



ALCALDÍA MAYOR DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ D.C.
FONDO PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS
FOPAE

**ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA,
EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y
DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS
PARA ESTABILIZAR LA LADERA DONDE SE ENCUENTRAN
LOS BARRIOS ALTOS DEL VIRREY Y MORALBA, LOCALIDAD
DE SAN CRISTÓBAL**

INFORME FINAL

UNIÓN TEMPORAL



SANTAFÉ DE BOGOTÁ D.C, DICIEMBRE DE 1999

ÍNDICE GENERAL

| | PÁGINA | |
|---------|---|------|
| 1 | GENERALIDADES | 1.1 |
| 1.1 | Introducción | 1.1 |
| 1.2 | Recopilación y análisis de información | 1.2 |
| 1.3 | Organización del informe | 1.3 |
| 2 | RESUMEN | 2.1 |
| 2.1 | Descripción del problema y sus posibles causas | 2.1 |
| 2.2 | Requerimientos de topografía y exploración del subsuelo | 2.3 |
| 2.3 | Modelos y metodologías de análisis | 2.3 |
| 3 | LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO | 3.1 |
| 3.1 | Método de trabajo | 3.1 |
| 4 | ESTUDIO GEOLÓGICO | 4.1 |
| 4.1 | Metodología | 4.1 |
| 4.2 | Geología del área | 4.1 |
| 4.2.1 | Geología regional | 4.1 |
| 4.2.2 | Geología Local | 4.2 |
| 4.2.2.1 | Generalidades | 4.2 |
| 4.2.2.2 | Mapa geológico | 4.2 |
| 4.2.3 | Geología Estructural | 4.8 |
| 4.3 | Geomorfología | 4.8 |
| 4.3.1 | Mapa geomorfológico | 4.8 |
| 4.3.2 | Morfodinámica Actual | 4.10 |
| 5 | ESTUDIO HIDROLÓGICO | 5.1 |
| 5.1 | Generalidades | 5.1 |
| 5.1.1 | Características de la Cuenca | 5.1 |
| 5.2 | Precipitación | 5.2 |
| 5.3 | Caudales máximos de la quebrada El Zuque | 5.8 |
| 5.3.1 | Amenaza por inundaciones | 5.9 |
| 6 | INVESTIGACION DEL SUBSUELO | 6.1 |
| 6.1 | Plan de exploración del subsuelo | 6.1 |
| 6.2 | Ensayos de laboratorio | 6.2 |
| 6.3 | Análisis de resultados | 6.3 |
| 6.3.1 | Parámetros de resistencia | 6.3 |
| 6.3.2 | Parámetros de resistencia adoptados | 6.6 |

| | | |
|---------|---|------|
| 6.3.3 | Otros parámetros | 6.6 |
| 6.4 | Estratigrafía | 6.7 |
| 7. | AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA | 7.1 |
| 7.1. | Introducción | 7.1 |
| 7.2. | Zonas homogéneas | 7.1 |
| 7.2.1. | Zona A | 7.2 |
| 7.2.2. | Zona B | 7.3 |
| 7.2.3. | Zona C | 7.3 |
| 7.2.4. | Zona D | 7.3 |
| 7.2.5. | Zona E | 7.3 |
| 7.2.6. | Zona F | 7.3 |
| 7.2.7. | Zona G | 7.3 |
| 7.2.8. | Zona H | 7.3 |
| 7.2.9. | Zona I | 7.4 |
| 7.2.10. | Zona J | 7.4 |
| 7.2.11. | Zona K | 7.4 |
| 7.2.12. | Zona L | 7.4 |
| 7.2.13. | Zona M | 7.4 |
| 7.3. | Variables aleatorias | 7.4 |
| 7.4. | Análisis probabilístico de estabilidad | 7.5 |
| 7.4.1. | Probabilidades de falla a corto plazo | 7.6 |
| 7.4.2. | Probabilidades de falla a mediano plazo | 7.6 |
| 7.5. | Resultados obtenidos | 7.7 |
| 7.5.1 | Zona A | 7.7 |
| 7.5.2 | Zona B | 7.8 |
| 7.5.3 | Zona C | 7.9 |
| 7.5.4 | Zona D | 7.10 |
| 7.5.5 | Zona E | 7.11 |
| 7.5.6 | Zona F | 7.12 |
| 7.5.7 | Zona G | 7.13 |
| 7.5.8 | Zona H | 7.14 |
| 7.5.9 | Zona I | 7.15 |
| 7.5.10 | Zona J | 7.16 |
| 7.5.11 | Zona K | 7.17 |
| 7.5.12 | Zona L | 7.18 |
| 7.5.13 | Zona M | 7.19 |
| 7.6. | Zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa | 7.20 |
| 7.6.1 | Amenaza a corto plazo | 7.20 |
| 7.6.2 | Amenaza a largo plazo | 7.21 |
| 7.7 | Conclusiones | 7.21 |
| 7.7.1 | Zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa | 7.21 |
| 7.7.2 | Acciones recomendadas | 7.23 |
| 8. | VULNERABILIDAD POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA | 8.1 |

| | | |
|--------|--|------|
| 8.1 | Introducción | 8.1 |
| 8.2 | Metodología | 8.1 |
| 8.2.1 | Tipificación de las viviendas | 8.1 |
| 8.2.2 | Clasificación de los daños | 8.2 |
| 8.2.3 | Solicitaciones | 8.3 |
| 8.2.4 | Criterios de intensidad | 8.4 |
| 8.2.5 | Índice de vulnerabilidad física | 8.5 |
| 8.3 | Encuestas sobre el hábitat | 8.6 |
| 8.3.1 | Estructura urbana | 8.7 |
| 8.3.2 | Las edificaciones | 8.8 |
| 8.3.3 | Áreas verdes y libres | 8.9 |
| 8.3.4 | Equipamiento urbano y población | 8.10 |
| 8.3.5 | Servicios públicos | 8.12 |
| 8.3.6 | Estimación de costos | 8.14 |
| 8.4 | Categorización de la vulnerabilidad | 8.14 |
| 8.5 | Conclusiones y recomendaciones | 8.14 |
| 9 | RIESGO | 9.1 |
| 9.1 | Introducción | 9.1 |
| 9.2 | Metodología | 9.1 |
| 9.3 | Zonificación por riesgo ante fenómenos de remoción en masa | 9.1 |
| 9.4 | Conclusiones y recomendaciones | 9.1 |
| 10 | ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN | 10.1 |
| 10.1 | Introducción | 10.1 |
| 10.2 | Planteamiento de alternativas de solución | 10.1 |
| 10.3 | Alternativas de solución y presupuesto aproximado | 10.2 |
| 10.3.1 | Sitio 1 | 10.2 |
| 10.3.2 | Sitio 2 | 10.4 |
| 10.3.3 | Sitio 3 | 10.4 |
| 10.3.4 | Sitio 4 | 10.5 |
| 10.3.5 | Sitio 5 | 10.6 |
| 10.3.6 | Sitio 6 | 10.6 |
| 10.3.7 | Sitio 7 | 10.7 |
| 10.3.8 | Sitio 8 | 10.7 |
| 11 | DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN | 11.1 |
| 11.1 | Obras Recomendadas | 11.1 |
| 11.1.1 | Sitio 1 | 11.1 |
| 11.1.2 | Sitio 2 | 11.3 |
| 11.1.3 | Sitio 3 | 11.3 |
| 11.1.4 | Sitio 4 | 11.5 |
| 11.1.5 | Sitio 5 | 11.5 |
| 11.1.6 | Sitio 6 | 11.6 |
| 11.1.7 | Sitio 7 | 11.7 |

| | | |
|----------|-----------------------------------|-------|
| 11.1.8 | Sitio 8 | 11.7 |
| 11.2 | Diseño de Obras Hidráulicas | 11.8 |
| 11.2.1 | Cunetas y canales | 11.8 |
| 11.2.2 | Diseño de la Poceta | 11.8 |
| 11.2.3 | Trinchera de Drenaje | 11.8 |
| 11.3 | Memorias de cálculo | 11.9 |
| 11.4 | Cantidades de Obra y Presupuestos | 11.9 |
| 11.5 | Especificaciones técnicas | 11.9 |
| 11.5.1 | Especificaciones generales | 11.13 |
| 11.5.2 | Especificaciones particulares | 11.14 |
| 11.5.2.1 | Geomembrana | 11.14 |
| 11.5.2.2 | Bolsacretos | 11.15 |
| 11.5.2.3 | Drenes horizontales | 11.16 |

LISTA DE TABLAS

| TABLA No. | CONCEPTO | PÁGINA |
|-----------|---|--------|
| 1.1 | Planchas 1:2000 del IGAC utilizadas | 1.2 |
| 1.2 | Relación de fotografías aéreas | 1.3 |
| 3.1 | Coordenadas y cotas de vértices y mojones | 3.1 |
| 5.1 | Relación entre la lluvia crítica anual para la ciudad de Santa Fe de Bogotá (INGEOCIM-UPES, 1998) | 5.5 |
| 5.2 | Cálculos de caudales de la quebrada El Zuque | 5.10 |
| 6.1 | Trabajos de exploración del subsuelo | 6.1 |
| 6.2 | Tabla de Resultados. SONDEOS | 6.13 |
| 6.3 | Cálculo de los parámetros cohesión y ángulo de fricción interno. | 6.16 |
| 7.1 | Características de las zonas homogéneas | 7.2 |
| 7.2 | Parámetros y valores de las variables utilizadas en el modelo probabilístico de estabilidad | 7.5 |
| 7.3 | Resultados obtenidos para la Zona A | 7.8 |
| 7.4 | Resultados obtenidos para la Zona B | 7.9 |
| 7.5 | Resultados obtenidos para la Zona C | 7.10 |
| 7.6 | Resultados obtenidos para la Zona D | 7.11 |
| 7.7 | Resultados obtenidos para la Zona E | 7.12 |
| 7.8 | Resultados obtenidos para la Zona F | 7.13 |
| 7.9 | Resultados obtenidos para la Zona G | 7.14 |
| 7.10 | Resultados obtenidos para la Zona H | 7.15 |
| 7.11 | Resultados obtenidos para la Zona I | 7.16 |
| 7.12 | Resultados obtenidos para la Zona J | 7.17 |
| 7.13 | Resultados obtenidos para la Zona K | 7.18 |
| 7.14 | Resultados obtenidos para la Zona L | 7.19 |
| 7.15 | Resultados obtenidos para la Zona M | 7.20 |
| 7.16 | Criterios de zonificación de amenaza a corto plazo | 7.20 |
| 7.17 | Criterios de zonificación de amenaza a largo plazo | 7.21 |
| 7.18 | Zonificación de amenaza FMR a corto plazo | 7.21 |
| 7.19 | Zonificación de amenaza FMR a largo plazo | 7.22 |
| 7.20 | Sitios recomendados para llevar a cabo obras de mitigación o prevención de amenazas por fenómenos de remoción en masa | 7.23 |
| 8.1 | Clasificación de la tipología de vivienda | 8.2 |

| | | |
|-------|--|-------|
| 8.2 | Clasificación de los daños según el DRM | 8.2 |
| 8.3 | Rangos de velocidad utilizadas en el estudio (Zonas A) | 8.4 |
| 8.4 | Categorías de presiones laterales utilizadas en el estudio | 8.4 |
| 8.5 | Matriz de daño (índice de daño Potencial IDp) | 8.5 |
| 8.6 | Valores de IP utilizados para valorar el ID en el estudio | 8.6 |
| 8.7 | Criterios de categorización de la vulnerabilidad de las edificaciones ante fenómenos de remoción en masa | 8.14 |
| 9.1 | Criterio de categorización del riesgo de las edificaciones por fenómenos de remoción en masa | 9.1 |
| 10.1 | Alternativas de solución del Sitio 1 | 10.3 |
| 10.2 | Alternativas de solución del Sitio 2 | 10.4 |
| 10.3 | Alternativas de solución del Sitio 3 | 10.5 |
| 10.4 | Alternativas de solución del Sitio 4 | 10.6 |
| 10.5 | Alternativas de solución del Sitio 5 | 10.6 |
| 10.6 | Alternativas de solución del Sitio 6 | 10.7 |
| 10.7 | Alternativas de solución del Sitio 7 | 10.7 |
| 10.8 | Alternativas de solución del Sitio 8 | 10.8 |
| 11.1 | Lotes afectados en el sitio 1 | 11.2 |
| 11.2 | Lotes afectados en el sitio 3 | 11.4 |
| 11.3 | Lotes afectados en el sitio 6 | 11.7 |
| 11.4 | Lotes afectados en el sitio 7 | 11.7 |
| 11.5 | Cálculo de cunetas | 11.10 |
| 11.6 | Cálculo de canales | 11.11 |
| 11.7 | Presupuesto estimado para las obras del Sitio 1 | 11.19 |
| 11.8 | Presupuesto estimado para las obras del Sitio 2 | 11.19 |
| 11.9 | Presupuesto estimado para las obras del Sitio 3 | 11.20 |
| 11.10 | Presupuesto estimado para las obras del Sitio 4 | 11.20 |
| 11.11 | Presupuesto estimado para las obras del Sitio 5 | 11.21 |
| 11.12 | Presupuesto estimado para las obras del Sitio 6 | 11.21 |
| 11.13 | Presupuesto estimado para las obras del Sitio 7 | 11.21 |
| 11.14 | Presupuesto estimado para las obras del Sitio 8 | 11.22 |

LISTA DE FOTOS

| FOTO No. | CONCEPTO | PÁGINA |
|----------|--|--------|
| 4.1 | Perfil de suelo residual desarrollado sobre las arcillolitas de la Formación Bogotá (Tb). En sectores el espesor de estos suelos alcanza los 5 metros. | 4.4 |
| 4.2 | Depósito de flujos de tierra. Así mismo se observan los rellenos antrópicos y hacia la izquierda de la fotografía (sector de construcciones) la unidad de origen fluvio-glaciario | 4.5 |
| 4.3 | Depósito fluvio-glaciario, aguas debajo de la Quebrada El Zuque. Constituido por materiales heterogéneos yace discordantemente sobre la Formación Bogotá | 4.5 |
| 4.4 | Depósito de origen torrencial en la Q. El Zuque. Bloques con diámetro mayor a 1m. | 4.6 |
| 4.5 | Relleno de origen antrópico cuyos materiales son principalmente corresponden a escombros de construcción. Tiene un espesor, que alcanzando hasta los 10 metros. Este relleno se ha deslizado. | 4.7 |
| 4.6 | Rellenos con materiales producto del corte de las vías del baño. | 4.7 |
| 4.7 | Sector de la zona de estudio donde se presentan fenómenos de remoción en masa como deslizamientos (obsérvense las cicatrices), reptamiento, erosión laminar y un flujo lento de tierras. | 4.11 |
| 4.8 | Procesos de erosión laminar y surcos de la zona de estudio. Se requieren implementar prácticas de conservación inmediatas para evitar el avance de este fenómeno. | 4.12 |
| 4.9 | Margen derecha aguas abajo de la Q. El Zuque. Aquí se presentan fenómenos de erosión., Desprendimientos de la parte superior del talud y socavación lateral que ameritan un estudio particular para su control y mitigación. | 4.13 |
| 5.1 | Detalle de la Quebrada El Zuque. | 5.2 |

LISTA DE FIGURAS

| FIGURA | TÍTULO | PÁGINA |
|--------|---|--------|
| 5.1 | Lluvias medias mensuales (1933-1997) en la estación El Delirio | 5.3 |
| 5.2 | Curva Intensidad-Duración – Frecuencia (IDF) para la zona de estudio | 5.4 |
| 5.3 | Curvas de precipitación Crítica – para la zona de estudio | 5.6 |
| 5.4 | Curvas de periodos de Retorno de Precipitación Crítica – para la zona de estudio. | 5.7 |
| 5.5 | Caudal v.s. período de Retorno para las diferentes secciones de la Quebrada El Zuque. | 5.9 |
| 7.1 | Probabilidad de falla para diferentes periodos de análisis en la Zona A | 7.8 |
| 7.2 | Probabilidades de falla para diferentes periodos de análisis en la Zona B | 7.9 |
| 7.3 | Probabilidades de falla para diferentes periodos de análisis en la Zona C | 7.8 |
| 7.4 | Probabilidades de falla para diferentes periodos de análisis en la Zona D | 7.9 |
| 7.5 | Probabilidades de falla para diferentes periodos de análisis en la Zona E | 7.10 |
| 7.6 | Probabilidades de falla para diferentes periodos de análisis en la Zona F | 7.13 |
| 7.7 | Probabilidades de falla para diferentes periodos de análisis en la Zona G | 7.14 |
| 7.8 | Probabilidades de falla para diferentes periodos de análisis en la Zona H | 7.15 |
| 7.9 | Probabilidades de falla para diferentes periodos de análisis en la Zona I | 7.16 |
| 7.10 | Probabilidades de falla para diferentes periodos de análisis en la Zona J | 7.17 |
| 7.11 | Probabilidades de falla para diferentes periodos de análisis en la Zona K | 7.18 |
| 7.12 | Probabilidades de falla para diferentes periodos de análisis en la Zona L | 7.19 |
| 7.13 | Probabilidades de falla para diferentes periodos de análisis en la Zona M | 7.20 |
| 7.14 | Distribución porcentual de los lotes según su categoría de amenaza a corto plazo | 7.22 |

| | | |
|------|---|------|
| 8.1 | Esquema de deslizamiento | 8.3 |
| 8.2 | Valoración del porcentaje de daño para el ID utilizando conjuntos difusos | 8.6 |
| 8.3 | Afectación de las edificaciones ante F.R.M. en la zona de estudio | 8.7 |
| 8.4 | Tipología de las edificaciones en la zona de estudio | 8.8 |
| 8.5 | Índice de daño actual (según la D.R.M.) en las edificaciones de la zona de estudio | 8.9 |
| 8.6 | Tenencia de la vivienda en el barrio Altos del Virrey | 8.9 |
| 8.7 | Afiliación por parte de la población a entidades de salud | 8.10 |
| 8.8 | Nivel educativo de la población del barrio Altos del Virrey | 8.11 |
| 8.9 | Capacidad de dotación de vivienda con recursos propios por parte de la población ante la ocurrencia de F.R.M. | 8.11 |
| 8.10 | Tipo de suministro de la red de agua potable en la zona de estudio. | 8.12 |
| 8.11 | Sistema de recolección de aguas negras en el barrio Altos del Virrey | 8.13 |
| 8.12 | Recolección de basuras en el barrio Altos del Virrey | 8.13 |
| 8.13 | Distribución porcentual de los lotes según su categoría de vulnerabilidad por fenómenos de remoción en masa | 8.15 |
| 9.1 | Distribución porcentual de los lotes según su categoría de riesgo por fenómenos de remoción en masa | 9.2 |
| 10.1 | Relación factor de seguridad v.s. probabilidad de falla | 10.2 |

LISTADO DE ANEXOS

| Anexo | Contenido |
|-------|---|
| 1 | Topografía <ul style="list-style-type: none">• Nube de puntos• Certificados IGAC• Plano 1.1. Topografía |
| 2 | Geología y geomorfología <ul style="list-style-type: none">• Levantamiento de procesos• Plano 2.1. Geología regional• Plano 2.2. Geología local• Plano 2.3. Perfiles geológicos• Plano 2.4. Geomorfología |
| 3 | Hidrología e hidráulica <ul style="list-style-type: none">• Plano 3.1. Zona de inundación• Plano 3.2. Secciones hidráulicas |
| 4 | Investigación del subsuelo <ul style="list-style-type: none">• Ensayos de laboratorio• Perfiles de los sondeos |
| 5 | Estimación de parámetros |
| 6 | Amenaza <ul style="list-style-type: none">• Zona A• Zona B• Zona C• Zona D• Zona E• Zona F• Zona G• Zona H• Zona I• Zona J• Zona K• Zona L• Zona M• Plano 6.1. Zona homogéneas• Plano 6.2. Amenaza a corto plazo• Plano 6.3. Amenaza a largo plazo |
| 7 | Vulnerabilidad <ul style="list-style-type: none">• Inventario de viviendas |

-
- Cálculos
 - Plano 7.1. Tipología
 - Plano 7.2. Vulnerabilidad de las edificaciones ante FRM
 - 8 Riesgo
 - Cálculos
 - Plano 8.1. Riesgo de las edificaciones ante FRM
 - 9 Alternativas de mitigación
 - Sitio 1
 - Sitio 2
 - Sitio 3
 - Sitio 4
 - Sitio 5
 - Sitio 6
 - Plano 9.1. Localización sitios inestables .
 - Plano 9.2. Alternativas de mitigación sitios inestables 1 y 2
 - Plano 9.3. Alternativas de mitigación sitio inestable 3
 - Plano 9.4. Alternativas de mitigación sitios inestables 4 y 5
 - 10 Diseños
 - Plano 10.1. Diseños obras de mitigación sitio inestable 1
 - Plano 10.2. Diseños obras de mitigación sitio inestable 2
 - Plano 10.3. Diseños obras de mitigación sitio inestable 3
 - Planos 10.4.1 a 10.4.4. Diseños obras de mitigación sitios inestables 4 y 5
 - Plano 10.5. Diseños obras de mitigación sitio inestable 6
 - Plano 10.6. Diseños obras de mitigación sitios inestables 7 y 8
 - 11 Especificaciones, cantidades de obra y presupuesto
 - Especificaciones
 - Cantidades de obra y presupuesto

ALCALDÍA MAYOR DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ D.C.
FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS - FOPAE
DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS - DPAE

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE
ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS
RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR LA LADERA DONDE SE ENCUENTRAN LOS
BARRIOS ALTOS DEL VIRREY Y MORALBA
LOCALIDAD DE SAN CRISTÓBAL, SANTAFÉ DE BOGOTÁ D.C.

INFORME FINAL

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

En desarrollo del Contrato de Consultoría No. CCS-228/99, suscrito entre el FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS (FOPAE) y la UNIÓN TEMPORAL GEOCING LIMITADA – BATEMAN INGENIERÍA LIMITADA, cuyo objeto es el de realizar el "Estudio de riesgos por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar la ladera donde se encuentran los barrios Altos del Virrey y Moralba, en la Localidad de San Cristóbal", se presenta este informe el cual contiene el resumen de los trabajos realizados, y las conclusiones y recomendaciones del caso.

Con el fin de cumplir con el objeto del estudio se realizaron los siguientes trabajos:

- Realización de los trabajos de campo (topografía y encuestas sobre el hábitat).
- Para dar un diagnóstico y presentar las posibles soluciones a los problemas generados por amenazas de origen natural (fenómenos de remoción en masa), se realizaron los estudios técnicos necesarios (geología, geomorfología, hidrología, hidráulica e investigación del subsuelo). Se señala que este estudio no tiene en cuenta un análisis por efectos de sismos; para tener en cuenta este aspecto, se utiliza el estudio de microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá (INGEOMINAS, 1997).
- Análisis de vulnerabilidad de las viviendas ante los fenómenos de remoción en masa en la zona.
- Análisis de riesgos de las viviendas por fenómenos de remoción en masa.

- Diseño de las obras para la prevención y mitigación de riesgos por fenómenos de remoción en masa en el barrio Altos del Virrey y Moralba.

Es importante aclarar que, de acuerdo con lo acordado con los funcionarios del DPAE, el estudio se limitó a determinar la vulnerabilidad y riesgo de las edificaciones ante fenómenos de remoción en masa, no teniendo en cuenta otros elementos expuestos tales como acueductos, alcantarillado, vías, etc.

1.2. Recopilación y análisis de información

Para adelantar los estudios en esta zona se analizó la siguiente información:

- Estudio para el análisis y caracterización de tormentas en la Sabana de Bogotá. IRH Ingeniería y Recursos Hídricos Ltda. – EAAB. Noviembre de 1995.
- Estudio de Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá. Ingeominas. 1997.
- Estudio para la zonificación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa de las localidades de Ciudad Bolívar, San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe, Santafé, Chapinero, Usaquén y Suba. Ingeocim Ltda. – Upes. Octubre de 1998.
- Estudio geotécnico para la prevención de avalanchas en los barrios Quindío y Altamira. Incoplan Ltda. – Alcaldía menor de San Cristóbal. Junio de 1995.
- Características del flujo de lodos de la quebrada El Zuque del 19 de mayo de 1994 y sus efectos sobre algunos barrios de Bogotá. Concepto Técnico. Sociedad Colombiana de Ingenieros. Julio de 1994.
- Planchas a escala 1:2000 del IGAC, las cuales cubren las áreas de las cuencas vertientes que drenan hacia la zona de estudio. En la tabla 1.1 se relacionan las planchas utilizadas:

Tabla 1. 1. Planchas 1:2000 del IGAC utilizadas

| No. PLANCHA | Año de Publicación |
|-------------|--------------------|
| L – 60 | 1983 |
| L – 70 | 1974 |
| M – 51 | 1974 |
| M – 61 | 1974 |

- Para el reconocimiento geológico y geomorfológico de la zona de estudio se utilizaron las siguientes fotografías aéreas relacionadas a continuación en la tabla 1.2.

Tabla 1. 2. Relación de fotografías aéreas

| No. VUELO | No. De Fotografía | Año | Escala |
|-----------|-------------------|-----------------|-----------|
| C - 772 | (351 - 352) | Febrero de 1956 | 1 : 9000 |
| C - 1220 | (153 - 154 - 155) | Marzo de 1968 | 1 : 7800 |
| C - 2612 | (222 - 223) | Febrero de 1997 | 1 : 43000 |

- Estudio geotécnico escuela Moralba Fase II. Santafé de Bogotá D.C. Diciembre de 1995.

1.3. Organización del informe

Para la presentación del estudio el presente informe se dividió en doce (12) capítulos más sus respectivos anexos explicativos y planos. A continuación se presenta una breve descripción de los capítulos subsiguientes que conforman el informe (capítulos 2 al 12).

En el capítulo 2 se presenta una introducción general del estudio, presentando en forma general los problemas del área de estudio, los requerimientos de topografía, exploración del subsuelo y las metodologías de análisis.

En el capítulo 3 se presenta lo referente al levantamiento topográfico.

En el capítulo 4 se describen los trabajos de geología y geomorfología conducentes a establecer el comportamiento ingenieril de los diferentes tipos de formaciones y depósitos existentes en el área de estudio. Es por ello que, en esta parte de los trabajos se realizó el levantamiento de procesos, el cual hace parte integral del mapa geomorfológico.

En el capítulo 5 se presentan el estudio hidrológico e hidráulico. El estudio hidrológico se encamina a determinar las características pluviométricas del sector con énfasis en la determinación de la denominada "Lluvia crítica". Como complemento y con base en la evaluación hidrológica, se realiza el estudio hidráulico de la quebrada El Zuque, con el fin de determinar la zona de inundación y ronda.

En el capítulo 6 se presente el resumen de los trabajos de investigación del subsuelo llevados a cabo en la zona de estudio.

En el capítulo 7 se presentan los análisis de amenaza por fenómenos de remoción en masa de la zona de estudio. En un principio se presenta la determinación de las zonas homogéneas que son la base para determinar los sitios de análisis: posteriormente se

presentan los resultados probabilísticos de estabilidad para determinar la posibilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa tanto a corto plazo (anual) como a largo plazo (15 años).

En el capítulo 8 y 9 se presentan, respectivamente, los análisis de vulnerabilidad y riesgo de las edificaciones ante fenómenos de remoción en masa, y en el capítulo 10 se presentan los análisis para la mitigación de riesgos.

Los diseños detallados de las alternativas de solución seleccionadas se presentan en el capítulo 11.

Por último, en el capítulo 12 se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio.

2. RESUMEN

2.1. Descripción del problema y sus posibles causas

En el barrio Altos del Virrey por estar localizado en una zona de ladera, se encuentran diferentes tipos de fenómenos de remoción en masa con variada intensidad. En forma muy general y sin entrar en los detalles que se presentarán en los siguientes capítulos, se encuentran en algunos sitios superficialmente suelos transportados tipo flujo o fluvioglaciales, rellenos antrópicos producto de excavaciones efectuadas para la construcción de las vías de acceso o de las viviendas y suelos residuales producto de la meteorización de arcillolitas o con menor frecuencia areniscas.

En el barrio, se identificaron 8 sitios inestables, los cuales se describen a continuación (ver plano "Localización sitios inestables", 9.1).

El sitio 1, está localizado en la parte alta del barrio, junto al tanque de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá; este talud que desciende desde la vía de acceso al tanque se inestabilizó por la presencia de un relleno antrópico, dispuesto allí posiblemente durante la construcción de la vía, subyaciendo el depósito se encuentra un suelo residual de arcillolita y la arcillolita posteriormente, con lo cual se logró establecer que la resistencia del suelo aumenta con la profundidad. El tipo de superficie de falla identificado para este sitio es rotacional, con tendencia a acentuarse por el agua aposada en la discontinuidad dejada por la deformación propia del movimiento. Como resultado de este movimiento hasta el momento se encuentran afectados 4 lotes.

El sitio 2, está localizado en la vía de acceso al barrio, en la parte baja de la misma. El fenómeno es de tipo rotacional múltiple, asociado a la pérdida de soporte lateral por la excavación de este lomo cuando se construyó la vía. El suelo presente en el sitio es residual de arcillolita y arenisca y su resistencia aumenta rápidamente con la profundidad. Por tratarse de un lomo, este deslizamiento está muy bien definido en cuanto al ancho afectado y no se espera una gran evolución hacia atrás (retrogresivo), aún cuando la presencia de una vía de acceso secundaria y una casa a 5.0 m de la corona podría verse afectado si no se plantean medidas correctivas y preventivas.

El sitio 3, está localizado hacia el flanco izquierdo del sitio 2, es una ondonada cuyo costado izquierdo falló principalmente por la presencia de agua que aflora en su parte central. El talud tiene una altura total de 15 m y está compuesto por un primer depósito de relleno, seguido de suelo residual de arcillolita y la arcillolita, con la cual y al igual que en el sitio 1, la resistencia aumenta con la profundidad alcanzando condiciones de rechazo al ensayo de penetración estándar a partir de los 4.5 m ó 5.0 m. En la actualidad en la corona del deslizamiento se observa un escarpe de 2.0 m de altura, lo cual permite predecir que tenderá a desprenderse aumentando el área afectada, lo que lo convierte en un deslizamiento rotacional con tendencia a ser retrogresivo, con lo cual se afectarían inicialmente 4 casas.

El sitio 4, está conformado por un relleno antrópico, dispuesto en una zona que por su alta pendiente presenta síntomas de antiguos flujos y reptamiento. La presencia de este relleno tiende a acelerar estos procesos, a lo cual se adiciona la disposición por volteo del material, sin ningún grado de compactación. El relleno en la actualidad alcanza los 7.0 m de altura en su punto mas alto y un talud mayor de 1.5H : 1.0 V. Este relleno está colocado sobre suelo residual de arcillolita.

El sitio 5 se encuentra localizado en el costado norte del área en estudio y está dividido por la vía de acceso al tanque. El sitio o zona está cubierto superficialmente por un deposito de origen Fluvioglacial de espesor variable hasta 4.5 m, a partir de allí se detectó suelo residual de arcillolita y la arcillolita. La parte alta de la zona presenta saturación y tendencia a fluir. En la parte baja se localiza la escuela del barrio Moralba, la cual fue cimentada en la arcillolita mediante una explanación realizada hace más de 20 años. Abajo de la escuela continua el depósito fluvio glacial y un relleno antrópico que conforma una "meseta". Las medidas preventivas en este sector se enfocaron hacia el drenaje del área.

Sitio 6. Corresponde a la quebrada El Zuque, en la margen derecha principalmente se evidencia problemas de socavación, lo cual hace que los taludes se empinen y posteriormente se generen cuñas que luego caen, dejando escarpes contra una casa y dos lotes localizados inmediatamente al borde de la zona de ronda.

Los materiales presentes en el sitio son arcillolitas con intercalaciones de areniscas, materiales duros que no permiten prever fallas de masas importantes de material, pero que pueden obstruir la quebrada generando avalanchas.

Sitio 7. Corresponde a un tramo de la vía de acceso, localizado en el costado sur del área de estudio, donde durante la construcción de la vía se generó un pequeño corte en los suelos orgánicos que suprayacen el suelo residual de arcillolita.

El talud actual es muy tendido, lo cual hace prever que con obras menores como conformación y revegetalización se solucionen los problemas de reptamiento identificado.

Sitio 8. El suelo orgánico superficial identificado detrás del Salón Comunal presenta signos de reptamiento que se manifiestan en el corte efectuado para la construcción del salón. El área afectada por el reptamiento se muestra en la actualidad como zonas verdes, por lo cual no existen viviendas afectadas.

2.2. Requerimientos de topografía y exploración del subsuelo.

Teniendo en cuenta que los sitios inestables se encuentran distribuidos por toda el área en estudio, se procedió a efectuar un levantamiento topográfico en un área de 16 Ha, el cual se describe en el capítulo 3.

La exploración del subsuelo inicialmente prevista se basó en 25.0 m de perforación en suelo, sin embargo, luego de evaluadas las condiciones reales del terreno, esta exploración se incrementó a 65 m distribuidos en 12 sondeos, en el capítulo 6 se describen las labores de exploración del subsuelo efectuadas y en el plano 9.1 se presenta la localización de los sondeos.

2.3. Modelos y metodologías de análisis.

Para el análisis de riesgos se siguió la conceptualización sugerida por Omar Darío Cardona¹, que se puede resumir así: "Una vez conocida la amenaza o peligro (A), entendida como la probabilidad de que se presente un evento con una intensidad mayor o igual a cierto nivel durante un período de exposición determinado, y conocida la vulnerabilidad (V), entendida como la predisposición intrínseca de un elemento expuesto a ser afectado o de ser susceptible de sufrir una pérdida ante la ocurrencia de un evento con cierta intensidad, el riesgo (R) puede entenderse como la probabilidad de que se presente una pérdida sobre el elemento expuesto, como consecuencia de un evento con una intensidad mayor o igual a cierto nivel, es decir, la probabilidad de exceder unas consecuencias sociales y económicas durante un período de tiempo determinado".

Para obtener los tres componentes mencionados en la anterior definición (amenaza, vulnerabilidad y riesgo), se siguió la siguiente metodología:

Determinación de las zonas de comportamiento geotécnico similar (zonas homogéneas) con base en los trabajos topográficos, geológicos, geomorfológicos y de investigación del subsuelo realizado.

Determinación de los factores detonantes naturales (sismo y lluvia). Para el sismo se utilizó los datos de la microzonificación de Santafé de Bogotá, D.C. (aceleración horizontal de 0.21 g, con un periodo de retorno de 475 años). Para la lluvia se determinó el período de retorno de la lluvia crítica, basándose en los trabajos realizados en 1998 por Ingeocim Ltda. - Upes. Es importante resaltar que los factores detonantes antrópicos (producidos por el hombre) se tuvieron en cuenta al determinar las zonas de cortes y rellenos y, en algunos casos, la sobrecarga de las viviendas.

Sobre cada una de las zonas homogéneas se determinaron los parámetros geotécnicos (máximos y mínimos) necesarios para la realización de los análisis de estabilidad, con base en los resultados de los análisis de laboratorio y de retroanálisis.

Se realizaron los análisis de estabilidad, determinando los factores de seguridad para diferentes hipótesis por medio de la teoría del equilibrio límite (utilizando el método de

¹ Cardona O.D. (1993). **EVALUACIÓN DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO - ELEMENTOS PARA EL ORDENAMIENTO Y LA PLANEACIÓN DEL DESARROLLO.** Los desastres no son naturales. La Red. Santafé de Bogotá D.C.

Janbu o de talud infinito). Posteriormente, se halló la probabilidad de falla utilizando el método PEM.

Con base en la zonificación de amenaza realizada (determinando las posibles solicitaciones) y la tipificación de viviendas obtenidas en las encuestas, se determinó la vulnerabilidad y el riesgo de las viviendas ante fenómenos de remoción en masa siguiendo la metodología propuesta por Leone (1996).

De acuerdo con los resultados de los trabajos precedentes, se propusieron las obras de mitigación posibles, determinando la mejor opción por medio de los análisis de costo/beneficio.

Por último, se diseñaron las obras de mitigación seleccionadas.

3. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

3.1 Método de trabajo

Como base para la zonificación, se debe conocer la topografía del sector incluyendo curvas de nivel y los detalles de la urbanización; dado el detalle del trabajo, este levantamiento se hizo al detalle de escala 1:1000 (curvas de nivel cada 1 m, las zonas verdes, las quebradas, los drenajes y demás accidentes), incluyendo los postes, alcantarillado y estructuras de contención, obteniendo la división de los lotes construidos; los detalles sobre los lotes se complementaron con la información del plano No. S.C. 8 / 4-00 del Departamento Administrativo de Planeación Distrital (DAPD).

Para realizar el levantamiento, se procedió a realizar un amarre que parte de dos vértices CD-493 y vértice CD-494-A debidamente certificados por el IGAC; teniendo los dos vértices de partida, se realizó una poligonal base desde la cual se tomaron todos los detalles necesarios para la elaboración del plano, además se materializaron tres mojones. En la Tabla 3.1 se presentan las coordenadas y cotas de los mojones y vértices materializados en campo.

Tabla 3.1. Coordenadas y cotas de vértices y mojones

| Punto | Norte | Este | Cota (m) |
|----------|-----------|-----------|----------|
| CD-493 | 94.631,75 | 98.810,08 | 2.817,23 |
| CD-494-A | 94.829,20 | 98.826,20 | 2.828,43 |
| MOJON 1 | 94.044,90 | 99.550,49 | 2.941,34 |
| MOJON 2 | 94.041,26 | 99.758,94 | 2.987,55 |
| MOJON 3 | 93.899,80 | 99.756,03 | 3.000,27 |

Con la nube de puntos generada se procedió a realizar en primera instancia la interpolación para determinar las curvas de nivel cada metro. Con los puntos de los detalles se determinaron las vías, postes, sondeos, y lotes construidos. Con la integración de la información primaria y secundaria se obtuvo el Plano 1.1 (Levantamiento topográfico).

La codificación para el loteo utilizada en los planos y las bases de datos del SIG, se refiere a los números de manzana y del lote del plano No. S.C. 8 / 4-00 del Departamento Administrativo de Planeación Distrital (DAPD).; es así, como por ejemplo, el lote codificado como 6528 corresponde a la manzana 65, lote 28 de la nomenclatura del DAPD.

En el Anexo 1 (Levantamiento topográfico) se presentan el plano topográfico, la nube de puntos de la topografía y las coordenadas de los vértices CD-493 y vértice CD-494-A, debidamente certificados por el IGAC.

4. ESTUDIO GEOLOGICO

En este capítulo se presentan las conclusiones de los aspectos geológicos y geomorfológicos del área de estudio, incluyendo la descripción de las unidades aflorantes, los rasgos estructurales, las unidades geomorfológicas y la morfodinámica actual.

