

## **CONTENIDO**

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| <b>1</b>   | <b>GENERALIDADES</b>                                    | <b>1-1</b> |
| <b>1.1</b> | <b>OBJETIVOS Y ALCANCES DEL ESTUDIO</b>                 | <b>1-1</b> |
| <b>1.2</b> | <b>LOCALIZACIÓN Y DEMARCACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>   | <b>1-2</b> |
| <b>1.3</b> | <b>METODOLOGÍA</b>                                      | <b>1-4</b> |
| 1.3.1      | Recopilación de Información Secundaria                  | 1-4        |
| 1.3.2      | Investigación del Subsuelo                              | 1-5        |
| 1.3.3      | Investigación Geofísica                                 | 1-6        |
| 1.3.4      | Evaluación Hidrológica - Hidráulica                     | 1-6        |
| 1.3.5      | Cobertura del Suelo                                     | 1-6        |
| 1.3.6      | Factor Antrópico  | 1-6        |
| <b>1.4</b> | <b>DIAGNOSTICO Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b>           | <b>1-6</b> |
| 1.4.1      | Descripción del Problema                                | 1-6        |
| 1.4.2      | Procesos de Inestabilidad                               | 1-6        |
| <b>2</b>   | <b>LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN BÁSICA</b>              | <b>2-1</b> |
| <b>2.1</b> | <b>TOPOGRAFÍA</b>                                       | <b>2-1</b> |
| 2.1.1      | Objetivo y Alcance                                      | 2-1        |
| 2.1.2      | Descripción de Actividades                              | 2-1        |
| 2.1.2.1    | Delimitación del Levantamiento topográfico              | 2-1        |
| 2.1.2.2    | Metodología   | 2-2        |
| 2.1.3      | Georeferenciación del Área de Estudio                   | 2-2        |
| 2.1.4      | Poligonal Base  | 2-3        |
| 2.1.5      | Levantamiento Detallado                                 | 2-3        |
| 2.1.6      | Puntos referenciados para el Replanteo de Futuras Obras | 2-3        |
| 2.1.7      | Dibujo de Planos Topográficos                           | 2-4        |
| 2.1.8      | Equipos Utilizados                                      | 2-4        |
| <b>2.2</b> | <b>GEOLOGÍA</b>   | <b>2-4</b> |
| 2.2.1      | Metodología   | 2-4        |
| 2.2.2      | Marco Geológico Regional                                | 2-5        |
| 2.2.2.1    | Roca Sedimentaria del Terciario                         | 2-5        |
|            | Formación Arenisca LA Regadera (Ter)                    | 2-5        |
|            | Formación Usme (Tsu)                                    | 2-6        |
| 2.2.2.2    | Suelos y Depósitos del Cuaternario                      | 2-6        |
|            | Formación Marichuela                                    | 2-6        |
|            | Unidad de Limos y Arenas de la Formación Sabana         | 2-7        |
|            | Unidad de Gravas y Arenas del Rio Tunjuelito            | 2-7        |
| 2.2.2.3    | Geología Estructural                                    | 2-7        |
|            | Sinclinal de Usme                                       | 2-7        |
|            | Falla de Mochuelo                                       | 2-7        |
|            | Falla La Fiscala  | 2-8        |

|            |   |             |
|------------|---|-------------|
| 2.2.3      | Geología Local  | 2-8         |
| 2.2.3.1    | Unidad de Areniscas (Formación Regadera –Ter-)                              | 2-8         |
| 2.2.3.2    | Unidad de Arcillolitas (Formación Bogotá –Tb-)                              | 2-8         |
| 2.2.3.3    | Suelos y Depositos del Cuaternario  | 2-9         |
|            | Deposito Coluvial (Qc)  | 2-9         |
|            | Unidad de Arenas y Limos  | 2-10        |
|            | Depósitos de Ladera (Qc2)   | 2-10        |
|            | Depósitos Aluviales (Qal1)  | 2-11        |
|            | Depositos Aluviales Recientes (Qal2)  | 2-11        |
| 2.2.3.4    | Suelos Residuales (Qr)  | 2-11        |
|            | Suelos Limoarenosos y arcillosos (Qsr1)                                     | 2-11        |
|            | Suelos Residuales arcillosos (Qsr2)   | 2-11        |
| 2.2.3.5    | Rellenos (Qr1 - Qr3)  | 2-11        |
|            | Rellenos asociados a antiguas cárcavas, zanjones ó drenajes naturales (Qr1) | 2-12        |
|            | Rellenos Superficiales (Qr2)  | 2-12        |
|            | Rellenos (Qr3)  | 2-12        |
| <b>2.3</b> | <b>GEOMORFOLOGÍA</b>  |             |
| 2.3.1      | Metodología   | 2-13        |
| 2.3.2      | Unidades Geomorfológicas (Segmentos de Ladera)                              | 2-13        |
| 2.3.2.1    | Laderas Estructurales (LE1 –LE-2)   | 2-13        |
| 2.3.2.2    | Ladera Coluvial (LC1, LC2 y LC3)  | 2-14        |
|            | Segmento LC2  | 2-15        |
|            | Segmento LC3  | 2-17        |
| 2.3.2.3    | Ladera Residual (LR1)   | 2-18        |
| 2.3.2.4    | Laderas Aluviales (AL1 –AL2)  | 2-19        |
|            | Unidad de Terrazas Aluviales (AL1)  | 2-20        |
|            | Planicie Aluvial (AL2)  | 2-20        |
| 2.3.2.5    | Laderas de origen Antrópico (LA1, LA2, LA3)                                 | 2-20        |
|            | Segmento LA1  | 2-21        |
|            | Segmento LA2  | 2-21        |
|            | Segmento LA3  | 2-21        |
| 2.3.3      | Identificación y Evaluación de Procesos                                     | 2-22        |
| 2.3.3.1    | Evaluación de procesos Morfodinámicos                                       | 2-22        |
| <b>2.3</b> | <b>HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA</b>  | <b>2-24</b> |
| 2.4.1      | Objetivo y Alcance  | 2-24        |
| 2.4.2      | Drenaje y Régimen de Agua Superficial                                       | 2-24        |
| 2.4.2.1    | Clasificación Genética de los Drenajes                                      | 2-24        |
| 2.4.2.2    | Régimen de Agua Superficial   | 2-26        |
| 2.4.3      | Hidrología y Clima  | 2-26        |
| 2.4.3.1    | Estación Jalisco  | 2-26        |
| 2.4.3.2    | Estación La Picota  | 2-28        |
| 2.4.4      | Relación Lluvia - Deslizamiento   | 2-29        |
| 2.4.5      | Periodo de retorno de lluvia Crítica  | 2-29        |
| 2.4.6      | Cálculo de Caudales de Diseño   | 2-29        |
| 2.4.7      | Factor Antrópico  | 2-34        |
| 2.4.8      | Cobertura del Suelo   | 2-35        |
| <b>2.3</b> | <b>ESTUDIO GEOTÉCNICO</b>   | <b>2-35</b> |
| 2.5.1      | Investigación del Subsuelo  | 2-36        |
| 2.5.2      | Ensayos in-situ   | 2-38        |
| 2.5.3      | Ensayos de Laboratorio  | 2-39        |

|            |   |             |
|------------|---|-------------|
| 2.5.4      | Caracterización Geotécnica  | 2-47        |
| 2.5.4.1    | Interpretación de Resultados  | 2-48        |
| 2.5.4.2    | Caracterización por zona Homogénea  | 2-56        |
|            | Ladera Coluvial 1 (LC1)   | 2-56        |
|            | Ladera Coluvial 2 (LC2)   | 2-56        |
|            | Ladera Coluvial 3 (LC3)   | 2-57        |
|            | Ladera Estructural 1 (LE1)  | 2-57        |
|            | Ladera Residual 1(LR1)  | 2-57        |
|            | Ladera Antrópica 1 (LA1)  | 2-58        |
|            | Ladera Antrópica 2 (LA2)  | 2-58        |
|            | Ladera Antrópica 3 (LA3)  | 2-58        |
| <b>3</b>   | <b>EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA</b> | <b>2-35</b> |
| <b>3.1</b> | <b>INTRODUCCIÓN</b>   | <b>3-1</b>  |
| <b>3.2</b> | <b>METODOLOGÍA</b>  | <b>3-1</b>  |
| <b>3.3</b> | <b>ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD</b>  | <b>3-2</b>  |
| 3.3.1      | Susceptibilidad Alta  | 3-5         |
| 3.3.2      | Susceptibilidad Media   | 3-6         |
| 3.3.3      | Susceptibilidad Baja  | 3-7         |
| <b>3.4</b> | <b>IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE FACTORES DETONANTES</b>                     | <b>3-8</b>  |
| 3.4.1      | La actividad antrópica  | 3-8         |
| 3.4.2      | Sismicidad  | 3-8         |
| 3.4.3      | Pluviosidad   | 3-11        |
| <b>3.5</b> | <b>ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA</b>   | <b>3-12</b> |
| 3.5.1      | Criterios utilizados en la evaluación de la amenaza                           | 3-12        |
| 3.5.2      | Caracterización de los materiales   | 3-13        |
| 3.5.3      | Modelos Geotécnicos   | 3-13        |
| 3.5.3.1    | Sección de Análisis 2A  | 3-16        |
| 3.5.3.2    | Sección de Análisis 4   | 3-16        |
| 3.5.3.3    | Sección de Análisis 8   | 3-16        |
| 3.5.3.4    | Sección de Análisis 10B   | 3-16        |
| 3.5.3.5    | Sección de Análisis 11  | 3-16        |
| 3.5.3.6    | Sección de Análisis 16  | 3-17        |
| 3.5.3.7    | Sección de Análisis 17  | 3-17        |
| 3.5.3.8    | Sección de Análisis 18  | 3-17        |
| 3.5.3.9    | Sección de Análisis 19  | 3-17        |
| 3.5.3.10   | Sección de Análisis 20  | 3-17        |
| 3.5.3.11   | Sección de Análisis 21  | 3-18        |
| 3.5.3.12   | Sección de Análisis 22  | 3-18        |
| 3.5.3.13   | Sección de Análisis 23  | 3-18        |
| 3.5.3.14   | Sección de Análisis 24  | 3-18        |
| 3.5.3.15   | Sección de Análisis 25  | 3-18        |
| 3.5.3.16   | Sección de Análisis C-C'  | 3-18        |
| 3.5.4      | Mecanismos de Falla   | 3-19        |
| 3.5.5      | Análisis Probabilístico de Estabilidad  | 3-19        |

|            |  |             |
|------------|--|-------------|
| <b>3.6</b> | <b>DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA</b>   | <b>3-23</b> |
| 3.6.1      | Zona de Amenaza Alta (ZAA)   | 3-23        |
| 3.6.1.1    | Zona 1 (ZAA-1)   | 3-25        |
| 3.6.1.2    | Zona 2 (ZAA-2)   | 3-25        |
| 3.6.1.3    | Zona 3 (ZAA-3)   | 3-25        |
| 3.6.1.4    | Zona 4 (ZAA-4)   | 3-25        |
| 3.6.2      | Zona de Amenaza Media (ZAM)  | 3-26        |
| 3.6.2.1    | Zona 1 (ZAM-1)   | 3-26        |
| 3.6.2.2    | Zona 2 (ZAM-2)   | 3-26        |
| 3.6.2.3    | Zona 3 (ZAM-3)   | 3-26        |
| 3.6.3      | Zona de Amenaza Baja (ZAB)   | 3-27        |
| 3.6.3.1    | Zona 1 (ZAB-1)   | 3-27        |
| 3.6.3.2    | Zona 2 (ZAB-2)   | 3-27        |
| 3.6.4      | Zona de Amenaza por asentamientos  | 3-27        |
| <b>3.7</b> | <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>  | <b>3-29</b> |
| 3.7.1      | Condición actual   | 3-29        |
| 3.7.2      | Condición a 25 años  | 3-30        |
| <b>4</b>   | <b>EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA POR<br/>FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA</b> | <b>4-1</b>  |
| <b>4.1</b> | <b>INTRODUCCIÓN</b>  | <b>4-1</b>  |
| <b>4.2</b> | <b>METODOLOGÍA GENERAL</b>   | <b>4-1</b>  |
| 4.2.1      | Tipología de Viviendas   | 4-1         |
| 4.2.2      | Calificación de Daños  | 4-4         |
| 4.2.3      | Solicitaciones de la Amenaza   | 4-7         |
| 4.2.4      | Criterios de Intensidad  | 4-9         |
| 4.2.5      | Cuantificación de Niveles de Daño  | 4-10        |
| 4.2.6      | Categorización de la vulnerabilidad  | 4-10        |
| <b>4.3</b> | <b>VULNERABILIDAD PREDIOS CIMENTADOS EN ANTIGUOS DRENAJES</b>                                      | <b>4-11</b> |
| <b>4.3</b> | <b>RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD</b>  | <b>4-13</b> |
| <b>5</b>   | <b>EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN POR RIESGOS POR FENÓMENOS DE<br/>REMOCIÓN EN MASA</b>                 | <b>5-1</b>  |
| <b>5.1</b> | <b>ZONIFICACIÓN POR RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA</b>                                   |             |
| <b>5.2</b> | <b>RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD</b>  | <b>5-2</b>  |
| 5.2.1      | Zona de alto riesgo  | 5-2         |
| 5.2.2      | Zona de riesgo medio   | 5-2         |
| 5.2.2      | Zona de riesgo bajo  | 5-3         |

|            |  |             |
|------------|--|-------------|
| <b>6</b>   | <b>PLAN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN</b>   | <b>6-1</b>  |
| <b>6.1</b> | <b>INTRODUCCIÓN</b>  | <b>6-1</b>  |
| <b>6.2</b> | <b>CONSIDERACIONES GENERALES</b>   | <b>6-1</b>  |
| <b>6.3</b> | <b>PLAN GENERAL DE ACCIONES</b>  | <b>6-2</b>  |
| <b>6.4</b> | <b>PLANTEAMIENTO DE OBRAS</b>  | <b>6-2</b>  |
| 6.4.1      | Muros de Gravedad (Gaviones – Tierra reforzada, Concreto ciclópeo)                           | 6-2         |
| 6.4.2      | Obras de Drenaje   | 6-4         |
| 6.4.2.1    | Cunetas  | 6-5         |
| 6.4.2.2    | Filtros  | 6-5         |
| 6.4.3      | Construcción de rellenos compactados para la estabilización de la cárcava Principal          | 6-6         |
| 6.4.4      | Conformación y protección de taludes en material de relleno                                  | 6-7         |
| 6.4.5      | Recomendaciones de submuración para las construcciones localizadas en rellenos superficiales | 6-8         |
| <b>6.5</b> | <b>PLAN DE GESTIÓN SOCIAL</b>  | <b>6-9</b>  |
| 6.5.1      | Consideraciones generales sobre la población asentada  | 6-9         |
| 6.5.2      | Acciones propuestas para las viviendas que deben ser reubicadas                              | 6-10        |
| 6.5.3      | Recomendaciones  | 6-11        |
| 6.5.4      | Programas propuestos para implementar con la comunidad                                       | 6-12        |
| <b>6.6</b> | <b>DISEÑO PAISAJÍSTICO</b>   | <b>6-12</b> |
| 6.6.1      | Zona 1. Cancha existente y parque menor  | 6-15        |
| 6.6.2      | Zona 2. Sobre la carrera 16 Bis B  | 6-16        |
| 6.6.3      | Zona 3. Esquina Sur –occidente del barrio  | 6-16        |
| 6.6.4      | Zona 4. Parque principal.  | 6-16        |
| <b>7</b>   | <b>EVALUACIÓN DE RIESGO PARA EL ESCENARIO CON MEDIDAS DE MITIGACIÓN</b>                      | <b>7-1</b>  |
| <b>7.1</b> | <b>INTRODUCCIÓN</b>  | <b>7-1</b>  |
| <b>7.2</b> | <b>EVALUACIÓN DE RIESGOS CON OBRAS</b>   | <b>7-1</b>  |
| 7.2.1      | Zona de Amenaza Alta (ZAA)   | 7-5         |
| 7.2.1.1    | Zona de Amenaza Alta 1 (ZAA 1)   | 7-5         |
| 7.2.1.2    | Zona de Amenaza Alta 2 (ZAA 2)   | 7-6         |
| 7.2.1.3    | Zona de Amenaza Alta 3 (ZAA 3)   | 7-6         |
| 7.2.1.4    | Zona de Amenaza Alta 4 (ZAA 4)   | 7-8         |
| 7.2.2      | Zona de Amenaza Media (ZAA)  | 7-8         |
| 7.2.2.1    | Zona de Amenaza Media 1 (ZAM-1)  | 7-8         |
| 7.2.2.2    | Zona de Amenaza Media 2 (ZAM-2)  | 7-8         |

|            |   |             |
|------------|---|-------------|
| 7.2.3      | Zona de Amenaza Baja 1 (ZAB-1)                | 7-9         |
| 7.2.3      | Zona de Amenaza Baja 2 (ZAB-2)                | 7-9         |
| <b>7.3</b> | <b>RELACIÓN BENEFICIO -COSTO</b>              | <b>7-9</b>  |
| <b>8</b>   | <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>         | <b>8-1</b>  |
| <b>8.1</b> | <b>INTRODUCCIÓN</b>                           | <b>8-1</b>  |
| <b>8.2</b> | <b>DIAGNOSTICO Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b> | <b>8-1</b>  |
| <b>8.3</b> | <b>EVALUACIÓN DE PROCESOS</b>                 | <b>8-3</b>  |
| <b>8.4</b> | <b>EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA</b>   | <b>8-4</b>  |
| 8.4.1      | Condición Actual                              | 7-4         |
| <b>8.5</b> | <b>EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD</b>           | <b>8-7</b>  |
| <b>8.6</b> | <b>EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE RIESGO</b>    | <b>8-9</b>  |
| <b>8.7</b> | <b>PLAN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN</b>          | <b>8-10</b> |
| 8.7.1      | Planteamiento de Obras. Zona de Amenaza Alta  | 8-10        |
| 8.7.1.1    | Zona de Amenaza Alta 1(ZAA-1)                 | 8-10        |
| 8.7.1.2    | Zona de Amenaza Alta 2(ZAA-2)                 | 8-11        |
| 8.7.1.3    | Zona de Amenaza Alta 3(ZAA-3)                 | 8-11        |
| 8.7.1.4    | Zona de Amenaza Alta 4(ZAA-4)                 | 8-12        |
| 8.7.2      | Zona de Amenaza Media                         | 8-12        |
| 8.7.2.1    | Zona de Amenaza Media (ZAM-1-ZAM-3)           | 8-12        |
| <b>8.7</b> | <b>PLAN DE GESTIÓN SOCIAL</b>                 | <b>8-12</b> |
| <b>9</b>   | <b>BIBLIOGRAFÍA</b>                           | <b>9-1</b>  |

## **LISTA DE TABLAS**

|            |   |      |
|------------|---|------|
| TABLA 2.1  | COORDENADAS Y ALTITUD DE LAS PLACAS DE AMARRE   | 2.2  |
| TABLA 2.2  | POLIGONAL PRINCIPAL   | 2-3  |
| TABLA 2.3  | MOJONES DE REPLANTEO DE OBRAS CIVILES   | 2-4  |
| TABLA 2.4  | EVALUACIÓN DE PROCESOS MORFODINÁMICOS   | 2-23 |
| TABLA 2.5  | INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA TANQUE DE JALISCO                            | 2-26 |
| TABLA 2.6  | VALORES DE INTENSIDAD- DURACIÓN – FRECUENCIA – <b>IDF</b> (MM/HR) PARA LA ZONA IV     | 2-29 |
| TABLA 2.7  | VALORES DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL                                    | 2-34 |
| TABLA 2.8  | EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTRÓPICA  | 2-35 |
| TABLA 2.9  | COORDENADAS DE LA EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO  | 2-36 |
| TABLA 2.10 | CARACTERÍSTICAS Y RESULTADO DE LOS SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES (SEV)                | 2-38 |
| TABLA 2.11 | RESULTADOS DE LAS PERCOLACIONES   | 2-39 |
| TABLA 2.12 | RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO                       | 2-41 |
| TABLA 2.13 | PARÁMETROS EFECTIVOS DE RESISTENCIAS AL CORTE A PARTIR DEL SPT                        | 2-51 |
| TABLA 2.14 | RESUMEN DE RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA POR UNIDAD GEOMORFOLÓGICA        | 2-60 |
| TABLA 3.1  | ANÁLISIS RETROSPECTIVO SOBRE LA SECCIÓN 19 (ARENISCA)                                 | 3-9  |
| TABLA 3.2  | ANÁLISIS RETROSPECTIVO SOBRE LA SECCIÓN 14 (ARCILLOLITA)                              | 3-10 |
| TABLA 3.3  | INTERVALOS DE VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS EFECTIVOS DE RESISTENCIA AL CORTE           | 3-14 |
| TABLA 3.4  | COORDENADAS DE LAS SECCIONES DE ANÁLISIS  | 3-15 |
| TABLA 3.5  | VALORES DEL FACTOR DE SEGURIDAD ESPERADO Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA ACTUAL         | 3-20 |
| TABLA 3.6  | VALORES DEL FACTOR DE SEGURIDAD Y DE LA PROPIEDAD DE FALLA A 25 AÑOS                  | 3-21 |
| TABLA 3.7  | DISTANCIA DE VIAJE  | 3-22 |
| TABLA 3.8  | CATEGORÍAS DE AMENAZA   | 3-23 |
| TABLA 3.9  | ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y AMENAZA ASOCIADA  | 3-24 |
| TABLA 3.10 | PREDIOS EN LAS ZONAS DE AMENAZA ALTA Y MEDIA  | 3-28 |
| TABLA 4.1  | SISTEMA CONSTRUCTIVO  | 4-2  |
| TABLA 4.2  | CLASIFICACIÓN DE LA TIPOLOGÍA DE VIVIENDAS EN EL SECTOR                               | 4-5  |
| TABLA 4.3  | CLASIFICACIÓN DE DAÑOS ACTUALES EN LAS VIVIENDAS DEL SECTOR                           | 4-5  |
| TABLA 4.4  | PORCENTAJE DE DAÑOS ACTUALES TIPOLOGÍAS B2 Y B3                                       | 4-5  |
| TABLA 4.5  | CLASIFICACIÓN DE LOS DAÑOS ACTUALES SEGÚN EL DRM                                      | 4-6  |
| TABLA 4.6  | MATRIZ DE DAÑOS   | 4-9  |
| TABLA 4.7  | CRITERIO DE INTENSIDAD  | 4-9  |
| TABLA 4.8  | VALORES DEL <b>IP</b> (ÍNDICE DE PERDIDAS) PARA VALORAR EL <b>ID</b> (ÍNDICE DE DAÑO) | 4-10 |
| TABLA 4.9  | CATEGORIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ANTE <b>FRM</b>                                   | 4-11 |
| TABLA 4.10 | PORCENTAJE DE TIPOLOGÍA DE VIVIENDAS CIMENTADAS SOBRE RELLENOS –ANTIGUOS CAUCES       | 4-11 |

|            |  |      |
|------------|--|------|
| TABLA 4.11 | PORCENTAJE DE DAÑOS ACTUALES DE VIVIENDAS CIMENTADAS SOBRE RELLENOS –ANTIGUOS CAUCES | 4-12 |
| TABLA 5.1  | CATEGORIZACIÓN DEL RIESGO POR <b>FRM</b>   | 5-1  |
| TABLA 5.2  | MATRIZ DE RIESGO   | 5-2  |
| TABLA 5.3  | VIVIENDAS EN ZONAS DE ALTO RIESGO  | 5-2  |
| TABLA 5.4  | VIVIENDAS EN ZONAS DE ALTO MEDIO   | 5-3  |
| TABLA 6.1  | PROGRAMAS PROPUESTOS   | 6-13 |
| TABLA 7.1  | RESUMEN DE LAS OBRAS PROPUESTAS PARA LA MITIGACIÓN DE RIESGO                         | 7-2  |
| TABLA 7.2  | PF Y AMENAZA CON OBRAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO                                      | 7-3  |
| TABLA 7.3  | PF Y AMENAZA CON OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO CONDICIÓN 25 AÑOS                     | 7-4  |
| TABLA 8.1  | RELACIÓN DE VIVIENDAS UBICADAS EN LAS ZONAS DE AMENAZA ALTA Y MEDIA                  | 8-6  |
| TABLA 8.2  | VIVIENDAS EN ZONAS DE ALTO RIESGO  | 8-9  |
| TABLA 8.3  | VIVIENDA EN ZONA DE RIESGO MEDIO   | 8-9  |

## **LISTA DE FIGURAS**

|             |  |      |
|-------------|--|------|
| FIGURA 1.1  | LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO  | 1-3  |
| FIGURA 2.1  | FOTOINTERPRETACIÓN DE LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS                               | 2-16 |
| FIGURA 2.2  | CONDICIÓN ORIGINAL DEL TERRENO   | 2-25 |
| FIGURA 2.3  | CURVAS DE PRECIPITACIÓN MEDIA MULTIANUAL PARA LA ZONA DE ESTUDIO                 | 2-27 |
| FIGURA 2.4  | DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN EN LA ESTACIÓN TANQUE JALISCO          | 2-28 |
| FIGURA 2.5  | DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN TANQUE LA PICOTA                       | 2-28 |
| FIGURA 2.6  | CURVAS DE PERIODO DE RETORNO DE LA PRECIPITACIÓN CRITICA PARA LA ZONA DE ESTUDIO | 2-30 |
| FIGURA 2.6  | CURVAS DE PERIODO DE RETORNO DE LA PRECIPITACIÓN CRITICA PARA LA ZONA DE ESTUDIO | 2-31 |
| FIGURA 2.8  | CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN -FRECUENCIA                                      | 2-32 |
| FIGURA 2.9  | ÁREAS DE DRENAJE   | 2.33 |
| FIGURA 2.10 | PARA METROS DE RESISTENCIA AL CORTE A PARTIR DEL SPT                             | 2-49 |
| FIGURA 2.11 | PARA METROS DE RESISTENCIA AL CORTE A PARTIR DEL SPT                             | 2-50 |
| FIGURA 2.12 | ANÁLISIS PARAMÉTRICO   | 2-53 |
| FIGURA 2.13 | ANÁLISIS RETROSPECTIVO SOBRE LA ARCILLOLITA                                      | 2-54 |
| FIGURA 2.14 | ANÁLISIS RETROSPECTIVO SOBRE EL DEPÓSITO COLUVIAL                                | 2-55 |
| FIGURA 2.15 | CARTA DE PLASTICIDAD DE LOS RELLENOS ARCILLOSOS Y ARCILLO ARENOSOS               | 2-59 |
| FIGURA 1.1  | LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO  | 1-3  |
| FIGURA 2.1  | FOTOINTERPRETACIÓN DE LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS                               | 2-16 |
| FIGURA 2.2  | CONDICIÓN ORIGINAL DEL TERRENO   | 2-25 |
| FIGURA 2.3  | CURVAS DE PRECIPITACIÓN MEDIA MULTIANUAL PARA LA ZONA DE ESTUDIO                 | 2-27 |
| FIGURA 2.4  | DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN EN LA ESTACIÓN TANQUE JALISCO          | 2-28 |
| FIGURA 2.5  | DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN TANQUE LA PICOTA                       | 2-28 |
| FIGURA 2.6  | CURVAS DE PERIODO DE RETORNO DE LA PRECIPITACIÓN CRITICA PARA LA ZONA DE ESTUDIO | 2-30 |
| FIGURA 2.6  | CURVAS DE PERIODO DE RETORNO DE LA PRECIPITACIÓN CRITICA PARA LA ZONA DE ESTUDIO | 2-31 |
| FIGURA 2.8  | CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN -FRECUENCIA                                      | 2-32 |
| FIGURA 2.9  | ÁREAS DE DRENAJE   | 2.33 |
| FIGURA 2.10 | PARA METROS DE RESISTENCIA AL CORTE A PARTIR DEL SPT                             | 2-49 |
| FIGURA 2.11 | PARA METROS DE RESISTENCIA AL CORTE A PARTIR DEL SPT                             | 2-50 |
| FIGURA 2.12 | ANÁLISIS PARAMÉTRICO   | 2-53 |
| FIGURA 2.13 | ANÁLISIS RETROSPECTIVO SOBRE LA ARCILLOLITA                                      | 2-54 |
| FIGURA 2.14 | ANÁLISIS RETROSPECTIVO SOBRE EL DEPÓSITO COLUVIAL                                | 2-55 |
| FIGURA 2.15 | CARTA DE PLASTICIDAD DE LOS RELLENOS ARCILLOSOS Y ARCILLO ARENOSOS               | 2-59 |

|             |  |      |
|-------------|--|------|
| FIGURA 3.1  | SECCIÓN DE ANÁLISIS 2A   | 3-31 |
| FIGURA 3.2  | SECCIÓN DE ANÁLISIS 4  | 3-32 |
| FIGURA 3.3  | SECCIÓN DE ANÁLISIS 8  | 3-33 |
| FIGURA 3.4  | SECCIÓN DE ANÁLISIS 10B  | 3-34 |
| FIGURA 3.5  | SECCIÓN DE ANÁLISIS 11   | 3-35 |
| FIGURA 3.6  | SECCIÓN DE ANÁLISIS 16   | 3-36 |
| FIGURA 3.7  | SECCIÓN DE ANÁLISIS 17   | 3-37 |
| FIGURA 3.8  | SECCIÓN DE ANÁLISIS 18   | 3-38 |
| FIGURA 3.9  | SECCIÓN DE ANÁLISIS 19   | 3-39 |
| FIGURA 3.10 | SECCIÓN DE ANÁLISIS 20   | 3-40 |
| FIGURA 3.11 | SECCIÓN DE ANÁLISIS 21   | 3-41 |
| FIGURA 3.12 | SECCIÓN DE ANÁLISIS 22   | 3-42 |
| FIGURA 3.13 | SECCIÓN DE ANÁLISIS 23   | 3-43 |
| FIGURA 3.14 | SECCIÓN DE ANÁLISIS 24   | 3-44 |
| FIGURA 3.15 | SECCIÓN DE ANÁLISIS 25   | 3-45 |
| FIGURA 3.16 | SECCIÓN DE ANÁLISIS C-C'   | 3-46 |
| FIGURA 3.17 | PF VS. FS CONDICIÓN ACTUAL   | 3-47 |
| FIGURA 3.18 | PF VS. FS CONDICIÓN A 25 AÑOS  | 3-48 |
| FIGURA 4.1  | PORCENTAJE DE VIVIENDAS EXISTENTES   | 4-3  |
| FIGURA 4.2  | PORCENTAJE DE DAÑOS ACTUALES VIVIENDAS TIPO B2   | 4-5  |
| FIGURA 4.3  | PORCENTAJE DE DAÑOS ACTUALES VIVIENDAS TIPO B3   | 4-6  |
| FIGURA 4.4  | ESQUEMAS DE ZONA DE AMENAZA DESLIZAMIENTO ROTACIONAL   | 4-8  |
| FIGURA 4.5  | ESQUEMAS DE ZONA DE AMENAZA DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL                                       | 4-8  |
| FIGURA 4.6  | PORCENTAJE DE TIPOLOGÍA DE VIVIENDAS CIMENTADAS SOBRE<br>RELLENOS ANTIGUOS CAUCES            | 4-12 |
| FIGURA 4.7  | PORCENTAJE DE TIPOLOGÍA DE VIVIENDAS CIMENTADAS SOBRE<br>RELLENOS ANTIGUOS CAUCES            | 4-13 |
| FIGURA 7.1  | ÁRBOL DE DECISIÓN DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO<br>ZAA-1                           | 7-11 |
| FIGURA 7.2  | ÁRBOL DE DECISIÓN DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO<br>ZAA-2                           | 7-12 |
| FIGURA 7.3  | ÁRBOL DE DECISIÓN DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO<br>ZAA-3 (Diagonal 76)             | 7-13 |
| FIGURA 7.4  | ÁRBOL DE DECISIÓN DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO<br>ZAA-3 (Calle 78 B BIS) y ZAM -2 | 7-14 |
| FIGURA 7.5  | ÁRBOL DE DECISIÓN DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO<br>ZAA-3 (Calle 79 BIS y 80 BIS)   | 7-15 |
| FIGURA 7.6  | ÁRBOL DE DECISIÓN DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO<br>ZAA-4                           | 7-16 |
| FIGURA 7.7  | ÁRBOL DE DECISIÓN DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO<br>ZAM-1                           | 7-17 |

## **LISTA DE ANEXOS**

|                |  |
|----------------|--|
| <b>ANEXO A</b> | CERTIFICACIÓN DE LAS COORDENADAS DE LAS PLACAS DE AMARRE IGAC Y CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE LOS APARATOS TOPOGRÁFICOS |
| <b>ANEXO B</b> | CARTERAS DE CAMPO  |
| <b>ANEXO C</b> | REGISTROS DE PERFORACIÓN, APIQUES, PRECOLACIONES E INVESTIGACIÓN GEOLECTRICA.  |
| <b>ANEXO D</b> | RESULTADOS DE LABORATORIO  |
| <b>ANEXO E</b> | RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y DE ASENTAMIENTOS  |
| <b>ANEXO F</b> | FORMATO DE INVENTARIO DE VIVIENDAS   |
| <b>ANEXO G</b> | INVENTARIO DE VIVIENDAS  |
| <b>ANEXO H</b> | ZONAS A PARTIR DEL TIPO Y CLASE DE SOLICITACIÓN  |
| <b>ANEXO I</b> | CÁLCULO DE VULNERABILIDAD Y RIESGO   |
| <b>ANEXO J</b> | INVENTARIO Y TIPOLOGÍA DE LAS VIVIENDAS CONSTRUIDAS SOBRE LOS RELLENOS (DRENAJES ANTIGUOS)                               |
| <b>ANEXO K</b> | REGISTRO FOTOGRÁFICO   |
| <b>ANEXO L</b> | ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON OBRAS  |
| <b>ANEXO M</b> | ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS  |
| <b>ANEXO N</b> | CANTIDADES DE OBRAS  |

## **LISTA DE PLANOS**

- PLANO 1.** LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO
- PLANO 2.** GEOLOGÍA REGIONAL
- PLANO 3** GEOLOGÍA LOCAL
- PLANO 4** GEOMORFOLOGÍA
- PLANO 5** MAPA DE PROCESOS
- PLANO 6** DRENAJES NATURALES
- PLANO 7** FACTOR ANTRÓPICO Y USOS DEL SUELO
- PLANO 8** INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO Y SECCIONES DE ANALISIS
- PLANO 8A** SECCIÓN DE ANÁLISIS
- PLANO 9** MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD
- PLANO 10** MAPA DE AMENAZA ACTUAL
- PLANO 11** MAPA DE AMENAZA A 25 AÑOS
- PLANO 12** TIPOLOGÍA DE VIVIENDAS
- PLANO 12 A** TIPOLOGÍA DE VIVIENDAS CIMENTADAS SOBRE ANTIGUOS CAUCES
- PLANO 13** MAPA DE VULNERABILIDAD
- PLANO 13A** DAÑOS EN CONSTRUCCIONES CAUSADAS POR ASENTAMIENTOS EN MATERIALES DE RELLENO
- PLANO 14** MAPA DE RIESGO
- PLANO 15** OBRAS RECOMENDADAS
- PLANO 15 A** DETALLES DE LAS OBRAS RECOMENDADAS
- PLANO 15 B** CORTES OBRAS RECOMENDADAS
- PLANO 16** ESPACIO PÚBLICO Y PAISAJISMO

## **1 GENERALIDADES**

En este documento se presentan los resultados de estudio de Zonificación de riesgo por remoción en masa en el barrio Divino Niño, de la localidad de Ciudad Bolívar; estudio realizado contratado por la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, DPAE, mediante el contrato de consultoría CCS-334/2000, suscrito con la Unión Temporal Geourbana Ltda. – Luis Fernando Orozco Rojas y Cia. Ltda.

El barrio Divino Niño forma parte de los asentamientos urbanos de reciente desarrollo, en las laderas del sector sur oriental de la Sabana, dentro de los límites de la localidad de Ciudad Bolívar. Este asentamiento urbano se comenzó a consolidar durante la década de 1980, sobre terrenos muy erosionados con presencia de zonas de cárcavas que afectaban principalmente los sectores occidental y parte norte al área de estudio.

El desarrollo urbanístico se llevó a cabo mediante el sistema de autoconstrucción en lotes sin servicios, que fueron adecuados por los diferentes propietarios mediante cortes y rellenos. Las zonas de cárcavas fueron sometidas a un relleno generalizado, y posteriormente loteados.

### **1.1 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL ESTUDIO**

Los objetivos del estudio:

1. Zonificación por de riesgos por remoción en masa de los terrenos donde se localiza el barrio Divino Niño y los asentamientos subnormales aledaños.-
2. Evaluación de alternativas de mitigación para los diferentes procesos identificados y para cada una de las zonas identificadas en la evaluación.
3. Planteo lineamientos generales de técnicas constructivas y de adecuación de predios para la construcción de nuevas viviendas
4. Predimensionamiento de obras de protección y mitigación recomendadas, y que se pueden hacer a corto plazo con participación de las comunidades.
5. Recomendaciones para reducir la vulnerabilidad de las viviendas ante los diferentes procesos de inestabilidad y por los asentamientos debido a su ubicación.
6. Planteo de acciones a nivel social orientadas al control de la amenaza, generada por los factores de origen antrópico
7. Recomendación del uso del cambio de uso del suelo para zonas de amenaza no mitigable o de difícil control por parte de las comunidades.

El alcance del estudio abarca la zonificación de amenaza vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa, con la definición de alternativas de mitigación del riesgo.

## **1.2 LOCALIZACIÓN Y DEMARCACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

El barrio Divino Niño, corresponde a un asentamiento suburbano reciente, en proceso de consolidación, localizado al sur-oriente de la ciudad de Bogotá, en el sector de Ciudad Bolívar, entre las calles 77 y 80 A Bis, limitado por la margen izquierda de la quebrada Trompeta, hasta la divisoria del drenaje por el costado oriental. El acceso al área de estudio se hace a través de la Avenida Boyacá sobre la vía a Mochuelo comunicando con un acceso secundario mediante un carreteable que conduce a la ladrillera Santafé, que cruza por el sector más de los límites del barrio.

En visita conjunta realizada con la DPAE y la Interventoría, se demarcaron los siguientes límites:

Límite Norte: desde la quebrada Trompetas, en límites con el barrio Casa de Teja y la divisoria del drenaje en la cima de la ladera.

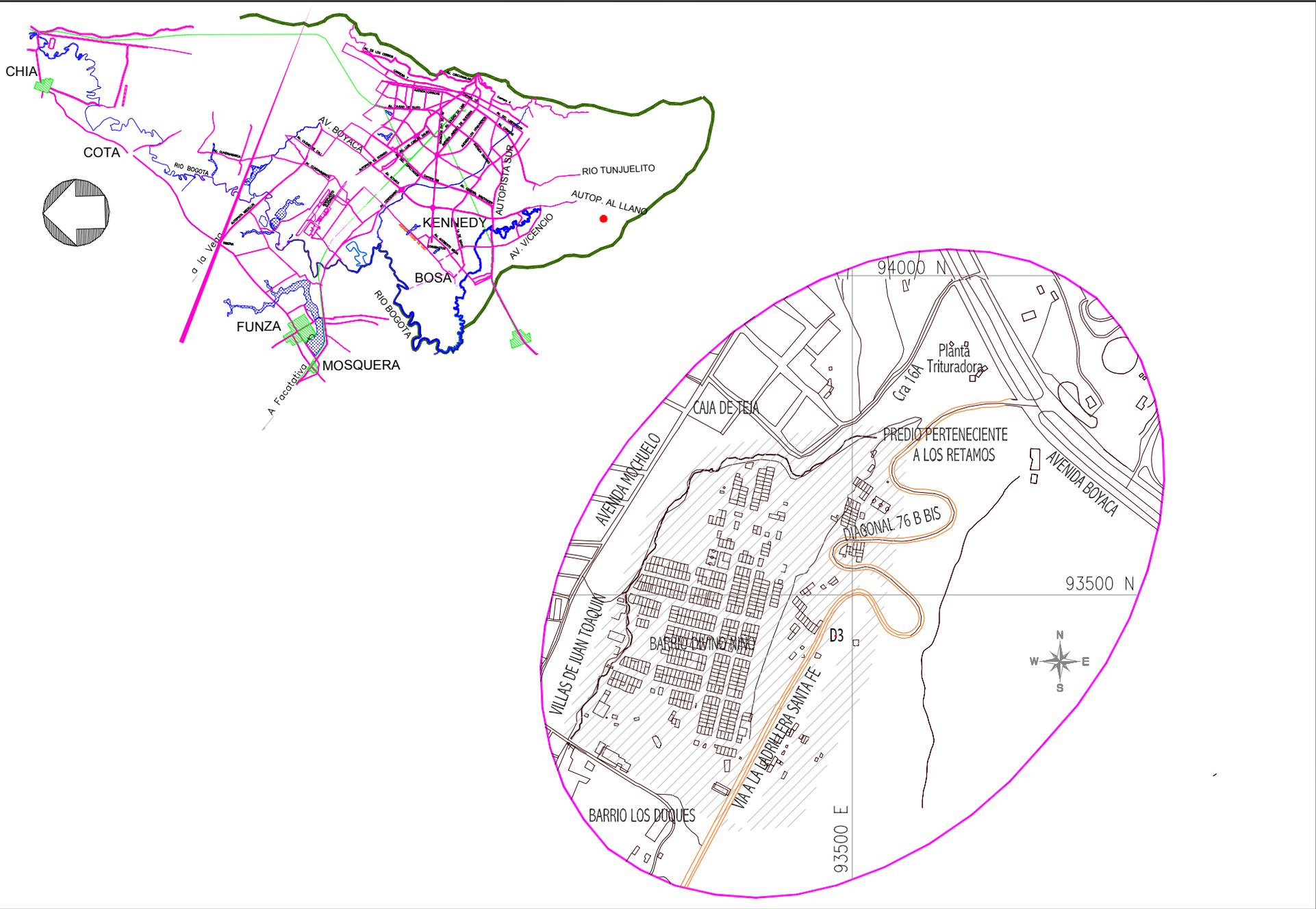
Límite Sur: Se definió sobre la última calle del sector urbanizado, calle 80 A Bis el cual sirve de límite con los predios de la Ladrillera Santafé

Límite Oriental: Se trazó sobre la cima de la ladera, divisoria del drenaje natural de la microcuenca de la quebrada Trompetas, donde se localiza el corredor de protección ambiental de la línea de transmisión Guavio –Villavicencio- El Tunal.

Limite Occidental: Sobre la margen izquierda de la quebrada Trompetas aproximadamente coincidiendo con la ronda de la misma, a partir del puente sobre la calle 80 Bis, que marca el límite con el barrio Villas de San Joaquín, siguiendo la margen izquierda de la quebrada hasta el barrio casa de Teja.

En la cartografía se incluye la margen izquierda de la quebrada, de acuerdo con lo convenido con la Interventoría.

De acuerdo con estos límites la zona de estudio presenta un área de 19 hectáreas - **Figura 1.1.**



Secretaría  
GOBIERNO  
ALCALDÍA MAYOR DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ D.C.  
DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

CONSULTOR :

UNIÓN TEMPORAL  
**GEOURBANA LTDA.**  
**LUIS FERNANDO OROZCO Y CIA.**

CONTRATO CCS 334-00  
ESTUDIO DE ZONIFICACION DE RIESGOS POR REMOCION  
EN MASA EN EL BARRIO DIVINO NIÑO,  
DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLIVAR

TITULO : **LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO**

**FIGURA No. 1.1**

## **1.3 METODOLOGÍA**

### **1.3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA**

Durante el desarrollo de esta actividad, se consultó la siguiente información.

- Cartografía del IGAC, plancha L 66 esc.1:2000 de 1980 y 1:10.000 de 1986
- Gómez y Cajiao Ltda.1999.Cartografía de la EAAB para el diseño definitivo de redes locales de alcantarillado de Ciudad Bolívar, Barrio Divino Niño. Escala 1:500.
- Estudio Hidrogeológico del sector del municipio de Soacha y Ciudad Bolívar, por INGEOMINAS 1985.
- Plano de Zonificación Geotécnica del Distrito Especial de Bogotá, INGEOMINAS, 1988 esc. 1:25.000.
- Zonificación de riesgos por remoción en masa de la localidad de Ciudad Bolívar, Rafael Uribe Uribe, San Cristóbal, Santafé, Chapinero y Usaquén. - INGEOCIM, 1.998.
- Microzonificación sísmica de Santa Fé de Bogotá. INGEOMINAS- UPES 1997.
- Thomas Van Der Hammen. Plioceno y Cuaternario del altiplano de Bogotá y alrededores en Análisis Geográficos No.24. Instituto Geográfico Agustín Codazzi 1995.
- Thomas Van Der Hammen. La Sabana de Bogotá y su lago en el pleniglacial medio en Historia, Ecología y vegetación. Fondo FEN Colombia
- Concepto Técnico No. 3403 Dirección de Prevención y Atención de Emergencias. Sep 1999.
- Fotografías aéreas.

| <b>Vuelo</b> | <b>Número</b>       | <b>Escala / año</b> |
|--------------|---------------------|---------------------|
| C-1724       | 086, 087            | 1:7.5007 1978       |
| C-604        | 017 y 018           | 1:25.000/ 1960      |
| C- 1364      | 119, 110 y 111      | 1:15.000/ 1963      |
| M-1142       | 18904,18905 y 18906 | 1:40.000 /1961      |

El análisis de las fotografías aéreas referenciadas anteriormente permitieron evaluar la dinámica urbana durante las décadas de los años 1960 a 1990.

Para la información climatológica se consultaron los estudios de la EAAB, en especial la información del estudio para el análisis y Caracterización de Tormentas para la Sabana de Bogotá realizado por IRH LTDA, 1995 y los registros de las estaciones: Jalisco y la Fiscala complementadas con los registros recientes de la estación de Doña Juana localizada al sur del área de estudio.

### **1.3.2 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO**

La programación de la investigación geotécnica se basó en los resultados del estudio Geológico y Geomofológico del área y se orientó al cumplimiento de los siguientes objetivos.

- Establecer la estratigrafía del sector, así como la profundidad de cada uno de los materiales encontrados.
- Determinar el espesor, composición y grado de consolidación, de los rellenos presentes en el área de estudio.
- Definir las características mecánicas de los principales materiales identificados en la zona de estudio.
- Determinar la profundidad y variación de la tabla de agua.

Para determinar las propiedades geotécnicas de los materiales presentes en el área del estudio, se desarrolló un programa de exploración consistente en 30 sondeos, 9 trincheras exploratorias, 2 sondeos eléctricos verticales (SEV) y 7 pruebas de percolación. Los sondeos alcanzaron profundidades comprendidas entre 3.0 y 10.0 m bajo la superficie actual y fueron realizados con equipos de percusión y rotación. Los puntos mencionados se distribuyen a lo largo y ancho del área, con el fin de esbozar un modelo global del subsuelo.

Las muestras extraídas fueron caracterizadas en laboratorio, determinando las propiedades físicas y mecánicas, de los materiales.

De las muestras inalteradas tipo shelby, además de las propiedades anteriores, se determinó el peso unitario y la resistencia a la penetración inalterada o RPI. Finalmente, sobre las muestras en bloque se realizaron ensayos de corte directo con el fin de determinar los parámetros efectivos de resistencia al corte, para lo cual la velocidad de aplicación de carga fue rápida en materiales arenosos y lenta en materiales arcillosos.

### **1.3.3 INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA**

Esta actividad se orientó a conocer el espesor de los rellenos localizados sobre la Carrera 15D, que correspondía a una antigua cárcava, eje del sistema de drenaje. Para este fin se programaron 2 sondeos eléctricos verticales sobre el relleno de mayor espesor.

### **1.3.4 EVALUACIÓN HIDROLÓGICA – HIDRÁULICA**

Para la caracterización hidrológica a nivel local se utilizó la información del estudio: Análisis y Caracterización de Tormentas de Bogotá, información que fue complementada con los registros recientes de la Estación de Doña Juana, 1999-2000, localizada al sur del área del proyecto. Esta información permitió ajustar la relación precipitación crítica – duración (lluvia crítica, teniendo como referencia las estaciones La Picota, al oriente del área y Jalisco al norte.

Para la caracterización del drenaje natural del área de estudio, se realizó la reconstrucción de los mismos a través de la fotointerpretación, con su ubicación dentro de las condiciones actuales; estas zonas demarcan los ejes y orientación de los flujos subsuperficiales, actualmente obstruidos por los rellenos.

### **1.3.5 COBERTURA DEL SUELO**

Esta investigación se orientó a conocer el régimen y capacidad de infiltración de los suelos que configuran cada una de las unidades de zonificación para lo cual se realizaron pruebas de infiltración in situ las cuales serán involucradas en los análisis de estabilidad de cada segmento de ladera.

Las pruebas de infiltración se orientaron a determinar el grado de permeabilidad de los suelos, información con el fin de cuantificar el potencial de recarga de cada una de las unidades identificadas y su influencia en la estabilidad de los rellenos.

### **1.3.6 FACTOR ANTRÓPICO**

La evaluación del factor antrópico se asocia a las diferentes actividades que han cambiado las condiciones naturales de la ladera; por los diferentes cortes, rellenos, vertimiento de aguas, recarga por disposición de basuras y rellenos. Estos factores se integrarán en los diferentes parámetros geotécnicos de los suelos (cohesión, ángulo de fricción) para los análisis respectivos de la amenaza.

## **1.4 DIAGNÓSTICO Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Los barrios Divino Niño y Acapulco al norte sobre la Avenida Boyacá, se han desarrollado sobre las laderas que delimitan por el costado oriental la micro cuenca de la Quebrada Trompetas, terrenos que en su estado original se presentaban afectados por procesos de erosión, con desarrollo de cárcavas a lo largo de los diferentes drenajes. Igualmente el barrio se consolidó sobre una zona muy afectada por las explotaciones de arcillas para el desarrollo de la industria extractiva.

Adicionalmente, por el costado oriental sobre la ladera de mayor pendiente se ha venido consolidando un nuevo asentamiento con cortes en media ladera.

La problemática del sector se asocia a las siguientes condiciones:

El relleno de las cárcavas con materiales heterogéneos, en espesores que oscilan entre 2.0 m y 15 m; terrenos posteriormente urbanizados por autoconstrucción reconociéndose una alta vulnerabilidad de estas construcciones ante procesos de asentamiento diferencial.

La adecuación de varios lotes mediante corte y relleno en media ladera, con una alta afectación por efecto de aguas de infiltración.

La adecuación del costado más oriental para urbanizar ejecutando cortes de 2 a 3 m. de altura en media ladera; en suelos limo arenosos y arenosos de alta susceptibilidad a la erosión.

La afectación parcial del cauce de la Quebrada Trompetas por la ubicación de viviendas y lotes sobre la zona de ronda y en el borde de los taludes que delimitan el cauce de la quebrada.

La ubicación de viviendas sobre terrenos dejados por las antiguas explotaciones de materiales; con la presencia de rellenos arcillosos y taludes de corte con evidencias de inestabilidad.

La actividad antrópica generada por el mismo desarrollo urbanístico informal, con la generación de aguas servidas cuyo manejo es muy deficiente por parte de la comunidad.

#### **1.4.2 PROCESOS DE INESTABILIDAD**

En el área de estudio se identificaron preliminarmente los siguientes procesos activos y potenciales:

**Zona con procesos de reptación:** Esta zona se localiza sobre la ladera de la margen derecha de la quebrada Trompetas, donde se exponen suelos coluviales que cubren arcillolitas meteorizadas, y donde la acción de las aguas de infiltración tanto lluvias como las originadas por las descargas o fugas del sistema de alcantarillado, pueden generar un proceso de reptación de los suelos coluviales que forman esta ladera.

**Flujo de tierras:** Este proceso se asocia a los suelos residuales que cubren las arcillolitas de la formación Bogotá, que se exponen en las laderas del extremo sur del lote, en los límites con los terrenos de la ladrillera Santafé. En este sector el proceso de inestabilidad ha afectado varias viviendas cuyos habitantes han sido reubicados por la DPAAE

**Deslizamientos retrogresivos:** Este proceso se puede generar sobre los materiales de relleno expuestos en la entrada del barrio y en el costado occidental; se pueden generar por sobrecarga, por la acción de las aguas de infiltración o por las fugas o descargas de las aguas servidas de las construcciones cercanas.

Este tipo de movimiento se asocia igualmente a los depósitos de ladera que se exponen en la zona de mayor pendiente del costado oriental del área de estudio, donde los cortes de las viviendas se han realizado sobre depósitos de ladera de muy alta susceptibilidad a la erosión y donde la acción antrópica de las aguas servidas, descargas y las aguas lluvias ejercen un efecto desestabilizador de estos materiales.

**Procesos de erosión** Este proceso afecta principalmente la pata de los rellenos localizados en las zonas de cárcavas, generado principalmente por la acción de las aguas de infiltración tanto lluvias como servidas. Este proceso de erosión puede evolucionar a un flujo de tierras o a un deslizamiento rotacional..

**Asentamientos por consolidación de los rellenos.** Este proceso presenta la mayor importancia en el área de estudio y se presenta asociado a las áreas de exposición de rellenos. Asociado a este proceso se identifica el mayor número de daños en construcciones.

Como resultado, en el capítulo 2 se presentará el mapa de procesos a escala 1:1.000.

## **2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN BÁSICA**

### **2.1 TOPOGRAFÍA**

#### **2.1.1 OBJETIVO Y ALCANCE**

El levantamiento topográfico se orientó al levantamiento detallado de las características físicas de estudio a escala 1:100, plano base para la generación de los diferentes mapas temáticos (geología, geomorfología, usos del suelo), entre otros.

En procura de cumplir con el objetivo de elaborar una base topográfica adecuada para el desarrollo del estudio, el levantamiento topográfico se orientó a la consecución de los siguientes objetivos específicos:

#### **2.1.2 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES**

##### **2.1.2.1 Delimitación del Levantamiento Topográfico**

Los límites del área de estudio se establecieron con base a los siguientes características fisiográficas:

- Límite Norte corresponde al cauce de la Quebrada Trompetas, en límites con el barrio Casa de Teja y San Joaquín.
- Límite Sur definido por las últimas construcciones del barrio en la zona aledaña al predio de la Ladrillera Santafé.
- Límite Oriental se trazó sobre la cima de la ladera, divisoria del drenaje natural donde cruza la línea de transmisión del Proyecto Guavio.
- Límite Occidental comprende la ronda del eje de la Quebrada Trompetas, desde los límites de la ladrillera Santafé hasta el barrio Casa de Teja al Norte.

La **Figura 1.1** presenta la localización del área de estudio.

### **2.1.2.2 Metodología**

La metodología desarrollada en el presente trabajo se resume en las siguientes actividades:

- Ubicación aproximada de la zona de trabajo en un plano general de Bogotá y selección de las placas topográficas.
- Ejecución del trabajo de campo tomando como base de referenciación las placas topográficas **CT1226** y **CT1225**, trazando una poligonal principal de cuatro deltas.
- Toma a nivel de detalle de las características urbanísticas y de la infraestructura vial y de servicios por el de radiación y haciendo uso de una estación total dotada con cartera electrónica. Además de esto se determinaron puntos de control para replanteos futuros.
- Procesamiento de la información anterior obteniendo un archivo DWG, con estos planos preliminares se procedió a realizar un recorrido por el área de estudio realizando, efectuando un control de calidad del levantamiento.

### **2.1.3 GEOREFERENCIACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

La georeferenciación se realizó a partir de las placas topográficas CT1226, ubicada en la calle 18B sur costado norte a 75.52 metros al este de la placa CT1225 frente a la entrada de un garaje, y de la placa CT1225 ubicada en la calle 18B sur costado norte a 100 metros al este de la esquina del colegio La Joya.

La información de las dos placas de amarre suministrada por el IGAC se resume en la **Tabla 2.1**, y sus certificaciones se presentan en el **Anexo A**.

Tabla 2.1 Coordenadas y Altitud de las Placas de Amarre

| <b><i>Punto</i></b> | <b><i>Norte (m)</i></b> | <b><i>Este (m)</i></b> | <b><i>Cota (msnm)</i></b> |
|---------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|
| CT1225              | 93468.213               | 92671.611              | 2689.64                   |
| CT1226              | 93468.534               | 92744.144              | 2687.96                   |

### **2.1.4 POLIGONAL BASE**

El levantamiento topográfico se inicio con la localización de una poligonal base, en la cual se pretendió dejar localizados los deltas en sitios estratégicos para las tomas a detalle. Las coordenadas de la poligonal base se resumen en la **Tabla 2.2**.

Tabla 2.2 Poligonal Principal

| <b>Punto</b> | <b>Norte (m)</b> | <b>Este (m)</b> | <b>Cota (msnm)</b> | <b>Descrip.</b> | <b>Dist. (m)</b> |
|--------------|------------------|-----------------|--------------------|-----------------|------------------|
| 1            | 93468.534        | 92744.144       | 2687.96            | CT1226          | 99.628           |
| 4            | 93445.920        | 92841.165       | 2675.618           | D1              | 25.971           |
| 7            | 92424.569        | 92855.951       | 2674.456           | D2              | 618.043          |
| 595          | 93436.293        | 93473.883       | 2666.779           | D3              | 358.398          |
| 2113         | 93768.199        | 93338.651       | 2618.352           | D6              | 592.520          |
| 7            | 92424.569        | 92855.951       | 2674.456           | D2              |                  |

Los anteriores fueron los deltas que se determinaron como poligonal principal, los deltas D4 y D5 se utilizaron como deltas auxiliares para detalles de la quebrada.

### **2.1.5 LEVANTAMIENTO DETALLADO**

El levantamiento topográfico detallado se realizó desde los deltas de la poligonal principal y deltas auxiliares por el método de radiación. Se tomaron todos los detalles urbanísticos, fisiográficos y de infraestructura vial y de servicios.

Todo el levantamiento topográfico se realizó con ayuda de una estación total la cual incluye memoria electrónica incorporada, por lo cual los cálculos se reducen a una simple transcripción de datos al computador, para convertirlos en archivo gráfico. Como resultado de este levantamiento se generó la cartera que se consigna en el **Anexo B**.

### **2.1.6 PUNTOS REFERENCIADOS PARA EL REPLANTEO DE FUTURAS OBRAS**

En el transcurso de la labor del levantamiento topográfico se materializaron cinco mojones, los cuales se dejaron debidamente referenciados, dichos mojones se construyeron en concreto reforzado, con varilla en el centro marcada con una cruz, referenciando el punto en el corte, posteriormente se determinó las coordenadas y cotas de cada una de ellas, en la **Tabla 2.3** se lista la ubicación de los mismos.

Tabla 2.3 Mojones de Replanteo de Obras Civiles.

| <b>Punto</b> | <b>Norte (m)</b> | <b>Este (m)</b> | <b>Cota (msnm)</b> |
|--------------|------------------|-----------------|--------------------|
| MJ1          | 93768.117        | 93336.118       | 2618.41            |
| MJ2          | 93594.559        | 93330.481       | 2633.37            |
| MJ3          | 93440.512        | 93476.144       | 2666.76            |
| MJ4          | 93424.759        | 92855.912       | 2674.51            |
| MJ5          | 93442.608        | 93283.126       | 2646.66            |

### **2.1.7 DIBUJO DE PLANOS TOPOGRÁFICOS**

Con la información obtenida en campo, se generó un plano topográfico **-Plano 1**, Levantamiento topográfico.

### **2.1.8 EQUIPOS UTILIZADOS**

El levantamiento topográfico se realizó con comisión de topografía completa de estación total; la estación total utilizada fue una estación marca NIKON, referencia DTM 410, cuyo certificado de calibración se adjunta al presente informe (**Anexo A**).

## **2.2 GEOLOGÍA**

### **2.2.1 METODOLOGÍA**

El estudio geológico se orientó a conocer y delimitar los diferentes tipos de suelos y rocas del subsuelo, detallando los suelos residuales derivados de las arcillolitas, los depósitos coluviales, los depósitos de ladera y los rellenos asociados a las zonas de cárcavas.

Para las unidades del subsuelo, se delimitaron los diferentes cuerpos de rocas, según su composición y grado de alteración, diferenciándolas de acuerdo con las formaciones geológicas. Para la cartografía de los suelos en el plano se utilizó una convención mixta indicando su origen y las unidades infrayacentes.

En el estudio de geología regional se identificaron los diferentes rasgos estructurales, rumbo y buzamiento de las rocas, pliegues, fallas, diaclasas que presenten influencia en la zona de estudio; esta información regional fue tomada de los estudios regionales realizados por la DPAE e INGEOMINAS.

## **2.2.2 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL**

La zona de estudio se localiza en el costado suroriental de la Sabana de Bogotá, sobre el sector de laderas que delimitan al occidente el valle del río Tunjuelo (ver **Plano 2**, Geología Regional). Por el oriente se presenta delimitada por laderas de mayor pendiente donde se exponen las rocas sedimentarias de la formación Regadera que forman una cuchilla topográfica, prolongación del cerro de Doña Juana. Al occidente y en el área de estudio, las rocas del subsuelo corresponden a las arcillolitas de la formación Bogotá que se prolongan hacia el sur donde han sido explotadas como materiales de construcción en la industria ladrillera.

