (lt/seg)

C= Coeficiente de escorrentía. Para efectos del presente estudio el valor estimado es 0.85 acorde con las características físicas de la cuenca.

Id= Intensidad de la lluvia (lt/Ha/seg). La intensidad se obtiene de la ecuación de la estaciones pluviométricas existentes en la zona aferente al sector del estudio, cuyos registros fueron suministrados por la EAAB-ESP y que hacen parte de los anexos del capítulo 5 de este estudio.

A= Area de drenaje (ha).

La guía de diseño adoptada para la evaluación de canales y zanjas de coronación es la aplicada a canales revestidos con sección de máxima eficiencia hidráulica cuyos criterios de diseño son:

Estimar el caudal (Q), la pendiente de fondo (So), el talud (z) y la rugosidad de Manning (n).

Empleando la formula para la sección de máxima eficiencia para un talud dado se halla un valor de b/y.

Se halla el valor de AR^(2/3) = Q*n/(So)^0.50.

Se hallan los valores de A y P en función de y, finalmente se halla(R)^(2/3).

A=By+zy^2

P=b+2y√(1+z^2), Obtener y, despejar b.

Se chequea si se cumple la relación de máxima eficiencia

R=A/P=y/2.

Los factores a tener en cuenta son:

- Uso de revestimiento del canal, se supone que el agua no lleva sedimentos que golpeen el cuerpo del canal.
- Pendiente del canal. Se selecciona según topografía y carga de energía.

Como criterios de diseño para proyectar las distintas estructuras hidráulicas se emplearon los siguientes:

- Ecuación de Manning.
- Coeficiente de escorrentía para áreas urbanas de 0.85.
- Período de retorno de 100 años.
- Determinación de la intensidad de la lluvia con las curvas intensidad – duración y frecuencia en función del período de diseño.
- Determinación del tiempo de concentración del agua. Se define como el tiempo de viaje del agua desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio objeto de la obra. Estimado con la gráfica que relaciona pendiente del terreno contra velocidad en función del tipo de cobertura del área.

Las estructuras de caída o graderías fueron calculadas con base en el número de caída (D) estimado como:

$D = q^2/(gh^3)$

Donde:

q = caudal unitario

g = aceleración de la gravedad

h = altura del escalón

Adicionalmente se emplearon las siguientes expresiones:

$Y1/h = 0.54D^{0.425}$

$Y2 = 1.66D^{0.27}$

$Ld/h = 4.3D^{0.27}$

$Yp = 1D^{0.22}$

En el Anexo No. 4 (Memoria No. 11.1) se presentan los cálculos hidráulicos del estudio.

11.1.3 *Muros en Gaviones*

Para el diseño del muro de gaviones se establecieron como criterios de diseño los siguientes:

- Presiones de tierra en condición estática evaluadas con el método de Coulomb.
- Presiones de tierra en condición dinámica evaluadas con el método de Mononobe Okabe.

- Factor de Seguridad mínimo de 2.0 para el caso de estabilidad interna del muro al deslizamiento en condición estática.
- Factor de seguridad mínimo de 1.1 para el caso de estabilidad interna del muro al deslizamiento en condición dinámica.
- Factor de seguridad mínimo de 2.0 para el caso de estabilidad interna del muro al volcamiento en condición estática y resultante de fuerzas dentro del tercio medio de la base.
- Factor de seguridad mínimo de 1.1 para el caso de estabilidad interna del muro al volcamiento en condición dinámica y resultante de fuerzas dentro de la base.
- Factor de seguridad mínimo de 2.5 para el análisis de capacidad portante en condición estática.
- Factor de seguridad mínimo de 1.1 para el análisis de capacidad portante en condición dinámica.

En el Anexo No. 4 (Memoria No. 11.2) se presentan los cálculos de los muros.

11.1.4 *Factores de Seguridad de las Obras Recomendadas.*

A continuación se presentan los factores de seguridad de las obras recomendadas en cada una de las zonas.

11.1.4.1 Zona Z-1.

En esta zona se diseñó una obra de mitigación para estabilizar los deslizamientos superficiales que se presentan actualmente sobre el terreno y para mitigar un posible movimiento masivo ante la ocurrencia de un sismo.

La obra está constituida por un terraceo con taludes 3H:1V que cuenta con una berma intermedia de 6 m de ancho máximo.

Debido a que en épocas pasadas en este sector existía un brazo de la quebrada denominada Zanjón del Recuerdo, con el objeto de abatir el nivel freático de la zona se proyectó un sistema de drenaje compuestos por material filtrante (Gravas envueltas en geotextíl). Este sistema que tiene por objeto controlar las aguas subsuperficiales que puedan en un momento dado contribuir como agente detonante importante a la generación de un posible deslizamiento, entrega sus aguas a una cuneta que descarga directamente sobre el zanjón El Recuerdo.

La cuneta en mención es de tipo trapezoidal y revestida en concreto de 0.20 m de ancho y 0.25 m de altura con taludes 1H:1V, localizadas sobre la parte alta del talud.

Dada la existencia de un estrato rígido debajo de los rellenos existentes en el área, el terraceo se estudió con un mecanismo de falla de bloque deslizante para modelar un posible movimiento masivo. Las fallas superficiales del pie del talud que actualmente se presentan en la zona No. 1 se analizaron con un mecanismo de falla circular.

Los resultados de los análisis de estabilidad para esta zona considerando las obras de mitigación descritas se resumen a continuación, tabla 11.1:

TABLA No.11.1 FACTORES DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-1- Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.14 Ton/m3

	FS	CONDICION DE CARGA
BLOQUE DESLIZANTE	1.07	Con Sismo y con drenaje
FALLA DE PIE DE TALUD	1.01	Con Sismo y con drenaje

Los resultados de los análisis de estabilidad para la condición con sismo y con drenaje se presentan gráficamente en las figuras No.10.14.C y 10.14.D del Anexo No. 1.

En este punto es importante anotar que por razones de seguridad se consideró en los análisis de estabilidad una línea superior de infiltración (condición parcialmente drenada del material de la zona No. 1. Adicionalmente, las obras proyectadas afectan las viviendas No. 43 y 44.

Las obras diseñadas se presentan en el Anexo No. 3 Plano No. PZ-1.