4.1. Metodología

Para el desarrollo de este componente se efectuaron las siguientes actividades, en su orden:

- ◆ Revisión bibliográfica. Se recopiló la información existente sobre el área de estudio incluyendo los informes realizados por INGEOMINAS (*Estudio geotécnico de la escuela Moralba, 1997*) e INGEOCIM Ltda (*Estudio de zonificación de riesgo por inestabilidad del terreno para diferentes localidades de Santa fe de Bogotá, 1997*).
- ◆ Fotointerpretación. Mediante las fotografías aéreas disponibles en el IGAC, se elaboraron los mapas geológicos y geomorfológicos preliminares del área de estudio, tomando como base las líneas de vuelo: C-772 (351-352), a escala 1:9000 de febrero de 1956, C-1220 (153 a 155) a escala 1:7800 de marzo de 1968 y C-2612 (222-223) a escala 1:43.000 de febrero de 1997.
- ◆ Labores de Campo. Se efectuaron durante los días 3 al 5 de septiembre. Con base en los mapas fotogeológico y geomorfológico preliminares se realizó la reinterpretación de las unidades geológicas y geomorfológicas expuestas en el área, teniendo en cuenta los fenómenos dinámicos y de estabilidad actuantes. Igualmente con la visita de campo del 30 de septiembre con la interventoría del proyecto se definieron las unidades cartografiadas y los procesos.
- ◆ Informe Final. Con la información obtenida en las etapas anteriores se redactó el informe final, incluyendo la elaboración de los perfiles (tres) del mapa geológico, los cuales se muestran en el plano 2.3.

4.2. Geología del área

4.2.1. Geología Regional

En el ámbito regional la zona de estudio se enmarca en la zona de montaña de los Cerros Orientales, donde aflora una secuencia sedimentaria de rocas areno-arcillosas de edad cretácica y terciaria, separadas estructuralmente por la falla inversa de Bogotá y cubiertas en sectores por sedimentos no consolidados (Ver plano 2.1).

Las unidades Cretácicas en mención corresponden al Grupo Guadalupe (Formaciones Arenisca Dura, Plaeners, Labor y Tierra), que conforman una morfología abrupta, presentando escarpes fuertes en las unidades más resistentes.

Las unidades Terciarias están representadas por las Formaciones Guaduas, Cacho y Bogotá. Conforman una morfología ondulada producto de la intercalación de rocas duras y blandas.

Los sedimentos no consolidados corresponden a depósitos de origen fluvio-glaciar, de origen gravitacional y flujos de tierra.

4.2.2. Geología Local

4.2.2.1. Generalidades

La zona de estudio está constituida por la Terciaria Formación Bogotá (Tb), la cual se encuentra suprayacida en sectores por depósitos cuaternarios de origen natural y antrópico.

La Formación Bogotá la conforma una secuencia de arcillolitas abigarradas con intercalaciones de areniscas, con un espesor estimado en 200 m¹.

En el Barrio Altos del Virrey las capas aflorantes presentan un rumbo preferencial de N25°E y un buzamiento invertido con promedio de 40° hacia el sureste; y hacen parte del flanco oriental del Sinclinal de Usme.

Para los propósitos del estudio, la caracterización cartografiada en el mapa geológico refleja las diferentes unidades aflorantes en la zona de estudio, con el fin de convertirse en un insumo de primer orden para el análisis de la estabilidad del área.

4.2.2.2. Mapa Geológico

Con el objeto de caracterizar en detalle las diferentes formaciones superficiales se cartografiaron las capas de materiales sueltos o rocosos no consolidados, o fragmentos residuales y/o transportados de carácter variado (incluyendo los de origen antrópico) que cubren las rocas. El mapa geológico local (Ver plano 2.2) comprende estos materiales además de la disposición espacial de las unidades de roca desnuda.

De acuerdo con lo anterior las unidades cartografiadas y detalladas en los perfiles (ver plano 2.3) son las siguientes:

¹ Julivert, M. 1963b. Los rasgos tectónicos de la región de la Sabana de Bogotá. Bol. Geol. UIS. N. 13-14, Bucaramanga

a) Unidad de Arcillolitas y Areniscas

En el mapa geológico se cartografiaron los afloramientos de la Formación Bogotá (**Tb**) de acuerdo a su nivel de meteorización. En los afloramientos existentes no es posible separar de acuerdo a su litología por que se encuentran marcadamente intercalados y por esta razón se toman como una sola unidad.

La unidad **Rm1** corresponde a una secuencia de arcillolitas y areniscas con muy baja meteorización. Afloran en el sector suroriental del área, en inmediaciones del tanque de bombeo. Las rocas presentan una muy débil decoloración. Los fragmentos de roca son duros. Las areniscas presentan en bancos de hasta 1 metros de espesor. No existe inestabilidad en esta unidad.

La unidad **Rm2** corresponde a unas arcillolitas y areniscas con moderada meteorización. Aflora en el sector central del área de estudio, en inmediaciones de la Cll 44ª Sur y en cercanías de la Diag. 45ª Sur. La roca está decolorada y alterada, pero los fragmentos no se pueden romper con la mano. Tampoco presenta inestabilidad esta unidad.

La unidad **Rm3** corresponde a arcillolitas y areniscas con alta meteorización. Aflora en un sector en inmediaciones de la Cll 45 Sur. La roca esta decolorada y a tal punto alterada, que los fragmentos de roca pueden romperse con la mano. La estratificación difícilmente se distingue. Presenta erosión en surcos y laminar.

b) Suelos Residuales

Como producto de la meteorización de las capas arcillo-arenosas de la Formación Bogotá, se han desarrollado perfiles de suelo residuales de variado espesor, cartografiados en el mapa como la unidad **Qsr/Tb**, la cual ocupa un amplio sector en la zona de estudio. (Foto 4.1) En esta unidad la macrofábrica original es difícil de reconocer. Las capas superiores contienen humus y raíces de plantas. En algunos sectores el espesor alcanza hasta los 5 metros.

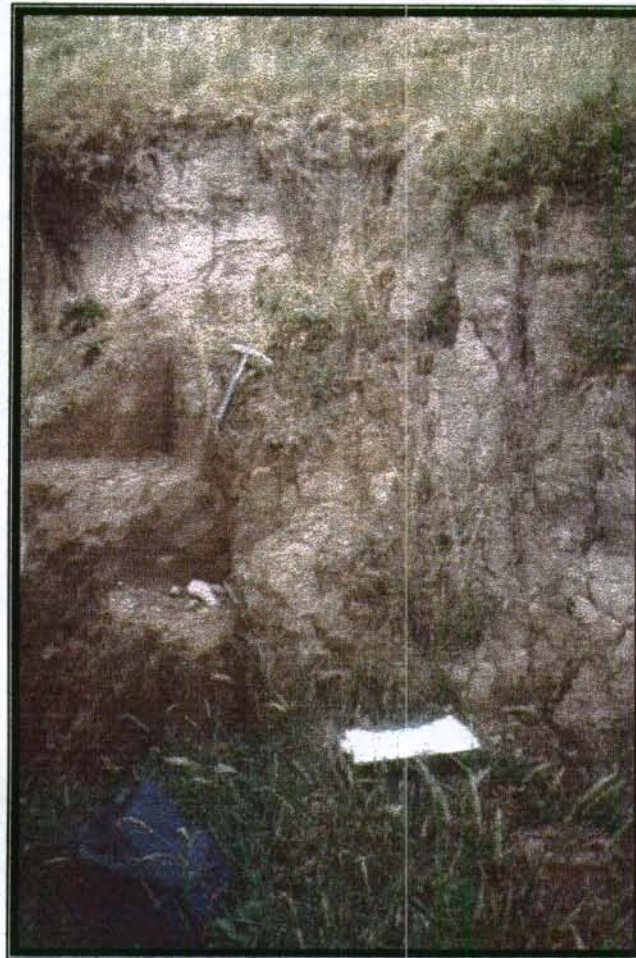


Foto No. 4. 1 Perfil de suelo residual desarrollado sobre las arcillolitas de la Formación Bogotá (Tb). En sectores el espesor de estos suelos alcanza los 5 metros.

c) Depósitos Cuaternarios

En la zona de estudio se presentan depósitos de edad cuaternaria de variado origen, como a continuación se describen.

La unidad cartografiada como depósitos de flujos de tierra *Qft* (Foto 4.2) es el producto de la desintegración de los suelos residuales que se acumulan en valles y depresiones, donde por el efecto de la humedad se saturan en sectores.

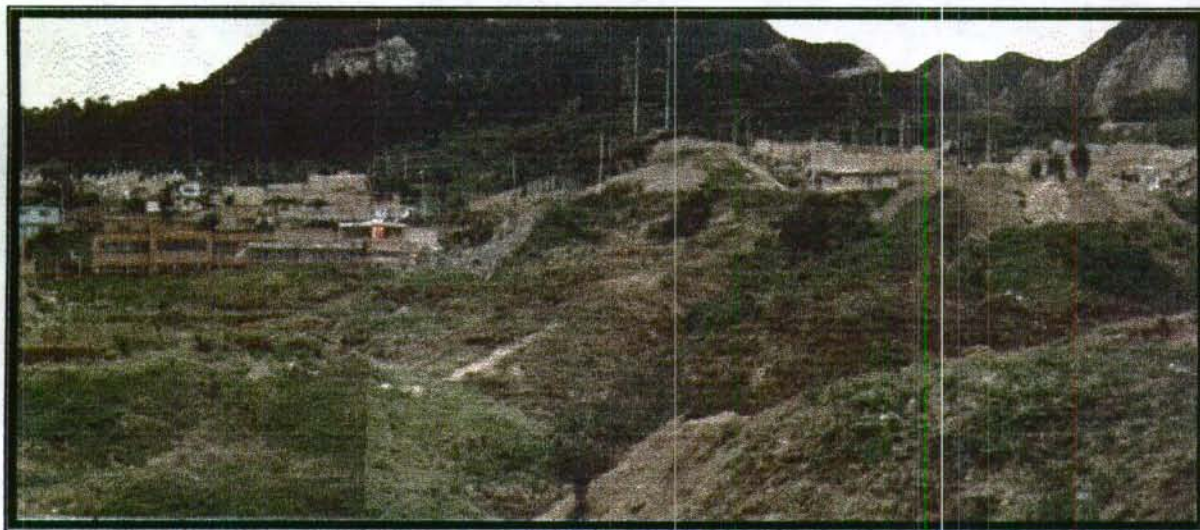


Foto No. 4. 2 Depósito de flujos de tierra. Así mismo se observan los rellenos antrópicos y hacia la izquierda de la fotografía (sector de las construcciones) la unidad de origen fluvio-glaciar.

En el sector norte y localmente en el sur oeste (aguas abajo de la Q. El Zuque) aflora un depósito de origen fluvio-glaciar *Qfg*, (Fotos 4.2 y 4.3) constituido por bloques y cantos, de diverso tamaño, embebidos en una matriz areno-arcillosa, que yace discordantemente sobre la Formación Bogotá.



Foto No. 4. 3 Depósito fluvio-glaciar, aguas debajo de la Quebrada El Zuque. Constituido por materiales heterogéneos yace discordantemente sobre la Formación Bogotá.

Localmente en el sector sur occidental se presenta un depósito coluvial *Qc*, constituido por fragmentos heterogéneos, transportados por acción gravitacional.

A lo largo del cauce de la Quebrada El Zuque se presentan depósitos de origen torrencial Qt , (Foto 4.4) constituidos por bloques de diferente tamaño, transportados como consecuencia de avalanchas torrenciales en la quebrada.



Foto No. 4. 4 Depósito de origen torrencial en la Q. El Zuque. Bloques con diámetro mayor a 1 m.

d) Depósitos Antrópicos

De origen antrópico existen rellenos cuyos materiales son principalmente escombros de construcción $Qr1$ (Foto 4.5) y rellenos con materiales producto del corte de las vías del barrio $Qr2$ (Foto 4.6). Los rellenos $Qr1$ tienen un espesor variable, alcanzando hasta los 10 metros.



Foto No. 4. 5 Relleno de origen antrópico cuyos materiales son principalmente corresponden a escombros de construcción. Tiene un espesor, que alcanzando hasta los 10 metros. Este relleno se ha deslizado.



Foto No. 4. 6 Rellenos con materiales producto del corte de las vías del barrio.

4.2.3 Geología Estructural

En el contexto regional la zona de estudio se encuentra localizada en el flanco este del sinclinal de Usme.

El rasgo estructural local más destacado es la falla El Zuque, con dirección este-oeste y considerada de rumbo², que actúa como límite sur de la zona de estudio.

Los buzamientos de las capas presentan una dirección promedio de N25°E y se encuentran invertidos, buzando 40° hacia el sureste, siendo esta dirección de buzamiento contraria a la pendiente de las laderas. Las observaciones en campo indican que los factores de inestabilidad en las laderas están relacionados estrechamente con las condiciones de saturación de los suelos residuales y de los flujos de tierra más que al factor estructural. Así mismo se debe tener en cuenta que los afloramientos son escasos y por el estado de meteorización de los mismos no es conspicua la caracterización de las discontinuidades del macizo rocoso.

En conclusión se plantea que los movimientos se producen por la presencia de una capa de materiales inconsolidados de diverso origen, que reposan sobre un macizo de naturaleza impermeable, y que cuyo equilibrio se ha roto no solo por factores naturales sino también por la influencia humana, al deforestar la zona y al manejo incontrolado de aguas que han favorecido la generación de inestabilidad en las laderas.

4.3. Geomorfología

4.3.1. Mapa Geomorfológico

Las unidades geomorfológicas definidas para el área de estudio (Ver mapa 2.4) son resultado de los procesos denudativos modeladores del paisaje en los Cerros Orientales, las cuales se cartografiaron de acuerdo a su origen, naturaleza del material y procesos morfodinámicos que se presentan en estas. En el numeral correspondiente a Morfodinámica Actual se discutirán las causas de los fenómenos que se presentan en las unidades que a continuación se describen:

a) Unidad Ldat

Ladera denudacional en arcillolitas y areniscas terciarias. El relieve de esta unidad asemeja unos lomos que se destacan en el paisaje, en los cuales se presentan un perfil de suelo residual con espesores hasta de 5 metros. En esta unidad los procesos erosivos se manifiestan con erosión laminar y en surcos. En los sectores donde se tiene

² Renzoni, G. 1962. Litología y tectónica al este y sureste de Bogotá. Bol. Geol. Vol. X. Nos. 1-3.

el corte de la vía se presentan deslizamientos puntuales. No se observa inestabilidad en esta ladera.

b) Unidad Ldtr

Corresponde a la ladera de origen denudacional desarrollada en las arcillolitas y areniscas terciarias, en cuyos suelos residuales se presenta el fenómeno de reptación. Igualmente, la escorrentía concentrada ocasiona erosión en surcos, en los sectores donde aflora la roca.

c) Unidad Ldff

Esta unidad corresponde a la ladera denudacional desarrollada sobre las arcillolitas y areniscas terciarias, en cuyos suelos residuales se presentan fenómenos de flujo lento de tierras. Así mismo la escorrentía concentrada genera erosión en surcos, en algunos sectores.

d) Unidad Ldfg

Corresponde a la ladera denudacional desarrollada en depósitos de origen fluvio-glaciar. No se presentan fenómenos de remoción en masa como tampoco procesos erosivos.

e) Unidad Lsrm

Esta unidad es una ladera denudacional desarrollada en suelos residuales, con procesos activos e inactivos de remoción en masa, como deslizamientos, reptación y flujos de tierra. Estos suelos están saturados.

f) Unidad Lft

Corresponde a una ladera denudacional no saturada, desarrollada en suelos residuales, cuyo proceso activo de remoción en masa lo constituye un flujo de tierras.

g) Unidad Lsft

Esta unidad es una ladera denudacional saturada, desarrollada en suelos residuales, cuyo proceso activo de remoción en masa lo constituye un flujo de tierras.

h) Unidad Lc

Corresponde a una ladera coluvial sin procesos activos o potenciales de remoción en masa.

i) Unidad Lse

Corresponde a la ladera con procesos de erosión, socavación lateral y desprendimientos en la margen derecha aguas debajo de la Quebrada El Zuque.

j) Unidad Ra 1 y Ra2

Aun cuando son de carácter antrópico son geoformas aterrazadas que se presentan en la zona, y corresponden a los rellenos de materiales de construcción (1) y de materiales provenientes del corte de la vía (2), conformando franjas alargadas, en dirección perpendicular a la pendiente. Cabe destacar que estos rellenos se han presentado deslizamientos, por su conformación antitecnica, lo cual constituye un factor de inestabilidad del área.

4.3.2. Morfodinámica Actual

La morfodinámica actual está relacionada no sólo por la naturaleza de los materiales que conforman las unidades del área de estudio sino también a factores antrópicos, como la disposición inadecuada de materiales de construcción sobrantes en rellenos (Ra_1 y Ra_2), que ha ocasionado la generación de fenómenos de inestabilidad en los mismos.

Desde el punto de vista natural, se observan movimientos de reptación del suelo en varios sectores del área. Estos movimientos de materiales son lentos y continuos y en ellos no se puede reconocer ninguna superficie de deslizamiento. Se suceden en las unidades geomorfológicas de suelo residual $Ldtr$, $Ldtf$ y $Lsrm$ y se distingue por los escurrimientos y desgarres a lo largo de las pendientes de estas laderas. Estos movimientos se presentan en áreas donde predominan las pendientes entre 15 y 30°.

Este fenómeno es superficial pero afecta una zona amplia, lo cual constituye una restricción para el asentamiento de viviendas y obras de infraestructura en general, por que los daños que puede ocasionar son importantes. Es de resaltar que la velocidad del movimiento depende no solo de las condiciones climáticas y del ángulo de inclinación de la pendiente, sino también del tipo y espesor del suelo y la roca involucrada. Se debe tener en cuenta que el material parental son arcillolitas predominantemente, con una impermeabilidad alta, lo cual se traduce en una superficie sobre la cual se produce el movimiento del suelo.

La manera de controlar este fenómeno, aunque en el caso de las zonas urbanizadas es algo muy difícil, consiste en evitar los procesos de degradación de las laderas más susceptibles, con un adecuado manejo de las aguas y la protección de la cobertura vegetal.

5. ESTUDIO HIDROLÓGICO

5.1. Generalidades

El estudio hidrológico e hidráulico tiene como objetivo describir el régimen temporal y espacial de la precipitación media anual y determinar los aguaceros de corta duración para calcular los caudales y niveles máximos esperados, con el fin de diseñar las obras de drenaje para la estabilización y control de erosión del talud en el barrio Altos del Virrey.

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

Para el análisis hidrológico se estudiará solamente el elemento climatológico precipitación, ya que es el principal agente de la erosión hídrica y uno de los factores desencadenantes de los fenómenos de remoción en masa.

Sobre la cartografía escala 1:5000 se delimitó las cuencas vertientes de las corrientes principales. La información cartográfica se complementó con visitas de campo y con el análisis de los levantamientos topográficos de la Quebrada y de los sitios críticos.

5.1.1. Características De La Cuenca

La quebrada El Zuque es uno de los afluentes principales de la quebrada Chiguaza, nace en el cerro de El Zuque en la cota 3210 m.s.n.m, con dirección de drenaje suroeste, tiene una longitud aproximada de 0.436 km desde su nacimiento hasta el límite del barrio Puente Colorado, con área de cuenca aferente del orden de 0.73 km² y una pendiente longitudinal promedio aproximadamente del 30 %.



Foto No. 5. 1 Detalle de la Quebrada El Zuque

En la parte alta de la cuenca, se encuentra un antiguo frente de explotación de La Cantera El Zuque, la parte media se caracteriza por tener vegetación primaria y secundaria; sin embargo en este sector, existe intervención antrópica, evidenciada por la presencia de urbanizaciones e infraestructura de servicios.

5.2. Precipitación

Generalmente, los fenómenos de remoción en masa están asociados a los períodos lluviosos, ya que la precipitación es uno de los agentes detonantes principales de los deslizamientos. Por esto es necesario conocer el régimen pluviométrico temporal y espacial de la precipitación, para identificar los meses más lluviosos y los sectores donde se concentran los valores más altos de la precipitación en la zona de estudio. A continuación se presenta el resumen de los resultados obtenidos para dichos análisis.

a) Análisis estadístico

Con el fin de establecer el régimen pluviométrico en el barrio Altos del Virrey, se utilizaron los registros históricos de precipitaciones totales mensuales de la estación El Deliro (2120013) operada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá E.A.A.B – ESP, que es la más cercana a la zona de estudio y esta ubicada en la cuenca de la Quebrada Chiguaza (de la cual hace parte la quebrada Zuque), con coordenadas 994.730 N, 1'002.120 E y una elevación de 3.000 m.s.n.m.

La distribución temporal de la precipitación se presenta en forma bimodal o ecuatorial con dos períodos lluviosos entre los meses de mayo a agosto y octubre a noviembre y un período seco entre los meses de diciembre a febrero, como se observa en la Figura 5.1.

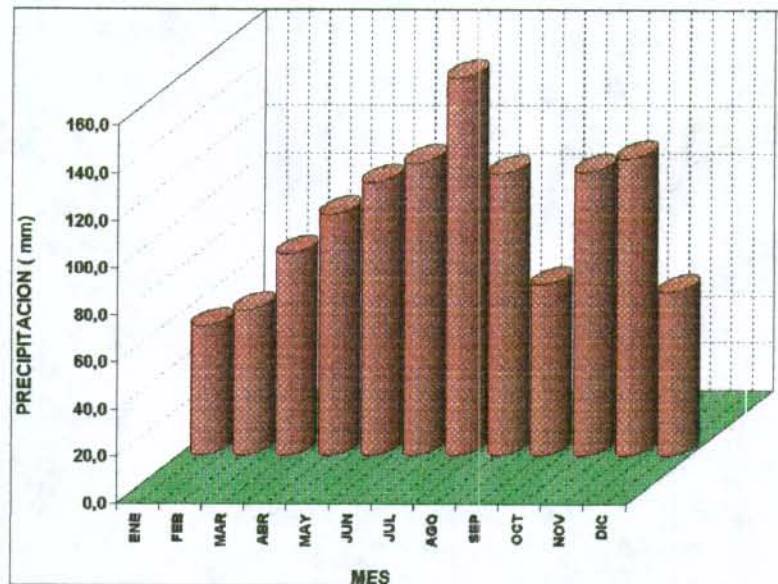


Figura 5.1. Lluvias medias mensuales (1933 - 1997) en la estación El Delirio

La precipitación media multianual es de 1221.2 mm y el mes con mayor precipitación es Julio con un promedio mensual multianual de 159.7 mm.

b) Curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) para precipitaciones de corta duración

Para el análisis de los aguaceros de corta duración, que son los que generan los caudales máximos, se utilizó el informe "Estudio para el Análisis y Caracterización de tormentas en la Sabana de Bogotá", realizado por la firma consultora IRH para la E.A.A.B. - E.S.P. En este estudio se dividió a Santafé de Bogotá en 7 zonas pluviográficas y, para cada zona se definió una curva IDF característica. El sector de análisis está ubicado entre la Zona 6 y 7; para efectos de diseño se toma la zona mas crítica, la cual corresponde a la zona 6, cuya estación representativa de la ley de frecuencias es El Delirio (2120013), operada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá E.A.A.B - ESP; la curva IDF para esta zona se presentan en la Figura 5.2.

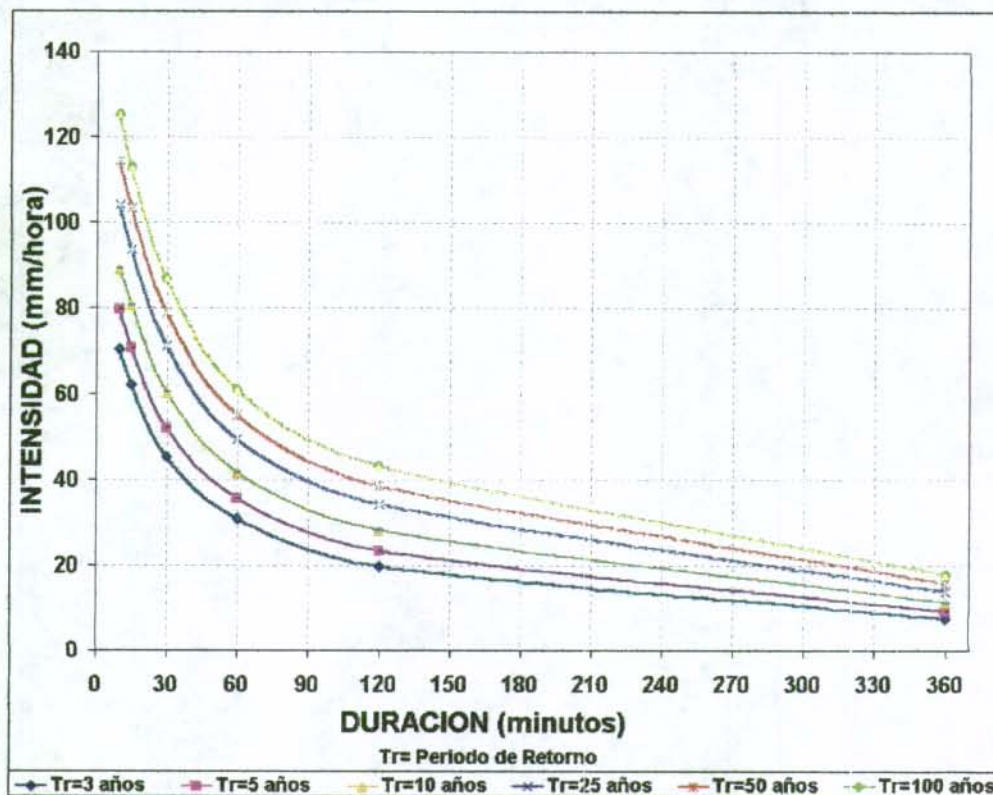


Figura 5.2. Curva Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) para la zona de estudio¹

Con las curvas presentadas en la Figura 5.2, se obtienen las intensidades máximas para diferentes periodos de retorno, con una duración dada (tiempo de concentración); estos valores son fundamentales para la generación de caudales y niveles máximos en el diseño de las obras hidráulicas.

c) Lluvia crítica²

Para determinar la relación precipitación crítica - duración, se utilizó el "Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá" (INGEOCIM - UPES, 1998). En este estudio se encontró que la ciudad de Santafé de Bogotá se puede dividir a partir de la lluvia crítica y de la duración en dos zonas, con las siguientes ecuaciones:

¹ Estudio para el Análisis y Caracterización de tormentas en la Sabana de Bogotá. IRH - E.A.A.B. - E.S.P.

² González, A., Zamudio, E. y Castellanos, R. (1999). *Relaciones de precipitación crítica-duración que disparan movimientos en masa en Santafé de Bogotá, Colombia*. XI CPMSIF. Fox de Iguazú, Brasil.

Tabla 5.1. Relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual para la ciudad de Santafé de Bogotá (INGEOCIM - UPES, 1998).

| Zona | Lluvia crítica (mm) | Duración (días) |
|-------------------|--|-----------------------------------|
| Suroccidental | $0.3609 \times \text{Lluvia anual (mm)}$ | $3.2829 * \text{LLcrit}^{0.4157}$ |
| Cerros orientales | $12.6325 + 0.1814 \times \text{Lluvia anual (mm)}$ | $0.04923 * \text{LLcrit}$ |

El sector de estudio corresponde a la zona Cerros Orientales; a partir de los valores de lluvia anual de la estación El Delirio se obtuvo una precipitación acumulada crítica de 232.5 mm, con duración de 11.5 días y un período de retorno de 30 años. De acuerdo con estos resultados, se puede concluir que la probabilidad anual de ocurrencia de la precipitación acumulada crítica, con duración de 11.5 días es del orden del 3.33 %.

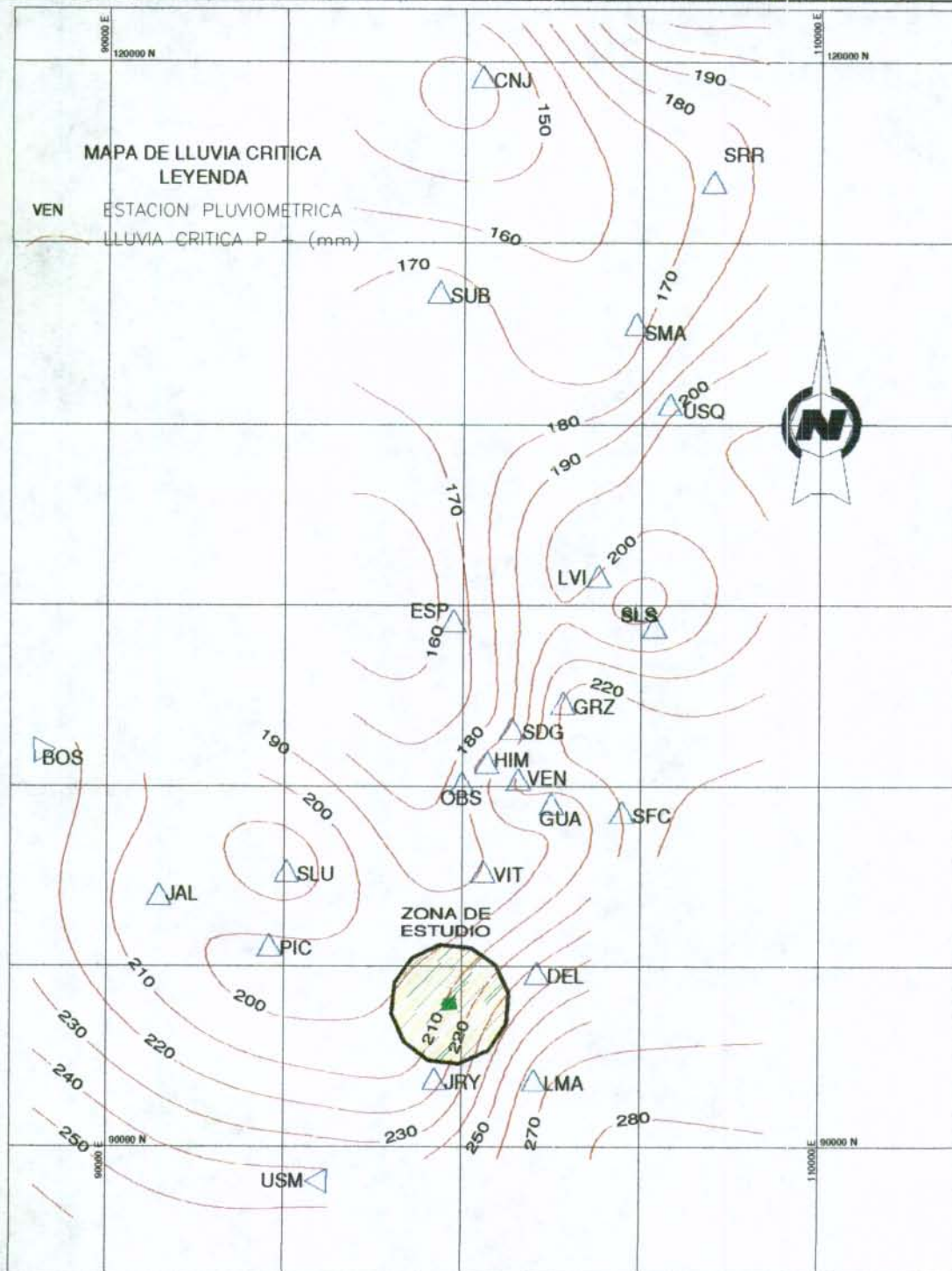


Figura 5.3. Curvas de Precipitación Crítica - para la zona de estudio.³

³ Tomado de "Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá" (INGEOCIM - UPES, 1998)

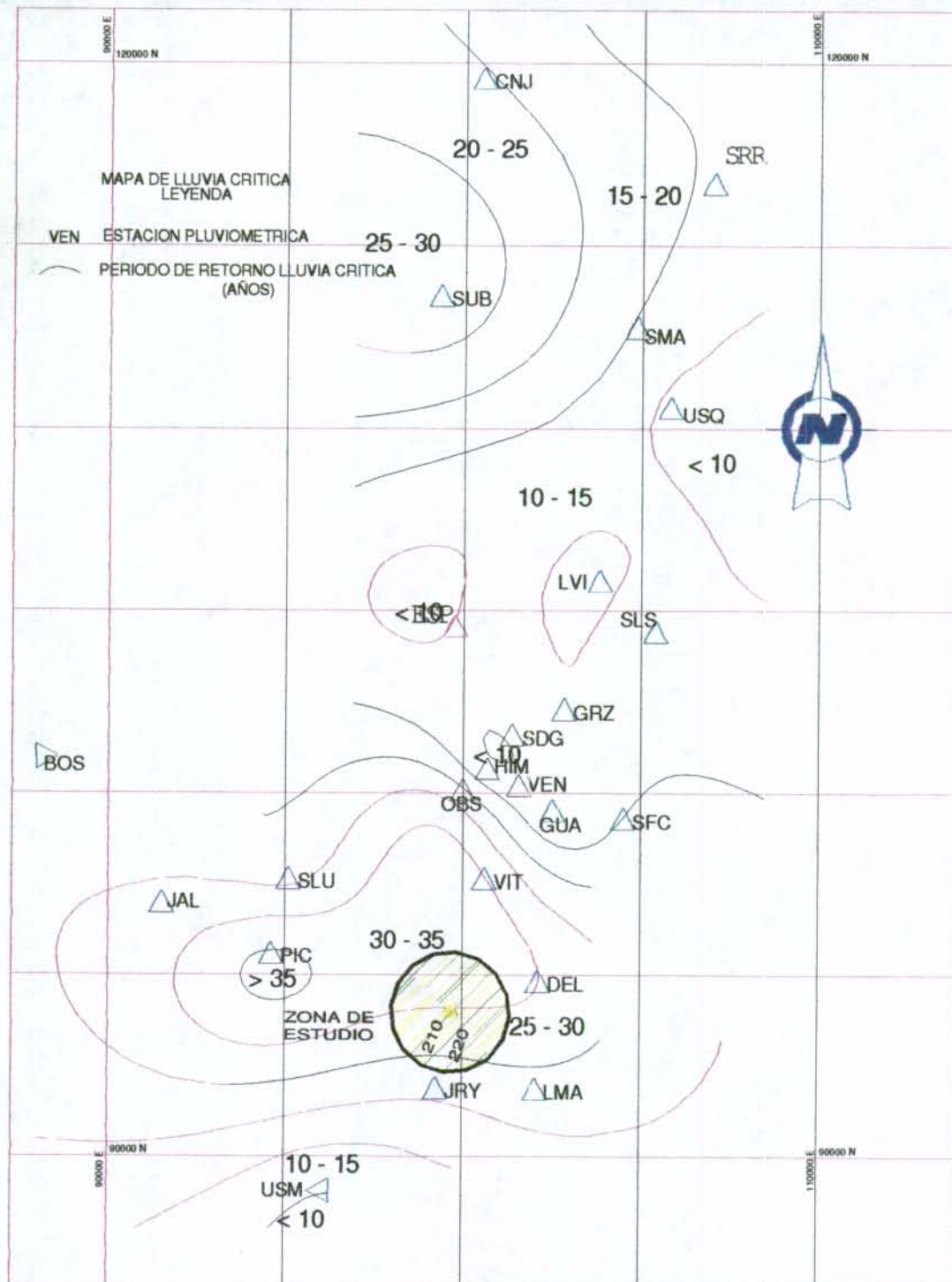


Figura 5.4. Curvas de Periodos de Retorno de la Precipitación Crítica - para la zona de estudio.⁴

⁴ Tomado de "Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá" (INGEOCIM - UPES, 1998).

5.3. Caudales máximos de la quebrada El Zuque

Para el cálculo de los caudales máximos esperados de la quebrada El Zuque, se utilizó la fórmula racional, aceptada para cuencas menores de 1 Km². Esta fórmula se identifica con la ecuación:

$$Q = k \times i \times A \times c$$

Donde Q es el caudal pico de la creciente (m³/s); k un factor de conversión que en el sistema métrico es igual a 0.00278 (m³/s/Ha mm/hr); i la intensidad máxima para la frecuencia de diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca vertiente (mm/hr); A es el área de la cuenca (Ha); c es el coeficiente de escorrentía, con valor numérico entre 0 y 1, y depende de las características fisiográficas de la cuenca y la cobertura del suelo. Los caudales máximos obtenidos al aplicar el método racional se muestran en la tabla 5.2.

a) Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía es la relación entre la tasa pico de escorrentía directa y la intensidad promedio de precipitación en una tormenta. Debido a la alta variabilidad de la intensidad de precipitación, este valor es difícil de determinar utilizando la información observada. Se puede obtener un valor del coeficiente de escorrentía satisfactorio considerando: el relieve, permeabilidad, vegetación y capacidad de almacenaje en la zona de estudio. De acuerdo con las recomendaciones del MOPT⁵, para este caso se obtiene un valor de 0.5, teniendo en cuenta las características morfométricas y de cobertura del suelo de la cuenca en estudio.

b) Tiempo de concentración

El tiempo de concentración o tiempo requerido para que el agua que ha caído en el punto más alejado de la cuenca hidrográfica fluya a la sección de diseño del colector o cuneta, depende de las características topográficas de la cuenca. Por tratarse de microcuencas de pendiente media a alta, los tiempos de concentración se calcularon por medio de la fórmula de Kirpich:

$$T_c = 4 \times \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$$

⁵ Ministerio de Obras Públicas y Transporte - La Vialidad Ltda. (1988). *Criterios y normas para el diseño geométrico de carreteras: El drenaje como factor determinante en obras viales*. Reglamento técnico general de obras viales, Tomo III.

Donde el tiempo de concentración (T_c) resulta en minutos, la longitud (L) en kilómetros y la pendiente (S) en m/m. Los tiempos de concentración menores de 10 minutos se aproximan a 10 minutos.

5.3.1. Amenaza por inundaciones

Para calcular los niveles máximos de inundación se tomaron secciones transversales en la quebrada El Zuque, (ver Plano 3.1 y 3.2) A partir de estas secciones se delimitaron las áreas de aporte (subcuencas) y se determinaron los principales parámetros morfométricos con el fin de calcular los caudales máximos para diferentes períodos de retorno, aplicando el modelo de lluvia - escorrentía (método racional), los resultados se muestran en la Figura 5.5, la cual indica la variación del caudal con respecto a cada sección y el período de retorno. A continuación se presentan los cálculos de los caudales máximos esperados en cada una de las diferentes secciones, para diferentes períodos de retorno:

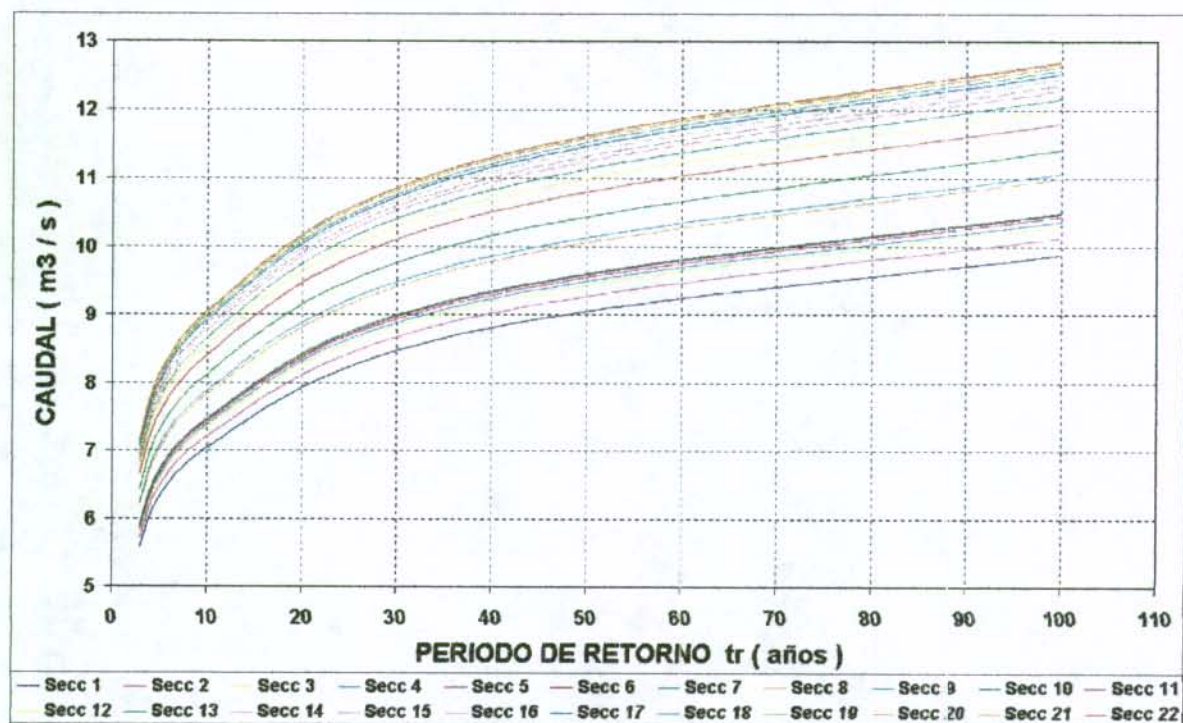


Figura 5.5. Caudal v.s. Período de Retorno para las diferentes secciones de la Quebrada El Zuque

El nivel máximo de inundación se calculó para un caudal de período de retorno de 100 años; este nivel se determinó a partir de los parámetros hidráulicos de las secciones transversales. Con estos niveles máximos se delimitó la zona de inundación ($T_r=100$ años), el cual se presenta en el Plano 3.1; las secciones hidráulicas se presentan en el Plano 3.2.