Cubriendo las unidades arcillosas de la Formación Bogotá se exponen depósitos coluviales, depósitos de ladera, suelos residuales y rellenos recientes, formando la mayor parte de la superficie donde se ha consolidado el barrio. Se describen las diferentes unidades estratigráficas de la más antigua a la más joven.

### **2.2.2.1 Roca Sedimentarias del Terciario**

#### *Formación Arenisca La Regadera (Ter)*

Esta unidad se expone al occidente del valle del Tunjuelo, resaltando topográficamente y haciendo parte del flanco oriental del sinclinal de Usme-Tunjuelo. Esta unidad fue descrita por E. Hubach, 1957, y redefinida por Julivert en 1963. Corresponde a un espeso nivel de areniscas con intercalaciones de arcillolitas grises y de color rojo, que afloran al SE de la ciudad de Bogotá, en proximidades del embalse de La Regadera y forman los flancos del sinclinal de Usme –Tunjuelo.

La Arenisca de la Regadera está constituida por una serie de estratos gruesos y resistentes de arenisca cuarzosa de grano medio a conglomerático con intercalaciones lenticulares de arcillas rosadas a amarillosas moteadas en la parte media. En la parte baja se observan niveles de arenisca cuarzosa conglomerática con estratificación cruzada. Esta formación se extiende desde la zona del embalse del mismo nombre, en dirección norte, hasta el extremo sur de la ciudad. La sección tipo de esta unidad se observa en cercanías del embalse, pero alcanza su máximo espesor al sur este de la ciudad, en las proximidades del cerro Juan Rey, donde se expone una secuencia espesa de areniscas, conglomerados y niveles de arcillolitas de color rojo.

Su origen se asocia en un ambiente fluvial de alta energía; reposa en forma concordante sobre la formación Bogotá. La ausencia de fósiles no ha permitido la datación de esta formación. En el área de estudio, esta formación aflora en el extremo oriental formado las laderas de mayor pendiente.

#### *Formación Usme (Tsu)*

La formación fue descrita por Hubach en 1957 y redefinida posteriormente por Julivert en 1965, denominando a una secuencia de arcillolitas grises que

conforman el núcleo del sinclinal de Usme, donde se diferencian dos niveles: uno inferior conformado por lutitas de color gris claro a gris verdoso y un nivel superior predominante arcilloso de color amarillo e intercalaciones lenticulares de arenisca amarillenta de grano grueso a conglomerático. El origen de esta unidad se asocia a una depósitos de ambiente transicional de baja energía. La ausencia de fósiles ha dificultado la datación de esta formación.

Regionalmente esta formación se extiende desde el sur de la población de Usme en dirección noroeste hasta el sur-este de Bogotá, conformando el núcleo del sinclinal de Usme- Tunjuelo. En el sector de la penitenciaría La Picota, esta formación está cubierta en parte por depósitos aluviales y lacustres, observándose algunos afloramientos en la base de las explotaciones de la Ladrillera Santafé, especialmente en la parte baja del barrio La Paz, donde se presenta cubierta por un relleno de escombros.

La formación Usme reposa en forma concordante sobre la arenisca de la Regadera, con evidencias locales de discordancia debido al tectonismo imperante entre finales del terciario y el cuaternario inferior, evento que afectó tanto las rocas de la parte superior de la formación Regadera como las rocas de la formación Usme.

#### **2.2.2.2 Suelos y Depósitos del Cuaternario**

Estas unidades se exponen en el valle del río Tunjuelito, formando parte del núcleo del sinclinal de Usme, con un origen asociado a los procesos de sedimentación del río Tunjuelo, como resultado de los procesos de deshielo de la parte alta de la cuenca durante el cuaternario. Se diferencian las siguientes unidades:

##### *Formación Marichuela*

Esta unidad se expone en una amplia área del valle del Tunjuelo, principalmente sobre la vertiente oriental, donde han sido definidos como un sistema de abanicos de flujos torrenciales y gravitacionales; materiales que fueron depositados en un ambiente de actividad tectónica importante y descritos por Helmes y Van der Hammen 1995.

Presenta una composición de gravas, cantos y bloques de areniscas, de formas angulares y sub angulares, con lentes arenosos, en una matriz limo arcillosa de color café de alta consistencia, y un alto grado de consolidación con un predominio de la matriz, 80 a 90% y un 10 a 20% de fragmentos embebidos. Su espesor ha sido estimado entre 30 y 40 m y cubren las rocas sedimentarias de la formación Regadera, que bajo el sitio presentan una disposición estructural favorable, con inclinación hacia el oriente.

La base de esta unidad se observa en la parte inferior del valle del Tunuelo, donde se identificó un nivel de 2.0 m de gravas y bloques en matriz arenosa de origen aluvial, cubiertos por el depósito fluviotorrenciales de la formación Marichuela. El origen de esta unidad, por su ubicación sobre las laderas del valle, se asocian a

grandes flujos torrenciales generados posiblemente a eventos sísmicos durante el Cuaternario Inferior.

#### *Unidad de limos y arenas de la Formación Sabana*

Esta unidad configura la mayor parte de los terrenos que delimitan el valle del Tunuelo y se exponen en las laderas que delimitan la parte baja del terreno, sobre la avenida Boyacá. Presenta una composición de arenas finas y limos color café, con intercalaciones de arcillas grises caoliníticas; con una disposición estructural horizontal formando los terrenos erosionados que delimitan ambos costados del valle del río Tunjuelito. Esta unidad se describe en la literatura como el Miembro de arenas y limos de la formación Río Tunjuelito. Presenta una alta permeabilidad en sus niveles de arenas y limos dado el carácter lenticular de los niveles de arcillas intercaladas.

#### *Unidad de gravas y arenas del río Tunjuelito*

Esta unidad se expone en los taludes de excavación de las gravilleras del Tunjuelo, presentan una composición de arenas y gravas con lentes de limos arcillosos color gris oscuro, con espesores normales de 60 a 80 m. Los niveles de arenas y gravas se asocian a los depósitos fluviales que acompañaron los periodos interglaciales del cuaternario; los niveles de limos arcillosos de color negro se asocian a los periodos de glaciación que estuvieron acompañados de una baja actividad fluvial.

### **2.2.2.3 Geología Estructural**

La zona del proyecto forma parte del flanco occidental del sinclinal de Usme, donde se identifican los siguientes rasgos tectónicos y estructurales regionales:

#### *Sinclinal de Usme*

El sinclinal de Usme representa la estructura más importante, cuyo eje cruza al oriente de la zona del proyecto y se extiende desde los barrios de San Carlos y Santa Lucía hacia la población de Usme y el embalse de la Regadera. Corresponde a un pliegue asimétrico de dirección NW-SE, en el cual los flancos están resaltados por la arenisca de la Regadera y el núcleo está constituido por arcillas de la formación Usme y los depósitos o rellenos cuaternarios. Esta estructura controla los acuíferos de este sector de la Sabana.

#### *Falla de Mochuelo*

De acuerdo con el Plano de Zonificación Geotécnica del Distrito Especial de Bogotá, Ingeominas 1988, el área de estudio se presenta delimitada al occidente por la falla inversa del Mochuelo, cuyo eje se localiza en la base de los afloramientos terciarios que delimitan por el costado occidental el valle del Tunjuelo y se pierde bajo los sedimentos aluviales del valle. En la **Figura 2.1** de fotointerpretación regional se identifica el trazo de una falla en el límite entre las rocas del terciario y los sedimentos del valle del Tunuelo; falla que ha sido correlacionada con la Falla de

Mochuelo. En el área de estudio esta falla se manifiesta en el sistema de fracturamiento que afecta las rocas del terciario de las formaciones La Regadera y Bogotá.

### *Falla La Físcala*

Representa el rasgo tectónico mas importante del sur de la Ciudad, corresponde a un alineamiento con N30W a N50W, que cruza los cerros orientales al sur de alto de Juan Rey, cruza el valle del Tunuelo bajo los sedimentos del cuaternario superior, delimita el frente montañoso del sector sur occidental del sector de ciudad Bolívar y cruza la Sabana de Bogotá al norte del municipio de Soacha. Esta falla presenta evidencias de actividad en el cuaternario inferior, al afectar los sedimentos de la formación Marichuela de edad cuaternario inferior-terciario superior; y ha sido clasificada como una falla de baja actividad para el cuaternario reciente.

Esta falla cruza por el costado norte fuera del área de estudio, sobre el valle del Tunuelo, donde se intercepta la falla inversa de Mochuelo.

## **2.2.3 GEOLOGÍA LOCAL**

Los barrios Divino Niño y Acapulco se localizan sobre las laderas de la margen derecha de la Quebrada Trompetas entre los límites de la Ladrillera Santafé al sur y el eje de la Avenida Boyacá al Norte, localizada esta última bordeando el Valle del Rio Tunuelo.

Entre los límites del área de estudio se diferencias las siguientes unidades geológicas, que se muestran en el **Plano 3**, Geología Local; descritas de la más antigua a la mas joven.

### **2.2.3.1 Unidad de Areniscas (Formación Regadera –Ter-)**

Esta unidad forma las laderas de mayor pendiente del costado oriental del área de estudio, observada sobre los cortes de la vía de acceso a la ladrillera. Presenta una composición de areniscas en capas gruesas de 1 a 3 m, con intercalaciones menores de arcillolitas de color gris y rojo, en capas de 0.5 a 2.0 m; con una relación arenisca: arcillolita de 3: 1 destacándose dentro del área de estudio la exposición de areniscas de grano medio a grueso, en capas gruesas, cubiertas por suelos coluviales de composición arenosa.

### **2.2.3.2 Unidad de Arcillolitas (Formación Bogotá –Tb-)**

Estas rocas constituyen la mayor parte de las unidades del subsuelo, expuestas en la parte oriental de la cárcava principal hasta la margen izquierda de la quebrada Trompetas, cubiertas por los suelos y depósitos del cuaternario y expuestas solamente en el costado sur del área de estudio, donde ha sido explotada por las actividades mineras de la Ladrillera Santafé. Las observaciones realizadas en los taludes de corte dejados por la actividad minera identifican en general una

secuencia de arcillolitas de color gris, rojiza con niveles de limolitas arcillosas, en una condición de roca muy meteorizada y fisurada, caracterizada por su fácil disgregación manual en clastos menores de una pulgada, parcialmente plásticos y con una alta densidad de discontinuidades.

### **2.2.3.3 Suelos y Depósitos del cuaternario**

La mayor parte de la superficie del terreno esta conformada por suelos y depósitos del cuaternario que han sido diferenciados y clasificados de acuerdo con su origen y composición. Estos materiales presentan la mayor importancia dado que sobre estos se presentan los niveles de cimentación de la mayor parte de las viviendas. Se diferenciaron las siguientes unidades:

#### ***Depósito Coluvial (Qc)***

Esta unidad se expone en la mayor parte del área donde se ha consolidado la mayor parte del barrio Divino Niño y de acuerdo con el análisis de las fotografías aéreas anteriores al desarrollo urbanístico se identifica que corresponde a un depósito de extensión regional que cubre las rocas arcillolitas de la formación Bogotá, extendiéndose hasta la ladera de la margen izquierda de la Quebrada Trompetas, sobre el barrio San Joaquín formado un abanico que fue disectado por el cauce de la Quebrada Trompetas.

Presenta una composición de gravas, cantos y bloques angulares en matriz limoarenosa color amarillo, con lentes de gravas y arenas. Con un espesor estimado entre los 20 y 30 m.

Por las características composicionales el origen de esta unidad se asocia a un depósito fluvio- torrencial correlacionable con la Formación Marichuela de edad cuaternario inferior.

En superficie, la estratigrafía de este depósito presenta una composición de arenas limosas de color amarillo de 2 a 4 m. de espesor, con presencia de gravas y cantos, que cambian en profundidad a una composición de grandes bloques en matriz limoarenosa. Esta unidad presenta la mayor importancia dentro del área de estudio dado que la cimentación de la mayor parte de las construcciones se realiza dentro del nivel de arcillas y limos arenosos de color amarillo.

#### ***Unidad de arenas y limos (Qc1)***

Esta unidad se expone en el costado norte del área de estudio, cubierta por materiales de relleno (Qr), y formando las laderas erosionadas que delimitan la avenida Boyacá, donde se ha desarrollado la Urbanización Acapulco y Monterrey. Presenta una composición de arenas de color gris, limos arenosos, arcillas grises y niveles de gravas con fragmentos angulares y una disposición estructural concordante con la pendiente del terreno. El origen de esta unidad se asocia a un depósito fluvio -coluvial, de edad contemporánea con la formación Tunjuelito, que

fue depositado por corrientes menores que descendían de las laderas que delimitaban el valle del Tunjuelo, en un ambiente climático árido o semi-árido.

#### *Depósitos de Ladera (Qc2)*

Esta unidad de edad reciente se expone en la ladera más oriental del área de estudio cubriendo tanto las unidades de arenisca de la formación Regadera como las rocas arcillosas de la Formación Bogotá y se observa sobre el corte de la vía de acceso a la Ladrillera y sobre los taludes y cortes que han realizado las construcciones recientes localizadas en este sector.

Las observaciones sobre los taludes descritos identificaron el siguiente perfil estratigráfico:

- Un horizonte superficial de suelos arenosos (paleosuelos de composición franco arenosa) de 1.0 a 4.0 m de espesor, de color gris claro con presencia de raíces, de alta permeabilidad y con la presencia de un horizonte inferior de gravas de 0.2 a 0.3 m de espesor y con una disposición estructural concordante con la inclinación de la ladera.
- Un nivel inferior de limos arcillosos y arcillas de color gris oscuro de 1.0 a 1.2 m de espesor, que cambian lateralmente a arcillas color gris rojiza.
- Un horizonte inferior de arcillas residuales de color rojo que se exponen en la base de los cortes de la vía; derivadas de las arcillolitas de la formación Bogotá.
- En el sector donde se exponen las unidades de areniscas del subsuelo, el horizonte inferior presenta una composición arenosa (arenas de grano friables de color rojo, que corresponde a un nivel de suelos residuales derivados de las areniscas de la Formación Regadera.
- En el límite sur, esta unidad se presenta cubierta por un horizonte de ceniza volcánica de 2 a 5 cm de espesor.

#### *Depósitos Aluviales. Qal1.*

Esta unidad se expone en las laderas que delimitan el eje del cauce de la Quebrada Trompetas, donde se identifica el siguiente perfil estratigráfico asociado a un nivel de terraza que delimita la margen derecha de la quebrada:

- Un horizonte superior de suelos (capa vegetal) de composición arenosa de alta permeabilidad de 0.2 a 0.5 m, con presencia de gravas finas
- Un nivel de arcillas arenosas de color gris oscuro de 0.3 a 0.5m de espesor muy fisurada, de alta permeabilidad y correlacionable con la capa de neme que se expone en el sur de la ciudad. Este horizonte se expone indistintamente sobre las diferentes unidades geológicas y representa una superficie de erosión desarrollada en unas condiciones climáticas secas a semiáridas.
- Un nivel inferior de gravas y bloques en matriz arenosa, de origen aluvial y que delimita el cauce de la quebrada con un espesor que varía entre 1.0 y 3.0 m.

### *Depósitos Aluviales Recientes (Qal2)*

Esta un unidad conforma el lecho de la quebrada y los terrenos planos adyacentes. Presenta una composición de arenas finas, limos, arcillas, arcillas con presencia de basuras; materiales muy afectados por los vertimientos de aguas servidas.

### **2.2.3.4 Suelos Residuales (Qr)**

Estas unidades se han desarrollado a partir de la alteración y meteorización tanto de las unidades de areniscas y arcillolitas del terciario como de la unidad de depósitos coluviales del cuaternario.

Se diferenciaron los siguientes tipos de suelos de origen residual:

#### *Suelos limoarenosos y arcillosos (Qsr1)*

Este tipo de suelo se expone superficialmente a partir de la alteración de la matriz y de los fragmentos que conforman el deposito coluvial (Qc) perteneciente a la Formación Marichuela; presenta una composición de arcillas de color gris verdoso y arenas limosas de color amarillo con un 10% de fragmentos angulares de areniscas y con un espesor que varía entre los 2 y 4m. Esta unidad no se presenta en la cartografía y se asocia a la parte superior del depósito coluvial.

#### *Suelos residuales arcillosos (Qrs2)*

Se desarrolla a partir de las arcillolitas de la formación Bogotá con una exposición en el costado sur del área del proyecto y bajo los suelos coluviales arenosos del costado mas sur-orienta. Presenta una composición de arcillas y limos arcillosos de color rojo con espesores que varían entre 1 y 2 m. y cambian en profundidad a las arcillolitas meteorizadas de la Formación Bogotá.

### **2.2.3.5 Rellenos (Qr1 – Qr3)**

La adecuación urbanística del terreno se realizó mediante el relleno de los zanjones y drenajes naturales que cruzaban el área y mediante cortes locales para la explanación de los terrenos. Según las versiones de los habitantes del barrio estas zonas de cárcavas y zonas de drenaje fueron rellenas inicialmente con materiales arcillosos (limos, arcillas y arenas finas) provenientes de la excavaciones y descapotes de la ladrillera y de los materiales limo arcillosos producto de los diferentes cortes realizados durante las actividades de explanaciones y adecuación de las manzanas del proyecto urbanístico. Estos materiales fueron dispuestos en las zonas de cárcavas y drenajes junto con materiales que eran traídos diariamente de áreas cercanas con una composición muy heterogénea (áreas, limos, arcillas, suelos orgánicos), con un porcentaje importante de escombros de construcción y localmente basuras.

Se diferenciaron los siguientes tipos de rellenos, de acuerdo con su ubicación.

*Rellenos asociados a antiguas cárcavas, zanjones o drenajes naturales (Qr1).*

Presentan una composición muy heterogénea, principalmente de composición arcillosa y limo arenosa con escombros de construcción; se presentan confinados lateralmente y con espesores que varían entre los 2 y 15 m.

Estos materiales se localizan en los siguientes sectores:

- En el costado oriental del barrio, en una franja paralela a la carrera 15 D, donde se localizaba una zona de cárcavas que fueron rellenadas con materiales muy heterogéneos, donde se midieron espesores hasta de 15 m de acuerdo con la investigación geoeléctrica.. Actualmente en esta zona se presenta un proceso diario de disposición de escombros y materiales de diferente composición.(ver anexo fotográfico)
- En la parte norte del área de estudio entre la vía de acceso a la ladrillera y el cauce de la Quebrada Trompetas, donde los terrenos originales, muy erosionados fueron readecuados mediante rellenos que incluyeron una zona de drenajes naturales, delimitados en el mapa geomorfológico. **Plano 4.**

*Rellenos superficiales (Qr2)*

Estos materiales presentan espesores menores de 2 m y fueron dispuestos superficialmente para la adecuación urbanística del terreno. Presentan una composición limo arcillosa proveniente de los cortes locales de la explanación del terreno. Se incluyen los rellenos arcillosos localizados entre los límites del lote y la calle 80 Bis A, donde se han reubicado varias viviendas por la DPAE.

*Rellenos (Qr3)*

Estos materiales fueron dispuestos en depresiones del terreno asociadas a drenajes naturales y en terrenos de antiguas explotaciones de arcillas. Presentan una composición igualmente heterogénea con presencia de basuras y escombros de construcción. El espesor de estos rellenos varía entre 5 y 15m, se localiza en las laderas del costado occidental del área de estudio donde según las versiones de los habitantes, correspondían a depresiones de antiguos drenajes y áreas de chircales.

Un relleno de este tipo se localiza entre la calle 78B sur y calle 78C sur por carrera 16 Bis sur, sobre un antiguo drenaje natural y un segundo sector localizado entre la calle 79 sur y 80 bis sur con carrera 16 Bis, que corresponde al relleno de un antiguo frente de explotación de arcillas(chircal).

## **2.3 GEOMORFOLOGÍA**

### **2.3.1 METODOLOGÍA**

Las diferentes unidades geomorfológicas fueron clasificadas de acuerdo con su origen (laderas coluviales, laderas de origen residual, laderas estructurales, laderas aluviales) y fueron definidas en términos de sus características morfométricas, régimen de agua, con posición de los materiales, y condición de equilibrio actual, como se observa en el Mapa Geomorfológico (**Plano 4**). Se considera que una unidad geomorfológica es el resultado de la interacción de sus diferentes componentes naturales (pendiente, vegetación, materiales, régimen de agua) enmarcados dentro de unas condiciones microclimáticas específicas que han determinado una condición de equilibrio entre los factores naturales y los factores externos; y donde la intervención antrópica es factor modificador de dichas condiciones naturales, actuando tanto positiva como negativamente en la estabilidad de las laderas.

Dentro de este marco teórico de análisis, el área de estudio corresponde a un conjunto de laderas con procesos muy activos de erosión que dieron lugar a la formación de cárcavas, que son presentadas en el mapa de drenajes naturales. Estas condiciones originales del terreno reflejan un estado de desequilibrio geomorfológico, generado por el cambio de su componente natural de vegetación, posiblemente por la actividad antrópica anterior al siglo xix. Estos cambios de los componentes naturales de las laderas, dentro de condiciones climáticas secas favorecieron los procesos de erosión por el incremento de la escorrentía superficial. En la última década la dinámica geomorfológica estuvo controlada por el proceso de urbanización de las laderas, que incluyó el relleno de las cárcavas y el control de la escorrentía superficial.

Se diferenciaron las siguientes unidades geomorfológicas cartografiadas a nivel de unidad de terreno, subdivididas en segmentos de ladera.

### **2.3.2 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS (SEGMENTOS DE LADERA)**

#### **2.3.2.1 Laderas Estructurales (LE1 y LE2)**

Estas unidades se exponen en el costado más oriental del área de estudio, formando los terrenos de mayor pendiente, como una prolongación del Cerro de Doña Juana localizada al sur del área de estudio. Desarrolla una morfología rectilínea con una pendiente que varía de los 30 a 35° con longitudes de 100 a 140 m. En la parte superior de esta unidad cuza el eje de la línea de transmisión 250 Kw Guavio-Villavicencio –El Tunal. Esta ladera rocosa esta conformada por las unidades de areniscas de la formación Regadera y en el limite sur por las unidades de arcillolitas de la formación Bogotá, cubiertas en la parte media y baja de la ladera

por suelos de composición arenosa. La disposición estructural de las rocas del subsuelo presenta una inclinación de 20 a 30° hacia el oriente, condición favorable a la estabilidad natural de la ladera; afectada por el corte de la vía de la Ladrillera Santafé,

**Régimen de Agua.** Presenta un régimen principal de infiltración, controlado por la alta permeabilidad de las areniscas de la formación Regadera y de los suelos arenosos que configuran la parte media y baja de la unidad. Durante los eventos lluviosos se identifica un flujo de aguas sub superficiales a través de los suelos arenosos.

**Evaluación Morfodinámica.** La estabilidad de esta unidad esta controlada por los siguientes factores en orden de importancia:

1. El desarrollo de un horizonte de suelos coluviales de 1 a 3 m de espesor, con una composición arenosa y limoarenosa de alta permeabilidad y susceptibilidad a la erosión, que cubren en la parte sur de la ladera un horizonte de suelos residuales de color rojo y composición arenosa.
2. El régimen de agua subsuperficial generado en épocas lluviosas o por la actividad antrópica a través de los suelos arenosos que conforman la parte media y baja de la ladera donde se evidencia sobre el corte de la vía procesos muy activos de erosión con evidencias de tubificación generado por el lavado interna o de los suelos y la presión hidrostática.
3. Los nuevos asentamientos urbanos que han generado un incremento del régimen de infiltración con procesos activos de erosión del nivel de suelos arenosos superficiales que conforman esta ladera.

**Evaluación del Factor Antrópico.** Los asentamientos urbanos recientes sobre esta ladera, localizados muy cerca del corte sobre la vía a la Ladrillera Santafé ha causa un incremento en los procesos de erosión por efecto de las aguas servidas y por la concentración de la escorrentía superficial de las aguas lluvias.

En este sector las nuevas construcciones se han adaptado a las condiciones topográficas del terreno mediante cortes en media ladera de 2 a 4 m de altura, donde se exponen los suelos arenosos muy susceptibles a la erosión, con procesos potenciales de desprendimientos generados por el vertimiento de aguas servidas.

La falta de alcantarillado de aguas lluvias de este sector se manifiesta en la concentración del escurrimiento superficial con una alta susceptibilidad a la erosión y formación de cárcavas regresivas a partir del talud del corte de la vía.

### **2.3.2.2 Ladera Coluvial (LC1, LC2 y LC3)**

Esta unidad se exponen en la mayor parte del área de estudio donde se consolidó el barrio Divino Niño, desde la base de la ladera del costado oriental (LE2) hasta el cauce de la Quebrada Trompetas, formando originalmente un abanico de suelos

coluviales que se prolongaba hacia el norte y oriente del actual cauce de la Quebrada Trompetas y que posteriormente fue disectado. Originalmente esta unidad presentaba una morfología rectilínea ligeramente convexas con pendientes que varían entre los 10 y 20° .

El análisis de las fotografías aéreas anteriores al desarrollo urbanístico (1960 - 1970), identifica que esta unidad correspondía a una zona muy erosionada, disectada por drenajes de primer y segundo orden con procesos activos de erosión en surco y la formación de cárcavas asociadas a los drenajes con profundidades que varían entre los 2.0 y 15 m, destacándose por el costado oriental un zanjón principal que presentaba profundidades variables entre los 5 15 m. La **Figura 2.1** presenta la fotointerpretación de las unidades geomorfológicas originales donde se aprecian los drenajes desarrollados sobre esta unidad.

Dentro de esta unidad se diferenciaron tres segmentos de ladera:

#### *Segmento LC1*

Este segmento configura la cima de la ladera entre las carreras 15 D y carrera 18, donde se consolidó inicialmente el barrio Divino Niño, segmento delimitado al oriente por un zanjón principal que fue utilizado para la ubicación de rellenos. La composición de este segmento corresponde a un horizonte de suelo limos arenosos y limo arcillosos de color amarillo, con un bajo porcentaje de gravas y fragmentos de areniscas.

La investigación geotécnica del subsuelo (sondeos 12 y 13), identifican superficialmente un nivel de arcillas y arenas de color café y amarillo de consistencia alta, suelos que cubren el depósito de gravas y bloques en matriz arenosa.

**Régimen de Agua.** Originalmente esta unidad presentaba un régimen de infiltración controlado por un horizonte de suelos arenosos que fue removido durante la adecuación urbanística del terreno, cambiando a un régimen de escorrentía superficial por efecto de la actividad antrópica.

**Evaluación Morfodinámica.** La ubicación de este segmento en la parte alta de la ladera define en general una condición de alta estabilidad por la baja influencia de las aguas de escorrentía e infiltración de las laderas del costado oriental, que es captada directamente por el antiguo drenaje.

**Evaluación del Factor Antrópico.** El desarrollo urbanístico de este sector del barrio entre la carrera 15 D y carrera 16, ha generado un cambio en su régimen natural de infiltración a un régimen de escorrentía superficial de las aguas lluvias, controlado por las obras de urbanismo.

#### *Segmento LC2*

Este segmento configura las laderas del costado norte del barrio a partir de la calle 78 B BIS, hasta el cauce de la Quebrada Trompetas; presenta una morfología

Figura 2.1 Fotointerpretación de las Unidades Geomorfológicas

convexa con una pendiente que varía entre los 10 y 20° desarrollada sobre la unidad de suelos coluviales con presencia de grandes bloques de areniscas en matriz limoarenosa y limo arcillosa de alta permeabilidad. La investigación geotécnica del subsuelo (sondeos 4 y 34), identifican superficialmente un horizonte de arcillas arenosas de color café con gravas, de consistencia alta. En el costado norte el proceso de incisión y socavación de la quebrada generó un talud de características escarpadas de 15 a 20 m de altura, donde se exponen los materiales del depósito coluvial.

**Régimen de Agua:** Por la composición arenosa y limo arenosa de la matriz, esta ladera presenta un régimen principal de infiltración que ha cambiado por el desarrollo urbanístico a un régimen de escorrentía superficial por efecto de la concentración del escurrimiento superficial.

Lateralmente esta unidad se presentaba delimitada por dos drenajes naturales de primer orden identificados en el análisis de la fotointerpretación (ver **Figura 2.1**); Estos drenajes aislaban este segmento de ladera de la acción de las aguas de escorrentía de las laderas adyacentes.

**Evaluación Morfodinámica.** La estabilidad de este segmento de ladera está controlada por los siguientes factores:

La susceptibilidad media a la erosión de los suelos superficiales con la formación potencial de surcos y cárcavas ante la concentración del escurrimiento superficial generado por el desarrollo urbanístico.

En general esta ladera presenta una alta condición de estabilidad y en la actualidad el régimen de infiltración obedece a la actividad antrópica con una influencia en la estabilidad del talud de corte que sirve de límite con el cauce la Quebrada Trompetas.

**Evaluación del Factor Antrópico.** Este segmento de ladera ha sido urbanizado en un 50%, donde las diferentes construcciones se han adecuando a las condiciones originales del terreno, con cortes promedio de 1 m de altura, sobre el horizonte de limos arenosos de color amarillo con presencia de bloques superficiales.

Por el costado oriental y occidental de esta unidad, se presentan rellenos superficiales de 1 a 2 m espesor, producto de la adecuación del terreno para la construcción de las vías de acceso del barrio y asociados a los antiguos drenajes naturales que delimitaban esta unidad. (Ver **Plano 6**)

### *Segmento LC3*

Sector localizado entre la carrera 16 y el cauce de la Quebrada Trompetas, limitado del segmento LC2, por un antiguo drenaje de 2 a 6 m de profundidad que fue rellenado durante la adecuación urbanística del terreno. Presenta una morfología rectilínea y ligeramente convexa, de características similares al segmento LC2, con una pendiente de 15 a 20°.

Superficialmente presenta un nivel de gravas y bloques redondeados, de origen aluvial formando la superficie del terreno. Bajo este nivel se expone un depósito de gravas y bloques angulares en matriz arcillosa de color gris. La investigación Geotécnica del subsuelo (sondeos 14, 15 y 16) identificaron un nivel muy homogéneo de arcillas arenosas de color gris de consistencia alta, que de acuerdo con el modelo geológico deben cambiar en profundidad al depósito coluvial de composición limoarenosa con presencia de gravas y bloques.

**Régimen de Agua:** Las observaciones en los diferentes taludes de corte en donde se expone al nivel de gravas angulares, con evidencias de un flujo permanente de aguas de infiltración, que pueden estar asociadas a la actividad antrópica.

Por el costado oriental este segmento de ladera está delimitado por un antiguo drenaje que fue obstruido con rellenos arcillosos producto de las excavaciones y explanaciones realizadas durante el desarrollo urbanístico del sector.

**Evaluación Morfodinámica:** La estabilidad de esta ladera está controlada por los siguientes factores:

La presencia por los flujos de aguas de infiltración que son generados por la actividad antrópica.

La presencia de rellenos de composición arcillosa de 1 a 3 m de espesor, que fueron ubicados en antiguos drenajes de primer orden (zonas de cárcavas) observados en el **Plano 6** de drenajes naturales que presenta las condiciones originales del terreno.

**Evaluación del Factor Antrópico:** Este segmento de ladera ha sido urbanizado en un 80%, cambiando su régimen natural de infiltración a una condición de escorrentía superficial con procesos de erosión laminar a lo largo de las vías de acceso. Las aguas de infiltración identificadas en la parte baja de la ladera se asocian principalmente a la actividad antrópica de las viviendas.

### **2.3.2.3 Ladera Residual (LR1)**

Esta unidad se expone en el costado sur oriental del área de estudio entre la calle 79 y la calle 80A BIS, en los límites con el predio de la Ladrillera. Esta zona originalmente fue muy afectada por las actividades antrópicas de explotación de arcillas y correspondía a una zona muy erosionada con presencia de varios drenajes que fueron rellenados con materiales arcillosos para la adecuación urbanística del terreno.

Los materiales del subsuelo corresponden a las rocas arcillosas de la formación Bogotá, cubiertas por suelos coluviales de composición limoarenosa con presencia de gravas y bloques, expuestos hacia el costado más oriental, pertenecientes al segmento Lc1. La investigación geoléctrica del subsuelo (sondeos 18, 19, 20, 22,

23 y 24), bajo los materiales de relleno se identifica una arcilla arenosa oxidada, de color rojizo y consistencia alta.

**Régimen de Agua:** Originalmente esta ladera presentaba un régimen de escorrentía superficial captado por la red de drenajes naturales obstruidos con rellenos durante la adecuación urbanística. Actualmente este segmento presenta un régimen principal de escorrentía superficial y uno secundario de infiltración controlado por los ejes de los drenajes originales

**Evaluación Morfodinámica:** La estabilidad de este segmento de ladera esta controlado por los siguientes factores:

La presencia de rellenos con espesores que varían entre 1 y 5 m, asociados a los ejes de los drenajes originales.

La presencia de flujos de aguas de infiltración generados por la actividad antrópica con un proceso potencial de saturación de los rellenos anteriormente citados.

La presencia de rellenos superficiales de composición arcillosa localizados entre las carreras 16 y 16 BIS, con calles 80 y 80 A BIS, materiales muy afectados por las aguas lluvias y de infiltración, con procesos potenciales de reptación y la formación de flujos de tierra. Estos rellenos han sido localizados provenientes de las explanaciones del sector representan una alta amenaza para las construcciones de la parte baja y configuran los terrenos de los lotes que han sido reubicados por la DPAE.

#### **2.3.2.4 Laderas Aluviales ( AL1 –AL2)**

Estas unidades se exponen en el límite Norte y Occidental de área de estudio, delimitando el cauce de la Quebrada Trompetas. Su origen se asocia al proceso de incisión del cauce de la quebrada que configuró un nivel de terraza desarrollado sobre la unidad de laderas coluviales (LC2-LC3). Se diferenciaron los siguientes segmentos de ladera:

##### ***Unidad de Terrazas Aluviales (AL1)***

Este segmento de ladera configura un talud escarpado de 2 a 4 m de altura, bordea el cauce de la Quebrada Trompetas a partir de la desembocadura de la Quebrada El Diablo. Presenta una composición de gravas y bloques en matriz arenosa, cubiertas por un horizonte suelos orgánicos de composición arenosa.

**Régimen de Agua:** Por la composición arenosa de los materiales presenta un régimen principal de infiltración, unidad afectada por los vertimientos de aguas de las construcciones aledañas.

**Evaluación Morfodinámica:** La estabilidad de esta unidad esta controlada principalmente por la afluencia de aguas de infiltración provenientes de las laderas del costado oriental y la presencia de rellenos que han sido dispuestos sobre esta

unidad. Los procesos morfodinámicos de erosión asociados a esta unidad se observan sobre el talud que delimita el cauce de la Quebrada Trompetas (ver **Plano 5** de procesos)

**Evaluación del Factor Antrópico:** Entre la calle 79 y calle 78C, esta unidad ha sido urbanizada con la ubicación de viviendas en el borde del talud donde se identifica una alta susceptibilidad a la erosión, proceso que ha sido generado por el mal manejo de las aguas lluvias y servidas, que son vertidas directamente sobre el talud.

#### *Planicie Aluvial (AL2)*

Esta unidad geomorfológica corresponde a la zona de inundación periódica que delimita el cauce de la Quebrada Trompetas y se expone en forma continua bordeando la zona de estudio. Presenta una composición de arenas, limos y arcillas con un alto porcentaje de basuras y suelos orgánicos.

**Régimen de Agua:** Esta presenta un nivel freático superficial, afectada por eventos de inundación periódica. En el extremo sur entre la calle 78 D y las instalaciones de la ladrillera se define una zona de inundación de 10 a 15 m de amplitud donde se localizan varias viviendas del barrio.

**Evaluación Morfodinámica:** Esta unidad presenta una variación del nivel freático y eventos periódicos de inundación, durante las épocas invernales; zona clasificada como protección ambiental que corresponde a la ronda natural del cauce de la quebrada.

**Evaluación del Factor Antrópico.** Esta unidad presenta una alta afectación antrópica generada por los diferentes vertimientos de aguas servidas, de los diferentes barrios localizados aguas arriba del sitio de estudio.

#### **2.3.2.5 Laderas de Origen Antrópico (LA1, LA2 y LA3)**

Durante las décadas de 1980 y 1990 las diferentes zanjoneras y drenajes naturales que cruzaban el área de estudio fueron rellenados con materiales muy heterogéneos incluyendo escombros de construcción y basuras. De acuerdo con los datos suministrados por algunos vecinos del sector, datos verificados durante la investigación geotécnica del subsuelo, el origen de estos rellenos fueron en su totalidad el producto de las diferentes explanaciones del sector y de materiales arcillosos provenientes de las zonas de explotación de arcillas. Adicionalmente se observa que en la actualidad continúa la disposición de materiales de relleno que son traídos de otros barrios, actividad fomentada por los mismos urbanizadores.

La estabilidad de estas unidades conformadas durante el desarrollo urbanístico está controlada principalmente por la composición heterogénea de los materiales de muy pobre compactación y su afectación por las aguas de infiltración asociadas a los antiguos ejes de los drenajes naturales. Esta condición determina una condición

potencial de asentamientos diferenciales principalmente en los rellenos ubicados en los drenajes y cárcavas de mayor profundidad.

Se diferenciaron las siguientes laderas conformadas sobre los antiguos cauces y zonas erosionadas.

#### *Segmento LA1*

Esta ladera se ha conformado sobre un antiguo drenaje que cruzaba paralelo a la carrera 15 D y servía de límite entre los segmentos LC1 y LE2.

La mayor parte de esta cárcava esta compuesta por materiales muy heterogéneos de composición arcillosa con escombros y basuras alcanzando espesores que oscilan entre los 8 y 15 m, de acuerdo con los resultados de la investigación geofísica y corroborados con la información topográfica original del terreno (ver secciones de análisis, Figuras 3.1 y 3.4).

La estabilidad de esta unidad esta controlada principalmente por el bajo grado de compactación de los materiales del relleno, con un alto potencial de consolidación y asentamientos diferenciales generados por la acción de las aguas lluvias y aguas de infiltración provenientes de las laderas del costado oriental.

#### *Segmento LA2*

Estas laderas han sido conformadas sobre los drenajes del sector más occidental del área de estudio y sobre depresiones formadas por la actividad minera de ladrilleras. Se destaca un relleno localizado entre la Calle 78 B y 78C que fue localizado sobre un antiguo drenaje y que actualmente sobresale topográficamente de los terrenos aledaños.

Un segundo relleno se localiza cerca del cauce de la Quebrada Trompetas entre las carreras 79 Bis y 80 BIS y de acuerdo con las versiones de los fundadores del barrio correspondía a una antigua explotación de materiales arcillosos con profundidades que variaban entre los 10 y los 20m. La ubicación de este relleno coincide con un drenaje de primer orden paralelo a la calle 80 BIS. (Veáse el mapa de procesos, **Plano 5**).

#### *Segmento LA3*

Esta ladera de origen antrópico fue conformada en la parte norte del área de estudio sobre terrenos muy erosionados con presencia de varias cárcavas que drenaban las aguas lluvias al cauce de la Quebrada Trompetas.

La adecuación urbanística y morfológica de estos terrenos incluyó el relleno de varios drenajes con profundidades de 2 a 6 m de profundidad. De acuerdo con la investigación geotécnica del subsuelo (sondeos 1 y 2), bajo los materiales de rellenos de composición arcillo arenosa se exponen arcillas y arenas de

consistencia alta pertenecientes a suelos coluviales de la unidad de limos y arenas del cuaternario (Qc1), ver mapa geomorfológico, **Plano 4**.

### **2.3.3 IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROCESOS**

#### **2.3.3.1 Evaluación de procesos morfodinámicos**

Los terrenos originales donde se desarrolló el barrio correspondían a una zona muy erosionada, con presencia de surcos y cárcavas que fueron rellenadas durante la adecuación urbanística. En términos generales el desarrollo urbanístico mejoró morfológicamente el terreno y controló los procesos de erosión.

Se identificaron los siguientes procesos dentro del las nuevas condiciones generadas por el desarrollo urbanístico:

- Procesos de erosión de suelos arenosos y limo arenosos. Afecta principalmente las laderas del costado oriental (LE1), donde el corte de la vía a la Ladrillera Santafé ha configurado un talud de 2 a 4 m de altura donde se exponen suelos limo arenosos de muy alta susceptibilidad a la erosión, y donde la actividad antrópica de los nuevos asentamientos urbanos han incrementado la tasa de erosión de estos suelos.
- Procesos de Reptación y formación potencial de flujos de tierras. Este Proceso se identifica en las laderas del costado sur sobre la unidad de laderas residuales LR1, asociado a rellenos superficiales de composición arcillosa que fueron dispuestos durante la adecuación de estos terrenos, afectados originalmente por la actividad minera. La inestabilidad de estos rellenos se asocia a la acción de las aguas lluvias y servidas del sector
- Asentamientos diferenciales asociadas a los rellenos. Este proceso se asocia a los sitios de rellenos (Laderas de origen antrópico LA1, LA2 y LA3) donde se ha realizado una disposición de diversos materiales sobre los antiguos drenajes con una disposición sin ningún tipo de compactación, materiales afectados por los vertimientos de aguas. El proceso se asocia a movimientos verticales por la consolidación de los materiales.
- Inestabilidad de taludes de corte. Estos procesos se observan en los taludes del costado sur del área de estudio sobre los cortes dejados por la explotación de la ladrillera, donde se exponen las unidades de arcillolitas meteorizadas y muy fisuradas de la formación Bogotá, cubiertas por suelos coluviales de composición arenosa, y donde la estabilidad de estos taludes esta controlada principalmente por la composición arcillosa de los suelos con un alto grado de intemperismo de

las rocas arcillosas y por la afectación de las aguas de infiltración transmitidas a través de los suelos coluviales superiores.

- Zonas de erosión en surco y cárcavas. Procesos identificados en el costado norte del área de estudio, asociados a un antiguo drenaje donde actualmente se disponen materiales de rellenos. Los procesos de erosión han sido generados por la acción de las aguas lluvias que afectan la unidad geomorfológica LC2.
- En el límite norte del área de estudio sobre el talud que delimita el cauce de la Quebrada Trompetas, sobre el segmento LC2, se ha configurado un talud de 15 a 20m de altura, con procesos activos de erosión sobre los suelos coluviales de composición arenosa y limo arenosa y que han sido generado por la acción de las aguas de escorrentía y por los vertimientos de aguas servidas sobre el talud
- Procesos de inundación periódica. Proceso identificado en el costado occidental del área de estudio en los terrenos bajos que delimitan el cauce de la Quebrada Trompetas, afectando principalmente la unidad aluvial AL2. Este proceso se asocia a las crecientes de la quebrada y demarcan la zona de ronda hidráulica, afectando varias construcciones localizadas en ambas márgenes de la quebrada.

La **Tabla 2.4** describe los diferentes procesos morfodinámicos de cada una de las unidades geomorfológicas, y el mapa de procesos a escala 1:1.000 (**Plano 5**), la localización espacial de los procesos.

Tabla 2.4 Evaluación de Procesos Morfodinámicos

| <b>Procesos</b>     | <b>Descripción.</b>  | <b>Unidad</b> |
|---------------------|--|---------------|
| Erosión Laminar     | Erosión sobre el talud de corte de la vía a la ladrillera Santafé por vertimiento de aguas servidas.   | LE1-LE2       |
|                     | Erosión laminar y concentrada sobre las diferentes vías, por la concentración del flujo superficial y la falta de alcantarillado de aguas lluvias.           | LC1- LC2-LC3  |
|                     | Erosión por vertimiento de aguas servidas, sobre las bancas del cauce de la quebrada Trompetas.  | AL1           |
| Erosión en cárcavas | Generadas por los vertimientos de aguas servidas sobre el talud del corte de la vía a la ladrillera Santafé.   | LE1           |
|                     | Exposición de cárcavas antiguas asociadas a los drenajes originales, sobre suelos arenosos y limo arenosos de alta susceptibilidad a la erosión.             | LC2           |
|                     | Erosión concentrada y de carácter regresivo sobre el talud del costado norte (carrera 15D), proceso generado por el vertimiento de aguas lluvias y servidas. | LC2           |
| Flujos de Tierras   | Por saturación de los rellenos arcillosos expuestos en las manzanas L y K.   | LR1           |
|                     | Flujos potenciales en los rellenos de pobre compactación (Manzanas Q, Y6 y Y7).  | LA2           |

| <b>Procesos</b>             | <b>Descripción.</b>  | <b>Unidad</b> |
|-----------------------------|--|---------------|
|                             | Flujos generados por saturación de los rellenos expuestos sobre la banca de la vía a la ladrillera Santafé.  | LA2           |
| Reptación.                  | Proceso potencial en los rellenos arcillosos expuestos sobre la manzanas K, L, S, X9 Y X10; por el vertimiento de aguas servidas y la acción de las aguas lluvias de infiltración.   | LR1           |
|                             | Reptación local por flujos subsuperficiales. (Manzanas Y7 y Y8)  | LC3           |
| Deslizamiento               | Deslizamiento potencial en los rellenos de pobre compactación.   | LA2           |
|                             | Deslizamiento en los suelos coluviales, afectados por flujos subsuperficiales y ante los cortes de excavación generados por las construcciones   | LC3           |
| Asentamientos Diferenciales | Asentamientos de mayor magnitud, asociados a los rellenos expuestos sobre la cárcava principal paralela a la cra 15D.<br>Asentamientos asociados a los rellenos de drenajes secundarios expuestos al occidente del barrio. | LA1           |
| Inundación                  | Inundación periódica sobre las márgenes de la quebrada Tompetas.   | AI2           |

## **2.4 HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA**

### **2.4.1 OBJETIVO Y ALCANCES**

El estudio hidrológico se orientó en los siguientes aspectos: La clasificación de los drenajes; la determinación del régimen de agua superficial, conocer el comportamiento de la precipitación en la zona, a la relación existente entre la lluvia y los procesos potenciales de inestabilidad y a la determinación de los caudales para el diseño de las obras de drenaje superficial.

### **2.4.2 DRENAJE Y RÉGIMEN DE AGUA SUPERFICIAL**

#### **2.4.2.1 Clasificación Genética de los Drenajes**

Genéticamente los drenajes del sector se pueden clasificar como corrientes de primero y segundo orden que drenaban las aguas superficiales de las laderas del sector y que fueron modificadas por la actividad antrópica de las explotaciones mineras y la adecuación de los terrenos para el desarrollo urbanístico. La red original correspondía a un sistema subdentítico con control estructural asociado a procesos muy activos de erosión, con formación de cárcavas. La **Figura 2.2** presenta las condiciones originales del drenaje del terreno; donde se aprecia un conjunto de cárcavas que posteriormente fueron obstruidas por la ubicación de diferentes tipos de materiales (rellenos).

Figura 2.2 Condición Original del Terreno

Actualmente debido a la intervención antrópica de los drenajes por la disposición indiscriminada de rellenos en los zanjones originales, las aguas de escorrentía son captadas parcialmente por obras de alcantarillado con un vertimiento sobre el cauce la Quebrada Trompetas. (Ver **Plano 6**)

#### **2.4.2.2 Régimen de agua superficial**

En términos generales, la escorrentía superficial actual tiene las siguientes características:

Por la obstrucción de los diferentes drenajes naturales, el régimen de agua es predominantemente de escorrentía superficial, desarrollado sobre las calles sin pavimentar con entrega al sistema de alcantarillado y desagüe sobre el cauce de la quebrada Trompetas.

De acuerdo con la información suministrada por los habitantes del barrio, estos zanjones fueron rellenos para la adecuación de los lotes, identificándose en algunos sitios afluencia de aguas de infiltración que se asocia a estos antiguos ejes de drenajes de las aguas lluvias.

#### **2.4.3 HIDROLOGÍA Y CLIMA**

Para la determinación de la precipitación de la zona de estudio se tomó la estación Tanque Jalisco y se comparó con la estación La Picota, la primera localizada al norte del área de estudio, y la segunda al nororiente sobre el valle del Tunjuelo. La **Figura 2.3** presenta las curvas de precipitación media multianual para la zona, tomadas del estudio realizado por INGEOCIM, 1.998.

##### **2.4.3.1 Estación Jalisco**

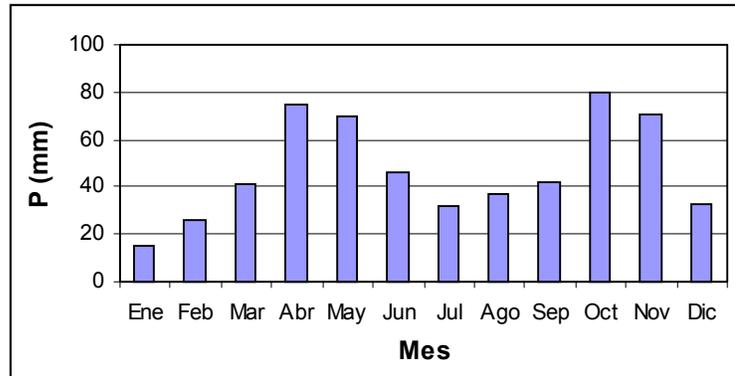
En la **Tabla 2.5** se consigna la información de la Estación Tanque Jalisco, allí se presenta una precipitación media multianual de 566,77 mm (**Figura 2.3**) la cual corresponde aproximadamente a la sumatoria de la distribución de precipitaciones que se muestra en la **Figura 2.4**, 568mm.

Tabla 2.5 Información de la Estación Pluviométrica Tanque de Jalisco

|                           |                   |
|---------------------------|-------------------|
| <b>Código</b>             | <b>2120509</b>    |
| Operador                  | EAAB              |
| Tipo                      | PVG               |
| Coordenadas               | 95470 N – 92720 E |
| Años de registro          | 40                |
| Precipitación media anual | 566,77 mm         |

Figura 2.3 Curvas de Precipitación Media Multianual para la Zona del Estudio

Figura 2.4 Distribución Temporal de la Precipitación en la Estación Tanque Jalisco



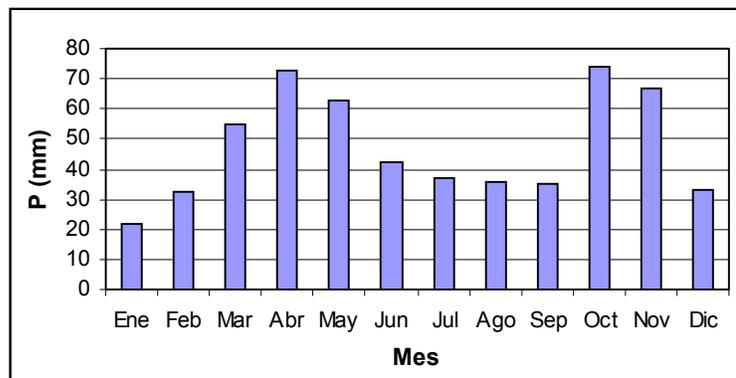
La **Figura 2.4** presenta la distribución temporal de la precipitación de la Estación Tanque Jalisco con características bimodales, con dos periodos de mayor precipitación durante los meses de abril - mayo para el primer semestre y octubre - noviembre para el segundo semestre..

#### 2.4.3.2 Estación La Picota

Esta estación igualmente presenta un régimen bimodal, con dos periodos lluviosos comprendidos entre los meses de Marzo a Mayo y Octubre a Noviembre, con dos periodos secos entre los meses de Julio a Septiembre y Diciembre a Febrero.

La precipitación media multianual de la estación La Picota es de 547.3 mm y el mes con mayor precipitación es octubre con un promedio mensual multianual de 73.6 mm, la **Figura 2.5** presenta la distribución de la precipitación de la estación la Picota.

Figura 2.5 Distribución Temporal de la Precipitación – Estación tanque La Picota



**2.4.4 RELACIÓN LLUVIA - DESLIZAMIENTO**

Los datos considerados para la lluvia crítica, duración y período de retorno fueron obtenidos a partir de la información del estudio “Zonificación de riesgos por remoción en masa de la localidad de Ciudad Bolívar, Rafael Uribe Uribe, San Cristóbal, Santafé, Chapinero y Usaquen” elaborado por INGEOCIM para la DPAAE y se consideraron de alta confiabilidad. De acuerdo con la **Figura 2.3**, presenta una precipitación media multianual aproximada de 600 mm.

Lluvia crítica = 0.3609 \* la lluvia anual en mm.  
 Lluvia crítica = 0.3609 \* 566.7 mm, entonces  
 Lluvia crítica = 215 mm. según **Figura 2.6**

Duración de la Lluvia crítica = 3.2829 \* (Lluvia crítica)<sup>0.4157</sup>  
 Duración de la Lluvia crítica = 3.2829 \* (209.11)<sup>0.4157</sup>  
 Duración de la Lluvia crítica = 30.26 días

**2.4.5 PERIODO DE RETORNO DE LA LLUVIA CRÍTICA**

Según la **Figura 2.7** el periodo de retorno de la lluvia crítica es de 30 años.

**2.4.6 CÁLCULO DE CAUDALES DE DISEÑO**

Para la cuantificación de los caudales que deben ser conducidos mediante las obras de drenaje adyacentes al talud, se acudió al estudio de tormentas elaborado por la firma IRH Ltda. 1996; en la cual el proyecto se localiza dentro de la Zona Cuatro de regionalización de las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia. En la **Tabla 2.6**, se presentan las características regionales IDF para la zona de estudio. La **Figura 2.8** muestra dichas curvas.

Tabla 2.6 Valores de Intensidad-Duración y Frecuencia – IDF (mm/hr) para la Zona IV

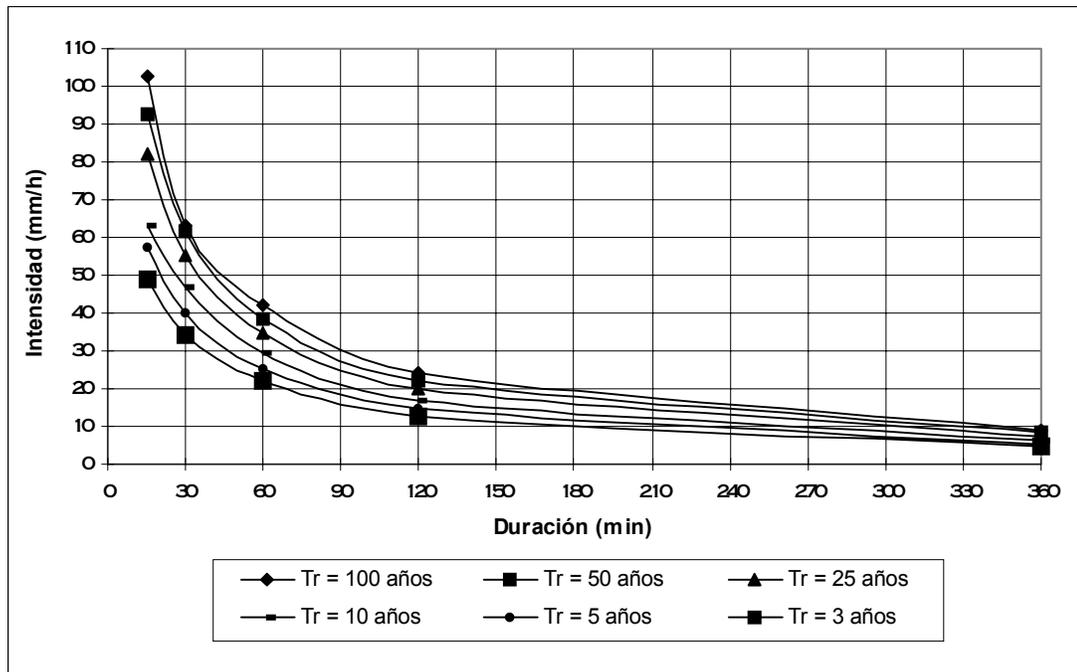
| <b>Duración (minutos)</b> | <b>Intensidad (mm)</b> |                  |                   |                   |                   |                    |
|---------------------------|------------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
|                           | <b>Tr 3 años</b>       | <b>Tr 5 años</b> | <b>Tr 10 años</b> | <b>Tr 25 años</b> | <b>Tr 50 años</b> | <b>Tr 100 años</b> |
| 15                        | 48.72                  | 57.42            | 63.38             | 82.21             | 92.49             | 102.67             |
| 30                        | 34.47                  | 39.91            | 46.74             | 55.40             | 61.82             | 63.19              |
| 60                        | 22.09                  | 25.34            | 29.43             | 34.59             | 38.43             | 42.23              |
| 120                       | 12.68                  | 14.55            | 16.95             | 19.92             | 22.15             | 24.35              |
| 360                       | 4.85                   | 5.50             | 6.37              | 7.47              | 8.27              | 9.06               |

Tomada de “Estudio para el Análisis y Caracterización de Tormentas en la Sabana de Bogotá”, 1.995

Figura 2.6 Curvas de Periodo de Retorno de la Precipitación Crítica para la Zona de Estudio

Figura 2.7 Curvas de periodo de Retorno de la Precipitación Crítica para la Zona de Estudio

Figura 2.8 Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia



Para los cálculos de caudal en cada una de las laderas del área de estudio se utilizó el método racional.

$$Q = C * I * A. / 360$$

C = Coeficiente de escorrentía

I = Intensidad, en mm/hr

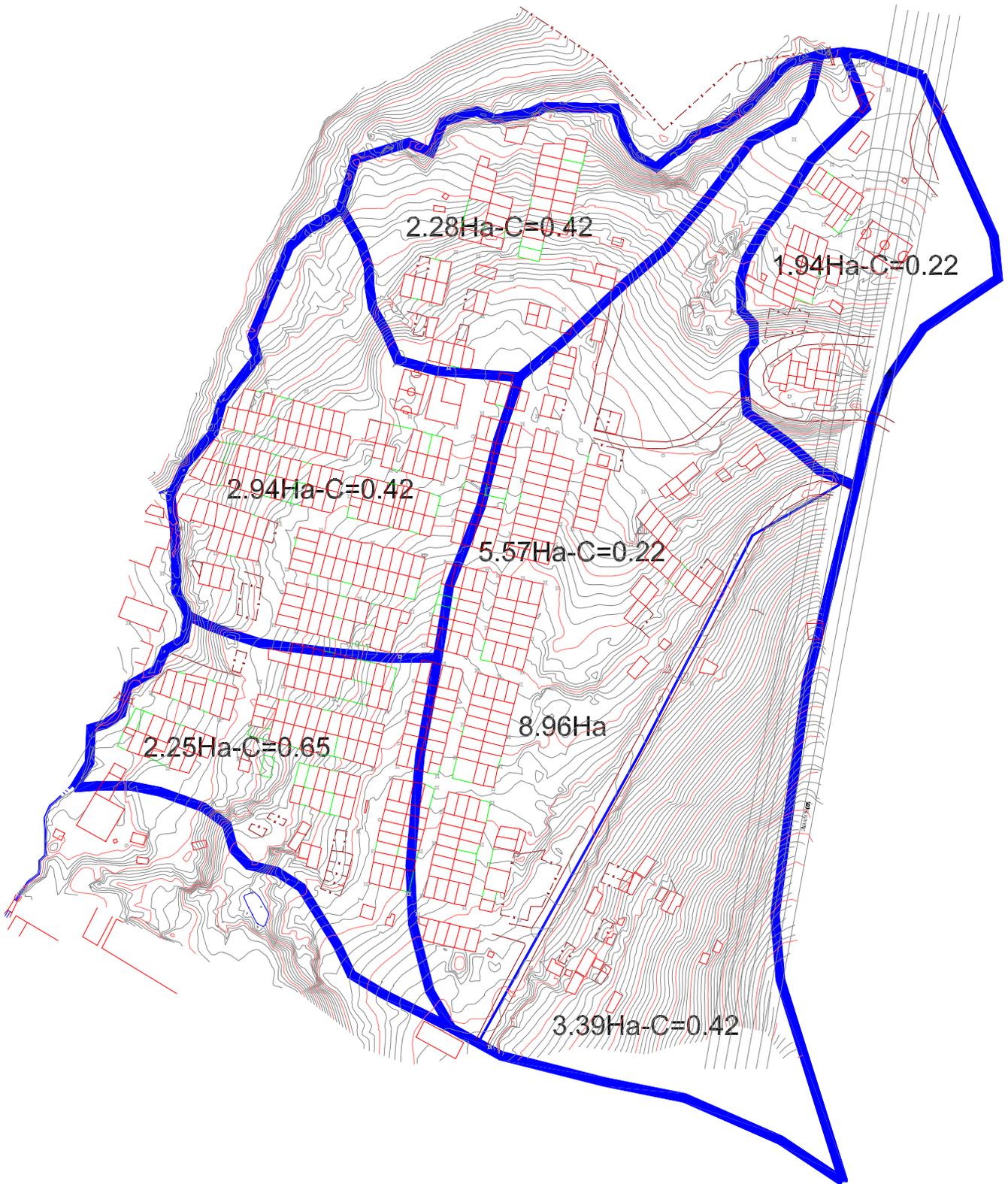
A = Área aferente, en Hectáreas

(360): Constante para ajuste de unidades

Se asumen los siguientes valores e coeficiente de escorrentía de acuerdo con MARSH 1991:

|  |      |
|--|------|
| Zonas de viviendas, área urbanizada:   | 0.60 |
| Laderas con pastos en suelos franco arenosos:                                  | 0.42 |
| Áreas urbanizadas, calles sin pavimentar (suelos franco arcillosos, rellenos): | 0.40 |
| Rellenos arcillosos:   | 0.22 |

La **Figura 2.9**, presenta las áreas de drenaje del área de estudio con los correspondientes coeficientes de escorrentía. La **Tabla 2.7** presenta los coeficientes de escorrentía superficial, valor considerando para el diseño de las obras en el capítulo de Medidas de Mitigación.



ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.  
DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

CONSULTOR :

UNIÓN TEMPORAL  
GEOURBANA LTDA.  
LUIS FERNANDO OROZCO Y CIA.

CONTRATO CCS - 334-00  
ESTUDIO DE ZONIFICACION DE RIESGOS POR REMOCION  
EN MASA EN EL BARRIO DIVINO NINO,  
DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLIVAR

TITULO : AREAS DE DRENAJE

FIGURA No. 2.9

Tabla 2.7 Valores del Coeficiente de Escorrentía Superficial

| <b>Zona</b> | <b>Área</b> | <b>C</b><br><b>(Coeficiente de Escorrentía Superficial)</b> |
|-------------|-------------|---|
| 1           | 2.28 Ha     | Suelos limo arcillosos<br>0.42                              |
| 2           | 2.94 Ha     | Suelos limo arenosos<br>0.42                                |
| 3           | 2.25 Ha     | Suelos arcillosos.<br>0.65                                  |
| 4           | 5.57 Ha     | Rellenos arcillosos<br>0.22                                 |
| 5           | 1.94 Ha     | Relleno limo arcilloso<br>0.22                              |
| 6           | 8.96 Ha     | Suelos arenosos<br>0.42                                     |

#### **2.4.7 FACTOR ANTRÓPICO**

La intervención antrópica en el área de estudio se inició anterior a la década de los 80 con las explotaciones de arcillas a cielo abierto para la fabricación de materiales de construcción dando como resultado la configuración de taludes de corte de 5 a 15m de altura y una excavaciones que superan los 5 mts de la superficie original del terreno, dejando zonas de explanación que posteriormente fueron utilizado para la adecuación urbanística de las laderas del costado sur del terreno.

En general se realizó una explanación y el relleno de los diferentes drenajes y cárcavas para la adecuación urbanística del terreno. El mapa de factor Antrópico y uso del suelo (**Plano 7**) presenta la ubicación espacial de las diferentes actividades antrópicas enmarcadas dentro de las unidades geomorfológicas. La **Tabla 2.8** expone el tipo intervención antrópica para las diferentes unidades geomorfológicas. Se enumeran en orden de importancia las diferentes actividades antrópicas asociadas al desarrollo urbanístico:

- Rellenos en zonas de drenajes y cárcavas (laderas AL1 y AL2).
- Explanaciones locales y disposición de rellenos superficiales para la adecuación de los terrenos erosionados y la configuración de las diferentes vías de acceso.
- Configuración de rellenos con espesores mayores a los 5m, localizados en drenajes y áreas de antiguas explotaciones ,chircales( Unidad LA2).
- Cortes y rellenos en media ladera para la configuración de las áreas de construcción de viviendas. Esta actividad se presenta principalmente en las laderas del costado más oriental( Laderas LE1 Y LE2).
- Vertimiento de aguas servidas sobre los taludes que delimitan el cauce de la Quebrada Trompetas, con la generación de procesos de erosión.

- Disposición actual de basuras y rellenos sin ningún control, principalmente sobre la zona de cárcava principal(LA1). Esta práctica cultural es favorecida por el urbanizador y genera un deterioro ambiental permanente y una condición de inestabilidad para estos nuevos rellenos.

Tabla 2.8 Evaluación de la Actividad Antrópica

| <b>Unidades geomorfológicas</b> | <b>Intervención Antrópica</b>  | <b>Grado de intervención</b> |
|---------------------------------|--|------------------------------|
| LE1-LE2                         | Cortes y rellenos en media ladera<br>Vertimiento de aguas servidas<br>Erosión por vertimiento de aguas servidas                      | Muy alto.<br>desfavorable    |
| LC1                             | Explanación y urbanización<br>Obstrucción Rellenos en drenajes   | Alto.<br>Favorable           |
| LC2                             | Vertimientos de aguas servidas.<br>Rellenos superficiales asociados a las vías de acceso   | Medio.<br>Desfavorable       |
| LC3                             | Obstrucción y Rellenos en drenajes naturales<br>Cortes y rellenos en media ladera  | Alto<br>Desfavorable         |
| AL1                             | Vertimiento de aguas, erosión.   | Bajo<br>Desfavorable.        |
| AL2                             | Obstrucción de cauces<br>Vertimiento de aguas  | Alto<br>Desfavorable         |
| LA1, LA2, LA3                   | Vertimiento e infiltración de aguas<br>Servidas.<br>Sobrecarga por disposición de nuevos rellenos<br>Asentamiento por construcciones | Muy alto.<br>Desfavorable    |

#### 2.4.8 COBERTURA DEL SUELO

La evaluación de la cobertura del suelo se diferenciaron en el plano no 7, los siguientes usos del suelo : Áreas de uso residencial con servicios y sin servicios; áreas de actividad minera; áreas de pastos y rastrojos; zonas verdes sin urbanizar.

#### 2.5 ESTUDIO GEOTÉCNICO

El estudio geotécnico tiene por objeto lograr los modelos litoestratigráficos propios del área de estudio y la caracterización geomecánica de los materiales presentes, principalmente de aquellos que intervienen en los problemas de estabilidad.

El estudio se llevó a cabo en varias etapas. La primera de ellas consistió en la investigación del subsuelo: exploración y ensayos in situ conducentes a conocer la estratigrafía y las propiedades mecánicas e hidráulicas de los materiales.

Posteriormente, se realizaron ensayos de laboratorio sobre las muestras extraídas y como conclusión se clasificaron los materiales y se obtuvieron los parámetros de resistencia, los cuales intervienen en los análisis de estabilidad y posterior estudio de la amenaza por remoción en masa. En el capítulo 3 se muestran las secciones de análisis y su estratigrafía.

### **2.5.1 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO**

El programa de investigación del subsuelo consistió en la ejecución de 30 perforaciones mecánicas distribuidas por toda el área haciendo hincapié en la cobertura de todas unidades geomorfológicas. De ellas 20 se realizaron por el método de percusión y los 10 restantes por el método de rotación; (en total, 118 ml.). Lo anterior fue complementado con 9 trincheras, 2 sondeos eléctricos verticales y 7 pruebas de infiltración para conocer la permeabilidad de los diferentes tipos de suelos.

En el **Plano 8** de investigación del subsuelo y en la **Tabla 2.9**, se muestra la localización en planta de los puntos de exploración y la unidad geomorfológica sobre la que se encuentran. Como se observa, los puntos mencionados se distribuyen a lo largo y ancho del área, con el fin de esbozar un modelo global del subsuelo.

Tabla 2.9 Coordenadas de la Exploración del Subsuelo

| <b>No.</b> | <b>Norte (m)</b> | <b>Este (m)</b> | <b>Prof (m)</b> | <b>UND GEOMORF.</b> | <b>Tipo de exploración</b> |
|------------|------------------|-----------------|-----------------|---------------------|----------------------------|
| 1          | 93.526,92        | 93.688,05       | 3,00            | Ro                  | Percusión                  |
| 2          | 93.507,19        | 93.661,85       | 3,00            | Ro                  | Rotación                   |
| 3          | 93.425,90        | 93.693,80       |                 | QAI1                | Trinchera                  |
| 4          | 93.398,80        | 93.658,08       | 7,00            | QC3                 | Percusión                  |
| 5          | 93.269,66        | 93.628,94       |                 | QAI2                | Trinchera                  |
| 6          | 93.264,75        | 93.587,04       | 7,00            | Ro                  | Percusión                  |
| 7          | 93.393,80        | 93.564,43       | 5,00            | Ro                  | Percusión                  |
| 8          | 93.437,00        | 93.491,41       | 3,00            | QC1/Tr              | Percusión                  |
| 9          | 93.372,58        | 93.442,00       | 5,00            | Ro                  | Percusión                  |
| 10         | 93.356,02        | 93.378,13       | 3,00            | Ro                  | Rotación                   |
| 11         | 93.334,42        | 93.321,48       | 7,00            | QC1/Tr              | Percusión                  |
| 12         | 93.306,77        | 93.472,60       | 3,00            | QC3                 | Rotación                   |
| 13         | 93.291,22        | 93.303,58       | 3,00            | QC2/QC3             | Percusión                  |
| 14         | 93.271,66        | 93.515,05       | 5,00            | QC3                 | Percusión                  |
| 15         | 93.215,33        | 93.524,12       | 5,00            | QC3                 | Percusión                  |
| 16         | 93.195,74        | 93.562,72       | 5,00            | QAI2                | Percusión                  |
| 17         | 93.162,10        | 93.506,14       | 3,00            | QC3                 | Rotación                   |
| 18         | 93.208,49        | 93.394,11       | 3,00            | QSR                 | Rotación                   |
| 19         | 93.192,38        | 93.444,70       | 5,00            | QSR                 | Percusión                  |
| 20         | 93.242,83        | 93.441,15       | 3,00            | QC3                 | Percusión                  |
| 21         | 93.190,10        | 93.418,11       | 7,00            | QSR                 | Percusión                  |

| <b>No.</b> | <b>Norte (m)</b> | <b>Este (m)</b> | <b>Prof (m)</b> | <b>UND GEOMORF.</b> | <b>Tipo de exploración</b> |
|------------|------------------|-----------------|-----------------|---------------------|----------------------------|
| 22         | 93.137,71        | 93.355,87       | 3,00            | Qsr                 | Rotación                   |
| 23         | 93.212,22        | 93.340,23       | 3,00            | Qsr                 | Percusión                  |
| 24         | 93.175,75        | 93.350,66       | 3,00            | R2                  | Percusión                  |
| 25         | 93.235,60        | 93.302,36       | 3,00            | Qsr                 | Percusión                  |
| 26         | 93.198,94        | 93.287,78       |                 | Qsr                 | Trinchera                  |
| 27         | 93.176,67        | 93.313,71       |                 | Qsr                 | Trinchera                  |
| 28         | 93.451,20        | 93.536,24       |                 | QC1/TR              | Trinchera                  |
| 29         | 93.389,76        | 93.299,61       |                 | QC1/Tr              | Trinchera                  |
| 30         | 93.387,37        | 93.594,25       | 3,00            | R2                  | Percusión                  |
| 30A        | 93.407,24        | 93.303,23       | 3,00            | QC1/Tr              | Percusión                  |
| 31         | 93.387,19        | 93.261,88       |                 | QC1/Tr              | Trinchera                  |
| 32         | 93.454,06        | 93.232,89       |                 | Tr                  | Trinchera                  |
| 33         | 93.346,13        | 93.215,92       |                 | QC1/Tr              | Trinchera                  |
| 34         | 93.387,37        | 93.594,25       | 3,00            | QC3                 | Rotación                   |
| 35         | 93.391,30        | 93.491,28       | 3,00            | Ro                  | Percusión                  |
| 36         | 93.335,18        | 93.363,88       | 3,00            | Ro                  | Rotación                   |
| 37         | 93.312,74        | 93.271,57       | 3,00            | QC2/QC3             | Rotación                   |
| 38         | 93.264,66        | 93.472,46       | 3,00            | QC2/Sr              | Rotación                   |

Las profundidades de los sondeos oscilan entre 3 y 10 metros, de acuerdo con los espesores tanto de los rellenos como de los suelos superficiales encontrados. Durante su realización, se elaboraron los registros de perforación respectivos que se muestran en el **Anexo C**.

Los sondeos eléctricos verticales (SEV) se localizaron sobre la Cra. 15D, por calles 78B Bis sur y 79 Bis sur aproximadamente, y tuvieron como fin establecer el espesor del relleno y por correlación establecer tipos de material.

El dispositivo de medida utilizado para los SEV es el llamado Schlumberger, que consiste en una línea de emisión que permite entre dos electrodos A – B, hacer pasar una corriente eléctrica continua de intensidad I. Se mide la diferencia de potencial (Delta V) entre los electrodos M – N que constituyen la línea de recepción. Los electrodos A – B y M - N están dispuestos simétricamente con relación al centro “O” del dispositivo. La profundidad de penetración del sondeo es directamente proporcional a la separación entre los electrodos; es decir, a medida que se van separando los electrodos, la corriente tenderá a pasar cada vez entre capas más profundas. La inyección de corriente fue de 180 voltios.

Con los ensayos se obtuvo que el espesor del depósito alcanza hasta 15 m. Los resultados se aprecian en la **Tabla 2.10**.

Tabla 2.10 Características y Resultados de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)

| <b>Sondeo No.</b> | <b>Localización</b>                             | <b>Resistividad (ohmios)</b> | <b>Espesor (m)</b> | <b>Prof. (m)</b> | <b>Litología</b>          |
|-------------------|---|------------------------------|--------------------|------------------|---------------------------|
| 1                 | Cra 15D por Calle 78B Bis sur                   | 135                          | 0.5                | 0.5              | Relleno seco              |
|                   |   | 51                           | 3.3                | 3.8              | Relleno anisotrópico seco |
|                   |   | 78                           | 11.2               | 15.0             | Relleno anisotrópico sat. |
|                   | X=993.521.7mN<br>Y=993.409.2mE<br>Z=2631.5 msmn | 250                          | >45.0              | >60.0            | Arenisca seca             |
| 2                 | Cra 15D por Calle 79 Bis sur                    | 420                          | 0.5                | 0.5              | Relleno seco              |
|                   |   | 87                           | 2.5                | 3.0              | Relleno anisotrópico seco |
|                   |   | 47.5                         | 11.4               | 14.1             | Relleno anisotrópico seco |
|                   | X=993.356 mN<br>Y=993.347.5mE<br>Z=2655.5 msmn  | 21.5                         | >15.9              | >30.0            | Arcillas                  |

Las diferentes perforaciones, apiques y trincheras fueron interpretados en las secciones geotécnicas que se muestran en las **Figuras 3.1 a 3.16**; en ellas se aprecian los materiales involucrados, sus espesores, el nivel del agua y la morfometría y se describen en detalle en el numeral 3.5.3.

## 2.5.2 ENSAYOS IN-SITU

Durante la ejecución de las perforaciones se llevaron a cabo simultáneamente dos actividades conducentes a obtener la caracterización geomecánica de los materiales: ensayos in situ y muestreo detallado. En cuanto a los ensayos in situ, se practicaron el de penetración estándar o SPT en los rellenos predominantemente arenosos, el de corte con veleta de campo o VST, en los rellenos y materiales arcillosos y el de precolación en diferentes tipos de materiales. Los tres, manteniendo las especificaciones de las normas técnicas: ASTM D-1586/67, ASTM D-2573/72 y USBR E-18, respectivamente.

Los ensayos de percolación se realizaron en diferentes zonas como se indica en el **Plano 8**, con el fin de establecer la permeabilidad de los distintos materiales; los resultados se resumen en la **Tabla 2.11** y las memorias de cálculo se muestran en el **Anexo C – Figuras 1.15 a 1.21**. La metodología empleada en estos ensayos corresponde a la de la cartilla de Eternit para la construcción de pozos sépticos: Se hace una excavación en forma de apique a la profundidad a la cual se quiere realizar el ensayo. A este nivel se hace una oquedad de 50 cm de profundidad y 30cm \* 30cm en planta; dicha oquedad se llena de agua hasta la superficie y se permite que el agua se evacúe una vez sin medir tiempos, luego se vuelve a llenar de agua y se toman los tiempos de evacuación. Este ensayo es comúnmente utilizado y se interpreta con base en ecuaciones de flujo de agua hacia un pozo.

Tabla 2.11 Resultados de las Percolaciones

| <b>Percolación No.</b> | <b>Unidad geomorfológica</b> | <b>Profundidad (m)</b> | <b>Permeabilidad, k (cm/seg * 10<sup>-4</sup>)</b> |
|------------------------|------------------------------|------------------------|--|
| 1                      | LE1                          | 1.0                    | 23.50  |
| 2                      | LE2                          | 1.0                    | 5.22   |
| 3                      | LA1                          | 1.0                    | 0.00   |
| 4                      | LC2                          | 1.0                    | 13.30  |
| 5                      | LA1                          | 1.0                    | 7.84   |
| 6                      | LC3                          | 1.0                    | 3.80   |
| 7                      | LR1                          | 2.0                    | 10.60  |

Para el SPT se utilizó una cuchara partida de 2" de diámetro y dos pies de longitud, un martillo de 140 lb de peso en forma de donut y una guía de tubo por la cual se desliza el martillo, con 30" de caída y topes en sus partes superior e inferior. Para el levantamiento del martillo se enroscó la manila mediante dos vueltas en el malacate.

Este ensayo tuvo por objeto determinar la densidad y el ángulo de fricción interna de los rellenos y su variación con la profundidad. En la **Tabla 2.12** se relaciona  $N_{SPT}$ , es decir el número de golpes de campo necesario para penetrar en el terreno el muestreador de cuchara partida una profundidad de un pie o doce (12) pulgadas.

El ensayo de corte con veleta, efectuado también de acuerdo con la norma técnica, permitió obtener el valor de resistencia no drenada de los materiales arcillosos. En la **Tabla 2.12** se presentan los resultados de estos ensayos junto con los de laboratorio referidos a la profundidad en cada sondeo.

### **2.5.3 ENSAYOS DE LABORATORIO**

En lo que respecta al muestreo, para los suelos cohesivos se tomaron especímenes inalterados con el tubo de pared delgada o tubo Shelby de 2.5" de diámetro y 60 cm. de longitud, estas muestras aparecen en los registros de perforación del **Anexo C** con la convención "SH". Para los suelos arenosos, se obtuvieron dos tipos de muestras alteradas: las de cuchara partida o split spoon a la profundidad de ejecución del SPT y que en el anexo se localizan a escala; el segundo tipo de muestras alteradas se tomó directamente del barreno de avance, su convención es "M". En las trincheras, se extrajeron muestras inalteradas tipo bloque de los materiales naturales.

Las muestras extraídas fueron caracterizadas en laboratorio, se determinaron tanto sus propiedades físicas como mecánicas, dependiendo del grado de alteración de la muestra.

Tabla 2.12 Resumen de los Resultados de los Ensayos de Campo y Laboratorio

| SONDEO | MUESTRA |      | DESCRIPCIÓN                         | Prof. (m) |       |      | $\gamma$<br>(ton/m <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$<br>(ton/m <sup>3</sup> ) | LÍMITES DE CONSISTENCIA |      |      |      |      |       | RESIST. NO DRENADA |                                 |                                   |                             | CORTE DIRECTO  |  |                             |    | SPT |    |                  |  |
|--------|---------|------|-------------------------------------|-----------|-------|------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|------|------|------|------|-------|--------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------|--|-----------------------------|----|-----|----|------------------|--|
|        | No.     | Tipo |                                     | Inicial   | Final | NF   |                                   |                                     | LL                      | LP   | IP   | Wn   | IL   | PT200 | USC                | PENET.<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | VEL CAMP<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | c'<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\phi'$<br>(°) | c' <sub>r</sub><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\phi'$ <sub>r</sub><br>(°) | 6" | 6"  | 6" | N <sub>SPT</sub> |  |
| 1      | 1       | SS   | Relleno en arcilla y escombros      | 0,00      | 1,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                | 154                                      | 12                          | 10 | 22  |    |                  |  |
| 1      | 2       | SS   | Relleno arcillo - arenoso           | 1,00      | 1,45  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      | 0,58  |                    |                                 |                                   |                             |                | 2  | 2                           | 2  | 4   |    |                  |  |
| 1      | 3       | SS   | Relleno arcillo - arenoso           | 1,45      | 3,10  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      | 0,78  |                    |                                 |                                   |                             |                | 2  | 2                           | 2  | 4   |    |                  |  |
| 1      | 4       | SS   | Relleno arcillo - arenoso           | 3,10      | 3,60  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      | 0,78  |                    |                                 |                                   |                             |                | 2  | 1                           | 2  | 3   |    |                  |  |
| 2      | 1       | SS   | Relleno heterogéneo arenoso         | 0,00      | 0,80  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |  |
| 2      | 2       | SS   | Arcilla arenosa café                | 0,80      | 1,80  |      | 2,26                              | 1,91                                | 38                      | 13,6 | 24,4 | 18,5 | 20,3 | 61,2  | CL                 | 1,70                            | 1,17                              |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |  |
| 2      |         |      | Arena fina café                     | 1,80      | 2,70  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    | 1,17                            |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |  |
| 2      |         |      | Arcilla arenosa rojiza              | 2,70      | 3,20  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    | 1,17                            |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |  |
| 3      |         |      | Capa vegetal                        | 0,00      | 0,30  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |  |
| 3      |         |      | Arcilla arenosa café                | 0,30      | 1,80  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |  |
| 3      |         |      | Gravas en matriz arcillosa          | 1,80      | 10,00 |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |  |
| 4      | 1       | SS   | Arcilla café                        | 0,00      | 0,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                | 17                                       | 15                          | 38 | 53  |    |                  |  |
| 4      | 2       | SS   | Arcilla café                        | 0,50      | 1,00  | 0,80 |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                | 34                                       | 37                          | 40 | 77  |    |                  |  |
| 4      | 3       | SS   | Arcilla café                        | 1,00      | 1,50  | 0,80 |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                | 15                                       | 16                          | 22 | 38  |    |                  |  |
| 4      |         |      | Arcilla café                        | 1,50      | 2,10  | 0,80 |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |  |
| 4      |         |      | Gravas en matriz areno arcillosa    | 2,10      | 3,00  | 0,80 |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |  |
| 4      | 4       | SS   | Gravas en matriz areno arcillosa    | 3,00      | 3,50  | 0,80 |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  | 45                          |    |     |    |                  |  |
| 4      | 5       | SS   | Gravas en matriz areno arcillosa    | 3,50      | 6,00  | 0,80 |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  | 22                          |    |     |    |                  |  |
| 4      | 6       | SS   | Gravas en matriz areno arcillosa    | 6,00      | 6,60  | 0,80 |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |  |
| 5      |         |      | Relleno arcillo limoso café         | 0,00      | 0,40  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |  |
| 5      | 1       | SS   | Arcilla café                        | 0,40      | 1,80  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |  |
| 6      | 1       | SS   | Relleno en arcilla y escombros      | 0,00      | 0,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  | 5                           | 6  | 10  | 16 |                  |  |
| 6      | 2       | SS   | Relleno en arcilla y escombros      | 0,50      | 1,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  | 6                           | 8  | 7   | 15 |                  |  |
| 6      | 3       | SS   | Relleno en arcilla y escombros      | 1,00      | 1,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  | 8                           | 9  | 9   | 18 |                  |  |
| 6      |         |      | Relleno en arcilla y escombros      | 1,50      | 3,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |  |
| 6      | 4       | SS   | Relleno en arcilla y escombros      | 3,00      | 3,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  | 3                           | 4  | 6   | 10 |                  |  |
| 6      |         |      | Relleno en arcilla y escombros      | 3,50      | 4,57  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |  |
| 6      | 5       | SS   | Relleno en arcilla y escombros      | 4,57      | 4,90  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  | 3                           | 8  | 8   | 16 |                  |  |
| 6      | 5       | SS   | Relleno arcillo arenoso gris oscuro | 4,90      | 5,07  |      |                                   |                                     | 17,7                    |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |  |
| 6      |         |      | Relleno arcillo arenoso gris oscuro | 5,07      | 5,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |  |
| 6      | 6       | SS   | Relleno arcillo arenoso gris oscuro | 5,50      | 6,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  | 8                           | 4  | 4   | 8  |                  |  |
| 6      |         |      | Relleno arcillo arenoso gris oscuro | 6,00      | 6,70  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |  |
| 6      |         |      | Arcilla arenosa café                | 6,70      | 7,20  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |  |
| 6      | 7       | SS   | Arcilla arenosa café                | 7,20      | 7,70  |      | 2,16                              | 1,87                                | 31,7                    | 14,6 | 17,1 | 15,4 | 4,5  | 57,3  | CL                 | 2,10                            |                                   |                             |                |  | 3                           | 5  | 9   | 14 |                  |  |
| 6      |         |      | Arcilla arenosa café                | 7,70      | 8,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |  |
| 6      | 8       | SS   | Arcilla arenosa café                | 8,50      | 9,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  | 8                           | 9  | 15  | 24 |                  |  |
| 7      | 1       | SS   | Relleno heterogéneo arenoso         | 0,00      | 0,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  | 3                           | 10 | 10  | 20 |                  |  |
| 7      |         |      | Relleno heterogéneo arenoso         | 0,50      | 1,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |  |
| 7      | 2       | SS   | Relleno heterogéneo arenoso         | 1,00      | 1,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  | 1                           | 1  | 1   | 2  |                  |  |
| 7      | 3       | SS   | Relleno heterogéneo arenoso         | 1,50      | 2,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  | 4                           | 4  | 4   | 8  |                  |  |
| 7      |         |      | Relleno en arcilla gris oscura      | 2,00      | 3,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |  |
| 7      | 4       | SS   | Relleno en arcilla gris oscura      | 3,00      | 3,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  | 2                           | 6  | 7   | 13 |                  |  |
| 7      |         |      | Relleno en arcilla gris oscura      | 3,50      | 4,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |  |
| 7      | 5       | SS   | Relleno en arcilla gris oscura      | 3,50      | 4,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  | 4                           | 11 | 10  | 21 |                  |  |
| 7      |         |      | Relleno en arcilla gris oscura      | 4,00      | 4,80  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |  |

**ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA EN EL BARRIO DIVINO NIÑO, LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR**

Tabla 2.12 Resumen de los Resultados de los Ensayos de Campo y Laboratorio (Continuación)

| SONDEO | MUESTRA |      | DESCRIPCIÓN                         | Prof. (m) |       |      | $\gamma$<br>(ton/m <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$<br>(ton/m <sup>3</sup> ) | LÍMITES DE CONSISTENCIA |      |      |                |      |       | RESIST. NO DRENADA |                                 |                                   |                             | CORTE DIRECTO  |  |                             |    | SPT |    |                  |    |
|--------|---------|------|-------------------------------------|-----------|-------|------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|------|------|----------------|------|-------|--------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------|--|-----------------------------|----|-----|----|------------------|----|
|        | No.     | Tipo |                                     | Inicial   | Final | NF   |                                   |                                     | LL                      | LP   | IP   | W <sub>n</sub> | IL   | PT200 | USC                | PENET.<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | VEL CAMP<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | c'<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\phi'$<br>(°) | c' <sub>r</sub><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\phi'$ <sub>r</sub><br>(°) | 6" | 6"  | 6" | N <sub>SPT</sub> |    |
|        |         |      |                                     |           |       |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  | 6" |
| 7      | 6       | SS   | Relleno arenoso café                | 4,80      | 5,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             | 10             | 9  | 15                          | 24 |     |    |                  |    |
| 7A     |         |      | Relleno arcilloso café              | 0,00      | 1,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 7A     | 1       | SH   | Relleno arcilloso café              | 1,50      | 2,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 7A     |         |      | Relleno arcilloso café              | 2,00      | 2,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 7A     |         |      | Relleno arcillo arenoso gris oscuro | 2,50      | 4,60  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 7A     |         |      | Relleno en arena                    | 4,60      | 5,20  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 8      | 1       | SS   | Relleno arcillo arenoso gris oscuro | 0,00      | 0,80  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             | 2              | 4  | 4                           | 8  |     |    |                  |    |
| 8      |         |      | Arcilla arenosa                     | 0,80      | 1,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 8      | 2       | SS   | Arena arcillosa café                | 1,00      | 1,50  |      | 2,27                              | 2,06                                | 18,9                    | 9,1  | 9,8  | 10,6           | 16   | 45,5  | SC                 | 4,10                            |                                   |                             | 10             | 10                                       | 13                          | 23 |     |    |                  |    |
| 8      |         |      | Arena arcillosa café                | 1,50      | 2,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 8      | 3       | SS   | Arena arcillosa café                | 2,00      | 2,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             | 7              | 8  | 13                          | 21 |     |    |                  |    |
| 8      | 4       | SS   | Arena arcillosa café                | 2,50      | 2,80  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 8      |         |      | Arenisca                            | 2,80      | 3,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             | 50/0"          |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 9      | 1       | SS   | Relleno heterogéneo arenoso         | 0,00      | 0,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             | 4              | 2  | 3                           | 5  |     |    |                  |    |
| 9      | 2       | SS   | Relleno heterogéneo arenoso         | 0,50      | 1,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             | 5              | 3  | 2                           | 5  |     |    |                  |    |
| 9      |         |      | Relleno heterogéneo arenoso         | 1,00      | 1,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 9      | 3       | SS   | Relleno heterogéneo arenoso         | 1,50      | 2,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             | 2              | 2  | 2                           | 4  |     |    |                  |    |
| 9      |         |      | Relleno heterogéneo arenoso         | 2,00      | 3,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 9      | 4       | SS   | Relleno heterogéneo arenoso         | 3,50      | 4,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             | 3              | 2  | 4                           | 6  |     |    |                  |    |
| 9      | 5       | SS   | Relleno heterogéneo arenoso         | 4,00      | 5,00  | 4,50 |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             | 4              | 2  | 2                           | 4  |     |    |                  |    |
| 9      | 6       | SS   | Relleno arcilloso café              | 5,00      | 5,50  | 4,50 |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             | 3              | 3  | 4                           | 7  |     |    |                  |    |
| 9      | 7       | SS   | Arcillolita meteorizada café        | 5,50      | 6,00  | 4,50 |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             | 13             | 32                                       | 34                          | 66 |     |    |                  |    |
| 9      |         |      | Arcillolita meteorizada café        | 6,00      | 7,60  | 4,50 |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 9      | 8       | SS   | Arcillolita meteorizada café        | 7,60      | 8,10  | 4,50 |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             | 21             | 17                                       | 18                          | 35 |     |    |                  |    |
| 10     |         |      | Relleno arcilloso café              | 0,00      | 1,20  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 10     |         |      | Relleno arcilloso café              | 1,20      | 1,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 10A    | 1       | SS   | Relleno arcilloso café              | 0,00      | 1,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 10A    | 2       | SS   | Relleno arcillo arenoso gris oscuro | 1,00      | 1,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    | 0,89                            |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 10A    |         |      | Relleno arcillo arenoso gris oscuro | 1,50      | 2,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    | 0,85                            |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 10A    |         |      | Relleno arcillo arenoso gris oscuro | 2,00      | 3,30  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    | 0,50                            |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 10A    | 3       | SS   | Arcilla con grava                   | 3,30      | 3,80  |      | 2                                 | 1,7                                 | 31,7                    | 15,8 | 15,9 | 21,7           | 37,1 | 50,8  | CL                 | 0,50                            |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 10A    |         |      | Arcilla con grava                   | 3,80      | 5,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    | 0,81                            |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 10A    |         |      | Arcilla con grava                   | 5,00      | 5,40  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    | 0,74                            |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 11     | 1       | SS   | Relleno arcilloso café              | 0,00      | 0,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             | 25             | 9  | 10                          | 19 |     |    |                  |    |
| 11     | 2       | SS   | Relleno arcilloso café              | 0,50      | 1,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             | 7              | 6  | 5                           | 11 |     |    |                  |    |
| 11     | 3       | SS   | Relleno arcilloso café              | 1,00      | 1,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             | 2              | 1  | 2                           | 3  |     |    |                  |    |
| 11     |         |      | Relleno arcilloso café              | 1,50      | 2,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 11     | 4       | SS   | Relleno arcilloso café              | 2,00      | 2,70  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             | 1              | 2  | 2                           | 4  |     |    |                  |    |
| 11     |         |      | Relleno arcillo arenoso gris oscuro | 2,70      | 3,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 11     | 5       | SS   | Relleno arcillo arenoso gris oscuro | 3,50      | 4,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             | 2              | 2  | 4                           | 6  |     |    |                  |    |
| 11     |         |      | Relleno arcillo arenoso gris oscuro | 4,00      | 4,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 11     | 6       | SS   | Relleno arcillo arenoso gris oscuro | 4,50      | 5,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             | 3              | 4  | 4                           | 8  |     |    |                  |    |
| 11     |         |      | Relleno arcillo arenoso gris oscuro | 5,00      | 6,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |     |    |                  |    |
| 11     | 7       | SS   | Relleno arcillo arenoso gris oscuro | 6,00      | 6,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |                |      |       |                    |                                 |                                   |                             | 3              | 4  | 3                           | 7  |     |    |                  |    |



Tabla 2.12 Resumen de los Resultados de los Ensayos de Campo y Laboratorio (Continuación)

| SONDEO | MUESTRA |      | DESCRIPCIÓN                                    | Prof. (m) |       |      | $\gamma$<br>(ton/m <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$<br>(ton/m <sup>3</sup> ) | LÍMITES DE CONSISTENCIA |      |      |      |       |       | RESIST. NO DRENADA |                                 | CORTE DIRECTO                     |                             |                |  | SPT                         |    |    |    |
|--------|---------|------|--|-----------|-------|------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|------|------|------|-------|-------|--------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------|--|-----------------------------|----|----|----|
|        | No.     | Tipo |  | Inicial   | Final | NF   |                                   |                                     | LL                      | LP   | IP   | Wn   | IL    | PT200 | USC                | PENET.<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | VEL CAMP<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | c'<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\phi'$<br>(°) | c' <sub>r</sub><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\phi'$ <sub>r</sub><br>(°) | 6" | 6" | 6" |
| 19     | 1       | SS   | Relleno arcillo arenoso gris oscuro            | 0,00      | 1,10  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       | 0,85               |                                 |                                   |                             |                | 2  | 2                           | 4  | 6  |    |
| 19     | 2       | SS   | Relleno arcillo arenoso café                   | 1,10      | 1,55  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       | 0,46               |                                 |                                   |                             |                | 1  | 1                           | 1  | 2  |    |
| 19     | 3       | SS   | Relleno arcillo arenoso café                   | 1,55      | 2,80  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       | 0,42               |                                 |                                   |                             |                | 2/18"                                    |                             |    |    |    |
| 19     |         |      | Relleno arcillo arenoso café                   | 2,80      | 3,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |    |    |
| 19     | 4       | SS   | Relleno arcillo arenoso café                   | 3,00      | 3,50  |      |                                   |                                     |                         | 24   | 16,9 | 7,1  | 18,2  | 18,3  | 70,8               | CL-ML                           | 1,17                              |                             |                | 5  | 5                           | 8  | 13 |    |
| 19     | 5       | SS   | Relleno arcillo arenoso café                   | 3,50      | 4,40  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                | 5  | 5                           | 10 | 15 |    |
| 19     |         |      | Arcilla arenosa café clara                     | 4,40      | 5,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |    |    |
| 19     | 6       | SS   | Arcilla arenosa café clara                     | 5,00      | 5,60  |      | 2,2                               | 1,9                                 | 36,2                    | 12,6 | 23,6 | 15,7 | 13,2  | 65,9  | CL                 | 4,50                            | 1,17                              |                             |                | 5  | 6                           | 17 | 23 |    |
| 20     | 1       | SS   | Relleno en escombros                           | 0,00      | 0,30  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                | 7  | 5                           | 4  | 9  |    |
| 20     | 2       | SS   | Arcilla café                                   | 0,30      | 1,90  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       | 1,13               |                                 |                                   |                             |                | 2  | 4                           | 5  | 9  |    |
| 20     | 3       | SS   | Arena arcillosa café                           | 1,90      | 2,70  |      | 2,27                              | 2,06                                | 27                      | 13,3 | 13,7 | 13,7 | 3,2   | 49,4  | SC                 | 1,17                            |                                   |                             |                | 5  | 5                           | 6  | 11 |    |
| 20     | 4       | SS   | Arena arcillosa café                           | 2,70      | 3,10  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                | 7  | 7                           | 10 | 17 |    |
| 21     | 1       | SS   | Relleno en arcilla gris oscura                 | 0,00      | 0,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                | 9  | 4                           | 6  | 10 |    |
| 21     | 2       | SS   | Relleno en arcilla gris oscura                 | 0,50      | 1,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                | 5  | 6                           | 4  | 10 |    |
| 21     | 3       | SS   | Relleno en arcilla gris oscura                 | 1,00      | 1,50  | 1,00 |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                | 7  | 8                           | 12 | 20 |    |
| 21     | 4       | SS   | Relleno en arcilla gris oscura                 | 1,50      | 2,00  | 1,00 |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                | 11                                       | 13                          | 16 | 29 |    |
| 21     |         |      | Relleno en arcilla gris oscura                 | 2,00      | 2,40  | 1,00 |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |    |    |
| 21     |         |      | Relleno en arcilla arenosa café                | 2,40      | 3,00  | 1,00 |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |    |    |
| 21     | 5       | SS   | Relleno en arcilla arenosa café                | 3,00      | 3,50  | 1,00 |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                | 13                                       | 24                          | 22 | 46 |    |
| 21     |         |      | Relleno en arcilla arenosa café                | 3,50      | 4,30  | 1,00 |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |    |    |
| 21     |         |      | Arcilla café con arenas                        | 4,30      | 4,50  | 1,00 |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |    |    |
| 21     | 6       | SS   | Arcilla café con arenas                        | 4,50      | 5,00  | 1,00 |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                | 17                                       | 15                          | 18 | 33 |    |
| 21     |         |      | Arcilla café con arenas                        | 5,00      | 6,00  | 1,00 |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |    |    |
| 21     | 7       | SS   | Arcilla café con arenas                        | 6,00      | 6,50  | 1,00 |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                | 22                                       | 18                          | 25 | 43 |    |
| 21     |         |      | Arcilla café con arenas                        | 6,50      | 6,70  | 1,00 |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |    |    |
| 21     |         |      | Arcilla café con vetas rojizas                 | 6,70      | 7,50  | 1,00 |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |    |    |
| 21     | 8       | SS   | Arcilla café con vetas rojizas                 | 7,50      | 8,00  | 1,00 |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                | 7  | 17                          | 15 | 32 |    |
| 21     |         |      | Arcilla café con vetas rojizas                 | 8,00      | 9,10  | 1,00 |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |    |    |
| 22     | 1       | SS   | Relleno arcillo arenoso café                   | 0,00      | 1,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |    |    |
| 22     | 2       | SS   | Relleno arcillo arenoso café                   | 1,00      | 3,40  |      |                                   |                                     | 32,2                    | 14,1 | 18,1 | 10,8 | -18   | 64,7  | CL                 | 1,17                            |                                   |                             |                |  |                             |    |    |    |
| 22     |         |      | Relleno arcillo arenoso café                   | 3,40      | 3,80  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |    |    |
| 22     |         |      | Relleno arcillo arenoso café                   | 3,80      | 4,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |    |    |
| 23     | 1       | SS   | Relleno en escombros                           | 0,00      | 0,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                | 2  | 3                           | 4  | 7  |    |
| 23     | 2       | SS   | Relleno arcillo arenoso café con vetas rojizas | 0,50      | 1,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                | 6  | 8                           | 11 | 19 |    |
| 23     |         |      | Relleno arcillo arenoso café con vetas rojizas | 1,00      | 2,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |    |    |
| 23     | 3       | SS   | Relleno arcillo arenoso café con vetas rojizas | 2,00      | 2,50  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       | 1,17               |                                 |                                   |                             |                | 4  | 8                           | 13 | 21 |    |
| 23     |         |      | Relleno arcillo arenoso café con vetas rojizas | 2,50      | 2,70  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |    |    |
| 23     |         |      | Arcilla café con vetas rojizas                 | 2,70      | 3,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |    |    |
| 23     | 4       | SS   | Arcilla café con vetas rojizas                 | 3,00      | 3,60  |      | 2                                 | 1,7                                 | 39,5                    | 19,1 | 20,4 | 9,6  | -46,5 | CL    |                    |                                 |                                   |                             |                | 30                                       | 35                          | 40 | 75 |    |
| 24     | 1       | SS   | Relleno en escombros                           | 0,00      | 0,30  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                | 5  | 5                           | 4  | 9  |    |
| 24     |         |      | Relleno arcillo arenoso café                   | 0,30      | 1,00  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |    |    |
| 24     | 2       | SS   | Relleno arcillo arenoso café                   | 1,00      | 1,50  |      |                                   |                                     | 33,9                    | 13,6 | 20,3 | 15,7 | 10,2  | 57,7  | CL                 | 2,70                            |                                   |                             |                | 2  | 2                           | 4  | 6  |    |
| 24     |         |      | Relleno arcillo arenoso café                   | 1,50      | 1,90  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                |  |                             |    |    |    |
| 24     | 3       | SS   | Relleno arcillo arenoso café                   | 1,90      | 2,40  |      |                                   |                                     |                         |      |      |      |       |       |                    |                                 |                                   |                             |                | 6  | 10                          | 11 | 21 |    |





Así, las muestras alteradas fueron utilizadas para su descripción, conocer la humedad natural<sup>1</sup> (33 ensayos), los límites de consistencia<sup>2</sup> (29 ensayos), la granulometría<sup>3</sup> (3 ensayos) y porcentaje pasa tamiz 200 (24 ensayos) y con ellos, la clasificación USCS de los materiales<sup>4</sup> (29 determinaciones). A algunas muestras de split spoon se les determinó el peso unitario<sup>5</sup> pues su forma regular permitió una determinación aproximada de esta propiedad. Los valores resultantes fueron adoptados en el estudio dadas las dificultades para la extracción de muestras inalteradas en esos materiales.

De las muestras inalteradas tipo shelby, además de las propiedades anteriores, se obtuvieron el peso unitario total<sup>6</sup> (16) y seco (16) y la resistencia a la penetración inalterada o RPI con penetrómetro de bolsillo<sup>7</sup> (23). Estos resultados fueron empleados para la extrapolación de las propiedades mecánicas y la elaboración de los modelos geotécnicos. Los materiales son predominantemente arcillosos de baja compresibilidad (CL) o arenoarcillosos (SC).

Finalmente, sobre las muestras en bloque se realizaron ensayos de corte directo<sup>8</sup> (3 ensayos) con el fin de determinar los parámetros efectivos de resistencia al corte, para lo cual la velocidad de aplicación de carga fue rápida en materiales arenosos y lenta en materiales arcillosos. Infortunadamente, los resultados no son representativos de la totalidad de la matriz, pues de tres ensayos realizados, dos ángulos de fricción interna resultaron excesivos entre 74 y 76° al igual que las cohesiones que para esos mismos dos ensayos varían entre 184.4 y 454 KPa. El ensayo de corte restante, presenta una cohesión nula y  $\phi'$  de 27°.

En la **Tabla 2.12** se presenta el cuadro resumen de los resultados de laboratorio que identifica entre otras características, el número de la perforación, el número de la muestra y su profundidad. En el **Anexo D** se consigna la información de cada uno de los ensayos de laboratorio efectuados.

#### **2.5.4 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA**

Partiendo de los resultados de la exploración del subsuelo, los ensayos de campo y laboratorio, se realizó la caracterización de los materiales presentes en el área de estudio. Esto incluyó la asignación de los parámetros índice y de resistencia, así como una breve descripción de los materiales. Los perfiles pueden apreciarse en capítulo 3, **Figuras 3.1 a 3.16**.

---

<sup>1</sup> ASTM D2216-71, -92, -98

<sup>2</sup> ASTM D423-66 y ASTM D424-59 ó ASTM D4318-98

<sup>3</sup> ASTM D421-58, -85 y ASTM D422-58, -63

<sup>4</sup> ASTM D2487

<sup>5</sup> ASTM D2216-71, -92, -98

<sup>6</sup> Ídem.

<sup>7</sup> Gibbs and Holtz, 1957

<sup>8</sup> ASTM D3080-72, -98

#### **2.5.4.1 Interpretación de resultados**

Los parámetros efectivos de resistencia al corte ( $c'$ ,  $\phi'$ ) de los diferentes materiales, se calcularon a partir de los resultados del SPT, siguiendo la metodología propuesta por González, A. J., 1999, pues la medición directa a partir de los ensayos de corte directo, como se explicó en el numeral 2.5.3, no fue representativa. De las **Figuras 2.10 y 2.11**, se obtienen las correlaciones de dichos parámetros para cada tipo de material y en la **Tabla 2.13** se presenta la variación del ángulo de fricción obtenido por correlación con el número de golpes por pie de campo (N).

Para complementar lo anterior se realizó un análisis multitemporal de la cartografía, mediante la comparación del actual Modelo Digital del Terreno, (enero de 2001) con la cartografía IGAC (Escala 1:2000, de 1980). Esta información permitió por una parte ajustar los espesores de relleno con mayor certeza y establecer la ocurrencia de cambios morfológicos debidos a FRM y por otra parte, efectuar análisis retrospectivos para establecer los parámetros de resistencia. En la **Figura 2.12**, Análisis Paramétrico, se indica el espectro posible para los valores de los parámetros en los rellenos arcillo arenosos y en la arcilla café, materiales que corresponden a las zonas antrópicas y una transición entre suelo y material coluvial. Se realizaron análisis retrospectivos en las secciones 14 y 2A, para analizar la arcillolita y el depósito coluvial respectivamente, como se muestra en las **Figuras 2.13 y 2.14**. La caracterización de los demás materiales se llevó a cabo con base en el SPT.

La profundidad del nivel freático considerado en cada uno de los perfiles de análisis se basó en los análisis de permeabilidad realizados en las diferentes unidades geomorfológicas y el régimen hidrogeológico local que esta determinado principalmente por las condiciones climáticas secas de la región, con valores de precipitación media anual de 566 mm, una evaporación de 680 mm, superior a la precipitación y un valor de evapotranspiración potencial de 1300 mm para la estación de Doña Juana; estas condiciones definen un déficit de agua durante todo el año, con un régimen principal de escorrentía superficial para el sector occidental (LC1, LC2, LC3, LR1) y un régimen de infiltración para las laderas estructurales del costado oriental (LE1, LE2) y sobre la unidad antrópica LA1 asociada al antiguo drenaje natural.

Figura 2.10 Parámetros de Resistencia al Corte a partir del SPT

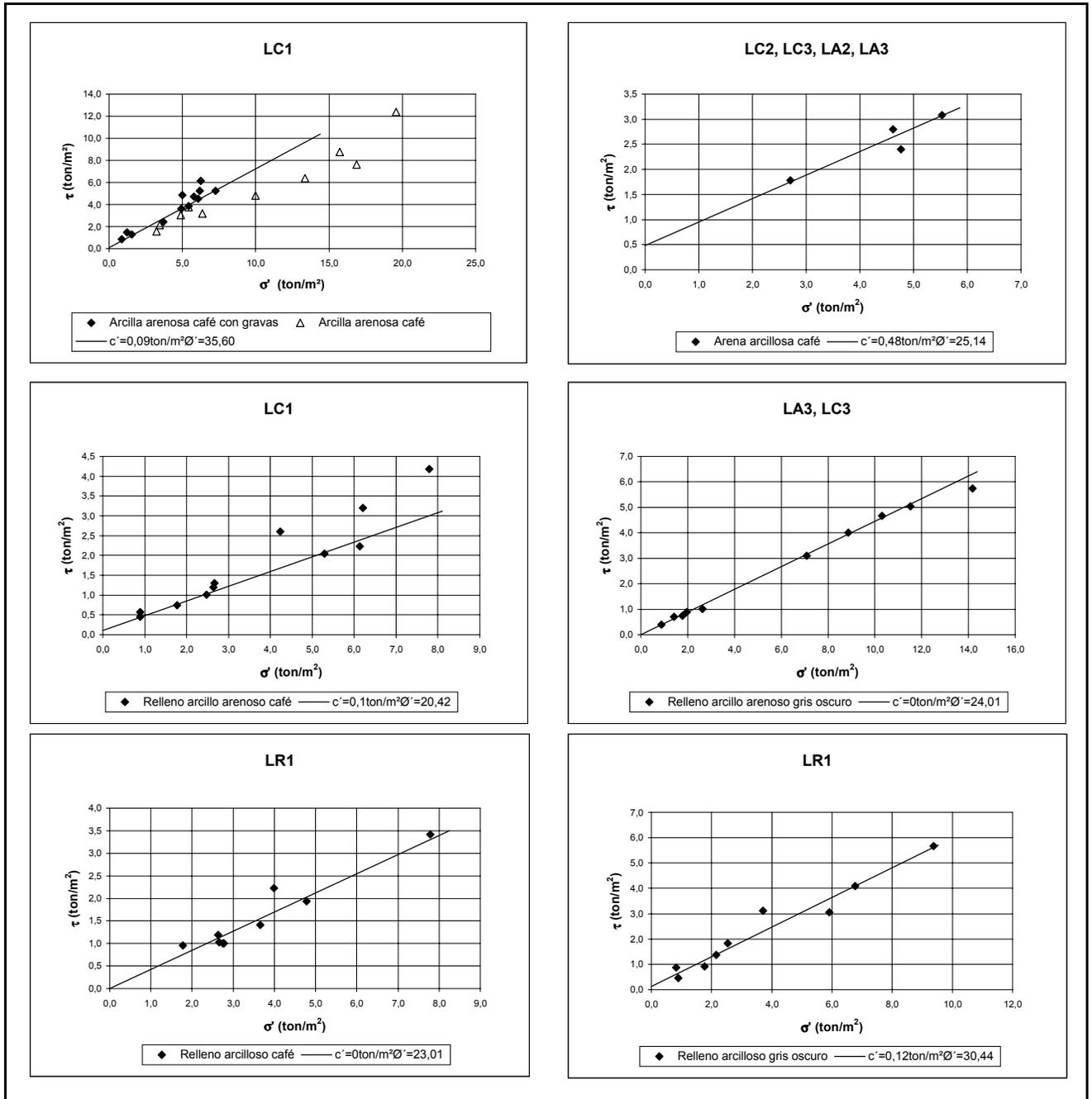
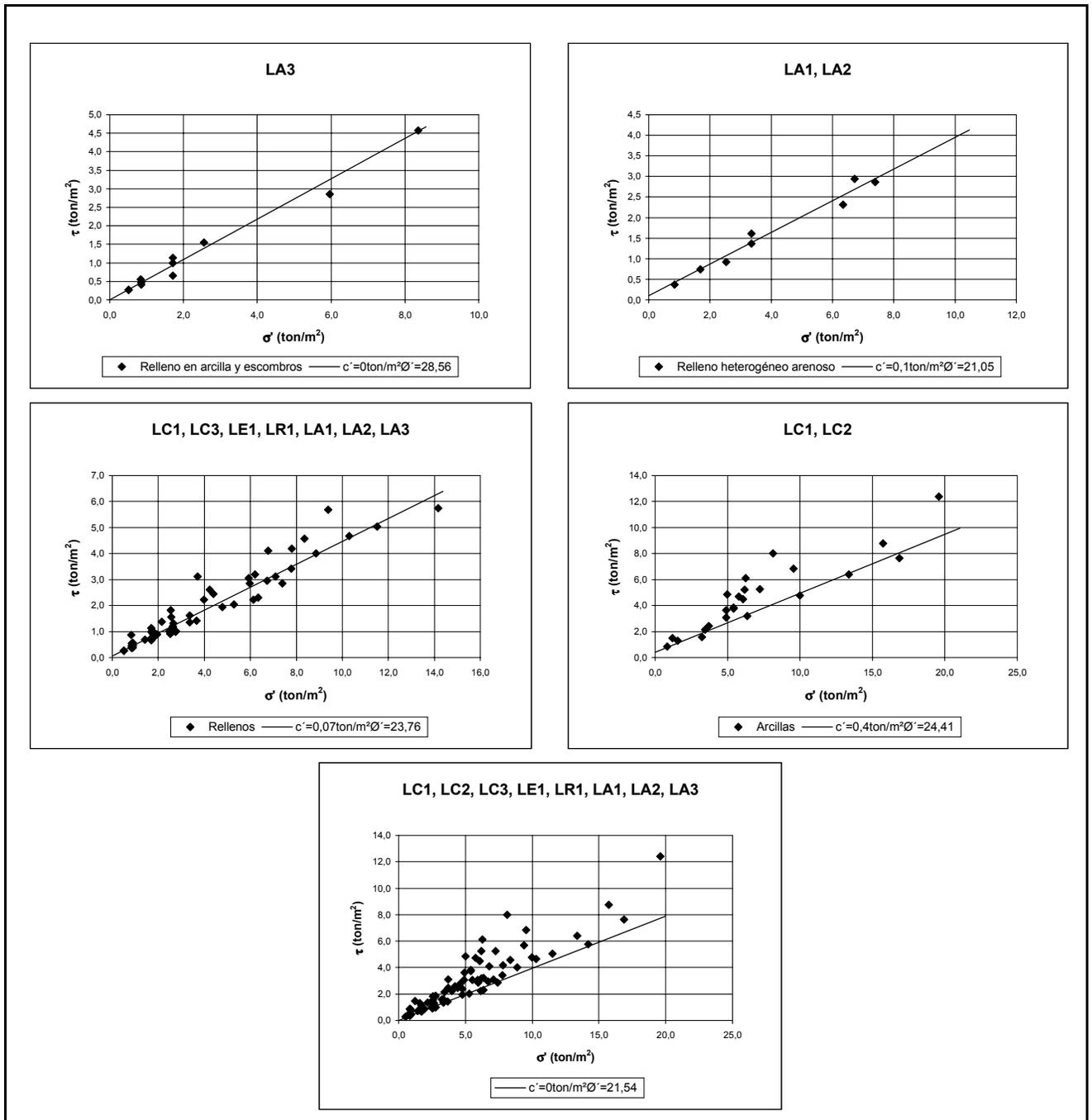


