TABLA DE CONTENIDO

Pág.
1. GENERALIDADES 1-1
1.1 INTRODUCCIÓN 1-1
1.2 OBJETIVO 1-1
1.3 ALCANCE DEL ESTUDIO 1-1
1.4 DELIMITACIÓN GEOMÉTRICA DEL ÁREA DE ESTUDIO 1-2
1.5 ANTECEDENTES 1-2
1.6 FENOMENOS DE INESTABILIDAD IDENTIFICADOS 1-3
2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO 2-1
2.1 MÉTODO DE TRABAJO 2-1
2.2 DESCRIPCIÓN DE LA POLIGONAL DE AMARRE 2-1
2.3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL ÁREA 2-1
2.3.1 DESCRIPCIÓN DE LA POLIGONAL DE CIERRE 2-2
2.3.2 MOJONAMIENTO DE REFERENCIA 2-2
3. ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO 3-1
3.1 ASPECTOS DE GEOLOGÍA REGIONAL 3-1
3.2 ESTRATIGRAFÍA 3-1
3.2.1 GRUPO GUADALUPE (KSG) 3-1
3.2.1.1 Características físicas de la roca en el área tipo 3-1
3.2.1.2 Características físicas de la roca en el área de estudio 3-1
3.2.1.3 Características geotécnicas y procesos morfodinámicos típicos 3-2
3.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL 3-2
3.4 GEOLOGÍA LOCAL 3-2
3.4.1 UNIDADES ROCA 3-3
3.4.1.1 Unidad de arenisca alterada (Kgst - Are 0) 3-3
3.4.1.2 Unidad de Lodolita basal (Kgst - Lod1) 3-3
3.4.1.3 Unidad de Arenisca basal (Kgst - Are1) 3-3
3.4.1.4 Unidad de Intercalaciones lodosas ondulosas (Kgst - Lod2) 3-4
3.4.1.5 Unidad de Arenisca maciza en capa gruesa (Kgst - Are 2) 3-5
3.4.1.6 Unidad de Areniscas friables ondulosas (Kgst - Are3) 3-5
3.4.1.7 Unidad de Areniscas macizas superiores (Kgst - Are4) 3-7
3.4.1.8 Unidad de coluviones recientes (Qcol) 3-7
3.4.1.9 Unidad de suelos oscuros (Qcen) 3-7
3.4.2 ESTRUCTURAL 3-8
3.4.2.1 Mediciones 3-8
3.4.2.2 Análisis tectónico cinemático 3-8
3.5 GEOMORFOLOGÍA 3-9
3.5.1 MORFOESTRUCTURAL 3-9
3.5.1.1 Laderas estructurales denudacionales (Led) 3-9
3.5.1.2 Laderas intervenidas por la actividad extractiva (Lea) 3-10
3.5.1.3 Escarpes naturales 3-11
3.5.1.4 Escarpes mecanizados 3-11
3.5.1.5 Explanaciones antrópicas 3-12
3.5.2 MORFODINÁMICA 3-13
3.5.2.1 Meteorización 3-13
3.5.2.2 Erosión hídrica concentrada 3-13

3.5.2.3 Procesos de remoción en masa 3-14
3.6 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE PROCESOS DENUDACIONALES. 3-16
3.6.1 AÑO 1956 (C-773, FOTO 057) 3-16
3.6.2 AÑO 1963 (R-590, FOTO 022) 3-16
3.6.3 AÑO 1973 (C-1439, FOTO 092) 3-16
3.6.4 AÑO 1976 (C-1679) 3-16
3.6.5 AÑO 1987 (C-2323) 3-16
3.6.6 AÑO 1998 (SAV-415, FAJA 4, FOTO 086)3-16
4. CLIMA, HIDROLÓGICA, HIDRÁULICA, HIDROGEOLOGÍA Y SISMOLOGÍA 4-1
4.1 CLIMA 4-1
4.1.1 INFORMACIÓN DISPONIBLE 4-1
4.1.2 PRECIPITACIÓN MEDIA 4-1
4.1.2.1 Distribución territorial 4-2
4.1.2.2 Distribución temporal4-2
4.1.3 TEMPERATURA DEL AIRE, HUMEDAD RELATIVA Y EVAPOTRANSPIRACIÓN 4-2
4.2 HIDROLOGIA E HIDRAULICA 4-2
4.3 SISMOLOGÍA 4-5
5. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO, PRUEBAS DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO 5-1
5.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO5-1
5.1.1 SONDEOS MECÁNICOS, TOMA DE BLOQUES Y TRINCHERAS 5-1
5.1.2 LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA 5-2
5.1.3 SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES 5-3
5.2 PRUEBAS DE CAMPO 5-4
5.3 ENSAYOS DE LABORATORIO 5-4
5.4 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA 5-4
5.4.1 MATERIALES 5-5
5.4.2 DISCONTINUIDADES 5-5
5.4.2.1 Caracterización geométrica 5-5
5.4.2.2 Caracterización geomecánica5-7
5.4.3 MACIZO ROCOSO 5-8
5.5 ANÁLISIS CINEMÁTICO 5-8
5.5.1 FAMILIA DE DISCONTINUIDADES 5-8
5.5.2 TALUDES DE ESTUDIO 5-9
5.5.3 POSIBILIDAD CINEMÁTICA 5-9
5.6 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA 5-9
6. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE AMENAZA POR FRM 6-1
6.1 HIPÓTESIS DE TRABAJO 6-1
6.1.1 MECANISMOS DE FALLA6-1
6.1.2 MÉTODO DE ANÁLISIS Y MODELACIÓN 6-2
6.1.3 PARÁMETROS DE RESISTENCIA 6-2
6.1.4 AGENTES DETONANTES 6-2
6.1.4.1 Agua 6-2
6.1.4.2 Sismo 6-4