Tabla 5.2. Cálculos de caudales de la quebrada El Zuque.

| t (años) | t (años) | | | | | |
|----------|----------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | 3 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| 10 | 70,59 | 79,70 | 89,04 | 104,12 | 114,50 | 125,06 |
| 15 | 62,3 | 70,81 | 80,71 | 93,66 | 103,25 | 112,79 |
| 30 | 45,57 | 52,21 | 60,59 | 71,14 | 79,01 | 86,62 |
| 50 | 30,85 | 35,7 | 41,8 | 49,53 | 55,21 | 60,9 |
| 120 | 19,59 | 23,4 | 28,16 | 34,22 | 38,71 | 43,16 |
| 300 | 7,62 | 9,24 | 11,31 | 13,65 | 15,77 | 17,68 |

| CUENCA | C | A (Ha) | L (Km) | delta h (Km) | S | RAÍZ S | t _c (minutos) | t _c adoptado (minutos) | K |
|--------|-----|--------|--------|--------------|------|--------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 0,5 | 56,88 | 1,26 | 0,43 | 0,34 | 0,58 | 7,22 | 10,00 | Factor de Conversión: 0,00278 |
| 2 | 0,5 | 58,29 | 1,30 | 0,44 | 0,34 | 0,58 | 7,43 | 10,00 | |
| 3 | 0,5 | 69,35 | 1,33 | 0,44 | 0,33 | 0,57 | 7,65 | 10,00 | |
| 4 | 0,5 | 59,67 | 1,37 | 0,45 | 0,33 | 0,57 | 7,83 | 10,00 | |
| 5 | 0,5 | 60,07 | 1,39 | 0,45 | 0,32 | 0,57 | 7,96 | 10,00 | |
| 6 | 0,5 | 60,29 | 1,41 | 0,45 | 0,32 | 0,57 | 8,04 | 10,00 | |
| 7 | 0,5 | 60,41 | 1,42 | 0,46 | 0,32 | 0,57 | 8,12 | 10,00 | |
| 8 | 0,5 | 63,25 | 1,44 | 0,46 | 0,32 | 0,56 | 8,21 | 10,00 | |
| 9 | 0,5 | 63,70 | 1,45 | 0,46 | 0,32 | 0,56 | 8,28 | 10,00 | |
| 10 | 0,5 | 65,64 | 1,48 | 0,46 | 0,31 | 0,56 | 8,44 | 10,00 | |
| 11 | 0,5 | 67,93 | 1,50 | 0,47 | 0,31 | 0,56 | 8,58 | 11,00 | |
| 12 | 0,5 | 69,15 | 1,52 | 0,47 | 0,31 | 0,55 | 8,69 | 12,00 | |
| 13 | 0,5 | 69,96 | 1,54 | 0,47 | 0,31 | 0,55 | 8,79 | 13,00 | |
| 14 | 0,5 | 70,72 | 1,57 | 0,47 | 0,30 | 0,55 | 8,96 | 14,00 | |
| 15 | 0,5 | 71,16 | 1,58 | 0,48 | 0,30 | 0,55 | 9,01 | 15,00 | |
| 16 | 0,5 | 71,64 | 1,60 | 0,48 | 0,30 | 0,55 | 9,11 | 16,00 | |
| 17 | 0,5 | 72,10 | 1,62 | 0,48 | 0,30 | 0,55 | 9,23 | 17,00 | |
| 18 | 0,5 | 72,39 | 1,62 | 0,48 | 0,30 | 0,55 | 9,27 | 18,00 | |
| 19 | 0,5 | 72,75 | 1,64 | 0,49 | 0,30 | 0,54 | 9,36 | 19,00 | |
| 20 | 0,5 | 72,97 | 1,65 | 0,49 | 0,30 | 0,54 | 9,39 | 20,00 | |
| 21 | 0,5 | 73,02 | 1,66 | 0,49 | 0,30 | 0,54 | 9,43 | 21,00 | |
| 22 | 0,5 | 73,07 | 1,67 | 0,49 | 0,29 | 0,54 | 9,49 | 22,00 | |

| t años | i | Secc 1 | Secc 2 | Secc 3 | Secc 4 | Secc 5 | Secc 6 | Secc 7 | Secc 8 | Secc 9 | Secc 10 | Secc 11 |
|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| | | Q | Q | Q | Q | Q | Q | Q | Q | Q | Q | Q |
| años | mm/hora | m³/s | m³/s | m³/s | m³/s | m³/s | m³/s | m³/s | m³/s | m³/s | m³/s | m³/s |
| 3 | 70,59 | 5,58 | 5,72 | 5,82 | 5,95 | 5,99 | 5,92 | 5,93 | 6,21 | 6,44 | 6,66 | 6,66 |
| 5 | 79,70 | 6,30 | 6,46 | 6,57 | 6,61 | 6,65 | 6,68 | 6,69 | 7,01 | 7,27 | 7,52 | 7,52 |
| 10 | 89,04 | 7,04 | 7,21 | 7,35 | 7,39 | 7,43 | 7,46 | 7,48 | 7,83 | 8,12 | 8,41 | 8,41 |
| 25 | 104,12 | 8,23 | 8,44 | 8,59 | 8,64 | 8,69 | 8,73 | 8,74 | 9,15 | 9,50 | 9,83 | 9,83 |
| 50 | 114,50 | 9,05 | 9,28 | 9,45 | 9,50 | 9,56 | 9,59 | 9,61 | 10,07 | 10,45 | 10,81 | 10,81 |
| 100 | 125,06 | 9,89 | 10,13 | 10,32 | 10,37 | 10,44 | 10,48 | 10,50 | 10,99 | 11,41 | 11,81 | 11,81 |

| t años | i | Secc 12 | Secc 13 | Secc 14 | Secc 15 | Secc 16 | Secc 17 | Secc 18 | Secc 19 | Secc 20 | Secc 21 |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | Q | Q | Q | Q | Q | Q | Q | Q | Q | Q |
| años | mm/hora | m³/s | m³/s | m³/s | m³/s | m³/s | m³/s | m³/s | m³/s | m³/s | m³/s |
| 3 | 70,59 | 6,78 | 6,86 | 6,94 | 6,98 | 7,03 | 7,07 | 7,10 | 7,14 | 7,16 | 7,17 |
| 5 | 79,70 | 7,65 | 7,75 | 7,83 | 7,88 | 7,94 | 7,99 | 8,02 | 8,05 | 8,09 | 8,09 |
| 10 | 89,04 | 8,56 | 8,66 | 8,75 | 8,81 | 8,87 | 8,92 | 8,96 | 9,00 | 9,04 | 9,04 |
| 25 | 104,12 | 10,01 | 10,12 | 10,24 | 10,30 | 10,37 | 10,43 | 10,48 | 10,53 | 10,57 | 10,58 |
| 50 | 114,50 | 11,00 | 11,13 | 11,25 | 11,32 | 11,40 | 11,47 | 11,52 | 11,58 | 11,62 | 11,63 |
| 100 | 125,06 | 12,02 | 12,16 | 12,29 | 12,37 | 12,45 | 12,53 | 12,58 | 12,65 | 12,69 | 12,70 |

6. INVESTIGACION DEL SUBSUELO

En este numeral se presentan los resultados de los trabajos de investigación del subsuelo que se llevaron a cabo en campo y de los ensayos de laboratorio que se realizaron a los materiales encontrados; de igual manera se describe el perfil estratigráfico obtenido y se indican las características geotécnicas de los suelos presentes en el área objeto del estudio.

6.1. Plan de exploración del subsuelo.

La exploración del subsuelo se basó en la ejecución de sondeos con equipo manual y/o mecánico, para determinar las características geomecánicas del material que constituye los diferentes taludes, en los cuales se detectó inestabilidad. Los sondeos en cada lugar se hicieron a lo largo de una sección transversal con el fin de interpretar el perfil estratigráfico y establecer la profundidad de la masa inestabilizada.

A continuación se presenta el número de sondeos realizados y las profundidades alcanzadas. En el plano "Localización de sitios inestables 9.1", se presentan la localización de cada uno de los sitios con sus respectivos sondeos, para mayor detalle estos se encuentran localizados en los planos del Anexo 10 "Diseño obras de mitigación".

TABLA 6.1 TRABAJOS DE EXPLORACION DEL SUBSUELO

| SITIO No. | SONDEO No. | PROFUNDIDAD (m) |
|-----------|------------|-----------------|
| 1 | 1 | 5.0 |
| | 8 | 5.0 |
| 2 | 7 | 5.0 |
| | 6 | 5.0 |
| 3 | 3 | 5.5 |
| | 4 | 5.0 |
| | 5 | 6.0 |
| 4 | 2 | 6.5 |
| | 9 | 5.0 |
| 5 | 10 | 5.0 |
| | 11 | 6.0 |
| 6 | 12 | 6.0 |

En cada una de las perforaciones y a través de la longitud explorada, se llevó a cabo un registro continuo y un muestreo detallado de los suelos obtenidos.

Durante la ejecución de los sondeos se efectuó el ensayo de penetración estándar (SPT) y se recuperaron muestras alteradas con la cuchara partida (Split Spoon), las cuales fueron descritas en campo.

El ensayo de penetración estándar se realizó cada 0.70 m a 1.50 m, para obtener parámetros de resistencia del subsuelo, tanto en materiales granulares como en suelos finos de consistencia firme a dura.

En los horizontes constituídos por material cohesivo se tomaron muestras inalteradas con el tubo de pared delgada (Shelby). Sobre este material se hicieron ensayos de corte directo.

6.2. Ensayos de laboratorio.

Todas las muestras obtenidas se identificaron visualmente y se realizó una descripción detallada de cada una de éstas, sobre una cantidad representativa de los diferentes suelos encontrados, se realizaron las pruebas de laboratorio requeridas para clasificar y determinar las propiedades In-situ, a continuación se relacionan los ensayos realizados a las muestras obtenidas.

CLASIFICACION

Análisis granulométrico de suelos por tamizado.

Determinación del límite líquido de los suelos.

Límite plástico e índice de plasticidad.

PROPIEDADES IN-SITU

Determinación del contenido orgánico en suelos mediante pérdida por ignición.

Peso unitario.

Veleta de laboratorio.

Corte directo.

En el anexo "Investigación del subsuelo", así como al final del presente capítulo se presenta la tabla 6.2 en donde se resumen los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a las diferentes muestras obtenidas en la exploración del subsuelo.

6.3. Análisis de resultados

6.3.1. Parámetros de resistencia

Inicialmente se efectuó un ensayo de corte directo a una muestra a 1.0 m de profundidad, obtenida en un apique localizado en el sitio 1. La muestra ensayada es un suelo residual de arcillolita conformado por arcilla limosa habana con vetas de oxidación, fisurada, con lentes arenosos de color habano, con un peso unitario de 1.90 ton/m^3 y una humedad de 29%.

El ensayo se realizó con una velocidad de deformación de 0.001213 mm/min y esfuerzos normales aplicados de 2.5 ton/m^2 , 5.0 ton/m^2 y 10 ton/m^2 , encontrando un c' y ϕ de 6.1 ton/m^2 y 14° respectivamente.

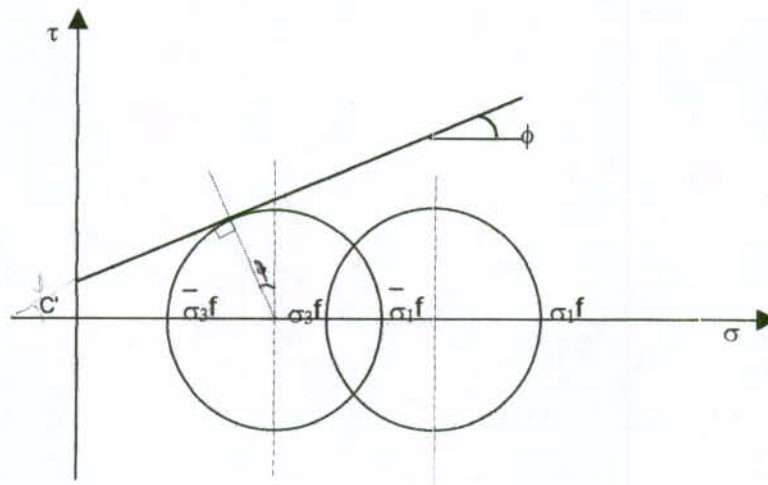
Durante los trabajos de exploración del subsuelo se efectuó el ensayo de penetración estándar, a partir del cual empleando correlaciones se buscó determinar los parámetros c' y ϕ utilizando el siguiente procedimiento, propuesto por el Doctor Alvaro González.

- El primer paso consistió en encontrar el N_{70} o número de golpes por pie corregido a una energía del 70%.
- Una vez obtenido N_{70} se calculó el valor del ángulo de fricción interna (ϕ) como $\sqrt{20N_{70}} + 15$.
- Luego se procedió a calcular el valor correspondiente con $\sigma_v \tan \phi$, donde σ_v es el esfuerzo vertical efectivo a la profundidad del ensayo.
- Con los valores de $\sigma_v \tan \phi$ se dibujó éste, contra el valor de τ (resistencia al corte), como $\tau = \sigma_v \tan \phi$.
- Como resultado de los puntos encontrados se efectuó una regresión lineal, donde el intercepto con τ es la cohesión C' .
- De esta manera se obtuvo $\tau = c' + \sigma_v \tan \phi$ y a su vez c' y ϕ .
- El proceso anterior se efectuó para cada material, limitando el valor de c' a mínimo cero.

Como alternativa se utilizó un procedimiento propuesto por el Ingeniero Mauricio Camargo, el cual se describe a continuación:

- Corregir el número de golpes por pie a N_{70} .

- Calcular el ángulo de fricción interna ϕ como $\sqrt{(20N_{70}) + 15}$
- Obtener el valor de resistencia al corte no drenado C_u como $N_{70}/1.6$ (ton/m²).
- Obtener C' a partir de ϕ utilizando la siguiente ecuación:



$$\text{Sen } \phi = \frac{\frac{\sigma_{1f} - \sigma_{3f}}{2}}{\dots}$$

$$\frac{\frac{\sigma_{1f} + \sigma_{3f}}{2} + \frac{c \cos \phi}{\text{Sen } \phi}}$$

$$qf = \text{Sen } \phi \left(\frac{\sigma_{1f} + \sigma_{3f}}{2} + \frac{c \cos \phi}{\text{Sen } \phi} \right)$$

$$qf = \frac{\sigma_{1f} + \sigma_{3f}}{2} \text{ Sen } \phi + c \cos \phi$$

$$qf = (\sigma_{3f} + qf) \text{ Sen } \phi + c \cos \phi$$

$$qf - (\bar{\sigma}_3 + qf) \text{ Sen } \phi = \bar{c} \cos \phi$$

$$qf - qf \text{ sen } \phi = \bar{c} \cos \phi + \bar{\sigma}_3 \text{ sen } \phi$$

$$qf (1 - \text{sen } \phi) = \bar{c} \cos \phi + \bar{\sigma}_3 \text{ sen } \phi$$

$$qf = \frac{\bar{c} \cos \phi + \bar{\sigma}_3 \text{ sen } \phi}{1 - \text{sen } \phi}$$

$$Uf = Af (\sigma_{1f} - \sigma_{3f}) = 2 Aqf$$

$$qf = \frac{\bar{c} \cos \phi + (\sigma_3 - 2Aqf) \text{ sen } \phi}{1 - \text{sen } \phi}$$

$$qf = cu$$

En términos generales en el sitio tenemos para suelos sobreconsolidados entonces:

$$A = 0$$

$$cu = \frac{\bar{c} \cos \phi + \bar{\sigma}_3 \text{ sen } \phi}{1 - \text{sen } \phi}$$

$$\bar{\sigma}_3 \text{ se calculo como } \bar{\sigma}_v (1 - \text{sen } \phi)$$

$$\bar{c} \cos \phi + \bar{\sigma}_3 \text{ sen } \phi = Cu (1 - \text{sen } \phi)$$

$$c \cos \phi = C_u (1 - \sin \phi) - \sigma_v (1 - \sin \phi) \sin \phi$$

$$\bar{c} = \frac{(C_u - \bar{\sigma}_v \sin \phi) (1 - \sin \phi)}{\cos \phi}$$

El primer método obtiene valores de ϕ en el rango normal esperado y valores de C' igual a cero o muy próximos a cero.

El segundo método obtiene valores de ϕ en el rango normal y valores de C' relativamente altos; sin embargo los suelos del sitio son residuales de arcillolita o la misma arcillolita. Estos resultados se presentan en el anexo "Parámetros de resistencia al corte", y en la tabla 6.3 que se presenta al final del capítulo se relaciona cada una de las perforaciones realizadas con los parámetros de resistencia estimados del SPT.

6.3.2. Parámetros de resistencia adoptados.

Para cada uno de los taludes detectados en condición de falla se efectuó el análisis de estabilidad utilizando los parámetros de resistencia obtenidos por ambos métodos y buscando que el factor de seguridad se ajustará a un valor menor pero próximo a 1.0, ya que las fallas no han producido desplazamientos realmente grandes.

Con el análisis de estabilidad antes indicado denominado retrocálculo o análisis retrospectivo, se encontraron parámetros de resistencia al corte intermedios a los dos métodos antes descritos. Estos parámetros fueron adoptados por el posterior análisis de estabilización.

Para el análisis de probabilidad de fallas se emplearon como máximo los valores obtenidos por el método propuesto por el Ingeniero Mauricio H. Camargo y los valores mínimos los obtenidos por el método del Doctor Álvaro González.

6.3.3. Otros parámetros.

El perfil actual del terreno se obtuvo de los trabajos de topografía descritos en los numerales anteriores.

Los estratos o niveles de suelos se describen en el numeral 6.1.3. y para cada uno de los sitios en estudio, en el anexo "Investigación del subsuelo" se presenta la estratigrafía.

El nivel freático o en su defecto el parámetro de presión de poros fue otro de las variables que se analizaron con especial cuidado para cada sitio, ya que esta variable modifica significativamente el factor de seguridad. Con el análisis y definición de este parámetro se logró obtener un modelo de análisis más consistente con la realidad de cada uno de los sitios analizados. En el anexo 5 "Memorias de cálculo análisis de estabilidad" se presentan las memorias de cálculo entregadas por el programa, donde se indica la variación del parámetro r_u para el caso seco o parcialmente saturado.

El efecto del sismo fue incluido mediante un coeficiente de aceleración de 0.21, el cual se obtuvo del estudio detallado efectuado para el nuevo relleno de Santafé de Bogotá, por BIL Ingeniería Ltda. en 1998.

6.4. ESTRATIGRAFIA.

A continuación se hace una descripción de los suelos típicos definidos por sitio con sus propiedades geomecánicas.

SITIO 1

Este sitio esta caracterizado básicamente por tres estratos:

El primero está compuesto por materiales varios como desechos de construcción, rellenos y suelos orgánicos, la profundidad del estrato varía entre 1.0 m y 1.5 m a partir de la superficie.

El segundo estrato esta constituido por un limo gris con vetas rojizas de consistencia firme a muy firme, algo orgánico de plasticidad alta y de alta comprensibilidad, el espesor promedio de este suelo es de 2.50 metros y llega a profundidades que varían entre 3.50 m y 4.0 m desde la superficie del terreno.

El tercer estrato esta formado por una arcilla habana con vetas rojizas, con algo de arena, de consistencia dura, plasticidad media y baja compresibilidad. Este suelo parte desde una profundidad que varía entre 3.5 metros a 4.0 metros y continúa hasta la longitud explorada de 5.0 m en donde encuentra la roca (arcillolita).

Es conveniente resaltar que a través de la longitud explorada se observó que la plasticidad y la humedad tienden a disminuir con la profundidad mientras que la resistencia medida por el SPT aumenta.

A continuación se relacionan la variación de las principales características encontradas de los suelos encontrados en el segundo y tercer estrato.

Segundo Estrato

| | |
|-------------------------------|-------------------------|
| Humedad natural | 9 - 48% |
| Limite líquido | 60-66% |
| Índice de plasticidad | 21-23% |
| Porcentaje de finos (P200) | 74-94% |
| N ₇₀ | 6-12 golpes |
| Angulo de fricción (ϕ) | 28.3° -29.2° |
| Cohesión (c) | 0-2.13 t/m ² |

Tercer Estrato

| | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Humedad natural | 13-58% |
| Limite líquido | 38-40% |
| Índice de plasticidad | 17-19% |
| Porcentaje de finos (P200) | 64-82% |
| N ₇₀ | 20 - 46 golpes |
| Angulo de fricción (ϕ) | 45.2° (*) |
| Cohesión (c) | 0-9.24 t/m ² (*) |

(*) Para la descripción de estos rangos ver numeral 6.3.

No se encontró nivel freático en ninguna de las perforaciones.

SITIO 2

En este sector se encontró en la parte alta del talud una primera capa de arena de grano fino, arcillalimosa con trazas de grava habana, medianamente suelta, la fracción fina de este material presenta un comportamiento de plasticidad baja y baja compresibilidad, hasta una profundidad de 3.50 m.

En el cuerpo del talud e inmediatamente después del primer estrato se encuentra una arcilla con trazas de arena de grano fino gris, de consistencia muy firme a dura, de plasticidad media y baja compresibilidad, la cual aumenta su resistencia con la profundidad de 26 golpes a 52 hasta encontrar rechazo en la roca a una profundidad de 5.0 metros.

A continuación se realiza una descripción de los suelos encontrados:

Primer Estrato

| | |
|-------------------------------|-------------------|
| Humedad natural | 14-52% |
| Límite líquido | 28% |
| Índice de plasticidad | 7% |
| Porcentaje de finos (P200) | 29.7% |
| N ₇₀ | 16 - 34 golpes |
| Angulo de fricción (Φ) | 30.4° - 36.3° (*) |
| Cohesión (c) | 0 (*) |

(*) Para la descripción de estos rangos ver numeral 6.3.

Segundo Estrato

| | |
|-------------------------------|----------------------------------|
| Humedad natural | 13-16% |
| Límite líquido | 37% |
| Índice de plasticidad | 14% |
| Porcentaje de finos (P200) | 96% |
| N ₇₀ | 26 - 52 golpes |
| Angulo de fricción (ϕ) | 36.51° - 38.3° (*) |
| Cohesión (c) | 0.08 - 7.01 t/m ² (*) |

(*) Para la descripción de estos rangos ver numeral 6.3.

No se encontró nivel freático en ninguna de las perforaciones.

SITIO 3

En la corona del talud se encontró un primer estrato de materiales de construcción que tiene una profundidad que varía con la profundidad entre 0.75 m y 1.0 m; esta capa se encuentra solo en la corona del talud debido a que en el cuerpo y la pata del movimiento hay un limo y/o arcilla algo orgánico con trazas de arena gris con vetas habanas de consistencia firme a dura de alta plasticidad y alta compresibilidad; este material fue

encontrado a través de la longitud explorada hasta una profundidad de 6.0 m en donde se encuentra la roca, a continuación se indican algunas de las más importantes características geomecánicas:

En la parte media del talud se encontró el nivel freático a una profundidad de 2.0 m en el sondeo 5.

Segundo Estrato

| | |
|----------------------------|-------------------------------|
| Humedad natural | 10-54% |
| Limite líquido | 70-30% |
| Índice de plasticidad | 9-35% |
| Porcentaje de finos (P200) | 54-90% |
| N ₇₀ | 10-56 golpes |
| Angulo de fricción (φ) | 30.1° - 30.7° (*) |
| Cohesión (c) | 0 - 2.97 t/m ² (*) |

(*) Para la descripción de estos rangos ver numeral 6.3.

En el sondeo 5 a 2.0 m de profundidad se encontró agua en estado libre.

SITIO 4

Básicamente este sitio presenta un primer estrato que esta conformado por un relleno el cual varía con la profundidad hasta 1.50 m y a partir de esta profundidad se encuentra una arcilla y arena gris de plasticidad alta y alta compresibilidad, que en general presenta una consistencia medianamente firme en la parte superior a dura al finalizar el estrato; es importante resaltar que en los suelos encontrados hay un alto contenido de humedad hasta una profundidad de 4.0m en donde disminuye drásticamente al contacto con la roca.

A continuación se indican algunas de las más importantes características geomecánicas del estrato arcilloso:

| | |
|----------------------------|-------------------------------|
| Humedad natural | 12-54% |
| Limite líquido | 46-56% |
| Índice de plasticidad | 22-23% |
| Porcentaje de finos (P200) | 61-95% |
| N ₇₀ | 10-70 golpes |
| Angulo de fricción (φ) | 25.8° - 32.0° (*) |
| Cohesión (c) | 0 - 3.95 t/m ² (*) |

(*) Para la descripción de estos rangos ver numeral 6.3.

No se encontró nivel freático en ninguna de las perforaciones.

SITIO 5

En este sector se encontró un primer horizonte conformado por una arcilla con trazas de arena gris con vetas habanas, de consistencia firme en la parte superior del estrato a dura al aumentar la profundidad; este material presenta un comportamiento de plasticidad alta y alta compresibilidad que llega hasta una profundidad que varía entre 5.0 m a 6.0 m en donde la humedad disminuye de 45% a 13% al encontrar la roca. A continuación se realiza una descripción de los suelos encontrados.

| | |
|-------------------------------|----------------------------------|
| Humedad natural | 12-45% |
| Limite líquido | 31-58% |
| Índice de plasticidad | 10-18% |
| Porcentaje de finos (P200) | 65-98% |
| N ₇₀ | 4-38 golpes |
| Angulo de fricción (ϕ) | 25° - 27.2° (*) |
| Cohesión (c) | 0.08 - 1.65 t/m ² (*) |

(*) Para la descripción de estos rangos ver numeral 6.3.
No se encontró nivel freático en ninguna de las perforaciones.

SITIO 6

En este sitio se encontró arena de grano fino gravosa, habana con vetas rojizas, densa. La fracción fina de este material presenta un comportamiento de plasticidad baja y baja compresibilidad además este estrato aumenta su resistencia con la profundidad hasta encontrar la roca.

Este estrato alcanza una profundidad de 6.0 m en la corona del talud en donde se encuentra con la roca, a medida que se va inclinando el talud, el espesor del estrato va disminuyendo hasta desaparecer en la pata, en donde aflora la roca, a continuación se describen las características del estrato.

| | |
|-------------------------------|----------------------------------|
| Humedad natural | 17-37% |
| Limite líquido | 31% |
| Índice de plasticidad | 5% |
| Porcentaje de finos (P200) | 21% |
| N ₇₀ | 14-65 golpes |
| Angulo de fricción (ϕ) | 0 - 33.1° (*) |
| Cohesión (c) | 0.24 - 9.41 t/m ² (*) |

(*) Para la descripción de estos rangos ver numeral 6.3.
No se encontró nivel freático en ninguna de las perforaciones.

SITIO 7

Este sector esta compuesto superficialmente por una arcilla y arena de grano fino, gris y habana, de consistencia firme a dura, de plasticidad alta y alta compresibilidad.

SITIO 8

En este sitio se encontró superficialmente al igual que en el sector 7 una arcilla y arena de grano fino, de consistencia dura, gris con vetas habanas y rojizas de oxidación, de plasticidad alta y alta compresibilidad.

TABLA 6.2.

SONDEOS

RESULTADOS

| LOCALIZACIÓN | SONDEO No. | Muestra No. | Profundidad de la muestra | Profundidad del estrato | | Humedad % | LL % | LP % | IP % | CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA (%) | GRANULOMETRÍA % QUE PASA | | | | CLASIFICACION | | | PARAMETROS DE RESISTENCIA | | γ_n (Ton/m ³) | DESCRIPCIÓN | | |
|--------------|------------|-------------|---------------------------|-------------------------|-----------------|-----------|------|------|------|-----------------------------------|--------------------------|-------|--------|--------|---------------|-----------------|-------|---------------------------|---|----------------------------------|---|-------------------------------|--|
| | | | | límite superior | límite inferior | | | | | | 34" | No. 4 | No. 10 | No. 40 | No. 200 | Índice de grupo | ASTHO | UBC | Ensayo de penetración estándar (N ₆₀) | | | PIERCEMETRO (MP) | |
| TANQUE | 1 | | 0,50 | 0,00 - 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | relleno de materiales varios. | | |
| | | 1 | 1,25 | 1,00 - 3,50 | 36 | | | | | | | | | | | | 8 | 5,00 | | | limo con trazas de arena de grano fino, gris con vetas rojas, de consistencia firme, plasticidad alta y de alta compresibilidad | | |
| | | 2 | 2,25 | 1,00 - 3,50 | 9 | 60 | 39 | 21 | | | | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 94,0 | (16) | A-7-5 | MH | 9 | 4,70 | idem. | |
| | | 3 | 3,75 | 3,50 - 5,00 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | 20 | 22,50 | arcilla y arena de grano fino habano con vetas rojas, de consistencia dura, plasticidad media y de baja compresibilidad |
| 4 ZONA VERDE | | 4 | 4,50 | 3,50 - 5,00 | 13 | 36 | 19 | 19 | | | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 94,0 | (9) | A-6 | CL | 37 | 22,50 | 1,77 | idem. | |
| | | | 0,50 | 0,00 - 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | relleno de materiales varios. | |
| | | 1 | 1,25 | 1,00 - 2,50 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | 17 | 19,40 | arcilla y arena de grano fino, gris habano, de consistencia firme, con vetas amarillentas, de plasticidad alta y de baja compresibilidad |
| | | 2 | 2,25 | 1,00 - 2,50 | 37 | 46 | 24 | 23 | | | | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 81,0 | (11) | A-7-5 | CL | 12 | 14,80 | idem. | |
| | | 3 | 3,75 | 2,50 - 6,00 | 38 | | | | | | | | | | | | | | | | 17 | 13,10 | limo, con trazas de arena de grano fino, gris habano, de consistencia dura, plasticidad alta y de alta compresibilidad |
| 5 ZONA VERDE | | 4 | 4,75 | 2,50 - 6,00 | 34 | 56 | 34 | 23 | | | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 95,0 | (16) | A-7-5 | MH | 24 | 14,80 | 1,93 | idem. | |
| | | 5 | 5,75 | 2,50 - 6,00 | 13 | | | | | | | | | | | | | | | | 70 | 22,50 | idem, habano rojizo, con vetas grises. |
| | | | 0,50 | 0,00 - 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | relleno conformado por materiales de construcción. |
| | | 1 | 1,25 | 1,00 - 5,00 | 37 | | | | | | | | | | | | | | | | 10 | | arcilla y arena de grano fino, gris habano, de consistencia dura, plasticidad baja y de baja compresibilidad |
| | | 2 | 2,75 | 1,00 - 5,00 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | 13 | | idem. |
| 6 ZONA VERDE | | 3 | 3,25 | 1,00 - 5,00 | 14 | 30 | 21 | 9 | | | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 84,0 | (4) | A-4 | CL | 35 | | | idem. | |
| | | 4 | 3,75 | 1,00 - 5,00 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | 56 | | idem. |
| | | 5 | 4,75 | 1,00 - 5,00 | 14 | | | | | | | | | | | | | | | | 40 | | idem. |
| | | | 0,30 | 0,00 - 0,70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | relleno conformado por materiales de construcción |
| | | 1 | 1,00 | 0,70 - 5,00 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | 11 | | limo con trazas de arena de grano fino negro, de consistencia firme, plasticidad alta y de alta compresibilidad |
| | 2 | 2,40 | 0,70 - 5,00 | 49 | 66 | 34 | 32 | | | | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 80,0 | (20) | A-7-5 | MH | 13 | 3,20 | | idem, gris habano, | |
| | 3 | 3,50 | 0,70 - 5,00 | 43 | | | | | | | | | | | | | | | | 13 | 5,80 | idem. | |

TABLA 6.2.

SONDEOS

RESULTADOS

| LOCALIZACIÓN | SONDEO No. | Muestra No. | Profundidad de la muestra | Profundidad del estrato | | Humedad % | LL % | LP % | IP % | CONTENIDO MATERIA ORGÁNICA (%) | GRAMULOMETRÍA % QUE PASA | | | CLASIFICACION | | PARAMETROS DE RESISTENCIA | | γ_n (Ton/m ³) | DESCRIPCIÓN | |
|-----------------------|------------|-------------|---------------------------|-------------------------|-----------------|-----------|------|------|------|--------------------------------|--------------------------|-------|--------|---------------|---------|---------------------------|--------|----------------------------------|-------------|---|
| | | | | límite superior | límite inferior | | | | | | 34" | No. 4 | No. 10 | No. 40 | No. 200 | Índice de grupo | AASHTO | | | USC |
| | | 4 | 4,25 | 0,70 - 5,00 | | 40 | | | | | | | | | | | 25 | 5,80 | | Idem, |
| | | 5 | 4,75 | 0,70 - 5,00 | | 19 | | | | | | | | | | | 46 | 9,70 | | Idem, |
| 5 ZONA VERDE | 5 | 1 | 0,80 | 0,00 - 0,80 | | 10 | | | | | | | | | | | 26 | | | arcilla roja, con vetas grises. |
| | | 2 | 1,00 | 0,80 - 3,00 | | 32 | | | | | | | | | | | 25 | | | limo y arena de grano fino negro y habano, orgánico, de consistencia muy firme, plasticidad alta y de alta compresibilidad |
| | | 3 | 2,75 | 0,80 - 3,00 | | 40 | | | | | | | | | | | 18 | 10,30 | | Idem, |
| | | 4 | 3,75 | 3,00 - 6,00 | | 54 | 70 | 35 | 35 | 9,1 % | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 66,0 | (14) | A-7-5 | MH | | | Idem, negro y habano. |
| | | 5 | 4,30 | 3,00 - 6,00 | | 46 | | | | | | | | | | | 32 | 13,20 | 1,78 | Idem, gris habana. |
| | | 6 | 5,75 | 3,00 - 6,00 | | 51 | | | | | | | | | | | | 6,70 | | Idem, con vetas grises |
| 6 TALUD VIA DE ACCESO | 6 | 1 | 0,25 | 0,00 - 0,50 | | 52 | | | | 7,7 % | | | | | | | | | | capa vegetal, orgánico, |
| | | 2 | 0,75 | 0,50 - 3,50 | | 30 | | | | | | | | | | | 21 | | | arena de grano fino arcillosa con trazas de grava fina habana, medianamente suelta, su fracción fina presenta un comportamiento de plasticidad baja y de baja compresibilidad |
| | | 3 | 1,25 | 0,50 - 3,50 | | 14 | | | | | | | | | | | 34 | | | Idem, |
| | | 4 | 2,25 | 0,50 - 3,50 | | 15 | | | 7 | | 100,0 | 99,8 | 99,5 | 94,0 | 29,7 | (0) | A-2-4 | SC-SM | | Idem, habana. |
| | | 5 | 2,75 | 0,50 - 3,50 | | 17 | | | | | | | | | | | 16 | | | Idem, |
| | | 6 | 3,75 | 3,50 - 5,00 | | 21 | 42 | 23 | 19 | | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 91,0 | (12) | A-7-5 | CL | | | Arcilla con trazas de arena de grano fino rojas con vetas grises, de consistencia dura, plasticidad media y de baja compresibilidad |
| | | 7 | 4,75 | 3,50 - 5,00 | | 15 | | | | | | | | | | | 52 | | | Idem, |
| 6 TALUD VIA DE ACCESO | 7 | 1 | 0,25 | 0,00 - 5,00 | | 13 | | | | | | | | | | | 26 | 14,40 | | arcilla con trazas de arena de grano fino gris, de consistencia muy firme, plasticidad media y de baja compresibilidad |
| | | 2 | 1,25 | 0,00 - 5,00 | | 14 | 37 | 23 | 14 | | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 98,0 | (10) | A-6 | CL | | | Idem, gris. |
| | | 3 | 2,75 | 0,00 - 5,00 | | 14 | | | | | | | | | | | 24 | 21,00 | | Idem, |
| | | 4 | 3,75 | 0,00 - 5,00 | | 15 | | | | | | | | | | | 31 | 22,50 | | Idem, |
| | | 5 | 4,75 | 0,00 - 5,00 | | 16 | | | | | | | | | | | 40 | 22,50 | | Idem, rojas con vetas grises, de consistencia dura. |
| TANQUE | 6 | | 1,00 | 0,00 - 1,50 | | | | | | | | | | | | | | | | relleno. |

TABLA 6.2.