Figura 2.11 Parámetros de Resistencia al Corte a partir del SPT



**Tabla 2.13 Parámetros Efectivos de Resistencia al Corte a partir del SPT**

| SONDEO No. | MUESTRA No. | Unidad Geomorf.                     | DESCRIPCIÓN                         | Prof. (m) |       | $\gamma$ (ton/m <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$ (ton/m <sup>3</sup> ) | $\gamma_{correg.}$ (ton/m <sup>3</sup> ) | N    | $\gamma'$ (ton/m <sup>3</sup> ) | $\sigma_v$ (ton/m <sup>2</sup> ) | $\sigma'_v$ (ton/m <sup>2</sup> ) | Rs    | Cn SKEMPTON | $\eta_2$ | N1 <sub>45</sub> | $\phi_{eq}$ (°) |         | $\tau$ (ton/m <sup>2</sup> ) |
|------------|-------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------|-------|--------------------------------|----------------------------------|--|------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------|-------------|----------|------------------|-----------------|---------|------------------------------|
|            |             |                                     |                                     | Inicial   | Final |                                |                                  |  |      |                                 |                                  |                                   |       |             |          |                  | NF              | KISHIDA |                              |
| 9          | 1           |                                     | Relleno heterogéneo arenoso         | 0,00      | 0,50  | 2,00                           |                                  | 1,68                                     | 5    | 1,68                            | 0,84                             | 0,84                              | 0,08  | 1,849       | 0,75     | 6                | 23,66           | 0,37    |                              |
| 9          | 2           |                                     | Relleno heterogéneo arenoso         | 0,50      | 1,00  | 2,00                           |                                  | 1,68                                     | 5    | 1,68                            | 1,68                             | 1,68                              | 0,16  | 1,720       | 0,75     | 6                | 23,66           | 0,74    |                              |
| 9          | 3           |                                     | Relleno heterogéneo arenoso         | 1,50      | 2,00  | 2,00                           |                                  | 1,68                                     | 4    | 1,68                            | 3,36                             | 3,36                              | 0,33  | 1,508       | 0,75     | 4                | 22,07           | 1,36    |                              |
| 30         | 4           |                                     | Relleno heterogéneo arenoso         | 2,10      | 3,70  | 2,00                           |                                  | 1,68                                     | 3    | 1,68                            | 6,34                             | 6,34                              | 0,62  | 1,238       | 0,75     | 2                | 20,00           | 2,31    |                              |
| 9          | 4           |                                     | Relleno heterogéneo arenoso         | 3,50      | 4,00  | 2,00                           |                                  | 1,68                                     | 6    | 1,68                            | 6,72                             | 6,72                              | 0,65  | 1,210       | 0,85     | 6                | 23,66           | 2,94    |                              |
| 9          | 5           |                                     | Relleno heterogéneo arenoso         | 4,00      | 5,00  | 4,50                           | 2,00                             | 1,68                                     | 4    | 0,68                            | 8,40                             | 7,40                              | 0,72  | 1,164       | 0,85     | 3                | 21,12           | 2,86    |                              |
| 30         | 1           |                                     | Relleno en arcilla y escombros      | 0,00      | 1,00  | 2,03                           |                                  | 1,71                                     | 3    | 1,71                            | 1,71                             | 1,71                              | 0,17  | 1,716       | 0,75     | 3                | 21,12           | 0,66    |                              |
| 11         | 2           |                                     | Relleno arcilloso café              | 0,50      | 1,00  | 2,11                           |                                  | 1,77                                     | 11   | 1,77                            | 1,77                             | 1,77                              | 0,17  | 1,706       | 0,75     | 14               | 28,23           | 0,95    |                              |
| 11         | 3           |                                     | Relleno arcilloso café              | 1,00      | 1,50  | 2,11                           |                                  | 1,77                                     | 3    | 1,77                            | 2,66                             | 2,66                              | 0,26  | 1,590       | 0,75     | 3                | 21,12           | 1,03    |                              |
| 30         | 2           | LA1                                 | Relleno arcilloso café              | 1,00      | 1,60  | 2,11                           |                                  | 1,77                                     | 2    | 1,77                            | 2,77                             | 2,77                              | 0,27  | 1,576       | 0,75     | 2                | 20,00           | 1,01    |                              |
| 30         | 3           |                                     | Relleno arcilloso café              | 1,60      | 2,10  | 2,11                           |                                  | 1,77                                     | 3    | 1,77                            | 3,65                             | 3,65                              | 0,35  | 1,476       | 0,75     | 3                | 21,12           | 1,41    |                              |
| 11         | 4           |                                     | Relleno arcilloso café              | 2,00      | 2,70  | 2,11                           |                                  | 1,77                                     | 4    | 1,77                            | 4,79                             | 4,79                              | 0,46  | 1,366       | 0,75     | 4                | 22,07           | 1,94    |                              |
| 9          | 6           |                                     | Relleno arcilloso café              | 5,00      | 5,50  | 4,50                           | 2,11                             | 1,77                                     | 7    | 0,77                            | 9,29                             | 7,79                              | 0,76  | 1,139       | 0,85     | 6                | 23,66           | 3,41    |                              |
| 11         | 5           |                                     | Relleno arcillo arenoso gris oscuro | 3,50      | 4,00  |                                | 2,11                             | 1,77                                     | 6    | 1,77                            | 7,09                             | 7,09                              | 0,69  | 1,185       | 0,85     | 6                | 23,66           | 3,11    |                              |
| 11         | 6           |                                     | Relleno arcillo arenoso gris oscuro | 4,50      | 5,00  |                                | 2,11                             | 1,77                                     | 8    | 1,77                            | 8,86                             | 8,86                              | 0,86  | 1,075       | 0,85     | 7                | 24,35           | 4,01    |                              |
| 11         | 7           |                                     | Relleno arcillo arenoso gris oscuro | 6,00      | 6,50  |                                | 2,11                             | 1,77                                     | 7    | 1,77                            | 11,52                            | 11,52                             | 1,12  | 0,944       | 0,95     | 6                | 23,66           | 5,05    |                              |
| 11         | 8           |                                     | Relleno arcillo arenoso gris oscuro | 7,50      | 8,00  |                                | 2,11                             | 1,77                                     | 6    | 1,77                            | 14,18                            | 14,18                             | 1,38  | 0,842       | 0,95     | 4                | 22,07           | 5,75    |                              |
| 11         | 1           |                                     | Relleno arcillo arenoso café        | 0,00      | 0,50  |                                | 2,11                             | 1,77                                     | 19   | 1,77                            | 0,89                             | 0,89                              | 0,09  | 1,842       | 0,75     | 26               | 33,03           | 0,58    |                              |
| 9          | 7           | Arcilloлита meteorizada café        | 5,50                                | 6,00      | 4,50  | 2,00                           | 1,68                             | 66                                       | 0,68 | 10,13                           | 8,13                             | 0,79                              | 1,118 | 0,95        | 70       | 44,58            | 8,01            |         |                              |
| 9          | 8           | Arcilloлита meteorizada café        | 7,60                                | 8,10      | 4,50  | 2,00                           | 1,68                             | 35                                       | 0,68 | 13,65                           | 9,55                             | 0,93                              | 1,038 | 0,95        | 34       | 35,62            | 6,84            |         |                              |
| 11         | 9           | Arcilla arenosa café                | 9,00                                | 9,50      |       | 2,16                           | 1,81                             | 11                                       | 1,81 | 16,87                           | 16,87                            | 1,64                              | 0,758 | 0,95        | 7        | 24,35            | 7,64            |         |                              |
| 1          | 1           | LA2                                 | Relleno en arcilla y escombros      | 0,00      | 1,00  | 2,03                           |                                  | 1,71                                     | 22   | 1,71                            | 1,71                             | 1,71                              | 0,17  | 1,716       | 0,75     | 28               | 33,71           | 1,14    |                              |
| 1          | 2           |                                     | Relleno arcillo arenoso café        | 1,00      | 1,45  | 2,03                           |                                  | 1,71                                     | 4    | 1,71                            | 2,47                             | 2,47                              | 0,24  | 1,613       | 0,75     | 4                | 22,07           | 1,00    |                              |
| 1          | 3           |                                     | Relleno arcillo arenoso café        | 1,45      | 3,10  | 2,03                           |                                  | 1,71                                     | 4    | 1,71                            | 5,29                             | 5,29                              | 0,51  | 1,322       | 0,75     | 3                | 21,12           | 2,04    |                              |
| 1          | 4           |                                     | Relleno arcillo arenoso café        | 3,10      | 3,60  | 2,03                           |                                  | 1,71                                     | 3    | 1,71                            | 6,14                             | 6,14                              | 0,60  | 1,253       | 0,75     | 2                | 20,00           | 2,23    |                              |
| 11         | 10          |                                     | Arcilla arenosa café                | 10,50     | 11,00 | 2,16                           |                                  | 1,81                                     | 36   | 1,81                            | 19,59                            | 19,59                             | 1,90  | 0,689       | 1,00     | 24               | 32,32           | 12,39   |                              |
| 6          | 1           | LA3                                 | Relleno en arcilla y escombros      | 0,00      | 0,50  | 2,03                           |                                  | 1,71                                     | 11   | 1,71                            | 0,85                             | 0,85                              | 0,08  | 1,847       | 0,75     | 15               | 28,69           | 0,47    |                              |
| 6          | 2           |                                     | Relleno en arcilla y escombros      | 0,50      | 1,00  | 2,03                           |                                  | 1,71                                     | 15   | 1,71                            | 1,71                             | 1,71                              | 0,17  | 1,716       | 0,75     | 19               | 30,41           | 1,00    |                              |
| 6          | 3           |                                     | Relleno en arcilla y escombros      | 1,00      | 1,50  | 2,03                           |                                  | 1,71                                     | 18   | 1,71                            | 2,56                             | 2,56                              | 0,25  | 1,602       | 0,75     | 21               | 31,20           | 1,55    |                              |
| 6          | 4           |                                     | Relleno en arcilla y escombros      | 3,00      | 3,50  | 2,03                           |                                  | 1,71                                     | 10   | 1,71                            | 5,97                             | 5,97                              | 0,58  | 1,266       | 0,75     | 9                | 25,61           | 2,86    |                              |
| 6          | 5           |                                     | Relleno en arcilla y escombros      | 4,57      | 4,90  | 2,03                           |                                  | 1,71                                     | 16   | 1,71                            | 8,36                             | 8,36                              | 0,81  | 1,104       | 0,85     | 15               | 28,69           | 4,57    |                              |
| 6          | 6           |                                     | Relleno arcillo arenoso gris oscuro | 5,50      | 6,00  | 2,11                           |                                  | 1,77                                     | 8    | 1,77                            | 10,31                            | 10,31                             | 1,00  | 1,000       | 0,95     | 7                | 24,35           | 4,66    |                              |
| 6          | 7           |                                     | Arcilla arenosa café                | 7,20      | 7,70  | 2,16                           | 1,87                             | 1,81                                     | 11   | 1,81                            | 13,36                            | 13,36                             | 1,30  | 0,871       | 0,95     | 9                | 25,61           | 6,40    |                              |
| 6          | 8           |                                     | Arcilla arenosa café                | 8,50      | 9,00  | 2,16                           |                                  | 1,81                                     | 22   | 1,81                            | 15,72                            | 15,72                             | 1,53  | 0,792       | 0,95     | 16               | 29,14           | 8,76    |                              |
| 13         | 2           | LC1                                 | Relleno arcilloso café              | 1,00      | 1,50  | 2,03                           |                                  | 1,71                                     | 6    | 1,71                            | 2,63                             | 2,63                              | 0,26  | 1,593       | 0,75     | 7                | 24,35           | 1,19    |                              |
| 13         | 3           |                                     | Relleno arcilloso café              | 1,50      | 2,30  | 2,03                           |                                  | 1,71                                     | 15   | 1,71                            | 3,99                             | 3,99                              | 0,39  | 1,441       | 0,75     | 16               | 29,14           | 2,23    |                              |
| 13         | 1           |                                     | Recebo                              | 0,00      | 0,50  | 2,20                           |                                  | 1,85                                     | 36   | 1,85                            | 0,92                             | 0,92                              | 0,09  | 1,835       | 0,75     | 49               | 39,75           | 0,77    |                              |
| 13         | 4           |                                     | Arcilla arenosa café                | 3,10      | 3,70  | 2,00                           | 1,70                             | 1,68                                     | 12   | 1,68                            | 6,37                             | 6,37                              | 0,62  | 1,236       | 0,75     | 11               | 26,73           | 3,21    |                              |
| 7          | 2           | LC2                                 | Relleno heterogéneo arenoso         | 1,00      | 1,50  | 2,00                           |                                  | 1,68                                     | 2    | 1,68                            | 2,52                             | 2,52                              | 0,24  | 1,607       | 0,75     | 2                | 20,00           | 0,92    |                              |
| 7          | 3           |                                     | Relleno heterogéneo arenoso         | 1,50      | 2,00  | 2,00                           |                                  | 1,68                                     | 8    | 1,68                            | 3,36                             | 3,36                              | 0,33  | 1,508       | 0,75     | 9                | 25,61           | 1,61    |                              |
| 7          | 1           |                                     | Relleno en arcilla y escombros      | 0,00      | 0,50  | 2,00                           |                                  | 1,68                                     | 20   | 1,68                            | 0,84                             | 0,84                              | 0,08  | 1,849       | 0,75     | 27               | 33,37           | 0,55    |                              |
| 7          | 4           |                                     | Relleno arcilloso gris oscuro       | 3,00      | 3,50  | 2,03                           |                                  | 1,71                                     | 13   | 1,71                            | 5,92                             | 5,92                              | 0,57  | 1,270       | 0,75     | 12               | 27,25           | 3,05    |                              |
| 7          | 5           |                                     | Relleno arcilloso gris oscuro       | 3,50      | 4,00  | 2,03                           |                                  | 1,71                                     | 21   | 1,71                            | 6,77                             | 6,77                              | 0,66  | 1,207       | 0,85     | 21               | 31,20           | 4,10    |                              |
| 7          | 6           |                                     | Relleno arcilloso gris oscuro       | 4,80      | 5,50  | 2,11                           |                                  | 1,77                                     | 24   | 1,77                            | 9,38                             | 9,38                              | 0,91  | 1,047       | 0,85     | 21               | 31,20           | 5,68    |                              |
| 4          | 1           |                                     | Arcilla café                        | 0,00      | 0,50  | 2,03                           |                                  | 1,71                                     | 53   | 1,71                            | 0,85                             | 0,85                              | 0,08  | 1,847       | 0,75     | 73               | 45,21           | 0,86    |                              |
| 4          | 2           |                                     | Arcilla café                        | 0,50      | 1,00  | 0,80                           | 2,03                             | 1,71                                     | 77   | 0,71                            | 1,71                             | 1,21                              | 0,12  | 1,790       | 0,75     | 103              | 50,88           | 1,48    |                              |
| 4          | 3           |                                     | Arcilla café                        | 1,00      | 1,50  | 0,80                           | 2,03                             | 1,71                                     | 38   | 0,71                            | 2,56                             | 1,56                              | 0,15  | 1,737       | 0,75     | 49               | 39,75           | 1,30    |                              |
| 20         | 1           |                                     | Relleno en arcilla y escombros      | 0,00      | 0,30  |                                | 2,03                             | 1,71                                     | 9    | 1,71                            | 0,51                             | 0,51                              | 0,05  | 1,905       | 0,75     | 12               | 27,25           | 0,26    |                              |
| 16         | 1           | Relleno arcilloso gris oscuro       | 0,00                                | 0,50      |       | 1,95                           | 1,64                             | 59                                       | 1,64 | 0,82                            | 0,82                             | 0,08                              | 1,853 | 0,75        | 81       | 46,82            | 0,87            |         |                              |
| 14         | 1           | Relleno arcillo arenoso gris oscuro | 0,00                                | 0,50      |       | 2,11                           | 1,77                             | 5  | 1,77 | 0,89                            | 0,89                             | 0,09                              | 1,842 | 0,75        | 6        | 23,66            | 0,39            |         |                              |

Tabla 2.13 Parámetros Efectivos de Resistencia al Corte a partir del SPT (Continuación)

| SONDEO<br>No. | MUESTRA<br>No. | Unidad<br>Geomorf. | DESCRIPCIÓN                              | Prof. (m) |       |      | $\gamma$<br>(ton/m <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$<br>(ton/m <sup>3</sup> ) | $\gamma_{correg.}$<br>(ton/m <sup>3</sup> ) | N  | $\gamma'$<br>(ton/m <sup>3</sup> ) | $\sigma_v$<br>(ton/m <sup>2</sup> ) | $\sigma'_v$<br>(ton/m <sup>2</sup> ) | Rs   | Cn<br>SKEMPTON | $\eta_2$ | N <sub>45</sub> | $\phi_{eq} (^{\circ})$<br>KISHIDA | $\tau$ (ton/m <sup>2</sup> )<br>KISHIDA |
|---------------|----------------|--------------------|--|-----------|-------|------|-----------------------------------|-------------------------------------|---|----|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------|----------------|----------|-----------------|-----------------------------------|---|
|               |                |                    |  | Inicial   | Final | NF   |                                   |                                     |   |    |                                    |                                     |                                      |      |                |          |                 |                                   |   |
| 14            | 2              |                    | Relleno arcillo arenoso gris oscuro      | 0,50      | 1,00  |      | 2,11                              |                                     | 1,77  | 4  | 1,77                               | 1,77                                | 1,77                                 | 0,17 | 1,706          | 0,75     | 5               | 22,91                             | 0,75                                    |
| 14            | 3              |                    | Relleno arcillo arenoso gris oscuro      | 1,00      | 2,10  | 1,80 | 2,11                              |                                     | 1,77  | 3  | 0,77                               | 3,72                                | 2,62                                 | 0,25 | 1,594          | 0,75     | 3               | 21,12                             | 1,01                                    |
| 15            | 1              |                    | Relleno arcillo arenoso café             | 0,00      | 0,50  |      | 2,11                              |                                     | 1,77  | 9  | 1,77                               | 0,89                                | 0,89                                 | 0,09 | 1,842          | 0,75     | 12              | 27,25                             | 0,46                                    |
| 15            | 2              |                    | Relleno arcillo arenoso café             | 0,50      | 1,00  |      | 2,11                              |                                     | 1,77  | 4  | 1,77                               | 1,77                                | 1,77                                 | 0,17 | 1,706          | 0,75     | 5               | 22,91                             | 0,75                                    |
| 15            | 3              |                    | Relleno arcillo arenoso café             | 1,00      | 1,50  |      | 2,11                              |                                     | 1,77  | 9  | 1,77                               | 2,66                                | 2,66                                 | 0,26 | 1,590          | 0,75     | 10              | 26,18                             | 1,31                                    |
| 16            | 2              |                    | Gravas de color gris                     | 2,00      | 2,50  | 1,00 | 2,20                              |                                     | 1,85  | 25 | 0,85                               | 4,45                                | 2,75                                 | 0,27 | 1,578          | 0,75     | 29              | 34,04                             | 1,86                                    |
| 20            | 3              | LC3                | Arena arcillosa café                     | 1,90      | 2,70  |      | 2,27                              | 2,06                                | 1,91  | 11 | 1,91                               | 4,77                                | 4,77                                 | 0,46 | 1,367          | 0,75     | 11              | 26,73                             | 2,40                                    |
| 20            | 4              |                    | Arena arcillosa café                     | 2,70      | 3,10  |      | 2,27                              |                                     | 1,91  | 17 | 1,91                               | 5,53                                | 5,53                                 | 0,54 | 1,301          | 0,75     | 16              | 29,14                             | 3,08                                    |
| 15            | 4              |                    | Arcilla café                             | 1,50      | 3,00  | 1,80 | 2,03                              |                                     | 1,71  | 25 | 0,71                               | 5,22                                | 3,72                                 | 0,36 | 1,470          | 0,75     | 27              | 33,37                             | 2,45                                    |
| 16            | 3              |                    | Arcilla café                             | 6,00      | 6,60  | 1,00 | 2,03                              |                                     | 1,71  | 39 | 0,71                               | 11,57                               | 5,77                                 | 0,56 | 1,282          | 0,95     | 47              | 39,24                             | 4,71                                    |
| 15            | 5              |                    | Arcilla arenosa café con gravas          | 3,50      | 4,50  | 1,80 | 2,20                              |                                     | 1,85  | 60 | 0,85                               | 7,99                                | 4,99                                 | 0,48 | 1,347          | 0,85     | 68              | 44,15                             | 4,84                                    |
| 15            | 6              |                    | Arcilla arenosa café con gravas          | 4,50      | 5,00  | 1,80 | 2,20                              |                                     | 1,85  | 30 | 0,85                               | 8,91                                | 5,41                                 | 0,53 | 1,311          | 0,85     | 33              | 35,31                             | 3,83                                    |
| 20            | 2              |                    | Arcilla arenosa café                     | 0,30      | 1,90  |      | 2,03                              |                                     | 1,71  | 9  | 1,71                               | 3,24                                | 3,24                                 | 0,31 | 1,521          | 0,75     | 10              | 26,18                             | 1,59                                    |
| 14            | 4              |                    | Arcilla arenosa café                     | 2,10      | 3,10  | 1,80 | 2,16                              |                                     | 1,81  | 21 | 0,81                               | 5,54                                | 3,44                                 | 0,33 | 1,500          | 0,75     | 23              | 31,96                             | 2,14                                    |
| 14            | 5              |                    | Arcilla arenosa café                     | 3,10      | 4,90  | 1,80 | 2,16                              |                                     | 1,81  | 20 | 0,81                               | 8,80                                | 4,90                                 | 0,48 | 1,355          | 0,85     | 23              | 31,96                             | 3,06                                    |
| 14            | 6              |                    | Arcilla arenosa café                     | 4,90      | 5,49  | 1,80 | 2,22                              |                                     | 1,86  | 28 | 0,86                               | 9,90                                | 5,41                                 | 0,53 | 1,311          | 0,85     | 31              | 34,69                             | 3,75                                    |
| 8             | 1              |                    | Relleno arcillo arenoso gris oscuro      | 0,00      | 0,80  |      | 2,11                              |                                     | 1,77  | 8  | 1,77                               | 1,42                                | 1,42                                 | 0,14 | 1,758          | 0,75     | 10              | 26,18                             | 0,70                                    |
| 8             | 2              | LE1                | Arena arcillosa café                     | 1,00      | 1,50  |      | 2,27                              | 2,06                                | 1,91  | 23 | 1,91                               | 2,71                                | 2,71                                 | 0,26 | 1,584          | 0,75     | 27              | 33,37                             | 1,78                                    |
| 8             | 3              |                    | Arena arcillosa café                     | 2,00      | 2,50  |      | 2,27                              |                                     | 1,91  | 21 | 1,91                               | 4,61                                | 4,61                                 | 0,45 | 1,381          | 0,75     | 21              | 31,20                             | 2,79                                    |
| 23            | 1              |                    | Relleno en arcilla y escombros           | 0,00      | 0,50  |      | 2,03                              |                                     | 1,71  | 7  | 1,71                               | 0,85                                | 0,85                                 | 0,08 | 1,847          | 0,75     | 9               | 25,61                             | 0,41                                    |
| 24            | 1              |                    | Relleno en arcilla y escombros           | 0,00      | 0,30  |      | 2,03                              |                                     | 1,71  | 9  | 1,71                               | 0,51                                | 0,51                                 | 0,05 | 1,905          | 0,75     | 12              | 27,25                             | 0,26                                    |
| 21            | 1              |                    | Relleno arcilloso gris oscuro            | 0,00      | 0,50  |      | 2,11                              |                                     | 1,77  | 10 | 1,77                               | 0,89                                | 0,89                                 | 0,09 | 1,842          | 0,75     | 13              | 27,75                             | 0,47                                    |
| 21            | 2              |                    | Relleno arcilloso gris oscuro            | 0,50      | 1,00  |      | 2,11                              |                                     | 1,77  | 10 | 1,77                               | 1,77                                | 1,77                                 | 0,17 | 1,706          | 0,75     | 12              | 27,25                             | 0,91                                    |
| 21            | 3              |                    | Relleno arcilloso gris oscuro            | 1,00      | 1,50  | 1,00 | 2,11                              |                                     | 1,77  | 20 | 0,77                               | 2,66                                | 2,16                                 | 0,21 | 1,653          | 0,75     | 24              | 32,32                             | 1,37                                    |
| 21            | 4              |                    | Relleno arcilloso gris oscuro            | 1,50      | 2,00  | 1,00 | 2,11                              |                                     | 1,77  | 29 | 0,77                               | 3,54                                | 2,54                                 | 0,25 | 1,604          | 0,75     | 34              | 35,62                             | 1,82                                    |
| 21            | 5              |                    | Relleno arcilloso gris oscuro            | 3,00      | 3,50  | 1,00 | 2,11                              |                                     | 1,77  | 46 | 0,77                               | 6,20                                | 3,70                                 | 0,36 | 1,471          | 0,75     | 50              | 40,00                             | 3,11                                    |
| 23            | 2              |                    | Relleno arcilloso café con vetas rojizas | 0,50      | 1,00  |      | 2,11                              |                                     | 1,77  | 16 | 1,77                               | 1,74                                | 1,74                                 | 0,17 | 1,711          | 0,75     | 20              | 30,81                             | 1,04                                    |
| 23            | 3              |                    | Relleno arcilloso café con vetas rojizas | 2,00      | 2,50  |      | 2,11                              |                                     | 1,77  | 16 | 1,77                               | 4,40                                | 4,40                                 | 0,43 | 1,402          | 0,75     | 16              | 29,14                             | 2,45                                    |
| 19            | 2              |                    | Relleno arcilloso café                   | 1,10      | 1,55  |      | 2,11                              |                                     | 1,77  | 2  | 1,77                               | 2,75                                | 2,75                                 | 0,27 | 1,579          | 0,75     | 2               | 20,00                             | 1,00                                    |
| 19            | 1              | LR1                | Relleno arcillo arenoso gris oscuro      | 0,00      | 1,10  |      | 2,11                              |                                     | 1,77  | 6  | 1,77                               | 1,95                                | 1,95                                 | 0,19 | 1,682          | 0,75     | 7               | 24,35                             | 0,88                                    |
| 24            | 2              |                    | Relleno arcillo arenoso café             | 1,00      | 1,50  |      | 2,11                              |                                     | 1,77  | 6  | 1,77                               | 2,64                                | 2,64                                 | 0,26 | 1,592          | 0,75     | 7               | 24,35                             | 1,19                                    |
| 24            | 3              |                    | Relleno arcillo arenoso café             | 1,90      | 2,40  |      | 2,11                              |                                     | 1,77  | 21 | 1,77                               | 4,23                                | 4,23                                 | 0,41 | 1,417          | 0,75     | 22              | 31,58                             | 2,60                                    |
| 19            | 4              |                    | Relleno arcillo arenoso café             | 3,00      | 3,50  |      | 2,11                              |                                     | 1,77  | 13 | 1,77                               | 6,20                                | 6,20                                 | 0,60 | 1,248          | 0,75     | 12              | 27,25                             | 3,19                                    |
| 19            | 5              |                    | Relleno arcillo arenoso café             | 3,50      | 4,40  |      | 2,11                              |                                     | 1,77  | 15 | 1,77                               | 7,80                                | 7,80                                 | 0,76 | 1,138          | 0,85     | 14              | 28,23                             | 4,19                                    |
| 23            | 4              |                    | Arcilla café con arenas y vetas rojizas  | 3,00      | 3,60  | 2,00 | 1,70                              |                                     | 1,68  | 75 | 1,68                               | 6,26                                | 6,26                                 | 0,61 | 1,244          | 0,75     | 69              | 44,37                             | 6,13                                    |
| 24            | 4              |                    | Arcilla café con arenas y vetas rojizas  | 3,00      | 3,50  |      | 2,00                              |                                     | 1,68  | 40 | 1,68                               | 6,08                                | 6,08                                 | 0,59 | 1,258          | 0,75     | 37              | 36,51                             | 4,50                                    |
| 21            | 6              |                    | Arcilla café con arenas y vetas rojizas  | 4,50      | 5,00  | 1,00 | 2,20                              |                                     | 1,85  | 33 | 0,85                               | 8,91                                | 4,91                                 | 0,48 | 1,354          | 0,85     | 37              | 36,51                             | 3,64                                    |
| 21            | 7              |                    | Arcilla café con arenas y vetas rojizas  | 6,00      | 6,50  | 1,00 | 2,20                              |                                     | 1,85  | 43 | 0,85                               | 11,69                               | 6,19                                 | 0,60 | 1,249          | 0,95     | 51              | 40,25                             | 5,24                                    |
| 21            | 8              |                    | Arcilla café con arenas y vetas rojizas  | 7,50      | 8,00  | 1,00 | 2,00                              |                                     | 1,68  | 32 | 0,68                               | 14,24                               | 7,24                                 | 0,70 | 1,174          | 0,95     | 35              | 35,92                             | 5,24                                    |
| 19            | 6              |                    | Arcilla arenosa café                     | 5,00      | 5,60  |      | 2,20                              | 1,90                                | 1,85  | 11 | 1,85                               | 10,00                               | 10,00                                | 0,97 | 1,015          | 0,85     | 9               | 25,61                             | 4,79                                    |

$$N_{45} = Cn * \eta_1 * \eta_2 * N$$

Figura 2.12 Análisis Paramétrico

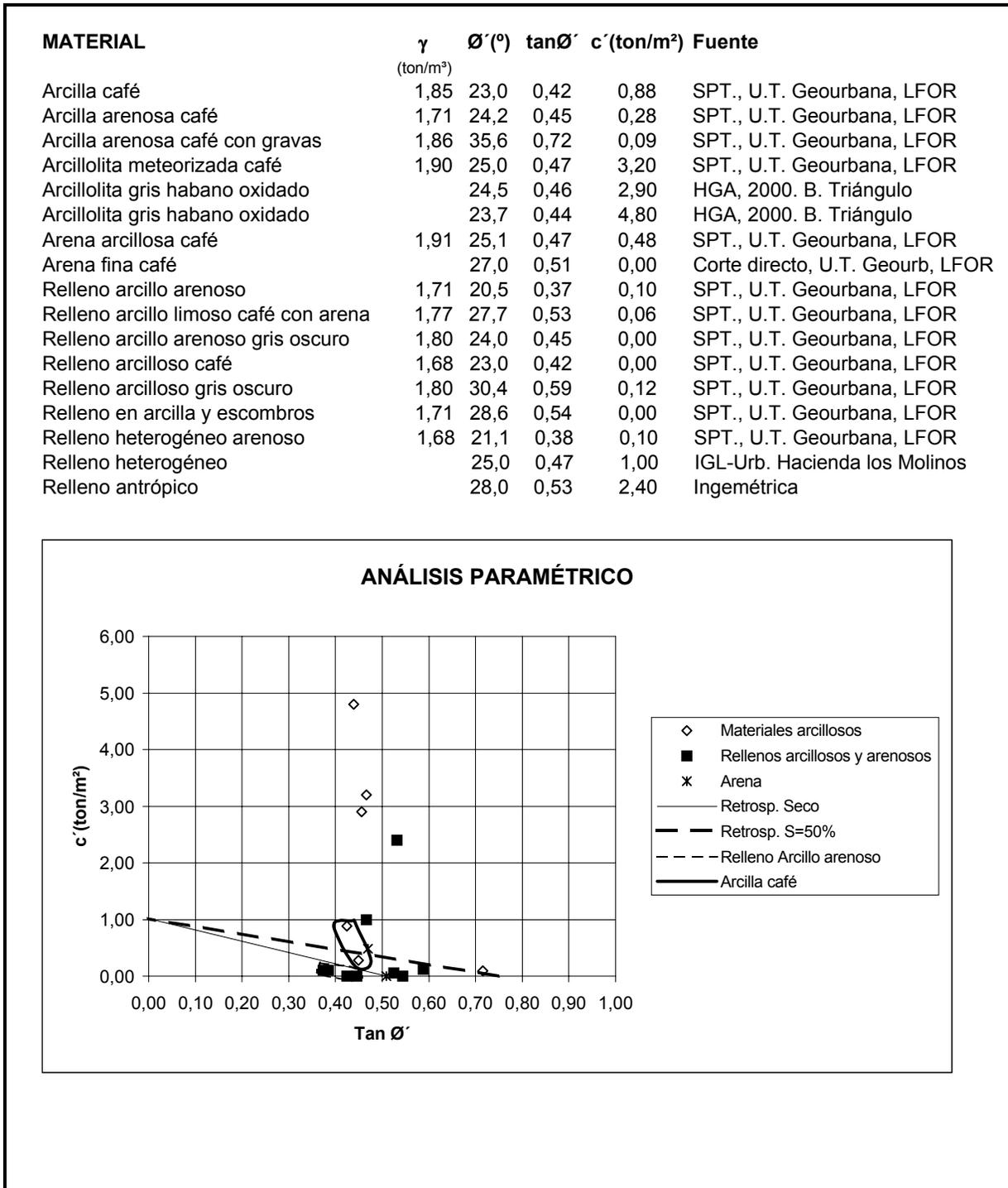
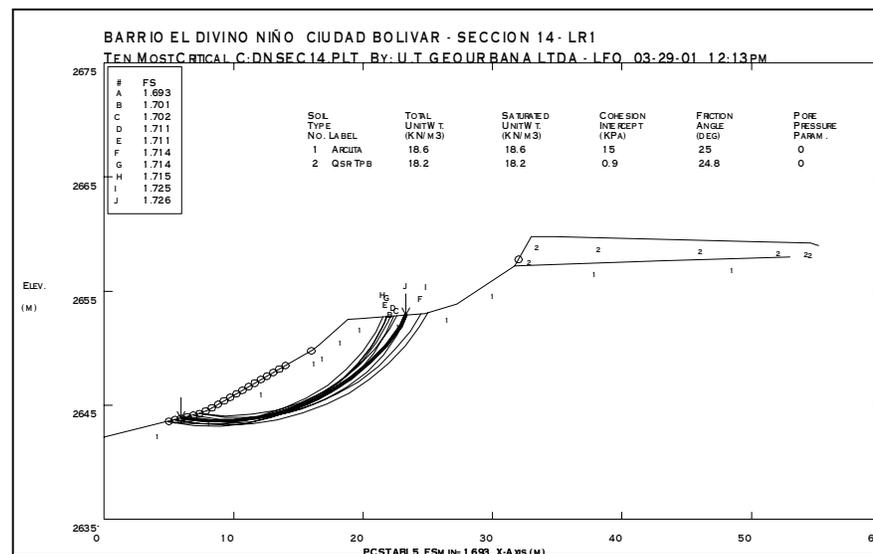
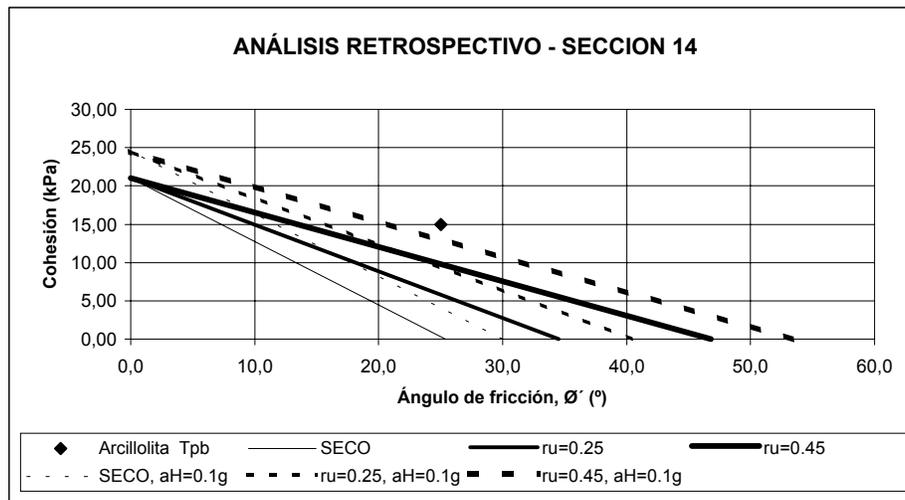


Figura 2.13 Análisis Retrospectivo Sobre la Arcillolita

| ARCHIVO      | $\phi'$ (°) | $\tan\phi'$ | c' (kPa) | Fuente           |
|--------------|-------------|-------------|----------|------------------|
| DNSEC14 .SI  | 25,0        | 0,47        | 15,00    | Arcillolita Tpb  |
| DNSEC141 .SI | 25,4        | 0,47        | 0,00     | SECO             |
|              | 0,0         | 0,00        | 21,00    |                  |
| DNSEC142 .SI | 34,5        | 0,69        | 0,00     | ru=0.25          |
|              | 0,0         | 0,00        | 21,00    |                  |
| DNSEC143 .SI | 46,8        | 1,06        | 0,00     | ru=0.45          |
|              | 0,0         | 0,00        | 21,00    |                  |
|              | 30,0        | 0,58        | 0,00     | SECO, aH=0.1g    |
|              | 0,0         | 0,00        | 24,50    |                  |
|              | 40,4        | 0,85        | 0,00     | ru=0.25, aH=0.1g |
|              | 0,0         | 0,00        | 24,50    |                  |
|              | 53,3        | 1,34        | 0,00     | ru=0.45, aH=0.1g |
|              | 0,0         | 0,00        | 24,50    |                  |

$\gamma = 18,64 \text{ kN/m}^3$

El análisis retrospectivo se realizó para la superficie más crítica que se pudiera presentar en esta zona sobre la arcillolita meteorizada. Para un FS = 1,0





#### **2.5.4.2 Caracterización por Zona Homogénea**

A continuación se realiza la descripción de los materiales presentes en cada Zona Geomorfológica y un resumen de sus propiedades geomecánicas.

##### ***Ladera Coluvial 1 (LC1)***

Esta ladera se localiza en la parte central del área de estudio, donde se consolidó el barrio Divino Niño, conformada por suelos coluviales de composición limo arenosa, donde la adecuación urbanística de los terrenos, configuraron localmente rellenos de composición arcillo arenosa de color café, con espesores que varían entre 0.3 m y 1 m, que cubren una arcilla arenosa gris clara, con fragmentos de areniscas, con espesores entre 0.7m y 3 m, que ha sido interpretado como un nivel de origen coluvial compuesto por gravas y bloques embebidos en una matriz areno arcillosa de color gris oscuro.

Los rellenos de mayor espesor, se asocian a los antiguos drenajes que fueron ocupados materiales producto de las explanaciones del sitio.

Relleno arcillo arenoso café: su presencia se atribuye posiblemente a la adecuación de los terrenos para construir las viviendas por parte de la comunidad, realizando cortes y rellenos con diversos materiales. la arcilla que compone estos rellenos presenta las propiedades indicadas.

Arcilla arenosa gris clara, producto de la meteorización y degradación de los depósitos coluviales.

Los parámetros deducidos a partir del análisis son:

| MATERIAL                   | $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | c' (kPa) | $\phi'$ (°) |
|----------------------------|-------------------------------|----------|-------------|
| Rellenos arcillo arenosos  | 16.8                          | 0.98     | 24          |
| Arcilla arenosa gris clara | 18.2                          | 0.88     | 35.6        |

##### ***Ladera Coluvial 2 (LC2)***

En esta zona se expone en superficie un nivel de arcilla de color café con espesores que van de 1 a 2 m, interpretada como un horizonte de arcilla de origen residual, que cubre el depósito coluvial compuesto por gravas y bloque embebidos en una matriz areno arcillosa. Los parámetros deducidos del análisis son:

Arcilla café, el basamento de arcillolita se degrada a este tipo de arcilla de plasticidad intermedia y consistencia firme (N de campo = 25, 38, 39), clasificación CL.

Depósito coluvial (Qcl), compuesto por gravas y bloques matriz-soportados, con una matriz areno arcillosa de consistencia firme.

Los parámetros deducidos a partir del análisis son:

| MATERIAL          | $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | c' (kPa) | $\phi'$ (°) |
|-------------------|-------------------------------|----------|-------------|
| Arcilla café      | 18.1                          | 0.00     | 23          |
| Depósito coluvial | 18.2                          | 0.88     | 35.6        |

#### ***Ladera Coluvial 3 (LC3)***

Sobre esta ladera, la adecuación urbanística se realizó mediante cortes y rellenos para la adecuación de los lotes, junto con los rellenos asociados a los drenajes o zonas de cárcavas. Los rellenos identificados presentan una composición arcillo arenoso de color café con espesores que varían entre 0.50 y 1.50 metro, que cubre el horizonte de arcilla café con un espesor entre 1.50 y 2.50 metros, interpretada como de origen residual y reposa sobre el depósito coluvial compuesto por gravas y bloque embebidos en una matriz areno arcillosa. Los parámetros deducidos son: Relleno arcillo arenoso café y gris oscuro, este tipo de rellenos se localiza en las zonas donde existían depresiones del terreno y drenajes antiguos; presenta una consistencia suelta ( $c_u=0.85$  Kg/cm<sup>2</sup>)

| MATERIAL                                     | $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | c' (kPa) | $\phi'$ (°) |
|--|-------------------------------|----------|-------------|
| Rellenos arcillo arenosos café y gris oscuro | 17.6                          | 0.00     | 24          |

#### ***Ladera Estructural 1 (LE1)***

En esta zona los materiales de rellenos se asocian a las diferentes construcciones en media ladera, con una composición arcillo arenosa de color café, con espesores hasta de 0.80 metros, cubriendo un horizonte de suelo residual limo arcilloso de color amarillo, con un espesor hasta de 2.80 metros. En profundidad el suelo residual cambia al nivel de areniscas meteorizadas de la Formación Regadera y a las arcillolitas de la formación Bogotá.

Suelo residual (areniscas), como consecuencia de la meteorización de las areniscas de la Formación Regadera, que se degradan a arena arcillosa de baja plasticidad y densidad media ( $n$  de campo =23) y clasificación sc, alcanzando un espesor de aproximadamente 2 metros.

| MATERIAL                | $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | c' (kPa) | $\phi'$ (°) |
|-------------------------|-------------------------------|----------|-------------|
| Suelo Residual (Qsr-Tr) | 17.6                          | 0.00     | 23          |

#### ***Ladera Residual 1 (LR1)***

Zona compuesta por rellenos arcilloso de color gris con espesores que van desde 0.0 hasta 2.50 metros y rellenos arcillo limosos de color café que van desde 0.00 hasta 2.00 metros, con un basamento que corresponde a la meteorización de arcillolitas.

En esta unidad los rellenos fueron localizados superficialmente como parte de la adecuación de los lotes y en los ejes de los drenajes originales.

Relleno arcilloso gris, se localiza de manera puntual en esta ladera, superficialmente con espesores variables hasta de 2 m. presentan un número de golpes por pie  $n$  de campo =10, con lo que se interpreta una consistencia media.

Relleno arcillo limoso café, se presenta como un antiguo relleno en esta ladera, de consistencia media y alta ( $n=20, 29$ ).

#### *Ladera Antrópica 1 (LA1)*

Esta zona se asocia al drenaje principal que disectaba la zona de estudio, donde se han dispuesto materiales muy heterogéneos para la adecuación urbanística de esta antigua cárcava. Los rellenos presentan una composición arenosa, arcillosa, escombros y basuras; presenta espesores que van desde 2.0 hasta 15.00 metros, de acuerdo con la investigación geofísica.

Relleno heterogéneo arenoso y relleno de arcilla con escombros, estos rellenos se localizan en la zona de cárcavas de mayor magnitud localizadas la parte central del área de estudio

#### *Ladera Antrópica 2 (LA2)*

Esta unidad se localiza en el extremo norte del área de estudio, donde el desarrollo urbanístico adecuó una zona muy erosionada mediante explanación y relleno, incluyendo un antiguo drenaje y zonas de cárcavas. Los materiales presentan están compuestos por rellenos heterogéneos de naturaleza arenosa, con espesores que van desde 0.8 y 3.7 metros.

#### *Ladera Antrópica 3 (LA3)*

Ladera compuesta por rellenos de arcilla y escombros con espesores que van desde 0.0 hasta 4.90 metros y rellenos arcillo arenosos de color gris oscuro con espesores entre 0.00 y 1.80 metros que reposan sobre una arcilla de color café.

Finalmente, en la **Tabla 2.14** se resumen los parámetros de los materiales por unidad geomorfológica y la **Figura 2.15** muestra la carta de plasticidad de los rellenos arcillosos y arcillo arenosos.

Figura 2.15 Carta de Plasticidad de los Rellenos Arcillosos y Arcillo Arenosos

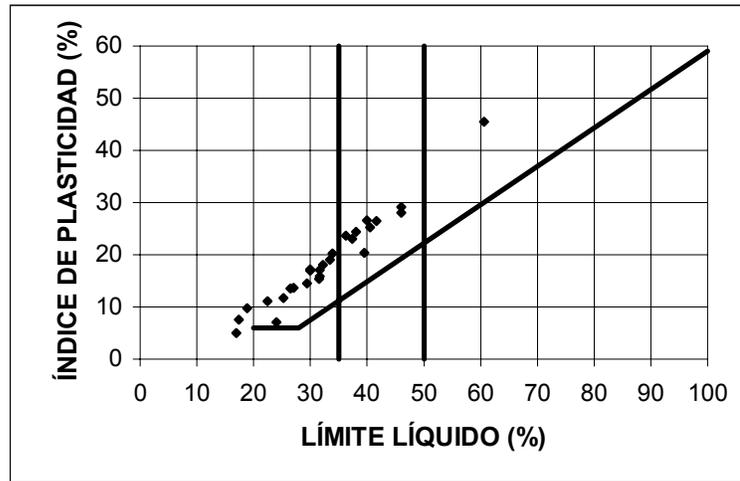


Tabla 2.14 Resumen de Resultados de Caracterización Geomecánica por Unidad Geomorfológica

| Unidad Geomorfológica | Material   | Profundidad (m) | Sondeo | Sección | LL | LP | IP | $w_n$ | PT200 | $\gamma$<br>(ton/m <sup>3</sup> ) | $c'$<br>(ton/m <sup>2</sup> ) | $\phi'$<br>(°) |
|-----------------------|--|-----------------|--------|---------|----|----|----|-------|-------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------|
|                       |  |                 |        |         | %  |    |    |       |       |                                   |                               |                |
| LC1                   | Relleno arcillo arenoso                              | 0,0 - 1,0       | 13     | 11      | 24 | 17 | 7  | 18    | 71    | 1,71                              | 0,1 - 0,28                    | 20 - 24        |
|                       | Arcilla arenosa gris clara                           | 1,0 - 4,0       |        |         | 17 | 10 | 7  | 15    | 53    | 1,86                              | 0,09                          | 35,6           |
|                       | Depósito coluvial - Gravas en matriz areno arcillosa | 4,0 -           |        |         |    |    |    |       |       |                                   |                               |                |
| LC2                   | Arcilla café   | 0,0 - 2,0       | 4      | 4       | 38 | 14 | 24 | 18    | 61    | 1,85                              | 0,00 - 0,88                   | 23 - 27        |
|                       | Depósito coluvial - Gravas en matriz areno arcillosa | 2,0 - 10,0      |        |         |    |    |    |       |       | 1,86                              | 0,09                          | 35,6           |
| LC3                   | Relleno arcillo arenoso café y gris oscuro           | 0,0 - 1,5       | 15     | 8       |    |    |    |       |       | 1,80                              | 0,00                          | 24             |
|                       | Arcilla café   | 1,5 - 3,0       |        |         | 38 | 14 | 24 | 18    | 61    | 1,85                              | 0,00 - 0,88                   | 23 - 27        |
|                       | Depósito coluvial - Gravas en matriz areno arcillosa | 3,0 - 6,0       |        |         |    |    |    |       |       |                                   |                               |                |
| LE1                   | Relleno arcillo arenoso                              | 0,0 - 0,8       | 8      | 17      |    |    |    |       |       |                                   |                               |                |
|                       | Suelo residual                                       | 0,8 - 2,8       |        |         | 23 | 10 | 13 | 13    | 47    | 1,80                              | 0,00 - 0,05                   | 23 - 27        |
|                       | Arenisca F. Bogotá                                   | 2,8 - 3,0       |        |         |    |    |    |       |       |                                   |                               |                |
| LR1                   | Relleno arcilloso gris                               | 0,0 - 2,4       | 21     | 10C     |    |    |    |       |       | 1,80                              | 0,12 - 2,40                   | 28 - 30        |
|                       | Relleno arcillo limoso café                          | 2,4 - 4,5       |        |         |    |    |    |       |       | 1,77                              | 0,06                          | 27,7           |
| LA1                   | Relleno heterogéneo arenoso                          | 0,0 - 9,0       | 10     | 2A      |    |    |    |       |       | 1,68                              | 0,10 - 1,00                   | 21 - 25        |
|                       | Arcillolita meteorizada                              | 9,0 -           |        |         |    |    |    |       |       | 1,90                              | 3,00                          | 25             |
| LA2                   | Relleno heterogéneo arenoso                          | 0,0 - 3,7       | 2      | 18      |    |    |    |       |       | 1,68                              | 0,10 - 1,00                   | 21 - 25        |
|                       | Arcilla café   | 3,7 -           |        |         | 38 | 14 | 24 | 18    | 61    | 1,85                              | 0,00 - 0,88                   | 23 - 27        |
| LA3                   | Relleno en arcilla y escombros                       | 0,0 - 4,9       | 3      |         |    |    |    |       |       | 1,71                              | 0,00                          | 28,6           |
|                       | Relleno arcillo arenoso gris oscuro                  | 4,9 - 6,7       |        |         |    |    |    |       |       | 1,80                              | 0,00                          | 24             |
|                       | Arcilla café   | 6,7 - 9,0       |        |         | 38 | 14 | 24 | 18    | 61    | 1,85                              | 0,00 - 0,88                   | 23 - 27        |

### **3 EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

El barrio Divino Niño se ha desarrollado recientemente, dentro de los límites de la localidad de Ciudad Bolívar, sector que comenzó a crecer durante la década de 1980, sobre terrenos muy erosionados, afectados por zonas de cárcavas, favorecidas por las condiciones micro climáticas secas de este sector de la Sabana.

El desarrollo del barrio se ha llevado a cabo a través del sistema de autoconstrucción en lotes sin servicios, en terrenos conformados por los diferentes urbanizadores mediante cortes de explanación y rellenos de las zonas de cárcavas y cauces de drenajes naturales. La venta de estos lotes se ha venido realizando de forma generalizada sin importar su ubicación tanto en terreno natural como sobre los rellenos. La traída y ubicación de los materiales de rellenos es una actividad diaria fomentada por los mismos urbanizadores para la adecuación de los terrenos ubicados en las zonas de cárcavas que sirve de límite entre el Barrio Divino Niño y las nuevas viviendas del costado oriental.

Las condiciones originales del terreno correspondían a una zona muy erosionada con presencia de cárcavas asociadas a los drenajes naturales, áreas que fueron rellenadas con materiales resultantes de las explanaciones para la adecuación de los lotes y mediante materiales muy heterogéneos incluyendo escombros de construcción, basuras y arcillas provenientes de las explotaciones cercanas.

Por el costado sur, en los límites del barrio, las construcciones se localizan sobre áreas que fueron modificadas por las explotaciones de arcillas de la ladrillera Santafé, sector donde se ha presentado el mayor número de emergencias y donde se ha llevado a cabo la reubicación de viviendas por parte de la DPAAE.

En el límite oriental del barrio Divino Niño, se ha venido conformando un nuevo desarrollo urbano subnormal, localizado sobre las laderas orientales que delimitan el carretable de la ladrillera Santafé, donde las actividades de construcción individual se han venido realizando mediante la explanación de los lotes a través de cortes y rellenos.

Las condiciones geomorfológicas descritas y las variables de tipo climático, geotécnico y antrópico han determinado en algunos sectores del área de estudio, diversos fenómenos denudativos: erosión y remoción en masa con diferentes grados de desarrollo.

En el presente capítulo se presentan los resultados del análisis de susceptibilidad ante los dos procesos denudativos y del estudio de amenaza por remoción en masa donde interviene como agente contribuyente y/o detonante la erosión.

El estudio de amenaza se basa en la definición de la probabilidad de falla y el factor de seguridad de los taludes más representativos de cada unidad geomorfológica, descrita en el numeral 2.3.2. En principio, las unidades se cubren con un buen número de secciones de análisis a fin de obtener la mejor cobertura e interpretación del sector, a partir de los perfiles de suelos, estratigrafía y caracterización geomecánica. Posteriormente, se efectúan los análisis de estabilidad con distintas combinaciones parámetros y de agentes exógenos y se obtienen los factores de seguridad asociados. La probabilidad de falla es la conjugación de las probabilidades de ocurrencia de los parámetros que intervienen en los análisis y los factores detonantes.

Al ser éste un análisis meramente probabilístico, los resultados poseen las limitaciones inherentes a la estadística y a la probabilidad, máxime cuando cada una de las variables resulta de difícil tratamiento dada la ausencia de la denominada muestra estadística. Por ejemplo, los parámetros de resistencia, se involucran en el análisis con sus valores máximos y mínimos que se obtienen mediante la suma y la diferencia respectivamente, del promedio y la desviación estándar; variables estadísticas cuyo cálculo no es expedito pues la muestra disponible apenas es apta para obtener la tendencia central; en cuanto a la desviación estándar ha sido adoptada de la reglamentación existente para este tipo de trabajos. (Guía Metodológica de la Resolución 364 de 2000, de la Secretaría de Gobierno y la DPAAE).

Con las variables externas: “sismo” y “presencia de agua”, el panorama no es muy diferente. La primera es adoptada de estudios específicos efectuados a la fecha por entidades competentes en el país y su determinación directa está por fuera de los alcances del presente estudio. La segunda variable, presencia de agua, se incluye en el análisis involucrando los niveles freáticos reportados en las perforaciones o adoptando una relación de presión de poros,  $r_u$ .

### **3.2 METODOLOGÍA**

En general, la amenaza por remoción en masa se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno o proceso de inestabilidad, que puede afectar un área dada, en un periodo de tiempo específico. En el caso del presente estudio, los procesos potenciales de inestabilidad se asocian tanto a las laderas naturales como a las de origen antrópico (conformadas por rellenos), donde se han localizado las diferentes construcciones del barrio y los desarrollos urbanos subnormales del sector Oriental.

Para evaluar la amenaza se adoptó un procedimiento que permitiera concatenar los resultados de los análisis de estabilidad para los diferentes mecanismos de falla, junto con los factores detonantes y la variación en el valor de los parámetros de resistencia de los materiales, todo lo anterior se ciñe a la guía metodológica

presentada en la Resolución No. 364 de 2000 de la Alcaldía Mayor de Bogotá. El procedimiento al que se hace mención consiste en lo siguiente:

- Determinación de los factores detonantes: lluvia, sismo y el factor antrópico.
- Elaboración de los modelos geotécnicos, basados en la geología y la exploración del subsuelo las cuales permitieron establecer espesores y tipos de materiales.
- Identificación de los mecanismos de falla; de acuerdo con las observaciones de campo y con los materiales predominantes se establecieron los posibles modelos y mecanismos de falla.
- Ejecución de los análisis de estabilidad de taludes, que consistió en encontrar los valores del factor de seguridad mediante el equilibrio límite, métodos de Bishop y Janbu.
- Obtención de la probabilidad de falla y factor de seguridad esperado, que conforman la definición de la amenaza. Los análisis se efectúan con las combinaciones de dos valores extremos (mínimo y máximo) de cada una de las cuatro variables involucradas: cohesión, fricción, sismo y agua. De esta manera, resultan  $2^4=16$  combinaciones de parámetros e igual número de factores de seguridad para superficies críticas, el promedio de ellos corresponde al factor de seguridad esperado. En lo que respecta a la probabilidad de falla, se calcula como la síntesis de las probabilidades de ocurrencia de las mismas variables.
- Determinación de la distancia de viaje de las masas potencialmente inestables, como una función de las características morfométricas de las laderas, los taludes y la masa inestable de suelo. El resultado permite establecer el alcance y la influencia ladera abajo de cada proceso y de esa manera delimitar las zonas de amenaza. El cálculo de la distancia de viaje se ciñe a la propuesta metodológica realizada por el profesor Fell de la Universidad de New South en Sydney, Australia, en su artículo "Landslide Risk assessment: prediction of travel distance", publicado en el Journal Canadiense en 1999, basado en un trabajo de investigación que consistió en la obtención de coeficientes a partir de un trabajo estadístico con registros de deslizamientos.

### **3.3 ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD**

Para la zonificación del terreno (**Plano 9**), se partió de la delimitación de las unidades geomorfológicas que fueron definidas en el capítulo anterior; donde se consideran para cada unidad los diferentes factores y componentes naturales que controlan la estabilidad natural de las laderas, incluyendo la intervención antrópica. A partir de esta clasificación se modeló el comportamiento de las diferentes laderas, tanto en su condición natural como ante los cambios generados por la actividad antrópica del desarrollo urbanístico (cortes de adecuación, sobrecargas asociadas a las construcciones, saturación de los materiales especialmente los rellenos por vertimiento de aguas servidas y por el deficiente manejo de aguas lluvias).

De acuerdo con los anteriores lineamientos, para la zonificación de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa se realizaron las siguientes actividades:

**Zonificación Geomorfológica:** La zonificación de amenaza partió de los límites de las unidades geomorfológicas, presentadas en el numeral 2.3

**Evaluación y zonificación de susceptibilidad:** La evaluación de la susceptibilidad se realizó para cada una de las unidades geomorfológicas y laderas naturales afectadas por la actividad antrópica, donde la susceptibilidad de los diferentes materiales a la generación de procesos de remoción en masa está controlada por los factores que controlan la aparente estabilidad del sistema.

Para la evaluación de la susceptibilidad se consideraron los siguientes parámetros de análisis en cada una de las unidades geomorfológicas: Características geotécnicas de los materiales; régimen de agua superficial y subterránea y la pendiente del terreno. Los procesos identificados se consideran una respuesta del sistema ante las nuevas condiciones generadas por el cambio de los factores naturales y permite identificar y evaluar el grado de importancia de estos factores.

**Evaluación de los procesos morfodinámicos:** La identificación y delimitación de los diferentes procesos de inestabilidad, asociados a cada una de las unidades geomorfológicas, permite evaluar su condición de estabilidad actual; entendiéndose el "Proceso", como una respuesta de desequilibrio del sistema (Unidad Geomorfológica), ante el cambio de sus condiciones naturales por efecto naturales o debidos a la actividad antrópica. Los procesos morfodinámicos potenciales se determinaron a partir del modelo de evolución de las diferentes laderas.

Para la evaluación de la susceptibilidad a la erosión en la zona de estudio se consideraron los siguientes factores en orden de importancia:

1. Las condiciones microclimáticas del sector, caracterizadas por presentar una precipitación anual promedio de 566 mm, una evaporación de 680mm, propios de climas secos y un valor de evapotranspiración potencial de 1300mm para la estación de Doña Juana. Estas condiciones definen un déficit de agua en el suelo durante todo el año, favoreciendo los procesos de erosión de los suelos durante los periodos lluviosos y determinando una alta agresividad de la lluvia por la falta de vegetación natural.
2. Las Condiciones morfológicas de las laderas que permiten la concentración del flujo superficial, favoreciendo los procesos de erosión y explican la formación de cárcavas y drenajes profundos que fueron rellenados durante la adecuación urbanística del terreno.
3. La composición de los suelos superficiales, clasificados como limos arenosos, arcillas limosas y arenas limosas, de alta susceptibilidad a la erosión.

De acuerdo con el registro de las fotografías aéreas, anteriores al desarrollo urbanístico del barrio, las laderas presentaban procesos muy activos de erosión laminar y concentrada, con la formación de cárcavas u surcos asociados a los drenajes naturales que se presentan en el plano No 6 y que fueron rellenados durante la adecuación urbanística del terreno. En general el proceso urbanístico ha sido un factor favorable al controlar los procesos de erosión que afectaban

el área de estudio, a través del manejo de la escorrentia superficial y el rellenos de las zonas de cárcavas.

Para el sector oriental, sobre la unidad de laderas estructurales, donde se exponen suelos arenosos de alta susceptibilidad a la erosión; la acción antrópica de las aguas lluvias y servidas de construcciones sin servicios determinan la condición de amenaza por erosión de los taludes de corte del sector, y la construcción de la carretera.

### **3.3.1 SUSCEPTIBILIDAD ALTA**

Dentro de esta categoría se incluyen la siguiente zonas, que se muestran en el **Plano 9**.

- Zona 1 Corresponde a la parte baja del relleno principal, (ladera de origen antrópico LA1), donde se conjugan la acción de las aguas de infiltración asociadas a los drenajes naturales; los vertimientos de aguas servidas de las construcciones localizadas en el sector oriental y la infiltración de las aguas lluvias de escorrentia, captadas por las laderas estructurales del sector oriental y la vía de acceso; aguas que son vertidas directamente sobre estos rellenos localizados en la parte baja. La conjugación de estos factores favorece la saturación de los rellenos, con la formación potencial de un deslizamiento traslacional en la base del relleno, con la generación de un flujo de tierras que afectaría la parte baja de la ladera.
- Zona 2 Los rellenos superficiales de 0.5 a 2.0m de espesor, localizados a media ladera (Ladera LA2), de composición heterogénea con presencia de basuras y que han sido dispuestos sin ningún grado de compactación sobre el borde de la vía de acceso a la ladrillera Santafé. Estos materiales ante una condición de saturación pueden generar un flujo de tierras.
- Zona 3. Las áreas de rellenos, con espesores mayores de 5mts localizados entre las calles 78B sur y 78C sur, con carrera 16Bis A, y entre las calles 79Bis sur y 80Bis sur con carrera 16BisB, (Laderas LA2), donde se han dispuesto rellenos arcillosos, escombros y basuras sobre la ladera que delimita el cauce de la quebrada Trompetas. La susceptibilidad de estos materiales están controlados por el bajo grado de consolidación identificado en la investigación geotécnica del subsuelo; zona afectada por la acción de las aguas de infiltración de las laderas aferentes y la pendiente del relleno con ángulos que varían entre los 50° y 60°

- Zona 4. Los rellenos arcillosos localizados en el límite sur del área de estudio, sobre los terrenos abandonados por las actividades mineras. En esta zona la susceptibilidad está controlada fundamentalmente por la composición arcillosa de los suelos superficiales y donde los rellenos arcillosos en general se presentan muy afectados por el régimen de aguas superficial proveniente de las laderas aferentes al sitio.
- Zona 5. Corresponde a la ladera del costado oriental del área de estudio,(LE2), donde se exponen suelos arenosos de muy alta susceptibilidad a la erosión, con procesos de erosión interna generada por las infiltraciones tanto de las aguas servidas como de la escorrentia superficial. La alta susceptibilidad está controlada por las características geotécnicas de los suelos arenosos; la alta permeabilidad de los suelos arenosos permite el procesos de infiltración y la formación de un flujo de aguas subsuperficiales en la zona de contacto con las rocas del subsuelos, con el consiguiente lavado y erosión interna de las arenas, que explican la formación de cárcavas regresivas sobre el corte de la vía y la generación de desprendimientos menores sobre los cortes de excavación dejados por las construcciones.
- Zona 6. Corresponde al segmento de ladera coluvial del costado occidental del barrio (LC3), localizada entre las calles 78c sur y 79sur; sector donde el depósito presenta una composición de cantos y bloques angulares en una matriz limo arcillosa con gravas; en los cortes se observa que los materiales se presentan afectados por un flujo de aguas subsuperficiales, posiblemente de infiltración natural o por vertimiento de aguas servidas. Las características geotécnicas de los materiales y su afectación por el régimen hidrogeológico determinan una alta susceptibilidad a movimientos de remoción en masa ante los cortes de excavación que se puedan generar por la adecuación de los lotes para su construcción.
- Zona 7. Esta zona se localiza al norte del barrio, sobre el talud de mayor altura, (18 a 20 m) que delimita el cauce de la quebrada Trompetas; sector donde se exponen los suelos coluviales de la formación Marichuela, con una composición de gravas y bloques en matriz limo arenosa. La susceptibilidad de esta zona está controlada por la composición limo arenosa de la matriz del depósito, y la presencia de una nivel de agua superficial, controlado por los vertimientos de aguas de las construcciones aledañas y que han generado los procesos de erosión sobre el talud.

### **3.3.2 SUSCEPTIBILIDAD MEDIA**

Dentro de esta categoría se incluyen las siguientes zonas ( ver plano No 9):

- Zona 1 Las laderas coluviales del sector occidental (LC3) donde los procesos morfodinámicos potenciales se asocian a los cortes generados por las construcciones, afectados por flujos de aguas subsuperficiales a través del depósito o en la zona de contacto suelo coluvial – roca arcillosa; esta condición define una inestabilidad puntual con la formación potencial de deslizamientos rotacionales.
- Zona 2 Corresponde a las laderas residuales del costado sur-oriental aledañas a la zona de alta susceptibilidad, entre las calles 79 sur y 80Bis sur, donde el desarrollo urbanístico ha controlando la acción de las aguas de escorrentía superficial.
- Zona 3 Los segmentos de ladera estructural (LE2), del costado oriental, localizada entre la zona de rellenos de la cárcava principal y la vía de acceso a la Ladrillera Santafé donde los procesos morfodinámicos están controlados principalmente por la susceptibilidad a la erosión de los suelos arenosos, la presencia de rellenos de escaso espesor dejados por los cortes de las construcciones, y la acción de las aguas servidas y aguas de escorrentía captadas y vertidas por la vía superior.
- Zona 4. Las zonas de rellenos superficiales que configuran las vías de mayor pendiente, localizadas el occidente del barrio, sobre las calles 78c Bis sur, calle 78 D sur, calle 79 sur y calle 80 Bis sur, donde igualmente se asocian problemas de asentamientos por consolidación y la generación potencial de flujos de tierras ante una condición de saturación por el vertimiento de aguas.

### **3.3.3 SUSCEPTIBILIDAD BAJA**

Dentro de esta categoría se incluyen las siguientes zonas(ver plano No 9):

- Zona 1 Las zonas de rellenos confinados asociados a los drenajes antiguos del costado occidental y de la cárcava principal localizada en el costado oriental, donde el bajo grado de compactación de estos materiales define una alta susceptibilidad a los asentamientos ante cargas estáticas y ante la acción antrópica generada por los vertimientos de aguas.
- Zona 2 Las zonas de rellenos superficiales que configuran las vías de menor pendiente, donde se asocian problemas potenciales de asentamientos por consolidación y la generación potencial de flujos de tierras ante una condición de saturación por el vertimiento de aguas.
- Zona 3 Las laderas coluviales expuestas en la parte central del barrio (LC1), entre las carreras 15D y 16 Bis A, de muy baja pendiente longitudinal y donde el desarrollo urbanístico presenta el mayor grado de consolidación con un alto control en el manejo de aguas lluvias y servidas.

- Zona 4 Las laderas estructurales del costado más oriental, en el límite del área de estudio, donde se expone el macizo rocoso de las areniscas de la Formación Regadera.
- Zona 5. Laderas aluviales del sector nor- occidental (A11), actualmente sin urbanizar; afectado por vertimientos de aguas servidas y localizada dentro de la zona de ronda hidráulica de la quebrada Trompetas.

### **3.4 IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE FACTORES DETONANTES**

En el área de estudio, los factores detonantes de los diferentes procesos de inestabilidad en orden de importancia son: la actividad antrópica, la sismicidad y el régimen de lluvias.

#### **3.4.1 LA ACTIVIDAD ANTRÓPICA**

Se considera como el factor detonante de mayor importancia, que ha influido en el cambio de las condiciones de equilibrio natural de las laderas, principalmente por la conformación de rellenos, ubicados indistintamente en las diferentes laderas, relleno los antiguos cauces y zonas de cárcavas, como un medio de adecuación de estas áreas para futuras construcciones.