6.2 EVALUACIÓN DE AMENAZA 6-4
6.2.1 CONSIDERACIONES 6-5
6.2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS 6-5
6.2.3 DISTANCIAS DE VIAJE DE LAS MASAS POTENCIALMENTE INESTABLES 6-7
6.2.4 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA 6-7
7. EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD 7-1
7.1 INFORMACIÓN PRIMARIA 7-1
7.2 VULNERABILIDAD SOCIAL 7-1
7.2.1 CAPACIDAD ECONÓMICA DE LOS POBLADORES 7-2
7.2.2 COBERTURA DE SERVICIOS PÚBLICOS 7-2
7.2.3 TIPOLOGÍA DE LAS VIVIENDAS7-3
7.2.4 PERCEPCIÓN DEL PELIGRO 7-3
7.2.5 DAÑOS GENERALES DE LA CONSTRUCCIÓN 7-3
7.2.6 RESILIENCIA 7-3
7.3 VULNERABILIDAD FÍSICA 7-4
7.3.1 CRITERIOS APLICADOS 7-4
7.3.2 MÉTODO DE LA INTENSIDAD DE DAÑO 7-5
7.3.2.1 Metodología 7-5
7.3.2.2 Evaluación con el Método MID 7-5
7.3.2.3 Resultados 7-6
7.3.3 MÉTODO DE VELOCIDAD DE IMPACTO 7-7
7.3.3.1 Metodología 7-7
7.3.3.2 Datos de entrada 7-7
7.3.3.3 Evaluación con el Método MVI 7-8
7.3.3.4 Resultados 7-8
7.3.4 ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD 7-8
8. RIESGO 8-1
8.1 INDICADORES 8-1
8.2 ZONIFICACIÓN DEL RIESGO 8-1
9. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS 9-1
9.1 MEDIDAS DE MITIGACIÓN 9-1
9.1.1 ANÁLISIS Y CONSIDERACIONES GENERALES 9-1
9.1.2 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS 9-1
9.1.2.1 Zona 1 9-1
9.1.2.2 Zona 2 9-2
9.1.2.3 Zonas 3 y 4 9-2
9.1.2.4 Zona 5 9-3
9.1.3 AMENAZA CON OBRAS 9-3
9.1.4 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS 9-4
10. DISEÑO DE OBRAS10-1
10.1 OBRAS DE MITIGACIÓN 10-1
10.1.1 PLAN DE ACCIÓN RECOMENDADO 10-1
10.1.2 PRESUPUESTO 10-1

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 2.1 Puntos para el amarre a coordenadas IGAC 2-3
Tabla 2.2 Puntos generados para el ajuste de la poligonal 2-3
Tabla 2.3 Mojones materializados 2-3
Tabla 3.1 Datos estructurales levantados en campo - Talud 1 3-25
Tabla 3.2 Datos estructurales levantados en campo - Talud 2 3-26
Tabla 3.3 Datos estructurales levantados en campo - Talud 3 3-27
Tabla 3.4 Datos estructurales levantados en campo - Talud 4 3-27
Tabla 3.5 Datos estructurales levantados en campo - Talud Oeste 3-27
Tabla 3.6 Datos estructurales levantados en campo - Talud D. Gabriel 3-27
Tabla 3.7 Datos estructurales levantados en campo - Talud adyacente al Colegio 3-28
Tabla 3.8 Datos estructurales levantados en campo - Talud contiguo a la malla del parque 3-28
Tabla 3.9 Datos estructurales levantados en campo - Talud ubicado 20 metros al noreste del contiguo a la malla del parque 3-29
Tabla 3.10 Datos levantados en campo - Talud contiguo al Sondeo 3 3-29
Tabla 4.1 Valores totales mensuales de precipitación, Estacion Casablanca (20197). 4-6
Tabla 4.2 Valores medios mensuales multianuales de variables climatológicas 4-6
Tabla 5.1 Velocidades y espesores de las capas obtenidos en la exploración geofísica 5-10
Tabla 5.2 Resultados obtenidos en los Sondeos Eléctricos Verticales 5-10
Tabla 5.3 Cantidades de ensayos de laboratorio realizados 5-10
Tabla 5.4 Obtención de □c a partir de los ensayos de carga puntual y compresión inconfinada 5-11
Tabla 5.5 Resumen de resultados de ensayos laboratorio 5-12
Tabla 5.6 Recopilación de información geomecánica 5-13
Tabla 5.7 Características de los taludes en estudio y análisis cinemático 5-15
Tabla 5.8 Ejemplo de análisis cinemático (T-1) 5-16
Tabla 5.9 Clasificación del macizo rocoso 5-17
Tabla 5.10 Ejemplo de determinación de propiedades mecánicas – Zona 1 5-18
Tabla 5.11 Resumen de propiedades mecánicas para todas las zonas 5-19
Tabla 5.12 Parámetros geomecánicos por material 5-19
Tabla 6.1 Distancias de viaje (CRSP) 6-9
Tabla 6.2 Resumen de los FS y de la probabilidad de falla condicional – Falla planar – Contacto Arenisca / Lodolita 6-10
Tabla 6.3 Resumen de los FS y de la prob. de falla condicional – Falla planar – Contacto Are4 / Are3 – Parámetros lodolita 6-11
Tabla 6.4 Resumen de los FS y de la prob. de falla condicional – Falla planar – Contacto Are4 / Are3 – Parámetros arenisca 6-12
Tabla 6.5 Resumen de la probabilidad de falla condicional – Falla planar con grieta de tracción – Sección A-A’ 6-13
Tabla 6.6 Resumen de la probabilidad de falla condicional – Falla planar con grieta de tracción – Sección B-B’ 6-14
Tabla 6.7 Resumen de la probabilidad de falla condicional – Falla planar con grieta de tracción – Sección C-C’ y D-D’ 6-15