SONDEOS

RESULTADOS

| LOCALIZACIÓN | | FECHA DE EJECUCIÓN : Ago-99 | | | | | | | | | | ORDENADO POR : Ing. Mauricio Camargo | | | | | | | |
|------------------------|-------------|---|-------------------------|-----------------|-----------|------|------|------|--------------------------------|--------------------------|-------|--------------------------------------|--------|-----------------|--------|---------------------------|---|----------------------------------|--|
| No DEL PROYECTO : 1348 | | OBJETO : estudio de riesgo por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños de las obras recomendadas para estabilizar la ladera donde se encuentran los barrios Altos del Virrey y Moravia en la localidad de San Cristóbal. | | | | | | | | | | ELABORADO POR : Francisco Montes. | | | | | | | |
| SONDEO No. | Muestra No. | Profundidad de la muestra | Profundidad del estrato | | Humedad % | LL % | LP % | IP % | CONTENIDO MATERIA ORGÁNICA (%) | GRANULOMETRÍA % QUE PASA | | | | CLASIFICACION | | PARAMETROS DE RESISTENCIA | | γ_n (Ton/m ³) | DESCRIPCIÓN |
| | | | límite superior | límite inferior | | | | | | Nº 4 | Nº 10 | Nº 40 | Nº 200 | Índice de grupo | AASHTO | USC | Ensayo de penetración estándar (N ₆₀) | | |
| | 1 | 1,75 | 1,50 - 4,00 | | 47 | | | | 4,9 % | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 74,0 | (17) | A-7-5 | MH | 9 | 10,30 | lino arenosa (de grano fino) de consistencia muy firme, plasticidad alta y de alta compresibilidad algo orgánico. |
| | 2 | 3,75 | 1,50 - 4,00 | | 48 | 66 | 43 | 23 | | | | | | | | | 12 | 8,70 | Idem. |
| | 3 | 4,25 | 4,00 - 5,00 | | 58 | | | | | | | | | | | | 45 | | arcilla con algo de arena de grano fino de consistencia dura, plasticidad media y de baja compresibilidad |
| 4 ZONA VERDE | 4 | 4,75 | 4,00 - 5,00 | | 14 | 40 | 23 | 17 | | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 82,0 | (11) | A-6 | CL | 46 | 22,50 | Idem. |
| | 9 | 1,00 | 0,00 - 1,50 | | | | | | | | | | | | | | | | relleno. |
| | 1 | 1,75 | 1,50 - 2,50 | | 54 | | | | 4,2 % | | | | | | | | 10 | 6,30 | lino, gris habano, algo orgánico. |
| | 2 | 3,75 | 2,50 - 5,00 | | 22 | | | | | | | | | | | | 40 | 16,80 | arcilla y arena de grano fino rojas, con vetas grises, de consistencia dura, plasticidad alta y de baja compresibilidad |
| | 3 | 4,75 | 2,50 - 5,00 | | 12 | 48 | 26 | 22 | | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 61,0 | (11) | A-7-5 | CL | 47 | 22,50 | Idem. |
| | 10 | 0,25 | 0,00 - 2,00 | | 13 | 58 | 27 | 31 | | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 88,0 | (20) | A-7-5 | CH | 12 | 22,50 | Arcilla con trazas de arena de grano fino gris, con vetas habanas, de consistencia firme, plasticidad alta y de alta compresibilidad |
| | 2 | 1,80 | 0,00 - 2,00 | | 14 | | | | | | | | | | | | 26 | 22,50 | Idem, vetas rojas, de consistencia muy firme. |
| | 3 | 2,75 | 2,00 - 5,00 | | 16 | 51 | 26 | 25 | | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 79,0 | (16) | A-7-5 | CH | 46 | 22,50 | Idem, gris habano, con vetas rojas, de consistencia dura. |
| | 4 | 3,75 | 2,00 - 5,00 | | 17 | | | | | | | | | | | | 48 | 22,30 | Idem. |
| | 5 | 4,75 | 2,00 - 5,00 | | 12 | | | | | | | | | | | | 45 | 22,50 | Idem. |
| | 11 | 0,40 | 0,00 - 0,60 | | | | | | | | | | | | | | | | relleno. |
| | 1 | 1,00 | 0,80 - 2,50 | | 19 | | | | | | | | | | | | 4 | | grava gruesa y arcilla arenosa (de grano fino) suelta, su fracción fina presenta un comportamiento de plasticidad baja y de baja compresibilidad |
| | 2 | 2,25 | 0,80 - 2,50 | | 22 | 31 | 22 | 10 | | 70,0 | 70,0 | 70,0 | 49,0 | (3) | A-4 | GC | 4 | 3,00 | Idem. |
| | 3 | 2,75 | 2,50 - 6,00 | | | | | | | | | | | | | | 5 | | arcilla y arena de grano fino, de consistencia firme, plasticidad alta y de alta compresibilidad |
| | 4 | 3,75 | 2,50 - 6,00 | | 28 | 51 | 24 | 28 | | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 65,0 | (15) | A-7-5 | CH | 6 | | Idem, gris habano, con vetas rojas. |
| | 5 | 4,75 | 2,50 - 6,00 | | 45 | | | | | | | | | | | | 19 | | Idem. |
| | 6 | 5,75 | 2,50 - 6,00 | | 13 | | | | | | | | | | | | 38 | | Idem, rojas, con vetas grises. |

RESULTADOS

SONDEOS

TABLA 6.2.

| LOCALIZACIÓN | SONDEO No. | Muestra No. | Profundidad de la muestra | Profundidad del estrato | | Humedad % | LL % | LP % | IP % | CONTENIDO MATERIA ORGÁNICA (%) | GRANULOMETRÍA % QUE PASA | | | | CLASIFICACION | | PARAMETROS DE RESISTENCIA | | γ^n (Ton/m ³) | DESCRIPCIÓN | | |
|---|------------|-------------|---------------------------|-------------------------|-----------------|-----------|------|------|------|--------------------------------|--------------------------|-------|--------|--------|---------------|-----------------|---------------------------|-------|----------------------------------|-------------|---|---|
| | | | | límite superior | límite inferior | | | | | | 34" | No. 4 | No. 10 | No. 40 | No. 200 | Índice de grupo | ASTHO | USC | | | Ensayo de penetración estándar (N ₆₀) | RESISTOMETRO (psf) |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>No DEL PROYECTO : 1348</p> <p>OBJETO : estudio de riesgo por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseño de las obras recomendadas para estabilizar la ladera donde se encuentran las burlas Altos del Virrey y Mirabal en la localidad de San Cristóbal.</p> <p>ELABORADO POR : Francisco Montes.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| QUEBRADA ZUQUE | 12 | | 0,30 | 0,00 - 0,60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 0,60 | 0,60 - 1,10 | 37 | | | | | 4,9 % | | | | | | | 14 | 16,10 | | | | relleno. |
| | | 2 | 1,60 | 1,10 - 6,00 | 22 | | | | | | | | | | | | 20 | 15,60 | | | | arena de grano fino gruesa (grava gruesa) limosa, habana, con vetas rojizas, duras, su fracción fina presenta un comportamiento de plasticidad baja y de baja compresibilidad |
| | | 3 | 3,75 | 1,10 - 6,00 | 23 | | | | | | | | | | | | 40 | 18,30 | | | | Idem. |
| | | 4 | 4,25 | 1,10 - 6,00 | 176 | 31 | 26 | 5 | | | | 70,0 | 70,0 | 70,0 | 21,0 | (0) | A-2-4 | SM | | | | Idem. |
| | | 5 | 4,75 | 1,10 - 6,00 | 18 | | | | | | | | | | | | 60 | 22,50 | | | | Idem. |
| | | 6 | 5,80 | 1,10 - 6,00 | 17 | | | | | | | | | | | | 65 | | | | | Idem, con vetas habanas. |

TABLA 6.3

| Perforación No. | Muestra No. | Profundidad de ensayo | | TIPO DE PERFORACION (1.5 ES CON VACIOS SIN MUELA) | PARAMETROS DE RESISTENCIA | PRESION DE POROS | SIGMA EFECTIVO VERTICAL | Fricción obtenida de sobrecarga (Ca) | Relación de energía del ensayo (η1) | Corrección por longitud del ensayo (η2) | Corrección por tama muestras (η3) | Corrección por el diámetro de la perforación (η4) | Ensayo de penetración estándar | Cu | ANGULO DE FRICCION (φ) | ko | SIGMA horizontal | COHESION | TAO |
|-----------------|-------------|-----------------------|-----------------|---|---------------------------|------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------------|---|--------------------------------|-------|------------------------|------|------------------|----------|-------|
| | | Inicio superior | Inicio inferior | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 1,00 - 1,50 | | | 6 | | 2,70 | 1,82 | 0,64 | 0,75 | 1 | 1 | 6 | 3,75 | 28,0° | 0,56 | 1,51 | 1,61 | 1,32 |
| 1 | 2 | 2,00 - 2,50 | | | 12 | | 4,50 | 1,88 | 0,64 | 0,75 | 1 | 1 | 9 | 5,63 | 28,4° | 0,52 | 2,34 | 2,09 | 2,43 |
| 1 | 3 | 3,00 - 3,50 | | | 33 | | 6,30 | 1,26 | 0,64 | 0,75 | 1 | 1 | 20 | 12,50 | 35,0° | 0,43 | 2,71 | 4,61 | 4,41 |
| 1 | 4 | 4,00 - 4,50 | | | 61 | | 8,10 | 1,11 | 0,64 | 0,85 | 1 | 1 | 37 | 23,13 | 42,2° | 0,33 | 2,67 | 7,83 | 7,34 |
| 2 | 1 | 1,00 - 1,50 | | | 14 | | 2,70 | 1,82 | 0,84 | 0,75 | 1 | 1 | 17 | 10,63 | 33,4° | 0,45 | 1,22 | 4,92 | 1,78 |
| 2 | 2 | 2,00 - 2,50 | | | 13 | | 4,50 | 1,88 | 0,84 | 0,75 | 1 | 1 | 12 | 7,50 | 30,5° | 0,49 | 2,21 | 2,98 | 2,65 |
| 2 | 3 | 3,50 - 4,00 | | | 20 | | 7,20 | 1,18 | 0,84 | 0,85 | 1 | 1 | 17 | 10,63 | 33,4° | 0,45 | 3,24 | 3,69 | 4,75 |
| 2 | 4 | 4,50 - 5,00 | | | 32 | | 9,00 | 1,05 | 0,84 | 0,85 | 1 | 1 | 24 | 15,00 | 36,9° | 0,40 | 3,60 | 4,79 | 6,78 |
| 2 | 5 | 5,50 - 6,00 | | | 91 | | 10,80 | 0,86 | 0,84 | 0,95 | 1 | 1 | 70 | 43,75 | 52,4° | 0,21 | 2,27 | 11,95 | 14,02 |
| 3 | 1 | 1,00 - 1,50 | | | 8 | | 2,70 | 1,92 | 0,84 | 0,75 | 1 | 1 | 10 | 6,25 | 29,1° | 0,51 | 1,38 | 2,91 | 1,50 |
| 3 | 2 | 2,50 - 3,00 | | | 15 | | 5,40 | 1,88 | 0,84 | 0,75 | 1 | 1 | 13 | 8,13 | 31,1° | 0,48 | 2,59 | 3,03 | 3,26 |
| 3 | 3 | 3,00 - 3,50 | | | 44 | | 6,30 | 1,26 | 0,84 | 0,75 | 1 | 1 | 35 | 21,88 | 41,5° | 0,34 | 2,14 | 7,96 | 5,57 |
| 3 | 4 | 3,50 - 4,00 | | | 67 | | 7,20 | 1,18 | 0,84 | 0,85 | 1 | 1 | 56 | 35,00 | 48,5° | 0,25 | 1,80 | 11,23 | 8,14 |
| 3 | 5 | 4,50 - 5,00 | | | 60 | | 9,00 | 1,05 | 0,84 | 0,85 | 1 | 1 | 45 | 28,13 | 45,0° | 0,29 | 2,61 | 9,04 | 9,00 |
| 4 | 1 | 0,70 - 1,20 | | | 9 | | 2,16 | 2,00 | 0,84 | 0,75 | 1 | 1 | 11 | 6,88 | 29,8° | 0,50 | 1,08 | 3,37 | 1,24 |
| 4 | 2 | 2,20 - 2,70 | | | 14 | | 4,86 | 1,83 | 0,84 | 0,75 | 1 | 1 | 13 | 8,13 | 31,1° | 0,48 | 2,33 | 3,18 | 2,93 |
| 4 | 3 | 3,30 - 3,80 | | | 17 | | 6,84 | 1,21 | 0,84 | 0,75 | 1 | 1 | 13 | 8,13 | 31,1° | 0,48 | 3,28 | 2,61 | 4,13 |
| 4 | 4 | 4,00 - 4,50 | | | 31 | | 8,10 | 1,11 | 0,84 | 0,85 | 1 | 1 | 25 | 15,63 | 37,4° | 0,39 | 3,16 | 5,31 | 6,19 |
| 4 | 5 | 4,50 - 5,00 | | | 61 | | 9,00 | 1,05 | 0,84 | 0,85 | 1 | 1 | 46 | 28,75 | 45,3° | 0,29 | 2,61 | 9,18 | 9,09 |
| 5 | 1 | 0,30 - 0,80 | | | 21 | | 1,44 | 2,00 | 0,84 | 0,75 | 1 | 1 | 26 | 16,25 | 37,8° | 0,39 | 0,56 | 7,53 | 1,12 |
| 5 | 2 | 0,80 - 1,30 | | | 20 | | 2,34 | 2,00 | 0,84 | 0,75 | 1 | 1 | 25 | 15,63 | 37,4° | 0,39 | 0,91 | 7,03 | 1,79 |
| 5 | 3 | 2,50 - 3,00 | | | 19 | | 4,40 | 1,81 | 0,84 | 0,75 | 1 | 1 | 18 | 11,25 | 34,0° | 0,44 | 1,94 | 4,67 | 2,97 |
| 5 | 4 | 3,50 - 4,00 | | | 26 | | 5,20 | 1,88 | 0,84 | 0,85 | 1 | 1 | 26 | 16,25 | 37,8° | 0,39 | 2,03 | 6,39 | 4,03 |
| 5 | 5 | 4,10 - 4,60 | | | 33 | | 5,28 | 1,88 | 0,84 | 0,85 | 1 | 1 | 32 | 20,00 | 40,3° | 0,35 | 1,85 | 7,68 | 4,48 |
| 6 | 2 | 0,50 - 1,00 | | | 22 | | 1,80 | 2,00 | 0,64 | 0,75 | 1 | 1 | 21 | 13,13 | 36,5° | 0,42 | 0,76 | 6,22 | 1,28 |
| 6 | 3 | 1,00 - 1,50 | | | 37 | | 2,70 | 1,92 | 0,64 | 0,75 | 1 | 1 | 34 | 21,25 | 41,1° | 0,34 | 0,92 | 8,86 | 2,36 |
| 6 | 4 | 2,00 - 2,50 | | | 29 | | 4,50 | 1,88 | 0,64 | 0,75 | 1 | 1 | 21 | 13,13 | 36,5° | 0,42 | 1,89 | 5,41 | 3,21 |
| 6 | 5 | 2,50 - 3,00 | | | 25 | | 5,40 | 1,88 | 0,64 | 0,75 | 1 | 1 | 16 | 10,00 | 32,9° | 0,46 | 2,48 | 3,84 | 3,49 |
| 6 | 6 | 3,50 - 4,00 | | | 54 | | 7,20 | 1,18 | 0,64 | 0,85 | 1 | 1 | 35 | 21,88 | 41,5° | 0,34 | 2,45 | 7,69 | 6,37 |
| 6 | 7 | 4,50 - 5,00 | | | 90 | | 9,00 | 1,05 | 0,64 | 0,85 | 1 | 1 | 52 | 32,50 | 47,2° | 0,27 | 2,43 | 10,11 | 9,72 |

OBJETO: Estudio de riesgo por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar la ladera donde se encuentran los barrios Altos del Virrey y Morabla en la localidad de San Cristóbal.

CALCULO DE LOS PARAMETROS COHESION Y ANGULO DE FRICCION INTERNO.

REVISADO POR: Ing. Mauricio Camargo.

ELABORADO POR: Francisco Montaña.

TABLA 6.3

OBJETO: Estudio de riesgo por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar la ladera donde se encuentran los barrios Altos del Virrey y Moralba en la localidad de San Cristóbal.

CALCULO DE LOS PARAMETROS COHESION Y ANGULO DE FRICCION INTERNO.

REVISADO POR: Ing. Mauricio Camargo.

ELABORADO POR: Francisco Montes.

| Percutido No. | Muestra No. | Profundidad de ensayo | | TIPO DE PERFORACION (1) ES CON VACIOS (2) MANUALES | PARAMETROS DE RESISTENCIA | PRESION DE POROS | SIGMA EFECTIVO vertical | Presión calculada de sobrecarga (q) | Relación de energía del martillo (η1) | Corrección por longitud del barilaje (η2) | Corrección por zona muerta (η3) | Corrección por el diámetro de perforación (η4) | Ensayo de penetración estándar | Cu | ANGULO DE FRICCION (φ) | ko | SIGMA horizontal | COHESION | TAO |
|---------------|-------------|-----------------------|-----------------|--|---------------------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|--|---|--|--|--------------------------------|---------------|--|-----------------------|--|----------|--|
| | | límite superior | límite inferior | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 1 | 0,00 - 0,50 | | | 27 | $\mu = \gamma_{so} \cdot \gamma_0 \cdot Z$ | $\sigma_v = \gamma' \cdot h - \mu$ | $C_u = (\sigma' / \sigma)^{1/2}$ | $\eta_1 = \frac{E_{martillo} \cdot \eta_2}{E_{resistencia}}$ | $\eta_2 = \frac{L}{L_0}$ | $\eta_3 = \frac{V_{zona muerta}}{V_{total}}$ | $\eta_4 = \frac{D_{nominal}}{D_{real}}$ | N70 | $N_{60} / 15$ | $\phi = \tan^{-1} \left(\frac{C_u}{20 \cdot N_{60}} \right) + 13$ | $1 - \text{sen} \phi$ | $\sigma_h = \gamma' \cdot h \cdot k_0$ | c | $\zeta = \text{tan} \phi \cdot \sigma_h$ |
| 7 | 2 | 1,00 - 1,50 | | | 30 | | 0,90 | 2,00 | 0,64 | 0,75 | 1 | 1 | 26 | 16,25 | 37,8° | 0,39 | 0,35 | 7,69 | 0,70 |
| 7 | 3 | 2,50 - 3,00 | | | 37 | | 2,70 | 1,92 | 0,64 | 0,75 | 1 | 1 | 28 | 17,50 | 38,7° | 0,37 | 1,00 | 7,60 | 2,16 |
| 7 | 4 | 3,50 - 4,00 | | | 48 | | 5,40 | 1,36 | 0,64 | 0,75 | 1 | 1 | 24 | 15,00 | 36,9° | 0,40 | 2,16 | 5,87 | 4,05 |
| 7 | 5 | 4,50 - 5,00 | | | 70 | | 7,20 | 1,18 | 0,64 | 0,85 | 1 | 1 | 31 | 19,38 | 39,9° | 0,36 | 2,59 | 6,89 | 6,02 |
| 8 | 1 | 1,50 - 2,00 | | | 11 | | 9,00 | 1,05 | 0,64 | 0,85 | 1 | 1 | 40 | 25,00 | 43,3° | 0,31 | 2,79 | 8,16 | 8,48 |
| 8 | 2 | 3,00 - 3,50 | | | 20 | | 3,60 | 1,67 | 0,64 | 0,75 | 1 | 1 | 9 | 5,63 | 28,4° | 0,52 | 1,87 | 2,35 | 1,95 |
| 8 | 3 | 4,00 - 4,50 | | | 75 | | 6,30 | 1,26 | 0,64 | 0,75 | 1 | 1 | 12 | 7,50 | 30,5° | 0,49 | 3,09 | 2,47 | 3,71 |
| 8 | 4 | 4,50 - 5,00 | | | 81 | | 8,10 | 1,11 | 0,64 | 0,85 | 1 | 1 | 45 | 28,13 | 45,0° | 0,29 | 2,35 | 9,30 | 8,10 |
| 9 | 1 | 1,50 - 2,00 | | | 12 | | 9,00 | 1,05 | 0,64 | 0,85 | 1 | 1 | 46 | 28,75 | 45,3° | 0,29 | 2,61 | 9,18 | 9,09 |
| 9 | 2 | 3,00 - 3,50 | | | 66 | | 3,60 | 1,67 | 0,64 | 0,75 | 1 | 1 | 10 | 6,25 | 28,1° | 0,51 | 1,84 | 2,66 | 2,00 |
| 9 | 3 | 4,50 - 5,00 | | | 82 | | 6,30 | 1,26 | 0,64 | 0,75 | 1 | 1 | 40 | 25,00 | 43,3° | 0,31 | 1,95 | 8,96 | 5,94 |
| 10 | 1 | 0,00 - 0,50 | | | 13 | | 9,00 | 1,05 | 0,64 | 0,85 | 1 | 1 | 47 | 29,38 | 46,7° | 0,28 | 2,52 | 9,38 | 9,22 |
| 10 | 2 | 1,50 - 2,00 | | | 33 | | 0,90 | 2,00 | 0,64 | 0,75 | 1 | 1 | 12 | 7,50 | 30,5° | 0,49 | 0,44 | 4,03 | 0,53 |
| 10 | 3 | 2,50 - 3,00 | | | 71 | | 3,60 | 1,67 | 0,64 | 0,75 | 1 | 1 | 26 | 16,25 | 37,8° | 0,39 | 1,40 | 6,87 | 2,79 |
| 10 | 4 | 3,50 - 4,00 | | | 75 | | 5,40 | 1,36 | 0,64 | 0,75 | 1 | 1 | 46 | 28,75 | 46,3° | 0,29 | 1,57 | 10,23 | 5,46 |
| 10 | 5 | 4,50 - 5,00 | | | 78 | | 7,20 | 1,18 | 0,64 | 0,85 | 1 | 1 | 48 | 30,00 | 46,0° | 0,28 | 2,02 | 10,03 | 7,46 |
| 11 | 1 | 0,80 - 1,30 | | | 4 | | 9,00 | 1,05 | 0,64 | 0,85 | 1 | 1 | 45 | 28,13 | 45,0° | 0,29 | 2,61 | 9,04 | 9,00 |
| 11 | 2 | 2,00 - 2,50 | | | 5 | | 2,34 | 2,00 | 0,64 | 0,75 | 1 | 1 | 4 | 2,50 | 23,9° | 0,59 | 1,38 | 1,02 | 1,04 |
| 11 | 3 | 2,50 - 3,00 | | | 8 | | 4,50 | 1,49 | 0,64 | 0,75 | 1 | 1 | 4 | 2,50 | 23,9° | 0,59 | 2,66 | 0,45 | 1,99 |
| 11 | 4 | 3,50 - 4,00 | | | 10 | | 5,40 | 1,36 | 0,64 | 0,75 | 1 | 1 | 5 | 3,13 | 25,0° | 0,58 | 3,13 | 0,53 | 2,52 |
| 11 | 5 | 4,50 - 5,00 | | | 34 | | 7,20 | 1,18 | 0,64 | 0,85 | 1 | 1 | 6 | 3,75 | 26,0° | 0,56 | 4,03 | 0,38 | 3,51 |
| 11 | 6 | 5,50 - 6,00 | | | 65 | | 9,00 | 1,05 | 0,64 | 0,85 | 1 | 1 | 19 | 11,88 | 34,5° | 0,43 | 3,87 | 3,69 | 6,19 |
| 12 | 1 | 0,60 - 1,10 | | | 11 | | 10,80 | 0,96 | 0,64 | 0,95 | 1 | 1 | 38 | 23,75 | 42,6° | 0,32 | 3,46 | 7,24 | 9,93 |
| 12 | 2 | 1,60 - 2,10 | | | 28 | | 1,98 | 2,00 | 0,84 | 0,75 | 1 | 1 | 14 | 8,75 | 31,7° | 0,47 | 0,93 | 4,31 | 1,22 |
| 12 | 3 | 3,00 - 3,50 | | | 50 | | 3,78 | 1,63 | 0,84 | 0,75 | 1 | 1 | 29 | 18,13 | 39,1° | 0,37 | 1,40 | 7,49 | 3,07 |
| 12 | 4 | 4,00 - 4,50 | | | 47 | | 6,30 | 1,26 | 0,84 | 0,75 | 1 | 1 | 40 | 25,00 | 43,3° | 0,31 | 1,95 | 8,96 | 5,94 |
| 12 | 5 | 4,50 - 5,00 | | | 80 | | 8,10 | 1,11 | 0,84 | 0,85 | 1 | 1 | 37 | 23,13 | 42,2° | 0,33 | 2,67 | 7,83 | 7,34 |
| 12 | 6 | 5,50 - 6,00 | | | 85 | | 9,00 | 1,05 | 0,84 | 0,85 | 1 | 1 | 60 | 37,50 | 49,6° | 0,24 | 2,16 | 11,26 | 10,57 |
| 12 | 6 | 5,50 - 6,00 | | | 85 | | 10,80 | 0,96 | 0,84 | 0,95 | 1 | 1 | 65 | 40,63 | 51,1° | 0,22 | 2,38 | 11,40 | 13,38 |

7. AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

7.1. Introducción

En forma general, se puede definir la amenaza como "la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno que potencialmente afecte un área dada, para un período de retorno especificado". En este capítulo se presentan los trabajos realizados para determinar la zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa, y para tal efecto se llevaron a cabo las siguientes labores:

- ◆ Determinación de las zonas de comportamiento geotécnico similar teniendo en cuenta los trabajos de geología, geomorfología e investigación del subsuelo.
- ◆ Determinación de los parámetros de resistencia (c y ϕ) máximos y mínimos para cada una de las zonas homogéneas con base en los trabajos de investigación del subsuelo y los análisis retrospectivos de estabilidad. Igualmente, se determinó el perfil del talud para cada una de las zonas homogéneas.
- ◆ Determinación de los niveles de agua extremos.
- ◆ Análisis de estabilidad para los diferentes combinaciones de parámetros (parámetros de resistencia, lluvia y sismo).
- ◆ Cálculo de las probabilidades de falla anuales por medio del método PEM.
- ◆ Determinación de las probabilidades de falla de los diferentes taludes para diferentes períodos de retorno.
- ◆ Zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa tanto a corto plazo como a largo plazo.

7.2. Zonas homogéneas

Como base fundamental para la zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa y teniendo en cuenta los trabajos anteriormente descritos, se determinaron las zonas de comportamiento geotécnico similar en cuanto a deslizamientos (ver Plano 6.1).

Los criterios, en su orden, para determinar dichas zonas fueron:

- ◆ Procesos morfodinámicos actuales (deslizamientos activos y potenciales).
- ◆ Zonas morfológicas establecidas (flujos y reptamientos).

- ◆ Zonas de materiales similares (depósito coluvial, depósito fluvio-glaciar y rellenos antrópicos).

Con base en estos criterios (ver Plano 6.1) se establecieron trece (13) zonas homogéneas, a saber:

Tabla 7.1. Características de las zonas homogéneas

| ZONA | MATERIAL | GEOMORFOLOGÍA | CARACTERÍSTICAS |
|------|--|---|--|
| A | Depósito de flujo de tierras | Ladera denudacional; presencia de agua subsuperficial. | Deslizamiento rotacional y deslizamiento potencial. |
| B | Suelos residuales y roca altamente meteorizada. | Ladera denudacional en arcillolita y areniscas terciarias. | Deslizamiento rotacional; presencia de grietas. Corte de vía. |
| C | Depósito de flujos de tierras. | Ladera denudacional en suelos residuales movlizados | Deslizamiento rotacional retrogresivo, flujo de tierras y erosión laminar. Presencia de agua freática. |
| D | Relleno antrópico, sobre suelo residual. | Terrazas, con espesores de relleno variables hasta 10 m. | Deslizamiento rotacional; presencia de grietas. |
| E | Depósito de flujo de tierras. | Ladera denudacional saturada. | Flujo de tierras, no se encuentran construidas viviendas sobre esta zona. |
| F | Depósito torrencial, en algunos sitios afloran las arcillolitas y areniscas de la formación Bogotá (están altamente meteorizadas). | Ladera de la margen derecha de la quebrada El Zuque. | Deslizamiento traslacional, desprendimientos, socavación y erosión. |
| G | Suelos residuales, desarrollados en la formación Bogotá (Tb) | Ladera denudacional en arcillolita y areniscas terciarias. | Deslizamiento rotacional potencial por corte de vía. |
| H | Suelos residuales desarrollados de la formación Bogotá (Tb) | Ladera denudacional en arcillolita y areniscas terciarias, con pendientes entre 15° y 20°. | Reptamiento y flujos lentos de tierras. |
| I | Suelos residuales y afloramientos de arenisca y arcillolita de la formación Bogotá (Tb) | Ladera denudacional en arcillolita y areniscas terciarias con pendientes menores a 15°. | Sn procesos evidentes de inestabilidad. |
| J | Depósito coluvial. | Ladera coluvial con pendiente promedio de 15°. | Sin procesos evidentes de inestabilidad. |
| K | Depósito de flujo de tierras. | Ladera denudacional no saturada en arcillolita y areniscas terciarias con pendientes entre 15° y 20°. | Flujo de tierras. |
| L | Depósito de fluvio glaciar. | Ladera de origen fluvio glaciar no saturada con pendientes de 15° a 26°. | Sin procesos evidentes de inestabilidad. |
| M | Suelos residuales desarrollados de la formación Bogotá (Tb) | Ladera denudacional en arcillolita y areniscas terciarias, con pendientes hasta de 30°. | Reptamiento. |

A continuación se presenta la descripción de cada una de estas zonas.

7.2.1. Zona A

Corresponde al denominado Sitio 1. Está localizado en la parte alta del barrio, junto al tanque de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Como ya se mencionó, este talud presenta deslizamientos tanto de tipo rotacional activos (colapsado) donde se construyó un muro de gaviones (el cual se encuentra totalmente fallado) como activos potenciales. En este sitio se encuentra un relleno (posiblemente proveniente del corte de la vía, suprayaciendo el suelo residual (de un espesor del orden de 3 a 5 m) resultante de la meteorización de la roca madre (arcillolitas y areniscas de la Formación Bogotá).

7.2.2. Zona B

Corresponde a un deslizamiento rotacional (activo/colapsado) resultante del corte en suelo residual de unos 6 m realizado para la construcción de la vía de acceso al barrio (Transversal 16).

7.2.3. Zona C

Se encuentra localizada en el denominado Sitio 3, en el cual se presentan un deslizamiento rotacional retrogresivo, deslizamientos rotacionales potenciales, reptación de suelos y erosión laminar y en surcos. Corresponde a la unidad geomorfológica Lsm.

7.2.4. Zona D

Corresponde al relleno antrópico (Ra1) denominado Sitio 4, y el cual está constituido por materiales de desechos de construcción dispuestos sin ningún control de compactación (material botado). Aunque los otros rellenos encontrados (Ra2) pueden tener un mejor comportamiento geotécnico (están compuestos por material provenientes de cortes del sitio), de forma conservativa se consideraron dentro de esta zona.

7.2.5. Zona E

Corresponde al flujo de tierras saturado ubicado en la parte superior de la escuela Moralba. La pendiente promedio en esta zona es del orden de los 20°.

7.2.6. Zona F

Esta determinada por los taludes de la margen derecha de la quebrada El Zuque. En esta zona se presentan deslizamientos tipo rotacionales, traslacionales y desprendimientos de bloques. Corresponde al denominado Sitio 6.

7.2.7. Zona G

Hacen parte de esta zona los cortes de vías realizados en el suelo residual, similares a la zona B, pero sin presentarse movimientos (deslizamientos).

7.2.8. Zona H

Corresponde a los denominados flujos lentos de tierras y reptaciones, donde se presentan pendientes entre 15° y 20°, con espesores de suelo del orden de los 5 m.

7.2.9. Zona I

La Zona I está constituida por los suelos residuales y afloramientos rocosos sin procesos morfodinámicos aparentes. Los suelos residuales tienen espesores variables hasta de unos 5 m de espesor, y la pendiente es menor a los 15°.

7.2.10. Zona J

Hace parte de esta zona el depósito coluvial detectado sobre el cual no se presentan procesos de inestabilidad aparente. En un pequeño sector de esta zona, se encuentra sobre este depósito un pequeño relleno de origen antrópico (detritos de construcción) realizado por los habitantes de la zona muy seguramente para dar el nivel de las viviendas.

7.2.11. Zona K

Corresponde a la zona de flujo de tierras no saturado. La pendiente de esta zona es menor a 20°, los espesores de suelo son del orden de 5 m y en algunos sectores se encuentra construida.

7.2.12. Zona L

Hacen parte de esta zona los depósitos de origen fluvio glacial estable, con pendientes entre 15° y 26° y espesores de suelo hasta de unos 8 m de espesor. En esta zona se encuentra la escuela Moraiba (que hace parte del denominado Sitio 5).

7.2.13. Zona M

Corresponde a la ladera de unos 30° de pendiente promedio localizada detrás del Salón Comunal, y donde se pudo detectar un pequeño movimiento por un corte realizado para la construcción de dicho salón. Los espesores del suelo residual en este sector pueden alcanzar los 5 m.

7.3. Variables aleatorias

En forma general, el Factor de Seguridad (FS) de un talud está dado por la relación entre las fuerzas resistentes y las fuerzas actuantes. A su vez, las fuerzas resistentes son función de los parámetros de resistencia del material (ángulo de fricción ϕ y cohesión c), la aceleración producida por el sismo (α), el peso unitario (γ) y la geometría del talud; las fuerzas actuantes, a su vez, son función del peso unitario (γ), la sobrecarga (q), la geometría del talud, la presión de poros (R_u) y la aceleración producida por el sismo (α). La convolución de estas variables (según el modelo de falla) determina la distribución de probabilidad del Factor de Seguridad (FS); se puede determinar la probabilidad de falla del talud ($P(D_z)$) determinando la probabilidad de que el FS sea menor o igual a 1.0.

Para simplificar del modelo, algunas de las variables se tomaron como constantes (el peso unitario y la geometría del talud). Además, como no se tiene una relación entre la presión de poros (expresada como r_u) y la precipitación, se calcularon los FS para las condiciones extremas de saturación (de acuerdo con los análisis retrospectivos presentados en el capítulo 6), suponiendo que el caso más favorable se presenta cuando la precipitación es menor a la Lluvia Crítica (probabilidad de ocurrencia anual del orden del 96.7%) y el caso más crítico cuando la precipitación es mayor o igual a la lluvia crítica (probabilidad de excedencia anual del 3.3%, aproximadamente).

A continuación se presenta una tabla con los valores extremos utilizados y el modelo de falla de cada una de las zonas homogéneas determinadas.

Tabla 7.2. Parámetros y valores de las variables utilizadas en el modelo probabilístico de estabilidad

| Zona | PARAMETROS DE RESISTENCIA | | | | CONDICIÓN DEL AGUA | | CONDICIONES SISMO | | CONDICIONES DE ANÁLISIS |
|------|---------------------------|-------|------------|------------|--------------------|-----------|-------------------|---------|---|
| | C mín | C máx | Φ mín | Φ máx | R_u mín | R_u máx | a mín | a máx | |
| A | 0,00 | 2,90 | 28,30 | 29,20 | 0,15 | 0,45 | 0,00 | 0,21 | Falla circular. Método de Janbu. |
| B | 0,00 | 4,10 | 36,50 | 37,80 | 0,36 | 0,50 | 0,00 | 0,21 | Falla circular. Método de Janbu. |
| C | 0,00 | 1,00 | 30,00 | 31,00 | 0,25 | 0,50 | 0,00 | 0,21 | Falla circular. Método de Janbu. |
| D | 0,00 | 1,00 | 33,00 | 35,00 | 0,30 | 0,50 | 0,00 | 0,21 | Falla circular. Método de Janbu. |
| E | 0,00 | 1,65 | 27,20 | 32,00 | 0,50 | 0,50 | 0,00 | 0,21 | Talud infinito, con ángulo de 20°, espesor del estrato de 5 m, sin sobrecarga. |
| F | 0,00 | 0,24 | 30,10 | 33,10 | 0,00 | 0,36 | 0,00 | 0,21 | Falla circular. Método de Janbu. |
| G | 0,00 | 4,10 | 36,50 | 37,80 | 0,00 | 0,50 | 0,00 | 0,21 | Falla circular. Método de Janbu. |
| H | 0,00 | 1,65 | 27,20 | 32,00 | 0,00 | 0,36 | 0,00 | 0,21 | Talud infinito, con ángulo de 20°, espesor del estrato de 5 m, sin sobrecarga. |
| I | 1,00 | 1,00 | 30,00 | 30,00 | 0,00 | 0,50 | 0,00 | 0,21 | Talud infinito, con ángulo de 15°, espesor del estrato de 5 m, sin sobrecarga. |
| J | 1,00 | 1,00 | 30,00 | 30,00 | 0,00 | 0,50 | 0,00 | 0,21 | Falla circular. Método de Janbu. |
| K | 0,00 | 1,65 | 27,20 | 32,00 | 0,36 | 0,50 | 0,00 | 0,21 | Talud infinito, con ángulo de 20°, espesor del estrato de 5 m, sin sobrecarga. |
| L | 0,00 | 5,03 | 35,69 | 37,46 | 0,36 | 0,50 | 0,00 | 0,21 | Talud infinito, con ángulo de 20°, espesor del estrato de 4 m y sin sobrecarga. |
| M | 0,00 | 1,65 | 27,20 | 32,00 | 0,00 | 0,50 | 0,00 | 0,21 | Talud infinito, con ángulo de 30°, espesor del estrato de 5 m, sin sobrecarga. |

Para los análisis se utilizó un coeficiente de correlación entre la cohesión y el ángulo de fricción interna de -0.5^1 , mientras que para los otros cinco coeficientes de correlación se utilizó un valor de cero.

7.4. Análisis probabilístico de estabilidad

Se determinó la estabilidad del talud característico para cada una de las trece (13) zonas homogéneas determinadas, hallando el factor de seguridad por medio de la teoría del equilibrio límite y determinando la probabilidad de falla por el método del punto medio – PEM- (Rosenblueth, 1975). En el Plano 6.1 se presentan en planta la línea de los perfiles utilizados en el análisis de estabilidad, y en el Anexo 6 se presentan los cálculos correspondientes.

Las probabilidades de falla se determinaron a corto plazo (probabilidad total para un período de análisis de 1 año) y a mediano plazo.

¹ Valor adoptado según sugerencia del Doctor Álvaro González G., interventor del proyecto.

7.4.1. Probabilidades de falla a corto plazo

Utilizando el método de Rosenblueth (1975), se determinó la probabilidad de falla a corto plazo tomando los resultados de los análisis de las cuatro condiciones extremas para los factores detonantes sismo y lluvia (sin sismo sin lluvia, con sismo sin lluvia, sin sismo con lluvia y con sismo con lluvia) y utilizando el teorema de probabilidad total. Es importante resaltar que las probabilidades de falla se ajustaron a distribuciones normales y lognormales obteniéndose de esta forma valores mínimos y máximos (generalmente, los valores máximos corresponden a los valores obtenidos de la distribución lognormal y los mínimos a la distribución normal).

7.4.2. Probabilidades de falla a mediano plazo

Para determinar la probabilidad de falla de los taludes a largo plazo se tuvieron en cuenta dos (2) hipótesis las cuales se describen a continuación.

- **Hipótesis 1**

Por el método PEM se hallaron las probabilidades de ocurrencia del deslizamiento para cuatro casos, a saber:

- Sin lluvia sin sismo.
- Con lluvia sin sismo.
- Sin lluvia con sismo.
- Con lluvia con sismo.