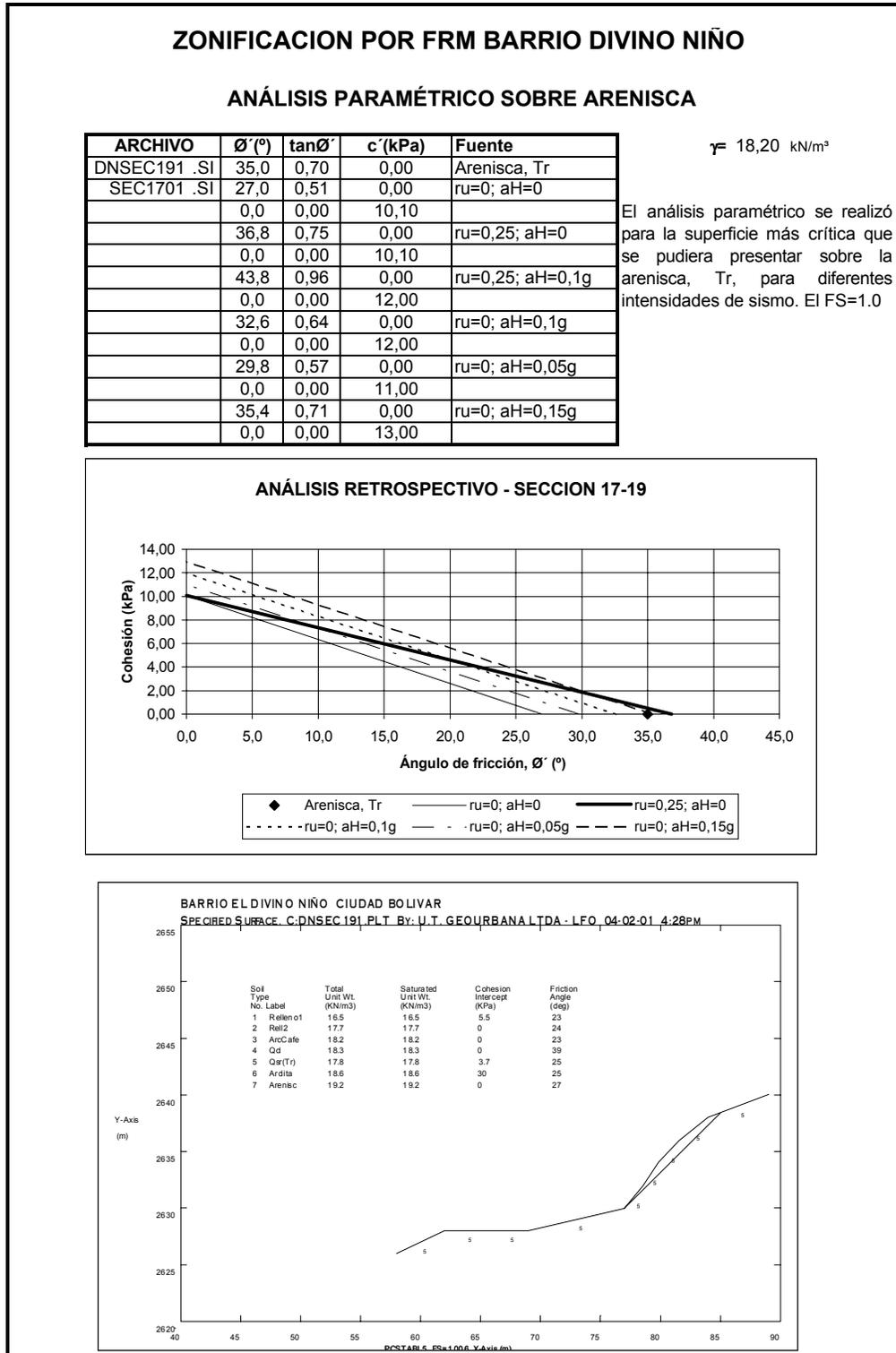
Por el costado oriental, en las áreas de nuevas construcciones en media ladera, la actividad antrópica se asocia a cambios en la morfología: los diferentes cortes y rellenos, realizados individualmente, sobre suelos arenosos de alta susceptibilidad a la erosión, y donde los vertimientos de aguas lluvias y servidas constituyen el factor de mayor importancia en los procesos de inestabilidad puntual. Los vertimientos de aguas servidas generadas por los habitantes de viviendas construidas recientemente, presentan una influencia directa en la estabilidad de los rellenos localizados en el sector más oriental y en las áreas de rellenos superficiales.

#### **3.4.2 SISMICIDAD**

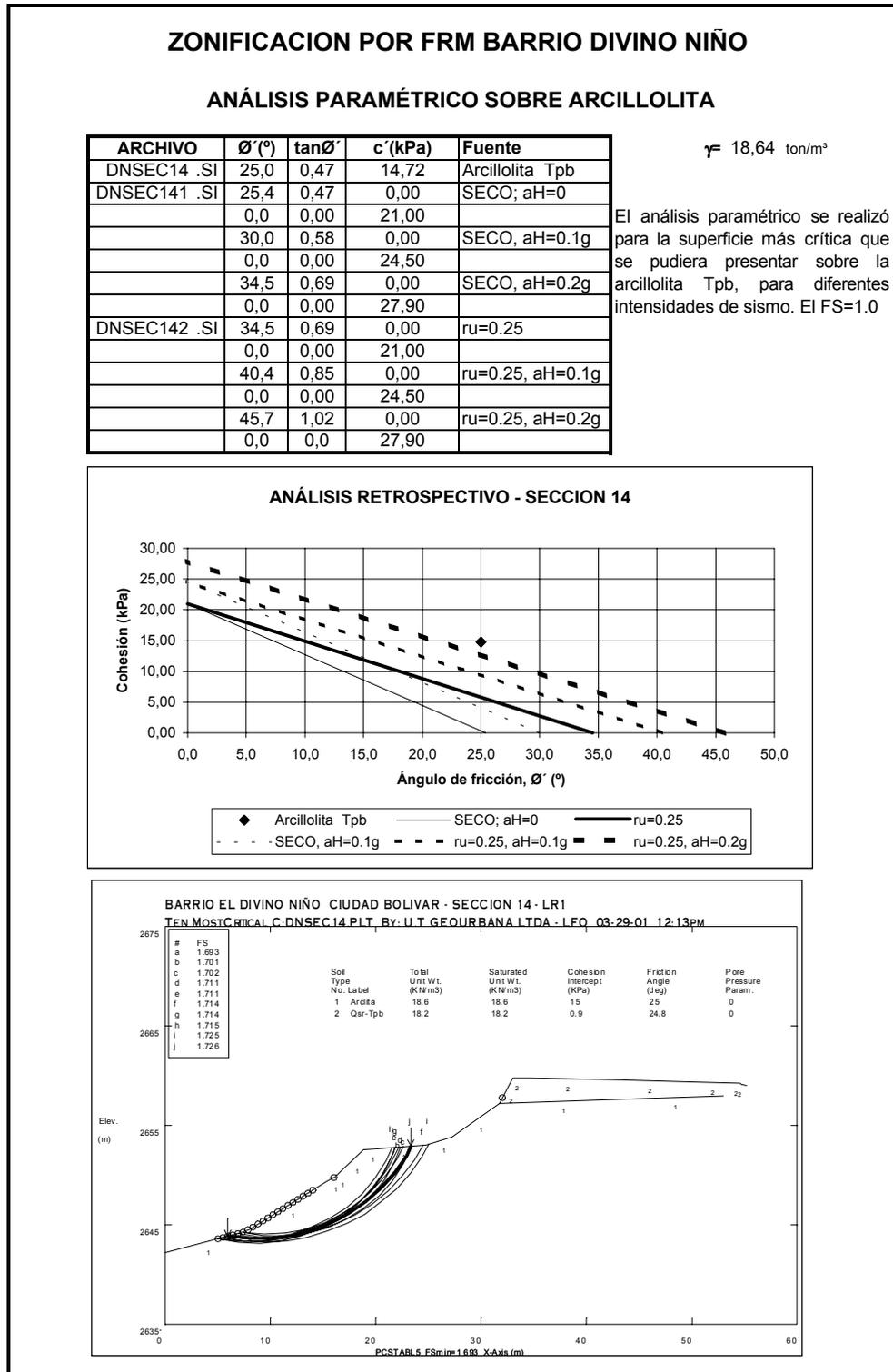
De acuerdo con el estudio de Microzonificación Sísmica de Santa Fé de Bogotá, realizado por la Universidad de los Andes, Ingeominas y la AIS, en 1997, la zona de estudio del Barrio Divino Niño puede presentar coeficientes de aceleración sísmica horizontal de  $a_H = 0.24$  en los cerros y  $a_H = 0.20$  en las terrazas.

Teniendo en consideración la escala de trabajo de dicho estudio, el Consultor intentó obtener para este estudio particular, valores más aproximados. Para el efecto, se llevaron a cabo análisis paramétricos sobre las secciones 14 y 19 que se muestran en las **Tablas 3.1 y 3.2** respectivamente.

**Tabla 3.1 Análisis retrospectivo sobre la sección 19 (arenisca)**



**Tabla 3.2 Análisis retrospectivo sobre la sección 14 (arcillolita)**



El análisis consistió en obtener las parejas de parámetros geomecánicos movilizados ( $c', \phi'$ ) en diferentes condiciones de  $r_u$  y  $a_H$  y, comparar las curvas resultantes con los parámetros obtenidos en la caracterización geomecánica del capítulo 2. Como se observa, en la figura de la **Tabla 3.1**, sección 19, el punto  $c', \phi'$  de la Arenisca Tr (0 Kpa,  $35^\circ$ ) coincide con la curva obtenida para  $a_H = 0.15g$  y  $r_u = 0$ , mientras que en la figura de la **Tabla 3.2**, sección 14, los parámetros de la arcillolita, Tpb, (14.72 Kpa,  $25^\circ$ ) se aproximan a la curva de  $r_u = 0.25$  y  $a_H = 0.2g$ .

En conclusión, se adoptó para los análisis de estabilidad a 25 años, un coeficiente de aceleración horizontal equivalente a 0.2, a partir de los valores de 0.24 y 0.20 del Estudio de Microzonificación y de 0.15 y 0.2 de los resultados mencionados.

Para el análisis actual, el periodo de recurrencia del sismo resulta alto y con una probabilidad de ocurrencia baja (0.21%, casi nula), así, se adoptó un coeficiente  $a_H=0$ . Los alcances del estudio no permiten realizar un análisis más profundo de este parámetro.

### **3.4.3 PLUVIOSIDAD**

Con relación a la pluviosidad, se destaca éste de igual forma como factor detonante, por las características de los materiales identificados en el área de estudio, principalmente de la zona de rellenos los cuales aunque por su baja permeabilidad (ver **Tabla 2.11**) no favorecen la captación de agua pero sí la generación de procesos de erosión hídrica, la formación de cárcavas, y leves incrementos del nivel freático. A este fenómeno se adiciona el deficiente manejo de las aguas lluvias.

El efecto de la pluviosidad en los análisis de estabilidad se traduce en elevación de la lámina de agua y por ende en la variación de la relación de presión de poros promedio a lo largo de todo el talud.

$$r_u = u / \sigma_v = (h_w * \gamma_w) / (h * \gamma)$$

$$r_u = (0.4 * 1.0 \text{ ton/m}^3 * 9.8 \text{ m/s}^2) / (1 * 1.8 \text{ ton/m}^3 * 9.8 \text{ m/s}^2) = 0.22$$

donde:

$r_u$ : Relación de presión de poros

$u$ : Presión de poros

$\sigma_v$ : Esfuerzo geostático vertical

$h_w$ : Altura de la lámina de agua = 40% de la altura del material en falla.

$\gamma_w$ : Peso unitario del agua

$\gamma$ : Peso unitario del material

La altura de la lámina de agua se compara con la altura del material en falla y se obtiene el promedio porcentual. Se asume que el valor no puede superar el 40%

dada la baja permeabilidad de los materiales, entre  $10^{-4}$  y  $10^{-6}$  cm/seg (resultados de las percolaciones, Tabla 2.11) y los coeficientes de escorrentía 0.42, 0.65 y 0.22 (Tabla 2.7 y Figura 2.9). A falta de datos concretos de monitoreo de fluctuaciones del nivel freático, con las precipitaciones y del desconocimiento del régimen hidrogeológico detallado, se considera el valor de 0.22 como una buena aproximación para efectuar los análisis de estabilidad. Este valor se presenta sustentado por el valor de precipitación media anual de 566 mm, una evaporación de 680 mm, propio de climas secos y una evapotranspiración de 1300 mm que definen un déficit de agua en el suelo durante todo el año.

### **3.5 ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA**

#### **3.5.1 CRITERIOS UTILIZADOS EN LA EVALUACIÓN DE LA AMENAZA**

De acuerdo con los resultados de la evaluación geomorfológica y de susceptibilidad, para la evaluación de la amenaza se consideraron los siguientes factores en orden de importancia, que influyen en la generación de los procesos de remoción en masa:

El factor antrópico asociado a la ubicación y disposición de los rellenos, localizados en media ladera.

El tipo de materiales presentes en el área de estudio, evaluados en las diferentes unidades geomorfológicas y caracterizados desde el punto de vista geotécnico; resaltándose los suelos residuales derivados de las arcillolitas de la formación Bogotá y los suelos arenosos de alta susceptibilidad a la erosión, expuestos en el límite sur del área de estudio y en las laderas del costado oriental.

Las condiciones topográficas de los segmentos de ladera coluvial, expuestos en el costado occidental, determinadas por el proceso de profundización del cauce de la quebrada Trompetas que ha configurado taludes de muy alta pendiente.

El régimen hidrogeológico para los segmentos de ladera de origen coluvial, expuestas en el costado más occidental, donde se identifica un flujo de aguas subsuperficiales a través de los suelos coluviales que controlan la estabilidad de los cortes generados por las actividades constructivas.

Por otra parte, se determinó que los amplios espesores de material de relleno en diferentes puntos, generan problemas en las viviendas que se asocian más a asentamientos que a fenómenos de remoción en masa. Por tanto, aunque las zonas de rellenos asociados a los drenajes antiguos y a la cárcava del sector oriental, presentan un alto potencial de asentamientos por consolidación, se categorizan como de Amenaza baja y media por deslizamientos.

### **3.5.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES**

Partiendo de la caracterización geotécnica, numeral 2.7.3, se establecieron los valores de los parámetros de resistencia para los materiales, adoptando las desviaciones estándar para cada parámetro, así:

Desviación estándar de la cohesión efectiva,  $\bar{\sigma}_c$  = 40 %  
Desviación estándar del ángulo de fricción efectivo,  $\bar{\sigma}_\phi$  = 15 %

De esta manera se calcularon los valores extremos para cada parámetro, necesarios en el análisis probabilístico. Un resumen de los parámetros obtenidos en los análisis se muestra en la **Tabla 3.3**.

### **3.5.3 MODELOS GEOTÉCNICOS**

Los modelos geotécnicos parten de la topografía realizada en la zona de estudio, en los resultados de la exploración del subsuelo y en un análisis multitemporal. La topografía o el modelo digital del terreno, MDT, se ajustó con base en las secciones tomadas directamente en campo, algunas de estas sirvieron como secciones para los modelos geotécnicos. Además, sobre el MDT final se trazaron nuevas secciones para complementar los modelos geotécnicos en algunas zonas y obtener, así, los análisis correspondientes.

Para evaluar la amenaza actual y futura (a 25 años) de las diez unidades geomorfológicas se recurrió a 16 secciones de análisis: 2A, 4, 8, 10B, 11, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 y CC, que se muestran en el Plano de secciones de análisis. Algunas de ellas fueron topográficamente determinadas en campo y otras fueron inferidas a partir de la cartografía.

Las secciones se distribuyen a lo largo y ancho del área de estudio con el fin de caracterizar todas las unidades geomorfológicas y se concentran en aquellas zonas que, por sus evidencias de inestabilidad, requieren un análisis más detallado.

Los modelos geotécnicos sobre los cuales se realizaron los análisis de estabilidad, sintetizan la topografía y la estratigrafía, producto tanto de la investigación del subsuelo como de la superposición de la cartografía IGAC del año 1980 y la actual. La primera a escala 1:2.000, refleja una época en la que aún no se había llevado a

**Tabla 3.3 Intervalos de variación de los parámetros efectivos de resistencia al corte**

| MATERIAL No. | DESCRIPCIÓN  | U. Geomorf.   | $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | $c'$ (kPa) |       |       | $\phi'$ (°) |      |      | Observaciones  |
|--------------|--|---------------|-------------------------------|------------|-------|-------|-------------|------|------|--|
|              |  |               |                               | mín.       | med.  | máx.  | mín.        | med. | máx. |  |
| 1            | Relleno heterogéneo, con arena, escombros                          | LA1, LA2, LA3 | 16,48                         | 3,24       | 5,40  | 7,55  | 19,8        | 23,0 | 26,0 | Se localiza en antiguas depresiones topográficas y drenajes. LA1, LA2. |
| 2            | Relleno arcillo arenoso/limoso                                     | LC3           | 17,66                         | 0,29       | 0,49  | 0,69  | 20,7        | 24,0 | 27,1 | Superficialmente en zonas más pobladas                                 |
| 3            | Relleno arcillo limoso   | LR1           | 17,36                         | 0,35       | 0,59  | 0,82  | 24,0        | 27,7 | 31,1 |  |
| 4            | Relleno arcilloso de color gris oscuro                             | LR1           | 17,66                         | 10,01      | 16,68 | 23,35 | 25,2        | 29,0 | 32,5 | Se concentra en algunos sectores de la zona LR1 (Ladera residual)      |
| 5            | Relleno con arcilla y escombros, muy suelto                        | LA2           | 16,78                         | 0,59       | 0,98  | 1,37  | 24,9        | 28,6 | 32,1 |  |
| 6            | Arcilla café, que surge de la meteorización del Qcl                | LC2, LC3      | 18,23                         | 2,59       | 4,32  | 6,04  | 21,6        | 25,0 | 28,2 | Es un nivel de suelo residual de aproximadamente 2 metros de espesor.  |
| 7            | Depósito coluvial (Qcl), con arenas, gravas y bloques              | LC1, LC2, LC3 | 18,25                         | 11,77      | 19,62 | 27,47 | 32,6        | 37,0 | 40,9 | Hace parte de un depósito antiguo, que cubre la arcillolita            |
| 8            | Suelo residual (Qsr-Tr). Meteorización de Areniscas F. Regadera    | LE1           | 17,66                         | 2,18       | 3,63  | 5,08  | 21,6        | 25,0 | 28,2 |  |
| 9            | Suelo residual 2(Qsr-Tpb). Meteorización de Arcillolitas F. Bogotá | LR1           | 18,15                         | 0,53       | 0,88  | 1,24  | 24,9        | 24,8 | 32,1 |  |
| 10           | Arcillolita F. Bogotá (Tpb)  | LE1, LR1      | 18,64                         | 8,83       | 14,72 | 20,60 | 21,6        | 25,0 | 28,2 |  |
| 11           | Arenisca F. Regadera (Tr)  | LE1           | 19,23                         | 0,00       | 0,00  | 0,00  | 30,8        | 35,0 | 38,8 |  |

cabo el proceso de urbanización que trajo consigo una marcada intervención antrópica en la morfología y la segunda, a escala 1:500, obtenida como parte del proyecto. Adicionalmente, los parámetros geomecánicos fueron obtenidos bien mediante ensayos de laboratorio y campo o bien por retroanálisis; los factores extrínsecos agua y movimientos sísmicos, se involucran con sus valores mínimos y máximos: para el agua  $ru_{\min}=0$  y  $ru=0.22$  en tanto que para las aceleraciones sísmicas, el mínimo valor es  $0g$  (amenaza actual) y el máximo  $0.2g$  (amenaza futura).

En la **Tabla 3.4** se registran las coordenadas de las secciones y la enumeración de las figuras; posteriormente se exponen sus principales características.

**Tabla 3.4** Coordenadas de las secciones de análisis

| Sección | Figura | Inicial  |          | Final    |          |
|---------|--------|----------|----------|----------|----------|
|         |        | N        | E        | N        | E        |
| 2A      | 3.1    | 93703,30 | 93425,30 | 93181,60 | 93342,50 |
| 4       | 3.2    | 93733,20 | 93269,00 | 93575,80 | 93349,70 |
| 8       | 3.3    | 93545,50 | 93153,70 | 93485,80 | 93337,30 |
| 10B     | 3.4    | 93433,90 | 93121,25 | 93378,90 | 93345,00 |
| 11      | 3.5    | 93358,30 | 93098,22 | 93293,90 | 93299,80 |
| 16      | 3.6    | 93336,80 | 93331,50 | 93229,60 | 93491,30 |
| 17      | 3.7    | 93447,70 | 93360,40 | 93379,90 | 93550,20 |
| 18      | 3.8    | 93607,80 | 93463,90 | 93471,20 | 93491,30 |
| 19      | 3.9    | 93481,50 | 93506,00 | 93618,00 | 93526,00 |
| 20      | 3.10   | 93313,00 | 93340,00 | 93704,50 | 93480,50 |
| 21      | 3.11   | 93361,00 | 93160,70 | 93298,50 | 93198,50 |
| 22      | 3.12   | 93312,70 | 93207,30 | 93288,70 | 93207,00 |
| 23      | 3.13   | 93532,00 | 93276,00 | 93619,00 | 93200,50 |
| 24      | 3.14   | 93463,50 | 93146,00 | 93463,00 | 93200,00 |
| 25      | 3.15   | 93662,00 | 93338,00 | 93724,00 | 93336,00 |
| CC      | 3.16   | 93646,00 | 93209,00 | 93529,00 | 93313,50 |

**3.5.3.1 Sección de Análisis 2A:** La sección que se muestra en la Figura 3.1, fue tomada directamente en campo y atraviesa de norte a sur el área de estudio alineada con el relleno antrópico que cubre la principal cárcava antigua (LA1); su

estratigrafía se obtuvo a partir de las perforaciones 4, 34, 7, 35, 9, 10, 36, 11 y 37, la trinchera 33 y los sondeos eléctricos verticales. Por comparación entre las topografías actual (2001) y antigua (1980) se identifica un relleno de 10 a 15 m de espesor, que cubre los suelos coluviales pertenecientes a la formación Marichuela.

Este modelo se empleó para caracterizar la parte final de la sección, correspondiente a la ladera coluvial 2 (LC2), en la cual se manifiestan los materiales arcilla café, designada con el número 6 (ver **Tabla 3.3**) y el depósito coluvial (Qcl - 7).

**3.5.3.2 Sección de Análisis 4:** La sección 4 localizada al noroccidente del barrio, cubre la unidad LC2 en dirección N27W y aparece en la Figura 3.2. La estratigrafía inferida de las observaciones de campo, corresponde a los materiales 6 y 7 (arcilla café y el Qcl) cuyos parámetros se variaron para caracterizar la estabilidad de la citada ladera. De acuerdo con la topografía actual, esta ladera solo ha sido afectada por los cortes de las construcciones en media ladera, donde se exponen los suelos coluviales de la formación Marichuela.

**3.5.3.3 Sección de Análisis 8:** Sobre la sección 8, ubicada al occidente del barrio Divino Niño, se construyó el modelo geotécnico que se muestra en la Figura 3.3. Con ella se evaluó la estabilidad de la ladera coluvial 3 (LC3) en la que se manifiestan los materiales 2, 6 y 7 es decir, un relleno, la arcilla café y el depósito coluvial. El nivel actual del terreno se obtuvo por medición directa en campo, donde se identifica un corte de excavación de 2 m de espesor, asociado a la adecuación urbanística del terreno y rellenos (1), localizados sobre los drenajes antiguos

**3.5.3.4 Sección de Análisis 10B:** La sección de la Figura 3.4, tomada también al occidente, se posiciona en las laderas coluvial 1 (LC1) y residual 1 (LR1). Estas dos unidades geomorfológicas fueron caracterizadas, variando respectivamente los parámetros geomecánicos de los materiales 7 (Qcl) y 4, 9 y 10 (relleno, suelo residual de la arcillolita y la propia arcillolita de la Formación Bogotá - Tpb). La estratigrafía se obtuvo por contrastación de topografías, observaciones de campo y la perforación 21. El perfil topográfico identifica una excavación de 2 a 3 m de espesor asociado a la adecuación urbanística del terreno, y la presencia de rellenos que cubren las arcillolitas de la formación Bogotá.

**3.5.3.5 Sección de Análisis 11:** Esta sección fue levantada al suroccidente del área de estudio, atravesando la LR1, con dirección N72W. En la Figura 3.5 se observa el resultado de la exploración del subsuelo (perforaciones 22 a 26 y trinchera 27) y la superposición de la topografía 1980 a la actual. Como se puede apreciar, los rellenos 1 y 3 de entre 2 y 5 metros de espesor, superyacen el suelo residual (material 9) que alcanza ocho metros por meteorización de la arcillolita de la Formación Bogotá - Tpb (material 10). La sección fue utilizada para estimar la estabilidad del relleno 3 en LR1. El análisis del perfil estratigráfico identifican una excavación del terreno natural asociado a las actividades mineras de la ladrillera Santafé.

**3.5.3.6 Sección de Análisis 16:** Localizada al suroriente del barrio Divino Niño, con dirección N46W, la sección 16 corresponde a la Figura 3.6. La sección, trazada y levantada a través de las laderas estructurales 1 y 2 (LE1 y LE2), muestra la arenisca de la Formación Regadera - Tr (material 11) y la arcillolita de la Formación Bogotá - Tpb (material 10) con buzamiento favorable hacia el SE y el suelo residual asociado a la primera, de espesor promedio de 1.5 m. En la parte baja aparece el Relleno 2 con el cual fue cubierto el antiguo cauce principal con una profundidad aproximada de 10 m. La información proviene de la perforación 11 y la trinchera 29. Con esta sección se caracterizó la estabilidad de la LE1 - material 8 y la LE2 - material 9. El análisis del perfil topográfico identifica pequeños niveles de corte asociados a la vía y las construcciones en media ladera.

**3.5.3.7 Sección de Análisis 17:** La sección 17, Figura 3.7, fue levantada paralela a la sección 16 y se localiza al norte de ella. El modelo es muy similar al anterior, aparecen la arenisca de la Formación Regadera (material 11) y la arcillolita de la Formación Bogotá (material 10) y el suelo residual incipiente de la arenisca cubierto por el depósito coluvial delgado, material 8, el espesor de este último es de 3 a 5 metros y el buzamiento de la roca hacia el oriente es favorable para la estabilidad. Con este modelo se realizaron los análisis de estabilidad para caracterizar la unidad LE2. En la parte baja, nuevamente aparece el relleno 2 de la cárcava principal cuya profundidad se determinó con el sondeo 9 y la topografía de 1980, que permitió determinar niveles de corte asociados a las vías y las construcciones en media ladera.

**3.5.3.8 Sección de Análisis 18:** La sección se localiza al norte del área y atraviesa en dirección N13W las laderas estructural 1 (LE1) y antrópica 2 (LA2). En la Figura 3.8 se aprecia la estratigrafía correspondiente a la arenisca de la Formación Regadera (material 11) con buzamiento favorable que subyace los rellenos 4 y 5 y sobre la cual se desarrolla un incipiente suelo residual cubierto por un delgado depósito coluvial arenoso Qsr-Tr (material 8). La sección fue empleada para estudiar la estabilidad de la unidad LA2 y se apoya en el sondeo 30, topografía multitemporal y observaciones de campo.

**3.5.3.9 Sección de Análisis 19:** Haciendo uso de las topografías de 1980 y 2001, se construyó el modelo geotécnico del sector nororiental del barrio en la ladera estructural 1 (LE1). La Figura 3.9 muestra los materiales 5, 8 y 11: el primero, un relleno de 3 ó 4 metros de espesor; el segundo, el suelo residual de la arenisca y el tercero, la propia arenisca de la Formación Regadera - Tr, con buzamiento favorable. Para evaluar la estabilidad de la ladera, se variaron los parámetros del suelo residual (Qsr/Tr). El análisis del perfil permitió identificar los niveles de corte asociados al corte de la vía y la actividad antrópica.

**3.5.3.10 Sección de Análisis 20:** La sección atraviesa, alineada con la antigua cárcava mayor, el área de estudio. El modelo que aparece en la Figura 3.10, fue construido por análisis multitemporal de la morfología y las perforaciones 9, 10, 36 y 11, la

trinchera 33 y los sondeos eléctricos verticales. Con este modelo se analizó la ladera antrópica 1 (LA1) variando los parámetros de los rellenos 1 y 2.

**3.5.3.11 Sección de Análisis 21:** La sección se localiza en la ladera residual 1 (LR1) en dirección N40W, el modelo sintetiza el análisis multitemporal a partir de las cartografías (se muestra el espesor del relleno de una de las cárcavas), la perforación 24 y la trinchera 27. En la Figura 3.11 aparece la estratigrafía: el Relleno 3 y el suelo residual de la arcillolita (Qsr/Tpb - 9), cuyos parámetros se variaron para evaluar la estabilidad de la ladera en ese sector. El análisis de los perfiles topográficos de 1980 y 2001 identifican una excavación de 3 a 5 m asociada a las actividades mineras de la ladrillera Santafé.

**3.5.3.12 Sección de Análisis 22:** Muy cerca de la anterior, en la misma ladera residual 1 (LR1), pero con orientación N-S, se elaboró el modelo de análisis de la Figura 3.12. En ella se reprodujeron las observaciones de campo y se variaron los parámetros del material 7 o depósito coluvial, Qcl, para caracterizar ese sector de la ladera. El análisis de los perfiles de 1980 y 2001, identifica un nivel de excavación de 15 a 20 m, asociado a las actividades mineras de la ladrillera Santafé.

**3.5.3.13 Sección de Análisis 23:** En la Figura 3.13 aparece el modelo físico de la sección 23 trazada al noroeste del barrio sobre las laderas antrópica 1 (LA1) y coluvial 3 (LC3) En él aparecen los materiales 5, 6 y 7, es decir, el relleno 5, la arcilla café y el depósito coluvial, los espesores fueron obtenidos por superposición de las topografías 1980 y 2001.

**3.5.3.14 Sección de Análisis 24:** En la Figura 3.14 se muestra el modelo geotécnico en cuestión, que se localiza al occidente cerca a la frontera entre la ladera coluvial 3 (LC3) y la ladera residual 1 (LR1) atravesando el relleno 1. Con esta sección se caracterizó la LC3, material 1 y su estratigrafía se reconstruyó a partir de las evidencias de campo. El análisis del perfil (1980-2001), identifican una excavación general del terreno de 2 m como resultado de la adecuación urbanística del terreno.

**3.5.3.15 Sección de Análisis 25:** Trazada al norte del área, la sección 25 fue útil para caracterizar la ladera coluvial 2 (LC2). En la Figura 3.15 se reproduce la estratigrafía, interpretada de las cartografías 1980 y 2001 y las observaciones en el lugar, la cual consiste en el material coluvial (Qcl - 7) y el Relleno 2. La comparación de los perfiles de 1980 y 2001 identifican un relleno de 1 a 3 m sobre la ladera coluvial LC2, y una profundización del cauce de la quebrada Tromperas.

**3.5.3.16 Sección de Análisis C-C':** La sección C-C', se trazó atravesando la ladera antrópica 3 (LA3) al noroccidente del barrio. La Figura 3.16 que muestra los distintos niveles de materiales, se apoya en el sondeo 6 y en la interpretación multitemporal de la cartografía donde se observa los límites del relleno. Se observan los suelos 1, 6 y 7 (relleno, arcilla café y depósito coluvial), los parámetros del primero fueron variados para caracterizar la ladera mencionada.

### **3.5.4 MECANISMOS DE FALLA**

Con base en los materiales encontrados y en los procesos actuales se realizó la descripción de los posibles mecanismos de falla, así:

*Rotacional en rellenos;* de acuerdo con lo observado en el terreno, este tipo de materiales, sean arenosos o arcillosos, pueden fallar a través de una superficie o plano de debilidad circular, que se manifiesta con un hundimiento bascular en la parte superior o corona del talud y un abombamiento en el pie o sobre el talud.

*Rotacional en los suelos coluviales;* en el depósito coluvial hacia el costado norte del área de estudio, se evidencia una serie de pequeños escarpes en forma de arco con un carácter retrogresivo, es decir avanzando hacia el interior del talud.

*Traslacional en material meteorizado;* este tipo de mecanismo se asocia a las laderas estructurales (en la contrapendiente estructural) que presentan una zona o plano de debilidad asociado a la meteorización de la roca y a un depósito de ladera antiguo sobre los materiales que conforman la ladera estructural.

### **3.5.5 ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE ESTABILIDAD**

Los factores de seguridad de cada sección analizada, se obtuvieron con ayuda del Programa PCStable 6M, desarrollado por la Universidad de Purdue, Indiana E.U., que permite versatilidad en el uso de los métodos de análisis. Así, el mecanismo de falla rotacional fue analizado con el método de Bishop Modificado y la falla traslacional con el método de Janbu en bloques.

Para estimar la situación actual, los análisis de estabilidad condujeron a factores de seguridad para cada hipótesis (combinaciones tanto de los parámetros geotécnicos como de los factores detonantes), una vez completada esta etapa, se calcularon las probabilidades de falla utilizando el Método de Rosenblueth (PEM), de acuerdo con la guía metodológica de la Resolución No. 364, dicho cálculo se realizó con la ayuda de una hoja electrónica en aplicación Excel.

En las **Tablas 3.5** y **3.6**, se resumen los resultados de las probabilidades de falla para cada periodo de análisis.

Adicionalmente; el análisis de estabilidad permitió establecer la geometría aproximada de la masa inestable en cada modelo geotécnico analizado, por lo tanto fue posible construir la **Tabla 3.7**, que muestra dichos resultados y se llevo a cabo el cálculo de la distancia de viaje de acuerdo con Fell, 1999. Esta última variable permitió delimitar con mayor certeza la zona de influencia de los FRM, así como encontrar algunas variables involucradas en la solicitud para cada vivienda.

**Tabla 3.5 Valores del factor de seguridad esperado y de la probabilidad de falla actual**

|                              |   |                |      |
|------------------------------|---|----------------|------|
| Período de diseño            | : | $T_D = 1$      | años |
| Período retorno para lluvias | : | $T_{RL} = 20$  | años |
| Período retorno para sismo   | : | $T_{RS} = 475$ | años |
| Probabilidad lluvia          | : | $P_L = 4,88\%$ |      |
| Probabilidad sismo           | : | $P_S = 0,21\%$ |      |

| Unidad Geomorfol.<br>Sección de análisis<br>Material | LA1     |         | LA2     |         | LA3     | LC1      | LC2     |         |        |        |         | LC3        |        |             |         | LE1     |         | LE2     |         | LR1     |            |          |          |           |         |         |         |         |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|--------|--------|---------|------------|--------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|----------|----------|-----------|---------|---------|---------|---------|
|  | 20<br>1 | 20<br>2 | 18<br>5 | 19<br>5 | CC<br>5 | 10B<br>7 | 2A<br>6 | 2A<br>7 | 4<br>6 | 4<br>7 | 25<br>2 | 8<br>2(ab) | 8<br>6 | 8<br>2(arr) | 23<br>5 | 24<br>1 | 16<br>8 | 19<br>8 | 16<br>9 | 17<br>8 | 17<br>8(2) | 10B<br>4 | 10B<br>9 | 10B<br>10 | 11<br>3 | 21<br>3 | 21<br>9 | 22<br>9 |
| c'   | Ø'      | Lluvia  | Sismo   |         |         |          |         |         |        |        |         |            |        |             |         |         |         |         |         |         |            |          |          |           |         |         |         |         |
| - - No No  | 0,979   | 0,688   | 0,843   | 1,011   | 0,880   | 3,400    | 1,864   | 0,757   | 3,054  | 1,683  | 0,957   | 1,917      | 1,144  | 2,110       | 1,500   | 1,285   | 1,043   | 1,079   | 0,580   | 0,992   | 0,984      | 1,092    | 1,372    | 1,089     | 0,959   | 2,269   | 0,754   | 1,366   |
| - - Si No  | 0,768   | 0,495   | 0,614   | 0,793   | 0,694   | 3,077    | 1,438   | 0,454   | 2,539  | 1,388  | 0,727   | 1,579      | 0,921  | 1,604       | 1,272   | 1,106   | 0,959   | 0,911   | 0,363   | 0,828   | 0,802      | 0,970    | 1,362    | 0,719     | 0,752   | 1,825   | 0,558   | 1,218   |
| - - No Si  | 0,979   | 0,688   | 0,843   | 0,780   | 0,880   | 3,400    | 1,864   | 0,757   | 3,054  | 1,683  | 0,957   | 1,917      | 1,144  | 2,110       | 1,500   | 1,285   | 1,043   | 1,079   | 0,580   | 0,992   | 0,984      | 1,092    | 1,372    | 1,089     | 0,959   | 2,269   | 0,754   | 1,366   |
| - - Si Si  | 0,768   | 0,495   | 0,614   | 0,580   | 0,694   | 3,077    | 1,438   | 0,454   | 2,539  | 1,388  | 0,727   | 1,579      | 0,921  | 1,604       | 1,272   | 1,106   | 0,959   | 0,911   | 0,363   | 0,828   | 0,802      | 0,970    | 1,362    | 0,719     | 0,752   | 1,825   | 0,558   | 1,218   |
| - + No No  | 1,239   | 0,917   | 1,105   | 1,263   | 1,108   | 3,866    | 2,420   | 0,939   | 3,217  | 2,045  | 1,270   | 2,193      | 1,423  | 2,819       | 1,804   | 1,500   | 1,115   | 1,246   | 0,749   | 1,189   | 1,182      | 1,103    | 1,387    | 1,356     | 1,215   | 2,933   | 0,964   | 1,468   |
| - + Si No  | 0,967   | 0,657   | 0,795   | 0,954   | 0,855   | 3,431    | 1,854   | 0,529   | 3,109  | 1,647  | 0,958   | 1,977      | 1,122  | 2,134       | 1,499   | 1,265   | 1,037   | 1,074   | 0,464   | 0,970   | 0,962      | 1,043    | 1,374    | 0,886     | 0,936   | 2,343   | 0,701   | 1,289   |
| - + No Si  | 1,239   | 0,917   | 1,105   | 0,897   | 1,108   | 3,866    | 2,420   | 0,939   | 3,217  | 2,045  | 1,270   | 2,193      | 1,423  | 2,819       | 1,804   | 1,500   | 1,115   | 1,246   | 0,749   | 1,189   | 1,182      | 1,103    | 1,387    | 1,356     | 1,215   | 2,933   | 0,964   | 1,468   |
| - + Si Si  | 0,967   | 0,657   | 0,795   | 0,660   | 0,855   | 3,431    | 1,854   | 0,529   | 3,109  | 1,647  | 0,958   | 1,977      | 1,122  | 2,134       | 1,499   | 1,265   | 1,037   | 1,074   | 0,464   | 0,970   | 0,962      | 1,043    | 1,374    | 0,886     | 0,936   | 2,343   | 0,701   | 1,289   |
| + - No No  | 1,268   | 0,741   | 0,970   | 1,164   | 1,155   | 4,255    | 2,172   | 1,053   | 3,223  | 2,387  | 1,055   | 1,991      | 1,600  | 2,252       | 1,709   | 1,774   | 1,095   | 1,353   | 0,713   | 1,181   | 1,256      | 1,125    | 1,373    | 1,375     | 1,001   | 2,513   | 0,855   | 1,752   |
| + - Si No  | 1,056   | 0,543   | 0,741   | 0,942   | 0,974   | 3,928    | 1,740   | 0,734   | 3,134  | 2,074  | 0,825   | 1,653      | 1,369  | 1,746       | 1,474   | 1,584   | 1,030   | 1,178   | 0,474   | 1,016   | 1,092      | 1,114    | 1,363    | 0,964     | 0,793   | 2,005   | 0,660   | 1,601   |
| + - No Si  | 1,268   | 0,741   | 0,970   | 0,821   | 1,155   | 4,255    | 2,172   | 1,053   | 3,223  | 2,387  | 1,055   | 1,991      | 1,600  | 2,252       | 1,709   | 1,774   | 1,095   | 1,353   | 0,713   | 1,181   | 1,256      | 1,125    | 1,373    | 1,375     | 1,001   | 2,513   | 0,855   | 1,752   |
| + - Si Si  | 1,056   | 0,543   | 0,741   | 0,631   | 0,974   | 3,928    | 1,740   | 0,734   | 3,134  | 2,074  | 0,825   | 1,653      | 1,369  | 1,746       | 1,474   | 1,584   | 1,030   | 1,178   | 0,474   | 1,016   | 1,092      | 1,114    | 1,363    | 0,964     | 0,793   | 2,005   | 0,660   | 1,601   |
| + + No No  | 1,523   | 0,970   | 1,232   | 1,336   | 1,360   | 4,719    | 2,637   | 1,261   | 3,326  | 2,749  | 1,368   | 2,201      | 1,889  | 2,962       | 2,012   | 1,983   | 1,168   | 1,503   | 0,881   | 1,376   | 1,325      | 1,125    | 1,389    | 1,662     | 1,256   | 3,274   | 1,064   | 1,833   |
| + + Si No  | 1,254   | 0,710   | 0,922   | 1,124   | 1,132   | 4,277    | 2,148   | 0,839   | 3,233  | 2,349  | 1,056   | 2,050      | 1,578  | 2,276       | 1,703   | 1,754   | 1,087   | 1,353   | 0,570   | 1,154   | 1,243      | 1,113    | 1,376    | 1,145     | 0,977   | 2,612   | 0,804   | 1,637   |
| + + No Si  | 1,523   | 0,970   | 1,232   | 0,943   | 1,360   | 4,719    | 2,637   | 1,261   | 3,326  | 2,749  | 1,368   | 2,201      | 1,889  | 2,962       | 2,012   | 1,983   | 1,168   | 1,503   | 0,881   | 1,376   | 1,325      | 1,125    | 1,389    | 1,662     | 1,256   | 3,274   | 1,064   | 1,833   |
| + + Si Si  | 1,254   | 0,710   | 0,922   | 0,786   | 1,132   | 4,277    | 2,148   | 0,839   | 3,233  | 2,349  | 1,056   | 2,050      | 1,578  | 2,276       | 1,703   | 1,754   | 1,087   | 1,353   | 0,570   | 1,154   | 1,243      | 1,113    | 1,376    | 1,145     | 0,977   | 2,612   | 0,804   | 1,637   |

|       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| E(FS) | 1,132 | 0,715 | 0,903 | 0,918 | 1,020 | 3,869 | 2,034 | 0,821 | 3,104 | 2,040 | 1,027 | 1,945 | 1,381 | 2,238 | 1,622 | 1,531 | 1,067 | 1,212 | 0,599 | 1,088 | 1,106 | 1,086 | 1,375 | 1,150 | 0,986 | 2,472 | 0,795 | 1,521 |
| P(F)  | 0,053 | 0,953 | 0,401 | 0,051 | 0,176 | 0,000 | 0,000 | 0,526 | 0,000 | 0,000 | 0,157 | 0,000 | 0,010 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,009 | 0,012 | 1,000 | 0,052 | 0,036 | 0,004 | 0,000 | 0,041 | 0,219 | 0,000 | 0,849 | 0,000 |

**Tabla 3.6 Valores del factor de seguridad esperado y de la probabilidad de falla a 25 años**

| PROBABILIDADES DE FALLA      |                       |
|------------------------------|-----------------------|
| Período de diseño            | : $T_D = 25$ años     |
| Período retorno para lluvias | : $T_{RL} = 20$ años  |
| Período retorno para sismo   | : $T_{RS} = 475$ años |
| Probabilidad lluvia          | : $P_L = 71,35\%$     |
| Probabilidad sismo           | : $P_S = 5,13\%$      |

| Unidad Geomorfol.<br>Sección de análisis | LA1   |       | LA2   |       | LA3   | LC1   | LC2   |       |       |       |       | LC3   |       |        |       | LE1   |       | LE2   |       | LR1   |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|  | 20    | 20    | 19    | 18    | CC    | 10B   | 2A    | 2A    | 4     | 4     | 25    | 8     | 8     | 8      | 23    | 24    | 16    | 19    | 16    | 17    | 17    | 10B   | 10B   | 10B   | 11    | 21    | 21    | 22    |
| Material                                 | 1     | 2     | 5     | 5     | 5     | 7     | 6     | 7     | 6     | 7     | 2     | 2(ab) | 6     | 2(arr) | 5     | 1     | 8     | 8     | 9     | 8     | 8(2)  | 4     | 9     | 10    | 3     | 3     | 9     | 9     |
| c' $\phi$ Lluvia    Sismo                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| - - No No                                | 0,979 | 0,688 | 1,011 | 0,843 | 0,880 | 3,400 | 1,864 | 0,757 | 3,054 | 1,683 | 0,957 | 1,917 | 1,144 | 2,110  | 1,500 | 1,285 | 1,043 | 1,079 | 0,580 | 0,992 | 0,984 | 1,092 | 1,372 | 1,089 | 0,959 | 2,269 | 0,754 | 1,366 |
| - - Si No                                | 0,768 | 0,495 | 0,793 | 0,614 | 0,694 | 3,077 | 1,438 | 0,454 | 2,539 | 1,388 | 0,727 | 1,579 | 0,921 | 1,604  | 1,272 | 1,106 | 0,959 | 0,911 | 0,363 | 0,828 | 0,802 | 0,970 | 1,362 | 0,719 | 0,752 | 1,825 | 0,558 | 1,218 |
| - - No Si                                | 0,681 | 0,467 | 0,716 | 0,577 | 0,612 | 1,649 | 0,923 | 0,550 | 1,400 | 1,210 | 0,608 | 1,009 | 0,809 | 0,976  | 0,981 | 0,926 | 0,697 | 0,758 | 0,459 | 0,684 | 0,665 | 0,749 | 0,753 | 0,598 | 0,664 | 1,177 | 0,533 | 1,015 |
| - - Si Si                                | 0,531 | 0,325 | 0,527 | 0,403 | 0,471 | 1,493 | 0,701 | 0,316 | 1,160 | 0,984 | 0,451 | 0,803 | 0,641 | 0,700  | 0,800 | 0,781 | 0,632 | 0,628 | 0,285 | 0,560 | 0,530 | 0,662 | 0,748 | 0,385 | 0,504 | 0,921 | 0,379 | 0,908 |
| - + No No                                | 1,239 | 0,917 | 1,263 | 1,105 | 1,108 | 3,866 | 2,420 | 0,939 | 3,217 | 2,045 | 1,270 | 2,193 | 1,423 | 2,819  | 1,804 | 1,500 | 1,115 | 1,246 | 0,749 | 1,189 | 1,182 | 1,103 | 1,387 | 1,356 | 1,215 | 2,933 | 0,964 | 1,468 |
| - + Si No                                | 0,967 | 0,657 | 0,954 | 0,795 | 0,855 | 3,431 | 1,854 | 0,529 | 3,109 | 1,647 | 0,958 | 1,977 | 1,122 | 2,134  | 1,499 | 1,265 | 1,037 | 1,074 | 0,464 | 0,970 | 0,962 | 1,043 | 1,374 | 0,886 | 0,936 | 2,343 | 0,701 | 1,289 |
| - + No Si                                | 0,859 | 0,622 | 0,897 | 0,754 | 0,764 | 1,851 | 1,195 | 0,679 | 1,765 | 1,462 | 0,806 | 1,176 | 1,001 | 1,302  | 1,202 | 1,074 | 0,753 | 0,877 | 0,598 | 0,815 | 0,809 | 0,751 | 0,760 | 0,751 | 0,838 | 1,546 | 0,681 | 1,077 |
| - + Si Si                                | 0,660 | 0,426 | 0,660 | 0,518 | 0,576 | 1,642 | 0,895 | 0,357 | 1,439 | 1,159 | 0,591 | 1,036 | 0,776 | 0,929  | 0,973 | 0,899 | 0,685 | 0,746 | 0,368 | 0,652 | 0,631 | 0,702 | 0,754 | 0,474 | 0,633 | 1,208 | 0,475 | 0,943 |
| + - No No                                | 1,268 | 0,741 | 1,164 | 0,970 | 1,155 | 4,255 | 2,172 | 1,053 | 3,223 | 2,387 | 1,055 | 1,991 | 1,600 | 2,252  | 1,709 | 1,774 | 1,095 | 1,353 | 0,713 | 1,181 | 1,256 | 1,125 | 1,373 | 1,375 | 1,001 | 2,513 | 0,855 | 1,752 |
| + - Si No                                | 1,056 | 0,543 | 0,942 | 0,741 | 0,974 | 3,928 | 1,740 | 0,734 | 3,134 | 2,074 | 0,825 | 1,653 | 1,369 | 1,746  | 1,474 | 1,584 | 1,030 | 1,178 | 0,474 | 1,016 | 1,092 | 1,114 | 1,363 | 0,964 | 0,793 | 2,005 | 0,660 | 1,601 |
| + - No Si                                | 0,900 | 0,508 | 0,821 | 0,674 | 0,807 | 2,067 | 1,062 | 0,749 | 1,667 | 1,735 | 0,670 | 1,049 | 1,102 | 1,046  | 1,113 | 1,281 | 0,733 | 0,942 | 0,528 | 0,825 | 0,852 | 0,763 | 0,754 | 0,739 | 0,691 | 1,260 | 0,616 | 1,227 |
| + - Si Si                                | 0,744 | 0,365 | 0,631 | 0,501 | 0,674 | 1,903 | 0,840 | 0,502 | 1,436 | 1,496 | 0,506 | 0,844 | 0,924 | 0,770  | 0,931 | 1,136 | 0,684 | 0,829 | 0,349 | 0,700 | 0,747 | 0,759 | 0,749 | 0,513 | 0,524 | 0,998 | 0,460 | 1,177 |
| + + No No                                | 1,523 | 0,970 | 1,336 | 1,232 | 1,360 | 4,719 | 2,637 | 1,261 | 3,326 | 2,749 | 1,368 | 2,201 | 1,889 | 2,962  | 2,012 | 1,983 | 1,168 | 1,503 | 0,881 | 1,376 | 1,325 | 1,125 | 1,389 | 1,662 | 1,256 | 3,274 | 1,064 | 1,833 |
| + + Si No                                | 1,254 | 0,710 | 1,124 | 0,922 | 1,132 | 4,277 | 2,148 | 0,839 | 3,233 | 2,349 | 1,056 | 2,050 | 1,578 | 2,276  | 1,703 | 1,754 | 1,087 | 1,353 | 0,570 | 1,154 | 1,243 | 1,113 | 1,376 | 1,145 | 0,977 | 2,612 | 0,804 | 1,637 |
| + + No Si                                | 1,037 | 0,662 | 0,943 | 0,851 | 0,942 | 2,268 | 1,224 | 0,892 | 1,960 | 1,916 | 0,873 | 1,181 | 1,317 | 1,372  | 1,347 | 1,447 | 0,783 | 1,046 | 0,670 | 0,954 | 0,895 | 0,761 | 0,761 | 0,905 | 0,814 | 1,652 | 0,763 | 1,233 |
| + + Si Si                                | 0,877 | 0,469 | 0,786 | 0,615 | 0,774 | 2,052 | 1,034 | 0,562 | 1,715 | 1,693 | 0,660 | 1,076 | 1,078 | 0,998  | 1,102 | 1,254 | 0,721 | 0,934 | 0,432 | 0,788 | 0,835 | 0,757 | 0,755 | 0,608 | 0,618 | 1,297 | 0,556 | 1,190 |
| E(FS)                                    | 0,959 | 0,598 | 0,911 | 0,757 | 0,861 | 2,867 | 1,509 | 0,698 | 2,336 | 1,749 | 0,836 | 1,483 | 1,168 | 1,625  | 1,339 | 1,316 | 0,889 | 1,029 | 0,530 | 0,918 | 0,926 | 0,912 | 1,064 | 0,886 | 0,823 | 1,865 | 0,676 | 1,308 |
| P(F)                                     | 0,373 | 0,986 | 0,545 | 0,828 | 0,606 | 0,000 | 0,036 | 0,863 | 0,000 | 0,004 | 0,666 | 0,027 | 0,109 | 0,036  | 0,028 | 0,034 | 0,167 | 0,147 | 1,000 | 0,421 | 0,338 | 0,107 | 0,051 | 0,556 | 0,742 | 0,008 | 0,957 | 0,016 |

**Tabla 3.7 Distancias de viaje**

| Unidad Geomorfol. | Sección de análisis | Material | Altura (H) - m. | Ángulo ( $\alpha$ ) - ° | Espesor (D) - m. | Volumen (V) - m <sup>3</sup> /m | L, Longitud de viaje |        |         | H4, Espesor en el pie del talud |        |         |
|-------------------|---------------------|----------|-----------------|-------------------------|------------------|---------------------------------|----------------------|--------|---------|---------------------------------|--------|---------|
|                   |                     |          |                 |                         |                  |                                 | Min                  | Med    | Máx     | Min                             | Med    | Máx     |
| LA1               | 20                  | 1        | 12,9            | 30,7                    | 3,09             | 31,45                           | 7,530                | 32,664 | 160,227 | 2,880                           | 4,047  | 11,558  |
|                   | 20                  | 2        | 8,89            | 34,6                    | 1,27             | 8,10                            | 6,806                | 27,636 | 126,931 | 1,529                           | 2,255  | 3,279   |
| LA2               | 18                  | 5        | 8,59            | 34                      | 1,07             | 9,28                            | 6,711                | 26,977 | 122,674 | 1,383                           | 2,066  | 2,785   |
|                   | 19                  | 5        | 9,09            | 41,1                    | 1,32             | 4                               | 7,054                | 29,482 | 139,351 | 1,568                           | 2,309  | 3,425   |
| LA3               | CC                  | 5        | 18,6            | 32                      | 2,7              | 44,41                           | 8,540                | 40,411 | 216,156 | 2,733                           | 4,015  | 9,789   |
| LC1               | 10B                 | 7        | 36,29           | 14                      | 4,16             | 62,19                           | 9,251                | 45,266 | 250,410 | 4,132                           | 6,229  | 21,322  |
|                   | 2A                  | 6        | 33,31           | 57                      | 5,23             | 214,3                           | 11,358               | 66,281 | 436,707 | 4,811                           | 6,996  | 31,114  |
|                   | 2A                  | 7        | 21,88           | 56                      | 10,78            | 214,64                          | 9,879                | 52,385 | 313,764 | 8,420                           | 11,188 | 118,989 |
| LC2               | 4                   | 6        | 8,18            | 42                      | 3                | 45,92                           | 6,841                | 28,013 | 129,746 | 2,716                           | 3,715  | 10,605  |
|                   | 4                   | 7        | 7,74            | 42                      | 3,83             | 36,5                            | 6,719                | 27,179 | 124,352 | 3,283                           | 4,410  | 16,236  |
|                   | 25                  | 6        | 13,99           | 27                      | 0,8              | 7,43                            | 7,568                | 32,834 | 161,095 | 1,313                           | 2,122  | 2,743   |
|                   | 8                   | 2        | 18,65           | 13                      | 2,01             | 38,83                           | 7,360                | 30,748 | 145,331 | 2,255                           | 3,420  | 6,543   |
| LC3               | 8                   | 6        | 9,89            | 39,56                   | 1,89             | 52,31                           | 7,204                | 30,517 | 146,182 | 1,981                           | 2,846  | 5,324   |
|                   | 8                   | Rell     | 26,85           | 9                       | 1,6              | 38,54                           | 7,795                | 33,549 | 163,365 | 2,148                           | 3,505  | 5,767   |
|                   | 23                  | 5        | 8,63            | 27                      | 0,8              | 3                               | 6,469                | 25,209 | 111,160 | 1,196                           | 1,834  | 2,283   |
|                   | 24                  | Rell     | 7,19            | 41                      | 1,81             | 6,8                             | 6,534                | 25,914 | 116,260 | 1,867                           | 2,632  | 4,796   |
| LE1               | 16                  | 8        | 25,25           | 34                      | 4,33             | 129,67                          | 9,527                | 48,656 | 280,790 | 4,010                           | 5,784  | 21,818  |
|                   | 19                  | 8        | 4,59            | 41                      | 2,59             | 15,47                           | 5,647                | 20,273 | 82,364  | 2,353                           | 3,167  | 8,005   |
| LE2               | 16                  | 9        | 5,43            | 43                      | 1,62             | 4,8                             | 6,011                | 22,550 | 95,709  | 1,697                           | 2,373  | 3,993   |
|                   | 17                  | 8        | 6,63            | 32                      | 1,71             | 15,37                           | 6,107                | 22,985 | 97,882  | 1,785                           | 2,515  | 4,396   |
|                   | 17                  | 8 (2)    | 44,19           | 34                      | 2,02             | 38,59                           | 11,428               | 66,084 | 431,573 | 2,816                           | 4,800  | 8,775   |
| LR1               | 10B                 | 4        | 15,68           | 30                      | 9,62             | 230,52                          | 7,993                | 36,089 | 184,243 | 7,479                           | 9,851  | 94,793  |
|                   | 10B                 | 9        | 16,41           | 17                      | 2,77             | 100,76                          | 7,382                | 31,114 | 148,352 | 2,734                           | 3,958  | 9,984   |
|                   | 10B                 | 10       | 21,5            | 17                      | 18,78            | 1134,4                          | 8,059                | 36,069 | 182,558 | 13,972                          | 18,096 | 355,436 |
|                   | 11                  | 3        | 15,49           | 40,1                    | 3,23             | 40,66                           | 8,354                | 39,167 | 207,564 | 3,034                           | 4,307  | 12,665  |
| LR1               | 21                  | 3        | 2,34            | 17                      | 1,3              | 9,04                            | 3,920                | 10,721 | 33,239  | 1,407                           | 1,929  | 2,794   |
|                   | 21                  | 9        | 12,09           | 34                      | 2,75             | 3,89                            | 7,499                | 32,523 | 159,496 | 2,627                           | 3,709  | 9,503   |
|                   | 22                  | 7        | 6               | 64                      | 5,09             | 41,39                           | 6,633                | 26,886 | 123,242 | 4,121                           | 5,408  | 27,326  |

En el **Anexo E** se muestran a manera de fichas, los resultados de todos los análisis de estabilidad realizados, indicando:

- a) La sección de análisis tomada
- b) La unidad geomorfológica a la que pertenece
- c) El material fallado
- d) Los valores de los parámetros de resistencia de dicho material –medio, mínimo y máximo-
- e) Los nombres de los archivos \*.SI (archivo de entrada para el programa Stable vr. 6) correspondiente a cada una de las combinaciones de parámetros.
- f) Los factores de seguridad obtenidos para la situación actual y a 25 años.
- g) Un ejemplo de salida gráfica del mismo programa de estabilidad para una de las 16 combinaciones de parámetros en la que además se aprecia la geometría del problema.
- h) La amenaza asociada actual y a 25 años.

Finalmente, el criterio adoptado para categorizar la amenaza es el sugerido por el Estudio de Zonificación por FRM, Ingeocim Ltda - UPES, 1998, que se muestra en la **Tabla 3.8**:

**Tabla 3.8 Categorías de amenaza**

| <b>Amenaza</b> | <b>Convención</b> | <b>Rango de FS</b>  |
|----------------|-------------------|---------------------|
| Alta           | ZAA               | $FS \leq 1.1$       |
| Media          | ZAM               | $1.1 < FS \leq 1.9$ |
| Baja           | ZAB               | $FS > 1.9$          |

De acuerdo con esta categorización y con los resultados de factores de seguridad se obtuvieron las curvas de las **Figuras 3.17** y **3.18**, para encontrar las probabilidades de falla con base en los factores de seguridad que se presentan en la **Tabla 3.9**.

### **3.6 DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA**

Para las categorías de amenaza se consideraron los valores de probabilidad de falla y factor de seguridad presentados en la **Figura 3.17**. De acuerdo con el mapa de zonificación de Amenaza Actual (**Plano 10**) se describen a continuación las diferentes Zonas de Amenaza Alta, Media y Baja.