Tabla 6.8 Resumen de la probabilidad de falla condicional – Falla planar con grieta de tracción – Sección E-E' 6-16
Tabla 6.9 Categorías de amenaza 6-17
Tabla 7.1 Evaluación de la capacidad de respuesta de la edificación 7-9
Tabla 7.2 Calificación para variable: Sistema estructural 7-9
Tabla 7.3 Calificación para variable: Daño en la construcción 7-9
Tabla 7.4 Calificación para variable: Calidad de la construcción 7-10
Tabla 7.5 Calificación para variable: Tipo de cimentación 7-10
Tabla 7.6 Matriz de Intensidad de daño 7-10
Tabla 7.7 Tabla de clasificación de daños propuesta por el DRM 7-11
Tabla 7.8 Categorización de los niveles de vulnerabilidad 7-11
Tabla 7.9 Determinación de la vulnerabilidad por MID 7-12
Tabla 7.10 Criterios para calificación de los indicadores de competencia estructural 7-15
Tabla 7.11 Pautas para la asignación de CE y Vr 7-15
Tabla 7.12 Matriz de calificación de la vulnerabilidad 7-16
Tabla 7.13 Matriz de calificación de la vulnerabilidad en ICS 7-16
Tabla 7.14 Velocidades de impacto de los bloques 7-16
Tabla 7.15 Determinación de la vulnerabilidad por MVI 7-17
Tabla 8.1 Categorización del riesgo 8-2
Tabla 9.1 Árbol de decisión de las medidas de mitigación – Zona 1 9-6
Tabla 9.2 Árbol de decisión de las medidas de mitigación – Zona 2 9-7
Tabla 9.3 Árbol de decisión de las medidas de mitigación – Zona 5 9-8
Tabla 9.4 Probabilidad de falla con obras 9-9
Tabla 10.1 Cantidades de obra y presupuesto 10-2

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1. Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa (Ingeocim Ltda., 1998). 1-6
Figura 3.1 Marco geológico regional (Tomado de Ingeocim, 1999) 3-17
Figura 3.2 Estereógrafa de diaclasas3-18
Figura 3.3 Polos para la totalidad de las diaclasas medidas3-19
Figura 3.4 Discontinuidades promedias a partir de la totalidad de las diaclasas 3-20
Figura 3.5 Condición cinemática de esfuerzos para la zona de estudio 3-20
Figura 3.6 Ejemplo de deslizamiento traslacional de rocas (Varnes, 1978). 3-21
Figura 3.7 Ejemplos de caídas de rocas (Modificado de García, M. 1988)3-21
Figura 3.8 Fotografía aérea de 1963. 3-22
Figura 3.9 Detalles de la fotografía aérea de 1963 3-23
Figura 3.10 Fotografía de 1998 3-24
Figura 5.1 Resumen gráfico de propiedades índices y mecánicas Perforación S-1 5-20
Figura 5.2 Resumen gráfico de propiedades índices y mecánicas Perforación S-2 5-21
Figura 5.3 Resumen gráfico de propiedades índices y mecánicas Perforación S-3 5-22
Figura 5.4 Resumen gráfico de propiedades índices y mecánicas Trinchera TR-15-23

Figura 5.5 Resumen gráfico de propiedades índices y mecánicas Trinchera TR-25-24
Figura 5.6 Determinación de la dilatancia en los cortes directos 5-25
Figura 5.7 Muestras para ensayos de caracterización mecánica 5-26
Figura 5.8 Representación de las familias de discontinuidades y sus intersecciones 5-27
Figura 5.9 Localización e identificación de los taludes 5-28
Figura 5.10 Fotografías de los taludes para análisis cinemático 5-29
Figura 5.11 Resultados del análisis cinemático – falla planar 5-31
Figura 5.12 Resultados del análisis cinemático – falla en cuña 5-32
Figura 5.13 Resultados del análisis cinemático – falla por volteo 5-33
Figura 5.14 Compendio de parámetros geomecánicos 5-34
Figura 5.15 Envolvente de resistencia para la arenisca 5-35
Figura 5.16 Envolvente de resistencia para la lodolita 5-35
Figura 6.1 Distribución de probabilidad para la cohesión 6-18
Figura 6.2 Distribución de probabilidad para el ángulo de fricción 6-18
Figura 6.3 Distribución de probabilidad para el nivel del agua (falla planar sin grieta de tracción) 6-19
Figura 6.4 Distribución de probabilidad para el nivel del agua (falla planar con grieta de tracción) 6-19
Figura 6.5 Distribución de probabilidad para la aceleración horizontal del terreno 6-20
Figura 7.1 Ingresos Familiares 7-20
Figura 7.2 Número de Habitantes por Vivienda 7-20
Figura 7.3 Valor del Inmueble 7-21
Figura 7.4 Documento de Propiedad del Inmueble 7-21
Figura 7.5 Cobertura de Servicios Públicos 7-22
Figura 7.6 Tipo de Sistema Estructural 7-22
Figura 7.7 Percepción del peligro 7-23
Figura 7.8 Daño en la Construcción 7-23
Figura 7.9 Capacidad económica para el salario medio esperado 7-24
Figura 7.10 Capacidad económica para el salario máximo esperado 7-24
Figura 7.11 Zonas de exposición para los dos tipos de eventos 7-25