La probabilidad de ocurrencia para un año de exposición ($P(Dz)$) está dada por la probabilidad total. Para un período de exposición dado, se toma la probabilidad de ocurrencia de por lo menos una vez en ese período de exposición, es decir:

- Para dos años: $P(Dz)_2 = P(Dz) + P(Dz) - P(Dz)*P(Dz)$
- Para tres años: $P(Dz)_3 = P(Dz) + P(Dz)_2 - P(Dz)*P(Dz)_2$
- Para cuatro años: $P(Dz)_4 = P(Dz) + P(Dz)_3 - P(Dz)*P(Dz)_3$
- En general: $P(Dz)_n = P(Dz) + P(Dz)_{n-1} - P(Dz)*P(Dz)_{n-1}$

En otras palabras, la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento para un período de exposición dado (T_d) será:

$$P(Dz)_{T_d} = 1 - (1 - 1/Tr)^{T_d}$$

Donde Tr es el período de retorno del deslizamiento que se puede aproximar a:

$$Tr = 1/P(Dz)$$

- **Hipótesis 2**

Se utiliza al igual que en la otra hipótesis la teoría de la probabilidad total, pero en este caso, se mantiene constante la probabilidad de ocurrencia del deslizamiento y se varía la probabilidad de ocurrencia (y por lo tanto de no ocurrencia) de la lluvia y el sismo², es decir:

$$P(Dz)_n = P(Dz / S LL) * P(S)_n * P(LL)_n + P(Dz / S' LL) * P(S')_n * P(LL)_n + P(Dz / S LL') * P(S)_n * P(LL')_n + P(Dz / S' LL') * P(S')_n * P(LL')_n$$

Donde,

| | |
|------------------|---|
| $P(Dz)_n$ | = Probabilidad del deslizamiento con un período de retorno de n años. |
| $P(Dz / S LL)$ | = Probabilidad del deslizamiento anual con sismo y con lluvia. |
| $P(Dz / S' LL)$ | = Probabilidad del deslizamiento anual sin sismo y con lluvia. |
| $P(Dz / S LL')$ | = Probabilidad del deslizamiento anual con sismo y sin lluvia. |
| $P(Dz / S' LL')$ | = Probabilidad del deslizamiento anual sin sismo y sin lluvia. |
| $P(S)_n$ | = Probabilidad del sismo con un período de retorno de n años. |
| $P(LL)_n$ | = Probabilidad de la lluvia con un período de retorno de n años. |
| $P(S')_n$ | = Probabilidad del no sismo con un período de retorno de n años. |
| $P(LL')_n$ | = Probabilidad de la no lluvia con un período de retorno de n años. |

7.5. Resultados obtenidos

En el Anexo 6 (Análisis de amenaza) se presentan los análisis de estabilidad y el cálculo de la probabilidad de ocurrencia del deslizamiento a corto y largo plazo para cada una de las zonas homogéneas. A continuación se presenta el resumen de los resultados obtenidos.

7.5.1. Zona A

En la Tabla 7.3 se presentan el resumen de los resultados obtenidos para corto plazo y en la Figura 7.1. se presenta los resultados obtenidos para diferentes períodos de análisis.

² González, A. (1992). *AVALANCHE RISK EVALUATION AT UTICA - COLOMBIA*. Primer Simposio Internacional sobre Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica. Instituto Agustín Codazzi.

Tabla 7.3. Resultados obtenidos para la Zona A

| CONDICIÓN | FACTOR DE SEGURIDAD | | DESVIACIÓN DEL FS | | PROBABILIDAD DE FALLA | |
|----------------------------|---------------------|-----------|-------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal |
| Sin sismo sin lluvia | 1,148 | 1,070 | 0,414 | 1,459 | 0,361 | 0,428 |
| Sin sismo con lluvia | 0,782 | 0,661 | 0,419 | 1,817 | 0,698 | 0,756 |
| Sin lluvia con sismo | 0,790 | 0,721 | 0,324 | 1,545 | 0,741 | 0,774 |
| Con sismo con lluvia | 0,515 | 0,404 | 0,320 | 2,069 | 0,935 | 0,894 |
| Probabilidad total (anual) | 1,135 | 1,056 | 0,068 | 1,189 | 0,373 | 0,440 |

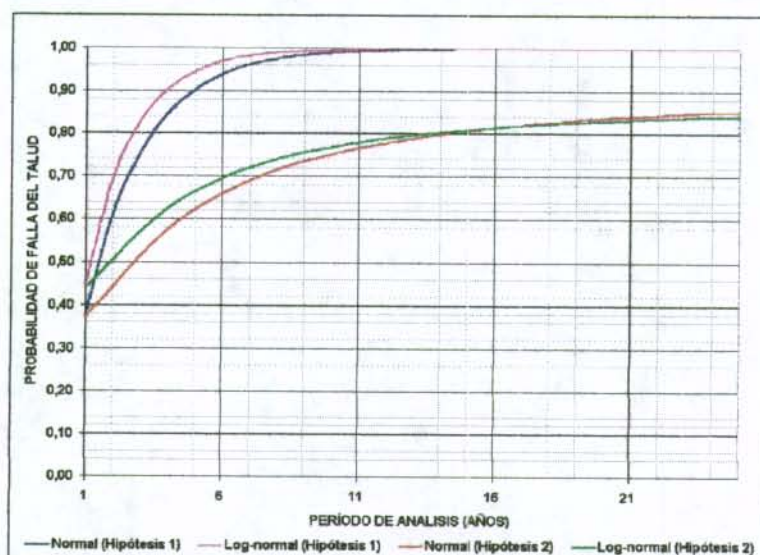


Figura 7.1. Probabilidad de falla para diferentes períodos de análisis en la Zona A

7.5.2. Zona B

En la Tabla 7.4 se presentan el resumen de los resultados obtenidos para corto plazo y en la Figura 7.2 se presentan los resultados obtenidos para diferentes períodos de análisis.

Tabla 7.4. Resultados obtenidos para la Zona B

| CONDICIÓN | FACTOR DE SEGURIDAD | | DESVIACIÓN DEL FS | | PROBABILIDAD DE FALLA | |
|----------------------------|---------------------|-----------|-------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal |
| Sin sismo sin lluvia | 1,353 | 1,094 | 0,796 | 1,964 | 0,329 | 0,447 |
| Sin sismo con lluvia | 1,353 | 1,094 | 0,796 | 1,964 | 0,329 | 0,447 |
| Sin lluvia con sismo | 0,887 | 0,683 | 0,566 | 2,129 | 0,579 | 0,693 |
| Con sismo con lluvia | 0,887 | 0,683 | 0,566 | 2,129 | 0,579 | 0,693 |
| Probabilidad total (anual) | 1,352 | 1,093 | 0,023 | 1,044 | 0,329 | 0,448 |

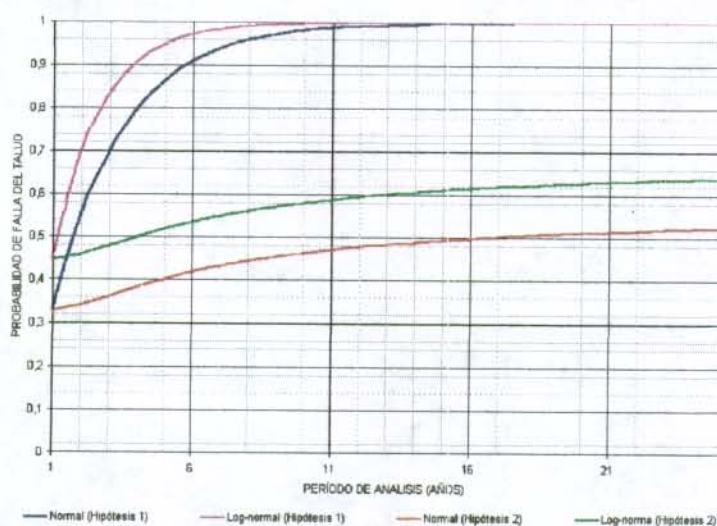


Figura 7.2. Probabilidad de falla para diferentes períodos de análisis en la Zona B

7.5.3. Zona C

En la Tabla 7.5 se presentan el resumen de los resultados obtenidos para corto plazo y en la Figura 7.3 se presenta los resultados obtenidos para diferentes períodos de análisis.

Tabla 7.5. Resultados obtenidos para la Zona C

| CONDICIÓN | FACTOR DE SEGURIDAD | | DESVIACIÓN DEL FS | | PROBABILIDAD DE FALLA | |
|----------------------------|---------------------|-----------|-------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal |
| Sin sismo sin lluvia | 1,033 | 0,987 | 0,305 | 1,355 | 0,457 | 0,517 |
| Sin sismo con lluvia | 0,651 | 0,564 | 0,324 | 1,727 | 0,860 | 0,853 |
| Sin lluvia con sismo | 0,705 | 0,666 | 0,230 | 1,402 | 0,901 | 0,885 |
| Con sismo con lluvia | 0,414 | 0,339 | 0,237 | 1,922 | 0,993 | 0,951 |
| Probabilidad total (anual) | 1,020 | 0,972 | 0,070 | 1,195 | 0,471 | 0,529 |

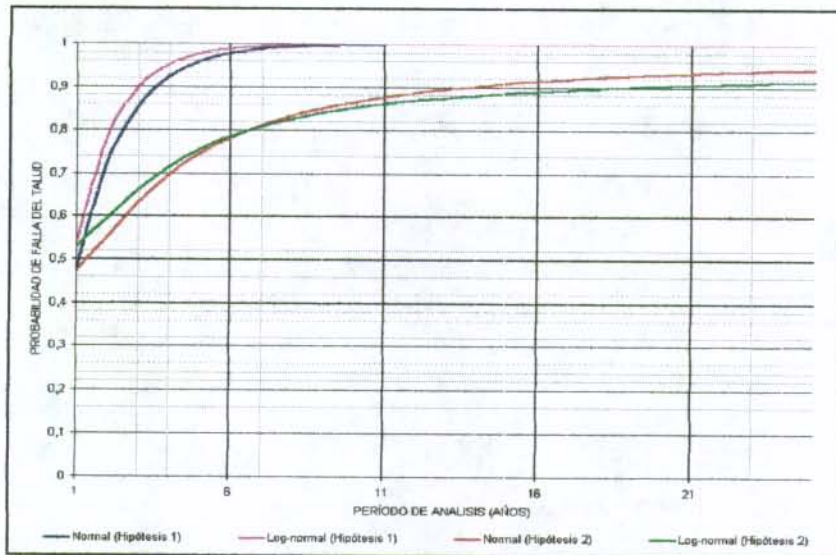


Figura 7.3. Probabilidad de falla para diferentes períodos de análisis en la Zona C

7.5.4. Zona D

En la Tabla 7.6 se presentan el resumen de los resultados obtenidos para corto plazo y en la Figura 7.4 se presenta los resultados obtenidos para diferentes períodos de análisis.

Tabla 7.6. Resultados obtenidos para la Zona D

| CONDICIÓN | FACTOR DE SEGURIDAD | | DESVIACIÓN DEL FS | | PROBABILIDAD DE FALLA | |
|----------------------------|---------------------|-----------|-------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal |
| Sin sismo sin lluvia | 1,074 | 1,056 | 0,192 | 1,202 | 0,351 | 0,384 |
| Sin sismo con lluvia | 0,740 | 0,717 | 0,185 | 1,294 | 0,920 | 0,902 |
| Sin lluvia con sismo | 0,699 | 0,686 | 0,134 | 1,218 | 0,988 | 0,972 |
| Con sismo con lluvia | 0,462 | 0,444 | 0,128 | 1,331 | 1,000 | 0,998 |
| Probabilidad total (anual) | 1,062 | 1,044 | 0,062 | 1,157 | 0,371 | 0,402 |

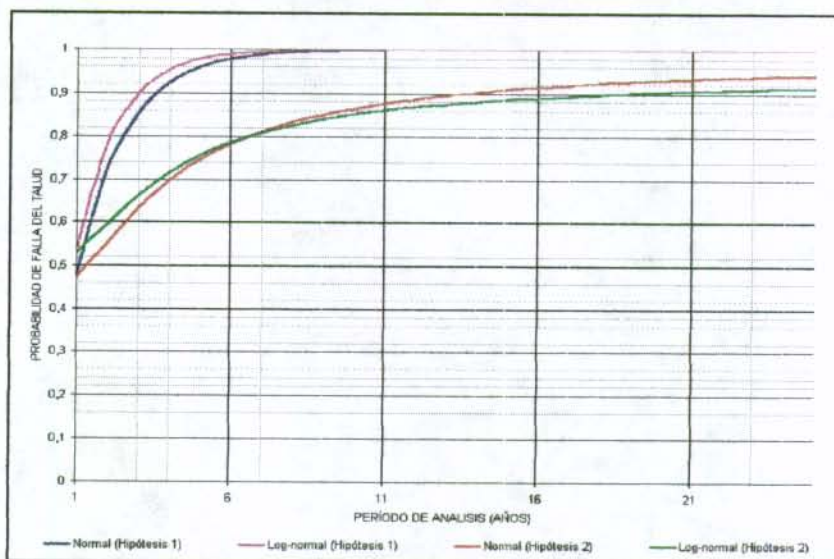


Figura 7.4. Probabilidad de falla para diferentes períodos de análisis en la Zona D

7.5.5. Zona E

En la Tabla 7.7 se presentan el resumen de los resultados obtenidos para corto plazo y en la Figura 7.5 se presenta los resultados obtenidos para diferentes períodos de análisis.

Tabla 7.7. Resultados obtenidos para la Zona E

| CONDICIÓN | FACTOR DE SEGURIDAD | | DESVIACIÓN DEL FS | | PROBABILIDAD DE FALLA | |
|----------------------------|---------------------|-----------|-------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal |
| Sin sismo sin lluvia | 0,935 | 0,906 | 0,231 | 1,290 | 0,610 | 0,651 |
| Sin sismo con lluvia | 0,935 | 0,906 | 0,231 | 1,290 | 0,610 | 0,651 |
| Sin lluvia con sismo | 0,593 | 0,575 | 0,145 | 1,290 | 0,997 | 0,985 |
| Con sismo con lluvia | 0,593 | 0,575 | 0,145 | 1,290 | 0,997 | 0,985 |
| Probabilidad total (anual) | 0,935 | 0,905 | 0,016 | 1,036 | 0,611 | 0,652 |

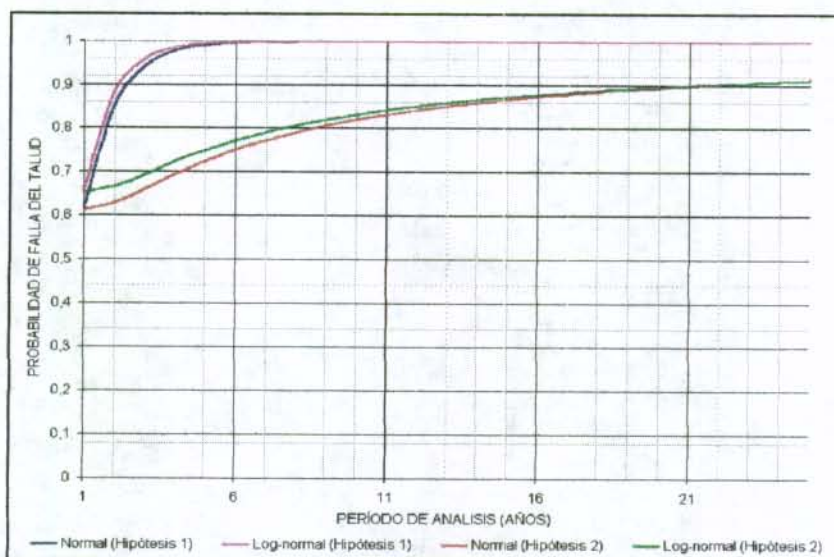


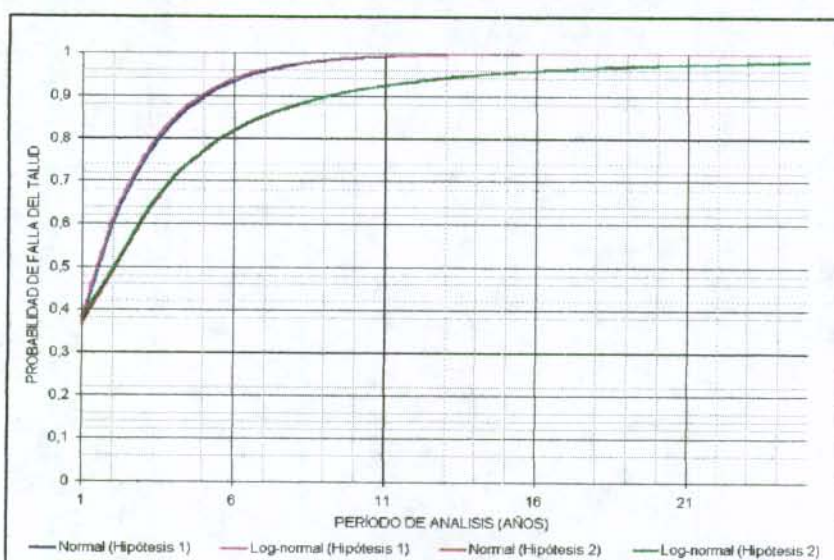
Figura 7.5. Probabilidad de falla para diferentes períodos de análisis en la Zona E

7.5.6. Zona F

En la Tabla 7.8 se presentan el resumen de los resultados obtenidos para corto plazo y en la Figura 7.6 se presenta los resultados obtenidos para diferentes períodos de análisis.

Tabla 7.8. Resultados obtenidos para la Zona F

| CONDICIÓN | FACTOR DE SEGURIDAD | | DESVIACIÓN DEL FS | | PROBABILIDAD DE FALLA | |
|----------------------------|---------------------|-----------|-------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal |
| Sin sismo sin lluvia | 1,018 | 1,017 | 0,044 | 1,044 | 0,342 | 0,349 |
| Sin sismo con lluvia | 0,567 | 0,566 | 0,028 | 1,050 | 1,000 | 1,000 |
| Sin lluvia con sismo | 0,704 | 0,703 | 0,030 | 1,044 | 1,000 | 1,000 |
| Con sismo con lluvia | 0,371 | 0,371 | 0,020 | 1,054 | 1,000 | 1,000 |
| Probabilidad total (anual) | 1,002 | 1,001 | 0,082 | 1,208 | 0,365 | 0,372 |



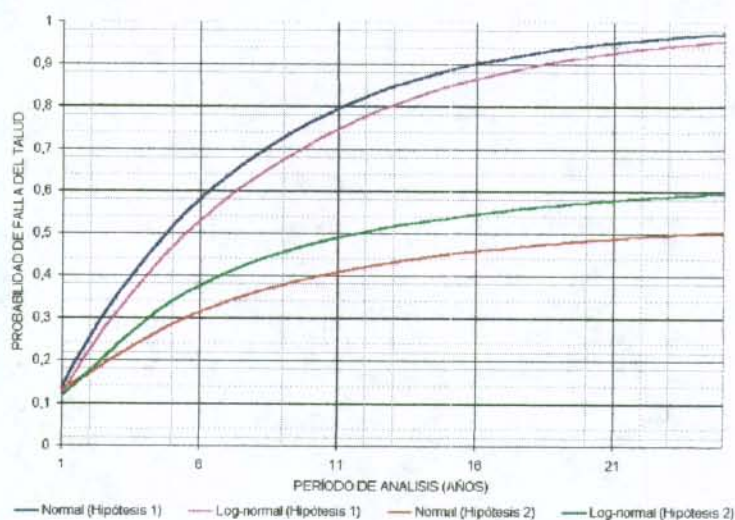
7.6. Probabilidades de falla para diferentes períodos de análisis en la Zona F

7.5.7. Zona G

En la Tabla 7.9 se presentan el resumen de los resultados obtenidos para corto plazo y en la Figura 7.7 se presenta los resultados obtenidos para diferentes períodos de análisis.

Tabla 7.9. Resultados obtenidos para la Zona G

| CONDICIÓN | FACTOR DE SEGURIDAD | | DESVIACIÓN DEL FS | | PROBABILIDAD DE FALLA | |
|----------------------------|---------------------|-----------|-------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal |
| Sin sismo sin lluvia | 2,102 | 1,864 | 0,972 | 1,651 | 0,128 | 0,107 |
| Sin sismo con lluvia | 1,484 | 1,201 | 0,870 | 1,962 | 0,289 | 0,393 |
| Sin lluvia con sismo | 1,281 | 1,151 | 0,562 | 1,603 | 0,309 | 0,383 |
| Con sismo con lluvia | 0,860 | 0,693 | 0,509 | 1,977 | 0,608 | 0,705 |
| Probabilidad total (anual) | 2,080 | 1,840 | 0,118 | 1,328 | 0,134 | 0,117 |



7.7. Probabilidades de falla para diferentes períodos de análisis en la Zona G

7.5.8. Zona H

En la Tabla 7.10 se presentan el resumen de los resultados obtenidos para corto plazo y en la Figura 7.8 se presenta los resultados obtenidos para diferentes períodos de análisis.

Tabla 7.10. Resultados obtenidos para la Zona H

| CONDICIÓN | FACTOR DE SEGURIDAD | | DESVIACIÓN DEL FS | | PROBABILIDAD DE FALLA | |
|----------------------------|---------------------|-----------|-------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal |
| Sin sismo sin lluvia | 1,821 | 1,807 | 0,224 | 1,133 | 0,000 | 0,000 |
| Sin sismo con lluvia | 0,935 | 0,906 | 0,231 | 1,290 | 0,610 | 0,651 |
| Sin lluvia con sismo | 1,155 | 1,146 | 0,142 | 1,133 | 0,137 | 0,138 |
| Con sismo con lluvia | 0,593 | 0,575 | 0,146 | 1,290 | 0,997 | 0,985 |
| Probabilidad total (anual) | 1,790 | 1,776 | 0,162 | 1,460 | 0,021 | 0,022 |

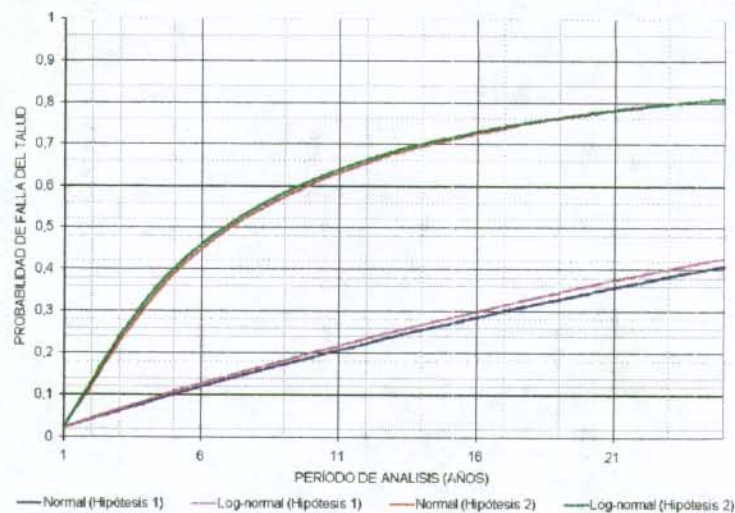


Figura 7.8. Probabilidades de falla para diferentes períodos de análisis en la Zona H

7.5.9. Zona I

En la Tabla 7.11 se presentan el resumen de los resultados obtenidos para corto plazo y en la Figura 7.9 se presenta los resultados obtenidos para diferentes períodos de análisis.

Tabla 7.11. Resultados obtenidos para la Zona I

| CONDICIÓN | FACTOR DE SEGURIDAD | | DESVIACIÓN DEL FS | | PROBABILIDAD DE FALLA | |
|----------------------------|---------------------|-----------|-------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal |
| Sin sismo sin lluvia | 2,455 | 2,438 | 0,289 | 1,127 | 0,000 | 0,000 |
| Sin sismo con lluvia | 1,635 | 1,609 | 0,288 | 1,198 | 0,014 | 0,004 |
| Sin lluvia con sismo | 1,376 | 1,367 | 0,162 | 1,127 | 0,010 | 0,005 |
| Con sismo con lluvia | 0,917 | 0,902 | 0,162 | 1,198 | 0,697 | 0,716 |
| Probabilidad total (anual) | 2,425 | 2,408 | 0,155 | 1,433 | 0,001 | 0,000 |

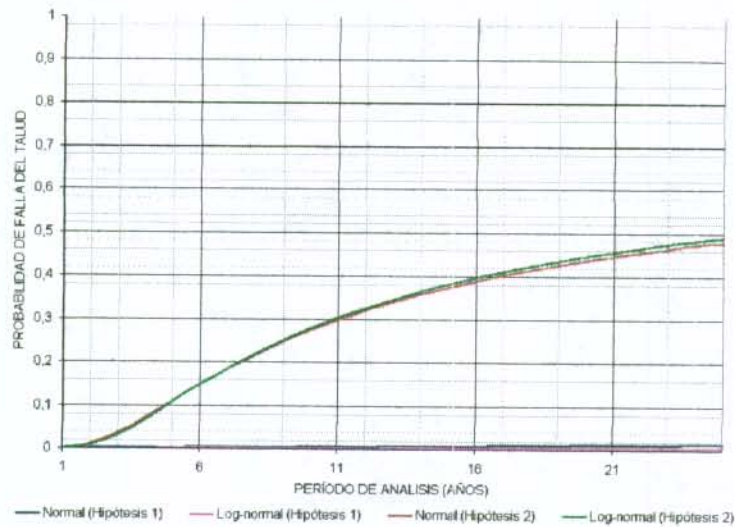


Figura 7.9. Probabilidades de falla para diferentes períodos de análisis en la Zona I

7.5.10. Zona J

En la Tabla 7.12 se presentan el resumen de los resultados obtenidos para corto plazo y en la Figura 7.10 se presenta los resultados obtenidos para diferentes períodos de análisis.

Tabla 7.12. Resultados obtenidos para la Zona J

| CONDICIÓN | FACTOR DE SEGURIDAD | | DESVIACIÓN DEL FS | | PROBABILIDAD DE FALLA | |
|----------------------------|---------------------|-----------|-------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal |
| Sin sismo sin lluvia | 2,305 | 2,305 | 0,010 | 1,100 | 0,000 | 0,000 |
| Sin sismo con lluvia | 1,081 | 1,081 | 0,010 | 1,100 | 0,000 | 0,207 |
| Sin lluvia con sismo | 1,188 | 1,188 | 0,010 | 1,100 | 0,000 | 0,035 |
| Con sismo con lluvia | 0,522 | 0,522 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Probabilidad total (anual) | 2,262 | 2,262 | 0,225 | 1,680 | 0,000 | 0,007 |

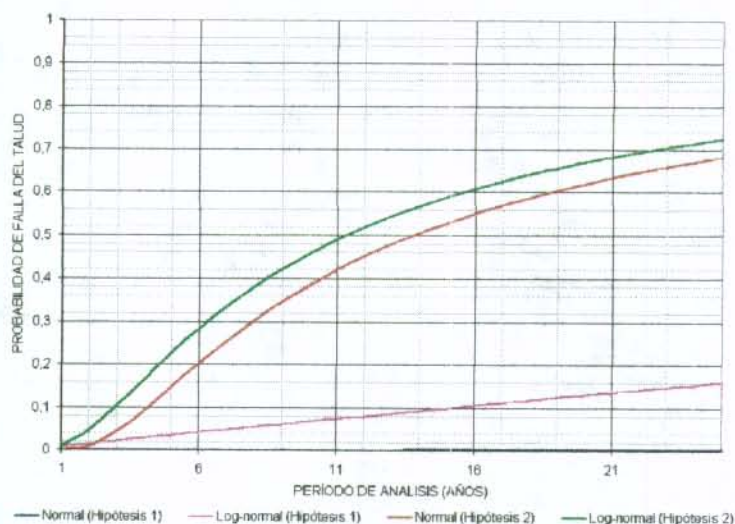


Figura 7.10. Probabilidades de falla para diferentes períodos de análisis en la Zona J

7.5.11. Zona K

En la Tabla 7.13 se presentan el resumen de los resultados obtenidos para corto plazo y en la Figura 7.11 se presenta los resultados obtenidos para diferentes períodos de análisis.

Tabla 7.13. Resultados obtenidos para la Zona K

| CONDICIÓN | FACTOR DE SEGURIDAD | | DESVIACIÓN DEL FS | | PROBABILIDAD DE FALLA | |
|----------------------------|---------------------|-----------|-------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal |
| Sin sismo sin lluvia | 1,183 | 1,161 | 0,226 | 1,215 | 0,208 | 0,222 |
| Sin sismo con lluvia | 0,935 | 0,906 | 0,231 | 1,290 | 0,610 | 0,651 |
| Sin lluvia con sismo | 0,750 | 0,736 | 0,143 | 1,215 | 0,960 | 0,942 |
| Con sismo con lluvia | 0,592 | 0,574 | 0,145 | 1,287 | 0,998 | 0,986 |
| Probabilidad total (anual) | 1,174 | 1,152 | 0,049 | 1,121 | 0,223 | 0,237 |

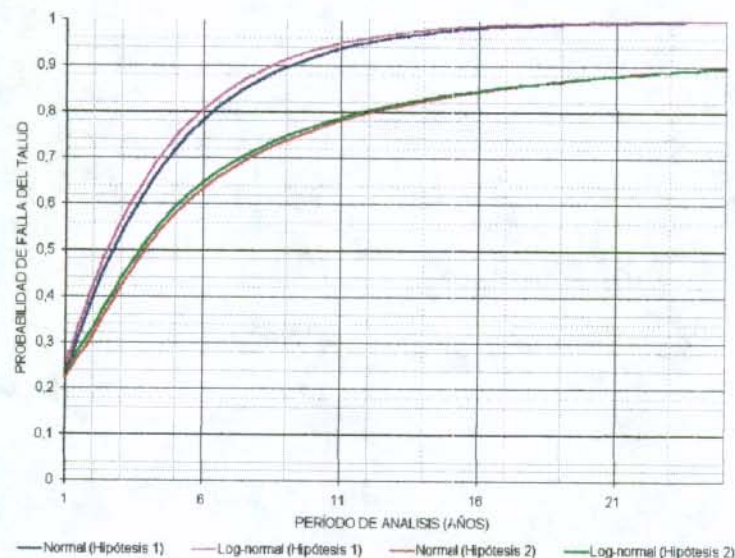


Figura 7.11. Probabilidades de falla para diferentes períodos de análisis en la Zona K

7.5.12. Zona L

En la Tabla 7.14 se presentan el resumen de los resultados obtenidos para corto plazo y en la Figura 7.12 se presenta los resultados obtenidos para diferentes períodos de análisis.

Tabla 7.14. Resultados obtenidos para la Zona L

| CONDICIÓN | FACTOR DE SEGURIDAD | | DESVIACIÓN DEL FS | | PROBABILIDAD DE FALLA | |
|----------------------------|---------------------|-----------|-------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal |
| Sin sismo sin lluvia | 1,967 | 1,786 | 0,824 | 1,563 | 0,120 | 0,097 |
| Sin sismo con lluvia | 1,689 | 1,472 | 0,827 | 1,710 | 0,203 | 0,235 |
| Sin lluvia con sismo | 1,397 | 1,288 | 0,541 | 1,504 | 0,231 | 0,267 |
| Con sismo con lluvia | 1,214 | 1,086 | 0,543 | 1,618 | 0,347 | 0,432 |
| Probabilidad total (anual) | 1,957 | 1,775 | 0,058 | 1,150 | 0,123 | 0,102 |

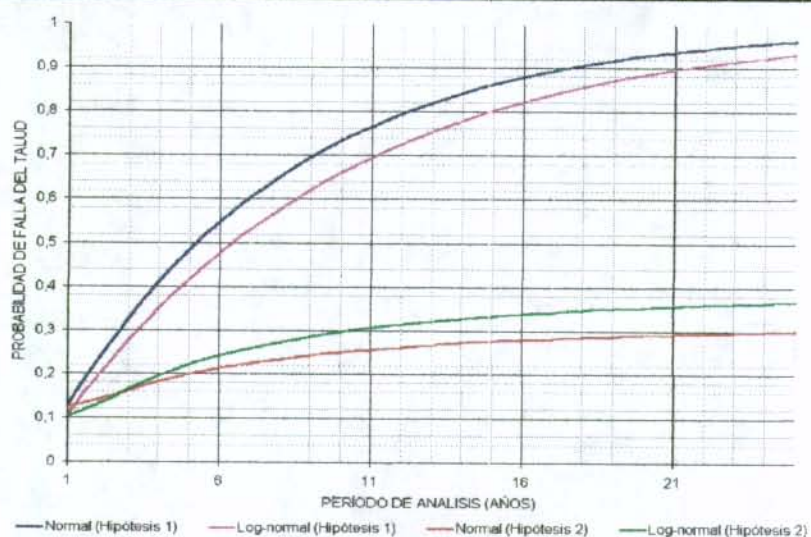


Figura 7.12. Probabilidades de falla para diferentes períodos de análisis en la Zona L

7.5.13. Zona M

En la Tabla 7.15 se presentan el resumen de los resultados obtenidos para corto plazo y en la Figura 7.13 se presenta los resultados obtenidos para diferentes períodos de análisis.

Tabla 7.15. Resultados obtenidos para la Zona M

| CONDICIÓN | FACTOR DE SEGURIDAD | | DESVIACIÓN DEL FS | | PROBABILIDAD DE FALLA | |
|----------------------------|---------------------|-----------|-------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal | Normal | Lognormal |
| Sin sismo sin lluvia | 1,177 | 1,165 | 0,165 | 1,154 | 0,142 | 0,143 |
| Sin sismo con lluvia | 0,519 | 0,488 | 0,177 | 1,429 | 0,997 | 0,978 |
| Sin lluvia con sismo | 0,863 | 0,854 | 0,121 | 1,154 | 0,871 | 0,865 |
| Con sismo con lluvia | 0,381 | 0,358 | 0,130 | 1,429 | 1,000 | 0,998 |
| Probabilidad total (anual) | 1,154 | 1,142 | 0,119 | 1,325 | 0,172 | 0,172 |

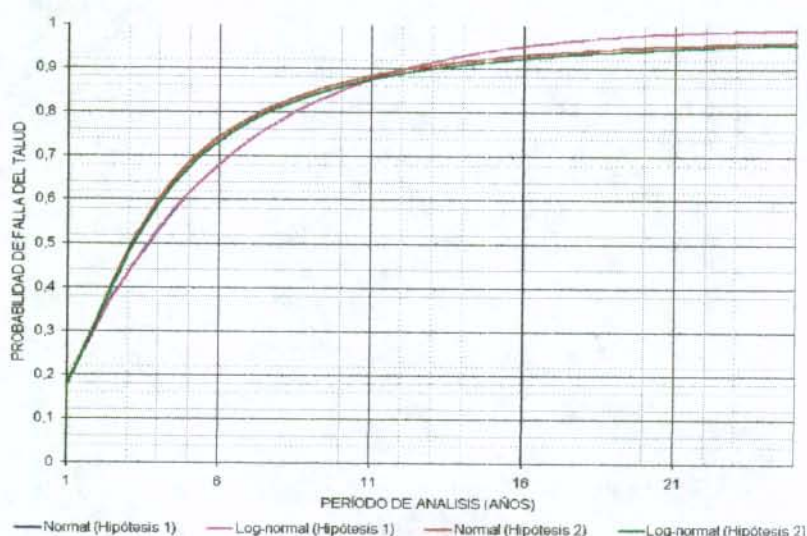


Figura 7.13. Probabilidades de falla para diferentes períodos de análisis en la Zona M

7.6. Zonificación por amenaza ante fenómenos de remoción en masa

7.6.1. Amenaza a corto plazo

Para la zonificación de amenaza a corto plazo (ver Plano 6.2) se utilizaron los menores factores de seguridad hallados por medio de la probabilidad total anual siguiendo los criterios presentados en la siguiente tabla.

Tabla 7.16. Criterios de zonificación de amenaza a corto plazo

| Categoría de la amenaza | Criterio |
|-------------------------|---------------------|
| Muy Alta | FS menor a 0.6 |
| Alta | $0.6 < FS \leq 1.1$ |
| Media | $1.1 < FS \leq 1.9$ |
| Baja | $1.9 < FS \leq 2.4$ |
| Muy Baja | FS mayor a 2.4 |

7.6.2. Amenaza a largo plazo

Para la zonificación de amenaza a largo plazo (ver Plano 6.3) se utilizaron las mayores probabilidades de falla halladas por medio de la hipótesis 2 con un período de análisis de 15 años, siguiendo los criterios presentados en la siguiente tabla.

Tabla 7.17. Criterios de zonificación de amenaza a largo plazo

| Categoría de la amenaza | Criterio |
|-------------------------|----------------------|
| Muy Alta | Pf mayor a 0.9 |
| Alta | $0.9 > Pf \geq 0.4$ |
| Media | $0.4 > Pf \geq 0.1$ |
| Baja | $0.1 > Pf \geq 0.05$ |
| Muy Baja | Pf menor a 0.05 |

Se resalta que para este caso (largo plazo), se utilizó la hipótesis 2 ya que es la metodología que se ha venido utilizando para realizar los diferentes zonificaciones de amenaza en el DPAE.

7.7. Conclusiones

7.7.1. Zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa

De acuerdo a los trabajos precedentes se estableció la categoría de la amenaza por fenómenos de remoción en masa tanto a corto como largo plazo, obteniendo los resultados presentados en las Tablas 7.18 y 7.19.

Tabla 7.18. Zonificación de amenaza por FMR a corto plazo (ver Plano 6.2)

| ZONA | FACTOR DE SEGURIDAD | | PROBABILIDAD DE FALLA | | AMENAZA |
|------|---------------------|--------|-----------------------|--------|----------|
| | Máximo | Mínimo | Máxima | Mínima | |
| A | 1,135 | 1,056 | 0,440 | 0,373 | Alta |
| B | 1,352 | 1,093 | 0,448 | 0,329 | Alta |
| C | 1,020 | 0,972 | 0,529 | 0,471 | Alta |
| D | 1,062 | 1,044 | 0,402 | 0,371 | Alta |
| E | 0,935 | 0,905 | 0,652 | 0,611 | Alta |
| F | 1,002 | 1,001 | 0,372 | 0,365 | Alta |
| G | 2,080 | 1,840 | 0,134 | 0,117 | Media |
| H | 1,790 | 1,776 | 0,022 | 0,021 | Media |
| I | 2,425 | 2,408 | 0,001 | 0,000 | Muy baja |
| J | 2,262 | 2,262 | 0,007 | 0,000 | Baja |
| K | 1,174 | 1,152 | 0,237 | 0,223 | Media |
| L | 1,957 | 1,775 | 0,123 | 1,102 | Media |
| M | 1,154 | 1,142 | 0,172 | 0,172 | Media |

De acuerdo con la anterior zonificación, la distribución porcentual de los lotes que se encuentran dentro de cada categoría de amenaza a corto plazo es la siguiente:

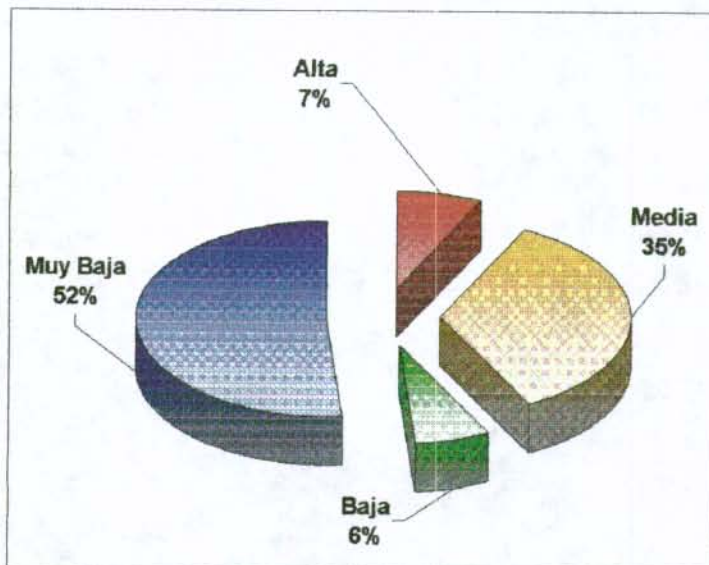


Figura 7.19. Distribución porcentual de los lotes según su categoría de amenaza a corto plazo.