#### **3.6.1 ZONA DE AMENAZA ALTA (ZAA)**

Dentro de esta categoría se diferenciaron las áreas con un factor de seguridad entre 0.61 y 1.1 y una probabilidad de falla entre 5 y 99%, con un mecanismo de falla rotacional que afectaría los rellenos, los suelos coluviales y aluviales y los suelos residuales. Se diferenciaron las siguientes zonas de acuerdo con el mecanismo de falla, los materiales involucrados y los factores contribuyentes:

**ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA EN EL BARRIO DIVINO NIÑO, LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR**

**Tabla 3.9 Análisis de estabilidad y amenaza asociada**

| Unidad Geomorfol. | Zona de amenaza                                       | Sección de análisis | Material  | No. Anexo | Archivos Stable     | FS actual | Amenaza actual | FS 25 años | Amenaza 25 años |
|-------------------|---|---------------------|-----------|-----------|---------------------|-----------|----------------|------------|-----------------|
| LA1               | ZAA-3<br>Cárcava                                      | 20                  | 1         | 1         | DNLA2001 - DNLA2016 | 1,137     | Alta           | 0,959      | Alta            |
|                   |   | 20                  | 2         | 2         | DNLA2017 - DNLA2032 | 0,715     | Alta           | 0,598      | Alta            |
| LA2               | ZAA-3<br>Diag. 76                                     | 18                  | 5         | 3         | DNLA1801 - DNLA1816 | 0,903     | Alta           | 0,911      | Alta            |
|                   |   | 19                  | 5         | 4         | DNLA1917 - DNLA1932 | 0,918     | Alta           | 0,757      | Alta            |
| LA3               | ZAA-3<br>Cl. 78B Bis                                  | CC                  | 5         | 5         | DNLA3C01 - DNLA3C16 | 1,020     | Alta           | 0,861      | Alta            |
| LC1               | ZAB   | 10B                 | 7         | 6         | DNLC1049 - DNLE1064 | 3,869     | Baja           | 2,867      | Baja            |
| LC2               | ZAB-1<br>ZAA-2<br>ZAB-1<br>ZAB-1<br>ZAA-3 Mz. ZF      | 2A                  | 6         | 7         | DNLC2A01 - DNLC2A16 | 2,034     | Baja           | 1,509      | Media           |
|                   |   | 2A                  | 7         | 8         | DNLC2A17 - DNLC2A32 | 0,821     | Alta           | 0,698      | Alta            |
|                   |   | 4                   | 6         | 9         | DNLC0401 - DNLC0416 | 3,104     | Baja           | 2,336      | Baja            |
|                   |   | 4                   | 7         | 10        | DNLC0417 - DNLC0432 | 2,040     | Baja           | 1,749      | Media           |
|                   |   | 25                  | 2         | 11        | DNLC2501 - DNLC2516 | 1,027     | Alta           | 0,836      | Alta            |
| LC3               | ZAB-1<br>ZAM-2<br>ZAB-1<br>ZAM-2<br>ZAM-2             | 8                   | 2 (abajo) | 12        | DNLC0865 - DNLC0880 | 1,945     | Baja           | 1,483      | Media           |
|                   |   | 8                   | 6         | 13        | DNLC0801 - DNLC0816 | 1,381     | Media          | 1,168      | Media           |
|                   |   | 8                   | 2(arriba) | 14        | DNLC0817 - DNLC0832 | 2,238     | Baja           | 1,625      | Media           |
|                   |   | 23                  | 5         | 15        | DNLC2301 - DNLC2316 | 1,622     | Media          | 1,339      | Media           |
|                   |   | 24                  | 1         | 16        | DNLC2401 - DNLC2416 | 1,531     | Media          | 1,316      | Media           |
| LE1               | ZAA-1   | 16                  | 8         | 17        | DNLE1601 - DNLE1616 | 1,067     | Alta           | 0,889      | Alta            |
|                   |   | 19                  | 8         | 18        | DNLE1901 - DNLE1916 | 1,212     | Media          | 1,029      | Alta            |
| LE2               | ZAA-1<br>ZAA-3 Vía ZAM-1                              | 16                  | 9         | 19        | DNLE1617 - DNLE1632 | 0,599     | Alta           | 0,530      | Alta            |
|                   |   | 17                  | 8         | 20        | DNLE1701 - DNLE1716 | 1,088     | Alta           | 0,918      | Alta            |
|                   |   | 17                  | 8 (2)     | 21        | DNLE1717 - DNLE1732 | 1,106     | Media          | 0,926      | Alta            |
| LR1               | ZAA-3<br>Cl. 79Bis y 80Bis<br>ZAA-4<br>ZAB-1<br>ZAA-4 | 10B                 | 4         | 22        | DNLR1001 - DNLR1016 | 1,086     | Alta           | 0,912      | Alta            |
|                   |   | 10B                 | 9         | 23        | DNLR1017 - DNLR1032 | 1,369     | Media          | 1,060      | Alta            |
|                   |   | 10B                 | 10        | 24        | DNLR1033 - DNLR1048 | 1,375     | Media          | 1,064      | Alta            |
|                   |   | 11                  | 3         | 25        | DNLR1101 - DNLR1116 | 0,986     | Alta           | 0,823      | Alta            |
|                   |   | 21                  | 3         | 26        | DNLR2101 - DNLR2116 | 2,472     | Baja           | 1,865      | Media           |
|                   |   | 21                  | 9         | 27        | DNLR2117 - DNLR2132 | 0,795     | Alta           | 0,676      | Alta            |
|                   |   | 22                  | 7         | 28        | DNLR2201 - DNLR2216 | 1,521     | Media          | 1,308      | Media           |

### **3.6.1.1 Zona 1 (ZAA-1)**

Esta zona de amenaza alta se localiza en el sector oriental del área de estudio, asociada a los suelos arenosos, de alta susceptibilidad a la erosión (Ladera estructural LE1) e inestabilidad de los diferentes cortes, ante la actividad antrópica generada por los asentamientos urbanos en media ladera, donde se determinó un tipo de evento, deslizamiento traslacional que afectaría principalmente los suelos arenosos y eventualmente los suelos residuales igualmente arenosos. Presenta una probabilidad de falla actual entre 4 y 99 %. En este sector la actividad antrópica de los vertimientos de aguas sobre los cortes generados por las construcciones representan el principal factor desestabilizador.

### **3.6.1.2 Zona 2 (ZAA-2)**

Esta zona comprende a los segmentos de ladera coluvial expuestas en el costado norte y oriental, (LC2), aledaños al cauce de la Quebrada Trompetas, donde la inestabilidad de los suelos coluviales se asocia a sus características geotécnicas, la alta pendiente y la acción de las aguas de infiltración transmitidas a lo largo de la ladera aferente. Para esta zona se determinó un evento de falla tipo deslizamiento rotacional, que involucra los suelos coluviales, compuesto por gravas y bloque embebidos en una matriz arcillo limosa. La probabilidad de falla actual se encuentra entre 13 y 97 %. La ocurrencia de un evento afectaría principalmente el cauce de la Quebrada Trompetas en donde se podrían generar represamientos. Los procesos que han afectado el talud existente igualmente se asocian a los vertimientos de aguas servidas, que han generado los procesos de erosión y retroceso del talud.

### **3.6.1.3 Zona 3 (ZAA-3)**

Esta zona se asocia a las áreas de rellenos, localizados sobre las diferentes laderas y a las unidades de origen antrópico (LA1 – LA2 y LA3), donde se consideró un mecanismo de falla rotacional, generando un flujo de tierras que afectaría en el costado occidental, el cauce de la quebrada Trompetas.

En el sector oriental, la amenaza se asocia a los rellenos que han sido dispuestos sobre la calzada externa de la vía de acceso a la ladrillera, con la formación de un flujo de tierras que afectaría las viviendas de los nuevos asentamientos de este sector del área de estudio, con una probabilidad de falla entre 7 y 98%. En esta zona adicionalmente los rellenos se localizan sobre un antiguo paleocauce que controla los flujos de aguas de infiltración.

### **3.6.1.4 Zona 4 (ZAA-4)**

Corresponde a las zonas de rellenos arcillosos ubicados en el extremo sur del área de estudio sobre la unidad de laderas residuales (LR1), donde las diferentes manzanas del barrio se localizan en terrenos afectados por diferentes frentes de explotación de arcilla de la ladrillera. Esta zona incluye los taludes de corte dejados por los frentes de explotación; asociada a esta zona se determinó un factor de

seguridad que varía entre 0.795 y 1.086, manteniendo su condición de amenaza alta en un horizonte de 25 años.

### **3.6.2 ZONAS DE AMENAZA MEDIA. (ZAM)**

Dentro de esta categoría se consideraron la siguientes zonas, con mecanismos de falla rotacional y probabilidad de falla hasta de 13%

#### **3.6.2.1 Zona 1 (ZAM-1)**

Esta zona corresponde a la ladera estructural LE2 del costado oriental, donde los procesos de inestabilidad se asocian a los suelos residuales arenosos y depósitos de ladera de escaso espesor con presencia de rellenos dejados por las mismas excavaciones de las construcciones. El factor detonante de los procesos de inestabilidad se asocia a los cortes generados por las construcciones y a la acción de las aguas servidas de este sector. El mecanismo de falla identificado presenta una Pf entre 0 y 5%.

#### **3.6.2.2 Zona 2 (ZAM-2)**

Esta zona se asocia a los segmentos de ladera coluvial expuestos al occidente de la carrera 16 Bis A y 16 Bis B, en las manzanas Y, LL y RR, donde los procesos de inestabilidad potencial, presentan una Pf estimada entre 0 y 13%; asociados a los cortes de excavación generados por las construcciones, con una afectación importante de aguas de infiltración de la ladera natural

#### **3.6.2.3 Zona 3 (ZAM-3)**

Esta zona se asocia a las laderas antrópicas LA1 y las áreas de rellenos superficiales expuestos sobre las vías de acceso, donde la acción de las aguas lluvias y servidas determinan una condición de inestabilidad de estos rellenos con Pf entre 0 y 7%.

En esta categoría se incluye la zona norte del relleno principal, (LA1), donde el análisis de estabilidad determinó un factor de seguridad de 1.34 y donde los factores que controlan la estabilidad del relleno se asocian a los vertimientos de aguas servidas de las viviendas localizadas en el costado oriental. En este sector se identificaron grietas de tracción en el borde del relleno y el mecanismo de falla genera un flujo de tierras que afectaría las manzanas Z0 y Y14.

### **3.6.3 ZONAS DE AMENAZA BAJA (ZAB)**

#### **3.6.3.1 Zona 1 (ZAB-1)**

En esta categoría se incluyen las áreas de baja pendiente asociadas las laderas coluviales LC1 y LC2, donde se ha llevado a cabo en mayor grado el desarrollo urbanístico del barrio. Corresponde a zonas de baja pendiente asociado a un equilibrio pseudo estático por geometría. Se incluyen igualmente las laderas de origen aluvial expuestas en el costado más occidental y que delimitan el cauce de la Quebrada Trompetas.

#### **3.6.3.2 ZONA 2 (ZAB-2)**

Esta zona se asocia al sector más oriental del área de estudio, donde se exponen las areniscas de la Formación Regadera, con una alta pendiente transversal.

### **3.6.4 ZONAS DE AMENAZA POR ASENTAMIENTOS**

Otra clase de amenaza identificada en el desarrollo del estudio y que compromete la estabilidad de las laderas y taludes de corte, corresponde a la ocurrencia de procesos de consolidación diferencial de los rellenos localizados sobre los antiguos cauces y cárcavas producto de procesos de erosión concentrada.

La heterogeneidad en la composición de estos rellenos, constituidos por escombros, material térreo producto de las labores de explotación minera y de la acción antrópica de las comunidades al conformar la zona para la construcción de viviendas e infraestructura de servicios, así como de basuras, dificultan la caracterización mecánica de estos materiales, cuyo espesor varía de 2 – 3 m. como valores mínimos alcanzando valores de máximos de 12 – 15 m.

Generalmente estos rellenos son depositados y quedan en estado suelto, al no ser compactados de forma técnica, a pesar de lo cual, tienen cierto grado de resistencia al corte, por la fricción entre partículas y el confinamiento que le da el peso de los rellenos más superficiales. Sin embargo, esta resistencia se reduce dramáticamente al contacto con el agua produciéndose un lavado y acomodamiento de las partículas que conforman estos rellenos, proceso este que causa el colapso de las estructuras apoyadas sobre ellos como es el caso que nos ocupa. De acuerdo al trabajo de campo se observó que la mayoría de las viviendas se cimentaron sobre los rellenos sin alcanzar el estrato natural, esta condición y el aporte de agua da como resultado un movimiento súbito de dicha construcción y su descenso hasta 20, 30 ó 50 cm en un periodo muy corto de 2 o 3 días.

No es posible predecir con exactitud la magnitud de los asentamientos, ya que estos no son altos debido a pesos pequeños como el que corresponde a casas de 1 ó 2 pisos (de 1 a 1.5 T/m<sup>2</sup>), pero sí se suponen cambios en el nivel de agua, se puede observar como los asentamientos pueden exceder valores entre 0.15m y 0.30 m.

dada la alta permeabilidad de los rellenos. También es necesario tener en cuenta que en los rellenos heterogéneos no es posible medir la densidad o la resistencia al corte a través de ensayos in-situ, esto debido a que los ensayos tienden a dar valores de resistencia más altos que los que le corresponden a esta masa, debido a que dicha masa está conformada por partículas relativamente grandes, esto es bloques de tierra excavados de otro sitio con una buena densidad, o escombros, ladrillos, fragmentos de roca etc., que tienen una resistencia a la penetración y al corte altas; razón por la cual estos valores no son representativos de las características de compresibilidad del relleno. Por otra parte, si recurrimos a los valores de densidad relativa oscilando entre 5 y 10% para nuestro análisis de igual manera pueden llegar a ser alto y dicho en relación de vacíos se presenta a lo largo de los años y a medida que se consolida o densifica la masa ( unos 30 cms) por flujo de agua a través de ella. Un cambio en la relación de vacíos como la que se muestra en las memorias adjuntas, puede originar asentamientos altos y por lo tanto a producir daños a las construcciones apoyadas sobre estos.

En el **Anexo E**, se presentan los resultados de los análisis que para el efecto se llevaron a cabo, de ellos se concluye que en la zona de la cárcava principal donde el espesor es hasta de 15m, la amenaza por asentamientos es alta, mientras que en los drenajes secundarios, donde se presentan espesores menores, dicha amenaza (por asentamientos) es media y controlable con el proceso constructivo. En el mapa de amenaza, **Plano 10**, estas áreas están achuradas.

En la **Tabla 3.10** aparecen relacionados los predios que se localizan en cada zona de amenaza. La nomenclatura corresponde a la del plano de legalización de Planeación Distrital, sin embargo, existen dificultades en lograr concordancia pues el proceso de urbanización no ha seguido los lineamientos planteados por la legalización.

**Tabla 3.10 Predios en las zonas de amenaza alta y media**

| <b>Zona de amenaza</b>           | <b>Manzanas involucradas</b> | <b>Numeración de las casas</b> | <b>Cantidad de casas</b> |
|----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| <b>ZAA-1<sup>1</sup></b>         | Sin nomenclatura LE1         |                                | 19                       |
| <b>ZAA-2</b>                     | Mz. Y-12                     | -                              | 0                        |
| <b>ZAA-3 Dg. 76</b>              | Mz. Y-14                     | -                              | 6                        |
|                                  | Mz. Z-0                      | 1 y 2                          |                          |
|                                  | Mz. A-1                      | 11, 12 y 13                    |                          |
|                                  | Sin nomenclatura             | 2                              |                          |
| <b>ZAA-3 CI 78B Bis</b>          | Mz. Y-7                      | -                              | 2                        |
|                                  | Mz. Y-1                      | Cancha                         |                          |
|                                  | Mz. Y-2                      | 1                              |                          |
| <b>ZAA-3 CI 79B Bis y 80 Bis</b> | Mz. P                        | -                              | 3                        |
|                                  | Mz. R                        | 1 y 2                          |                          |
|                                  | Mz. Q                        | 1                              |                          |
|                                  | Mz. O                        | -                              |                          |

<sup>1</sup> Esta zona del barrio no está legalizada

| <b>Zona de amenaza</b>   | <b>Manzanas involucradas</b> | <b>Numeración de las casas</b> | <b>Cantidad de casas</b> |
|--------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| <b>ZAA-4</b>             | Mz. L                        | 1, 2, 3 y 4                    | 12                       |
|                          | Mz. K                        | 2, 4, 5 y 1arriba              |                          |
|                          | Mz. S                        | 4, 5, 10 y 11                  |                          |
|                          | Mz. X9                       | -                              |                          |
|                          | Mz. X10                      | -                              |                          |
| <b>ZAM-1<sup>2</sup></b> | Mz. Z-5, (sin nomenclatura)  | 1, 2, 3, 1 y 1                 | 24                       |
|                          | Mz. Z-6                      | 1 a 12                         |                          |
|                          | Mz. Z-7                      | 1 a 4                          |                          |
|                          | Mz. Z-8                      | 1, 2 y 1                       |                          |
| <b>ZAM-2</b>             | Mz. Y                        | 1, 2, 5 y 6                    | 11                       |
|                          | Mz. RR                       | 1 y 7                          |                          |
|                          | Mz. LL                       | 1, 10, 11 y 12                 |                          |
|                          | Mz. O                        | 1                              |                          |

### **3.7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **3.7.1 CONDICIÓN ACTUAL**

Los resultados obtenidos permiten recomendar usos del suelo en cada zona de amenaza. En los capítulos 6 y 7, se describen y evalúan con detalle las medidas de mitigación del riesgo propuestas.

En la ZAA-1, localizada en la ladera oriental donde el barrio aún no está legalizado, mantiene su condición de amenaza alta, mientras no se construyan las obras de estabilización y control de erosión tales como drenaje, subdrenaje y muros de contención en gaviones por parte del urbanizador. Cualquier ampliación urbana por autoconstrucción en este sector debe impedirse, pues la actividad antrópica podría desencadenar algún proceso denudativo: bien erosión, bien remoción en masa.

En la ZAA-2, al norte del barrio, presenta el talud más alto y más pendiente. Sin embargo, en su área de influencia no se involucra ninguna casa, es decir, por ausencia de exposición, no hay vulnerabilidad y por ende no hay riesgo. El tratamiento debe consistir en mantener la situación actual aislando dicha área, y protegiéndola.

En la ZAA-3, que se manifiesta en diferentes puntos donde existen rellenos antrópicos, se recomienda en general, el manejo del drenaje y la reconfiguración del terreno con el retiro de escombros, perfilado del terreno y compactación de los materiales finales, con posibilidades de destinar las áreas a la recreación pasiva.

<sup>2</sup> En este sector, las construcciones no han respetado el loteo preexistente.

Específicamente, en cercanías a la vía de la Ladrillera Santa Fe, donde ladera abajo se localiza la ZAM-1, sumado a lo anterior, se sugiere un muro de contención en gaviones.

Para la ZAA-4, donde ya se llevó a cabo la reubicación de algunas casas por parte de la DPAAE, se recomienda reubicar las restantes con el fin de evitar su exposición y manejar el exceso de agua en el sector.

En la ZAM-2, en la ronda de la Quebrada Trompetas, al occidente del barrio, se recomienda la reubicación de las viviendas que se encuentran allí.

Por otra parte, en las zonas de rellenos asociados a los drenajes antiguos, se recomienda para las viviendas que han reportado daños estructurales, mejorar el sistema constructivo y el sistema de cimentación puntualmente, siempre que la profundidad del relleno lo permita. En la antigua cárcava principal, la profundidad del relleno inhibe, con el sistema de autoconstrucción común en el barrio, la posibilidad de construir una cimentación competente. Por ello, en esta zona de alta amenaza por asentamientos, debe prohibirse cualquier otro proceso urbanístico. La reconformación de ésta, que se configura como el eje del barrio, podría favorecer la construcción de un parque recreativo.

Como medida que contribuiría de manera importante al control de la amenaza, se incluye la construcción de un completo sistema de acueducto y alcantarillado por parte de la EAAB y sus correspondientes entregas a la Quebrada Trompetas que no afecten la estabilidad de sus laderas.

### **3.7.2 CONDICIÓN A 25 AÑOS**

Las zonas de amenaza en su mayoría para el análisis a 25 años mantienen su categoría excepto la ZAB-1 que cambiaría de categoría a amenaza media. En cualquier caso, la amenaza se controla mediante medidas de mitigación especialmente de obras de drenaje para la escorrentía superficial, asociadas a las vías y el manejo de las aguas servidas de toda la zona urbanizada. Medidas adicionales de manejo de agua superficial, reconformación del terreno y de las vías y el manejo paisajístico, etc., contribuyen no sólo al control de esta situación como al mejoramiento de la calidad de vida de los residentes del sector.

**Figura 3.1 Sección de análisis 2A**

**Figura 3.2 Sección de análisis 4**

**Figura 3.3 Sección de análisis 8**

**Figura 3.4 Sección de análisis 10B**

**Figura 3.5 Sección de análisis 11**

**Figura 3.6 Sección de análisis 16**

**Figura 3.7 Sección de análisis 17**

**Figura 3.8 Sección de análisis 18**

**Figura 3.9 Sección de análisis 19**

**Figura 3.10 Sección de análisis 20**

**Figura 3.11 Sección de análisis 21**

**Figura 3.12 Sección de análisis 22**

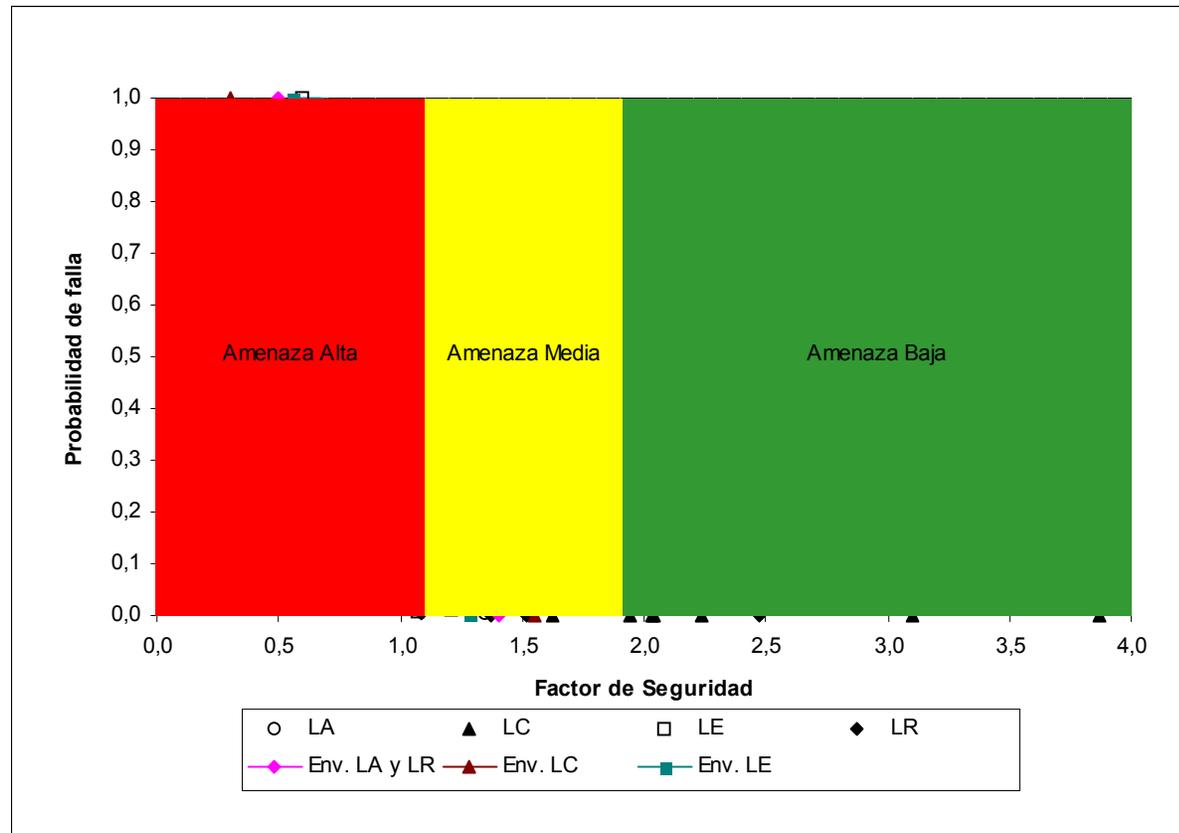
**Figura 3.13 Sección de análisis 23**

**Figura 3.14 Sección de análisis 24**

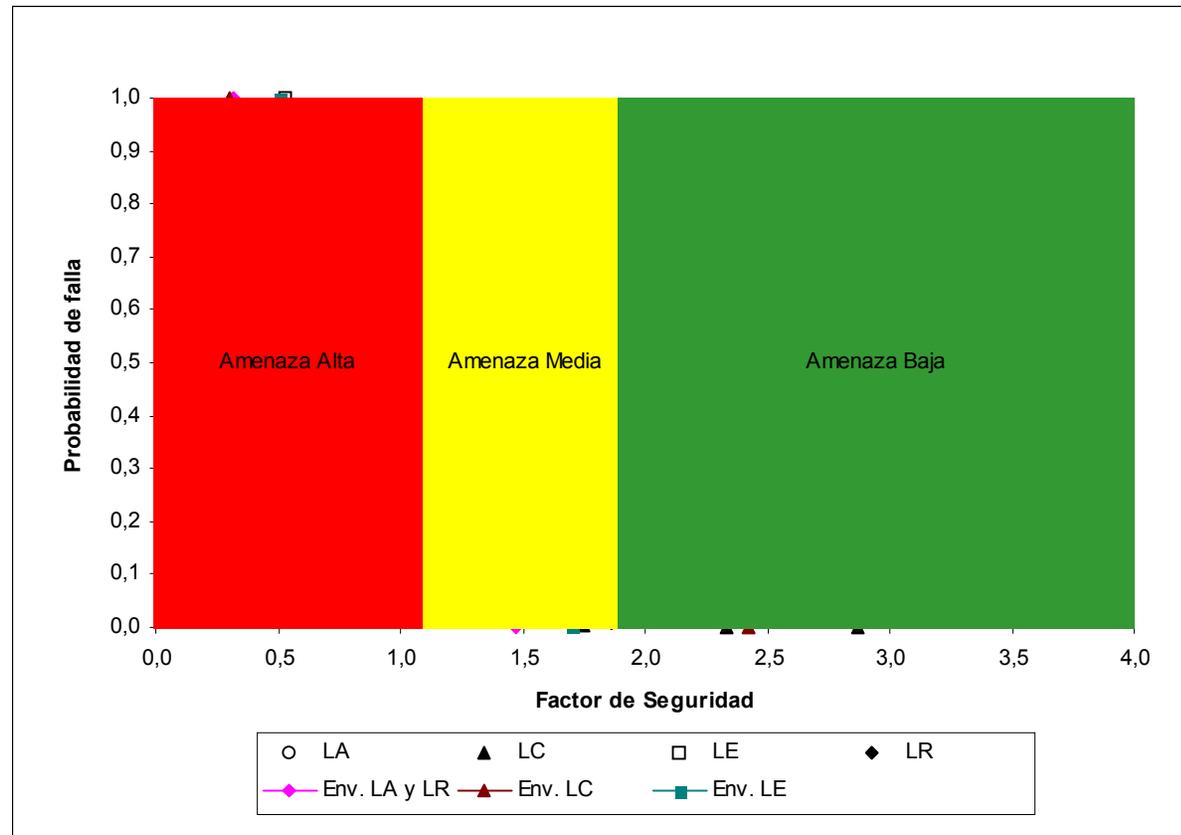
**Figura 3.15 Sección de análisis 25**

**Figura 3.16** Sección de análisis c-c'

**Figura 3.17 Pf vs. FS condición actual**



**Figura 3.18 Pf vs. FS condición a 25 años**



## **4 EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA**

### **4.1 INTRODUCCIÓN**

Teniendo en cuenta que la vulnerabilidad se define como el nivel de exposición y predisposición de un elemento o conjunto de elementos a sufrir consecuencias negativas como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural o de origen antrópico no intencional de una magnitud dada y se da por la falta de mecanismos o recursos para contrarrestar el peligro, o aún, por la falta de capacidad de recuperación y restauración de las condiciones previas a la ocurrencia de un evento.

En el presente capítulo, el análisis de vulnerabilidad se encamina a determinar los posibles daños en las construcciones debido a fenómenos de remoción en masa, para lo cual se aplicó la metodología planteada por Frederic Leone (1996) para el cálculo del Índice de Vulnerabilidad Física (IVF).

El estudio de vulnerabilidad física por FRM se basó en la zonificación por amenaza, teniendo en cuenta tanto el área de influencia como el tipo de solicitaciones a que se verán sometidos las diferentes edificaciones.

### **4.2 METODOLOGÍA GENERAL**

El trabajo fundamentalmente consistió en el cálculo del Índice de Vulnerabilidad Física (IVF), para lo cual se tuvo en cuenta:

- La clasificación de la tipología de viviendas existentes: información obtenida a partir del censo realizado o inventario de viviendas. En el **Anexo F** se muestra un ejemplo del formato utilizado.
- Tipo de movimiento, intensidad de las solicitaciones y las características del elemento expuesto (viviendas).

#### **4.2.1 TIPOLOGÍA DE VIVIENDAS.**

A través de la información recopilada en los formatos de campo, se efectuó una clasificación preliminar, en la que se trata de caracterizar o discriminar todas las viviendas por el sistema de construcción relacionada con el grado de resistencia. Bajo este orden de ideas, se definieron siete tipos a saber, identificadas de mayor a menor calidad de construcción (Ver **Tabla 4.1**):

**Tabla 4.1 Sistema Constructivo**

| <b>TIPO</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>  |
|-------------|---|
| I           | Corresponde a las viviendas cuya construcción esta conformada con pórticos, es decir, que posee vigas de amarre en la cimentación, acompañadas de columnas que se encuentran formando pórticos (en todos los sentidos) con vigas o con placas de entrepiso. Además, las vigas y columnas confinan los muros de la construcción.   |
| II          | Corresponde a las viviendas cuya construcción esta conformada por un sistema mixto, en la cual existen vigas de amarre en la cimentación, acompañadas de columnas que no se encuentran amarradas entre si, es decir, que no hay vigas o placas de entrepiso que las puedan unir. Adicionalmente, la construcción posee muros que se encuentran confinados entre las columnas pero no soportan ninguna clase de carga. |
| III         | Corresponde a las viviendas que poseen muros portantes sobre cualquier tipo de cimentación, que no se encuentran confinados por ningún tipo de estructura. Incluye las construcciones que tienen muros con tabiques, entramados con tabiques o tabicón.   |
| IV          | Corresponde a las viviendas que se encuentran realizadas con elementos prefabricados y apoyado sobre cualquier tipo de cimentación.   |
| V           | Corresponde a las viviendas que se encuentran realizadas en latas, madera y otros elementos de recuperación, configurados de tal manera que no conforman ningún tipo de estructura.   |
| VI          | Corresponde a las que se encuentran en construcción, que en la mayoría de los casos coincide con la infraestructura de la casa, es decir, cimentación a nivel de ciclópeo y algunas columnas.   |
| VII         | Corresponde a los lotes en los que no se ha iniciado ningún tipo de construcción.   |

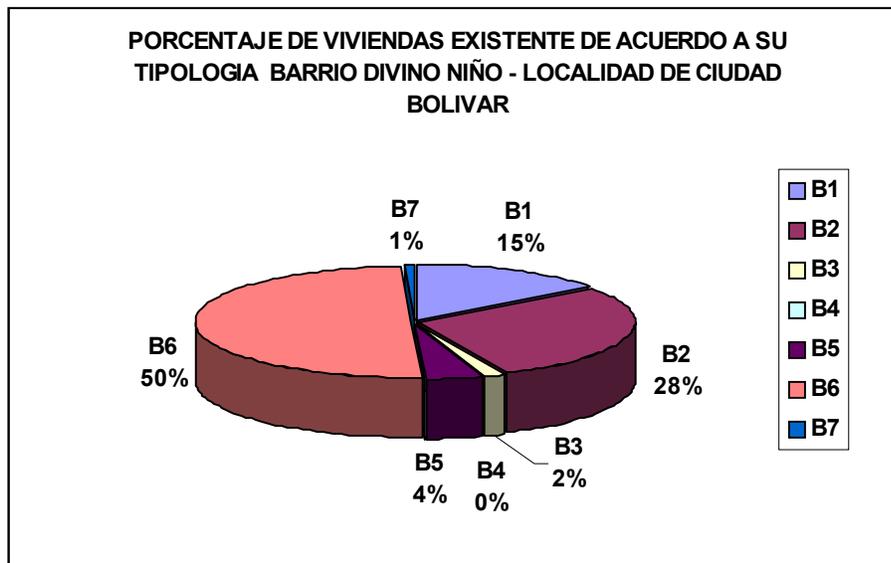
A partir de los siete (7) sistemas constructivos identificados en el barrio Divino Niño, se agruparon teniendo en cuenta la metodología de Leone para la tipificación de las viviendas.

La metodología de Leone contempla cuatro (4) clasificaciones a saber: B1, B2, B3 y B4, que para efectos del análisis de vulnerabilidad en el presente barrio, se incluyen las clasificaciones B5, B6 y B7; la cual se resume a continuación (identificadas de menor a mayor grado de construcción) (Ver **Tabla 4.2** y **Figura 4.1**).

**Tabla 4.2 Clasificación de la Tipología de viviendas en el sector**

| <b>TIPO DE EDIFICACIÓN</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>  |    |    |    |     |    |    |    |     |     |    |   |    |     |    |
|----------------------------|---|----|----|----|-----|----|----|----|-----|-----|----|---|----|-----|----|
| B1                         | Construcciones de muy mala calidad, sin fundación ni ligazón estructural. Denominados Tugurios o Ranchos.   |    |    |    |     |    |    |    |     |     |    |   |    |     |    |
| B2                         | Construcciones de calidad regular o mala. No tienen refuerzo estructural ni fundación adecuada. Para el área de estudio, se pueden catalogar dentro de este grupo las casas en mampostería no reforzadas o prefabricadas simples.                             |    |    |    |     |    |    |    |     |     |    |   |    |     |    |
| B3                         | Construcciones de buena calidad, realizadas en materiales tradicionales (concreto, mampostería, hierro, etc), de hasta dos niveles.   |    |    |    |     |    |    |    |     |     |    |   |    |     |    |
| B4                         | Construcciones de muy buena calidad, con refuerzo estructural y adecuada cimentación, de más de dos niveles. En el área de estudio no se encuentra este tipo de estructuras.  |    |    |    |     |    |    |    |     |     |    |   |    |     |    |
| B5                         | Lotes en construcción.  |    |    |    |     |    |    |    |     |     |    |   |    |     |    |
| B6                         | Lotes vacíos.   |    |    |    |     |    |    |    |     |     |    |   |    |     |    |
| B7                         | Predios reubicados.   |    |    |    |     |    |    |    |     |     |    |   |    |     |    |
| TOTAL LOTEOS (1029)        | <table border="1"> <thead> <tr> <th>B1</th> <th>B2</th> <th>B3</th> <th>B4</th> <th>B5</th> <th>B6</th> <th>B7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>152</td> <td>293</td> <td>18</td> <td>0</td> <td>44</td> <td>512</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table> | B1 | B2 | B3 | B4  | B5 | B6 | B7 | 152 | 293 | 18 | 0 | 44 | 512 | 10 |
| B1                         | B2  | B3 | B4 | B5 | B6  | B7 |    |    |     |     |    |   |    |     |    |
| 152                        | 293   | 18 | 0  | 44 | 512 | 10 |    |    |     |     |    |   |    |     |    |

**Figura 4.1 Porcentaje de Viviendas Existentes**



En la zona de estudio no se encuentran viviendas del tipo B4 (construcciones de buena calidad de más de dos niveles) y predominan construcciones que pueden calificarse como B2 y B1 principalmente; para efecto de la evaluación de la vulnerabilidad de los lotes en construcción denominados como B5 se asimilaron como tipología B2 debido a que corresponden a construcciones no terminadas (Ver **Plano 12**).

En el **Anexo G**, se presenta el resumen de los aspectos principales del formato de encuesta aplicado, relativo a las condiciones físicas de las viviendas en la zona de estudio, las condiciones estructurales de las viviendas y el nivel de daño registrado en algunos elementos particulares.

#### **4.2.2 CALIFICACIÓN DE DAÑOS**

Para la evaluación de la vulnerabilidad de las viviendas se determinaron dos índices de daño (teniendo en cuenta la clasificación presentada en la tabla de tipología de viviendas):

**IDa** = Índice de daño actual, debido al estado actual de la estructura. Los daños estructurales de cada una de las viviendas se obtuvieron mediante la evaluación cualitativa.

Se deduce de esta información que los daños importantes en viviendas se encuentran concentrados en casas que corresponden a la tipología B2, los cuales presentan especificaciones de calidad media a baja principalmente (Ver **Tablas 4.3**, y **4.4** y **Figuras 4.2** y **4.3**).

**IDp** = Índice de daño potencial, el cual está asociado directamente a él efecto físico (solicitación) que produce el fenómeno de remoción en masa.

Se establecieron cinco categorías para calificar los daños producidos en las viviendas por fenómenos de remoción en masa. En este caso se tuvieron en cuenta los resultados sobre el estado estructural y el nivel de daños existente en las viviendas. Los niveles de daño establecidos fueron: (a) Ninguno, (b) Ligero, (c) Moderado, (d) Fuerte, y (e) Severo. En el **Plano 13** se presenta el resultado de esta evaluación.

Para calificar los daños potenciales en las viviendas por fenómenos de remoción en masa, se sigue el criterio de DRM, el cual divide los daños en cinco categorías, a saber (Ver **Tabla 4.5**):

**Tabla 4.3 Clasificación de daños actuales en las viviendas del sector**

| <b>GRADO DE DAÑO</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>   |
|----------------------|--|
| I                    | <b>Ligeros.</b> Correspondiente a fisuras menores a 1 mm de apertura.    |
| II                   | <b>Moderados.</b> Correspondiente a fisuras con apertura entre 1 y 5 mm. |
| III                  | <b>Fuertes.</b> Correspondiente a grietas con apertura entre 5 y 10 mm.  |
| IV                   | <b>Severos.</b> Correspondientes a grietas con apertura mayor a 1 cm.    |

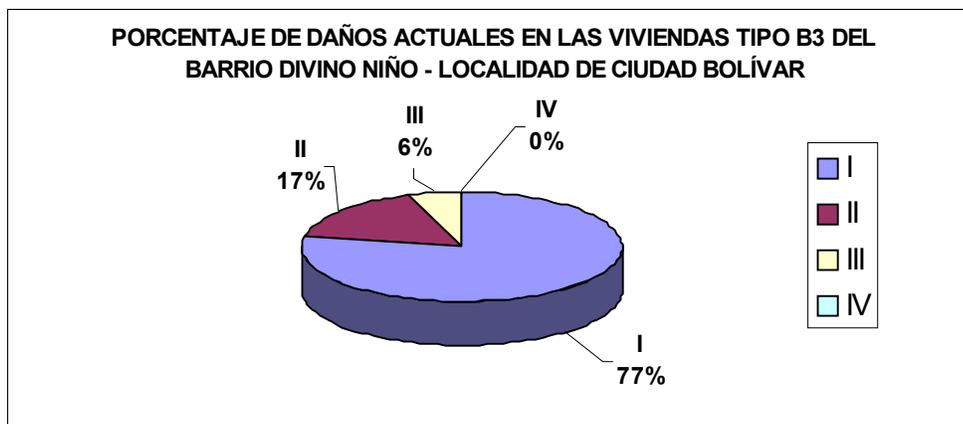
**Tabla 4.4 Porcentaje de daños actuales-Tipologías B2 y B3**

| <b>TIPOLOGÍA</b>     | <b>B2</b> |    |     |    | <b>B3</b> |    |     |    |
|----------------------|-----------|----|-----|----|-----------|----|-----|----|
| <b>GRADO DE DAÑO</b> | I         | II | III | IV | I         | II | III | IV |
| <b>TOTAL</b>         | 81        | 44 | 37  | 14 | 14        | 3  | 1   | 0  |

**Figura 4.2 Porcentaje de daños actuales viviendas tipo B2**



**Figura 4.3 Porcentajes de daños actuales viviendas tipo B3**



**Tabla 4.5 Clasificación de los daños actuales según el DRM**

| <b>ÍNDICE DE DAÑO</b> | <b>TIPO DE DAÑO</b>  | <b>PORCENTAJE DE DAÑO</b> |
|-----------------------|--|---------------------------|
| <b>I</b>              | Daños ligeros no estructurales. Estabilidad no afectada.     | 0.0 - 0.1                 |
| <b>II</b>             | Fisuración de paredes (muros). Reparaciones no urgentes.     | 0.2 - 0.3                 |
| <b>III</b>            | Deformaciones importantes. Daños en elementos estructurales. | 0.4 - 0.6                 |
| <b>IV</b>             | Fracturación de la estructura. Evacuación inmediata.         | 0.7 - 0.8                 |
| <b>V</b>              | Derrumbe parcial o total de la estructura.                   | 0.9 - 1.0                 |

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

$$IP = (Vi - Vf)/Vi = Vd/Vi$$

Donde:

- Vi:** Valor inicial del bien (antes del evento).
- Vf:** Valor final del bien (después del evento).
- Vd:** Valor de daños

#### **4.2.3 SOLICITACIONES DE LA AMENAZA**

El tipo de fenómeno más probable que puede afectar los objetos vulnerables (construcciones), lo constituye el deslizamiento traslacional y rotacional, y en algunas zonas donde se presentan espesores importantes de rellenos se pueden presentar asentamientos diferenciales. Estos tipos de fenómenos pueden tener carácter local o generalizado y por lo tanto pueden afectar a toda una zona y en mayor grado a las casas localizadas dentro de o en las vecindades de zonas inestables. Los daños que pueden sufrir las viviendas se relacionan principalmente con desplazamientos laterales, y con presiones laterales.

En las **Figuras 4.4** y **4.5** se presentan en forma esquemática la ocurrencia de estos tipos de movimientos y se aprecia dos zonas referentes a:

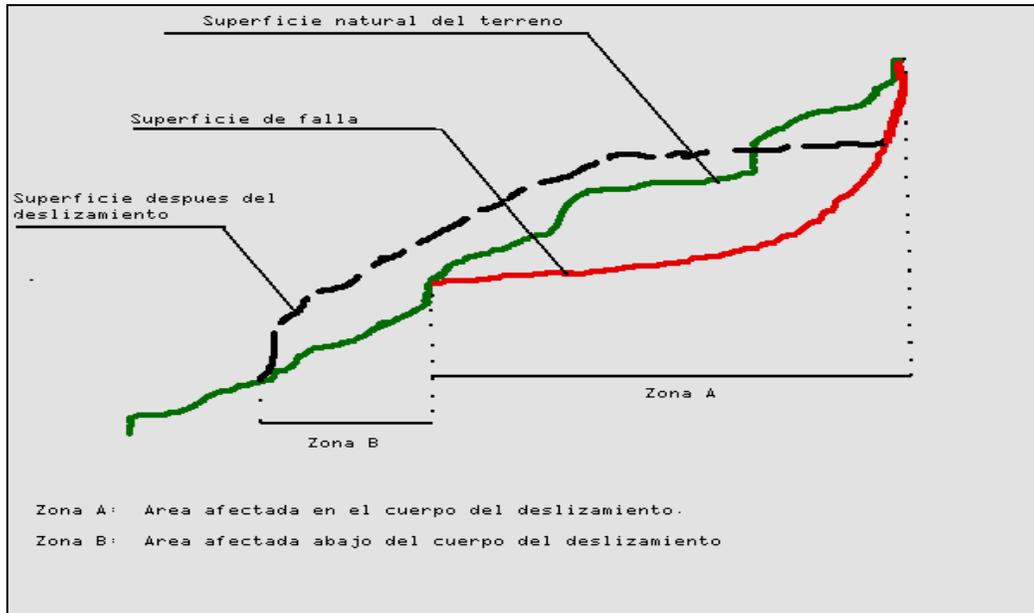
- **Zona A.** Correspondiente al cuerpo del deslizamiento o zona de influencia directa. Los daños que pueden sufrir las viviendas se pueden relacionar con los desplazamientos laterales (DI), los cuales a su vez dependen de la velocidad del movimiento por ejemplo: a mayor velocidad del movimiento, mayor los daños que pueden llegar a sufrir una vivienda.
- **Zona B.** Correspondiente a la zona abajo del cuerpo del deslizamiento o zona de influencia indirecta. Los daños que pueden sufrir las viviendas se pueden relacionar con las presiones laterales, las cuales a su vez se relacionan con la altura que alcanza la acumulación del material contra la vivienda.

La matriz de daños fue definida en forma cualitativa con base en observaciones de campo detalladas y en la experiencia del analista de Riesgo (ver **Tabla 4.6**).

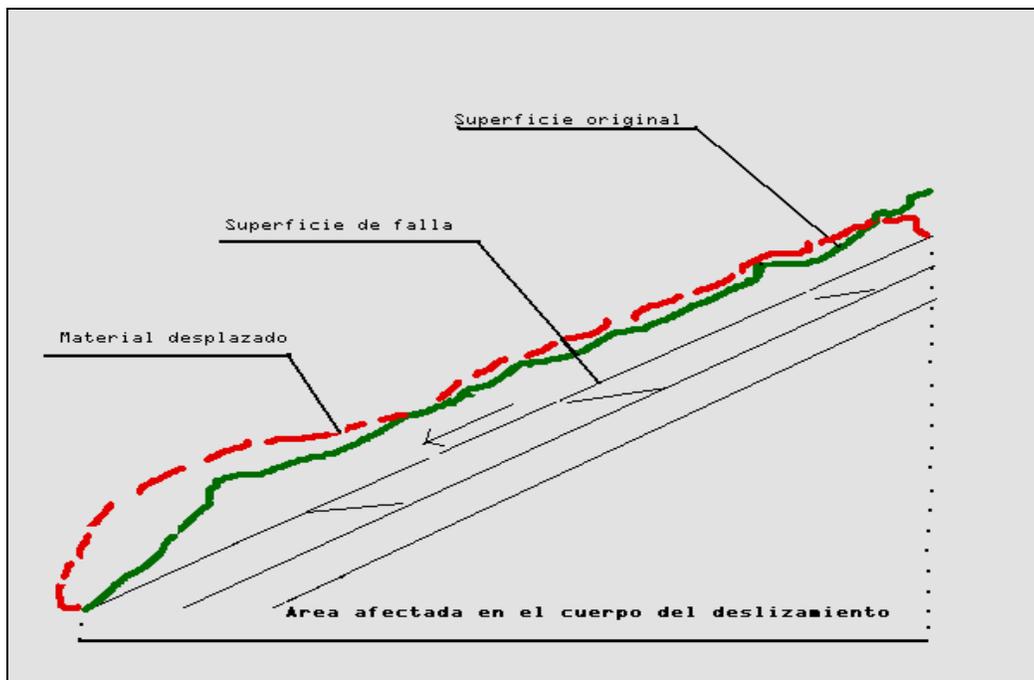
Se asociaron los posibles daños ocasionados por un evento dado, de acuerdo con la magnitud del evento (tipo de solicitud) así como la tipología de la vivienda (resistencia del elemento expuesto).

A continuación se presenta la matriz de daños utilizada y en el **Anexo H** se presentan las solicitudes (Tipo y clases) y las zonas generadas a partir de las mismas, tenidas en cuenta en el análisis de la Vulnerabilidad y riesgo:

**Figura 4.4 Esquema Zonas de Amenaza Deslizamiento Rotacional**



**Figura 4.5 Esquema Zonas de Amenaza Deslizamiento Traslacional**



**Tabla 4.6 Matriz de Daños**

| TIPO DE SOLICITACIÓN     |     | CALIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE DAÑOS |     |     |     |
|--------------------------|-----|----------------------------------|-----|-----|-----|
|                          |     | TIPOLOGÍA DE VIVIENDA            |     |     |     |
|                          |     | B1                               | B2  | B3  | B4  |
| DESPLAZAMIENTO LATERAL   | VM1 | V                                | V   | V   | IV  |
|                          | VM2 | V                                | V   | IV  | IV  |
|                          | VM3 | V                                | IV  | III | III |
|                          | VM4 | IV                               | III | III | II  |
|                          | VM5 | III                              | II  | II  | I   |
| PRESIÓN LATERAL CONTINUA | PL1 | V                                | IV  | III | III |
|                          | PL2 | V                                | IV  | III | II  |
|                          | PL3 | IV                               | III | II  | I   |

#### 4.2.4 CRITERIOS DE INTENSIDAD

Las intensidades de los tipos de solicitaciones se asociaron a dos factores:

- Espesores de los rellenos, depósitos y suelos superficiales hasta el nivel de roca.
- Velocidad de movimiento de los procesos de inestabilidad.

A partir del nivel de detalle del estudio de amenaza, se establecieron las intensidades de los diferentes tipos de solicitaciones, las cuales se mencionan en la **Tabla 4.7**.

**Tabla 4.7 Criterio de Intensidad**

| TIPO DE SOLICITACIÓN                      |                                | EVENTO | CRITERIO DE INTENSIDAD |
|---|--------------------------------|--------|------------------------|
| DESPLAZAMIENTOS ROTACIONAL Y TRASLACIONAL | Desplazamientos Laterales (DI) | Lento  | Vm. < 1 m/año          |
|   |                                | Rápido | Vm. > 1 m/año          |
|   | Presión Lateral Continua (PI)  | Baja   | SC < 1/3 SE            |
|   |                                | Media  | 1/3 SE < SC < 2/3 SE   |
|   |                                | Alta   | SC > 2/3 SE            |

Donde:

**Vm:** Velocidad del movimiento

**SC:** Superficie de contacto (altura de la acumulación del material)

**SE:** Superficie expuesta (altura de la edificación)

#### **4.2.5 CUANTIFICACIÓN DE NIVELES DE DAÑO**

Para la cuantificación de los niveles de daño físico en las viviendas se utilizó el criterio de valoración de “**Conjuntos Difusos**” (i. e. **Kosko, 1997**), la cual se denominó “**Índice de Vulnerabilidad Física (IVF)**”.

En la teoría de los conjuntos difusos, la valoración del IVF depende del nivel de confianza y a medida que la confianza va disminuyendo, el intervalo de valores del IVF va aumentando; para efectos de este análisis en el estudio del barrio Divino Niño – Localidad de Ciudad Bolívar, se adoptó que para una confianza de 1 (totalmente confiable), los rangos de valores para cada ID fueran los propuestos por LEONE (1.996) y para efecto de los cálculos se tomó una confianza de 0.5 (medio) debido a que no se cuenta con los registros de los cuales Leone obtuvo tales índices y que, por el alcance del estudio no fue posible realizar un análisis retrospectivo similar. (**Tabla 4.8**)

**Tabla 4.8 Valores del IP (Índice de Pérdidas) para valorar el ID (Índice de Daño)**

| <b>ÍNDICE DE DAÑO</b> | <b>IP MIN</b> | <b>IP MAX</b> |
|-----------------------|---------------|---------------|
| <b>I</b>              | 0.00          | 0.15          |
| <b>II</b>             | 0.15          | 0.35          |
| <b>III</b>            | 0.35          | 0.65          |
| <b>IV</b>             | 0.65          | 0.85          |
| <b>V</b>              | 0.85          | 1.00          |

#### **4.2.6 CATEGORIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD**

Para cada una de las posibles solicitudes relacionadas con la amenaza (desplazamientos laterales y presiones laterales), se analizaron las viviendas afectadas determinando su respectivo índice de vulnerabilidad física (IVF).

Teniendo en cuenta que algunas viviendas pueden verse afectadas por más de un tipo de solicitud, se determinó que el IVF adoptado sea el más crítico.

La vulnerabilidad se evaluó únicamente para las zonas de influencia directa y de amenaza alta, media y baja. En la zona de influencia indirecta en general ante fenómenos de remoción en masa no se encuentran elementos expuestos ante un evento. La categorización se presenta en la **Tabla 4.9**.

**Tabla 4.9 Categorización de la Vulnerabilidad ante FRM**

| <b>CONDICIÓN</b>        | <b>CATEGORÍA</b> |
|-------------------------|------------------|
| IVF TOTAL > 0.65        | ALTA             |
| 0.35 < IVF TOTAL < 0.65 | MEDIA            |
| IVF TOTAL < 0.35        | BAJA             |

En el **Plano No. 13** se presenta el Mapa de Vulnerabilidad final y en el **Anexo I** se presentan las tablas con los cálculos para determinar la vulnerabilidad ante fenómenos de remoción en masa tipo deslizamientos.

#### **4.3 VULNERABILIDAD PREDIOS CIMENTADOS EN ANTIGUOS DRENAJES.**

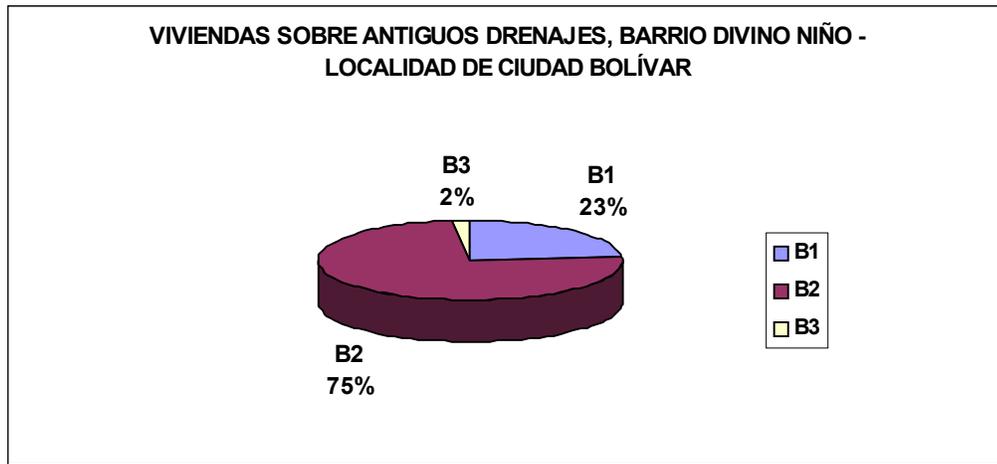
De acuerdo a las observaciones directas en campo se pudo determinar que en las áreas correspondientes a los antiguos drenajes y que actualmente fueron rellenados y adecuados para la construcción de viviendas, se presenta el mayor Índice de daños actuales asociados a asentamientos diferenciales de tipo local relacionado con el tipo de construcción.

En este sector se encuentran construcciones en menor proporción con tipología B1 y B3, y en mayor proporción las tipologías B2 las cuales presentan el mayor índice de daños (Ver **Tablas 4.10 y 4.11, Figuras 4.6 y 4.7, Plano 12A y Anexos J y K**).

**Tabla 4.10 Porcentaje de Tipología de Viviendas Cimentadas Sobre Rellenos – Antiguos Cauces**

| <b>TOTAL PREDIOS (507)</b> | <b>TOTAL PREDIOS SOBRE RELLENOS - ANTIGUOS DRENAJES (98)</b> | <b>B1</b> | <b>B2</b> | <b>B3</b> |
|----------------------------|--|-----------|-----------|-----------|
|                            |  | 23        | 75        | 2         |

**Figura 4.6 Porcentaje de Tipología de Viviendas Cimentadas Sobre Rellenos – Antiguos Cauces**



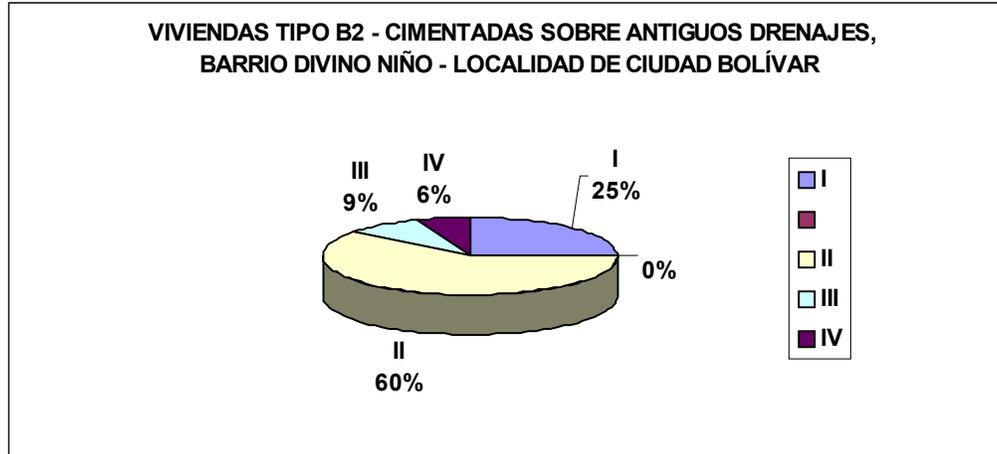
**Tabla 4.11 Porcentaje de Daños Actuales –Viviendas Cimentadas Sobre Rellenos – Antiguos Cauces**

| TIPOLOGÍA     | B2 (73) |    |     |    | B3 (2) |    |
|---------------|---------|----|-----|----|--------|----|
|               | I       | II | III | IV | I      | II |
| GRADO DE DAÑO |         |    |     |    |        |    |
| TOTAL         | 17      | 42 | 6   | 4  | 1      | 1  |

Donde:

- I **Ligeros.** Correspondiente a fisuras menores a 1 mm de apertura.
- II **Moderados.** Correspondiente a fisuras con apertura entre 1 y 5 mm.
- III **Fuertes.** Correspondiente a grietas con apertura entre 5 y 10 mm.
- IV **Severos.** Correspondientes a grietas con apertura mayor a 1 cm,.

**Figura 4.7 Porcentaje de Daños Actuales de Viviendas Cimentadas Sobre Rellenos – Antiguos Cauces**



#### 4.4 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

- Las viviendas construidas a media ladera, están cimentadas sobre concreto ciclópeo y columnas con zapatas y sobre estos elementos una viga de amarre sobre la cual se apoyan los muros.
- De acuerdo con los resultados de las tablas antes mencionadas, se concluye que la vulnerabilidad de las construcciones localizadas en las zonas de alta y media amenaza es alta. Las zonas del área de estudio con índices de vulnerabilidad baja corresponden a lotes vacíos, vías y zonas sin desarrollo.
- En general en el área de estudio las tipologías que predominan corresponden a Tipo B1 y B2. En la mayoría de las construcciones predomina la utilización de ladrillos, agregados y elementos de construcción de mala calidad. Teniendo en cuenta lo anterior y además que la vulnerabilidad esta en función de la intensidad del fenómeno como de la resistencia del elemento expuesto se concluye que las viviendas localizadas en zonas de amenaza alta y media son altamente vulnerables ante fenómenos de remoción en masa.
- El 19% de las construcciones del área de estudio, se encuentran sobre rellenos de antiguos drenajes siendo altamente vulnerables ante los desplazamientos verticales, producto de asentamientos diferenciales.
- En las **Manzanas Y** y **RR** se recomienda mejorar el sistema constructivo (edificaciones y red acueducto y alcantarillado) disminuyendo así la vulnerabilidad ante un fenómeno de remoción.

## **5 EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR FENÓMENO DE REMOCIÓN EN MASA**

El riesgo es el resultado de relacionar la amenaza y la vulnerabilidad (Ver **Planos 10 y 13**, respectivamente) para determinar los efectos económicos asociados a uno de los eventos en las áreas ocupadas. Por lo anterior, el índice de riesgo se define como el porcentaje de pérdida esperado, el cual permitirá establecer intervalos de riesgo, considerando la misma clasificación de la amenaza.

Una vez determinado el IVF para cada uno de los predios (construcciones), el riesgo se calculó como la multiplicación de la probabilidad de falla por el IVF, así:

$$IR= PR * IVF$$

Donde:

**IR:** Índice de riesgo

**PR:** Probabilidad de falla

**IVF:** Índice de vulnerabilidad física

Esta actividad se realizó en todas las zonas de amenaza y el resultado se muestra en el mapa de riesgo, **Plano 14**.

De acuerdo a las observaciones directas en campo, se pudo determinar que en las áreas correspondientes a los antiguos drenajes, rellenos y adecuados para la construcción de viviendas, se presenta actualmente la mayor cantidad de daños estructurales asociados a asentamientos diferenciales no correlacionables con fenómenos de remoción en masa, por lo que se escapa al alcance de este análisis.

### **5.1 ZONIFICACIÓN POR RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA**

De igual manera que la vulnerabilidad, el riesgo se caracterizó de la siguiente manera (**Tabla 5.1**):

**Tabla 5.1 Categorización del Riesgo por FRM**

| <b>CATEGORÍA DEL RIESGO</b> | <b>CRITERIO</b>                  |
|-----------------------------|----------------------------------|
| ALTA                        | IR promedio $\geq 0.37$          |
| MEDIA                       | $0.16 \leq$ IR promedio $< 0.37$ |
| BAJA                        | IR promedio $< 0.16$             |

Los mapas anteriormente relacionados se multiplicaron entre sí, dando como resultado la siguiente matriz para el riesgo (**Tabla 5.2**):

**Tabla 5.2 Matriz de Riesgo**

| <b>VULNERABILIDAD</b> | <b>AMENAZA</b> |              |             |
|-----------------------|----------------|--------------|-------------|
|                       | <b>ALTA</b>    | <b>MEDIA</b> | <b>BAJA</b> |
| ALTA                  | A              | M            | M           |
| MEDIA                 | A              | M            | B           |
| BAJA                  | M              | M            | B           |

## **5.2 RESULTADOS DE LA ZONIFICACIÓN DEL RIESGO**

Se definieron los siguientes niveles de riesgo para el barrio Divino Niño - Localidad de Ciudad Bolívar:

### **5.2.1 ZONA DE ALTO RIESGO**

Dentro de esta zona se identificaron los siguientes predios (Ver **Tabla 5.3**):

**Tabla 5.3 Viviendas en zona de Alto Riesgo**

| <b>MANZANA</b>       | <b>LOTEO - LEGALIZACIÓN</b>                |
|----------------------|--|
| K                    | 2, 11, 15 Y 16                             |
| L                    | 5, 14 Y 15                                 |
| R                    | 1 Y 2                                      |
| RR                   | 21, 22 Y 23                                |
| Y1                   | 12   |
| ZO                   | 7 Y 8                                      |
| A1                   | 15   |
| E1                   | No Localizado en el Plano de Legalización. |
| Y10                  | 4  |
| Z8                   | 8,9,10                                     |
| Ladera Estructural 1 | No Localizado en el Plano de Legalización. |

### **5.2.2 ZONA DE RIESGO MEDIO**

En esta zona se identificaron los siguientes predios (Ver **Tabla 5.4**):

**Tabla 5.4 Viviendas en Zona de Riesgo Medio**

| <b>MANZANA</b> | <b>LOTEO - LEGALIZACIÓN</b>   |
|----------------|-------------------------------|
| LL             | 23,24,25,26 Y 27              |
| Z5             | 16,17,19 Y 25 - 1             |
| Z6             | 1,3,7,8,9,10,12,16,18,19 Y 20 |
| Z7             | 1,2,2 - 1 Y 4                 |
| Y              | 1,3,4 Y 6                     |

### **5.2.3 ZONA DE RIESGO BAJO**

- Se pudieron identificar áreas correspondientes a los antiguos drenajes y que actualmente fueron rellenados y adecuados para la construcción de viviendas, las cuales presentan el mayor Índice de daños actuales asociados a asentamientos diferenciales de tipo local relacionado con el tipo de construcción. (Ver **Anexo I**).
- En la **Ladera LE1**, identificada como zona de amenaza alta se localizan asentamientos sub - normales cuya tipología es B1 y B2 que presentan alta vulnerabilidad ante fenómenos de remoción en masa; por lo tanto, se recomienda no permitir el desarrollo urbanístico en este sector y mantener el área como zona de recreación pasiva. Las viviendas que actualmente se localizan en el área deben realizar el manejo adecuado de las aguas servidas y superficiales y restringir la adecuación del terreno para la ampliación de construcciones (cortes o excavaciones). Hacia la base de la ladera en mención se recomienda la ejecución de obras de mitigación, para recuperar la estabilidad de la ladera en esta zona.
- En la **Manzana Z8** se presentan viviendas de tipología B1 con alta vulnerabilidad ante fenómenos de remoción, por lo tanto se recomienda no permitir la construcción o el desarrollo urbanístico de esa zona. En las **Manzanas Z5, Z6 y Z7** el grado de amenaza es medio y el riesgo es medio, por lo tanto de llegar a desarrollarse asentamientos humanos en el sector estos deben garantizar el respectivo manejo de las aguas superficiales y el desarrollo constructivo con las normas técnicas de construcción.
- En la **Manzana Y2** se recomienda restringir la construcción en dicho sector debido a que se localiza dentro de la zona de influencia ante un fenómeno de remoción.
- En la **Manzana Y7** se recomienda no permitir la construcción por encontrarse dentro de la zona de influencia directa ante un fenómeno de inestabilidad.
- En las **Manzanas Y4, Y5, Y6 y Y8** de llegar a desarrollarse asentamientos humanos en este sector, estos deben garantizar el respectivo manejo de las aguas superficiales y el desarrollo constructivo con las normas técnicas de construcción. Además, se debe conservar el área de ronda hidráulica y de conservación ambiental de la quebrada Trompetas, materializada en campo por la E.A.A.B.