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A TOPOGRAFÍA
ANEXO B GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y GEOFÍSICA
ANEXO C HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA
ANEXO D GEOTECNIA
ANEXO E AMENAZA
ANEXO F VULNERABILIDAD
ANEXO G ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS
ANEXO H ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN

1. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El Fondo de Prevención y Atención de Emergencias a través de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias del Distrito – DPAE contrató por medio del Contrato de Consultoría No. 467 de 2004 a EDGAR EDUARDO RODRIGUEZ GRANADOS Y/O INGNIERÍA Y GEORIESGOS, la elaboración del Estudio de riesgos por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar los escarpes y laderas ubicados en el barrio Brisas del Volador y el extremo noroccidental del Barrio La Esmeralda Sur de la Localidad Ciudad Bolívar en Bogotá D. C., contrato iniciado a partir del 13 de enero de 2005 con duración de tres meses.
El presente informe se constituye en el Informe Final que incluye todas las actividades desarrolladas en el proyecto, tales como: topografía; geología regional y local, geomorfología, inventario de procesos; aspectos climáticos, hidrológicos, hidrogeológicos y sismológicos; exploración del subsuelo, resultados de ensayos de campo y laboratorio, amenaza, vulnerabilidad, riesgo, planteamiento de alternativas y diseño definitivo.

1.2 OBJETIVO

El objetivo general del estudio es el diseño detallado de las obras recomendadas para estabilizar los escarpes y laderas ubicados en el barrio Brisas del Volador y el extremo noroccidental del Barrio La Esmeralda Sur de la Localidad Ciudad Bolívar reduciendo el nivel de riesgo a partir de la construcción de la información cartográfica de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de la zona, cuyos insumos son la geología, la geomorfología y la geotecnia.

1.3 ALCANCE DEL ESTUDIO

- Recopilación de información primaria y secundaria.
- Levantamiento topográfico detallado de la zona de estudio a escala 1:500, tanto del macizo rocoso como de los equipamientos urbanos.
- Exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio.
- Inventario y cartografía de variables como: geología, geomorfología, inventario de viviendas.
- Inventario de los procesos morfodinámicos, con el fin de conocer los mecanismos de falla, los factores condicionantes y desencadenantes de ellos.
- Análisis de amenaza – vulnerabilidad y riesgo de la zona. Evaluación de la probabilidad de falla por distancia y mecanismos de inestabilidad. Análisis de tipología de viviendas, condiciones de exposición y resistencia. Análisis de riesgo.
- Determinación y evaluación de alternativas de reducción del riesgo en la zona.
- Diseño detallado de obras y acciones tendientes a minimizar el riesgo potencial y maximizar el entorno ambiental.
- Presupuesto detallado y especificaciones.

1.4 DELIMITACIÓN GEOMÉTRICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

El sitio se localiza al occidente de la Avenida Boyacá, en la localidad Ciudad Bolívar, barrio Brisa del Volador y extremo noroccidental del Barrio La Esmeralda Sur. Corresponde a 5.2 ha aprox., área en la que se desarrollan varios escarpes, algunos de antiguas explotaciones mineras, con viviendas de uno a dos pisos de mampostería no confinada y de recuperación, ubicadas predominantemente en la parte inferior de los taludes. El acceso al sitio se realiza por la Avenida Villavicencio * Calle 64sur (entrada al barrio Lucero).

El área de estudio se ubica aproximadamente entre las coordenadas (91200E, 94700N); (91350E, 94800N); (91500E, 94550N) y (91300E, 94500N). Limita al sur con el predio del Acueducto de Bogotá en el que se aloja el tanque El Volador.

1.5 ANTECEDENTES

A continuación se citan los antecedentes planteados por el FOPAE en los términos de referencia de este contrato de consultoría:

> "De acuerdo con el "Estudio de zonificación por inestabilidad del terreno en diferentes localidades de Santa Fe de Bogotá", elaborado por INGEOCIM LTDA en 1998 para el FOPAE, la zona de estudio presenta zonas de Amenaza Alta en el escarpe rocoso y la parte inferior a éste y Amenaza Media el resto del área, es decir la ladera ubicada en el extremo norte y la que se ubica en la parte superior del escarpe (ver Figura 1.1).
>
> "Entre los informes emitidos por la DPAE para la zona, se encuentran los siguientes:
>
> "**Diagnóstico Técnico de Emergencia No. DI-2026 de junio de 2004**
>
> "El diagnóstico establece la ocurrencia de un flujo de detritos, guijarros y algunos bloques en la parte superior del costado occidental del talud rocoso localizado al occidente de la Institución Educativa Distrital (IED) Confederación Brisas del Diamante Sede C, antes Centro Educativo Distrital (CED) Brisas del Volador; ubicado en la Calle 70G Sur No. 20 – 19 del barrio Brisas del Volador de la Localidad de Ciudad Bolívar (ver Fotografía 1 a Fotografía 4).
>
> "De acuerdo con el mencionado diagnóstico, el agente detonante del problema de inestabilidad fue las aguas servidas provenientes de la vivienda ubicada en la Carrera 22 No. 72A – 22 Sur, ubicada en la ladera superior del talud rocoso y conducidas por una cuneta en tierra hasta el punto del flujo. Así mismo, establece que los agentes contribuyentes del fenómeno son los flujos subsuperficiales producto de la infiltración de la lluvia, el riego que se hacía a un cultivo de maíz y a posibles fugas del sistema de alcantarillado de la vía de acceso al barrio Los Alpes.
>
> "En vista de los aportes de agua que seguirá recibiendo el talud rocoso a raíz de los agentes detonantes y contribuyentes antes citados, del alto fracturamiento que el talud rocoso presenta y de la grieta de tracción que se observa en la corona del flujo de detritos; se considera que el flujo se tornará retrogresivo y por tanto que las viviendas de la parte inferior, incluyendo la IED, se ven expuestas al FRM y podrán verse afectas; por tanto, se recomendó el aislamiento de la pata del talud, evacuar temporalmente dos salones de la IED mientas se construía por parte del CADEL una barrera, mantener seguimiento al avance del fenómeno y adelantar un estudio detallado del sector a fin de establecer las condiciones de estabilidad del talud y las medidas de mitigación pertinentes.
>
> "**Diagnóstico técnico de emergencia No. 2184 de noviembre de 2004**

El documento establece la retrogresión e incremento del flujo de detritos ocurrido en abril de 2004 (DI-2026), ver Fotografía 5 a Fotografía 7, a causa de aportes de agua provenientes de la lluvia, de flujos subsuperficiales, aguas servidas de las viviendas de la parte superior (ver Fotografía 10). Así mismo identifica un nuevo evento, desprendimiento y caída de bloques hacia el tercio medio del talud rocoso (ver Fotografía 8) a raíz de la descarga que se hace a través de una cuneta en mortero de las aguas residuales de las viviendas de la parte superior (ver Fotografía 9).

A raíz de la recurrencia del evento, se ratifica la condición de riesgo que presentan las viviendas y la IED Confederación Brisas del Diamante ante la caída de bloques y guijarros; por tanto, se insistió en la necesidad de implementar la barrera recomendada en abril de 2004(puesto que no había sido instalada al momento de la visita, octubre 21 de 2004), el retiro del material deslizado (labor que se coordinó con la Secretaría de Obras Públicas) y la necesidad prioritaria de adelantar un estudio detallado de riesgo del sector."

1.6 FENOMENOS DE INESTABILIDAD IDENTIFICADOS

A continuación se citan los fenómenos de inestabilidad identificados por el FOPAE en los términos de referencia de este contrato de consultoría:

"En la zona de estudio se han identificado Fenómenos de Remoción en Masa tipo flujo de detritos, guijarros y bloques, caída de rocas y erosión superficial, tal como se describió en el numeral anterior, y que podrían afectar las viviendas de la parte superior (sic) y superior del talud rocoso, las ubicadas en el extremo norte del barrio y la IED.

"Se destaca que la constante construcción de viviendas en la parte superior del talud rocoso o en la zona de ladera ubicada al norte del barrio, puede acelerar de manera dramática los eventos antes expuestos."

Una vez inspeccionado el sitio se tiene acuerdo en los fenómenos denudativos identificados por el FOPAE, los cuales se tratan con mayor detalle en el capítulo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.



Fotografía 1. Vista del flujo de tierras (abril/2004)



Fotografía 2. Escarpe del flujo de tierras (abril/2004)



Fotografía 3. Guijarros caídos en la vía peatonal



Fotografía 4. Se observa los guijarros que cayeron en la base del talud, muy cerca de la IED.



Fotografía 5. Vista del deslizamiento desde la parte superior del talud rocoso (oct/2004).



Fotografía 6. Corona del flujo de detritos (oct/2004)



Fotografía 7. Material caído en la vía peatonal de acceso al parque de la EAAB. (oct/20004)



Fotografía 8. Caída de bloques (oct/2004).



Fotografía 9. Cuneta de descargue de las aguas servidas de las viviendas de la parte superior del talud rocoso a su corona.



Fotografía 10. Empozamiento de agua en la parte superior del talud rocoso.