11.1.4.2 Zona Z-2.

En esta zona se diseñó una obra para mejorar la condición de estabilidad actual del talud existente en el área(FS=1.29 estático y FS= 0.73 dinámico).

La obra está constituida por un relleno con material seleccionado colocado directamente sobre el talud existente, localizado 2 m por debajo de la creta del talud actual, tiene una berma superior de 4.6 m de ancho máximo y una altura aproximada máxima de 6 m.

Para controlar las aguas de escorrentía superficial se ha previsto un sistema de cunetas trapezoidales revestidas en concreto de 0.20 m de ancho y 0.25 m de altura y taludes 1H:1V, localizadas sobre la parte alta del talud. Estas cunetas entregarán sus aguas a las zanjas de coronación de la Zona Z-10. Adicionalmente, para controlar procesos erosivos de carácter superficial, se ha diseñado una protección del talud mediante trinchos consistentes en ramas de árboles o maleza contenidos con estacas de madera (ver plano No. PZ-2)

El relleno se diseñó como berma pasiva. Dada la existencia de un estrato rígido debajo de una capa superficial de coluvión, desde el punto de vista de análisis de estabilidad se estudió un mecanismo de falla de bloque deslizante para modelar un posible movimiento ante una solicitación dinámica.

Los resultados de los análisis de estabilidad para esta zona considerando las obras de mitigación descritas se resumen a continuación, tabla 11.2:

TABLA No.11.2 FACTORES DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-2 - Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.14 Ton/m3

	FS	CONDICION DE CARGA
BLOQUE DESLIZANTE	2.22	Sin Sismo y Seco
	1.08	Con sismo y Seco

Los resultados del análisis de estabilidad para la condición con sismo y seco se presentan

gráficamente en la figura No.10.15 del Anexo No. 1.

Las obras diseñadas se presentan en el Anexo No. 3 Plano No. PZ-2.

11.1.4.3 Zona Z-3.

En esta zona se diseñó una obra de mitigación para proteger las viviendas construidas sobre rellenos antrópicos de basuras.

La obra de mitigación está constituida por un muro en gaviones de 3.0 m de altura máxima que actúa como un contrafuerte pasivo.

De acuerdo con los análisis de susceptibilidad efectuados el factor de seguridad para la obra proyectada para una condición con sismo y seco es 1.18 de acuerdo con la evaluación que se presenta en la siguiente tabla 11.3:

TABLA No.11.3 FACTOR DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-3 (Evaluado por Susceptibilidad)

FACTOR	PESO (%)	ZONA Z-3	
		PUNTAJE	VALOR
1. Procesos Erosivos	30	30	9.0
2. Susceptibilidad Sísmica	15	30	4.5
3. Susceptibilidad Lluvias	15	30	4.5
4. Susceptibilidad Erosión	10	20	2.0
5. Relieve	10	50	5.0
6. Tipo de Material	10	20	2.0
7. Susceptibilidad Antrópica	10	40	4.0
SUSCEPTIBILIDAD			31.0
PROBABILIDAD FALLA			0.20
FACTOR DE SEGURIDAD			1.18

Con el fin de corroborar los resultados anteriores, se efectuaron unos análisis de estabilidad de taludes empleando un mecanismo de falla de bloque deslizante. Este mecanismo permitió modelar un posible movimiento ante una solicitación dinámica.

Los resultados de los análisis de estabilidad para esta zona, considerando las obras de mitigación descritas, se resumen a continuación, tabla 11.4:

TABLA No.11.4 FACTORES DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-3 - Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.14 Ton/m3

	FS	CONDICION DE CARGA
BLOQUE DESLIZANTE	1.64	Sin Sismo y Seco
	1.07	Con sismo y Seco

Los resultados de los análisis de estabilidad mostrados en la tabla anterior se presentan gráficamente en la figuras No.10.14.E y 10.14.F del Anexo No. 1.

Los análisis del muro en relación a la estabilidad, al deslizamiento y al volcamiento en condiciones

estáticas y dinámicas y a la capacidad portante, se resumen a continuación, tabla 11.5:

TABLA No.11.5 MURO EN GAVIONES – RESULTADOS DE ANALISIS

	FS	CONDICION
DESLIZAMIENTO	6.7	Sin Sismo
	2.2	Con sismo
VOLCAMIENTO	4.7	Sin Sismo
	1.7	Con sismo
CAPACIDAD PORTANTE	5.7	Sin Sismo
	2.2	Con sismo

Las memorias de cálculo de los análisis anteriores se presentan en el Anexo No.4.

Las obras diseñadas se presentan en el Anexo No. 3 Plano No. PZ-3.

11.1.4.4 Zona Z-4.

En esta zona se diseñó una obra de mitigación para remover los depósitos antrópicos sueltos recientemente colocados los cuales pueden llegar a afectar las viviendas localizadas en la parte baja del talud.

La obra está constituida por un corte con taludes 1.5H:1V.

De acuerdo con los análisis de susceptibilidad efectuados el factor de seguridad para la obra proyectada para una condición con sismo y seco es 1.2 de acuerdo con la evaluación que se presenta en la siguiente tabla, tabla 11.6:

TABLA No.11.6 FACTOR DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-4 (Evaluado por Susceptibilidad)

FACTOR	PESO (%)	ZONA Z-4 PUNTAJE	PUNTAJE
1. Procesos Erosivos	30	30	20
2. Susceptibilidad Sísmica	15	30	30
3. Susceptibilidad Lluvias	15	30	20
4. Susceptibilidad Erosión	10	20	35
5. Relieve	10	50	50
6. Tipo de Material	10	20	30
7. Susceptibilidad Antrópica	10	40	50
SUSCEPTIBILIDAD			30
PROBABILIDAD FALLA			0.18
FACTOR DE SEGURIDAD			1.20

Con el fin de corroborar los resultados anteriores, se efectuaron unos análisis de estabilidad de taludes empleando un mecanismo de falla de bloque deslizante. Este mecanismo permitió modelar un posible movimiento ante una solicitación dinámica.