- En la **Manzana A1** se recomienda restringir la construcción y mantener el uso actual del sector. Sobre esta ladera la zona identificada como de baja amenaza se recomienda mejorar el sistema constructivo.
- En la **Manzana X10** se recomienda no permitir el desarrollo urbanístico de los lotes identificados como 1,2 y 3 por estar localizados dentro del área de influencia por fenómeno de inestabilidad. Así mismo, en los lotes identificados como: 4, 5 y 6 de llegar a desarrollarse asentamientos humanos se debe conservar el área de protección ambiental de la quebrada Trompetas, demarcada por la E.A.A.B. Esta última consideración se debe tener en cuenta en el desarrollo urbanístico de las **Manzanas Y 12 y Y 13**.
- En las **Manzanas Q, R y X9** se recomienda no permitir el desarrollo urbanístico. Por estar localizadas dentro de la zona de influencia por fenómenos de inestabilidad.
- La **Manzana K y L**, identificadas como zonas de amenaza alta se localizan viviendas cuya tipología es B1 y B2 que presentan alta vulnerabilidad ante fenómenos de remoción en masa; por lo tanto se recomienda no permitir el desarrollo urbanístico en este sector. Las viviendas que actualmente se localizan en la parte alta de la ladera deben realizar el manejo adecuado de las aguas servidas y superficiales. Se recomienda reubicar la vivienda identificada como Mz. K lote 2 (inventario en campo 211) y los predios de la Mz. L lotes 5, 14 y 15 (identificados con el numeral 238, 247 y 248) por concepto - obra de mitigación de llegarse a realizar.
- En la **Manzana Y10**, en los lotes identificados como: 1,2,3,4,8,10,12,14,15,16 y 17 que corresponden a zonas adecuadas actualmente con material de relleno sobre antiguos drenajes, de llegarse a presentar desarrollos urbanísticos deben realizarse con las normas técnicas de construcción.
- En la **Manzana ZO**, en los lotes identificados como: 1,2,3,4,5,y 6 localizados sobre la zona de amenaza media de llegar a ser urbanizados, se recomienda realizar el respectivo manejo de las aguas superficiales y sub - superficiales y realizar construcciones con las respectivas normas técnicas.
- Las **Manzana Y11 y Y14** corresponden a zonas sin urbanizar que se encuentra en una zona de amenaza media y baja, por lo que es necesario de llegar a desarrollarse asentamientos humanos, garantizar el respectivo manejo de las aguas superficiales y el desarrollo constructivo con las normas técnicas de construcción.
- El área que se encuentra sin urbanizar de la **Manzana ZP**, se identifica como una zona de riesgo bajo, sin embargo corresponde a un área de antiguos drenajes que fueron rellenados y adecuados para la construcción de viviendas. Por lo tanto, se recomienda el desarrollo constructivo con las normas técnicas de construcción.

## **6 PLAN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN**

### **6.1 INTRODUCCIÓN**

Teniendo en cuenta los resultados del análisis de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo, presentados en los capítulos anteriores, a continuación se plantea y describe una serie de medidas tendientes a la mitigación del riesgo. También se incluyen las obras y medidas para control de la amenaza por asentamientos. En el capítulo 7, se presenta la valoración de estas medidas en cada zona y su relación beneficio-costos.

### **6.2 CONSIDERACIONES GENERALES**

Se aprecia una zona de amenaza alta asociada puntualmente a las construcciones con cortes en media ladera donde las actividades antrópicas de vertimiento de aguas, y rellenos superficiales, generados por los mismos desarrollos urbanos, pueden desencadenar una alta densidad de procesos puntuales de remoción en masa. (ZAA-1). Ver **Plano 10**.

El segundo proceso de inestabilidad, al norte del barrio (ZAA-2), consiste en el talud en material coluvial de altas pendiente y altura. Allí el área de influencia del proceso no involucra ninguna de las residencias.

En general, se aprecian otras zonas de amenaza alta asociadas principalmente a los rellenos que han sido dispuestos sin ningún tipo de control y técnica; con una influencia indirecta sobre las viviendas cercanas o de las áreas donde se contemplan construcciones nuevas. (ZAA-3)

Para la zona de amenaza alta localizada en el límite suroccidente del área de estudio, donde se ha presentado el mayor número de emergencias y reubicaciones (ZAA-4), los procesos de inestabilidad se asocian principalmente a taludes dejados por la actividad minera y la presencia de rellenos arcillosos muy afectados por la acción de las aguas lluvias y flujos subsuperficiales coligados a un antiguo drenaje natural.

La mayor densidad de los daños observados en las viviendas se relacionan con las construcciones localizadas sobre los antiguos drenajes y obedecen principalmente a asentamientos diferenciales de los rellenos (ZAA por asentamientos), con excepción del sector sur donde los rellenos y suelos residuales presentan una condición de inestabilidad potencial.

De acuerdo con este diagnóstico general, los problemas de estabilidad del barrio obedecen principalmente a la falta de planificación en el desarrollo urbanístico, y se considera que los diferentes planes de mitigación se deben orientar a la construcción de un sistema de captación y conducción de aguas lluvias, el

sistema de acueducto y alcantarillado, muros de contención, etc., controlando de esta forma los procesos de erosión y saturación de los rellenos superficiales.

Para las zonas de rellenos con espesores mayores de 5 mt, se considera importante una restricción en el uso del suelo. Para las viviendas localizadas sobre estos materiales y para aquéllas que presentan daños por asentamientos se dan recomendaciones para que las comunidades realicen un mejoramiento de sus construcciones dentro de criterios y parámetros que aseguren la estabilidad de la ladera y los cortes de excavación.

En las áreas de rellenos superficiales hasta de 3.0 m de espesor, donde se presenta la mayor densidad de daños por asentamientos, se dan recomendaciones orientadas a mejorar las condiciones de cimentación de las viviendas, obras que pueden ser realizadas directamente por los dueños.

### **6.3 PLAN GENERAL DE ACCIONES**

De acuerdo con las anteriores consideraciones las diferentes medidas de mitigación están orientadas en los siguientes aspectos:

- Al control de la amenaza mediante obras correctivas y preventivas de fácil construcción por parte de las comunidades afectadas.
- Control por parte de las comunidades en la disposición de nuevos rellenos; y el manejo de los diferentes factores antrópicos que pueden generar procesos de remoción en masa.
- Disminuir la vulnerabilidad de las viviendas mediante prácticas de mejoramiento de la resistencia estructural o disminución de la exposición.

### **6.4 PLANTEAMIENTO DE OBRAS**

A continuación se presenta el planteamiento de obras recomendadas, para disminuir el riesgo por fenómenos de remoción en masa, tanto hacia el control de la amenaza como al de la vulnerabilidad. Ver **Planos 15 y 16**.

#### **6.4.1 MUROS DE GRAVEDAD (GAVIONES-TIERRA REFORZADA, CONCRETO CICLÓPEO)**

Los gaviones se plantean para las ZAA-1 y ZAA-3 cerca de la vía de la ladrillera Santa Fe mientras que los muros en concreto ciclópeo se sugieren puntualmente para las viviendas localizadas a media ladera que requieren cortes para alcanzar el nivel de fundación.

Estos muros requieren un buen drenaje por lo cual si se utilizan muros de gaviones, éstos estarán protegidos en su cara posterior o cara contra el terreno con un geotextil no tejido que evita el arrastre de finos y se propone que éste sea tipo PAVCO 1600 NT o un geotextil de similares características. En caso de que se construya un muro en tierra reforzada con rellenos provenientes de los cortes o de las zonas con rellenos heterogéneos que es necesario retirar, el muro debe contar con una cortina filtrante en su parte posterior la cual puede ser tipo geodrén o conformada por gravilla de río o triturado de primera, de 10 cms de

espesor como mínimo, protegida con un geotextil no tejido (PAVCO 1600 NT o similar) en su cara contra el terreno natural o contra los rellenos detrás de la estructura del muro en tierra reforzada.

Los muros en gavión serán construidos con malla galvanizada, especialmente construida para gaviones, y las canastas de 1.0 \* 1.0 \* 2.0 m de longitud se llenarán con piedra partida o bolos de piedra, con diámetros equivalentes entre 10 y 20 cms y se aclara que podrían contar con partículas menores que no quepan en los espacios de la malla, pero se considera inconveniente el uso de diámetros mayores a 20 cms, por lo cual los sobretamaños deben ser partidos.

Los muros en tierra reforzada pueden ser de diferentes tipos. Por costos se recomienda la posibilidad de usar muros reforzados con geotextil tejido, o muros con llantas viejas y manila plástica. En caso de construir muros en geotextil tejido se utilizará geotextil tejido tipo PAVCO 2100 T o similar y se colocará una capa de geotextil cada 40 cms de altura cubriendo el ancho del muro igual a 0.6 H, además de la cara, conformando con el geotextil la piel del muro, la máxima altura debe ser de 8m. El relleno puede hacerse con tierras provenientes de las excavaciones, libres de basura y en este caso, libres de escombros que puedan rasgar la tela. Además el material no puede tener sobretamaños mayores a 10 cms de diámetro. El material será compactado en capas de 10 o 15 cms de altura máxima, con ranas, pisones o saltarines y cada 40 cms de altura se colocará una nueva lámina de geotextil traslapada con la capa inferior al frente del muro en un ancho no menor a 30 cms. Se recomienda usar formaleta de madera en su cara exterior para lograr una superficie bien presentada.

En caso de escoger un muro con llantas usadas y manila cabe tener en cuenta que el único inconveniente es que las llantas son combustibles. Sin embargo en caso de escoger este tipo de muro con las llantas se conformará la piel del muro; irán por hiladas horizontales en la cara, traslapando la segunda hilada con la anterior en "tresbolillo". Cada dos hiladas se amarrarán a una cuadrícula de llantas con manila y las llantas irán una cada metro en ambos sentidos amarradas con manila plástica, conformando una cama con un ancho igual o mayor a 0.6 h. Igualmente las llantas de la cara irán amarradas verticalmente con manila sintética de ½ pulgada o más. El relleno entre llantas y dentro de éstas (incluyendo las llantas de la cara) se construirá con tierras del sitio, apisonado por capas de 10 cms de espesor y el relleno no puede contar con sobretamaños mayores a 20 cms de diámetro, ni con basuras, ni escombros gruesos o materiales combustibles.

En caso de construir muros en concreto ciclópeo, éstos se harán una cara vertical exterior, fundida con formaleta y una cara interior acostada y formaleteada. En la base el ancho del muro será igual o mayor a 0.6 H para muros con alturas (H) menor a 3.0 m y que deben ser calculados para alturas mayores. En la corona el ancho del muro será igual o mayor a 30 cms. El concreto ciclópeo será en proporción 60% piedra rajón o media zonga provenientes de la formación (areniscas de labor) y 40% concreto con una resistencia a la compresión simple igual o mayor a 2.500 PSI ( $f_c > 175 \text{ Kg/cm}^2$ ).

—

#### **6.4.2 OBRAS DE DRENAJE**

Las obras de drenaje se plantean para toda el área de estudio de acuerdo con el **Plano 15** de obras y **Plano 16** de detalles.

Alcantarillados Existentes: Es importante mencionar en primera instancia que en la mayor parte del barrio El Divino Niño se construyeron recientemente alcantarillados de aguas lluvias y de aguas servidas. Infortunadamente se crearon dos problemas con estas construcciones. Primero por que las zanjas para instalación de la tubería no fueron rellenadas o fueron rellenadas muy pobremente y con materiales sueltos. El segundo problema lo generó el hecho de que las tuberías entregan a la Quebrada Trompetas y en muchos casos esta entrega se hace en la parte alta del talud, un talud fácilmente erosionable en coluvión o rellenos, y están creando problemas por erosión, cárcavas adicionales y saturación del depósito.

Las zanjas de alcantarillado mal rellenadas están sirviendo como ducto para las aguas lluvias superficiales que se infiltran por este camino afectando gravemente los rellenos antrópicos que se consolidan y crean problemas de asentamientos y los materiales coluviales que se erosionan y se ablandan, con la consiguiente pérdida de resistencia al corte y posibles problemas de inestabilidad a mediano y largo plazo. Estos problemas han sido evaluados y su estabilidad examinada en caso de daños de los taludes contra la Quebrada, en otros apartes de este informe. De todas formas se recomienda a la entidad que corresponda, rellenar estas zanjas con materiales limpios, no orgánicos, provenientes de los cortes, debidamente apisonados por capas de 10 a 15 cms de espesor como máximo, hasta por lo menos 10 cms por encima del nivel de la subrasante actual. Las zanjas son fácilmente localizables en toda las vías en donde fueron excavadas por las depresiones que presentan.

Por otra parte las tuberías entregan en mucho sitios en la parte alta del talud. Esto crea problemas de erosión graves con un retroceso por inestabilidad de los taludes en coluvión o en rellenos y amenaza a mediano y largo plazo de las construcciones situadas en las cercanías de la Quebrada en la parte alta de dichos taludes. De especial cuidado es el talud alto al norte y noroccidente contra la Quebrada en donde es necesario eliminar el descole existentes allí y conducir la tubería hasta un punto del talud con baja altura y entregar directamente en la Quebrada y no sobre el talud. Todas las tuberías de lluvias y aguas servidas se deben llevar hasta la Quebrada.

##### **6.4.2.1 Cunetas**

Se requieren cunetas en sitios escogidos en la parte alta de taludes (teniendo cuidado de no usar zanjas de coronación en coronas de taludes altos que puedan generar problemas de inestabilidad), y a través de rellenos cuyas aguas superficiales deben ser conducidas adecuadamente evitando que se infiltren y causen problemas. Ya se menciona que se recomiendan cunetas transversales y longitudinales en los rellenos altos, que es necesario construir en la zona de parque (cárcavas) al norte y nororiente del barrio. También se requiere una zanja transversal, que entregará al alcantarillado de lluvias o la Quebrada (y no al talud) en las cercanías a las casas y alejada del escarpe alto al norte –

noroccidente del barrio. Otras cunetas estarían localizadas al sur en la zona de antiguas cárcavas o excavaciones de explotación de la ladrillera (actuales rellenos sueltos) y en general en sitios donde sea necesario captar aguas superficiales para evitar que produzcan daños. (ver plano No. localización de las cunetas)

Las zanjas irán revestidas en concreto con juntas para retracción y temperatura y tendrán una profundidad típica de 30 cms (o mayor en caso de caudales importantes). Además deben contar con disipadores de energía, para longitudes grandes o en caso de descenso en taludes de más del 15% de pendiente. (ver plano No. 15).

#### **6.4.2.2 Filtros**

Los filtros se utilizarán para cortar aguas subsuperficiales que puedan hacer daños a rellenos nuevos o aguas de infiltración que estén produciendo daños en las laderas, como es el caso de los taludes en la parte alta de la vía a la ladrillera o en los coluviones, en las cercanías a taludes con mayor pendiente. Ya se habló también de la necesidad de construir filtros bajo los rellenos que deben ser construidos en la cárcava de mayor profundidad hacia el norte y nororiente del barrio.

Se utilizarán filtros en triturado de primera o gravilla encapsulados en geotextil no tejido tipo PAVCO 1600 NT o similar y con una altura no inferior a 50 cms y un ancho en su base igual o mayor a 40 cms. Los filtros pueden ser reemplazados por geodrenes de buenas características, pero en este caso los geodrenes deben ser analizados y capaces de garantizar permanencia con los años y un buen flujo de agua (espesor no menor a 1 pulgada, luego de instalados, en su porción superior).

Los filtros contarán con una tubería, solo en cercanías a la entrega de cajas de drenaje y conexión al alcantarillado de lluvia y dicha tubería tendrá como mínimo 4 pulgadas de diámetro, 5.0 m de longitud y quedará instalada en la parte más baja del filtro. Así mismo los filtros quedarán el fondo de rellenos nuevos o a una profundidad no inferior a 1.0 m en zonas de suelo natural o de rellenos existentes. La localización tentativa de los filtros aparece en el plano correspondiente.

#### **6.4.3 CONSTRUCCIÓN DE RELLENOS COMPACTADOS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA CÁRCAVA PRINCIPAL**

Esta alternativa se recomienda para la parte baja de la cárcava principal que de acuerdo con la propuesta de espacio público y paisajismo, se contempla la construcción de un parque y que está localizada al nororiente en las calles 78 B bis A – Diagonal 76 B bis y la Quebrada por el costado norte y entre las carreras 15 D y 15 A. Se deben seguir los siguientes pasos:

1. Reconfiguración de los rellenos superficiales y retiro de los materiales más sueltos para su disposición en la base de la cárcava, a fin de lograr una superficie aplanada de suave pendiente (máximo 20° con la horizontal en suelo natural). Tendida del talud existente con una compactación superficial

mediante la pasada del bulldozer, conformando un talud con inclinación máxima de 30° con la horizontal .

2. Adecuación previa de obras de subdrenaje mediante la construcción de un sistema de filtros tipo francés, en espina de pescado vista en planta. Se considerará un filtro principal localizado en la base de la cárcava, de 50 cms de altura, con un sistema de ramales conectando al ramal principal. Así mismo el ramal principal debe penetrar en los materiales de relleno en la ladera sur, por lo menos en 20 m de longitud, pero también con 50 cms de profundidad. Adelante se presentan las recomendaciones para la construcción de los filtros.
3. Una vez construidos los filtros se compactará el fondo o superficie de subrasante, sobre todo en zonas de material más suelto.
4. Acto seguido, se iniciará la colocación de materiales de relleno en capas horizontales de 20 cms a 30 cms de espesor cada una. Cada capa debe quedar bien compactada a una densidad que depende del uso de la zona: para áreas de parque, zonas verdes y posibles vías de tráfico liviano el relleno se debe llevar a una densidad seca no menor al 80% de la máxima en el ensayo Próctor Modificado y puesto que se trata de materiales heterogéneos, es decir rellenos en escombros, tierras excavadas, etc., se deben realizar al menos cuatro o cinco ensayos Próctor modificado para establecer una densidad máxima promedio, para zonas que pueden ser utilizadas para apoyar casas o vías de mayor importancia (V4, V5 o V6), la densidad obtenida con el proceso de compactación no debe ser menor al 90% de la máxima en el ensayos Próctor modificado.
5. Los nuevos rellenos en la pata de los rellenos en materiales sueltos, se construirán con taludes a 30° con la horizontal, como máximo (talud de la cara superior) y en caso de que se requieran en algún punto taludes más altos, éstos deben contar con muros de contención como complemento.
6. Se utilizarán equipos vibratorios de compactación de tamaño medio a grande (no pueden ser ranas o saltarines) y el equipo específico debe ser elegido por el contratista de la construcción de tal manera que se logre con facilidad la densidad mínima requerida.
7. Los taludes superiores y en general todos los rellenos deben ser protegidos con obras de drenaje, las cuales deben incluir como mínimo una cuneta de coronación periférica, cunetas en los cambios de nivel y algunas cunetas adicionales, con disipadores de energía, a lo largo de los taludes para garantizar un buen manejo de aguas.
8. Los taludes de relleno a 30° con la horizontal como máximo deben ser protegidos superficialmente con una delgada capa vegetal (limos orgánicos, de unos 10 a 20 cms de espesor) y una empedradización adecuada.
9. Como materiales de relleno se pueden utilizar escombros y tierras excavadas, arcillosas o arenosas, pero no se deben utilizar basuras (es necesario retirarlas) ni sobretamaños con un diámetro superior a 15 ó 20 cms.

#### **6.4.4 CONFORMACIÓN Y PROTECCIÓN DE TALUDES EN MATERIALES DE RELLENO**

Estas recomendaciones se presentan para la zona de alta amenaza por FRM asociada a las áreas de rellenos del costado occidental (ZAA-3), donde estos materiales, con presencia de basuras y escombros de construcción presentan espesores superiores a los 5.0 m, con una alta pendiente transversal.

Las recomendaciones para reconfigurar estas zonas, deben quedar con taludes acostados a un ángulo máximo de 30° con la horizontal y ser peinados con maquinaria de movimiento de tierras (posiblemente con un bulldozer o también con una retroexcavadora para taludes de poca altura). Luego deben ser compactados con un cilindro patecabra si el material es muy arcilloso, o con un rodillo vibrocompactador y sobre esta superficie se colocará una delgada capa de tierra negra (limos orgánicos o humus) sobre la cual se sembrará pasto y árboles pequeños, posiblemente nativos aún cuando también se pueden sembrar árboles más grandes, con el fin de incrementar la resistencia de los suelos.

En caso de que sea necesario construir terraplenes o bermas intermedias en los taludes, éstos deben contar con pendientes hacia adentro y cunetas, así sean en tierra, para drenaje. A toda costa se debe evitar la erosión.

Se aclara que en caso de que aparezcan taludes en relleno o en coluvión con pendientes mayores a unos 20° con la horizontal, en donde sea difícil la empradización, se pueden utilizar costales ralos de fique para retener la tierra negra y las semillas o cespedones, éstos serían clavados con estacones. La ventaja de los costales de fique es que son ecológicos pues tienden a descomponerse y desaparecer una vez la vegetación ha logrado crecer.

Por otra parte los taludes altos con la Quebrada, en coluvión, deben dejarse en su estado actual, es decir vertical o casi vertical, para evitar su erosión y ya que no pueden ser empradizados, serán protegidos de la erosión con las cunetas de recolección de aguas aferentes (no de coronación, pero si en la parte alta de taludes aledaños), además de que se retirarán todas las tuberías que desaguan sobre ellos.

#### **6.4.5 RECOMENDACIONES DE SUBMURACIÓN PARA LAS CONSTRUCCIONES LOCALIZADAS EN RELLENOS SUPERFICIALES.**

Estas obras se recomiendan para las construcciones localizadas sobre los rellenos superficiales localizados en las zonas de drenajes del sector occidental. Para estos sitios puntuales a nivel de construcción se dan recomendaciones de submuración que en este caso serían implementadas por los propietarios. Por supuesto en las zonas de mayor espesor de rellenos sueltos (desde 5.0 m o más) no se debe construir, pues resulta más costosa la submuración que la vivienda misma.

Existen varios sistemas de submuración entre los cuales se incluyen la construcción de pilotes con barreno, la construcción de micropilotes, inyecciones, etc, pero éstas se descartan dado que se trata de tecnologías costosas,

difícilmente adaptables en el barrio. Se presentan por lo tanto recomendaciones para la construcción de dados o pilares rectangulares en concreto ciclópeo, que deben ser ejecutadas por los habitantes.

En primera instancia es importante que la casa que ha sufrido asentamientos (evidenciados por la presencia de grietas en diagonal en los muros o separación en la casa vecina y descuadre en puertas y ventanas) cuente con una viga de amarre en el nivel de cimentación. Esta viga tendrá entre 25 y 30 cms de altura (o más) y debe ir de un lado al otro del muro que se va a soportar. Se anota que si no existe viga de amarre puede ser necesario construirla, por lo cual puede ser conveniente en casas de un piso tumbar el muro y volver a construirlo sobre el muro submurado, o para casas de dos pisos sería necesario alzaprimar la casa y construir la viga por tramos.

Bajo la viga de amarre de cimentación se construirán dados o pilares rectangulares en ciclópeo. Para esto se construirá un apique hasta el suelo natural, de 80 cms de ancho bajo la viga y de 1.2 o 1.3 m en sentido perpendicular a la viga, para permitir el paleo del material. Este apique se debe apuntalar en el sentido corto con puntales (trozos de madera rolliza) y planchones (tablas). El apique se debe excavar hasta suelo natural y luego se rellenará con concreto ciclópeo a la mayor brevedad; el concreto ciclópeo irá en proporción 60% piedra rajón o media zonga y 40% concreto de 2.500 PSI ( $f'_c > 175 \text{ Kg/cm}^2$ ). Una vez rellenado con concreto ciclópeo el primer hueco se puede iniciar la excavación del segundo hueco bajo un muro o una casa determinada; no se deben excavar dos huecos bajo la misma construcción al mismo tiempo por peligro de colapso.

Cada dado de 1.2 m \* 0.80 m (en área aproximadamente de 1.0 m<sup>2</sup>) es capaz de soportar una carga de la superestructura de 20 T, siempre y cuando su apoyo se haga sobre suelo natural, ya sea éste el coluvión o las arcillolitas descritas en el perfil geotécnico, atravesando siempre los rellenos antrópicos que han sido colocados de manera no controlada.

Los pesos estimados para las casas de un piso entre 1.0 y 2.0 T/m (por metro lineal de muro), para casas de dos pisos entre 4.0 y 5.0 T/m para los muros de carga o portantes y para casas de tres pisos están por encima de 7.5 T/m. Los dados se deben construir cada 2.5 o 3.0 m de longitud de muro portante (entre ejes de dados) pues a pesar de su buena capacidad, las vigas de amarre deben ser capaces de puentear la carga del muro entre los soportes y los dados y dichas vigas normalmente pueden puentear más de 3.0 m de longitud para la casa de un piso y aún menos para las casas de mayor peso. Además los dados y las vigas deben ser capaces de soportar la totalidad del peso de la casa con su máxima altura, así ésta se vaya a lograr solo varios años después.

## **6.5 PLAN DE GESTIÓN SOCIAL**

El objetivo del presente numeral es hacer un breve análisis de la calidad de vida, percepción que tiene la población residente de las condiciones físicas del terreno en donde vive, frente al riesgo por remoción de masa y las condiciones de vulnerabilidad de las viviendas que están en proceso de construcción y las ya terminadas.

Además, presentar unas recomendaciones frente al manejo social que debe hacerse en la localidad para disminuir el riesgo, generar en la comunidad espacios de participación que permitan que la comunidad misma identifique, valore y actúe sobre situaciones que pueden generar riesgo para una o varias familias que residen en las viviendas.

Definir escenarios en los que se desarrollará el barrio: sin ninguna intervención por parte de la dirección de prevención y atención de emergencias, con una intervención directa y total de esta oficina, involucrando a la comunidad del barrio el Divino Niño.

### **6.5.1 CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA POBLACIÓN ASENTADA.**

De acuerdo a la tipificación de las viviendas, no se identificó ninguna vivienda en el tipo B4 que corresponde a “Construcción de muy buena calidad, con refuerzo estructural y adecuada cimentación, de más de dos niveles. Solamente 18 edificaciones fueron clasificadas como “Construcciones de buena calidad, realizadas en material tradicional, de hasta dos niveles. Esto nos arroja entonces que solo un 2% de los lotes cumplen con las normas de seguridad y calidad para viviendas edificadas.

Como quiera que el 98% de las viviendas construidas, o en proceso de construcción presentan: daños por baja calidad de materiales, inadecuados procesos de construcción, daños asociados a características del terreno, se entiende que no existe un procedimiento estandarizado para levantar una vivienda o una entidad especializada que lo asesore, entonces, cada propietario a manera propia, con el grado de conocimiento que tenga sobre esta materia, asume el desarrollo de una proceso constructivo, con las consecuencias que se evidencian en este barrio.

La procedencia de las familias que se encuentran asentadas en el barrio responde a situaciones relacionadas con conflicto social, empobrecimiento, problemas de orden público, falta de oportunidades, valor de la tierra, principalmente.

Esto convierte a este barrio en una alternativa para iniciar un proyecto de vida, sin embargo la población requiere un apoyo para el fortalecimiento en la constitución de comunidad y en la identificación de los proyectos sociales que la misma quiere adelantar.

A la situación anterior, se suma el hecho de que 505 de los lotes están vacíos y que en la actualidad 44 lotes están en proceso de construcción, lo que nos muestra que es un barrio de conformación y que este es un momento determinante para realizar una intervención social planificada que permita organizar, consolidar y potenciar a la comunidad, por ende el barrio, mejorando sus condiciones de vida, disminuyendo el riesgo y previniendo situaciones de emergencia.

Debe considerarse además, que la población adulta (padres, o madres cabeza de familia) debe desplazarse a otras localidades para buscar alternativas de

empleo, que en este barrio no encuentran, por lo que la población infantil permanece la mayor parte del tiempo en las viviendas. Es importante anotar que en este sector no reside población joven especialmente masculina, dado que abandonan el hogar para dedicarse a “otras actividades”.

Aunque existen jardines infantiles en el barrio (particulares y del ICBF) parte de esta población no asiste a ninguna institución educativa, quedando en manos de menores el desarrollo de actividades básicas cotidianas, el manejo de aguas, combustibles y desechos. El riesgo físico y económico que significa dejar a un menor en estas condiciones en una economía de subsistencia en principio no es prioritario para la persona cabeza de familia.

Aunque existe una actividad comercial incipiente, representada en pequeños establecimientos, las deficiencias en la infraestructura que tiene el barrio limitan el grado de expansión y organización del sector secundario.

### **6.5.2 ACCIONES PROPUESTAS PARA LAS VIVIENDAS QUE DEBEN SER REUBICADAS.**

1. Para las viviendas incluidas dentro de cada uno de estos grupos:
  - Presenten problemas por remoción en masa.
  - Se requiera adelantar obras de protección del talud.
  - Se encuentran ubicadas en una franja aisladas y tienen problemas de daños asociados a remoción de masas.

Debe realizarse un proceso de reubicación de las viviendas por la DPAE y adelantarse simultáneamente con la comunidad las obras de ingeniería. Adicionalmente se debe adelantar programas que vinculen y concienticen a la comunidad de la importancia de tener un manejo adecuado de las aguas servidas, las aguas lluvias y los residuos sólidos, de manera que se minimice el riesgo de daño de las viviendas y se mejore la calidad de vida de las familias asentadas en el barrio.

Estas viviendas pueden ser reubicadas dentro del mismo lote, para aprovechar el espacio disponible del barrio, no generar un alto costo social a las familias que deben desplazarse, y contribuir al proceso de planificación y desarrollo del barrio.

2. Para las viviendas que se encuentran sobre la ronda de la Quebrada Trompetas.

La Empresa de Acueducto debe adelantar un programa que permita su recuperación, requiriéndose la reubicación de las viviendas que se encuentran ubicadas en esta zona, que están clasificadas como viviendas tipo B1 y B2, consideradas como viviendas de mala y regular calidad. Estas viviendas presentan problemas por inundación.

La disponibilidad de lotes con que cuenta el barrio el Divino Niño permitiría realizar un proceso de reubicación de estas familias, sin que tuvieran que iniciar una búsqueda de espacio para vivir.

Adicionalmente se deben adelantar programas de reforestación con la comunidad sobre la ronda del río para su protección, para mejorar la

recarga y disminuir los procesos erosivos y delimitar la zona de protección.

3. Para las viviendas que se encuentran dentro de la zona de protección ambiental de las líneas de alta tensión, la Empresa de Energía debe adelantar un programa que permita la recuperación de esta zona, de manera que se garantice la restricción del uso del suelo, no apto para vivienda.

Las viviendas ubicadas en esta zona, pueden trasladarse a los lotes disponibles en el barrio Divino Niño. Deben adelantarse programas que permitan que la comunidad ayude a conservar estas zonas libres, para prevenir accidentes. Es necesario adelantar una gestión con los dueños de los predios de esta zona para que contractualmente se restrinja la venta de lotes en este sector.

### **6.5.3 RECOMENDACIONES**

- Formalizar, divulgar y concertar con la comunidad el desarrollo de un programa de apoyo y asesoría en procesos constructivos para el barrio, de manera que se capacite la mano de obra no calificada, se puedan desarrollar procesos constructivos de acuerdo a parámetros técnicos, se mantenga el bajo costo en el proceso, se genere una relación de cooperación entre las familias del barrio y la administración, se pueda direccionar el proceso de planificación del barrio.
- Construir con la participación de la comunidad un salón comunal, que permita la organización de actividades de la comunidad y se constituya en un sitio de encuentro entre las familias del barrio.
- Cogestionar con la comunidad la construcción de un parque infantil y una cancha para deportes, en la zona de cárcava mayor, de manera que se proteja el sector, se impida la construcción de nuevas viviendas, se logre participación de la comunidad en un proyecto social, se garantice el espacio para la recreación y el esparcimiento a la población infantil y juvenil y se concentren espacios colectivos que generen el fortalecimiento de los lazos sociales.
- Desarrollar programas de arborización que permita hacer una delimitación ambiental del barrio, de manera que se haga una barrera de protección del humo que sale de la ladrillera y se deposite en las viviendas del barrio, se proteja la ronda del río para mejorar la recarga y se proteja de procesos erosivos y se produzca la delimitación de la zona de seguridad. Este conlleva un mejoramiento del paisaje, de la calidad del aire y de las condiciones del suelo.
- Desarrollar el programa de arborización involucrando a los diferentes grupos sociales de la comunidad de manera que se genera en la comunidad una mayor valoración del entorno y la aprobación y cuidado del espacio y se garantice la conservación y cuidado de los árboles.
- Desarrollar en diversas personas la capacidad de liderazgo, de manera que se logre congregarse e impulsar a la comunidad al desarrollo de acciones, gestión de recursos, formulación y evaluación de proyectos sin que se dé una dependencia única respecto de los miembros de la Junta de Acción Comunal.

- Promover programas con mujeres que permitan adecuado manejo de residuos y que se constituya en una alternativa económica para la comunidad, replicando estas acciones en los menores y que se conviertan en multiplicadores de procesos y proyectos.

#### **6.5.4 PROGRAMAS PROPUESTOS PARA IMPLEMENTAR CON LA COMUNIDAD**

En la **Tabla 6.1** se muestran los programas propuestos, los participantes involucrados y los beneficios que podrían generarse con su aplicación.

### **6.6 DISEÑO PAISAJÍSTICO**

El diseño de espacio público y paisajismo de las cuatro áreas libres para ser preservadas y protegidas, en el barrio Divino Niño, se hizo teniendo como determinantes básicas de diseño, la clasificación de los riesgos geotécnicos de la zona, la topografía, el informe social y las necesidades a satisfacer. Los estudios de ingeniería realizados -consistentes en topografía y curvas de nivel, levantamiento y plano de lotes, calles o construcciones, y sobre todo en la identificación de riesgos- definieron las áreas que no deben ser ocupadas. En dichas zonas el suelo no es firme pues corresponden por lo general a cañadas que se han rellenado con escombros y basuras, lo cual da una pésima sustentación a los cimientos y además genera desvíos de agua riesgosos para otras viviendas; además de que se han creado erosiones e inestabilidades que también pueden propiciar deslizamientos.

**Tabla 6.1 Programas Propuestos**

| <b>PROGRAMA</b>   | <b>PARTICIPANTES</b>   | <b>BENEFICIO</b>   |
|---|--|--|
| <p><b>REFORESTACIÓN</b><br/>Zonas con problemas de erosión.<br/>Recuperación de taludes de corte.<br/>Barreras vivas frente a la ladrillera.<br/>En la ronda del río.</p> | <p>COMUNIDAD<br/>DPAE<br/>CAR<br/>JARDÍN BOTÁNICO<br/>EEAB</p> | <p>Disminución de niveles de erosión<br/>Integración de la comunidad<br/>Protección del talud<br/>Garantía de cuidado de los árboles plantados<br/>Mejoramiento calidad de aire<br/>Cambio positivo del paisaje<br/>Delimitación ambiental del barrio<br/>Disminución de la acción erosiva del viento<br/>Mejoramiento de la calidad de vida</p> |
| <p><b>ARBORIZACIÓN</b><br/>Zonas aledañas a la cárcava mayor cerca parque<br/>Los accesos del barrio</p>  | <p>COMUNIDAD<br/>ALCALDÍA LOCAL</p>                            | <p>Integración de la comunidad<br/>Cambio positivo del paisaje<br/>Garantía de cuidado de los árboles plantados<br/>Mejoramiento calidad aire</p>  |

| <b>PROGRAMA</b>  | <b>PARTICIPANTES</b>                                     | <b>BENEFICIO</b>   |
|--|--|--|
| <b>CONSTRUCCIÓN DE ESPACIOS COMUNITARIOS</b><br><br>Parque infantil<br>Salón comunal<br>Cancha para deportes | COMUNIDAD<br>ALCALDÍA<br>EMPRESA PRIVADA                 | Mejoramiento de la calidad de vida<br>Fortalecimiento de los procesos comunitarios<br>Cambio en el paisaje<br>Seguridad para los menores<br>Espacios de recreación y reunión<br>Mejoramiento del desarrollo urbanístico del barrio<br>Vinculación al proyecto de la comunidad y de su cuidado            |
| <b>ASESORÍA EN PROCESOS CONSTRUCTIVOS</b>  | COMUNIDAD<br>ALCALDÍA                                    | Disminución riesgos de daño por procesos constructivos<br>Mejoramiento urbanístico de las viviendas<br>Capacitación de mano de obras<br>Bajos costos construcción<br>Presencia Institucional   |
| <b>CAPACITACIÓN EN MANEJO DE AGUAS SERVIDAS Y LLUVIAS</b>  | COMUNIDAD<br>DPAE<br>ALCALDÍA                            | Concientización del impacto que causa el agua en el suelo<br>Modificación de manejo de aguas<br>Mejoramiento calidad de vida<br>Multiplicación de capacitación<br>Fortalecimiento de relaciones vecinales<br>Espacios de recreación y encuentro ente adultos y niños por las estrategias de capacitación |
| <b>FORTALECIMIENTO DE LA ACCIÓN DE LÍDERES COMUNITARIOS</b>  | COMUNIDAD<br>ALCALDÍA                                    | Desarrollo de capacidad de liderazgo de varias personas<br>Impulso a la formulación y desarrollo de proyectos<br>Aumento del nivel de participación<br>Desarrollo de la capacidad para gestionar recursos  |
| <b>DESARROLLO DE NUEVOS HOGARES INFANTILES</b>   | COMUNIDAD<br>DPAE<br>ICBF<br>ALCALDÍA<br>EMPRESA PRIVADA | Disminución del riesgo de accidentes y desastres en las viviendas por ausencia de adultos<br>Mejoramiento de la calidad de vida de la población infantil<br>Generación de empleo<br>Mejoramiento de la planificación del barrio  |

Por su parte, las apreciaciones contenidas en el informe social acerca de las necesidades, aspiraciones e imaginarios de estas comunidades, permitieron definir una serie de requerimientos y conveniencias de equipamiento o de espacio público para ubicar y adecuar en las áreas a intervenir.

Con estos determinantes se elaboró un diseño sencillo, económico y fácil de realizar y de mantener, en el que la prioridad fue ocupar con árboles y prados las

áreas no construidas y ubicadas en terrenos de alto riesgo (Ver **Plano 17**). Esto con el fin de garantizar la reserva de estos espacios como áreas libres para la comunidad y evitar la construcción de viviendas en el futuro. Al tiempo que la arborización contribuye a la estabilización y amarre de esos suelos, a la protección contra los aires residuales de la fábrica de ladrillo, lo mismo que a generar un mejor ambiente, paisaje y calidad en el aire y en la forma de vida de los vecinos. Pero ante todo busca contribuir a crear *comunidad* entre los habitantes del barrio y a reforzar los lazos de solidaridad y cohesión; a la vez a que sean lugares en los que todos reconozcan su pertenencia y su valor con el fin de que ayuden a cuidarlos, mantenerlos y preservarlos de nuevas construcciones.

Es importante subrayar la necesidad de combinar las acciones de los profesionales con una agresiva campaña de cultura ciudadana, que garantice la divulgación en la comunidad de temas como la valoración del agua como fuente de vida, la protección de las especies vegetales y las zonas verdes, el reciclaje y correcta disposición de basuras, el correcto uso de los espacios públicos y más que nada la concientización de la gente acerca del carácter de estos últimos como bien común, propiedad y responsabilidad de todos. Al mismo tiempo, apoyar estas estrategias garantizando a la comunidad un eficiente servicio de recolección de basuras y de escombros, una completa iluminación de los parques y de la ronda, dotar los espacios públicos del equipamiento necesario para su conservación, como canecas, puentes peatonales, bolardos, sillas y paraderos, que facilitarán su apropiación y correcto uso.

Queremos resaltar que esfuerzos como la arborización serían inútiles sin la colaboración de la comunidad, pues a ella corresponde directamente velar por su protección. A este respecto, la propuesta paisajística de los cuatro sitios se preocupó por escoger las especies más adecuadas a cada lugar de acuerdo a los suelos, la resistencia al maltrato y la contaminación, así como a las necesidades ambientales. La reforestación busca prevenir futuras invasiones en el área de ronda y de alto riesgo, embellecer el paisaje, mejorar el aire, rescatar las cuencas de agua, recuperar los terrenos erosionados, atraer aves y proporcionar a la comunidad espacios para su recreación y disfrute.

En la elección de las especies a sembrar se tuvieron en cuenta datos como: profundidad de las raíces, altura, porte, diámetro de copa, resistencia al maltrato, longevidad, requerimientos de suelo, disponibilidad de suficientes ejemplares y la experiencia que se ha tenido con dichos árboles o arbustos de la ciudad.

#### **6.6.1 ZONA 1. CANCHA EXISTENTE Y PARQUE MENOR.**

Aunque es un área amplia sin construcciones aún, se destinó para parque sólo el terreno que presenta alto riesgo y que se caracteriza por su fuerte pendiente. En dicha área se trazaron caminos peatonales con escaleras que permiten la comunicación entre las partes alta y baja y facilitan el acceso a la cancha deportiva existente, la cual se conservó dotándola de sencillas graderías a ambos costados. Adicionalmente se proponen aterrazamientos del terreno que conformen descansos entre los tramos de escalera; estas terrazas son naturales, es decir con cobertura vegetal en pasto kikuyo, sin que impliquen hechura de pisos o de muros. En la parte plana de arriba, contigua a la cancha, se destina

una zona para niños, que deberá ser dotado con juegos infantiles. Al tiempo se propone la delimitación y construcción de los andenes que bordean el Parque.

Las especies escogidas en este parque son: Sangregados, para las zonas más libres de abajo que permitirán el desarrollo del árbol y harán que, por su porte, se ocupe de manera efectiva el terreno. Magnolios ubicados de modo paralelo a las vías, siendo una especie muy resistente y decorativa. Finalmente se sembrarán Sietecueros y Chicalás a lo largo del recorrido peatonal cercano a la zona de niños, los cuales, por su valor decorativo y bajo porte, permiten una delimitación de estas áreas.

#### **6.6.2 ZONA 2. SOBRE LA CARRERA 16 BIS B**

Es un parque resuelto en tres ambientes diferentes: primero la siembra de Sauces a lo largo de la ronda de la Quebrada Trompeta, con lo cual se delimita esta zona, ocupándola para evitar su urbanización; además de que se trata de un árbol característico de estas zonas húmedas y que contribuye a la protección del recurso hídrico. Una segunda zona, contigua a la anterior, que se empradizará con pasto kikuyo, para la recreación e los vecinos; hacia las vías se siembran Magnolios, árbol resistente y decorativo, que se usa en general en todos los parques para delimitar las vías y servir como elemento unificador con el que los transeúntes puedan identificar su aproximación a áreas verdes públicas. La tercera zona de este parque corresponde a la disposición de un amplio andén sobre la Carrera 16Bis B, diseñado en adoquín y provisto de mobiliario urbano sencillo (bancas, canecas, luminarias). Este andén se complementa con el trazado de los andenes adyacentes, lo que facilita el acceso desde diferentes puntos a esta zona comunal.

#### **6.6.3 ZONA 3. ESQUINA SUR-OCCIDENTE DEL BARRIO**

Es un amplio parque con fuerte pendiente en sentido este-oeste, en su mayor parte incluida como zona de alto riesgo. La intervención es muy poca, tan sólo tiene un sendero peatonal con escaleras y pequeñas terrazas como descansos de escalera, que facilitan la comunicación entre dos sectores separados por la fuerte pendiente. Esta comunicación se logra en medio de un agradable ambiente arborizado con Magnolios y Chicalás, alterno a los andenes contra predios que también deberá ser delimitado y construido.

En la parte baja se propone una zona para juegos de niños, bordeados por Chicalás y Sietecueros. Para resaltar está la siembra de Pino Romerón en el límite del proyecto, los cuales por su denso follaje y alto porte pueden formar una barrera contra la contaminación por humos provenientes de la Ladrillera. Complementa esta barrera la siembra de Alisos, que contrastan por su color y follaje con los Pinos, y que por su altura refuerzan la protección contra el humo.

#### **6.6.4 ZONA 4, PARQUE PRINCIPAL**

Es el más extenso por lo que se trazaron en su interior una serie de senderos peatonales que conectan los diferentes puntos de acceso a esta zona. En su

mayoría se ha optado por empedrar, siempre y cuando no interfiera con las construcciones existentes. Las estructuras incorporadas corresponden a: un Salón Comunal de un solo piso, de construcción ligera y cimentación adecuada, con una amplia zona dura adyacente, una cancha múltiple con gradería sencilla, dos zonas de juegos de niños y un escenario pequeño al aire libre con 3 graderías naturales hechas en el talud.

Las especies escogidas para la arborización siguen los criterios arriba expuestos: Magnolio, Chicalá, Sietecueros y Sangregado. Además se hace uso de Pino Romerón, especie de porte imponente que se ubica en los puntos de acceso al parque, como hitos sobre la Carrera 15D, contra la zona de viviendas; intención que se refuerza con la construcción de los andenes a lado y lado de la calzada. El Falso Pimiento se siembra a lo largo de la vía a la Ladrillera, en la parte superior del parque y en la misma vía, pero en la otra acera, los Coronos y Hollys conforman una cerca viva que aísla estos terrenos libres –y de alto riesgo–, de la vía y restringen su futura ocupación por viviendas.

## **7 EVALUACIÓN DE RIESGOS PARA EL ESCENARIO CON MEDIDAS DE MITIGACIÓN**

### **7.1 INTRODUCCIÓN**

Tal como se ha mencionado en los capítulos precedentes, el riesgo es directamente proporcional a dos variables: la amenaza y la vulnerabilidad. Así pues, la mitigación del riesgo se consigue atenuando cualquiera de ellas. El tratamiento de la amenaza o disminución de la probabilidad de falla (aumento del factor de seguridad promedio) se consigue bien incrementando las fuerzas resistentes o bien reduciendo las actuantes; mientras que la atenuación de la vulnerabilidad se logra favoreciendo la resistencia de las viviendas o disminuyendo su exposición. En este capítulo, se analiza una serie de medidas conducentes a la reducción del riesgo y se evalúa su relación beneficio-costos.

### **7.2 EVALUACIÓN DE RIESGO CON OBRAS**

Con las medidas de mitigación del riesgo, se pretende una o la combinación de varias de las cuatro condiciones mencionadas:

- Aumento de las fuerzas resistentes (AFR)
- Disminución de las fuerzas actuantes (DFA)
- Aumento de la resistencia de las viviendas (ARV)
- Disminución de la exposición de las viviendas (DEV)

Las medidas se plantean para las zonas resultantes en el Mapa de Amenaza (**Plano 10**) y se plasman en el Mapa de Obras para la Mitigación del Riesgo (**Plano 15**) y sus detalles (**Plano 16**). Los tratamientos fueron analizados y planteados en campo y estudiados posteriormente en oficina realizando los respectivos análisis de estabilidad. En la **Tabla 7.1** se resumen las obras propuestas discriminadas por zona de amenaza, su localización, la sección de análisis (empleada para evaluar los nuevos factores de seguridad y la nueva probabilidad de falla), las modificaciones en el análisis con respecto a los efectuados en el Capítulo 4 (amenaza sin obras) y su numeración dentro del **Anexo L**.

En las **Tablas 7.2 y 7.3** se muestran el conjunto de los factores de seguridad obtenidos, el factor de seguridad esperado, la probabilidad de falla esperada y la nueva condición de amenaza para cada sección de análisis, en el escenario actual y a 25 años, respectivamente. A continuación se realiza una breve descripción de la problemática de cada zona y se exponen las respectivas recomendaciones de mitigación del riesgo y la forma en que contribuyen a la mitigación del riesgo.

**Tabla 7.1 Resumen de las obras propuestas para la mitigación del riesgo**

| Zona        | Ubicación   | Obras propuestas   | Unidad geom-<br>Sección-<br>Material | Modificaciones en el análisis   | Anexo            |
|-------------|---|--|--------------------------------------|---|------------------|
| ZAA1        | Ladera Estructural 1                                  | Cunetas y filtros. Muro de gaviones<br>Limitar construcción  | LE1 - 16 - 9 y<br>LE1 - 16 - 8       | Disminución del $r_u$ . (0.02)<br>Colocación del muro.  | Anexo L-1        |
| ZAA1        | Ladera Estructural 2                                  | Cunetas y filtros.<br>Limitar construcción   | LE1 - 16 - 9 y<br>LE1 - 16 - 8       | Disminución del $r_u$ . (0.02)  | Anexos L-2       |
| ZAA2        | Talud alto adyacente a la Quebrada Trompetas          | Reconformación y revegetalización.<br>Cuneta interceptora revestida.   | LC2 - 2A - 7                         | Cambios en la morfología. (Pendiente 1H:1V)<br>Disminución del $r_u$ . (0.02)   | Anexo L-3        |
| ZAA3        | Diag. 76B Bis   | Perfilado.<br>Drenaje superficial en la corona.  | LA2 - 19 - 5                         | Cambios en la morfología. (Pendiente 2.5H:1V)<br>Disminución del $r_u$ . (0.02)   | Anexo L-4        |
| ZAA3        | Relleno Calle 78B Bis<br>Cerca de la cancha deportiva | Reconformación.<br>Compactación de los rellenos.   | LA3 - C - 5                          | Cambios en la morfología. (Pendiente 2.5H:1V)<br>Mejora props. materiales. ( $C'_{prom} = 0.5\text{Kpa}$ , $\phi'_{prom} = 32.1^\circ$ )                        | Anexo L-5        |
| ZAA3        | Relleno entre las Calles 79Bis y 80Bis                | Retiro del relleno.<br>Cuneta arriba   | LR1 - 10B - 4                        | Cambios en la morfología. (Pendiente 3.0H:1V)<br>Disminución del $r_u$ . (0.05, sin NF)   | Anexo L-6        |
| ZAA3 - ZAM1 | Ladera estructural 2                                  | Retiro de rellenos. Cerca de aislamiento<br>Muro de gaviones de 2m en la base.<br>Reconformar con material de relleno. | LE2 - 17 - 8                         | Cambios en la morfología. (Pendiente 2.5H:1V)<br>Colocación del muro<br>Mejora props. materiales. ( $C'_{prom} = 0.5\text{Kpa}$ , $\phi'_{prom} = 32.1^\circ$ ) | Anexo L-7        |
| ZAA4        | Contiguo a las casas reubicadas.<br>Manzanas S y K    | Reubicación de viviendas.<br>Filtros   | LR1 - 11 - 3 y<br>LR1 - 21 - 9       | Disminución del $r_u$ . (0.01 y 0.02)   | Anexos L-8 y L-9 |
| ZAM2        | Calle 78C Bis Calle 78D                               | Reubicación de dos filas de viviendas.<br>Filtros.   | LC3 - 23 - 5                         | Disminución del $r_u$ . (0.02)  | Anexo L-10       |
| ZAM3        | Cárcava principal                                     | Reconformación a 15°.<br>Filtros.  | LA1 - 20 - 1                         | Cambios en la morfología. (Pendiente 5.0H:1V)<br>Disminución del $r_u$ . (0.05)   | Anexo L-11       |

**ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA EN EL BARRIO DIVINO NIÑO,  
LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR**

**Tabla 7.2 Pf y amenaza con obras de mitigación del riesgo. Condición actual.**

|                            |   |    |    |                              |       |                |       |       |       |             |       |       |       |       |
|----------------------------|---|----|----|------------------------------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Zona mapa amenaza</b>   |   |    |    | Período de diseño            | :     | $T_D = 1$      | años  |       |       |             |       |       |       |       |
| <b>Unidad Geomorfol.</b>   |   |    |    | Período retorno para lluvias | :     | $T_{RL} = 20$  | años  |       |       |             |       |       |       |       |
| <b>Sección de análisis</b> |   |    |    | Período retorno para sismo   | :     | $T_{RS} = 475$ | años  |       |       |             |       |       |       |       |
| <b>Material</b>            |   |    |    | Probabilidad lluvia          | :     | $P_L = 4,88\%$ |       |       |       |             |       |       |       |       |
| <b>c' Ø' Lluvia Sismo</b>  |   |    |    | Probabilidad sismo           | :     | $P_S = 0,21\%$ |       |       |       |             |       |       |       |       |
| -                          | - | No | No | ZAA1                         | ZAA1  | ZAA2           | ZAA3  | ZAA3  | ZAA3  | ZAA3 - ZAM1 | ZAA4  | ZAA4  | ZAM2  |       |
| -                          | - | Si | No | LE2                          | LE1   | LC2            | LA2   | LA3   | LR1   | LA1         | LE2   | LR1   | LR1   | LC3   |
| -                          | - | No | Si | 16                           | 16    | 2A             | 19    | CC    | 10B   | 20          | 17    | 11    | 21    | 23    |
| -                          | - | Si | Si | 9                            | 8     | 7              | 5     | 5     | 4     | 1           | 8     | 3     | 9     | 5     |
| -                          | + | No | No | 1,416                        | 1,040 | 1,241          | 1,936 | 1,391 | 1,960 | 2,227       | 1,711 | 0,959 | 1,280 | 1,500 |
| -                          | + | Si | No | 1,416                        | 1,040 | 1,216          | 1,930 | 1,228 | 1,945 | 2,132       | 1,711 | 0,949 | 1,252 | 1,479 |
| -                          | + | No | Si | 1,416                        | 1,040 | 1,241          | 1,936 | 1,391 | 1,960 | 2,227       | 1,711 | 0,959 | 1,280 | 1,500 |
| -                          | + | Si | Si | 1,416                        | 1,040 | 1,216          | 1,930 | 1,228 | 1,945 | 2,132       | 1,711 | 0,949 | 1,252 | 1,479 |
| -                          | + | No | No | 1,448                        | 1,120 | 1,541          | 2,031 | 1,648 | 2,001 | 2,715       | 1,969 | 1,215 | 1,708 | 1,804 |
| -                          | + | Si | No | 1,448                        | 1,110 | 1,506          | 2,022 | 1,598 | 2,001 | 2,657       | 1,969 | 1,202 | 1,670 | 1,776 |
| -                          | + | No | Si | 1,448                        | 1,120 | 1,541          | 2,031 | 1,648 | 2,001 | 2,715       | 1,969 | 1,215 | 1,708 | 1,804 |
| -                          | + | Si | Si | 1,448                        | 1,110 | 1,506          | 2,022 | 1,598 | 2,001 | 2,657       | 1,969 | 1,202 | 1,670 | 1,776 |
| +                          | - | No | No | 1,423                        | 1,100 | 1,592          | 1,974 | 1,539 | 2,001 | 2,623       | 1,853 | 1,001 | 1,355 | 1,709 |
| +                          | - | Si | No | 1,423                        | 1,090 | 1,564          | 1,968 | 1,375 | 2,001 | 2,580       | 1,853 | 0,991 | 1,327 | 1,688 |
| +                          | - | No | Si | 1,423                        | 1,100 | 1,592          | 1,974 | 1,539 | 2,001 | 2,623       | 1,853 | 1,001 | 1,355 | 1,709 |
| +                          | - | Si | Si | 1,423                        | 1,090 | 1,564          | 1,968 | 1,375 | 2,001 | 2,580       | 1,853 | 0,991 | 1,327 | 1,688 |
| +                          | + | No | No | 1,455                        | 1,170 | 1,820          | 2,067 | 1,661 | 2,001 | 2,917       | 2,133 | 1,256 | 1,793 | 2,012 |
| +                          | + | Si | No | 1,455                        | 1,160 | 1,800          | 2,059 | 1,610 | 2,001 | 2,867       | 2,133 | 1,243 | 1,755 | 1,984 |
| +                          | + | No | Si | 1,455                        | 1,170 | 1,820          | 2,067 | 1,661 | 2,001 | 2,917       | 2,133 | 1,256 | 1,793 | 2,012 |
| +                          | + | Si | Si | 1,455                        | 1,160 | 1,800          | 2,059 | 1,610 | 2,001 | 2,867       | 2,133 | 1,243 | 1,755 | 1,984 |
|                            |   |    |    | 1,436                        | 1,104 | 1,535          | 1,998 | 1,506 | 1,989 | 2,590       | 1,917 | 1,102 | 1,518 | 1,744 |
|                            |   |    |    | 0,000                        | 0,001 | 0,000          | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000       | 0,000 | 0,183 | 0,004 | 0,000 |
| <b>Amenaza con obras</b>   |   |    |    | Media                        | Media | Media          | Baja  | Media | Baja  | Baja        | Baja  | Media | Media | Media |

**ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA EN EL BARRIO DIVINO NIÑO, LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR**

**Tabla 7.3 Pf y amenaza con obras de mitigación del riesgo. Condición a 25 años.**

|                              |   |            |        |      |
|------------------------------|---|------------|--------|------|
| Período de diseño            | : | $T_D =$    | 25     | años |
| Período retorno para lluvias | : | $T_{RL} =$ | 20     | años |
| Período retorno para sismo   | : | $T_{RS} =$ | 475    | años |
| Probabilidad lluvia          | : | $P_L =$    | 71,35% |      |
| Probabilidad sismo           | : | $P_S =$    | 5,13%  |      |

| Zona mapa amenaza   |    |        |       |
|---------------------|----|--------|-------|
| Unidad Geomorfol.   |    |        |       |
| Sección de análisis |    |        |       |
| Material            |    |        |       |
| c'                  | Ø' | Lluvia | Sismo |
| -                   | -  | No     | No    |
| -                   | -  | Si     | No    |
| -                   | -  | No     | Si    |
| -                   | -  | Si     | Si    |
| -                   | +  | No     | No    |
| -                   | +  | Si     | No    |
| -                   | +  | No     | Si    |
| -                   | +  | Si     | Si    |
| +                   | -  | No     | No    |
| +                   | -  | Si     | No    |
| +                   | -  | No     | Si    |
| +                   | -  | Si     | Si    |
| +                   | +  | No     | No    |
| +                   | +  | Si     | No    |
| +                   | +  | No     | Si    |
| +                   | +  | Si     | Si    |

| ZAA1  | ZAA1  | ZAA2  | ZAA3  | ZAA3  | ZAA3  | ZAA3  | ZAA3 - ZAM1 | ZAA4  | ZAA4  | ZAM2  |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|
| LE2   | LE1   | LC2   | LA2   | LA3   | LR1   | LA1   | LE2         | LR1   | LR1   | LC3   |
| 16    | 16    | 2A    | 19    | CC    | 10B   | 20    | 17          | 11    | 21    | 23    |
| 9     | 8     | 7     | 5     | 5     | 4     | 1     | 8           | 3     | 9     | 5     |
| 1,416 | 1,040 | 1,241 | 1,936 | 1,391 | 1,960 | 2,227 | 1,711       | 0,959 | 1,280 | 1,500 |
| 1,416 | 1,040 | 1,216 | 1,930 | 1,228 | 1,945 | 2,132 | 1,711       | 0,949 | 1,252 | 1,479 |
| 1,021 | 1,040 | 0,893 | 1,932 | 0,869 | 1,959 | 1,113 | 1,028       | 0,950 | 0,792 | 0,981 |
| 1,021 | 1,030 | 0,863 | 1,925 | 0,759 | 1,944 | 1,065 | 1,028       | 0,940 | 0,690 | 0,965 |
| 1,448 | 1,120 | 1,541 | 2,031 | 1,648 | 2,001 | 2,715 | 1,969       | 1,215 | 1,708 | 1,804 |
| 1,448 | 1,110 | 1,506 | 2,022 | 1,598 | 2,001 | 2,657 | 1,969       | 1,202 | 1,670 | 1,776 |
| 1,035 | 1,110 | 1,088 | 2,025 | 1,028 | 2,001 | 1,370 | 1,288       | 1,202 | 1,056 | 1,202 |
| 1,035 | 1,110 | 1,061 | 2,017 | 0,998 | 2,001 | 1,339 | 1,288       | 1,189 | 1,031 | 1,182 |
| 1,423 | 1,100 | 1,592 | 1,974 | 1,539 | 2,001 | 2,623 | 1,853       | 1,001 | 1,355 | 1,709 |
| 1,423 | 1,090 | 1,564 | 1,968 | 1,375 | 2,001 | 2,580 | 1,853       | 0,991 | 1,327 | 1,688 |
| 1,025 | 1,090 | 1,149 | 1,970 | 0,968 | 2,001 | 1,322 | 1,147       | 0,991 | 0,843 | 1,113 |
| 1,025 | 1,090 | 1,127 | 1,963 | 0,858 | 2,001 | 1,299 | 1,147       | 0,982 | 0,824 | 1,096 |
| 1,455 | 1,170 | 1,820 | 2,067 | 1,661 | 2,001 | 2,917 | 2,133       | 1,256 | 1,793 | 2,012 |
| 1,455 | 1,160 | 1,800 | 2,059 | 1,610 | 2,001 | 2,867 | 2,133       | 1,243 | 1,755 | 1,984 |
| 1,039 | 1,170 | 1,310 | 2,062 | 1,036 | 2,001 | 1,479 | 1,423       | 1,244 | 1,113 | 1,347 |
| 1,039 | 1,160 | 1,296 | 2,053 | 1,005 | 2,001 | 1,451 | 1,423       | 1,231 | 1,088 | 1,325 |

|                          |
|--------------------------|
| E(FS)                    |
| P(F)                     |
| <b>Amenaza con obras</b> |

|       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1,233 | 1,102 | 1,317 | 1,996 | 1,223 | 1,989 | 1,947 | 1,569 | 1,097 | 1,224 | 1,448 |
| 0,000 | 0,001 | 0,010 | 0,000 | 0,039 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,200 | 0,041 | 0,004 |
| Media | Media | Media | Baja  | Media | Baja  | Baja  | Media | Alta  | Media | Media |

## **7.2.1 ZONA DE AMENAZA ALTA (ZAA)**

### **7.2.1.1 Zona de Amenaza Alta 1 (ZAA-1)**

Corresponde a la zona de taludes de corte en la ladera estructural 1 (LE1) en donde se detectaron como factores determinantes de la estabilidad, los vertimientos de aguas servidas y el agua de escorrentía mientras que a media ladera (ZAA-1), el factor más importante corresponde a los cortes de las viviendas. Las recomendaciones son:

| <b>Medida de mitigación de riesgo</b>   | <b>Modo en el que actúa<sup>1</sup></b> |
|---|---|
| Definir una zona de aislamiento en la que se limite cualquier proceso de urbanización, manteniendo únicamente las viviendas existentes. | DEV                                     |
| Cunetas interceptoras de acuerdo con el loteo existente.<br>Filtros.  | DFA                                     |

Un ejemplo de los análisis efectuados se puede apreciar en el **Anexo L-1**, de ellos se obtuvo que con obras, el factor de seguridad esperado es de  $0.717$ , en tanto que la probabilidad de falla es de  $100\%$ . De lo anterior resulta que la actual amenaza *muy alta* ( $FS=0.599$ ) se convierte apenas en amenaza *alta*. Debido a estos resultados, se concluye que el riesgo debe ser reducido con la zona de aislamiento que se propone.