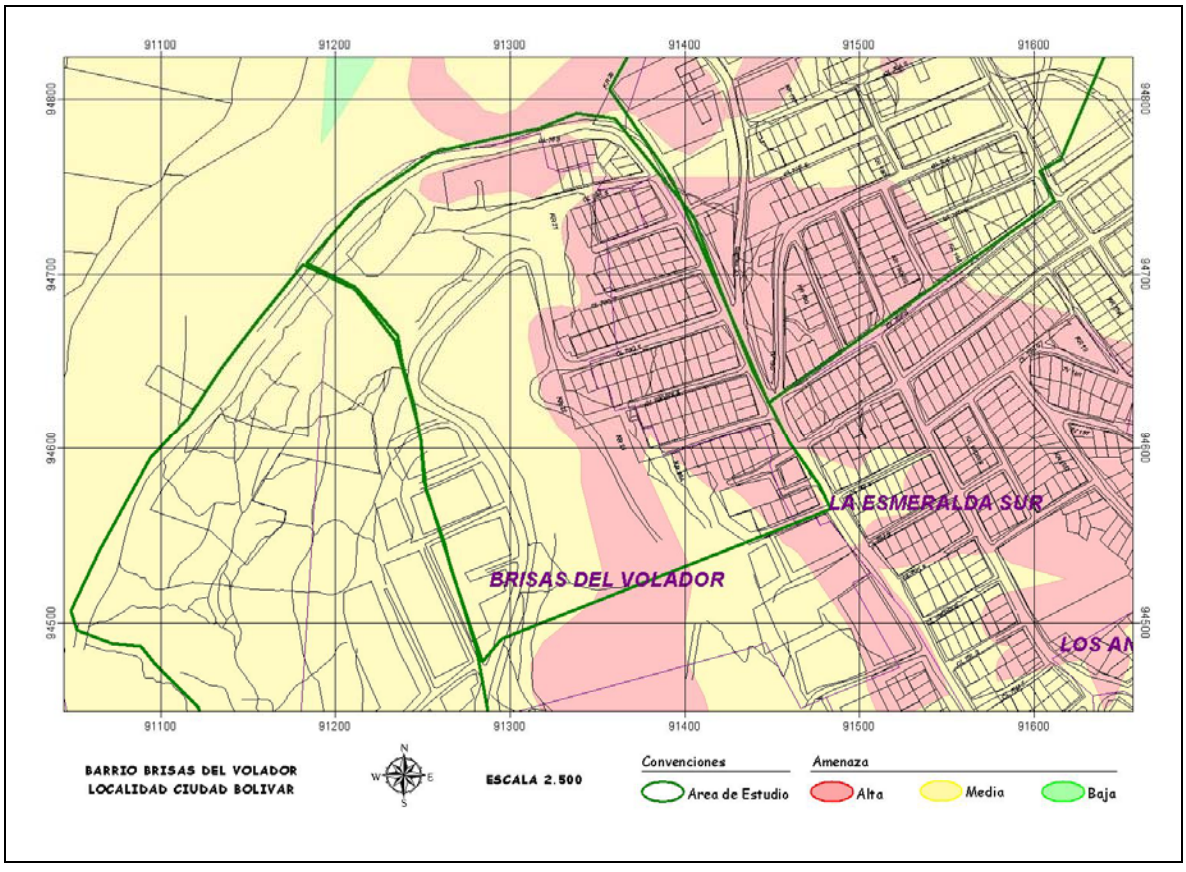


Figura 1.1. Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa (Ingeocim Ltda., 1998

1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

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

1.1 MÉTODO DE TRABAJO

La actividad inicial consistió en la ejecución de la poligonal de amarre, requisito indispensable para la validez del levantamiento; posteriormente, se localizaron, en puntos estratégicos, las estaciones para conformar una poligonal interna, base para la radiación de puntos.
Una vez materializada la poligonal de trabajo, se realizó el levantamiento topográfico detallado total, a escala 1:500 mediante el uso de estación total haciendo toma de los puntos topográficos relevantes y de aquellos que contribuyeran a una mejor modelación del relieve. Durante el levantamiento se realizaron esquemas explicativos para posterior seguimiento e interpretación del plano.
En oficina y con base en la información adquirida, se hizo procesamiento de puntos y generación de curvas de nivel cada metro (1m), además se hizo el dibujo que representa la geometría en planta de los diferentes elementos, toda la información se revisó en campo y se reinterpretó con base en fotografías.

1.2 DESCRIPCIÓN DE LA POLIGONAL DE AMARRE

El levantamiento fue amarrado al sistema de posicionamiento del IGAC con referencia en: CD607A, CD608A y CD609A cuyas coordenadas se listan en la Tabla 1.1.
El levantamiento se realizó con una Estación Total de precisión angular al segundo y con alcances de lectura con prisma sencillo de 1800 m de distancia en longitud, con capacidad para almacenar hasta 2000 puntos topográficos.

1.3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL ÁREA

En el trabajo de campo que se llevó a cabo con la ayuda de una estación total con aproximación en ángulo al segundo y en distancia al milímetro, hizo énfasis en las franjas que revisten importancia para la evaluación tales como: zonas críticas de estabilidad, zonas de erosión, escarpes, accidentes topográficos, líneas vitales, infraestructura de servicios y viviendas.
El barrido altimétrico y planimétrico se ejecutó bajo la aplicación de un procedimiento mixto, es decir tanto con la definición de los contornos de corona y pata de los taludes y detalles más relevantes, como con la captura de una nube de puntos para los detalles

urbanísticos. En los taludes laterales de la ladera se tomaron secciones transversales, con el doble propósito de facilitar la interpretación cartográfica y servir de apoyo en la etapa de análisis, específicamente durante la elaboración del Modelo Estratigráfico.
El barrido con nube de puntos se destinó a la definición de elementos urbanísticos como: manzanas, pozos de inspección, vías y caminos peatonales. Paralelo con el levantamiento topográfico se corroboró además el levantamiento catastral de que dispone el distrito, que fue contrastado con la cartografía digital suministrada por la DPAE. Complementariamente, se tomaron puntos adicionales en los vértices de las manzanas para su correcta definición y el ajuste de los predios de cada una de ellas.
La interpretación cartográfica se ejecutó con el empleo de un software especializado: bajo la aplicación de un modelo de interpretación dirigida. Esto significa que se definieron y respetaron las barreras físicas actuales para condicionar la interpretación a éstas, sin permitir el desempeño del software a su libre esquema de triangulación. En este sentido jugaron un papel importante las observaciones de campo y el contorno de la zona en estudio.