Los resultados de los análisis de estabilidad para esta zona considerando las obras de mitigación descritas, se resumen a continuación, tabla 11.7:

TABLA No.11.7 FACTORES DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-4 (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.14 Ton/m3)

	FS	CONDICION DE CARGA
BLOQUE DESLIZANTE	1.57	Sin Sismo y Seco
	1.06	Con sismo y Seco

Los resultados de los análisis de estabilidad mostrados en la tabla anterior se presentan gráficamente en la figuras No.10.14.G y 10.14.H del Anexo No. 1.

Las obras diseñadas se presentan en el Anexo No. 3 Plano No. PZ-4.

11.1.4.5 Zona Z-5.

En esta zona se diseñó una obra para mejorar la condición de estabilidad actual del talud existente. (FS=1.12 estático y FS= 0.73 dinámico).

La obra está constituida por un corte con inclinación 1.5H:1V.

Dada la existencia de un estrato rígido debajo del coluvión que compone el talud existente, desde el punto de vista de análisis de estabilidad se estudió un mecanismo de falla de bloque deslizante para modelar un posible movimiento masivo

Los resultados de los análisis de estabilidad para esta zona, considerando la obra de mitigación descritas se resumen a continuación, tabla 11.8:

TABLA No.11.8 FACTORES DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-5 (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.14 Ton/m3)

	FS	CONDICION DE CARGA
BLOQUE DESLIZANTE	1.71	Sin Sismo y Seco
	1.07	Con sismo y Seco

Los resultados de los análisis de estabilidad para la condición con sismo y seco, se presenta gráficamente en la figura No.10.19 del Anexo No. 1.

Las obras diseñadas se presentan en el Anexo No. 3 Plano No. PZ-5.

11.1.4.6 Zona Z-6.

En esta zona se diseñó una obra de mitigación para mejorar la estabilidad dinámica controlando niveles freáticos colgados existentes en la zona.

La obra está constituida por un sistema de drenajes subsuperficiales conformados por material drenante (gravas envueltas en geotextíl con tubería flexible de drenaje) que entrega sus aguas al Zanjón del Recuerdo, a través de una tubería de 0.70 m de diámetro interior.

De acuerdo con los análisis realizados, esta tubería puede ser instalada mediante la excavación de una zanja con paredes verticales y deberá estar cimentada de acuerdo a una factor de carga de 1.9.

Para controlar las aguas de escorrentía superficial que actualmente caen sobre el talud existente, se ha previsto la continuación del sardinel de la calle 80 b sur en aproximadamente 80 m de longitud.

Las memorias de cálculo de los análisis realizando se presentan en el Anexo No.4.

Dada la existencia de un estrato rígido debajo de los rellenos superficiales que cubren el talud, desde el punto de vista de análisis de estabilidad se estudió un mecanismo de falla de bloque deslizante para modelar un posible movimiento masivo ocasionado por un evento sísmico.

Los resultados de los análisis de estabilidad para esta zona considerando las obras de mitigación descritas se resumen a continuación, tabla 11.9:

TABLA No.11.9 FACTORES DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-6 (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.14 Ton/m3)

	FS	CONDICION DE CARGA
BLOQUE DESLIZANTE	2.09	Sin Sismo y con drenaje
	1.17	Con sismo y con drenaje

Los resultados de los análisis de estabilidad para la condición con sismo y con drenaje se presentan gráficamente en la figura No.10.20 del Anexo No. 1.

Las obras diseñadas se presentan en el Anexo No. 3 Planos No. PZ-6-1, No. PZ-6-2 y No. PZ-6-3.

11.1.4.7 Zona Z-8.

En esta zona se diseñó una obra de mitigación para controlar posibles deslizamientos del coluvión existente sobre el macizo rocoso de una antigua explotación minera abandonada.

La obra de mitigación está constituida por un corte del coluvión con talud 2H:1V y una zanja de coronación revestida en concreto la cual descarga parte de sus aguas directamente al Zanjón del Recuerdo y la restante a una caja de inspección en la zona Z-6.

De acuerdo con los análisis de susceptibilidad efectuados, el factor de seguridad para la obra proyectada para una condición con sismo y seco es 1.18 tal como lo muestra la evaluación que se presenta en la siguiente tabla 11.10:

TABLA No.11.10 FACTOR DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-8 (Evaluado por Susceptibilidad)

FACTOR	PESO (%)	ZONA Z-8	
		PUNTAJE	VALOR
1. Procesos Erosivos	30	30	9.0
2. Susceptibilidad Sísmica	15	30	4.5
3. Susceptibilidad Lluvias	15	30	4.5
4. Susceptibilidad Erosión	10	30	3.0
5. Relieve	10	50	5.0
6. Tipo de Material	10	30	3.0
7. Susceptibilidad Antrópica	10	20	2
SUSCEPTIBILIDAD			31.0
PROBABILIDAD FALLA			0.20
FACTOR DE SEGURIDAD			1.18

Con el fin de corroborar los resultados anteriores, se efectuaron unos análisis de estabilidad de taludes empleando un mecanismo de falla de bloque deslizante. Este mecanismo permitió modelar un posible movimiento ante una solicitación dinámica.

Los resultados de los análisis de estabilidad para esta zona considerando la obra de mitigación descrita, se resumen a continuación, tabla 11.11:

TABLA No.11.11 FACTORES DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-8 (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.14 Ton/m3)

	FS	CONDICION DE CARGA
BLOQUE DESLIZANTE	1.79	Sin Sismo y Seco
	1.09	Con sismo y Seco

Los resultados de los análisis de estabilidad mostrados en la tabla anterior se presentan gráficamente en la figuras No.10.37 y 10.38 del Anexo No. 1.

Las obras diseñadas se presentan en el Anexo No. 3, Plano No. PZ-8.

11.1.4.8 Zona Z-10.

En esta zona se diseñó una obra de mitigación para proteger los taludes existentes contra los procesos erosivos y evitar los asentamientos humanos sobre estas áreas.

La obra está constituida por un corte de los taludes con inclinación 1.5H:1V y una zanja de coronación revestida en concreto la cual descarga sus aguas a la laguna existente y al Zanjón del Recuerdo.