Tabla 7.18. Zonificación de amenaza por FMR a largo plazo (ver Plano 6.3)

| ZONA | FACTOR DE SEGURIDAD | | PROBABILIDAD DE FALLA | | AMENAZA |
|------|---------------------|--------|-----------------------|--------|----------|
| | Máximo | Mínimo | Máxima | Mínima | |
| A | 1,135 | 1,056 | 0,808 | 0,806 | Alta |
| B | 1,352 | 1,093 | 0,610 | 0,495 | Alta |
| C | 1,020 | 0,972 | 0,908 | 0,886 | Muy alta |
| D | 1,062 | 1,044 | 0,932 | 0,927 | Muy alta |
| E | 0,935 | 0,905 | 0,872 | 0,867 | Alta |
| F | 1,002 | 1,001 | 0,955 | 0,955 | Muy alta |
| G | 2,080 | 1,840 | 0,537 | 0,450 | Alta |
| H | 1,790 | 1,776 | 0,714 | 0,709 | Alta |
| I | 2,425 | 2,408 | 0,380 | 0,373 | Media |
| J | 2,262 | 2,262 | 0,589 | 0,528 | Alta |
| K | 1,174 | 1,152 | 0,780 | 0,834 | Alta |
| L | 1,957 | 1,775 | 0,334 | 0,277 | Media |
| M | 1,154 | 1,142 | 0,923 | 0,916 | Muy alta |

7.7.2. Acciones recomendadas

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa, se recomienda realizar obras de prevención o mitigación para los siguientes sitios:

Tabla 7.20. Sitios recomendados para llevar a cabo obras de mitigación o prevención de amenazas por fenómenos de remoción en masa

| SITIO | DESCRIPCIÓN |
|-------|--|
| 1 | Está localizado en la parte alta del barrio, junto al tanque de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y corresponde a la Zona A, cuya amenaza tanto a corto como largo plazo se catalogó como Alta. |
| 2 | Está localizado en la vía de acceso al barrio, en la parte baja de la misma. El fenómeno es de tipo rotacional múltiple, asociado a la pérdida de soporte lateral por la excavación de este lomo cuando se construyó la vía. Corresponde a la Zona B, cuya amenaza tanto a corto como largo plazo se catalogó como Alta. |
| 3 | Está localizado hacia el flanco izquierdo del Sitio 2, es una ondonada cuyo costado izquierdo falló principalmente por la presencia de agua que aflora en su parte central. Corresponde a la Zona C, con amenaza entre Alta (corto plazo) y muy Alta (largo plazo). |
| 4 | Está conformado por un relleno antrópico, dispuesto en una zona que por su alta pendiente presenta síntomas de antiguos flujos y reptamiento. Corresponde a la Zona D, con amenaza entre Alta (corto plazo) y muy Alta (largo plazo). |
| 5 | Se encuentra localizado en el costado norte del área en estudio y está dividido por la vía de acceso al tanque, Corresponde a la Zona E, cuya amenaza tanto a corto como largo plazo se catalogó como Alta. |
| 6 | Corresponde a la quebrada El Zuque, en la margen derecha principalmente. Hace parte de la Zona F, cuya amenaza se catalogó como Alta (corto plazo) y Muy Alta (largo plazo). |
| 7 | Corresponden a los cortes producto de la construcción de la vía de acceso al barrio. Hacen parte de las Zonas G, cuya amenaza a largo plazo se puede catalogar como Alta. |
| 8 | Está localizado detrás del Salón Comunal, donde se presentan signos de reptamiento que se manifiestan en el corte efectuado para la construcción del salón. Corresponde a la Zona M, cuya amenaza a largo plazo se puede catalogar como Muy Alta. |

8. VULNERABILIDAD POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

8.1. Introducción

En el presente capítulo se presentan los trabajos adelantados para determinar la vulnerabilidad de las viviendas ante fenómenos de remoción en masa.

8.2. Metodología

Dado que el fin de los programas adelantados por el DPAE es el mejoramiento de las condiciones del hábitat de la ciudad y que, por ende, los principales elementos a evaluar son las viviendas (las cuales implican indirectamente a las personas que las habitan), los análisis de vulnerabilidad se encaminaron a determinar los posibles daños en las edificaciones. Para tal efecto, la vulnerabilidad se basó en el cálculo del denominado Índice de Vulnerabilidad Física (IVF), utilizando para tal efecto la metodología propuesta por Leone¹ y modificada por Soler et al². En resumen, el trabajo consistió en:

- ◆ Clasificar la tipología de vivienda a nivel lote, determinando el nivel de daño que presenta actualmente la vivienda. Esta información se obtuvo de las encuestas realizadas (ver Anexo 7).
- ◆ Calcular los índices de vulnerabilidad física (IVF), dependiendo del tipo de movimiento, la intensidad de las sollicitaciones y las características del elemento expuesto (viviendas).

8.2.1. Tipificación de las viviendas

Para tipificar las viviendas se utilizó el criterio de Leone, el cual se resume en la Tabla 8.1. Los resultados de la tipificación realizada se presentan en el Plano 7.1.

¹ Leone, F. (1999) *Concept de vulnerabilite appliquee L'evaluation des risques generes par les phenomenes de mouvements de terrain*. Tesis de doctorado, Universidad de Grenoble.

² Soler, F., González, A. y Vesga, L. (1999). *Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa en Santafé de Bogotá, Colombia*. XI CPMSIF. Fox de Iguazú, Brasil.

Tabla 8.1. Clasificación de la tipología de vivienda

| TIPO DE EDIFICACIÓN | DESCRIPCIÓN |
|---------------------|--|
| B1 | Tugurios (ranchos). |
| B2 | Casas en mampostería o prefabricadas. |
| B3 | Casas de hasta dos niveles de buena calidad de construcción (con estructura). |
| B4 | Casas de más de dos niveles de buena calidad de construcción (con estructura). |

Además, se identificaron los lotes donde no hay viviendas como LV ("lotes vacíos").

8.2.2. Calificación de los daños

En la metodología propuesta por Leone, para calificar los daños producidos en las viviendas por fenómenos de remoción en masa se sigue al criterio del DRM (Délégation aux Risques Majeurs), el cual divide los daños en cinco (5) categorías, a saber:

Tabla 8.2. Clasificación de los daños según el DRM.

| Índice de daño | Tipo de daño | Porcentaje de daño |
|----------------|--|--------------------|
| 1 | Daños ligeros no estructurales. Estabilidad no afectada. | 0.0 - 0.1 |
| 2 | Fisuración de paredes (muros). Reparaciones no urgentes. | 0.2 - 0.3 |
| 3 | Deformaciones importantes. Daños en elementos estructurales. | 0.4 - 0.6 |
| 4 | Fracturación de la estructura. Evacuación inmediata. | 0.7 - 0.8 |
| 5 | Derrumbe parcial o total de la estructura. | 0.9 - 1.0 |

El porcentaje de daño o índice de pérdidas (IP) lo define Leone, como:

$$IP = \frac{(V_i - V_f)}{V_i}$$

Donde,

V_i : Valor inicial del bien (antes del evento).

V_f : Valor final del bien (después del evento).

Para tener en cuenta el estado actual de las viviendas (de acuerdo con la calidad de la estructura), se determinó para cada una de las edificaciones del barrio el Índice de Daño Actual (IDa).

8.2.3. Solicitaciones

El tipo de solicitaciones depende de la localización del elemento expuesto en referencia al sitio donde ocurre el fenómeno, tal como se presenta a continuación (ver Soler et al., 1998).

En forma general, los fenómenos de remoción en masa que se pueden presentar en la zona de estudio se pueden catalogar como deslizamientos. A continuación se presenta en forma esquemática la ocurrencia de este tipo de movimiento.

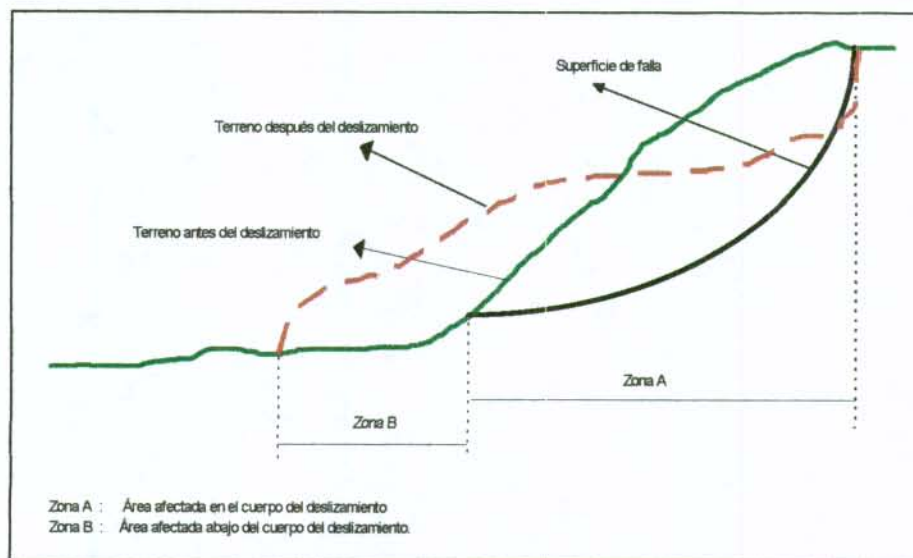


Figura 8.1. Esquema de deslizamiento

Como se puede observar en la figura anterior, se pueden distinguir dos zonas.

En la Zona A (en el cuerpo del deslizamiento), los daños que van a sufrir las viviendas se pueden relacionar con los desplazamientos laterales (DL) que, a su vez, dependen de la velocidad del movimiento (entre más rápido, los daños pueden ser mayores). Para la caracterización de las velocidades de los movimientos se utilizó la escala propuesta por Cruden y Varnes³, presentada a continuación.

³ Cruden, D. y Varnes D.(1991). *Landslides types and processes*. Universidad de Alberta.

Tabla 8.3. Rangos de velocidad utilizadas en el estudio (Zonas A)

| Descripción | Clase | Velocidad característica |
|-------------|-------|----------------------------------|
| Muy rápido | VM1 | Mayor a 50 mm/seg |
| Rápido | VM2 | Entre 0,5 mm/seg y 50 mm/seg |
| Moderado | VM3 | Entre 0,05 mm/seg y 0,5 mm/seg |
| Lento | VM4 | Entre 0,005 mm/seg y 0,05 mm/seg |
| Muy lento | VM5 | Menor a 0,005 mm/seg |

En la zona B (abajo del cuerpo del deslizamiento), los daños de las viviendas se pueden relacionar con las presiones laterales (PL) que, igualmente, se pueden asociar con la altura que alcanza la acumulación de material contra la vivienda, así:

Tabla 8.4. Categorías de presione laterales utilizadas en el estudio

| Descripción | Clase | Característica |
|-----------------------|-------|---|
| Presión lateral alta | PL1 | Mayor a 2/3 de la altura de la vivienda |
| Presión lateral media | PL2 | Entre 1/3 y 2/3 la altura de la vivienda. |
| Presión lateral baja | PL3 | Menor a 1/3 de la altura de la vivienda |

8.2.4. Criterios de intensidad

Se asociaron los posibles índices de daños (IDp) ocasionados por un evento dado, de acuerdo tanto al tipo de solicitud (magnitud del evento) como a la tipología de la vivienda para cada una de las zonas homogéneas. A continuación se presenta la matriz de daño utilizada.

Tabla 8.5. Matriz de daño (Índice de daño potencial IDp)

| ZONA | Solicitud | INDICE DE DAÑO SEGÚN TIPOLOGÍA | | | |
|-------|-----------|--------------------------------|----|----|----|
| | | B1 | B2 | B3 | B4 |
| A (A) | VM2 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| A (B) | PL2 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| B (A) | VM2 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| B (B) | PL1 | 5 | 5 | 5 | 4 |
| C (A) | VM2 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| C (B) | PL1 | 5 | 5 | 5 | 4 |
| D | VM2 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| E | VM2 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| F | VM1 | 5 | 5 | 5 | 4 |
| G | VM3 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| H | VM3 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| I | VM4 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| J | VM3 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| K | VM3 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| L | VM4 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| M | VM2 | 5 | 5 | 4 | 4 |

8.2.5. Índice de vulnerabilidad física (IVF)

Los dos índices de daño determinados anteriormente (IDa y IDp) se cuantifican por medio de conjuntos difusos (ver Figura 8.2) para hallar el porcentaje de daño o índice de pérdidas (IPa, asociado al IDa; y el IPP, asociado al IDp). Estos porcentajes de pérdidas, dependen del nivel de confianza en la valoración; en este caso se adoptó que, para una confianza de 1.0, los rangos de valores de cada ID fueran los propuestos por Leone (1996). Para efectos de los cálculos se tomó una confianza de 0.5 (ver Tabla 8.6).

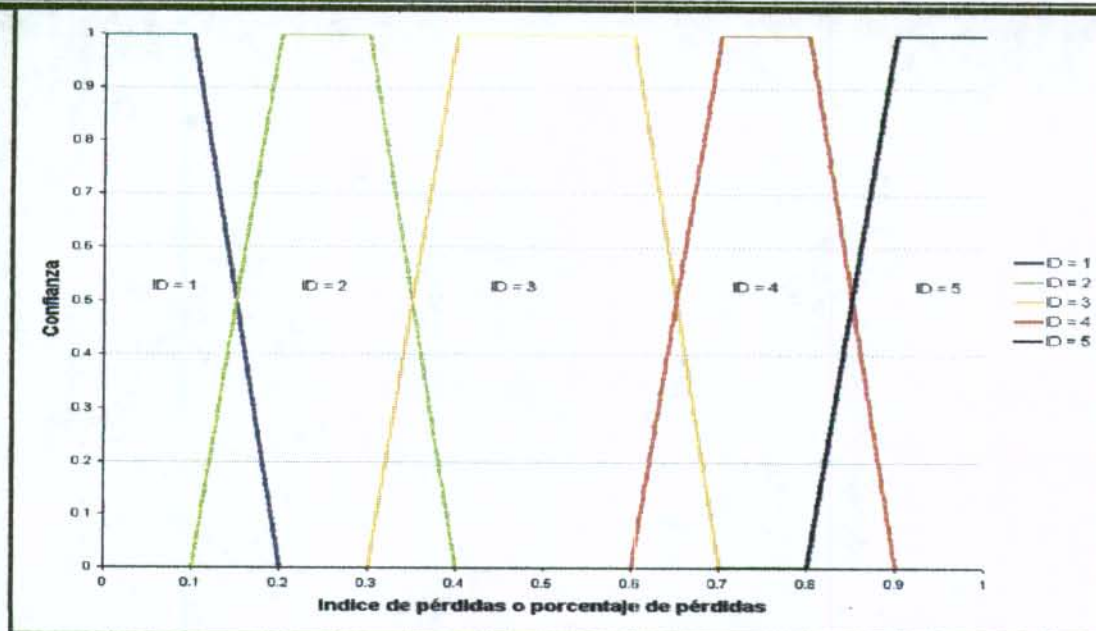


Figura 8.2. Valoración del porcentaje de daño para el ID utilizando conjuntos difusos

Tabla 8.6. Valores de IP utilizados para valorar el ID en el estudio.

| Índice de Daño | IP MIN | IP MAX |
|----------------|--------|--------|
| 1 | 0.00 | 0.15 |
| 2 | 0.15 | 0.35 |
| 3 | 0.35 | 0.65 |
| 4 | 0.65 | 0.85 |
| 5 | 0.85 | 1.00 |

Dado que se tienen dos índices, se determinó el índice de vulnerabilidad física (IVF) como la ocurrencia de alguno de los dos índices daños determinados (expresado como índices de pérdidas), es decir:

$$IVF = P(IPa \cup IPp) = IPa + IPp - IPa \times IPp$$

Es de notar que, por cada uno de los lotes existen dos IVF (máximo y mínimo) que determinan la incertidumbre del modelo.

8.3. Encuestas sobre el hábitat

Con el fin de determinar las características físicas de las viviendas, la calidad e infraestructura de servicios y, en general, las características del hábitat de la zona, se diseñó una encuesta, la cual se realizó en cada una de las viviendas del sector. En el Anexo 7 se presentan las copias de los formularios.

A continuación se presenta un pequeño resumen de los datos obtenidos de las encuestas.

8.3.1. Estructura urbana

El barrio Altos del Virrey está situado en la Localidad de San Cristóbal, sobre una ladera natural de los cerros Orientales de la ciudad, constituyendo una franja que remonta desde los 2940 hasta los 3020 metros de altitud.

El costado norte del barrio esta limitado por la urbanización Moralba y la escuela del mismo nombre. Por el Sur el barrio Altos del Virrey limita con el barrio el Quindío y la Quebrada el Zuque, por el Oriente esta limitado por el tanque de almacenamiento, la estación de bombeo de la E.E.A.A. y los Cerros, y por el Occidente esta limitado por el barrio Puente Colorado.

El acceso al barrio es puede hacer mediante vehículo automotor, por diversas vías que en el momento de hacer los estudios se encontraban sin pavimentar; sin embargo, y tal como lo infomó el presidente de la Junta de Acción Comunal, el IDU tiene proyectada la pavimentación de gran parte del barrio Altos del Virrey. El servicio de transporte urbano no se presta hasta el barrio, pero la vía de Oriente (por donde circula gran cantidad de transporte urbano) se encuentra a unas pocas cuadras. El tránsito peatonal es predominante y se hace por vías sin pavimentar en malas condiciones y difíciles de transitar, sobre todo en períodos de lluvia.

Tal como se puede ver en la siguiente figura, la gran mayoría de estructuras actuales no han sufrido daños por fenómenos de remoción en masa.

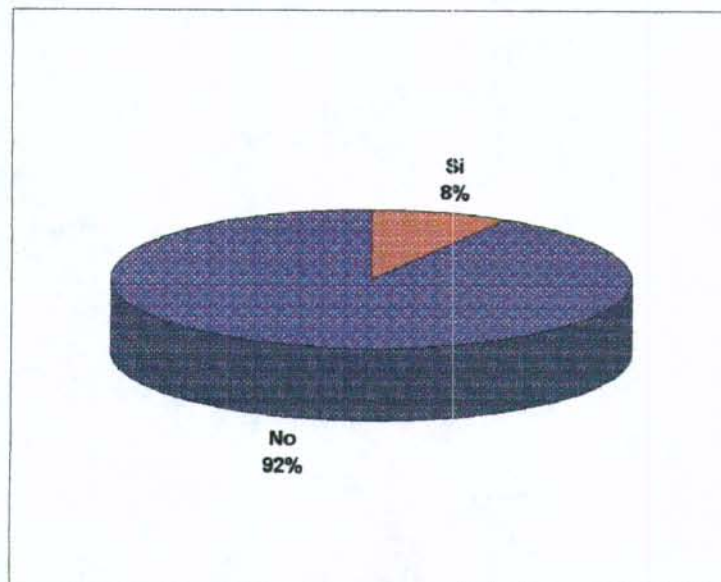


Figura 8.3. Afectación de las edificaciones ante F.R.M. en la zona de estudio.

8.3.2. Las edificaciones

Las casas están construidas en su mayoría en dos pisos. Las mejores tienen tres pisos, construidas con estructura de concreto reforzado, y las paredes en mampostería (ladrillo o bloque de cemento). Hay un buen número de casas de tipo provisional en mampostería rústica (muros en bloques de cemento, aparentemente sin reforzar) y techo cubierto con láminas de zinc. Existe además un número de casas pobres o "ranchos" levantados con materiales de recuperación. La distribución porcentual del tipo de vivienda (según el criterio de Leone, 1998) se puede observar en la siguiente figura.

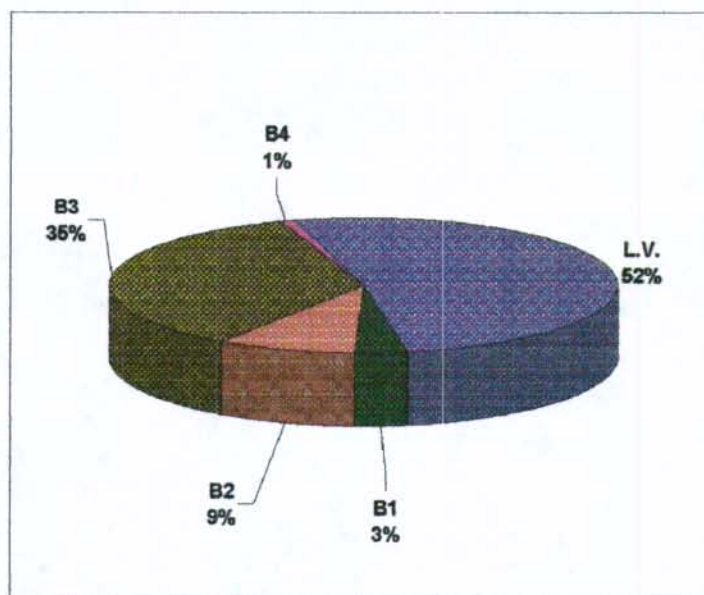


Figura 8.4. Tipología de las edificaciones en la zona de estudio.

Todos los tipos de casas se encuentran mezcladas a lo largo de la urbanización incluyendo el salón comunal y la Escuela Moralba.

Para tener en cuenta el estado actual de las viviendas, en las encuestas realizadas se determinó el nivel de daño (IDa), determinando los mismo cinco niveles propuestos en la metodología de Leone (1996). La distribución porcentual del IDa en la zona se presenta en la Figura 8.5.

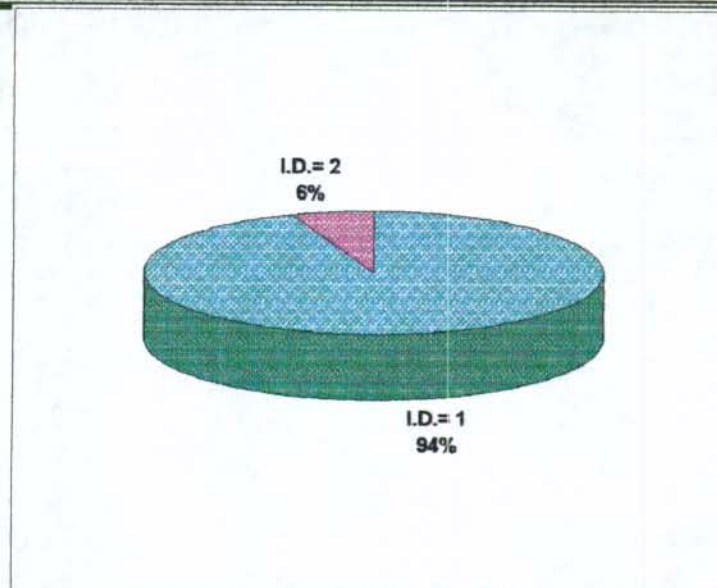


Figura 8.5. Índice de daño actual (según la D.R.M.) en las edificaciones de la zona de estudio.

En cuanto a la tenencia de la vivienda, se pudo establecer que la mayoría de la vivienda es propia (ver Figura 8.6).

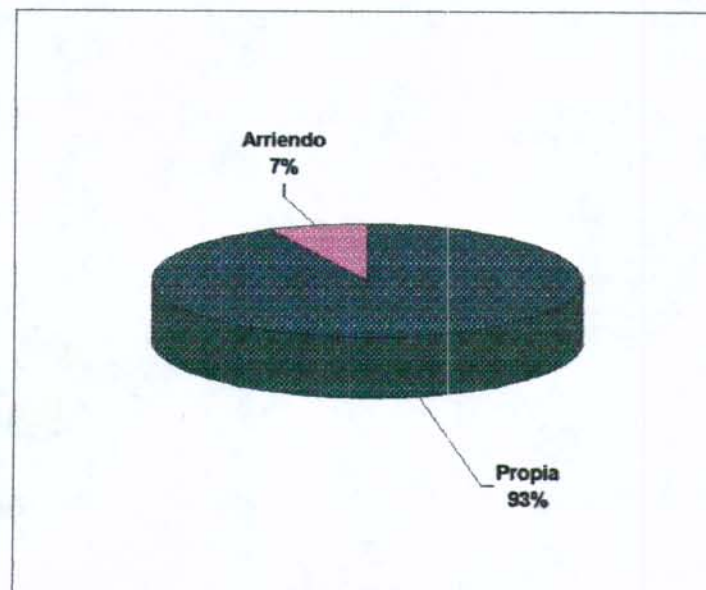


Figura 8.6. Tenencia de la vivienda en el barrio Altos del Virrey

8.3.3. Áreas verdes y libres

El barrio cuenta con amplias zonas verdes, destinadas a parques y parqueaderos. Además, la enorme extensión de bosques aledaños constituye un entorno agradable y saludable.

8.3.4. Equipamiento urbano y población

El barrio Altos del Virrey dispone de una casa que funciona como salón comunal, un hogar comunitario y un salón educativo abandonado. Para tener acceso a otros servicios como la enseñanza escolar, instalaciones deportivas, plaza pública, actividades recreativas y sociales, etc. se debe acudir a sectores vecinos; la escuela Moralba esta localizada en la parte nororiental de la zona de estudio.

Gran parte de las familias poseen cobertura de salud (ver Figura 8.7). La distribución porcentual del nivel educativo de la población se presenta en la Figura 8.8.

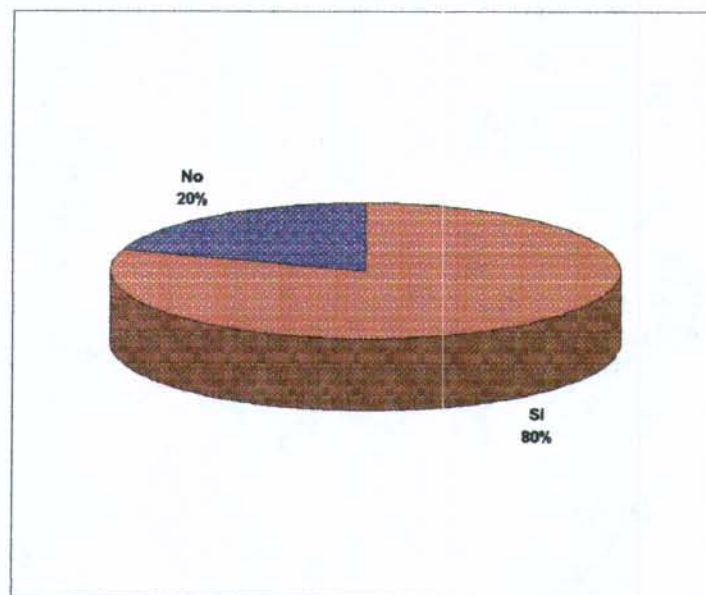


Figura 8.7. Afiliación por parte de la población a entidades de salud.

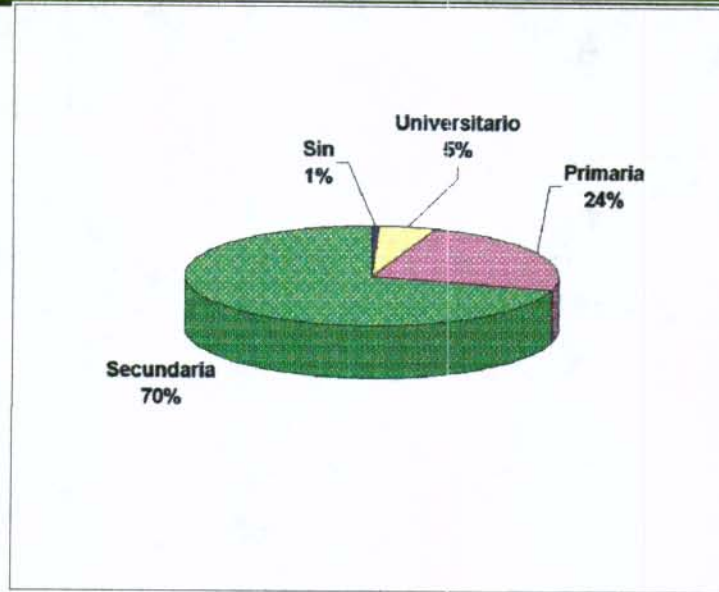


Figura 8.8. Nivel educativo de la población del barrio Altos del Virrey

De acuerdo con los resultados de las encuestas se pudo establecer que la mayoría de las familias (73%) no cuentan con recursos propios para dotarse de una vivienda nuevamente en caso de sufrir la pérdida de esta (ver Figura 8.9)

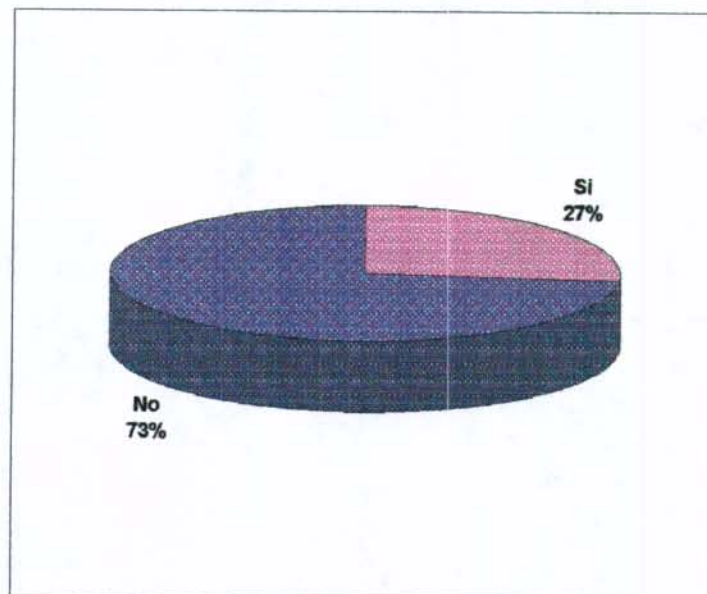


Figura 8.9. Capacidad de dotación de vivienda con recursos propios por parte de la población ante la ocurrencia de F.R.M.

8.3.5. Servicios públicos

El barrio dispone de agua proveniente de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Santafé de Bogotá (EAAB), por medio de un acueducto oficial. Algunas edificaciones toman el servicio comunalmente puesto que aun no han instalado los contadores y la conexión a la red ha sido por cuenta propia, en algunos sectores del barrio no se cuenta con el servicio debido a la falta de recursos los cuales ocasionalmente cuentan con el servicio ya sea por parte de los vecinos o por la recolección de aguas lluvias, como se presenta a continuación en la Figura 8.10.

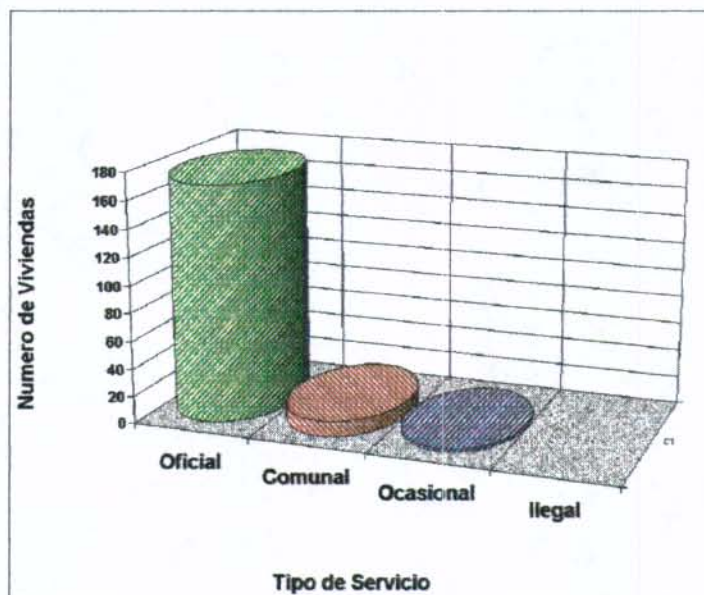


Figura 8.10. Tipo de suministro de la red de agua potable en la zona de estudio.

En la actualidad el alcantarillado es de carácter oficial; sin embargo, hay varias viviendas que no están conectadas a este servicio por encontrarse la red obstruida y continuarán vertiendo las aguas negras directamente a la quebrada el Zuque (ver Figura 8.11).

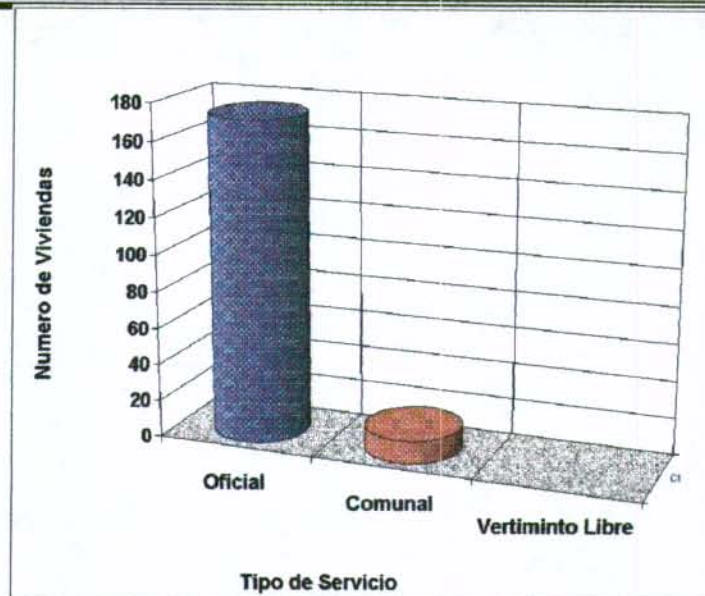


Figura 8.11. Sistema de recolección de aguas negras en el barrio Altos del Virrey

El servicio que presenta mayores deficiencias es la recolección y eliminación de basuras; en la mayoría de los casos las basuras se depositan en los lugares de recolección del barrio (ver Figura 8.12); es cierto que la recolección de las basuras se hace en forma Oficial, pero se están botando en las zonas aledañas (especialmente en la zona 4). Parte del problema se solucionaría si los lugares de recolección se encontraran en sitios más cercanos y dispersos por todo el barrio.

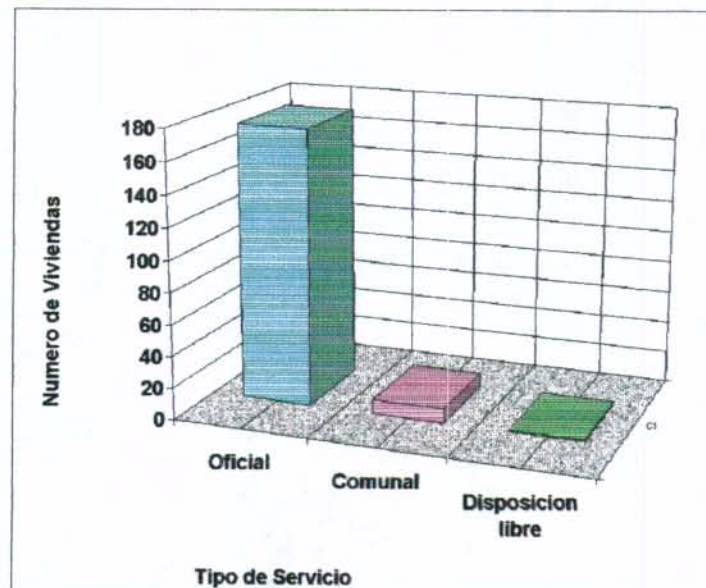


Figura 8.12. Recolección de basuras en el barrio Altos del Virrey

8.3.6. Estimación de costos

Otro análisis efectuado con los inventarios de viviendas y que servirá como insumo para el cálculo del costo/beneficio de las obras propuestas, fue el de la estimación de los precios por m² de vivienda teniendo en cuenta la topología. Los resultados de los análisis se presentan en el Anexo 7.

8.4. Categorización de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad se categoriza según el valor promedio de los IVF calculados, así:

Tabla 8.7. Criterios de categorización de la vulnerabilidad de las edificaciones ante fenómenos de remoción en masa

| CATEGORÍA VULNERABILIDAD | CRITERIO |
|--------------------------|-----------------------------------|
| MUY ALTA | IVF promedio ≥ 0.85 |
| ALTA | $0.85 \leq$ IVF promedio < 0.65 |
| MEDIA | $0.35 \leq$ IVF promedio < 0.65 |
| BAJA | $0.15 \leq$ IVF promedio < 0.35 |
| MUY BAJA | IVF promedio < 0.15 |

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, se realizó el Plano 7.2 el cual muestra los lotes con su categoría de vulnerabilidad. En el Anexo 7 se presentan las tablas con los cálculos para determinar la vulnerabilidad ante fenómenos de remoción en masa.

8.5. Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos (ver Figura 8.13), se puede concluir que la gran mayoría de las edificaciones de la zona de estudio presentan una vulnerabilidad medio o baja ante fenómenos de remoción en masa (más del 80% de los lotes construidos). Aunque la gran mayoría de los lotes no se han construido en la actualidad (52% del total), estos no presentan un grado de amenaza ante fenómenos de remoción en masa tal que puedan verse afectadas las edificaciones que posiblemente se construyan sobre ellos.

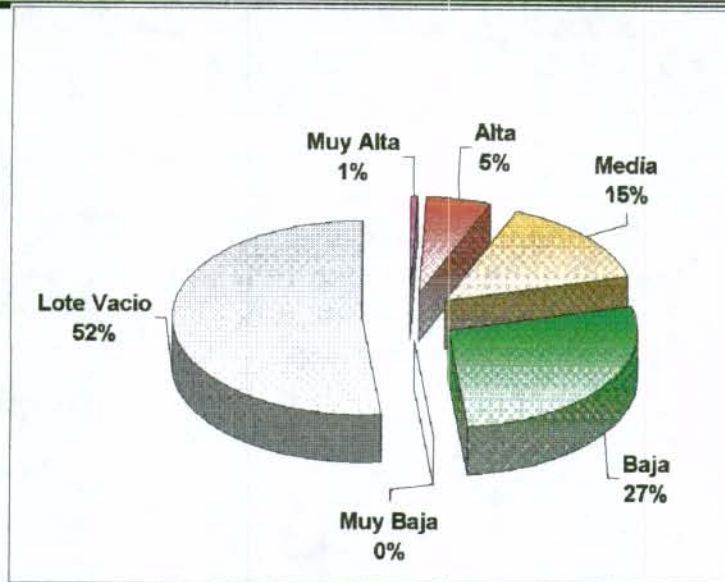


Figura 8.13. Distribución porcentual de lotes según su categoría de vulnerabilidad por fenómenos de remoción en masa

9. RIESGO

9.1. Introducción

En este capítulo se presentan las labores realizadas para determinar el riesgo que cada una de las edificaciones que se encuentran dentro del área de estudio tienen ante fenómenos de remoción en masa, teniendo en cuenta los resultados de amenaza y vulnerabilidad presentados en los capítulos 7 y 8, respectivamente.