1.3.1 Descripción de la poligonal de cierre

Una vez georeferenciada el área a través de la poligonal de amarre, se procedió al cierre y ajuste de la poligonal la cual incluye 24 estaciones de referencia, desde las cuales se establecen visuales a los sitios radiados para la obtención de la nube de puntos, sus coordenadas se muestran en la Tabla 1.2.

1.3.2 Mojonamiento de referencia

En cuatro puntos se implementaron mojones en concreto con placa: IGR1 a IGR4, cuyos datos de coordenadas y elevación se relacionan en la Tabla 1.3.

Tabla 1.1 Puntos para el amarre a coordenadas IGAC

Punto No.	Norte	Este	Elevación	Referencia
1	95919.760	93172.557	0	CD 608-A
2	94005.800	93488.549	2640.315	CD 607-A
7002	96837.274	93234.532	2566.044	CD 609-A

Tabla 1.2 Puntos generados para el ajuste de la poligonal

Punto No.	Norte	Este	Elevación	Referencia
3	94048.071	92322.022	2677.737	D1
4	93945.817	92285.974	2695.767	D2
6	94469.692	91410.362	2829.513	D3
176	94536.268	91428.450	2815.074	D4
186	94574.530	91425.775	2805.432	D5
247	94566.495	91399.449	2822.042	D6
321	94591.827	91377.039	2826.261	D7
515	94616.619	91341.761	2834.898	D8
631	94637.397	91306.221	2831.032	D9
964	94675.136	91324.799	2830.978	D10
1099	94676.631	91430.278	2811.773	D11
1218	94784.296	91357.581	2820.203	D12
1306	94705.937	91253.785	2835.467	D13
2067	94660.723	91149.753	2804.031	D14
2289	94575.157	91305.884	2862.861	D15
1384	94725.637	91307.667	2832.683	D16
1541	94698.539	91320.121	2834.518	D17
1756	94655.095	91199.531	2828.462	D18
1884	94693.457	91279.107	2842.043	D19
2224	94616.814	91272.093	2858.835	D20
2223	94593.130	91290.843	2862.226	D21
2334	94561.081	91291.464	2867.693	D22
2345	94547.026	91349.348	2855.969	D23
2401	94536.218	91311.978	2867.989	D24

Tabla 1.3 Mojones materializados

Punto No.	Norte	Este	Elevación	Referencia
5	94529.790	91398.102	2831.644	IGR1
7	94598.004	91357.493	2835.894	IGR2
516	94706.465	91291.329	2839.503	IGR3
1289	94760.700	91239.593	2821.035	IGR4

1. ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

1.1 ASPECTOS DE GEOLOGÍA REGIONAL

La zona trabajada hace parte de las laderas cercanas al Piedemonte sur de la Sabana de Bogotá y presenta una morfología de ladera con pendientes que varían entre 25 y 45º.
Se encuentra sobre una secuencia sedimentaria que hace parte del flanco occidental del Sinclinal de Usme y en la que predominan areniscas cuarzosas dispuestas en capas gruesas (más de 3 metros de espesor) intercaladas con lodolitas grises de fisibilidad baja que conforman la Formación Arenisca Tierna del Grupo Guadalupe. La ladera se encuentra cubierta parcialmente por paquetes coluviales productos de deslizamientos relativamente recientes, ligados a la explotación inadecuada de materiales de construcción y materiales antrópicos.
Los macizos rocosos se encuentran intensamente fracturados, llegando a presentar brechamiento y zonas con harina de falla. Estos procesos tectónicos se relacionan con fallas que poseen una importante componente de rumbo tipo dextral. (Ver la geología regional formulada por Ingeocim, 1999 en la Figura 1.1)

1.2 ESTRATIGRAFÍA

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

1.2.1 Grupo Guadalupe (Ksg)

Nombre: Propuesto por Hettner (1892) y redefinido por Hubach (1957) y Renzoni (1968) quienes lo subdividieron en Arenisca Dura (Ksgd), Plaeners (Ksgp) y Labor y Tierna (Ksglt). El nombre de esta unidad procede del Cerro de Guadalupe, que conforma la Sierra de Bogotá.
Edad: Cretácico Tardío (Campaniano - Maastrichtiano Superior).

1.2.1.1 Características físicas de la roca en el área tipo

Formación Labor y Tierna (Ksglt): Areniscas blancas a grises claras, de grano fino a grueso, con estratificación gruesa a muy gruesa. La parte superior del conjunto la conforman areniscas cuarzosas y feldespáticas, de grano medio a conglomerático, ligeramente duras a friables, con estratificación inclinada, intercaladas con capas delgadas de arcillolitas grises claras.