De acuerdo con los análisis de susceptibilidad efectuados el factor de seguridad para la obra proyectada para una condición con sismo y seco es 1.22 de acuerdo con la evaluación que se presenta en la siguiente tabla 11.12:

TABLA No.11.12 FACTOR DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-10 (Evaluado por Susceptibilidad)

FACTOR	PESO (%)	ZONA Z-10	
		PUNTAJE	VALOR
1. Procesos Erosivos	30	30	9.0
2. Susceptibilidad Sísmica	15	30	4.5
3. Susceptibilidad Lluvias	15	30	4.5
4. Susceptibilidad Erosión	10	20	2.0
5. Relieve	10	50	5.0
6. Tipo de Material	10	20	2.0
7. Susceptibilidad Antrópica	10	20	2.0
SUSCEPTIBILIDAD			29.0
PROBABILIDAD FALLA			0.17
FACTOR DE SEGURIDAD			1.22

Con el fin de corroborar los resultados anteriores, se efectuaron unos análisis de estabilidad de taludes empleando un mecanismo de falla circular. Este mecanismo permitió modelar un posible movimiento ante una solicitación dinámica.

Los resultados de los análisis de estabilidad para esta zona considerando las obras de mitigación descritas, se resumen a continuación, tabla 11.13:

TABLA No.11.13 FACTORES DE SEGURIDAD PARA LA ZONA Z-10 (Parámetros mínimos: C=1.4 Ton/m2, ø=10°, γ=2.14 Ton/m3)

	FS	CONDICION DE CARGA
FALLA CIRCULAR	1.55	Sin Sismo y Seco
	1.06	Con sismo y Seco

Los resultados de los análisis de estabilidad mostrados en la tabla anterior se presentan gráficamente en la figuras No.10.39 y 10.40 del Anexo No. 1.

Las obras diseñadas se presentan en el Anexo No. 3, Plano No. PZ-10.

La planta general donde se localizan todas las obras de mitigación se presenta en el Plano Z-PL-1 (Anexo No. 3) y las coordenadas para el replanteo de las mismas se muestra en el Plano Z-PL-2 (Anexo No. 3).

11.2 Procedimientos para la Fijación de Precios Unitarios

Para la fijación de los precios unitarios, en primera instancia se evaluó la procedencia de los materiales para las obras de mitigación los cuales deben ser adquiridos fuera del Barrio el Tesorito, en el área de influencia de la Localidad de Ciudad Bolívar. Con el costo de estos insumos básicos se estructuraron precios unitarios que se compararon con precios unitarios tomados de diversos contratos de construcción del DPAE (Licitación Pública No.011-99 – Obras de Mitigación Barrio Juan Pablo II Localidad de Ciudad Bolívar, Licitación Pública No. 014-99 – Obras de Mitigación

Barrio Santa Bibiana Sector Vista Hermosa Localidad de Ciudad Bolívar, Licitación Pública No.009-99 – Obras de Mitigación Barrio Jerusalén, Licitación Pública No. 012-99 – Obras de Mitigación Barrio Nueva España Localidad de San Cristóbal sur) y la EAAB-ESP (Proyectos de desmarginalización, actualmente en ejecución en la Localidad de Ciudad Bolívar).
Los precios unitarios presentados son el producto del balance de los criterios antes indicados.

11.3 Recomendaciones Constructivas y Manejo de Materiales

En las excavaciones, considerando que la totalidad de la exploración geotécnica fue realizada con equipo manual, es muy claro que el Contratista puede utilizar métodos manuales para efectuarlas, exceptuando las excavaciones para las obras de la zona Z-10 las cuales involucran roca fracturada.

Como primer paso en las excavaciones, se deberá efectuar un descapote del área en consideración procurando conservar e todo momento los posibles cespedones. Estos cespedones se podrán colocar posteriormente en los sitios en donde se requiera de empradización.
El material procedente de las excavaciones deberá ser retirado inmediatamente a los sitios de disposición previamente aprobados por la Interventoría.
Los límites de las excavaciones se deberán ajustar estrictamente a los indicados en los planos de construcción.
En el caso de las excavaciones para drenes no se deberá iniciar trabajos sin contar en el sitio de la obra con todos los elementos e insumos para su construcción. La zanja debe permanecer expuesta en menor tiempo posible con el fin de evitar el deterioro de las paredes y las molestias a los moradores del sector. La zanja deberá señalizarse en forma preventiva con cinta reflectiva, visible durante las 24 horas del día. Se deberá tener especial cuidado con el geotextíl instalado en la zanja en el momento de la colocación del material filtrante para evitar su rompimiento. El material de sello del filtro deberá ser colocado en capas de máximo 10 cm de espesor , compactado con equipo manual hasta alcanzar el 95% del próctor modificado.
En la excavación de la zanja, la colocación del geotextíl y del material filtrante deben hacerse en tramos y periodos cortos. Con esto se puede evitar apuntalamiento de las paredes, riegos de inundación, erosión de las paredes y pérdidas en la capacidad de soporte del terreno por cambios en su humedad natural.
Es buena práctica mantener el fondo de la excavación libre de agua estancada. La presencia de agua libre, unida unido a la reducción en los esfuerzos en los esfuerzos verticales totales causados por la excavación puede producir hinchamiento y ablandamiento del suelo. Adicionalmente, la alteración del fondo de la excavación que resulta por el movimiento del personal sobre la rasante ablandada puede ocasionar asentamientos nocivos para el funcionamiento del dren.

El agua de escorrentía superficial entrando en la excavación puede ser molesta, inoportuna y peligrosa. Además de la amenaza por inundación, ésta puede erodar taludes expuestos con posible pérdida de estabilidad y obstruir con sedimentos el fondo de las excavaciones. Varios medios de control de la escorrentía superficial como diques y zanjas pueden utilizarse. Es importante anotar que no se debe dejar estancar escorrentía superficial significativa porque ésta puede infiltrarse al terreno y crear presiones de agua que ablanden el suelo y desestabilicen la excavación.

Si por problemas de estabilidad del corte es necesario desarrollar taludes, se recomienda hacer una excavación vertical desde el fondo de la misma hasta 0.50 m y desde esta altura hasta la superficie, desarrollar los taludes requeridos.

En el caso de rellenos la superficie del terreno deberá estar libre de materia orgánica vegetación, materiales de desecho de construcción y otros materiales objetables.