9.2. Metodología

Una vez determinado el IVF para cada uno de los lotes (edificaciones), el riesgo se calcula como la multiplicación de la probabilidad de falla por el IVF, o sea:

$$IR = Pf * IVF$$

9.3. Zonificación por riesgo ante fenómenos de remoción en masa

De igual manera que la amenaza y la vulnerabilidad, el riesgo se caracterizó de la siguiente manera:

Tabla 9.1. Criterio de categorización del riesgo de las edificaciones por fenómenos de remoción en masa

| CATEGORÍA DEL RIESGO | CRITERIO |
|----------------------|---------------------|
| MUY ALTA | $IR \geq 0.4$ |
| ALTA | $0.3 \leq IR < 0.4$ |
| MEDIA | $0.2 \leq IR < 0.3$ |
| BAJA | $0.1 \leq IR < 0.2$ |
| MUY BAJA | $IR < 0.1$ |

Con este índice de riesgo se puede determinar las pérdidas económicas directas esperadas al multiplicarlo por el valor de las viviendas. La categoría de riesgo de cada uno de los lotes del barrio Altos del Virrey se presentan en el Plano 9.1. Los cálculos correspondientes se presentan en el Anexo 9.

9.4. Conclusiones y recomendaciones

Tal como se puede apreciar en el Plano 9.1 y como se resume en la Figura 9.1, la mayoría de las edificaciones se encuentran en riesgo bajo o muy bajo.

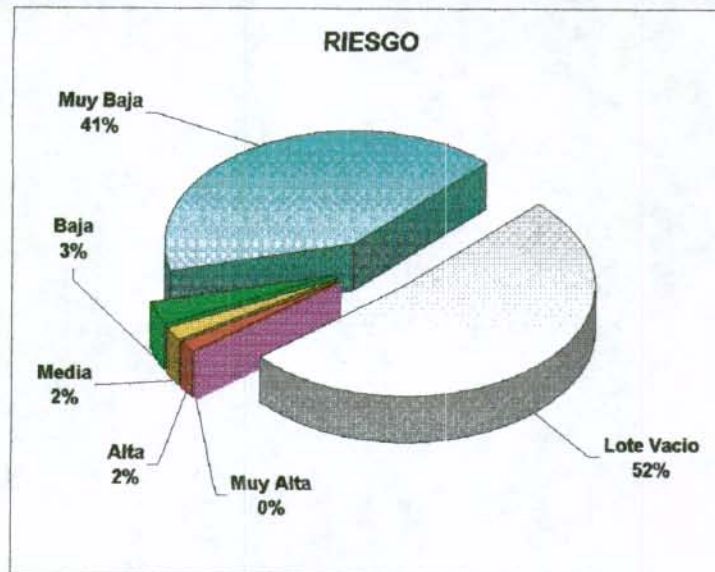


Figura 9.1. Distribución porcentual de lotes según su categoría de riesgo ante fenómenos de remoción en masa.

Los lotes que se encuentran en riesgo alto o muy alto están siendo actualmente afectados por los fenómenos de movimiento del terreno de los denominados sitios 1 (lotes 7316, 7317 y 7616) y del sitio 3 (lotes 6201, 6310, 6311 y 6312). Las obras de mitigación deberán proveer la seguridad para que estas edificaciones disminuyan el riesgo ante fenómenos de remoción en masa.

10. ALTERNATIVAS DE MITIGACION

10.1. Introducción

En este capítulo se presentan las alternativas de mitigación planteadas para cada uno de los 8 sitios (ver Plano 9.1) identificados con problemas de fenómenos de remoción en masa (ver capítulo 7), realizando un análisis costo/beneficio, con el fin de tener parámetros técnicos y económicos para adoptar una solución.

10.2. Planteamiento de alternativas de solución

Las alternativas de solución se enfocaron en tres tipos:

- ◆ Obras de drenaje: Las obras de drenaje tienen por objeto mejorar los parámetros esfuerzo deformación del subsuelo, y disminuir el parámetro de presión de poros, lo cual disminuye los esfuerzos actuantes.

El drenaje en este caso estará conformado por trincheras drenantes, cunetas y canales recolectores.

- ◆ El segundo tipo corresponde a la descarga de los taludes, eliminando en parte o totalmente los suelos en movimiento, con esta medida se busca disminuir las fuerzas actuantes.
- ◆ Estructuras de contención: Estas estructuras están encaminadas a minimizar el riesgo de falla, cuando las medidas anteriores no arrojan un factor de seguridad adecuado incluido el efecto del sismo.

En el Anexo 9 (Alternativas de mitigación), se presentan las obras proyectadas y en el Anexo 10 (Memoria de cálculo análisis de estabilidad), se presentan los factores de seguridad obtenidos.

Como complemento, se plantea la revegetalización de todos los taludes tratados con especies nativas de bajo porte.

Para realizar el análisis costo/beneficio, se determinaron los costos esperados para cada alternativa de solución propuesta, escogiendo como la más favorable la que tenga un valor mínimo. Para determinar la probabilidad de falla teniendo un factor de seguridad (para este caso se utilizó el más desfavorable, o sea con sismo y con lluvia) se tuvo en cuenta la gráfica presentada en la Figura 10.1 (obtenida de los promedios de todos los análisis realizados en el capítulo 7).

RELACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD Y LA PROBABILIDAD DE FALLA

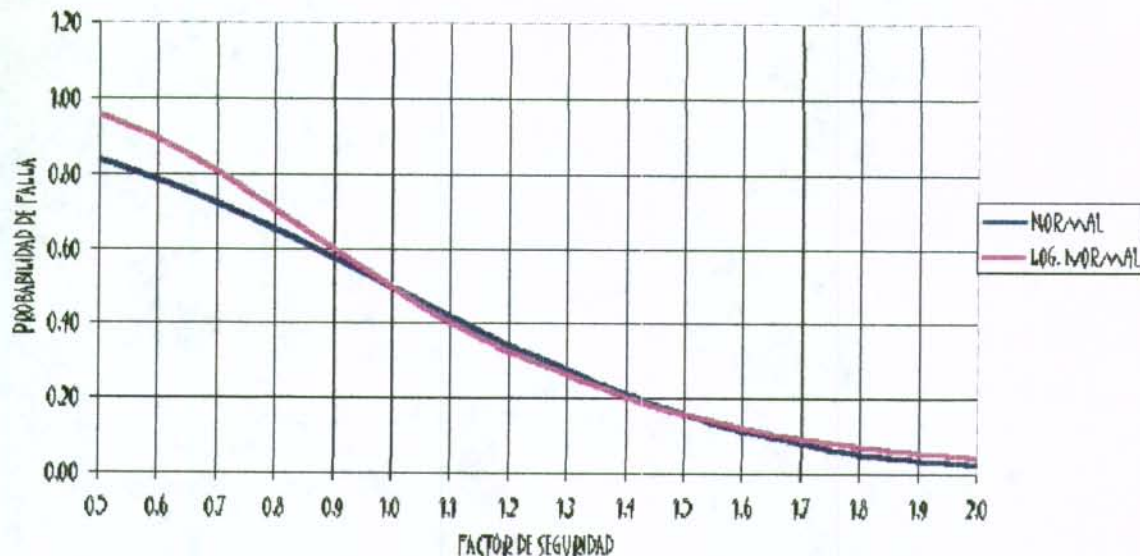


Figura 10.1. Relación Factor de seguridad v.s. probabilidad de falla

10.3. Alternativas de solución y presupuesto aproximado

10.3.1. Sitio 1.

En este sitio se plantea interceptar el flujo de agua de la parte alta de la ladera mediante una trinchera localizada en el talud del costado interno de la vía que conduce al tanque de la EAAB-ESP. En el cuerpo del movimiento y luego de retirar el suelo depositado, se prevé la construcción de una trinchera drenante que entregará las aguas captadas al sistema de alcantarillado del barrio. En este mismo sitio convergerá otra trinchera drenante proyectada para drenar una zona húmeda localizada contra la vía de acceso principal. De esta manera se implantará el primer tipo de solución (drenaje).

El segundo tipo de solución consiste en retirar parte del material de relleno colocado sobre el suelo residual, con lo cual se conforma el terreno y se procede a su revegetalización.

Con el fin de minimizar el riesgo de falla ante un sismo, se realizó un análisis de prefactibilidad, con las siguientes alternativas:

- ♦ **Alternativa 1** (muro en concreto reforzado en la corona del movimiento).

Para contribuir con la estabilidad de la vía y aumentar el material que se puede retirar, se proyectó un muro de contención de 7.0 m de altura en la corona del deslizamiento. Este muro se proyectó en este sitio por las dos consideraciones anteriores y adicionalmente

teniendo en cuenta que proyectar un muro en la pata del deslizamiento implicaría demoler al menos una vivienda y no proteger la vía.

- ♦ **Alternativa 2** (muro en concreto reforzado en la pata del movimiento).

Con el fin de detener el movimiento, se proyectó un muro de 7.0 m de altura en la pata del talud, con el cual se daría seguridad a las viviendas que están en la parte inferior del movimiento. La construcción de muro implicaría la compra de una vivienda y cuatro lotes.

- ♦ **Alternativa 3** (pantalla en concreto reforzado con anclajes, localizada en la pata del movimiento).

Esta alternativa plantea la construcción de una pantalla sobre el terreno (conformado), en la pata del talud, anclada por medio de tensores a la roca sana y 4 drenes horizontales para hacer más eficiente el drenaje del área. Esta propuesta implicaría la compra de cuatro lotes.

Como complemento a las alternativas 2 y 3 se consideró necesario colocar un muro de gaviones en el costado de la vía para evitar la pérdida de la banca.

A continuación se describen las alternativas planteadas (ver Tabla 10.1), las cuales se presentan en el Plano 9.2.

Tabla 10.1. Alternativas de solución del Sitio 1

| ALTERNATIVA | DESCRIPCION | F.S. | COSTO | PROBABILIDAD | COSTO ESPERADO |
|-------------|---|------|----------------|--------------|----------------|
| 0 | No efectuar obra de mitigación: Daño en 5 viviendas y 6 lotes más conformación de la vía y mantenimiento periódico. | 0,91 | \$ 160.000.000 | 0,592 | \$ 94.714.154 |
| 1 | Muro en concreto reforzado en la corona del movimiento (compra de 4 lotes). | 1,02 | \$ 194.639.588 | 0,481 | \$ 93.528.919 |
| 2 | Muro en concreto reforzado en la pata del movimiento y muro en gaviones en la corona (compra de una vivienda y 4 lotes). | 1,24 | \$ 226.113.156 | 0,298 | \$ 67.362.836 |
| 3 | Pantalla en concreto reforzado con anclajes, en la pata del movimiento y muro en gaviones en la corona (compra de 4 lotes). | 1,12 | \$ 125.818.816 | 0,390 | \$ 49.060.469 |

De acuerdo con el criterio de selección adoptado, se recomienda para este sitio optar por la alternativa 3.

10.3.2. Sitio 2.

En este sitio el primer tipo de solución (drenaje) estará conformado por dos trincheras drenantes, una en la pata y otra en la corona del movimiento, con lo cual se pretende abatir el nivel de las posibles aguas infiltradas e interceptar las aguas subsuperficiales, respectivamente. Como complemento, se plantea tender el talud eliminando parte del suelo movido y construir un muro de contención en gaviones de 4.0 m de altura para evitar la falla en caso de sismo. En el Plano 9.2 se presentan las alternativas planteadas y el resumen de los análisis se presentan en la Tabla 10.2.

Tabla 10.2. Alternativas de solución del Sitio 2

| ALTERNATIVA | DESCRIPCION | F.S. | COSTO | PROBABILIDAD | COSTO ESPERADO |
|-------------|---|------|---------------|--------------|----------------|
| 0 | No efectuar obras de mitigación: Daño en 1 vivienda y conformación de la vía y mantenimiento periódico. | 0,99 | \$ 50.000.000 | 0,510 | \$ 25.494.384 |
| 1 | Retiro del relleno, drenaje y muro en gaviones en la pata del movimiento. | 1,11 | \$ 45.534.388 | 0,398 | \$ 18.142.787 |

Para este sitio se recomienda llevar a cabo los trabajos planteados en la Alternativa 1.

10.3.3. Sitio 3.

En el sitio 3 se plantearon los tres tipos de solución antes indicados; el drenaje se conformó con una trinchera drenante en forma de espina de pescado sobre la zona verde existente y una trinchera drenante en la pata del talud contra la vía de acceso al barrio.

En esta misma zona y con el objeto de confinar el talud para disminuir el riesgo de falla, se proyectó un muro de gaviones de 3.0 m de altura, localizado en el talud del costado interno de la vía.

♦ Alternativa 1 (terraceo).

Esta alternativa consiste en terracear la zona afectada con la cual el terreno quedaría conformado para una adecuación como zona verde.

♦ Alternativa 2 (muro en concreto reforzado en la corona del deslizamiento).

Para aislar las viviendas del deslizamiento, se proyectó en la corona del deslizamiento un muro de contención de 7.0 m de altura, cimentado en la arcillolita, con esta medida se puede proceder a descargar parte de la corona del movimiento, disminuyendo las fuerzas actuantes.

♦ Alternativa 3.

Esta alternativa considera un muro de contención de 4.0 m de altura en gaviones, con lo cual se busca al igual que en la alternativa 1, aislar las viviendas del movimiento. Su implicación en términos de viviendas afectadas es mayor, tal como se muestra en la siguiente tabla.

En el plano 9.3 se presentan las alternativas planteadas. En la Tabla 10.3 se presenta el resumen de los análisis realizados

Tabla 10.3. Alternativas de solución del Sitio 3

| ALTERNATIVA | DESCRIPCION | F.S. | COSTO | PROBABILIDAD | COSTO ESPERADO |
|-------------|--|------|----------------|--------------|----------------|
| 0 | No efectuar obras de mitigación: Daño en 6 viviendas y 4 lotes mas conformación de la vía y mantenimiento periódico. | 0,94 | \$ 170.000.000 | 0,561 | \$ 95.309.572 |
| 1 | Terrazas, drenajes (compra de 6 viviendas y 3 lotes). | 1,24 | \$ 219.852.304 | 0,298 | \$ 65.487.902 |
| 2 | Muro en concreto reforzado h=7.0 m, drenaje (compra de 5 viviendas y 3 lotes). | 1,00 | \$ 501.865.632 | 0,500 | \$ 250.932.816 |
| 3 | Muro en gaviones y drenaje (compra de 5 viviendas y 3 lotes). | 1,00 | \$ 256.485.652 | 0,500 | \$ 128.242.826 |

Para este caso se recomienda llevar a cabo las obras de mitigación contempladas en la Alternativa 1.

10.3.4. Sitio 4.

Las medidas de estabilización se enfocaron en drenaje y retiro de las masas en movimiento o potencialmente inestables (ver Plano 9.4), para lo cual se proyectó un canal de descole para una alcantarilla y a su vez conectar trincheras drenantes dispuestas en espina de pescado y una trinchera principal dispuesta por el costado interno de la vía, la cual tiene como finalidad cortar el flujo de agua hacia el relleno.

El retiro del relleno existente en la corona del flujo es un agente detonante que se busca minimizar mediante su retiro y conformación del talud, así el factor de seguridad aumenta y se calculó en 1.85 aún en el evento de sismo.

A continuación se presenta el resumen de las alternativas planteadas para este sitio.

Tabla 10.4. Alternativas de solución del Sitio 4

| ALTERNATIVA | DESCRIPCION | F.S. | COSTO | PROBABILIDAD | COSTO ESPERADO |
|-------------|--|------|----------------|--------------|----------------|
| 0 | No efectuar obras de mitigación: Conformación de la vía y mantenimiento periódico. | 0,99 | \$ 30.000.000 | 0,510 | \$ 15.296.631 |
| 1 | Retiro del relleno, canales y drenajes. | 1,85 | \$ 190.417.848 | 0,065 | \$ 12.301.711 |

Para este sitio se recomienda llevar a cabo las obras de mitigación propuestas en la Alternativa 1.

10.3.5. Sitio 5.

El sitio 5 se identificó como una zona en flujo, con restricciones de drenaje, lo cual se buscó solucionar por medio de un canal que dará continuidad al drenaje actual, hasta su entrega en la vía de acceso al barrio (ver Plano 9.4)

Este canal a su vez se complementó con trincheras drenantes dispuestas en la Escuela Moralba y en el predio localizado aguas debajo de la escuela, con lo cual se tiene un factor de seguridad de 1.0 incluido el fenómeno de sismo (ver Tabla 10.5).

Tabla 10.5. Alternativas de solución del Sitio 5

| ALTERNATIVA | DESCRIPCION | F.S. | COSTO | PROBABILIDAD | COSTO ESPERADO |
|-------------|---|------|----------------|--------------|----------------|
| 0 | No efectuar obras de mitigación: suspensión de actividades escolares y reparación de la escuela | 0,52 | \$ 80.000.000 | 0,947 | \$ 75.728.318 |
| 1 | Canales y drenaje. | 1,02 | \$ 120.666.112 | 0,481 | \$ 57.982.917 |

Se recomienda llevar a cabo las obras propuestas en la Alternativa 1.

10.3.6. Sitio 6.

El área corresponde con la quebrada Zuque, para la cual se requieren estudios detallados de su cuenca y conformación de sus márgenes. En este estudio se analiza el sitio crítico que afecta una vivienda y dos lotes.

Teniendo en cuenta que este sitio está caracterizado por los desprendimientos continuos de material en forma de cuñas, a causa de la socavación producida a los taludes aledaños por la Quebrada Zuque, se plantea en la zona mas crítica la construcción de un muro en gaviones de 4.0 m de altura y la conformación del talud.

A continuación se presenta una tabla con el resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 10.6. Alternativas de solución del Sitio 6

| ALTERNATIVA | DESCRIPCION | F.S. | COSTO | PROBABILIDAD | COSTO ESPERADO |
|-------------|---|------|---------------|--------------|----------------|
| 0 | No efectuar obras de mitigación: Daño en 1 vivienda y 2 lotes. | 0,99 | \$ 30.000.000 | 0,510 | \$ 15.296.631 |
| 1 | Muro en gaviones y conformación del terreno (compra de una vivienda y un lote). | 1,54 | \$ 66.356.986 | 0,143 | \$ 9.519.517 |

Para este sitio se recomienda optar por las soluciones planteadas en la Alternativa 1.

10.3.7. Sitio 7.

Este sitio se localiza sobre la vía de acceso al tanque de la EAAB-ESP, y esta asociado con los cortes menores efectuados para la conformación de la banca de la vía. En este sector y como medida preventiva se plantea la conformación del talud y la revegetalización con especies nativas de bajo porte. Esta zona deberá ser reservada en un ancho de 13.0 m como zona verde. El resumen de los análisis se presenta en la Tabal 10.7.

Tabla 10.7. Alternativas de solución del Sitio 7

| ALTERNATIVA | DESCRIPCION | F.S. | COSTO | PROBABILIDAD | COSTO ESPERADO |
|-------------|---|------|---------------|--------------|----------------|
| 0 | No efectuar obras de mitigación: Daño en 10 lotes. | 0,70 | \$ 50.000.000 | 0,810 | \$ 40.524.031 |
| 1 | Drenaje y conformación del talud (compra de 5 lotes). | 1,23 | \$ 58.587.396 | 0,305 | \$ 17.249.517 |

Se recomienda optar por la Alternativa 1.

10.3.8. Sitio 8.

Para el suelo residual localizado detrás del salón comunal y que en la actualidad presenta reptamiento, se diseñó un revestimiento en gaviones de 2.0 m de altura compuesto por gaviones de 1.0 m en dos niveles.

Tabla 10.8. Alternativas de solución del Sitio 8

| ALTERNATIVA | DESCRIPCION | F.S. | COSTO | PROBABILIDAD | COSTO ESPERADO |
|-------------|--|------|---------------|--------------|----------------|
| 0 | No efectuar obras de mitigación: Daño salón comunal. | 0,36 | \$ 30.000.000 | 0,994 | \$ 29.823.818 |
| 1 | Drenaje y compra de una vivienda y un lote. | 0,85 | \$ 9.798.344 | 0,656 | \$ 6.425.009 |

Para el Sitio 8 se recomienda llevar a cabo las obras contempladas en la Alternativa 1.

Para los sitios 6, 7 y 8 por haberse presentado un planteamiento único de solución, no se presentan planos de alternativa de mitigación. Las medidas de mitigación se presentan directamente en el Anexo 10.

11. DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE MITIGACION.

11.1. Obras recomendadas

Con base en los análisis efectuados en el capítulo anterior, se establecieron las siguientes obras para cada uno de los sitios, las cuales se presentan en el anexo 10 "Diseños detallados".

Las obras consideradas tienen que ver con la conformación del terreno, drenaje y una pantalla anclada. A continuación se inicia la secuencia constructiva.

11.1.1. Sitio 1

1. Efectuar la conformación del terreno dejando un talud de 1.5 horizontal 1.0 vertical, con el objeto de retirar el relleno actual y así descargar el talud, eliminar zonas de infiltración, facilitar la revegetalización del mismo en la parte superior o la construcción de la pantalla anclada en la parte inferior o pata del talud.
2. Una vez conformado el talud, se debe proceder a la construcción de las obras de drenaje, conformadas por trincheras drenantes. Las trincheras drenantes se localizan una sobre el talud interno de la vía de acceso al tanque de la EAAB-ESP y tendrá una profundidad total de 1.70 m de los cuales 1.50 m conforman el material granular conformado por gravas de entre 2" de diámetro y 4" de diámetro recubierto con geotextil no tejido tipo PAVCO 1600 o similar. Los 0.20 m sobre la grava y el geotextil estarán conformados por suelo seleccionado como el descrito en la sección 13 de las especificaciones de construcción del IDU y sobre este la cuneta triangular, en concreto de 140 Kg/cm², tipo 1, de 1.0 m de ancho por 0.30 m de profundidad.

Esta trinchera con cuneta entregará las aguas captadas en la alcantarilla existente localizada sobre la vía, para lo cual se requieren 116 m de trinchera cuneta tipo 1.

Simultáneamente se constituirá una segunda trinchera drenante en el cuerpo del talud afectado, de 1.70 m de profundidad total de los cuales 1.50m en grava, tal como se describió anteriormente y 0.20 m de suelo del sitio apisonado. Esta trinchera se encuentra con una tercera trinchera proveniente del norte del sitio 1, de iguales características, donde se identificó una zona húmeda que es necesario drenar. Estas trincheras entregaran las aguas captadas al pozo de alcantarillado que se indica en el plano 10.1 con lo cual se tienen tramo de trinchera de 44.0 m, un segundo de 26 m y el tramo de entrega de 20 m para 90 m de trinchera sin cuneta.

3. A continuación se construirán 4 drenes horizontales, los cuales se perforaran con equipo de rotación de 4 pulgadas de diámetro y 10 m de longitud cada 3.0 m sobre la cota 2993,20. Los drenes serán tipo PAVCO RDE=26 o similar de 2 pulgadas de diámetro, forrados en geotextil no tejido tipo PAVCO 1600 o similar. Las aguas captadas drenaran sobre la placa de concreto que conforma la pantalla anclada y posteriormente será conducida por una cuneta en concreto tipo 4 hasta el pozo localizado sobre la calle.
4. Una vez construidas las obras de drenaje, se procederá a la construcción de la pantalla en concreto $f c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ (3000 Psi), 0.25 m de espesor. Como esta pantalla tiene por objeto transferir los esfuerzos a los anclajes que quedarán embebidos dentro de ella, estos anclajes serán construidos previamente mediante perforaciones de diámetro efectivo de 4 pulgadas y 13.50 m de longitud, dentro de los cuales se colocará un cable de $\phi 1/2"$ de G-270, y una lechada suelo-cemento mediante una tubería de manquitos RDE 21 a presión o similar. Cada anclaje será capas de soportar una tensión de 6.5 toneladas.
5. Construir un muro de gaviones de 3.0 m de altura y 30 m de longitud en la banca de la vía, esto con el objeto de proporcionar confinamiento a la misma.
6. La revegetalización del sitio se efectuará con pasto Kikuyo siguiendo la especificación de construcción Sección 60.

A continuación se presenta la relación de los lotes afectados por las obras propuestas.

Tabla 11.1. Lotes afectados en el Sitio 1

| CODIGO PLANO | No. MZ | No. LOTE | USO DEL SUELO | DIRECCION |
|--------------|--------|----------|---------------|---------------|
| 7426 | 74 | 26 | Lote vacío | Sin dirección |
| 7427 | 74 | 27 | Lote vacío | Sin dirección |
| 7428 | 74 | 28 | Lote vacío | Sin dirección |
| 7429 | 74 | 29 | Lote vacío | Sin dirección |

Con estas obras las cuales se presentan en el plano 10.1, se obtiene un factor de seguridad incluido sismo de 1.12.

11.1.2. Sitio 2

En este sitio se proyectó el retiro del material movido mediante la conformación del talud con una inclinación 1.5H:IV. En la pata del talud se debe construir un muro de contención en gaviones de 4.0 m de altura y 30.0 m de longitud cimentado a la cota 2930 msnm.

Para asegurar el drenaje subsuperficial del talud se dispuso de dos trincheras drenantes, de 1.5 m de profundidad con las características descritas para el sitio 1. Estas trincheras drenantes entregan las aguas captadas al sistema de alcantarillado del barrio conformado por una alcantarilla existente en el costado derecho del talud y un sumidero SL-150 proyectado en el costado izquierdo del talud.

- El proceso constructivo se inicia con el tendido del talud y la construcción de la trinchera drenante localizada en la corona del talud.
- Como segundo paso, se efectuará la excavación para el muro de gaviones, la cual se llevará a cabo en tramos de máximo 3.0 m. Una vez culminada la excavación para el muro, se debe efectuar la excavación para la trinchera drenante, y la construcción inmediata de la misma y del muro de gaviones.
- Finalmente se deberá colocar el pasto Kikuyo en las caras expuestas del talud.

Con estas obras se obtiene un factor de seguridad incluido sismo de 1.11 (ver plano 10.2).

11.1.3. Sitio 3

En este sitio como medida de mitigación se planteo un Terraceo con taludes 2H:IV de 2.5 m de altura ó 5.0 m de altura y bermas en su parte más amplia de 5.0 m de ancho; hacia los costados estas bermas disminuyen su espesor con el objeto de ajustarse al terreno aledaño y de esta manera disminuir la afectación de predios por la conformación del talud.

Las obras de drenaje están conformadas por trincheras drenantes localizadas en el talud interno de las bermas los cuales entregaran las aguas captadas a una trinchera localizada en el extremo nor-occidental del área, y esta a su vez a un sumidero SL-150 localizado en el costado interno de la vía.

Adicionalmente en el talud interno de las bermas se construirán cunetas en concreto simple de 140 Kg/cm² las cuales drenan del centro hacia los costados para entregar las aguas a disipadores de energía y estos nuevamente del sumidero proyectado en la vía.

Las cunetas serán de dos tipos, la tipo 1 de 1.0 m de ancho y 0.30 m de profundidad se localizará sobre la vía de acceso al barrio, esta transporta el agua captada por las cunetas tipo 4 de 0.73 m de ancho y 0.22 m de profundidad, localizadas en las bermas.

Una vez conformada las terrazas y construidas las trincheras drenantes, se construirán los disipadores de energía, ajustándolos a la pendiente del talud conformado y descrito anteriormente. Estos disipadores serán construidos en concreto de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, requiriendo para ello la excavación del terreno con taludes verticales como formaleta exterior y formaleta para la cara que quede expuesta. Una vez construida la base del disipador y antes del fraguado inicial se colocaran en su superficie cantos redondeados de aproximadamente 0.10 m de diámetro, con el fin de aumentar la rugosidad del canal. Máximo cada 5.0 m medidos horizontalmente, se conformara una poceta que servirá de control al flujo de agua. Esta poceta tendrá un diente de 0.20 m de ancho que se empotrará en el terreno, 0.50 m de profundidad, con el fin de mejorar su estabilidad.

El ancho efectivo del disipador es de 0.80 m para permitir la entrega de las cunetas tipo 4 de 0.73 m de ancho.

Con la descarga y conformación del talud más drenaje se obtiene un factor de seguridad incluido sismo de 1.24. En el plano 10.3 se presentan las obras de mitigación.

En la vía de acceso se construirá un muro de gaviones de 3.0 m de altura y 30 m de longitud, cimentado en la cota 2937.60 msnm. Este muro deberá ser construido en tramos de máximo 3.0 m de longitud, siguiendo el procedimiento descrito para el sitio 2.

Para la conformación de los taludes de este sitio, se requiere la compra de los siguientes predios:

Tabla 11.2. Lotes afectados en el Sitio 3

| CODIGO PLANO | No. MZ | No. LOTE | USO DEL SUELO | DIRECCION |
|--------------|--------|----------|---------------|---------------------------|
| 6409 | 64 | 09 | Vivienda | Calle 44 sur -16-22 Este |
| 6407 | 64 | 07 | Vivienda | Cra.16 Bis -45 A - 41 |
| 6406 | 64 | 06 | Vivienda | Cra.16 Bis -46 -03 sur |
| 6408 | 64 | 08 | Lote vacío | Sin dirección |
| 6301 | 63 | 01 | Lote vacío | Sin dirección |
| 6302 | 63 | 02 | Lote vacío | Sin dirección |
| 6310 | 63 | 10 | Vivienda | Cra.16 Bis -46 A - 03 sur |
| 6311 | 63 | 11 | Vivienda | Cra.16 Bis -46 - 09 sur |
| 6312 | 63 | 12 | Vivienda | Sin dirección |

11.1.4. Sitio 4

Como obra correctiva se diseñó el retiro del material de relleno mediante la conformación de un talud con inclinación 3H:IV; esto se puede lograr en el costado sur del sitio, en el costado norte la pendiente se ajustó a las condiciones del terreno mediante un talud 2.5H:IV.

Una vez efectuada esta conformación, se construirá una trinchera drenante es espina de pescado, con una profundidad total de 1.70 m; de los cuales 1.50 m serán construidos con material granular, la longitud de la trinchera será de 171 m tal como se describió para el sitio 1.

Esta trinchera entrega las aguas captadas a un canal diseñado para la Escuela Moralba, que a su vez lo hace a una alcantarilla existente sobre la vía de acceso.

En el costado interno de la vía, se construirá una trinchera drenante con cuneta en concreto simple, tipo 3 de 147 m de longitud, esta trinchera entrega a una alcantarilla de 36" de diámetro con aleta en concreto típica para carreteras y a un canal denominado "canal Botadero", construido con bolsacretos en prevención de posibles movimientos menores del terreno. Este canal tendrá una forma trapezoidal con base de 0.50 m y altura de 0.50 m y taludes 1.5H:IV las aguas captadas serán entregadas a una alcantarilla existente en la vía de acceso, tal como se muestra en el plano 10-4-1. Una mayor descripción de los bolsacretos se presenta en el numeral 11.2.4.

Con las obras descritas se obtiene un factor de seguridad de 1.8 (ver plano 10.4-1 a 10.4-

11.1.5. Sitio 5

Como medida correctiva se diseñó un canal de sección trapezoidal de 0.50 m de base y 0.50 m de profundidad más una profundidad variable por la irregularidad del terreno entre 0.75 m y 2.0 m; los taludes del canal serán 1.5 horizontal 1.0 vertical.

El revestimiento del canal se hará con bolsacretos con lo cual se pretende evitar la pérdida de su funcionalidad por movimiento del terreno; una mayor descripción de los bolsacretos se presenta en el numeral 11.2.4. Los bolsacretos estarán apoyados en una capa de arena de 0.05 m de espesor y una geomembrana para evitar el flujo hacia el interior del talud. Este canal entregará las aguas captadas en la pata de talud donde se encuentra una alcantarilla en funcionamiento.

A este canal a su vez entregarán las aguas captadas por trincheras drenantes de 1.50 m de profundidad, descritas para el sitio uno; la profundidad de las trincheras disminuye en los últimos metros donde entrega al canal por la parte superior de este último, en el

plano 10.4-1 se presenta la localización de las obras propuestas y en los planos 10.4-2 y 10.4-4 se presentan los detalles de los mismos.

Las trincheras se distribuyeron a lo largo de la zona afectada; en el lote localizado arriba de la vía de acceso se diseñaron 5 trincheras drenantes, para un total de 85 m de trinchera drenante, en la vía de acceso se localizaron 2 trincheras con cuneta en concreto tipo 2 de 73 m de longitud total. En el costado interno del corte efectuado para la explanación de la Escuela Moralba se diseñó una trinchera drenante de 63 m de longitud y una en el límite inferior de dicha explanación de 47 m de longitud. Finalmente, se diseñó una trinchera diente de 60 m de longitud en la parte baja del talud.

Como el canal proyectado cruza la vía de acceso al tanque de la EAAB y la vía de acceso a la Escuela Moralba, dicho paso se efectuara por medio de alcantarillas de 36" de diámetro, con lo cual se garantiza que el mantenimiento puede ser efectuado por una persona sin mayor inconveniente. El modelo de alcantarillado adoptado es el típico para carreteras, con caja de entrada y caja de salida en cada tramo. Por tratarse de obras menores, la excavación para las cajas podrá ser efectuada con taludes verticales, el concreto que se empleará en estas cajas es de 210 Kg/cm², y sus dimensiones serán de 2.0 m por 2.0 m en planta, y una altura variable entre 1.50 m y 2.60 m.

11.1.6. Sitio 6

Para el confinamiento el talud y la protección de la margen se diseñó un muro de gaviones de 40 m de longitud y sección variable de 2.0 m a 4.0 m de altura. Hacia los costados es necesario empotrar estos gaviones en el talud actual, por lo cual se requerirá un escalonamiento de los gaviones en el costado aguas abajo y un bloque en concreto ciclópeo en el costado agua arriba. De igual forma para conformar el suelo de fundación, se requiere una capa de concreto ciclópeo en la parte central del muro tal como se indica en el plano de construcción.

La conformación del terreno detrás del muro de gaviones se logra mediante un relleno en material seleccionado (sección 13) con un talud 3H:IV el cual se prolonga hasta la corona del talud mediante un corte con la misma inclinación.

La revegetación del talud se tiene prevista con la colocación de grama (pasto Kikuyo).

La casa afectada es la correspondiente a la manzana 68, lote 20 y el lote de la misma manzana número 21

Tabla 11.3. Lotes afectados en el Sitio 6

| CODIGO PLANO | No. MZ | No. LOTE | USO DEL SUELO | DIRECCION |
|--------------|--------|----------|---------------|-----------------------|
| 6820 | 68 | 20 | Vivienda | Diag. 48 A #-16A8 sur |
| 6821 | 68 | 21 | Lote vacío | Sin dirección |

11.1.7. Sitio 7

Para este sitio con problemas de reptamiento del suelo superficial, se consideró su reconfiguración en un ancho de 13.0 m por 41.0 m de longitud mediante taludes 2.5 H:IV para luego realizar en la totalidad del talud una revegetalización con sauces llorones y alisos los cuales se deberán sembrar intercalando las especies antes mencionadas con un espaciamiento entre ellas de 3.0 m. en el plano 10.6 se presenta la conformación propuesta.

Tabla 11.4. Lotes afectados en el Sitio 7

| CODIGO PLANO | No. MZ | No. LOTE | USO DEL SUELO | DIRECCION |
|--------------|--------|----------|---------------|---------------|
| 6801 | 68 | 01 | Lote vacío | Sin dirección |
| 6802 | 68 | 02 | Lote vacío | Sin dirección |
| 6811 | 68 | 11 | Lote vacío | Sin dirección |
| 6701 | 67 | 01 | Lote vacío | Sin dirección |
| 6702 | 67 | 02 | Lote vacío | Sin dirección |
| 6703 | 67 | 03 | Lote vacío | Sin dirección |
| 6704 | 67 | 04 | Lote vacío | Sin dirección |
| 6601 | 66 | 01 | Lote vacío | Sin dirección |
| 6602 | 66 | 02 | Lote vacío | Sin dirección |
| 6603 | 66 | 03 | Lote vacío | Sin dirección |

11.1.8. Sitio 8

Al igual que en el sitio 7, el fenómeno identificado es de reptación, detonado en este caso por el corte efectuado para la explanación del salón comunal, las obras correctivas son un recubrimiento en gaviones de 2.0 m de altura conformado por dos gaviones de 1.0 m por 1.0 m y 12 m de longitud, complementado con una trinchera drenante de 1.50

m de profundidad y una cuneta tipo 4 de 50 m de longitud, hasta entregar las aguas captadas a un pozo localizado sobre la vía de acceso al barrio.

La entrega al pozo se hace mediante un sumidero tipo SL-150 que será necesario construir para tal fin, ya que el pozo se encuentra en el centro de la vía.

La parte superior del talud será revegetalizada con árboles Sauce Llorón y Aliso intercalando las especies con una separación de 3.0 m.

En el plano 10.6 se presentan las obras propuestas.

11.2. Diseño de Obras Hidráulicas

En este numeral se muestran los principales criterios de diseño de las obras de control y manejo de las aguas superficiales, subsuperficiales y subterráneas para la estabilización del talud.

Los procedimientos y fórmulas que se utilizaron para determinar los caudales se explican en el numeral 11.2.. A continuación se describen los principales elementos de drenaje, su función y criterios de diseño.

11.2.1. Cunetas y Canales

Las cunetas laterales a la vía que recogen las aguas de escorrentía procedentes de la calzada y de los taludes de corte, con el fin de evitar la erosión. Para el cálculo de las cunetas se utilizó la fórmula de Manning para flujo uniforme:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \cdot A$$

Donde: Q es el caudal (m³/s), R es el radio hidráulico (m), S es la pendiente del canal (m/m). A es el área de la sección de la cuneta (m²) y n es el coeficiente de rugosidad de Manning.

Los principales criterios de diseño son los siguientes:

- ◆ Las frecuencias de las crecientes de diseño se aplicaron siguiendo las normas de la E.A.A.B- E.S.P para el diseño de sistemas fluviales así:

| | |
|-----------------------|---------|
| Canales con A<100 ha. | Tr |
| Sección Revestida | 10 años |
| Capacidad Total | 25 años |

- ◆ Las pendientes longitudinales de la zona de estudio varían entre 10% y el 30% por lo tanto se recomienda revestir las cunetas en concreto y los canales en material flexible (bolsacreto).
- ◆ La velocidad mínima debe ser de 0.25 m/s y la velocidad máxima admisible de 5-8 m/s.¹

La sección típica de las cunetas, los canales y sus relaciones hidráulicas se presentan en la Tabla 11.5 y 11.6.