La situación es muy similar en la zona localizada igualmente en la ladera estructural 1 (LE1) pero a media ladera, las medidas se contemplan en la zona anterior.

Un ejemplo de los análisis efectuados se puede apreciar en el **Anexo L-2**, de ellos se obtuvo que con obras, el factor de seguridad esperado es de  $1.104$ , en tanto que la probabilidad de falla es de  $0.1\%$ . De lo anterior resulta que la actual amenaza *alta* ( $FS=1.067$ ) se convierte en amenaza *media*. De ahí la importancia de hacer respetar la zona de aislamiento con el fin de que otras viviendas no se adquieran condición de exposición.

---

<sup>1</sup> Corresponde a la contribución de la obra en la mitigación del riesgo, aparece en el numeral 7.2.

### 7.2.1.2 Zona de Amenaza Alta 2 (ZAA-2)

Localizada al norte del área de estudio, es el talud contiguo a la Quebrada Trompetas de altura considerable y alta pendiente. Los factores que afectan la estabilidad de manera más importante son la morfología citada, el agua subsuperficial y la escorrentía superficial, no existen viviendas en el radio de influencia del proceso. Las medidas pretenden atenuar la amenaza.

| <b>Medida de mitigación de riesgo</b>   | <b>Modo en el que actúa</b> |
|---|-----------------------------|
| Reconformación y revegetalización       | DFA, AFR                    |
| Cuneta interceptora revestida y filtros | DFA                         |

Un ejemplo de los análisis efectuados se puede apreciar en el **Anexo L-3**, de ellos se obtuvo que con obras, el factor de seguridad esperado es de 1.535, en tanto que la probabilidad de falla es de 0%. De lo anterior resulta que la actual amenaza *alta* ( $FS=0.821$ ) se convierte en amenaza *media*, siempre que se garantice la efectividad del drenaje instalado, es decir, se minimice la acción nefasta del agua en la ladera y la pendiente de la reconformación sea 1 a 1.

### 7.2.1.3 Zona de Amenaza Alta 3 (ZAA-3)

Esta zona se manifiesta en varios puntos donde existen distintos tipos de rellenos. En la Diagonal 76, en la Calle 78B BIS (cerca de la cancha deportiva), entre las calles 79Bis y 80Bis, entre las calles 80Bis y 80Bis A y al costado occidental de la vía a la Ladrillera Santafé.

- En la Diagonal 76 se aprecia un relleno superpuesto al terraplén de la vía que podría afectar las casas que se localizan en la pata, allí se recomienda:

| <b>Medida de mitigación de riesgo</b>              | <b>Modo en el que actúa</b> |
|--|-----------------------------|
| Perfilado del talud                                | DFA                         |
| Drenaje superficial en la corona: Cuneta de la vía | DFA                         |

Un ejemplo de los análisis efectuados se puede apreciar en el **Anexo L-4**, de ellos se obtuvo que con obras, el factor de seguridad esperado es de 1.998, en tanto que la probabilidad de falla es de 0%. De lo anterior resulta que la actual amenaza *alta* ( $FS=0.918$ ) se convierte en amenaza *baja*.

- En la zona contigua a la cancha deportiva de la Calle 78B Bis se localiza un amplio relleno de escombros con pendiente de moderada a alta, en ese lugar las recomendaciones son:

| <b>Medida de mitigación de riesgo</b> | <b>Modo en el que actúa</b> |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| Reconformación de la ladera           | DFA                         |
| Compactación de los rellenos          | AFR                         |

Un ejemplo de los análisis efectuados se puede apreciar en el **Anexo L-5**, de ellos se obtuvo que con obras, el factor de seguridad esperado es de *1.506*, en tanto que la probabilidad de falla es de *0%*. De lo anterior resulta que la actual amenaza *alta* ( $FS=1.020$ ) se convierte en amenaza *media*. Cabe anotar que en este lugar no hay viviendas y este espacio así conformado será destinado a la recreación.

- Entre las calles 79Bis y 80Bis se identifica otro relleno, muy similar al anterior, la recomendación es:

| <b>Medida de mitigación de riesgo</b> | <b>Modo en el que actúa</b> |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| Retiro del relleno                    | DFA                         |

Un ejemplo de los análisis efectuados se puede apreciar en el **Anexo L-6**, de ellos se obtuvo que con obras, el factor de seguridad esperado es de *1.989*, en tanto que la probabilidad de falla es de *0%*. De lo anterior resulta que la actual amenaza *alta* ( $FS=1.086$ ) se convierte en amenaza *baja*.

- La vía que conduce a la Ladrillera Santafé tiene una sección mixta, a media ladera con corte y terraplén, sobre este último se han dispuesto escombros y rellenos cuya influencia puede afectar las viviendas ubicadas ladera abajo (ZAM-1). El tratamiento sugerido es:

| <b>Medida de mitigación de riesgo</b>            | <b>Modo en el que actúa</b> |
|--|-----------------------------|
| Retiro de rellenos                               | DFA                         |
| Colocación de cerca de aislamiento               | DEV                         |
| Colocación de muro de gaviones                   | AFR                         |
| Reconformación y llenado con material compactado | AFR                         |
| Drenaje superficial y subsuperficial             | DFA                         |

Un ejemplo de los análisis efectuados se puede apreciar en el **Anexo L-7**, de ellos se obtuvo que con obras, el factor de seguridad esperado es de *1.917*, en tanto que la probabilidad de falla es de *0%*. De lo anterior resulta que la actual amenaza *alta* ( $FS=1.088$ ) se convierte en amenaza *baja*, siempre que se garantice efectividad de las obras de drenaje y el muro conste de tres niveles (3m de altura y 2m de base).

- Al norte de la antigua cárcava principal confluyen las aguas servidas y de escorrentía, sumado esto a la baja compactación del relleno, la estabilidad está controlada principalmente por estos dos factores. Las recomendaciones son:

| <b>Medida de mitigación de riesgo</b>                  | <b>Modo en el que actúa</b> |
|--|-----------------------------|
| Reconformación del terreno con pendiente cercana a 15° |                             |
| Colocación de filtros                                  | DFA                         |

Un ejemplo de los análisis efectuados se puede apreciar en el **Anexo L-11**, de ellos se obtuvo que con obras, el factor de seguridad esperado es de *2.590*, en tanto que la

probabilidad de falla es de 0%. De lo anterior resulta que la actual amenaza *media* ( $FS=1.345$ ) se convierte en amenaza *baja*.

#### **7.2.1.4 Zona de Amenaza Alta 4 (ZAA-4)**

En el sector de explotación antigua de la ladrillera donde ya han sido incluso reubicadas varias viviendas, manzanas S y K. Los factores más influyentes en la estabilidad son la morfología (por los cortes de explotación) y el alto contenido de agua del terreno. Las soluciones sugeridas son:

| <b>Medida de mitigación de riesgo</b> | <b>Modo en el que actúa</b> |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| Reubicación de viviendas              | DEV                         |
| Colocación de filtros                 | DFA                         |

Dos ejemplos de los análisis efectuados se pueden apreciar en los **Anexos F-8 y F-9**, de ellos se obtuvo que con obras, el factor de seguridad esperado está entre 1.102 y 1.518, en tanto que la probabilidad de falla está entre 0.4% y 18.3. De lo anterior resulta que la actual amenaza *alta* ( $0.795 < FS < 0.986$ ) se convierte en amenaza *media* siempre que el sistema de drenaje planteado sea efectivo. En este caso, el papel de la disminución de la vulnerabilidad (reubicación de las viviendas) es muy importante para la mitigación del riesgo.

### **7.2.2 ZONA DE AMENAZA MEDIA**

#### **7.2.2.1 Zona de Amenaza Media 1 (ZAM-1)**

Como ya se anotó, los rellenos dispuestos al borde de la vía, que conduce a la Ladrillera Santafé pueden influir sobre las viviendas ubicadas ladera abajo (LE2). El tratamiento sugerido es el mismo de la ZAA3 citado.

#### **7.2.2.2 Zona de Amenaza Media 2 (ZAM-2)**

Localizada al occidente de las Carreras 16 Bis A y 16 Bis B, entre las Calles 78C Bis y 78D donde los cortes para la construcción de las viviendas prácticamente en la zona de ronda, son el factor más importante en los procesos de inestabilidad, adicionado a las aguas de infiltración que fluyen hacia la Quebrada Trompetas. Las medidas recomendadas para la mitigación del riesgo son:

| <b>Medida de mitigación de riesgo</b>    | <b>Modo en el que actúa</b> |
|--|-----------------------------|
| Reubicación de viviendas (zona de ronda) | DEV                         |
| Colocación de filtros                    | DFA                         |

Un ejemplo de los análisis efectuados se puede apreciar en el **Anexo L-10**, de ellos se obtuvo que con obras, el factor de seguridad esperado es de 1.744, en tanto que la probabilidad de falla es de 0%. De lo anterior resulta que la actual amenaza *media*

( $FS=1.622$ ) se convierte en amenaza *media*. En este caso, la reubicación de las viviendas se justifica por su papel en la disminución de la vulnerabilidad y la mitigación del riesgo y por la necesidad de respetar la ronda de la Quebrada.

### **7.2.3 ZONA DE AMENAZA BAJA**

#### **7.2.3.1 Zona de Amenaza Baja 1 (ZAB-1)**

En estos sectores de topografía con baja pendiente en las laderas coluviales y aluviales al igual que en todo el barrio, se recomienda compactación de los rellenos de las vías y reconformación de la superficie con bombeo hacia cunetas laterales, dichas cunetas deben construirse con disipadores de energía para las zonas donde aumente la pendiente longitudinal de la vía.

Corresponde a la zona central del barrio en el que la pendiente del terreno es casi nula pero donde se han presentado daños en las viviendas. Se reitera que esos daños obedecen a asentamientos por consolidación de los rellenos que fueron colocados sin la compactación adecuada y no a problemas de estabilidad.

En la Manzana R, entre las calles 80 Bis y 80 Bis A, zona alta, las viviendas se asientan en rellenos sobre antiguos cauces y por ello han presentado agrietamientos. En la zona baja, ronda de la Quebrada Trompetas, se localizan indebidamente algunas viviendas. Se proponen algunas medidas tendientes a mejorar el entorno y que complementan las obras de sectores más altos, les dan continuidad, son éstas:

#### **7.2.3.2 Zona de Amenaza Baja 2 (ZAB-2)**

Lugar donde quedan expuestas las areniscas, en el extremo oriental del barrio, debe establecerse la interdicción de construir allí.

---

#### **Medida de mitigación de riesgo**

---

Reubicación de viviendas (zona de ronda)

---

Filtros (zona baja)

---

Mejoramiento del sistema constructivo (zona alta)

---

### **7.3 RELACIÓN BENEFICIO - COSTO**

En aras de justificar la construcción de las diferentes obras planteadas, su beneficio para la comunidad debe ser mayor que la inversión realizada. La justificación se obtiene tras un análisis de un árbol de decisión que se presenta para cada zona de amenaza alta y media. En las **Figuras 7.1 a 7.8**, se muestran dichos árboles, en ellos se contemplan dos alternativas de solución: la implementación de las obras y no hacer nada, para cada una, hay dos escenarios: que se presente y que no se presente falla; en conclusión hay cuatro combinaciones posibles cuyos costos esperados se cuantifican como se ilustra en la

propia figura, el número de casas en cada zona se consultó de la **Tabla 3.10**. En el **Anexo M**, se presentan los precios unitarios y en el **Anexo N**, las cantidades de obra y el presupuesto para cada propuesta.

Como se observa, en las zonas ZAA-1; ZAA-3 (Diag. 76); ZAA-3 (Calle 78B Bis) y ZAM-2; y ZAA-4, se justifica la ejecución de las obras, pues el riesgo asumido en pesos, es menor o prácticamente igual que si no se hace nada (**Figuras 7.1, 7.3, 7.4 y 7.6**, respectivamente). En cambio, en las zonas ZAA-2; ZAA-3 (Calles 79 Bis y 80 Bis) y ZAM-1, implementar las obras, resulta en un riesgo asumido alto, bien sea por el escaso número de casas expuestas o bien porque la probabilidad de falla, leída de la **Figura 3.17** a partir del factor de seguridad, es baja o nula (**Figuras 7.2, 7.5 y 7.7**, respectivamente). En estos casos, es mejor no hacer nada, desde el punto de vista de la inversión económica pero desatendería a la comunidad.

**Figura 7.1 Árbol de decisión de las medidas de mitigación del riesgo ZAA-1**

| ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS <sup>1</sup><br>(ADAPTADO DE WU et al, 1996) |       |                   |                                    |                       |                       |                       |
|--|-------|-------------------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Alternativa de solución  | FS    | Escenario         | Probabilidad de falla <sup>2</sup> | Costo de falla        | Costo esperado        | Riesgo asumido        |
| NO HACER NADA  | 0,599 | SIN DESLIZAMIENTO | 0,02                               | (A) \$ -              | (E) \$ 134.064.000,00 | (F) \$ 134.064.000,00 |
|  |       | CON DESLIZAMIENTO | 0,98                               | (B) \$ 136.800.000,00 |                       |                       |
| OBRAS  | 0,717 | SIN DESLIZAMIENTO | 0,98                               | (C) \$ 87.208.392,00  | (E) \$ 86.842.224,16  | (F) \$ 86.842.224,16  |
|  |       | CON DESLIZAMIENTO | 0,02                               | (D) \$ 68.900.000,00  |                       |                       |

**Cuantificación de los costos:**

|     |  |   |  |   |                                    |
|-----|--|---|--|---|------------------------------------|
| (A) | Nulo, no hay inversión pero tampoco hay pérdidas   |   |  | = | \$ -                               |
| (B) | No. de casas amenazadas  | + | Costo de reubicación por casa <sup>3</sup> | = |                                    |
|     | 19   | * | \$ 7.200.000,00                            | = | \$ 136.800.000,00                  |
| (C) | Valor de la inversión (obras), no hay pérdidas   |   |  | = | \$ 87.208.392,00                   |
| (D) | 50% Valor de las obras <sup>4</sup>  | + | 50% No. de casas amenazadas <sup>5</sup>   | * | Costo de reubicación por casa      |
|     | \$ 500.000,00  |   | 10   | * | \$ 7.200.000,00 = \$ 68.900.000,00 |
| (E) | El costo esperado para cada alternativa de solución, es la suma de los dos productos entre las probabilidades de falla y los costos de los escenarios con y sin deslizamiento. |   |  |   |                                    |
| (F) | El riesgo asumido, para cada alternativa, es el mismo costo esperado   |   |  |   |                                    |

<sup>1</sup> Las obras paisajísticas no se consideran

<sup>2</sup> Datos de probabilidad de falla leídos de la curva de la Figura 3.17

<sup>3</sup> Dato obtenido como el promedio de las ofertas de reubicación de la DPAE

<sup>4</sup> Se considera que en caso de deslizamiento las obras no se pierden en su totalidad

<sup>5</sup> Se considera que en caso de deslizamiento las obras realizan parcialmente su labor de mitigación por lo cual, sólo la mitad de las viviendas queda amenazada

**Figura 7.2** Árbol de decisión de las medidas de mitigación del riesgo ZAA-2

| ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS <sup>1</sup><br>(ADAPTADO DE WU et al, 1996) |       |                   |                                    |                      |                      |                      |
|--|-------|-------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Alternativa de solución  | FS    | Escenario         | Probabilidad de falla <sup>2</sup> | Costo de falla       | Costo esperado       | Riesgo asumido       |
| NO HACER NADA  | 0,821 | SIN DESLIZAMIENTO | 0,05                               | (A) \$ -             | (E) \$ -             | (F) \$ -             |
|  |       | CON DESLIZAMIENTO | 0,95                               | (B) \$ -             |                      |                      |
| OBRAS  | 1,535 | SIN DESLIZAMIENTO | 1,00                               | (C) \$ 27.025.138,00 | (E) \$ 27.025.138,00 | (F) \$ 27.025.138,00 |
|  |       | CON DESLIZAMIENTO | 0,00                               | (D) \$ 500.000,00    |                      |                      |

**Cuantificación de los costos:**

|     |   |  |                                 |                  |
|-----|---|--|---------------------------------|------------------|
| (A) | Nulo, no hay inversión pero tampoco hay pérdidas  |  | =                               | \$ -             |
| (B) | No. de casas amenazadas   | * Costo de reubicación por casa <sup>3</sup> | =                               |                  |
|     | 0   | * \$ 7.200.000,00                            | =                               | \$ -             |
| (C) | Valor de la inversión (obras), no hay pérdidas  |  | =                               | \$ 27.025.138,00 |
| (D) | 50% Valor de las obras <sup>4</sup>   | + 50% No. de casas amenazadas <sup>4</sup>   | * Costo de reubicación por casa | =                |
|     | \$ 500.000,00   | 0  | * \$ 7.200.000,00               | = \$ 500.000,00  |
| (E) | El costo esperado para cada alternativa de solución, es la suma de los dos productos entre las probabilidades de falla y los costos del escenarios con y sin deslizamiento. |  |                                 |                  |
| (F) | El riesgo asumido, para cada alternativa, es el mismo costo esperado  |  |                                 |                  |

<sup>1</sup> Las obras paisajísticas no se consideran

<sup>2</sup> Datos de probabilidad de falla leídos de la curva de la Figura 3.17

<sup>3</sup> Dato obtenido como el promedio de las ofertas de reubicación de la DPAAE

<sup>4</sup> Se considera que en caso de deslizamiento las obras no se pierden en su totalidad

<sup>5</sup> Se considera que en caso de deslizamiento las obras realizan parcialmente su labor de mitigación por lo cual, sólo la mitad de las

**Figura 7.3** Árbol de decisión de las medidas de mitigación del riesgo ZAA-3 (Diag. 76)

| ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS <sup>1</sup><br>(ADAPTADO DE WU et al, 1996) |       |                   |                                    |                      |                      |                      |
|--|-------|-------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Alternativa de solución  | FS    | Escenario         | Probabilidad de falla <sup>2</sup> | Costo de falla       | Costo esperado       | Riesgo asumido       |
| NO HACER NADA  | 0,918 | SIN DESLIZAMIENTO | 0,04                               | (A) \$ -             | (E) \$ 41.472.000,00 | (F) \$ 41.472.000,00 |
|  |       | CON DESLIZAMIENTO | 0,96                               | (B) \$ 43.200.000,00 |                      |                      |
| OBRAS  | 1,998 | SIN DESLIZAMIENTO | 1,00                               | (C) \$ 43.102.693,00 | (E) \$ 43.102.693,00 | (F) \$ 43.102.693,00 |
|  |       | CON DESLIZAMIENTO | 0,00                               | (D) \$ 22.100.000,00 |                      |                      |

**Cuantificación de los costos:**

|     |   |  |                                 |                    |
|-----|---|--|---------------------------------|--------------------|
| (A) | Nulo, no hay inversión pero tampoco hay pérdidas  |  | =                               | \$ -               |
| (B) | No. de casas amenazadas   | * Costo de reubicación por casa <sup>3</sup> | =                               |                    |
|     | 6   | * \$ 7.200.000,00                            | =                               | \$ 43.200.000,00   |
| (C) | Valor de la inversión (obras), no hay pérdidas  |  | =                               | \$ 43.102.693,00   |
| (D) | 50% Valor de las obras <sup>4</sup>   | + 50% No. de casas amenazadas <sup>4</sup>   | * Costo de reubicación por casa | =                  |
|     | \$ 500.000,00   | 3  | * \$ 7.200.000,00               | = \$ 22.100.000,00 |
| (E) | El costo esperado para cada alternativa de solución, es la suma de los dos productos entre las probabilidades de falla y los costos del escenarios con y sin deslizamiento. |  |                                 |                    |
| (F) | El riesgo asumido, para cada alternativa, es el mismo costo esperado  |  |                                 |                    |

<sup>1</sup> Las obras paisajísticas no se consideran

<sup>2</sup> Datos de probabilidad de falla leídos de la curva de la Figura 3.17

<sup>3</sup> Dato obtenido como el promedio de las ofertas de reubicación de la DPAAE

<sup>4</sup> Se considera que en caso de deslizamiento las obras no se pierden en su totalidad

<sup>5</sup> Se considera que en caso de deslizamiento las obras realizan parcialmente su labor de mitigación por lo cual, sólo la mitad de las

**Figura 7.4** Árbol de decisión de las medidas de mitigación del riesgo ZAA-3 (Calle 78B Bis) y ZAM-2

| ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS <sup>1</sup><br>(ADAPTADO DE WU et al, 1996) |       |                   |                                    |                      |                      |                      |
|--|-------|-------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Alternativa de solución  | FS    | Escenario         | Probabilidad de falla <sup>2</sup> | Costo de falla       | Costo esperado       | Riesgo asumido       |
| NO HACER NADA  | 0,861 | SIN DESLIZAMIENTO | 0,07                               | (A) \$ -             | (E) \$ 87.048.000,00 | (F) \$ 87.048.000,00 |
|  |       | CON DESLIZAMIENTO | 0,93                               | (B) \$ 93.600.000,00 |                      |                      |
| OBRAS  | 1,506 | SIN DESLIZAMIENTO | 1,00                               | (C) \$ 56.083.957,00 | (E) \$ 56.083.957,00 | (F) \$ 56.083.957,00 |
|  |       | CON DESLIZAMIENTO | 0,00                               | (D) \$ 47.300.000,00 |                      |                      |

**Cuantificación de los costos:**

|     |   |   |  |   |                                    |
|-----|---|---|--|---|------------------------------------|
| (A) | Nulo, no hay inversión pero tampoco hay pérdidas  |   |  | = | \$ -                               |
| (B) | No. de casas amenazadas   | * | Costo de reubicación por casa <sup>3</sup> | = |                                    |
|     | 13  | * | \$ 7.200.000,00                            | = | \$ 93.600.000,00                   |
| (C) | Valor de la inversión (obras), no hay pérdidas  |   |  | = | \$ 56.083.957,00                   |
| (D) | 50% Valor de las obras <sup>4</sup>   | + | 50% No. de casas amenazadas <sup>4</sup>   | * | Costo de reubicación por casa      |
|     | \$ 500.000,00   |   | 7  | * | \$ 7.200.000,00 = \$ 47.300.000,00 |
| (E) | El costo esperado para cada alternativa de solución, es la suma de los dos productos entre las probabilidades de falla y los costos del escenarios con y sin deslizamiento. |   |  |   |                                    |
| (F) | El riesgo asumido, para cada alternativa, es el mismo costo esperado  |   |  |   |                                    |

<sup>1</sup> Las obras paisajísticas no se consideran

<sup>2</sup> Datos de probabilidad de falla leídos de la curva de la Figura 3.17

<sup>3</sup> Dato obtenido como el promedio de las ofertas de reubicación de la DPAAE

<sup>4</sup> Se considera que en caso de deslizamiento las obras no se pierden en su totalidad

<sup>5</sup> Se considera que en caso de deslizamiento las obras realizan parcialmente su labor de mitigación por lo cual, sólo la mitad de las

**Figura 7.5** Árbol de decisión de las medidas de mitigación del riesgo ZAA-3 (Calle 79Bis y 80Bis)

| ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS <sup>1</sup><br>(ADAPTADO DE WU et al, 1996) |       |                   |                                    |                      |                      |                      |
|--|-------|-------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Alternativa de solución  | FS    | Escenario         | Probabilidad de falla <sup>2</sup> | Costo de falla       | Costo esperado       | Riesgo asumido       |
| NO HACER NADA  | 1.086 | SIN DESLIZAMIENTO | 0,88                               | (A) \$ -             | (E) \$ 2.592.000,00  | (F) \$ 2.592.000,00  |
|  |       | CON DESLIZAMIENTO | 0,12                               | (B) \$ 21.600.000,00 |                      |                      |
| OBRAS  | 1.989 | SIN DESLIZAMIENTO | 1,00                               | (C) \$ 44.176.201,00 | (E) \$ 44.176.201,00 | (F) \$ 44.176.201,00 |
|  |       | CON DESLIZAMIENTO | 0,00                               | (D) \$ 11.300.000,00 |                      |                      |

**Cuantificación de los costos:**

|     |   |  |                                 |                    |
|-----|---|--|---------------------------------|--------------------|
| (A) | Nulo, no hay inversión pero tampoco hay pérdidas  |  | =                               | \$ -               |
| (B) | No. de casas amenazadas   | * Costo de reubicación por casa <sup>3</sup> | =                               |                    |
|     | 3   | * \$ 7.200.000,00                            | =                               | \$ 21.600.000,00   |
| (C) | Valor de la inversión (obras), no hay pérdidas  |  | =                               | \$ 44.176.201,00   |
| (D) | 50% Valor de las obras <sup>4</sup>   | + 50% No. de casas amenazadas <sup>4</sup>   | * Costo de reubicación por casa | =                  |
|     | \$ 500.000,00   | 2  | * \$ 7.200.000,00               | = \$ 11.300.000,00 |
| (E) | El costo esperado para cada alternativa de solución, es la suma de los dos productos entre las probabilidades de falla y los costos del escenarios con y sin deslizamiento. |  |                                 |                    |
| (F) | El riesgo asumido, para cada alternativa, es el mismo costo esperado  |  |                                 |                    |

<sup>1</sup> Las obras paisajísticas no se consideran

<sup>2</sup> Datos de probabilidad de falla leídos de la curva de la Figura 3.17

<sup>3</sup> Dato obtenido como el promedio de las ofertas de reubicación de la DPAAE

<sup>4</sup> Se considera que en caso de deslizamiento las obras no se pierden en su totalidad

<sup>5</sup> Se considera que en caso de deslizamiento las obras realizan parcialmente su labor de mitigación por lo cual, sólo la mitad de las

**Figura 7.6** Árbol de decisión de las medidas de mitigación del riesgo ZAA-4

| ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS <sup>1</sup><br>(ADAPTADO DE WU et al, 1996) |             |                   |                                    |                      |                      |                      |
|--|-------------|-------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Alternativa de solución  | FS          | Escenario         | Probabilidad de falla <sup>2</sup> | Costo de falla       | Costo esperado       | Riesgo asumido       |
| NO HACER NADA  | 0.795-0.986 | SIN DESLIZAMIENTO | 0,08                               | (A) \$ -             | (E) \$ 79.488.000,00 | (F) \$ 79.488.000,00 |
|  |             | CON DESLIZAMIENTO | 0,92                               | (B) \$ 86.400.000,00 |                      |                      |
| OBRAS  | 1.102-1.518 | SIN DESLIZAMIENTO | 0,95                               | (C) \$ 48.393.569,00 | (E) \$ 48.158.890,55 | (F) \$ 48.158.890,55 |
|  |             | CON DESLIZAMIENTO | 0,05                               | (D) \$ 43.700.000,00 |                      |                      |

**Cuantificación de los costos:**

|     |   |   |  |   |                                    |
|-----|---|---|--|---|------------------------------------|
| (A) | Nulo, no hay inversión pero tampoco hay pérdidas  |   |  | = | \$ -                               |
| (B) | No. de casas amenazadas   | * | Costo de reubicación por casa <sup>3</sup> | = |                                    |
|     | 12  | * | \$ 7.200.000,00                            | = | \$ 86.400.000,00                   |
| (C) | Valor de la inversión (obras), no hay pérdidas  |   |  | = | \$ 48.393.569,00                   |
| (D) | 50% Valor de las obras <sup>4</sup>   | + | 50% No. de casas amenazadas <sup>4</sup>   | * | Costo de reubicación por casa =    |
|     | \$ 500.000,00   |   | 6  | * | \$ 7.200.000,00 = \$ 43.700.000,00 |
| (E) | El costo esperado para cada alternativa de solución, es la suma de los dos productos entre las probabilidades de falla y los costos del escenarios con y sin deslizamiento. |   |  |   |                                    |
| (F) | El riesgo asumido, para cada alternativa, es el mismo costo esperado  |   |  |   |                                    |

<sup>1</sup> Las obras paisajísticas no se consideran

<sup>2</sup> Datos de probabilidad de falla leídos de la curva de la Figura 3.17

<sup>3</sup> Dato obtenido como el promedio de las ofertas de reubicación de la DPAAE

<sup>4</sup> Se considera que en caso de deslizamiento las obras no se pierden en su totalidad

<sup>5</sup> Se considera que en caso de deslizamiento las obras realizan parcialmente su labor de mitigación por lo cual, sólo la mitad de las

**Figura 7.7** Árbol de decisión de las medidas de mitigación del riesgo ZAM-1

| ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS <sup>1</sup><br>(ADAPTADO DE WU et al, 1996) |       |                   |                                    |                       |                      |                      |
|--|-------|-------------------|------------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Alternativa de solución  | FS    | Escenario         | Probabilidad de falla <sup>2</sup> | Costo de falla        | Costo esperado       | Riesgo asumido       |
| NO HACER NADA  | 1,088 | SIN DESLIZAMIENTO | 0,88                               | (A) \$ -              | (E) \$ 20.736.000,00 | (F) \$ 20.736.000,00 |
|  |       | CON DESLIZAMIENTO | 0,12                               | (B) \$ 172.800.000,00 |                      |                      |
| OBRAS  | 1,917 | SIN DESLIZAMIENTO | 1,00                               | (C) \$ 95.875.969,00  | (E) \$ 95.875.969,00 | (F) \$ 95.875.969,00 |
|  |       | CON DESLIZAMIENTO | 0,00                               | (D) \$ 86.900.000,00  |                      |                      |

**Cuantificación de los costos:**

|     |   |  |                                 |                    |
|-----|---|--|---------------------------------|--------------------|
| (A) | Nulo, no hay inversión pero tampoco hay pérdidas  |  | =                               | \$ -               |
| (B) | No. de casas amenazadas   | * Costo de reubicación por casa <sup>3</sup> | =                               |                    |
|     | 24  | * \$ 7.200.000,00                            | =                               | \$ 172.800.000,00  |
| (C) | Valor de la inversión (obras), no hay pérdidas  |  | =                               | \$ 95.875.969,00   |
| (D) | 50% Valor de las obras <sup>4</sup>   | + 50% No. de casas amenazadas <sup>4</sup>   | * Costo de reubicación por casa | =                  |
|     | \$ 500.000,00   | 12   | * \$ 7.200.000,00               | = \$ 86.900.000,00 |
| (E) | El costo esperado para cada alternativa de solución, es la suma de los dos productos entre las probabilidades de falla y los costos del escenarios con y sin deslizamiento. |  |                                 |                    |
| (F) | El riesgo asumido, para cada alternativa, es el mismo costo esperado  |  |                                 |                    |

<sup>1</sup> Las obras paisajísticas no se consideran

<sup>2</sup> Datos de probabilidad de falla leídos de la curva de la Figura 3.17

<sup>3</sup> Dato obtenido como el promedio de las ofertas de reubicación de la DPAAE

<sup>4</sup> Se considera que en caso de deslizamiento las obras no se pierden en su totalidad

<sup>5</sup> Se considera que en caso de deslizamiento las obras realizan parcialmente su labor de mitigación por lo cual, sólo la mitad de las

## **8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **8.1 INTRODUCCIÓN**

De acuerdo con los resultados de los resultados de amenaza, vulnerabilidad, riesgo y las medidas de mitigación propuesta; a continuación se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio de riesgo por remoción en masa en el barrio Divino Niño de la localidad de Ciudad Bolívar.

### **8.2 DIAGNOSTICO Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Los barrios Divino Niño y Acapulco se encuentran localizados en el sector sur oriental de la ciudad de Bogotá D.C, en la localidad de Ciudad Bolívar; y estos barrios se han desarrollado sobre las laderas que delimitan por el costado oriental la micro cuenca de la Quebrada Trompetas; terrenos que en su estado original se presentaban afectados por procesos de erosión severa, con desarrollo de cárcavas formadas a lo largo de diferentes drenajes. El barrio se consolidó sobre esta zona erosionada y en el sector sur sobre terrenos afectados por explotaciones de arcillas.

A continuación se describe la problemática general de la zona:

La adecuación urbanística del terreno se realizó mediante cortes de 1 a 2 mt de espesor, sobre el terreno natural que permitió la adecuación de los diferentes lotes para su posterior autoconstrucción.

Los drenajes naturales y zonas de cárcavas, fueron rellenados mediante materiales muy heterogéneos con espesores que varían entre los 2 y 15 mt. Las zonas de rellenos asociadas a los drenajes de menor profundidad fueron adecuados para las construcciones, reconociéndose una amenaza por asentamientos diferenciales de los rellenos y una alta vulnerabilidad de las construcciones apoyadas con cimentaciones inadecuadas ó que se apoyan directamente sobre estos materiales de relleno.

Los problemas de estabilidad que afectan la zona de estudio, son de carácter puntual y se asocian directamente a la intervención antrópica de los cortes y rellenos presentes en las diferentes construcciones.

Las construcciones del barrio Divino Niño localizadas entre la carrera 15 D y las carreras 16 BIS A y carrera 16 BIS B, se han desarrollado la mayor parte sobre lotes adecuados sobre el terreno natural, con sectores de relleno de escaso espesor asociado a los antiguos drenajes naturales. La problemática de este sector es de carácter puntual y se asocia a las construcciones localizadas sobre los antiguos drenajes y con una cimentación apoyada sobre los materiales de relleno.

Para el costado sur del área de estudio, entre las calles 80 BIS A Sur y 80 A BIS Sur, donde los terrenos originales fueron modificados por las explotaciones de arcillas, los problemas de estabilidad se asocian a la presencia de rellenos arcillosos y arcillas de origen residual muy afectadas por las aguas de escorrentía de las laderas aferentes, que ha dado lugar a procesos de reptación afectando varias viviendas que fueron reubicadas por la DPAE.

En el sector oriental del área de estudio sobre las laderas que delimitan la vía a la ladrillera Santafé, se identifica un proceso muy reciente de nuevas construcciones en media ladera, donde se han realizado cortes de 2 a 4 mt de altura acompañados con rellenos para la adecuación de los lotes, con procesos puntuales de inestabilidad. Los problemas de estabilidad en esta zona son puntuales y se originan por los cortes verticales realizados para la construcción de las viviendas donde se exponen suelos arenosos de alta susceptibilidad a la erosión; procesos evidenciados por la actividad antrópica de vertimiento de aguas y la falta del sistema de alcantarillado, de aguas servidas.

Para las laderas del sector occidental, los problemas de estabilidad se asocian a la presencia de rellenos muy heterogéneos (Qr2, Qr3), sin ningún grado de compactación, con presencia de basuras y que han sido localizados rellenando drenajes naturales (cárcavas antiguas), ó antiguas explotaciones (chircales) ó

configurando las vías de acceso sobre las calles 78 C Sur, Calle 78 B BIS Sur, Calle 78 D Sur, Calle 80 BIS Sur Calle 80 A BIS Sur, donde sus espesores varían entre 1 y 2 mt. La estabilidad de estos materiales está controlada fundamentalmente por la actividad antrópica de vertimiento de aguas y las características de pobre compactación de estos materiales.

En el sector norte del área de estudio, entre las carreras 15 D y 15 F, delimitando el cauce de la Quebrada Trompetas, se expone un talud de 20 mt de altura, conformado por suelos limoarenosos con presencia de gravas y bloques pertenecientes a la unidad de suelos coluviales correlacionables con la formación Marichuela. Los procesos de erosión que afectan el talud con la formación de flujos de tierras han sido generados por la actividad antrópica de vertimiento de aguas de las manzanas Y12 y ZG. El retroceso del talud por la erosión regresiva define una amenaza a largo plazo para las diferentes construcciones y lotes que delimitan el talud.

La zona de rellenos principal, asociada a un antiguo drenaje natural que se localizaba paralelo a la carrera 15 D, en el límite oriental del barrio Divino Niño; representa la zona de mayores asentamientos potenciales por tanto por consolidación de los rellenos como por las sobrecargas generadas por las futuras construcciones.

### **8.3 EVALUACIÓN DE PROCESOS**

Dentro de las nuevas condiciones generadas por el desarrollo urbanístico:

1. Procesos de erosión de suelos arenosos y limo arenosos que afectan principalmente las laderas del costado oriental (LE1), donde actualmente se presenta un procesos de construcciones nuevas (tugurio) y donde se han realizado cortes en media ladera de 2 a 4 mt de altura.
2. Procesos de Reptación y formación potencial de flujos de tierras asociados a las laderas del costado sur sobre la unidad de laderas

residuales LR1; donde se presentan rellenos arcillosos afectados por la acción de las aguas lluvias y servidas del sector.

3. Asentamientos diferenciales asociadas a los rellenos expuestos en las laderas de origen antrópico LA1, LA2. Para estas zonas se determinó una amenaza por asentamientos diferenciales de los materiales de relleno.
4. Inestabilidad de taludes de corte expuestos en el costado sur del área de estudio sobre los cortes dejados por la explotación de la ladrillera Santafé.
5. Inestabilidad del talud localizado en el límite norte del área de estudio que delimita el cauce de la Quebrada Trompetas; donde se expone un talud de 15 a 20 mt de altura, con procesos activos de erosión, generados por el vertimiento de aguas servidas y la acción de las aguas de escorrentía.

## **8.4 EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA**

### **8.4.1 Condición Actual.**

De acuerdo con el mapa de Zonificación de Amenaza Actual (Plano 10) se delimitaron cuatro zonas de alta amenaza (ZAA-1 ZAA-2, ZAA-3, ZAA-4) tres zonas de amenaza media (ZAM-1, ZAM2, ZAM-3) y una zona de amenaza por asentamientos asociados a los procesos de consolidación diferencial de los rellenos localizados sobre los antiguos cauces y cárcavas.

En la zona de amenaza ( ZAA-1), localizada en la ladera oriental (Le1) donde se observa un proceso muy activo de construcciones recientes, la condición de amenaza alta se mantiene mientras no se construyan las obras de estabilización y control de erosión tales como drenaje, subdrenaje y muros de contención en gaviones por parte del urbanizador. En general el proceso urbanístico por

autoconstrucción en este sector debe impedirse, pues la actividad antrópica incrementa los procesos de inestabilidad: bien erosión, bien remoción en masa.

En la Zona de amenaza alta (ZAA-2), localizada al norte del barrio, sobre el talud que delimita la Quebrada Trompetas donde los procesos de inestabilidad se asocian a los vertimientos de aguas; su área de influencia no se involucra ninguna casa, por ausencia de exposición. El tratamiento sugerido para esta zona se orienta al control de la amenaza mediante obras de drenaje superficial, manejo de vertimientos y aislamiento y protección del talud.

En la Zona de amenaza alta (ZAA-3,) asociada a los rellenos superficiales. El control de la amenaza para esta zona se realiza mediante el manejo del drenaje y la reconfiguración del terreno con el retiro de escombros, perfilado del terreno y compactación de los materiales finales, con posibilidades de destinar las áreas a la recreación pasiva.

Para la zona de amenaza alta (ZAA-4), localizada entre las calles 80 BIS A Sur y límite sur del área de estudio, se recomienda reubicar las viviendas, y el manejo del área mediante obras de drenaje superficial asociadas a una adecuación del terreno como zona de recreación pasiva de acuerdo con la propuesta de espacio público y paisajismo (Plano No. 16).

La zona de amenaza media I (ZM-1) localizada dentro del límite oriental del barrio, el control de la amenaza, se realiza mediante el retiro de rellenos expuestos en el borde de la vía a la ladrillera Santafé, el manejo de las aguas de escorrentia y la construcción del sistema de alcantarillado tanto de aguas lluvias como servidas.

La zona de Amenaza media (ZAM-2) localizadas al occidente del barrio entre las calles 78 B BIS Sur y 78 D Sur, el control de la amenaza se realiza mediante obras de drenaje superficial y la construcción de muros de contención para los cortes de adecuación de los lotes y la reubicación de viviendas localizadas en la zona de ronda de la Quebrada trompetas.

Para la zona de amenaza media 3 (ZAM-3) que corresponde a las zonas de rellenos superficiales expuestos las vías del barrio, el control de la amenaza se realiza mediante un manejo eficiente de las aguas lluvias a través de cunetas laterales y el control en el vertimiento de aguas por parte de las construcciones aledañas.

Para las zonas de amenaza por asentamientos asociados a los rellenos sobre los drenajes antiguos, se recomienda para las viviendas que han reportado daños estructurales, mejorar el sistema constructivo y el sistema de cimentación puntualmente, siempre que la profundidad del relleno lo permita.

En los terrenos asociados a la antigua cárcava principal expuestos al oriente de la carrera 15 D, la profundidad del relleno, superior a los 15 mt, restringe su urbanización por sistema de autoconstrucción común en el barrio, debido al costo de construir una cimentación adecuada. Para esta zona de alta amenaza por asentamientos, debe prohibirse cualquier otro proceso urbanístico de construcción de viviendas. La reconfirmación de ésta área permite adecuar los terrenos para una zona de recreación pasiva de acuerdo con la propuesta del diseño de diseño del espacio público y paisajismo (plano 16),

**Tabla 8.1 Relación de Viviendas ubicadas en las Zonas de Amenaza Alta y Media.**

| <b>Zona de amenaza</b>           | <b>Manzanas involucradas</b> | <b>Numeración de las casas</b> | <b>Cantidad de casas</b> |
|----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| <b>ZAA-1<sup>1</sup></b>         | Sin nomenclatura LE1         |                                | 19                       |
| <b>ZAA-2</b>                     | Mz. Y-12                     | -                              | 0                        |
| <b>ZAA-3 Dg. 76</b>              | Mz. Y-14                     | -                              | 6                        |
|                                  | Mz. Z-0                      | 1 y 2                          |                          |
|                                  | Mz. A-1                      | 11, 12 y 13                    |                          |
|                                  | Sin nomenclatura             | 2                              |                          |
| <b>ZAA-3 CI 78B Bis</b>          | Mz. Y-7                      | -                              | 2                        |
|                                  | Mz. Y-1                      | Cancha                         |                          |
|                                  | Mz. Y-2                      | 1                              |                          |
| <b>ZAA-3 CI 79B Bis y 80 Bis</b> | Mz. P                        | -                              | 3                        |

| <b>Zona de amenaza</b>   | <b>Manzanas involucradas</b> | <b>Numeración de las casas</b> | <b>Cantidad de casas</b> |
|--------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
|                          | Mz. R                        | 1 y 2                          |                          |
|                          | Mz. Q                        | 1                              |                          |
|                          | Mz. O                        | -                              |                          |
| <b>ZAA-4</b>             | Mz. L                        | 1, 2, 3 y 4                    | 12                       |
|                          | Mz. K                        | 2, 4, 5 y 1arriba              |                          |
|                          | Mz. S                        | 4, 5, 10 y 11                  |                          |
|                          | Mz. X9                       | -                              |                          |
|                          | Mz. X10                      | -                              |                          |
| <b>ZAM-1<sup>2</sup></b> | Mz. Z-5, (sin nomenclatura)  | 1, 2, 3, 1 y 1                 | 24                       |
|                          | Mz. Z-6                      | 1 a 12                         |                          |
|                          | Mz. Z-7                      | 1 a 4                          |                          |
|                          | Mz. Z-8                      | 1, 2 y 1                       |                          |
| <b>ZAM-2</b>             | Mz. Y                        | 1, 2, 5 y 6                    | 11                       |
|                          | Mz. RR                       | 1 y 7                          |                          |
|                          | Mz. LL                       | 1, 10, 11 y 12                 |                          |
|                          | Mz. O                        | 1                              |                          |

## **8.5 EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD**

El inventario de viviendas presentó los siguientes resultados finales:

- Las viviendas construidas a media ladera, en general presentan una cimentación con muros en concreto ciclópeo y columnas con zapatas y sobre estos elementos una viga de amarre sobre la cual se apoyan los muros.
- En general se identifica una vulnerabilidad de las construcciones localizadas en las zonas de alta y media amenaza. Las zonas del área de estudio con índices de vulnerabilidad baja corresponden a lotes vacíos, vías y zonas sin desarrollo.

- En general en el área de estudio las tipologías que predominan corresponden a Tipo B1 y B2. En la mayoría de las construcciones predomina la utilización de ladrillos, agregados y elementos de construcción de mala calidad. Teniendo en cuenta lo anterior y además que la vulnerabilidad esta en función de la intensidad del fenómeno como de la resistencia del elemento expuesto, se concluye que las viviendas localizadas en zonas de amenaza alta y media son altamente vulnerables ante fenómenos de remoción en masa.
- Asociado a estas zonas se presenta el mayor índice de daños actuales generados por asentamientos diferenciales y la mala cimentación de las viviendas.
- Las viviendas construidas en las laderas del costado más oriental, del barrio dentro de las manzanas Z5, Z6,Z7,Z8, corresponden a tipos B1 y B2 ; el control de la vulnerabilidad de estas viviendas se realiza mediante la captación y manejo de las aguas lluvias vertidas sobre el terreno por la vía a la ladrillera Santafé, localizada en la parte superior. Estas obras deben ser asumidas directamente por la Ladrillera Santafé y complementadas con las obras de drenaje superficial y el alcantarillado de aguas servidas por parte del acueducto.
- Para las construcciones localizadas al oriente de la vía a la Ladrillera Santafé, en general todas presentan una alta vulnerabilidad y en este sector se debe prohibir el sistema de urbanización mediante loteo para su posterior autoconstrucción. Se recomienda al urbanizador reubicar las construcciones de este sector e implementar las diferentes obras de protección del talud.

De acuerdo a las observaciones directas en campo se pudo determinar que en las áreas correspondientes a los antiguos drenajes y que actualmente fueron rellenados y adecuados para la construcción de viviendas, se presenta el mayor Índice de daños actuales asociados a asentamientos diferenciales de tipo local.

## **8.6 EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE RIESGO**

Se definieron los siguientes niveles de riesgo para el barrio Divino Niño - Localidad de Ciudad Bolívar:

### **8.6.1 Zona de Alto Riesgo**

Dentro de esta zona se identificaron los siguientes predios (Ver **Tabla 8.2**):

**Tabla 8.2 Viviendas en zona de Alto Riesgo**

| <b>MANZANA</b>       | <b>LOTEO – LEGALIZACIÓN</b>                |
|----------------------|--|
| K                    | 2, 11, 15 Y 16                             |
| L                    | 5, 14 Y 15                                 |
| R                    | 1 Y 2                                      |
| RR                   | 21, 22 Y 23                                |
| Y1                   | 12   |
| ZO                   | 7 Y 8                                      |
| A1                   | 15   |
| E1                   | No Localizado en el Plano de Legalización. |
| Y10                  | 4  |
| Z8                   | 8,9,10                                     |
| Ladera Estructural 1 | No Localizado en el Plano de Legalización. |

### **8.6.2 ZONA DE RIESGO MEDIO**

En esta zona se identificaron los siguientes predios (Ver **Tabla 8.3**):

**Tabla 8.3 Viviendas en Zona de Riesgo Medio**

| <b>MANZANA</b> | <b>LOTEO - LEGALIZACIÓN</b>   |
|----------------|-------------------------------|
| LL             | 23,24,25,26 Y 27              |
| Z5             | 16,17,19 Y 25 - 1             |
| Z6             | 1,3,7,8,9,10,12,16,18,19 Y 20 |
| Z7             | 1,2,2 - 1 Y 4                 |
| Y              | 1,3,4 Y 6                     |

## **8.7 PLAN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN**

Las diferentes medidas de mitigación están orientadas en los siguientes aspectos:

1. Al control de la amenaza mediante obras correctivas y preventivas de fácil construcción por parte de las comunidades afectadas, incluyendo al urbanizador y a la Ladrillera Santafé en lo que respecta a las obras de mantenimiento y manejo de aguas superficiales sobre la vía de acceso.
2. Control por parte de las comunidades en la disposición de nuevos rellenos; y el manejo de los diferentes factores antrópicos que pueden generar procesos de remoción en masa. Estas medidas se contemplan en el Plan de Gestión Social.
3. Disminuir la vulnerabilidad de las viviendas mediante prácticas de mejoramiento de la resistencia estructural o disminución de la exposición: obras deben ser realizadas directamente por los propietarios.

### **8.7.1 PLANTEAMIENTO DE OBRAS. Zona de Amenaza Alta**

#### **8.7.1.1 Zona de Amenaza Alta 1 (ZAA-1)**

Medida de mitigación de Riesgo:

- Definir una zona de aislamiento en la que se limite cualquier proceso de urbanización, manteniendo únicamente las viviendas existentes. Siempre y cuando el urbanizador implemente las obras de estabilización del talud y el sistema de alcantarillado de aguas lluvias y servidas de las viviendas existentes.
- Construcción de un muro de gaviones en la base del corte de la vía a la Ladrillera Santafé, obra que debe ser asumida conjuntamente por el urbanizador y la Ladrillera Santafé.
- Se debe prohibir el desarrollo urbanístico de esta zona mediante el sistema de lotes para su autoconstrucción.

#### **8.7.1.2 Zona de Amenaza Alta 2 (ZAA-2)**

Localizada al norte del área de estudio, es el talud contiguo a la Quebrada Trompetas donde se plantean las siguientes medidas de mitigación:

- Revegetalización de la parte baja del talud.
- Construcción de obras de drenaje superficial en la parte alta del talud mediante un sistema de cunetas revestidas y su entrega sobre el cauce de la Quebrada Trompetas.

#### **8.7.1.3 Zona de Amenaza Alta 3 (ZAA-3)**

Zona asociada a los sitios de rellenos localizados en la Diagonal 76, en la Calle 78B BIS (cerca de la cancha deportiva), entre las calles 79Bis y 80Bis, entre las calles 80Bis y 80Bis A y al costado occidental de la vía a la Ladrillera Santafé, donde se plantean las siguientes medidas:

- Perfilado del talud y retiro de los materiales sueltos dejando una pendiente final (H:V 2:1)
- Drenaje Superficial en la corona mediante cunetas revestidas, asociadas a las calles del barrio.
- Compactación de los rellenos mediante varias la pasada del bulldozert sobre el talud final de reconfiguración del relleno.
- Empadrización de acuerdo con el diseño paisajístico recomendado.

#### **8.7.1.4 Zona de Amenaza Alta 4 (ZAA-4)**

Sector donde han sido incluso reubicadas varias viviendas, sobre las manzanas S y K. Para este sector se recomendaron las siguientes medidas de mitigación:

- Reubicación de las viviendas localizadas en la zona de alto riesgo.
- Obras de drenaje superficial mediante cunetas revestidas con entrega al sistema de alcantarillado del sector.

- Obras de drenaje sub superficial mediante filtros contruidos mediante material granular encapsulados en geotextil y con entrega al sistema de alcantarillado.

## **8.7.2 Zona de Amenaza Media**

### **8.7.2.1 Zona de Amenaza media (ZAM-1-ZAM-3)**

Se definieron las siguientes medidas de mitigación para la zona de amenaza media:

- Manejo de las aguas superficiales mediante cunetas revestidas asociadas a las diferentes calles del barrio.
- Construcción de filtros y muros en concreto ciclópeo para los cortes de adecuación urbanística.
- Retiro de los rellenos superficiales que se exponen sobre las vías de acceso.

## **8.8 PLAN DE GESTIÓN SOCIAL**

El plan de gestión social fue orientado en los siguientes aspectos:

- Adelantar programas que vinculen y concientisen a la comunidad de la importancia de tener un manejo adecuado de las aguas servidas, las aguas lluvias y los residuos sólidos, de manera que se minimice el riesgo de daño de las viviendas y se mejore la calidad de vida de las familias asentadas en el barrio.
- Para las viviendas que se encuentran sobre la ronda de la Quebrada Trompetas la Empresa de Acueducto debe adelantar un programa que permita su recuperación, requiriéndose la reubicación de las viviendas que se encuentran ubicadas en esta zona.

- La disponibilidad de lotes con que cuenta el barrio el Divino Niño permitiría realizar un proceso de reubicación dentro del mismo barrio, sin que tuvieran que iniciar una búsqueda de espacio para vivir.
- Para las viviendas que se encuentran dentro de la zona de protección ambiental de las líneas de alta tensión, la Empresa de Energía debe adelantar un programa que permita la recuperación de esta zona, de manera que se garantice la restricción del uso del suelo, no apto para vivienda.
- Formalizar, divulgar y concertar con la comunidad el desarrollo de un programa de apoyo y asesoría en procesos constructivos para el barrio, de manera que se capacite la mano de obra no calificada, se puedan desarrollar procesos constructivos de acuerdo a parámetros técnicos.
- Desarrollar programas de arborización de acuerdo con el diseño paisajístico para la recuperación de las zonas de amenaza alta.

## **9 BIBLIOGRAFÍA**

Cartografía del IGAC, plancha L 66 esc.1:2000 de 1980 y 1:10.000 de 1986

Gómez y Cajiao Ltda.1999.Cartografía de la EAAB para el diseño definitivo de redes locales de alcantarillado de Ciudad Bolívar, Barrio Divino Niño. Escala 1:500.

Estudio Hidrogeológico del sector del municipio de Soacha y Ciudad Bolívar, por INGEOMINAS 1985.

Plano de Zonificación Geotécnica del Distrito Especial de Bogotá, INGEOMINAS, 1988 esc. 1:25.000.

Zonificación de riesgos por remoción en masa de la localidad de Ciudad Bolívar, Rafael Uribe Uribe, San Cristóbal, Santafé, Chapinero y Usaquén. - INGEOCIM, 1.998.

Microzonificación sísmica de Santa Fé de Bogotá. INGEOMINAS- UPES 1997.

Thomas Van Der Hammen. Plioceno y Cuaternario del altiplano de Bogotá y alrededores en Análisis Geográficos No.24. Instituto Geográfico Agustín Codazzi 1995.

Thomas Van Der Hammen. La Sabana de Bogotá y su lago en el pleniglacial medio en Historia, Ecología y vegetación. Fondo FEN Colombia

Concepto Técnico No. 3403 Dirección de Prevención y Atención de Emergencias. Sep 1999.

Fotografías aéreas IGAC.

| <b>Vuelo</b> | <b>Número</b>       | <b>Escala / año</b> |
|--------------|---------------------|---------------------|
| C-1724       | 086, 087            | 1:7.5007 1978       |
| C-604        | 017 y 018           | 1:25.000/ 1960      |
| C- 1364      | 119, 110 y 111      | 1:15.000/ 1963      |
| M-1142       | 18904,18905 y 18906 | 1:40.000 /1961      |

EAAB, estudio para el análisis y Caracterización de Tormentas para la Sabana de Bogotá realizado por IRH LTDA, 1995 y los registros de las estaciones: Jalisco y la Fiscala complementadas con los registros recientes de la estación de Doña Juana localizada al sur del área de estudio.

INGEOCIM, Estudio de zonificación por FRM. 1998

INGEOMINAS, UNIANDES Y AIS, Estudio de microzonificación sísmica, 1997.

Resolución 364 de la Alcaldía de Bogotá. 2000

Wu et al. Árbol de decisión

Fell. Distancias de viaje. 1999.

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ - DPAE. SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA. Seminario de Estudios de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa. Comité organizador Rendón M Silvana, García G Pilar, Pava S Javier - Area de Análisis de Riesgos DPAE. Bogotá, Agosto 31 de 2000.

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ - DPAE. Concepto de legalización No. 3403, barrio Divino Niño - Localidad de Ciudad Bolívar - Bogotá D.C, Area de Análisis de Riesgos. Mayo de 1999.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACIÓN DISTRITAL. Resolución de legalización No. 0336 para diferentes asentamientos, desarrollos

o barrios localizados en la Localidad No. 19 de Ciudad Bolívar - Bogotá D.C..  
Octubre de 1999.

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ - DPAE. Diagnósticos técnicos y de Emergencias para el barrio Divino Niño de la Localidad de Ciudad Bolívar - Bogotá D.C., Area de Análisis de Riesgos. Bogotá. 1998-2001.

GONZÁLEZ A. J. 1990. Conceptos sobre la Evaluación de Riesgos por Deslizamientos. VI Jornadas Geotécnicas, SCI Memorias. Tomo I, Bogotá Octubre 1990.

GONZÁLEZ A. J. 1990. Metodología para Evaluación de Riesgo por deslizamiento. VI Jornadas Geotécnicas, SCI memorias. Tomo II, Bogotá Octubre 1990.

GARCÍA G. PILAR DEL R.; PAVA S. JAVIER; RENDÓN M. SILVIANA - DPAE. MARTÍNEZ JUAN MANUEL; VESGA LUIS FERNANDO; GONZÁLEZ G. ALVARO J. - Sociedad Colombiana de Geotecnia. Términos de Referencia para Estudios de Riesgos por Inestabilidad del Terreno. Bogotá. 2000.

INGEOCIM Ltda.(1998a). "Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para varias Localidades de Santa Fe de Bogotá". UPES - FOPAE. Santa Fe de Bogotá D.C.

LEONE F. (1996). "Concept de Vulnerabilite Applique a L'Evaluation Des Risques Generes par les Phenomenes de Mouvements de Terrain". Université Joseph Fourier Grenoble: These de Doctorat, Grenoble.

PAVA S. JAVIER. - DPAE. Componentes de Amenazas y Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa en el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá. 2000.

SOLER S., FLAVIO F., GONZÁLEZ G., ALVARO J. Y VESGA M. LUIS F. (1999) "Metodología para Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa en Santafé de Bogotá". XI CPMSIF, Foz de Iguazú, Brasil.

VARNES, D. J. (1978). "Slopes Movement Types and Processes in: Landslides, Analysis y Control". TRB Special Report 176.