Los materiales para los rellenos deberán protegerse contra cualquier tipo de contaminación y cubrirse en caso de lluvias intensas.

Para la construcción de los elementos en concreto después de realizada la excavación o el relleno respectivo se deberá fundir la estructura lo antes posible con el fin de evitar el deterioro de las superficies. La fabricación del concreto no deberá iniciarse hasta tanto no se concluya la colocación del refuerzo y de la formaletería respectiva. No deberá colocarse concreto durante períodos de lluvia y en caso de suceder el concreto fresco se protegerá con polietileno.

En el Anexo No. 4 (Memoria No. 11.3) se presentan las especificaciones técnicas de construcción.

11.4 Secuencias de Construcción y Prioridades

A continuación se presentan las secuencias de construcción y las prioridades que se recomiendan para implementar las obras diseñadas. Se hace notar que el constructor podrá emplear otras secuencias diferentes según su conveniencia, siempre y cuando el resultado final sea el indicado en los planos.

11.4.1 *Secuencias de Construcción*

11.4.1.1 Zona Z-1.

Replanteo Topográfico de las obras

Desmonte, limpieza y descapote del área.

Reubicación familias.

Demolición viviendas existentes (No. 43 y 44 – ver Anexo No. 3 Plano predial No. 8.1 e inventario de viviendas capítulo 7)

Construcción del sistema de drenes para abatir el nivel de agua.

Construcción del terraceo recomendado (taludes 3H:1V y berma intermedia de 6 m).
Empradización de taludes.

11.4.1.2 Zona Z-2.

Replanteo Topográfico de las obras.
Desmonte, limpieza y descapote del área.
Construcción de cunetas de drenaje.
Colocación y compactación del relleno.
Empradización de taludes.

11.4.1.3 Zona Z-3

Replanteo Topográfico de las obras.
Desmonte, limpieza y descapote del área.
Construcción de muro de gaviones.

11.4.1.4 Zona Z-4

Replanteo Topográfico de las obras.
Desmonte, limpieza y descapote del área.
Conformación de taludes de corte.
Construcción de cunetas y estructura de caída (Gradería)
Empradización de taludes.

11.4.1.5 Zona Z-5

Replanteo Topográfico de las obras.
Reubicación familias.
Demolición vivienda existente (No.93 – ver Anexo No. 3 Plano predial No. 8.1 e inventario de viviendas capítulo 7)
Desmonte, limpieza y descapote del área.
Conformación de taludes de corte.
Empradización de taludes.
Siembra de árboles.

11.4.1.6 Zona Z-6

Replanteo Topográfico de las obras.
Construcción del sardinel de la calle 80 B sur.
Desmonte, limpieza y descapote de áreas.
Construcción sistema de entrega al Zanjón del recuerdo.
Construcción de drenes desde parte baja hacia parte alta del talud.
Empradización sobre los drenes.

11.4.1.7 Zona Z-8.

Replanteo Topográfico de las obras.
Construcción zanja de coronación con sistema de entrega.
Conformación de taludes de corte.
Empradización de taludes.
Siembra de Arborización.

11.4.1.8 Zona Z-10.

Replanteo Topográfico de las obras.
Construcción zanjas de coronación con sistema de entrega.
Conformación de taludes de corte.
Construcción de estructura de caída.
Construcción de cunetas inferiores.
Empradización de taludes.

11.5 Prioridades

La zona de riesgo Z-6 en la que se presentó una emergencia por un FRM es la primera que debe ser intervenida por el contratista de construcción. Es importante anotar que no se pueden construir las obras de la zona Z-8 hasta tanto no se haya construido el sistema de entrega al Zanjón del Recuerdo de la zona Z-6, pues estas dos zonas drenan al Zanjón del Recuerdo por un mismo sistema.

En forma simultánea o inmediatamente posterior a la construcción de las obras de mitigación de la zona Z-6, se debe acometer la construcción de las obras de la zonas de riesgo Z-1 y Z-2 que muestran evidencias de movimiento por el agrietamiento de sus construcciones.

Una vez construidas las obras de las zonas Z-1 y Z-2, se podrá construir la zona Z-10.

Finalmente se puede proceder a la construcción de las obras de las demás zonas de riesgo en cualquier orden.

11.6 Planteamiento Paisajístico y Mejoramiento Urbano

11.6.1 *Antecedentes.*

La Alcaldía Mayor de Santafé de Bogotá por intermedio de la Dirección para la Atención y Prevención de Desastres, esta empeñada en estudiar detenidamente todas aquellas circunstancias del acelerado desarrollo bogotano en que múltiples anomalías amenazan de diferente forma a los pobladores, causantes directos, frecuentemente, de las mismas.

El presente caso se refiere a los malos manejos de un terreno en extensión aproximada de 250 x 250 m., en que la explotación inicial de la cantera y la posterior urbanización pirata, irresponsable y abusiva, condujeron a 92 “propietarios” explotados e indefensos, a condiciones de alto riesgo por

posibles desprendimientos masivos de suelo.

Luego de un detallado levantamiento topográfico y más detallado aún, estudio de suelos, Geotecnistas e Ingenieros en diferentes especialidades, determinan un tratamiento preventivo de fallas, que complementa con el presente documento - Estudio.

El objetivo de este análisis urbano es prefigurar elementos de normatización en una estructura irregular que está incorporándose de mala manera al tejido urbano general. Tesorito nace y se está desarrollando de manera anómala. Aquí se examina su condición actual buscando sustentar en ella diversas reformas que mejoren su condición futura.

No obstante la anterior pretensión, el alcance de esta análisis es muy limitado y la formulación final de una propuesta de tratamiento se da como simple y elemental recomendación, al referéndum de las respectivas Entidades Distritales involucradas en el manejo del caso.

La sola condición de inestabilidad presente allí, con un terreno que a simple vista cambia de forma mes a mes y viviendas que manejan artesanalmente asentamientos de 20 y mas centímetros semanales, impide entrar en exhaustivos estudios y obliga mas bien a formular aceleradamente un marco de referencia que sirva de guía a las acciones de emergencia por tomar. Acciones preventivas, estabilizadoras, regenerativas, estructurantes, enriquecedoras de un hábitat general urbano severamente maltratado.