¹ Ingeniería Sanitaria. Redes de alcantarillado y bombeos de aguas residuales. GEORGE TCHOBANAGLOUS

Tabla 11.5 Cálculo de Cunetas

| CALCULO DE CAPACIDAD DE CUNETAS FORMULA DE MANNING | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|------|------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|---------|----------|---------------------|--|
| PROYECTO : ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR LA LADERA DONDE SE ENCUENTRAN LOS BARRIOS ALTOS DEL VIRREY Y MORALBA, | | | | | | | | | | | | | | |
| LOCALIZACION : ALTOS DEL VIRREY LOCALIDAD DE SAN CRISTÓBAL, SANTAFÉ DE BOGOTÁ D.C. | | | | | | | | | | | | | | |
| CLIENTE : FONDO PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES (FOPAE) | | | | | | | | | | | | | | |
| Coeficiente de rugosidad : 0,013 | | | | | | | | | | | | | | |
| Borde libre requerido : 0,05 m | | | | | | | | | | | | | | |
| Ancho máximo de cuneta : 1,50 m | | | | | | | | | | | | | | |
| Altura máxima de cuneta : 0,50 m | | | | | | | | | | | | | | |
| b (m) | H (m) | m1 | m2 | S (%) | Yo (m) | x (m) | A (m2) | p (m) | R (m) | Yc (m) | V (m/s) | Q (m³/s) | SECCION TRANSVERSAL | |
| 0,00 | 0,30 | 3,00 | 0,33 | 5,00 | 0,25 | 0,62 | 0,10 | 1,04 | 0,10 | 0,40 | 3,64 | 0,37 | CUNETA - T1 | |
| 0,00 | 0,27 | 3,00 | 0,33 | 10,00 | 0,22 | 0,72 | 0,08 | 0,91 | 0,09 | 0,40 | 4,73 | 0,37 | CUNETA - T3 | |
| 0,00 | 0,25 | 3,00 | 0,33 | 15,00 | 0,20 | 0,67 | 0,07 | 0,85 | 0,08 | 0,40 | 5,50 | 0,37 | CUNETA - T3 | |
| 0,00 | 0,24 | 3,00 | 0,33 | 20,00 | 0,19 | 0,63 | 0,06 | 0,80 | 0,08 | 0,40 | 6,13 | 0,37 | CUNETA - T3 | |
| 0,00 | 0,23 | 3,00 | 0,33 | 25,00 | 0,18 | 0,61 | 0,06 | 0,77 | 0,07 | 0,40 | 6,66 | 0,37 | CUNETA - T3 | |
| 0,00 | 0,23 | 3,00 | 0,33 | 30,00 | 0,18 | 0,59 | 0,05 | 0,74 | 0,07 | 0,40 | 7,14 | 0,37 | CUNETA - T3 | |
| 0,00 | 0,28 | 3,00 | 0,33 | 5,00 | 0,23 | 0,75 | 0,08 | 0,95 | 0,09 | 0,36 | 3,43 | 0,29 | CUNETA - T3 | |
| 0,00 | 0,25 | 3,00 | 0,33 | 10,00 | 0,20 | 0,66 | 0,07 | 0,83 | 0,08 | 0,36 | 4,45 | 0,29 | CUNETA - T3 | |
| 0,00 | 0,23 | 3,00 | 0,33 | 15,00 | 0,18 | 0,61 | 0,06 | 0,77 | 0,07 | 0,36 | 5,18 | 0,29 | CUNETA - T3 | |
| 0,00 | 0,22 | 3,00 | 0,33 | 20,00 | 0,17 | 0,58 | 0,05 | 0,73 | 0,07 | 0,36 | 5,77 | 0,29 | CUNETA - T3 | |
| 0,00 | 0,22 | 3,00 | 0,33 | 25,00 | 0,17 | 0,55 | 0,05 | 0,70 | 0,07 | 0,36 | 6,27 | 0,29 | CUNETA - T3 | |
| 0,00 | 0,21 | 3,00 | 0,33 | 30,00 | 0,16 | 0,54 | 0,04 | 0,68 | 0,06 | 0,36 | 6,71 | 0,29 | CUNETA - T3 | |
| 0,00 | 0,25 | 0,33 | 3,00 | 5,00 | 0,20 | 0,68 | 0,07 | 0,86 | 0,08 | 0,32 | 3,20 | 0,22 | CUNETA - T3 | |
| 0,00 | 0,23 | 0,33 | 3,00 | 10,00 | 0,18 | 0,59 | 0,06 | 0,75 | 0,07 | 0,32 | 4,15 | 0,22 | CUNETA - T3 | |
| 0,00 | 0,22 | 0,33 | 3,00 | 15,00 | 0,17 | 0,55 | 0,05 | 0,70 | 0,07 | 0,32 | 4,83 | 0,22 | CUNETA - T3 | |
| 0,00 | 0,21 | 0,33 | 3,00 | 20,00 | 0,16 | 0,52 | 0,04 | 0,66 | 0,06 | 0,32 | 5,38 | 0,22 | CUNETA - T3 | |
| 0,00 | 0,20 | 0,33 | 3,00 | 25,00 | 0,15 | 0,50 | 0,04 | 0,63 | 0,06 | 0,32 | 5,85 | 0,22 | CUNETA - T3 | |
| 0,00 | 0,20 | 0,33 | 3,00 | 30,00 | 0,15 | 0,48 | 0,04 | 0,61 | 0,06 | 0,32 | 6,27 | 0,22 | CUNETA - T3 | |
| 0,00 | 0,22 | 0,33 | 3,00 | 5,00 | 0,17 | 0,57 | 0,05 | 0,72 | 0,07 | 0,27 | 2,86 | 0,14 | CUNETA - T2 | |
| 0,00 | 0,20 | 0,33 | 3,00 | 10,00 | 0,15 | 0,50 | 0,04 | 0,63 | 0,06 | 0,27 | 3,71 | 0,14 | CUNETA - T2 | |
| 0,00 | 0,19 | 0,33 | 3,00 | 15,00 | 0,14 | 0,48 | 0,03 | 0,59 | 0,06 | 0,27 | 4,32 | 0,14 | CUNETA - T2 | |
| 0,00 | 0,18 | 0,33 | 3,00 | 20,00 | 0,13 | 0,44 | 0,03 | 0,56 | 0,05 | 0,27 | 4,81 | 0,14 | CUNETA - T2 | |
| 0,00 | 0,18 | 0,33 | 3,00 | 25,00 | 0,13 | 0,42 | 0,03 | 0,53 | 0,05 | 0,27 | 5,23 | 0,14 | CUNETA - T2 | |
| 0,00 | 0,17 | 0,33 | 3,00 | 30,00 | 0,12 | 0,41 | 0,03 | 0,52 | 0,05 | 0,27 | 5,60 | 0,14 | CUNETA - T2 | |

Tabla 11.6. Cálculo de Canales

| CALCULO DE CAPACIDAD DE CANALES FORMULA DE MANNING | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|--------|------|-------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|---------|----------|---------------------|
| ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR LA LADERA DONDE SE ENCUENTRAN LOS BARRIOS ALTOS DEL VIRREY Y MORALBA, | | | | | | | | | | | | | |
| LOCALIZACION : ALTOS DEL VIRREY LOCALIDAD DE SAN CRISTÓBAL, SANTAFÉ DE BOGOTÁ D.C. | | | | | | | | | | | | | |
| CLIENTE : FONDO PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES (FOPAE) | | | | | | | | | | | | | |
| Coeficiente de rugosidad | | 0,020 | | Ancho máximo de cuneta | | 3,00 m | | | | | | | |
| Borde libre requerido | | 0,18 m | | Altura máxima de cuneta | | 1,00 m | | | | | | | |
| b (m) | H (m) | m1 | m2 | S (%) | Yo (m) | x (m) | A (m2) | p (m) | R (m) | Yc (m) | V (m/s) | Q (m³/s) | SECCION TRANSVERSAL |
| 0,50 | 0,42 | 1,50 | 1,50 | 13,79 | 0,24 | 1,21 | 0,20 | 1,35 | 0,15 | 0,49 | 5,22 | 1,05 | CANAL 1 |
| 0,50 | 0,40 | 1,50 | 1,50 | 17,90 | 0,22 | 1,16 | 0,18 | 1,29 | 0,14 | 0,49 | 5,74 | 1,05 | |
| 0,50 | 0,40 | 1,50 | 1,50 | 18,84 | 0,22 | 1,15 | 0,18 | 1,28 | 0,14 | 0,49 | 5,85 | 1,05 | CANAL ESCUELA |
| 0,50 | 0,39 | 1,50 | 1,50 | 22,95 | 0,21 | 1,12 | 0,17 | 1,24 | 0,13 | 0,49 | 6,28 | 1,05 | |
| 0,50 | 0,37 | 1,50 | 1,50 | 28,95 | 0,19 | 1,06 | 0,15 | 1,20 | 0,13 | 0,49 | 6,83 | 1,05 | CANAL BOTADERO |
| 0,50 | 0,36 | 1,50 | 1,50 | 38,80 | 0,18 | 1,04 | 0,14 | 1,15 | 0,12 | 0,49 | 7,60 | 1,05 | |
| 0,50 | 0,38 | 1,50 | 1,50 | 37,94 | 0,20 | 1,11 | 0,16 | 1,23 | 0,13 | 0,55 | 8,01 | 1,31 | CANAL RECEPTOR |
| 0,50 | 0,43 | 1,50 | 1,50 | 17,78 | 0,25 | 1,24 | 0,22 | 1,39 | 0,15 | 0,55 | 6,08 | 1,31 | |
| 0,50 | 0,41 | 1,50 | 1,50 | 23,62 | 0,23 | 1,19 | 0,19 | 1,33 | 0,15 | 0,55 | 6,74 | 1,31 | CANAL BOTADERO |
| 0,50 | 0,41 | 1,50 | 1,50 | 22,68 | 0,23 | 1,20 | 0,20 | 1,34 | 0,15 | 0,55 | 6,64 | 1,31 | |
| 0,50 | 0,43 | 1,50 | 1,50 | 16,10 | 0,25 | 1,26 | 0,22 | 1,41 | 0,16 | 0,55 | 5,86 | 1,31 | CANAL RECEPTOR |
| 0,50 | 0,34 | 1,50 | 1,50 | 33,58 | 0,16 | 0,97 | 0,12 | 1,07 | 0,11 | 0,42 | 6,58 | 0,76 | |
| 0,50 | 0,36 | 1,50 | 1,50 | 18,27 | 0,18 | 1,05 | 0,14 | 1,17 | 0,12 | 0,42 | 5,29 | 0,76 | |

Adoptado el mismo canal de la escuela

11.2.2. Diseño de la poceta

Son estructuras que se colocan para controlar el correcto funcionamiento del drenaje y para evacuar el agua recogida por los canales, cunetas y trincheras, ya sea a un colector principal, o un canal situado al pie del terraplén o muro o a otros dispositivos de drenaje.

Para el dimensionamiento de los colectores de las pocetas, se utilizó la ecuación propuesta por Brater y King (1976):

$$D = \left(\frac{Q \cdot n}{K \cdot S^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{8}}$$

Donde:

- D: Diámetro de la tubería (m).
- Q: Caudal. m³/s.
- n: Coeficiente de rugosidad de Manning.
- K: Coeficiente de flujo parcialmente lleno.
- S: Pendiente longitudinal m/m.

En la selección de los diámetros de las tuberías de los colectores, se calculó el mínimo diámetro requerido y se seleccionó el siguiente diámetro comercial. Los resultados y el dimensionamiento de la poceta se muestran en la memoria de cálculo.

11.2.3 Trinchera de Drenaje

Las trincheras son construidas con excavaciones de sección normalizada de 0.80 m de ancho por 1.50 m de altura, las cuales se llenan con material granular seco, recubierto con geotextil no tejido y una geomembrana en la parte inferior como se indica en los planos 10 "Diseños obras de mitigación". Sobre este material se esparce una capa de 0.20 m del material del sitio compactado que, sirva como sello y, finalmente, una capa de suelo orgánico; cuando la trinchera lleve cuneta la capa superior de 0.20 m será relleno seleccionado y sobre esta capa se fundara la cuneta.

Su función principal es la evacuación del agua infiltrada que se encuentra en el talud o ladera. Las dimensiones de las trincheras de drenaje se establecieron de acuerdo con los requerimientos del abatimiento del agua subterránea.

11.2.4. Bolsacretos

Teniendo en cuenta que en los sitios 4 y 5 se tienen previstos movimientos lentos del terreno, se consideró necesario el empleo de obras relativamente flexibles o fáciles de

reparar por lo cual se procedió al diseño de cunetas revestidas en concreto con una formaleta flexible como son los bolsacretos o sacos de polipropileno tejido; confeccionados de tal manera que se acomodan a los requerimientos de la obra.

Cada bolsacreto tiene una válvula autosellante, para colocar la manguera que inyectará el concreto de relleno de resistencia $f'c$ 140 kg/cm² y evitar posible desperdicio de este, cuando la manguera sea retirada.

Las especificaciones del textil son las siguientes:

| | |
|-------------------------------|--------------------------|
| Resistencia al Punzonamiento | Mayor o igual a 320 N. |
| Resistencia al estallido | Mayor o igual a 250 Psi. |
| Resistencia al rasgado | Mayor o igual a 240 N. |
| Resistencia a la tensión Grab | Mayor o igual a 400 N. |
| Costura | Doble. |

Las dimensiones del bolsacreto una vez terminado son 0.50 m de ancho, 1.0 m de largo y 0.15 m de espesor, tal como se muestra en el plano 10.4-2.

11.3. Memorias de cálculo

En el Anexo 10 se presentan los resultados del factor de seguridad obtenido en cada caso.

11.4. Cantidades de obra y presupuestos.

En el Anexo 10 se presentan los planos constructivos en los cuales se indican las cantidades de obra.

Los presupuestos de las obras recomendadas para cada uno de los sitios se presentan en las Tablas 11.7 a 11.14.

11.5. Especificaciones Técnicas

11.5.1. Especificaciones Generales.

Teniendo en cuenta que las obras se ejecutan en Santafé de Bogotá, D.C., se adoptaron las Especificaciones Técnicas de Construcción del Instituto de Desarrollo Urbano - IDU de 1995, las cuales se enumeran a continuación y se incluyen en el Anexo 11 (Especificaciones de construcción).

Especificaciones:

| | |
|--|------------|
| - Excavación para la conformación de la subrasante | Sección 1 |
| - Excavación para estructuras y redes | Sección 2 |
| - Transporte material sobrante | Sección 4 |
| - Rellenos para estructuras y Redes | Sección 12 |
| - Rellenos en material seleccionado | Sección 13 |
| - Estructuras de concreto | Sección 30 |
| - Obras de Alcantarillado | Sección 50 |
| - Acero de refuerzo | Sección 31 |
| - Siembra de grama | Sección 60 |
| - Plantación de árboles | Sección 61 |
| - Cunetas revestida en concreto | Sección 66 |
| - Filtros | Sección 67 |
| - Gaviones metálicos | Sección 68 |
| - Cables de alta resistencia | Sección 70 |
| - Tela geotextil | Sección 79 |

11.5.2. Especificaciones Particulares.

11.5.2.1. Geomembrana

La geomembrana será de PUC tipo permafex S-500 o similar.

La geomembrana suministrada debe ser de primera calidad, uniforme en su color, espesor, ancho y textura superficial.

Debe estar libre de agujeros, ampollas y contaminantes.

La unión de los rollos debe hacerse con adhesivos estipulados por el fabricante, o con equipo de sellado por calor o alta frecuencia. El ancho de sellado debe ser de 0.10 m para unión con adhesivo o 0.025m de ancho para unión con máquina selladora. La unión con adhesivo debe efectuarse con brocha o espátula aplicando suficiente adhesivo en una de las superficies, presionando la unión inmediatamente; las arrugas o burbujas deben removerse, y luego debe aplicarse un cordón en el borde del traslapeo con el mismo adhesivo, utilizando un dispensador de boquilla de 1/16" de diámetro.

- **Instalación**

La superficie sobre la cual se colocará debe ser suave y limpia de objetos cortantes que puedan rasgarla o punzonarla.

Cualquier daño que se cause durante la instalación debe repararse usando un parche de la misma geomembrana debidamente sellado.

Se deben evitar las arrugas del material.

- **Propiedades Minimas**

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| Espesor Nominal (mm) +5% | 0.5 |
| Gravedad específica | 1.2 - 1.3 |
| Resistencia mínima a tensión (Kg/cm) | 9.5 |
| Resistencia al rasgado (Kg) | 5.0 |
| Resistencia al punzonamiento (Kg) | 25 |

- **Medida y Pago**

La unidad de medida será el metro cuadrado con aproximación a la décima. El pago se hará de acuerdo con el precio unitario del contrato el cual incluirá tanto el suministro del material, cargue transporte, colocación, equipos, herramientas, manos de obra y unión de rollos.

11.5.2.2. Bolsacretos

Teniendo en cuenta que en los sitios 4 y 5 se tienen previstos movimientos lentos del terreno, se consideró necesario el empleo de obras relativamente flexibles o fáciles de reparar por lo cual se procedió al diseño de cunetas revestidas en concreto con una formaleta flexible como son los bolsacretos o sacos de polipropileno tejido; confeccionados de tal manera que se acomodan a los requerimientos de la obra.

Cada bolsacreto tiene una válvula autosellante, para colocar la manguera que inyectará el concreto de relleno de resistencia $f'c$ 140 kg/cm² y evitar posible desperdicio de este, cuando la manguera sea retirada.

Las especificaciones del textil son las siguientes:

| | |
|-------------------------------|--------------------------|
| Resistencia al Punzonamiento | Mayor o igual a 320 N. |
| Resistencia al estallido | Mayor o igual a 250 Psi. |
| Resistencia al rasgado | Mayor o igual a 240 N. |
| Resistencia a la tensión Grab | Mayor o igual a 400 N. |
| Costura | Doble. |

Las dimensiones del bolsacreto una vez terminado son 0.50 m de ancho, 1.0 m de largo y 0.15 m de espesor, tal como se muestra en el plano 10.4-2.

11.5.2.3. Drenes Horizontales

- **Generalidades**

Esta actividad consiste en efectuar perforaciones de mínimo 3" de diámetro, con una sección que permita la fácil instalación de un tubo PVC de 2" de diámetro en un talud, y proveer así un medio de drenaje adecuado del agua interna del talud.

- **Materiales y Equipo**

Tubería: La tubería para los drenes será de PVC Presión, con diámetro nominal de 5 cm (2.0 pulgadas) y RDE=26. Los accesorios (uniones y adaptadores hembra) serán también de PVC Presión y RDE=26.

Geotextil: El geotextil para el recubrimiento de la tubería de PVC perforada, será del tipo no tejido, que cumpla con las normas ICONTEC 1988, 1999, 2002, 2003 y 2250.

Concreto simple: El concreto simple se usará para sellar la boca de las perforaciones, embebiendo la tubería del dren. Será concreto de resistencia a la compresión a los 28 días de 175 Kg/cm².

Equipo: Se requiere para la construcción de estos drenes, que el Contratista cuente con taladros adecuado realizar sondeos horizontales, y con el equipo de bombeo necesario para el funcionamiento de los mismos.

• **Procedimiento de Construcción**

En donde lo indican los planos y donde señale el Interventor se colocarán drenajes profundos subhorizontales.

Para la colocación de estos drenajes, el Contratista deberá disponer en el sitio de la obra de equipos de perforación adecuados (rotación y/o percusión), con capacidad para abrir huecos de un mínimo de 76 mm. de diámetro y hasta las profundidades, en las direcciones y pendientes mostradas en los planos.

Una vez realizada la perforación, ésta deberá limpiarse adecuadamente con agua a baja presión o aire, dependiendo de la naturaleza de los materiales perforados y de acuerdo a las indicaciones del Interventor. Cada hueco deberá lavarse durante un mínimo de 5 minutos.

Finalizada la limpieza, se procederá a insertar la tubería de drenaje de PVC de acuerdo con los detalles mostrados en los planos y estas especificaciones.

Este tubo se fijará al terreno mediante inyecciones de lechada de cemento, aplicadas alrededor del último metro de tubo antes de salir a la superficie. Estos tubos deberán sobresalir 15 cm. de la superficie tratada del talud y deberá colocárseles tapones temporales para asegurar que los mismos no se obstruyan durante la aplicación de la lechada de cemento. Dichos tapones se deberán remover una vez terminada la aplicación del concreto.

Será responsabilidad del Contratista, la seguridad de los obreros durante la ejecución de estos trabajos, el costo de las medidas de seguridad utilizadas, tales como soporte provisional, deberá incluirse en el precio unitario correspondiente a la excavación.

El sistema de drenaje se construye con tubería de PVC de presión perforada en todo su perímetro, según lo indiquen los diseños o el Interventor. Si la Interventoría no ordena algo diferente, normalmente la tubería de PVC no se perfora en los primeros tres metros de afuera hacia dentro, procurando que el exterior del tubo en este tramo quede firmemente anclado con el suelo que lo rodea.

Los drenes subhorizontales se construirán de acuerdo con los detalles, y sitios indicados en los diseños, o como y donde lo ordene el Interventor.

El Contratista deberá tomar todas las medidas apropiadas para mantener los sistemas de drenaje horizontal libres de basuras y/o toda clase de obstrucciones, hasta la entrega definitiva de las obras. Cualquier drenaje que pierda total o parcialmente su capacidad, antes de ser entregado, deberá ser limpiado o reconstruido a satisfacción del Interventor, por cuenta del Contratista.

Las actividades por ejecutar para la correcta instalación de los drenes subhorizontales son:

- Transporte de equipos.
- Localización de los puntos de perforación.
- Adecuación del sitio de perforación.
- Perforación.
- Suministro e instalación de tubería de PVC de 5 cm (2") de diámetro, perforada y revestida con geotextil.
- Sellado de la boca de la perforación con concreto simple.
- Movilización del equipo entre sondeos.
- Tiempo de espera (Stand-by).
- Supervisión de la ejecución.
- Todas las demás acciones encaminadas a la construcción del dren.

Medida y Pago

Para efectos de pago, los drenes subhorizontales tendrán como unidad de medida el metro lineal con aproximación a un decimal, medido por el eje del tubo.

El concepto de trabajo "Drenes subhorizontales" se pagará al precio unitario consignado en el formulario de precios de la propuesta el cual incluirá el equipo y mano de obra, materiales, transporte, herramientas, ensayos necesarios para la perforación colocación y anclaje en el extremo exterior del tubo, y demás elementos necesarios para la ejecución del trabajo.

Tabla 11.7. Presupuesto estimado para las obras del Sitio 1

| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
|------|--|----------------|----------|----------------|----------------------|
| | PANTALLA EN CONCRETO REFORZADO CON ANCLAJES Y DRENES HORIZONTALES, EN LA PATA DEL MOVIMIENTO Y MURO EN GAVIONES EN LA CORONA (compra 4 lotes) | | | | \$125.818.816 |
| 1,0 | EXCAVACION PARA LA CONFORMACION DEL TALUD. (Equivale sección 1*) | m ² | 2016 | \$8.691 | \$17.521.056 |
| 2,0 | EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS Y REDES (sección 2*) (filtros 280 m ² : muro en gaviones 150 m ²) | m ² | 430 | \$8.692 | \$3.737.560 |
| 3,0 | TRANSPORTE MATERIAL SOBRANTE (sección 4*) | m ³ | 2446 | \$4.500 | \$11.007.000 |
| 4,0 | FILTROS (sección 67*) (L= 206.0 m. ; h=1.50 m.) | | | | |
| 4,1 | MATERIAL FILTRANTE | m ² | 247 | \$30.000 | \$7.410.000 |
| 4,2 | GEOTEXTIL NO TEJIDO 1600 PAVCO O SIMILAR (sección 79*) | m ² | 1051 | \$2.600 | \$2.732.600 |
| 4,3 | GEOMEMBRANA DE PVC PERMAFLEX S-500 O SIMILAR | m ² | 227 | \$4.800 | \$1.089.600 |
| 5,0 | CUNETAS REVESTIDAS EN CONCRETO e = 0.10 m (sección 66*) (tipo 1 L=116.0 m. ; tipo 4 L= 53.0 m) | m ² | 197 | \$22.000 | \$4.334.000 |
| 5,1 | RELLENO EN MATERIAL SELECCIONADO (sección 13*) | m ³ | 19 | \$24.000 | \$456.000 |
| 6,0 | CONCRETO SIMPLE 140 kg/cm ² (cuña contra la pantalla) | m ³ | 1 | \$220.000 | \$220.000 |
| 7,0 | PANTALLA. | | | | |
| 7,1 | ESTRUCTURAS DE CONCRETO (sección 30*) (pantalla : concreto de 210 kg/cm ²) | m ³ | 36 | \$299.000 | \$10.764.000 |
| 7,2 | ACERO DE REFUERZO (sección 31*) | kg | 2520 | \$1.690 | \$4.258.800 |
| 7,3 | ANCLAJES (CABLES DE ALTA RESISTENCIA (Sección 70**)) | m-ton | 1580 | \$12.300 | \$19.434.000 |
| 8,0 | DRENES HORIZONTALES | ml | 40 | \$130.000 | \$5.200.000 |
| 9,0 | GAVIONES (sección 66*) (L=30.0 m. ; h=3.0m.) | m ² | 120 | \$80.000 | \$9.600.000 |
| 9,1 | GEOTEXTIL NO TEJIDO 1600 PAVCO O SIMILAR (sección 79*) | m ² | 107 | \$2.600 | \$278.200 |
| 9,2 | RELLENO EN MATERIAL SELECCIONADO (sección 13*) | m ³ | 34 | \$24.000 | \$816.000 |
| 10,0 | PLANTACION DE ARBOLES (Sección 61*) | un | 72 | \$59.600 | \$4.291.200 |
| 11,0 | SIEMBRA DE GRAMA (sección 60*) | m ² | 738 | \$2.600 | \$1.918.800 |
| 12,0 | OBRA DE ALCANTARILLADO (Sección 50*) (Sumidero SL-150 incluye 5.50 m de tubería hasta el pozo recolector) | un | 1 | \$750.000 | \$750.000 |
| 13,0 | LOTES A COMPRAR | un | 4 | \$5.000.000 | \$20.000.000 |

Tabla 11.8. Presupuesto estimado para las obras del Sitio 2

| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
|------|--|----------------|----------|----------------|---------------------|
| | RETIRO DEL RELLENO, DRENAJE Y MURO EN GAVIONES (L=30.0 m; h=4.0 m) EN LA PATA DEL MOVIMIENTO. | | | | \$46.634.388 |
| 1,0 | EXCAVACION PARA LA CONFORMACION DEL TALUD. (Equivale sección 1*) | m ² | 908 | \$8.691 | \$7.891.428 |
| 2,0 | EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS Y REDES (sección 2*) (filtros 135 m ² : muro en gaviones 270 m ²) | m ² | 405 | \$8.692 | \$3.520.260 |
| 3,0 | TRANSPORTE MATERIAL SOBRANTE (sección 4*) | m ³ | 1313 | \$4.500 | \$5.908.500 |
| 4,0 | FILTROS (sección 67*) (L= 99.0 m. ; h=1.5 m.) | | | | |
| 4,1 | MATERIAL FILTRANTE | m ² | 119 | \$30.000 | \$3.570.000 |
| 4,2 | GEOTEXTIL NO TEJIDO 1600 PAVCO O SIMILAR (sección 79*) | m ² | 505 | \$2.600 | \$1.313.000 |
| 4,3 | GEOMEMBRANA DE PVC PERMAFLEX S-500 O SIMILAR | m ² | 109 | \$4.800 | \$523.200 |
| 5,0 | CUNETAS REVESTIDAS EN CONCRETO e = 0.10 m (sección 66*) (tipo 4 L=23.0 m.) | m ² | 21 | \$22.000 | \$462.000 |
| 5,1 | RELLENO EN MATERIAL SELECCIONADO (sección 13*) | m ³ | 4 | \$24.000 | \$96.000 |
| 6,0 | GAVIONES (sección 66*) (L=30.0 m. ; h=4.0m.) | m ² | 270 | \$80.000 | \$21.600.000 |
| 7,0 | SIEMBRA DE GRAMA (sección 60*) | m ² | 250 | \$2.600 | \$650.000 |

Tabla 11.9. Presupuesto estimado para las obras del Sitio 3

| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
|------|--|----------------|----------|----------------|----------------------|
| | RETIRO DEL MATERIAL DE RELLENO, DRENAJE Y MURO EN GAVIONES (L=30,0 m : H=3,0 m.) EN LA PATA DEL MOVIMIENTO.(compra de 6 viviendas y tres lotes) | | | | \$219.852.304 |
| 1,0 | EXCAVACION PARA LA CONFORMACION DEL TALUD. (Equivale sección 1*) | m ² | 552 | \$8.691 | \$4.797.432 |
| 2,0 | EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS Y REDES (sección 2*) (filtros 311 m ² : gaviones 180 m ²) | m ² | 491 | \$8.692 | \$4.267.772 |
| 3,0 | TRANSPORTE MATERIAL SOBRANTE (sección 4*) | m ² | 1043 | \$4.500 | \$4.693.500 |
| 4,0 | FILTROS (sección 67*) (L= 229,0 m. ; h=1,50 m.) | | | | |
| 4,1 | MATERIAL FILTRANTE | m ² | 275 | \$30.000 | \$8.250.000 |
| 4,2 | GEOTEXTIL NO TEJIDO 1600 PAVCO O SIMILAR (sección 79*) | m ² | 1168 | \$2.600 | \$3.036.800 |
| 4,3 | GEOMEMBRANA DE PVC PERMAFLEX S-500 O SIMILAR | m ² | 252 | \$4.800 | \$1.209.600 |
| 5,0 | CUNETAS REVESTIDAS EN CONCRETO e = 0.10 m (sección 66*) (tipo 1 L=60,0 m. : tipo 4 L=313,0 m) | m ² | 365 | \$22.000 | \$8.030.000 |
| 5,1 | RELLENO EN MATERIAL SELECCIONADO (sección 13*) | m ² | 32 | \$24.000 | \$768.000 |
| 6,0 | DISIPADORES DE ENERGIA | | | | |
| 6,1 | ESTRUCTURAS DE CONCRETO (sección 30*) (disipador de energia L=60 m.) (Concreto de 140 kg/cm ²) | m ² | 114 | \$220.000 | \$25.080.000 |
| 6,2 | CANTOS REDONDEADOS φ=0.10 m | m ² | 2 | \$18.000 | \$36.000 |
| 7,0 | GAVIONES (sección 68*) (L=30,0 m. ; h=3,0 m.) | m ² | 180 | \$80.000 | \$14.400.000 |
| 7,1 | GEOTEXTIL NO TEJIDO 1600 PAVCO O SIMILAR (sección 79*) | m ² | 90 | \$2.600 | \$234.000 |
| 7,2 | RELLENO EN MATERIAL SELECCIONADO (sección 13*) | m ² | 23 | \$24.000 | \$552.000 |
| 8,0 | SIEMBRA DE GRAMA (sección 60*) | m ² | 2264 | \$2.600 | \$5.886.400 |
| 9,0 | PLANTACION DE ARBOLES (Sección 61*) | un | 48 | \$59.600 | \$2.860.800 |
| 10,0 | OBRAS DE ALCANTARILLADO (Sección 50*) (Sumidero SL-150 incluye 5,50 m de tubería hasta el pozo recolector) | un | 1 | \$750.000 | \$750.000 |
| 11,0 | VIVIENDAS A COMPRAR | un | 6 | \$20.000.000 | \$120.000.000 |
| 12,0 | LOTES A COMPRAR | un | 3 | \$5.000.000 | \$15.000.000 |

Tabla 11.10. Presupuesto estimado para las obras del Sitio 4

| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
|------|--|----------------|----------|----------------|----------------------|
| | RETIRO DEL RELLENO, CANALES Y DRENAJES | | | | \$190.417.848 |
| 1,0 | EXCAVACION PARA LA CONFORMACION DEL TALUD. (Equivale sección 1*) | m ² | 6000 | \$8.691 | \$52.146.000 |
| 2,0 | EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS Y REDES (sección 2*) (filtros 432 m ² : canales 1087 m ²) | m ² | 1519 | \$8.692 | \$13.203.146 |
| 3,0 | TRANSPORTE MATERIAL SOBRANTE (sección 4*) | m ² | 7519 | \$4.500 | \$33.835.500 |
| 4,0 | FILTROS (sección 67*) (L= 318,0 m. ; h=1,50 m.) | | | | |
| 4,1 | MATERIAL FILTRANTE | m ² | 382 | \$30.000 | \$11.460.000 |
| 4,2 | GEOTEXTIL NO TEJIDO 1600 PAVCO O SIMILAR (sección 79*) | m ² | 1622 | \$2.600 | \$4.217.200 |
| 4,3 | GEOMEMBRANA DE PVC PERMAFLEX S-500 O SIMILAR | m ² | 350 | \$4.800 | \$1.680.000 |
| 5,0 | CUNETAS REVESTIDAS EN CONCRETO e = 0.10 m (sección 66*) (tipo 3 L=147,0 m.) | m ² | 150 | \$22.000 | \$3.300.000 |
| 5,1 | RELLENO EN MATERIAL SELECCIONADO (sección 13*) | m ² | 24 | \$24.000 | \$576.000 |
| 6,0 | ESTRUCTURAS DE CONCRETO (sección 30*) (canales : bolsacreto de 140 kg/cm ²) | m ² | 267 | \$245.000 | \$65.415.000 |
| 7,0 | OBRAS DE ALCANTARILLADO (Sección 50*) (Tubería de 36") | m ^l | 6 | \$216.000 | \$1.296.000 |
| 8,0 | OBRAS DE ALCANTARILLADO (Sección 50*) (concreto 210 KG/cm ² para aleta y cabezote) | m ² | 11 | \$299.000 | \$3.289.000 |
| 8,1 | ACERO DE REFUERZO (sección 31*) (para aletas y cabezote) | kg | 770 | \$1.690 | \$1.301.300 |

Tabla 11.11. Presupuesto estimado para las obras del Sitio 5

| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
|------|--|--------|----------|----------------|----------------------|
| | CANALES Y DRENAJE | | | | \$120.666.112 |
| 1,0 | EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS Y REDES (sección 2ª) (filtros 446 m² : canales 1140 m²) | m² | 1586 | \$8.692 | \$13.765.512 |
| 2,0 | TRANSPORTE MATERIAL SOBRANTE (sección 4ª) | m² | 1586 | \$4.500 | \$7.137.000 |
| 3,0 | FILTROS (sección 67ª) (L= 328.0 m. ; h=1.50 m.) | | | | |
| 3,1 | MATERIAL FILTRANTE | m² | 394 | \$30.000 | \$11.820.000 |
| 3,2 | GEOTEXTIL NO TEJIDO 1600 PAYCO O SIMILAR (sección 79ª) | m² | 1673 | \$2.600 | \$4.349.800 |
| 3,3 | GEOMEMBRANA DE PVC PERMAFLEX S-500 O SIMILAR | m² | 361 | \$4.800 | \$1.732.800 |
| 4,0 | CUNETAS REVESTIDAS EN CONCRETO e = 0.10 m (sección 66ª) (tipo 3 L=73.0 m.) | m² | 74 | \$22.000 | \$1.628.000 |
| 4,1 | RELLENO EN MATERIAL SELECCIONADO (sección 13ª) | m² | 12 | \$24.000 | \$288.000 |
| 5,0 | ESTRUCTURAS DE CONCRETO (sección 30ª) (canales : bolsacreto de 140 kg/cm²) | m² | 273 | \$245.000 | \$66.885.000 |
| 6,0 | OBRAS DE ALCANTARILLADO (Sección 50ª) (Tubería de 36") | ml | 40 | \$216.000 | \$8.640.000 |
| 7,0 | OBRAS DE ALCANTARILLADO (Sección 50ª) (concreto 210 KG/cm²)(cajas, aletas y cabezote) | m² | 20 | \$220.000 | \$4.400.000 |
| 7,1 | ACERO DE REFUERZO (sección 31ª)(cajas, aletas y cabezote) | kg | 1720 | \$1.690 | \$2.906.800 |

Tabla 11.12. Presupuesto estimado para las obras del Sitio 6

| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
|------|--|--------|----------|----------------|---------------------|
| | MURO EN GAVIONES (L=40.0 m; h=4.0 m) Y CONFORMACION DEL TERRENO(compra de una vivienda y un lote) | | | | \$66.352.986 |
| 1,0 | EXCAVACION PARA LA CONFORMACION DEL TALUD. (Equivale sección 1ª) | m² | 86 | \$8.691 | \$747.426 |
| 2,0 | EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS Y REDES (sección 2ª) (muro en gaviones 384 m²) | m² | 280 | \$8.692 | \$2.433.760 |
| 3,0 | TRANSPORTE MATERIAL SOBRANTE (sección 4ª) | m² | 366 | \$4.500 | \$1.647.000 |
| 4,0 | GAVIONES (sección 88ª) (L=40.0 m. ; h = variable hasta 4.0 m.) | m² | 336 | \$80.000 | \$26.880.000 |
| 4,1 | RELLENO EN MATERIAL SELECCIONADO (sección 13ª) | m² | 80 | \$24.000 | \$1.920.000 |
| 5,0 | ESTRUCTURAS DE CONCRETO (sección 30ª) (concreto ciclopeo) | m² | 31 | \$220.000 | \$6.820.000 |
| 6,0 | SIEMBRA DE GRAMA (sección 60ª) | m² | 348 | \$2.600 | \$904.800 |
| 7,0 | VIVIENDAS A COMPRAR | un | 1 | \$20.000.000 | \$20.000.000 |
| 8,0 | LOTES A COMPRAR | un | 1 | \$5.000.000 | \$5.000.000 |

Tabla 11.13. Presupuesto estimado para las obras del Sitio 7

| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
|------|---|--------|----------|----------------|---------------------|
| | CONFORMACION DEL TALUD (compra de diez lotes) | | | | \$56.587.396 |
| 1,0 | EXCAVACION PARA LA CONFORMACION DEL TALUD. (Equivale sección 1ª) | m² | 156 | \$8.691 | \$1.355.796 |
| 2,0 | TRANSPORTE MATERIAL SOBRANTE (sección 4ª) | m² | 156 | \$4.500 | \$702.000 |
| 3,0 | PLANTACION DE ARBOLES (Sección 61ª) | un | 76 | \$59.600 | \$4.529.600 |
| 4,0 | LOTES A COMPRAR | un | 10 | \$5.000.000 | \$50.000.000 |

Tabla 11.14. Presupuesto estimado para las obras del Sitio 8

| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
|------|--|--------|----------|----------------|-------------|
| | DRENAJE Y RECUBRIMIENTO EN GAVIONES (L=12.0 m; h=2.0 m) | | | | \$9.798.344 |
| 1,0 | EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS Y REDES (sección 2ª) (filtros 58 m² : gaviones 24 m²) | m² | 82 | \$8.692 | \$712.744 |
| 2,0 | TRANSPORTE MATERIAL SOBRANTE (sección 4ª) | m³ | 82 | \$4.500 | \$369.000 |
| 3,0 | FILTROS (sección 67ª) (L= 43.0 m. ; h=1.5 m.) | | | | |
| 3,1 | MATERIAL FILTRANTE | m³ | 52 | \$30.000 | \$1.560.000 |
| 3,2 | GEOTEXTIL NO TEJIDO 1600 PAVCO O SIMILAR (sección 79ª) | m² | 219 | \$2.600 | \$569.400 |
| 3,3 | GEOMEMBRANA DE PVC PERMAFLEX S-500 O SIMILAR | m² | 47 | \$4.800 | \$225.600 |
| 3,4 | RELLENO EN MATERIAL SELECCIONADO (sección 13ª) | m³ | 7 | \$24.000 | \$168.000 |
| 4,0 | CUNETAS REVESTIDAS EN CONCRETO e = 0.10 m. (sección 66ª) (tipo 4 L=43.0 m.) | m² | 55 | \$22.000 | \$1.210.000 |
| 4,1 | RELLENO EN MATERIAL SELECCIONADO (sección 13ª) | m³ | 7 | \$24.000 | \$168.000 |
| 5,0 | PLANTACION DE ARBOLES (Sección 61ª) | un | 36 | \$59.600 | \$2.145.600 |
| 6,0 | GAVIONES (sección 68ª) (L=12.0 m. ; h=2.0m.) | m³ | 24 | \$80.000 | \$1.920.000 |
| 7,0 | OBRAS DE ALCANTARILLADO (Sección 50ª) (Sumidero SL-150 incluye 4.50 m de tubería hasta el pozo recolector) | un | 1 | \$750.000 | \$750.000 |