11.7 Determinantes de Localización

“Tesorito”pertenece a los más recientes crecimientos de la ciudad hacia el sur, siguiendo el eje vial Bogotá - Usme y Bogotá - Villavicencio, este último definido hoy día como prolongación de la Avenida Boyacá.

La muy importante conexión vial o intersección Avenida Caracas / Avenida Villavicencio / Avenida Boyacá, es el más identificable referente urbano; el barrio está al sur occidente de este nodo y las vías mencionadas son sus principales conectores con el resto de la malla urbana. Es un desarrollo de periferia urbana, subnormal, de mínimos estándares, desarrollo progresivo, bajas densidades, estrato socioeconómico 1, cuyas fortalezas nacen de la aterradora magnitud del fenómeno. En solo 20 años (1.980 - 2.000) se asentó en esta zona una población mayor a la que tuvo Bogotá después de tres y medio siglos de fundada.

Desafortunadamente el mapa no presenta topografía, pero si permite leer una conformación de ciudad muy irregular, de muy pequeñas manzanas y alto porcentaje de área en vías, sin que exista categorización de las mismas: de la interregional Boyacá se pasa directamente a carreteables de doble calzada mínima y a bajo de ellos se conforma todo el trazado, que va prolongándose en todo sentido, sin consideración alguna, a condicionantes naturales o de otro orden.

Al aparecer el Estado, después de los invasores y urbanizadores piratas, encuentra condiciones totalmente anómalas para la provisión de servicios y la ciudad resultante es la más costosa e

ineficiente de todas las posibles.

El mapa, tomado literalmente, indicaría que el desarrollo de tesorito corresponde principalmente a los 5 últimos años.

11.8 Estructuración Interna

11.8.1 Geomorfología

11.8.1.1 Propuesta de Tratamiento.

11.8.1.1.1 Acciones

Estructuración vial de Infraestructura básica de servicios:

Los corredores públicos viales son el espacio por el cual puede hacerse llegar a la propiedad privada, transporte, acueducto, alcantarillado, energía eléctrica, gas telefonía, recolección de basuras etc.

Estructuración de la Propiedad.

Se aumenta el loteo para vivienda de 92 predios actuales a 110, lo que significa una más intensa utilización del suelo urbano.

Estructuración Verde.

Dentro del marco prefijado por las obras de mitigación, complementándolas, se definen franjas para siembra de árboles que cumplan variadas funciones:

- Enriquecimiento de visuales.
- Oxigenación/Purificación del aire.
- Protección peatonal del sol y de la lluvia.
- Soporte y enriquecimiento del suelo.
- Enriquecimiento de la fauna y la flora.

Adicionalmente se empradizan los interiores libres del barrio con kikuyo, pasto de muy fuerte y densa raización, altamente controladora de la erosión.

Estructuración Cultural Recreativa.

Nueve plazas temáticas (para infantes, de gimnasia, adultos, pasivas, para ancianos), distribuidas según las disponibilidades topográficas y de área, conectadas a una malla peatonal de senderos garantizan un enriquecimiento tangible de las nulas posibilidades actuales recreativas de la población local.

Acorde con las limitaciones del contrato, el planteamiento paisajístico – y de mejoramiento urbano no constituye un diseño final detallado para construcción, pero si un indicador de posibilidades y /o potencialidades del predio en estudio.

Las denominadas “Zonas – Parque” indicadas en el plano Paisajístico y de Mejoramiento Urbano corresponden en todos los casos a zonas de tratamiento arquitectónico con obras de mitigación –

estabilización del terreno, en donde, con posterioridad a dichas obras y con posterioridad al logro estabilizador de las mismas, se recomiendan tratamientos que las habiliten al uso comunitario como recreativas, deportivas, contemplativas, etc. .

Dadas las difíciles condiciones topográficas se requerirán de diseños arquitectónicos muy detallados (Imposibles de considerar dentro del alcance de este estudio de riesgos) en que se incluyan tanto la configuración final del terreno intervenido por las medidas de mitigación de FRM y todas medidas preventivas o de aseguramiento para los usuarios. Se resalta sin embargo que esas mismas dificultades o escabrosidad del terreno son parte importante de su singularidad, atractivo y potencialidades.

En el Anexo No. 4 (Memoria No. 11.4) se presentan las memorias del Planteamiento Paisajístico y Mejoramiento Urbano. En el Plano PZ-11 se muestra en planta el Planteamiento Conceptual General Paisajístico y Urbanístico.

11.9 Resumen de Costos

De acuerdo con los presupuestos detallados de las diferentes zonas presentados en el Anexo No. 2 cuadro No. 10.1, a continuación se presenta el resumen de costos de las alternativas de mitigación, tabla 11.11:

TABLA No. 11.11 RESUMEN DE COSTOS DE LAS ALTERNATIVAS DE MITIGACION

ZONA	COSTOS DE OBRA	COSTO DE RELOCALIZACIÓN TEMPORAL	COSTOS DE CASAS A RELOCALIZAR	COSTO OBRAS DE PAISAJISMO	IMPREVISTOS (10%)	COSTO ESTIMADO TOTAL
Z-1	$15.767.000	$1.000.000	$12.000.000	$11.826.685	$4.059.369	$44.653.054
Z-2	$47.462.700	-	-	$11.826.685	$5.928.939	$65.218.324
Z-3	$2.646.600	-	-	$11.826.685	$1.447.328	$15.920.614
Z-4	$3.919.000	-	-	$11.826.685	$1.574.569	$17.320.254
Z-5	$6.710.000	$500.000	$6.000.000	$11.826.685	$2.503.669	$27.540.354
Z-6	$23.870.000	$500.000	$6.000.000	$11.826.685	$4.219.669	$46.416.353
Z-8	$6.170.000	-	-	$11.826.685	$1.799.669	$19.796.354
Z-10	$20.921.500	-	-	$11.826.681	$3.274.818	$36.022.999
TOTAL	$127.466.800	$2.000.000	$24.000.000	$94.613.476	$24.808.030	$272.888.303

12 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1 Acerca del Estudio Geológico y Geomorfológico

Las unidades geológicas regionales con influencia en el área de estudio, comprenden desde rocas del Cretáceo Terciario hasta depósitos y suelos Cuaternarios.

La zona de interés se caracteriza por ser una de las partes mas fuertemente plegadas en la Cordillera Oriental, con numerosas fallas, lineamientos y pliegues, de los cuales solamente las estructuras principales reciben nombres específicos. El área de estudio se localiza regionalmente entre el eje del Anticlinal de Cheba y el Sinclinal de Tunjuelito.

El área de estudio se encuentra enmarcada dentro de una unidad geomorfológica de relieve colinado de control estructural, con crestas redondeadas, que corresponde a materiales arcillosos principalmente.

Las unidades en las que se dividió el área de estudio están directamente relacionadas con el grado de intervención antrópica, por ser este el factor de degradación de mayor influencia en el área de estudio.

De acuerdo con la evaluación de Cambios Morfológicos a partir de Fotografías Aéreas se pudo establecer que en 1977 la vía del sector occidental (Cra 18F) ya había sido construida y al parecer no se dispuso de alcantarillas para garantizar la continuidad de las aguas del Zanjón del Recuerdo lo que comenzó a generar una zona de inundación en el costado occidental de la vía, que aún hoy día permanece y ha comenzado a drenar por encima de la vía, generando un nuevo cauce que está restableciendo el cruce original del Zanjón.

En el costado oriental el Zanjón presentaba un brazo corto de alta erosión que quedó abandonado al interrumpirse el cauce por la construcción de la vía. Este cauce fue prácticamente invadido con la construcción de un relleno mixto (escombros de construcción, basuras, material de descapote) sobre el cual fueron construidas algunas viviendas que han presentado problemas de asentamientos diferenciales.

Fotografías más recientes (1992), muestran que sobre este lecho aún no se habían realizado los rellenos, por lo que se consideran como rellenos relativamente recientes.

En el sector nororiental se observa (1972), una intensa actividad minera por el desarrollo de excavaciones circulares en forma de huecos, algunos de los cuales están hoy día llenos de agua. La morfología de este sector es la de una ladera corta, de inclinación media con escarpes abruptos producto de la explotación minera. En el año de 1992 se observa un progreso de las excavaciones y comienza a evidenciarse la explanación que se observa hoy en día en la parte baja del Área de estudio. Del análisis anterior se deducen los rellenos antiguos marcados en el plano geológico y se anticipan problemas geotécnicos en las construcciones situadas sobre ellos.

El sector donde se localiza la actual fábrica de cal correspondía a una vía de acceso hacia las explotaciones mineras centrales. La construcción de la vía implicó algunos rellenos sobre el Zanjón del Recuerdo. Durante la construcción de la fábrica, parte de los rellenos fueron removidos y se depositaron nuevos rellenos que modificaron el cauce del Zanjón y sobre los cuales se presentan actualmente problemas de asentamiento en los muros de dicha fábrica.

En el sector central entre la casa central y la colina suroriental, existía un pequeño caño de alta incisión que remataba a la altura de la calle 80B en una zona amplia de erosión intensa y alta densidad de drenaje, que se prolongaba hacia el sur en el antigua barrio. En este sector no existía ni la calle 80B, ni el sector sur de la Cra 18F, ni las viviendas del costado suroccidental.

En el año de 1992 se observa que todo el cauce de este caño fue rellenado, se construyeron las vías faltantes a la configuración actual del barrio y las viviendas de este sector, algunas localizadas adaptándose a la topografía y otras sobre rellenos producidos por la excavación y regularización morfológica del área. Los drenajes naturales antiguos fueron parcialmente modificados y algunas viviendas se construyeron sobre los mismos obstruyendo el drenaje natural.

A pesar de las edificaciones el agua sigue hoy día drenando por este sector y originando problemas de inundación a los moradores.

La identificación de esta zona de erosión antigua, explica suficientemente los problemas de estabilidad reportados en este sector.

12.2 Acerca del Estudio Geotécnico y de Estabilidad de Taludes.

De acuerdo con la exploración geotécnica efectuada, el perfil característico de los suelos existentes en el área del estudio es el siguiente:

Capa Vegetal

Desde la superficie del terreno y hasta aproximadamente 0.15 m de profundidad, se encuentra una CAPA VEGETAL constituida por pasto y raíces.

Estrato 1

Debajo de la capa vegetal y hasta una profundidad variable entre 0,35 m, y 1,70 m se encuentra un relleno heterogéneo de escombros de construcción y basuras en una matriz de arcilla limosa carmelita grisácea de compactación baja.

Estrato 2

Debajo del estrato 1 y hasta una profundidad variable entre 0,55 m y 2.70 m, se encuentra una ARCILLA LIMOSA gris con vetas oxidadas amarillas, algunas raíces finas, plasticidad media a alta, consistencia firme.

Estrato 3

Debajo del estrato 2 y hasta una profundidad variable entre 2,30 m y más de 4,05 m, se encuentra una ARCILLA LIMOSA gris clara a gris rojiza, con vetas oxidadas habanas, amarillas o violetas, de

consistencia firme a muy firme. (Suelo Residual).

Estrato 4

Debajo del estrato 3 y hasta una profundidad variable entre 2,10 m y 3,15 m, se encuentra una ARCILLOLITA limosa gris clara a rojiza, vetas oxidadas habanas y amarillas, algunos tonos violeta, plasticidad alta, consistencia firme a dura.

Estrato 5

Finalmente se encontró una ARENISCA fina limosa habana amarillenta, consistencia dura (N> 50 golpes/pie).

De acuerdo con los parámetros de resistencia determinados con los ensayos de corte directo se adoptaron los siguientes parámetros de resistencia para los análisis de estabilidad.

Cmin= 1.4 t/m2

Ø min= 10°

Cmax= 2.0 t/m2

Ø max=24°

La evaluación del estado actual de los taludes del área del estudio arrojaron factores de seguridad promedio para todas las zonas estudiadas del orden de 1.20 en condición estática y del orden de 0.98 en condición dinámica, lo cual es indicativo de la necesidad de implementar obras para mejorar su condición actual llevando estos factores de seguridad a los mínimos recomendados de 1.5 en condición estática y 1.1 en condición dinámica.

12.3 Acerca de la Evaluación de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo.

En el capítulo 7 se hizo el análisis de amenaza por fenómenos de remoción en masa cuyos resultados se plasmaron en el Anexo No. 3 Plano No. 7.1. El Análisis de vulnerabilidad se presentó en el capítulo 8 y en el Anexo No. 3 Plano No.8.2.

De acuerdo con el análisis del Riesgo plasmado en el capítulo 9 y en el Anexo No. 3 Plano 9.1 se concluye que el número total de viviendas expuestas a amenaza por FRM es de 42, que representan el 42 % de las construcciones del área, de estas el 48 % son tugurios, el 40 % son casas de mampostería o prefabricadas, el 12 % corresponde a casas hasta de 2 niveles con estructura y el 31 % a lotes vacíos.

El área total expuesta a amenaza por FRM es de 13,053 m2, de los cuales el 75 % corresponde a lotes baldíos o áreas comunes. La población total expuesta a amenaza por FRM es de 218 personas, de los cuales se estima que el 33 % pueden ser damnificados directos.

Las pérdidas económicas directas por FRM se estiman en 171 millones de pesos por daños en edificaciones y en el terreno, mas 81 metros lineales de vías y 312 metros lineales de redes telefónicas, eléctricas y de alcantarillados pluvial y sanitario.

12.4 Acerca de la Evaluación de las Alternativas de Mitigación.

De acuerdo al resultado de los análisis de estabilidad efectuados a las distintas alternativas de mitigación planteadas en cada una de las zonas de riesgo, y su correspondiente evaluación de beneficio / costo, las obras que ofrecen una aceptable condición de estabilidad a los taludes del Barrio El Tesorito son las siguientes, tabla 12.1:

TABLA No.12.1
ALTERNATIVAS DE MITIGACION SELECCIONADAS

OBRAS	ZONA DE RIESGO							
	Z-1	Z-2	Z-3	Z-4	Z-5	Z-6	Z-8	Z-10
Relleno.		▭						
Muro en Gaviones			▭					
Terraceo	▭			▭	▭		▭	▭
Drenajes						▭		

El costo de las estas obras de mitigación se estima en $ $ 272.9 millones de pesos.

12.5 Recomendaciones

Se recomienda efectuar las obras de mitigación planteadas en el cuadro anterior de acuerdo a los diseños detallados de las mismas.

La zona de riesgo Z-6 en la que se presentó una emergencia por un FRM es la primera que debe ser intervenida por el contratista de construcción. Es importante anotar que no se pueden construir las obras de la zona Z-8 hasta tanto no se haya construido el sistema de entrega al Zanjón del Recuerdo de la zona Z-6, pues estas dos zonas drenan al Zanjón del Recuerdo por un mismo sistema. En forma simultánea o inmediatamente posterior a la construcción de las obras de mitigación de la zona Z-6, se debe acometer la construcción de las obras de la zonas de riesgo Z-1 y Z-2 que muestran evidencias de movimiento por el agrietamiento de sus construcciones. Una vez construidas las obras de las zonas Z-1 y Z-2, se podrá construir la zona Z-10. Finalmente se puede proceder a la construcción de las obras de las demás zonas de riesgo en cualquier orden.

Es indispensable conocer los diseños previstos por la EAAB para la recuperación del Zanjón del Recuerdo con el objeto de evaluar su consistencia con las medidas de mitigación planteadas. En el presente estudio no fue posible obtener esta importante información.

Una vez implementadas las obras es recomendable instrumentar los taludes principalmente los correspondientes a la zona Z-6 y Z-1con el fin de observar su comportamiento y tomar las acciones preventivas del caso.

Es indispensable que se tomen medidas inmediatas acerca de normatizar por parte de las autoridades la prohibición de los usos del suelo para desarrollos de asentamientos humanos en las zonas clasificadas como riesgo media y alto, a pesar de implementarse las medidas de mitigación

que aquí se recomiendan. Ellas por si solas no garantizan la integridad de los habitantes de las áreas estudiadas.

Es indispensable como medida de mitigación complementaria de las aquí recomendadas, que el Instituto de Desarrollo Urbano IDU o la entidad competente, complete la pavimentación de la calle 80B sur debido a que el tramo que actualmente no está construido actúa como vertedero directo de aguas de escorrentía sobre los taludes de la zona Z-6. Esta situación fue uno de los factores detonantes de la emergencia y reubicación de familias ocurrida hace 2 años.

En la zona Z-6 se recomienda la reubicación de la vivienda referenciada como No. 71. Su precaria calidad constructiva la hace altamente vulnerable a sufrir colapso estructural.

En la zona Z-1 se recomienda la reubicación de las viviendas No. 43 y 44 pues son afectadas por las obras de mitigación recomendadas para estabilizar la zona.

Se recomienda adelantar los diseños detallados del plan de paisajismo y mejoramiento urbano propuesto en este estudio. Resulta de importancia fundamental para alcanzar los propósitos de un plan como éste, las actividades del DPAE en la atención, manejo y mitigación de situaciones de amenaza por eventos naturales, con fuerte componente antrópica en las condiciones marginales de segmentos de la población, a través de estudios de riesgos como el aquí desarrollado, y las actividades del DAMA en torno al mejoramiento del medio ambiente a las de la EAAB en la recuperación de los cauces naturales como el del Zanjón del Recuerdo.

Las denominadas “Zonas – Parque” indicadas en el plano Paisajístico y de Mejoramiento Urbano corresponden en todos los casos a zonas de tratamiento arquitectónico con obras de mitigación – estabilización del terreno, en donde, con posterioridad a dichas obras y con posterioridad al logro estabilizador de las mismas, se recomiendan tratamientos que las habiliten al uso comunitario como recreativas, deportivas, contemplativas, etc. Dadas las difíciles condiciones topográficas se requerirán de diseños arquitectónicos muy detallados (Imposibles de considerar dentro del alcance de este estudio de riesgo) en que se incluyan tanto la configuración final del terreno intervenido por las medidas de mitigación de FRM y todas medidas preventivas o de aseguramiento para los usuarios. Se resalta sin embargo que esas mismas dificultades o escabrosidad del terreno son parte importante de su singularidad, atractivo y potencialidades.