1.2.1.2 Características físicas de la roca en el área de estudio

Formación Labor y Tierna (Ksglt): Areniscas cuarzosas de grano fino, color gris claro a blanco amarillento, bien seleccionadas, competentes, con cementación moderada a buena, en capas generalmente gruesas (más de 2 metros), presencia de estratificación interna inclinada e ichnofosiles en las capas de techo. Se presentan intercalaciones de lodolitas

poco fisibles de color gris, dispuestas en capas delgadas con estratificación ondulosa paralela y laminación plano paralela.

1.2.1.3 Características geotécnicas y procesos morfodinámicos típicos

Los macizos rocosos correspondientes al Grupo Guadalupe se caracterizan por su variabilidad. Se puede generalizar un comportamiento de macizo rocoso la Formación Labor y Tierna, donde predominan areniscas de regular a buena cementación, con intensidad de fracturamiento variable. Sin embargo, los macizos rocosos explotados en la zona del Volador (bancos de areniscas) tienen intercalaciones de lodolitas grises, que han conformado los planos a lo largo de los cuales se han presentado o se están presentado deslizamientos planares de grandes magnitudes en las zonas de extracción de materiales cercanas (antigua cantera El Volador, adyacente a la zona de estudio y canteras Santa Helena e Industrial y Minera La Quebrada, ubicadas al occidente).
La medición de las características geotécnicas de las lodolitas en los estudios de amenaza llevados a cabo por la DPAE han dado como resultado ángulos de fricción interna de 16 a 18º para las lodolitas (que gobiernan las condiciones de estabilidad del macizo), dependiendo de las condiciones de humedad a las que se encuentren (DPAE, 2002).
Los deslizamientos planares de macizo rocoso se dan en zonas en las cuales se quitó el soporte basal a flancos monoclinales con cortes aproximadamente paralelos al rumbo de las estructuras y donde además afloraban intercalaciones lodosas que al humedecerse pierden sus propiedades normales de resistencia.

1.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La zona de estudio se ubica en el flanco occidental del Sinclinal de Usme, pero dicho flanco presenta replegamientos menores y fuerte afectación tectónica. El Mapa Geológico de Ingeocim-DPAE (1999) mostrado en la Figura 3.1 muestra una falla regional de rumbo, con componente dextral dentro de la zona de estudio.
En cuanto a plegamientos, no se observa este tipo de estructuras en la zona de estudio.

1.4 GEOLOGÍA LOCAL

Se llevó a cabo el levantamiento cartográfico de la geología detallada, caracterizando cada una de las unidades de roca aflorantes en la zona de estudio (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Las areniscas dispuestas en bancos o capas muy gruesas y que mostraban buena calidad de afloramientos (generalmente relacionados con escarpes de antiguos frentes de extracción) fueron sub-divididas de acuerdo con su fracturamiento (Número de Cecil). Es importante destacar que en la totalidad de la zona de estudio aflora la Arenisca Tierna (Ksgt), con lo que se aporta en el ajuste del mapa Ingeocim - Upes (1999), en donde se cartografía la parte inferior del sector estudiado como parte de la Formación Guaduas.
A continuación se describen las unidades, de más antigua a más reciente:

1.4.1 Unidades roca

1.4.1.1 Unidad de arenisca alterada (Kgst - Are 0)

Esta unidad aflora en la parte más occidental de la zona de estudio. Su afloramiento consiste en un escarpe de suelos residuales arenosos, con parches de macizo rocoso brechado. Consiste de areniscas de grano medio, friables debido a la acción de agentes de meteorización.

1.4.1.2 Unidad de Lodolita basal (Kgst - Lod1)

Solamente aflora en la parte baja del talud norte de la zona de estudio. Consiste de lodolitas grises poco fisibles, en capas ondulosas plano-paralelas (Fotografía 3.1). Presenta delgadas intercalaciones de arenisca lodosa de grano fino, bien cementadas. Altera a suelos residuales arcillosos de colores pardos.



Fotografía 3.1. En la parte inferior del escarpe, Lodolita basal (Kgst - Lod1) la cual infrayace la Arenisca basal (Kgst - Ar1). Obsérvense las pequeñas fallas que parten las areniscas y los voladizos que pueden permitir la caída de bloques.

1.4.1.3 Unidad de Arenisca basal (Kgst - Are1)

Cuarzoarenisca maciza, dispuesta en bancos (espesor cercano a 15 metros), de colores pardos claros (Fotografía 3.2). De esta unidad se observa un buen afloramiento, pues en el escarpe oeste, donde está su mejor exposición se encuentra intensamente fracturada. En el tope muestra rugosidad a nivel meso por la presencia de ichnofosiles (lo que permite afirmar sin dudas que en la zona baja continua aflorando la Formación Arenisca Tierna). Las areniscas son macizas, de grano medio a grueso, de subangulares a subredondeados y en ciertos niveles se observan foraminíferos (microfósiles). En las zonas de fracturamiento intenso su comportamiento es el de un suelo coluvial arenoso o incluso el de suelo arenoso (paquetes de harina de falla).
Esta arenisca se encuentra muy meteorizada en algunas zonas del norte del área de estudio, donde grada a suelos residuales arenosos pardos-rojizos (tipo IB a IIA, de acuerdo con

Deere & Patton) que engloban regolito en forma de bloques de arenisca subangulares. Estos horizontes de meteorización son susceptibles ante el carcavamiento. Por otra parte, los colores rojizos pueden evidenciar la estabilidad de la zona.



Fotografía 3.2. Arenisca basal (Kgst - Are1). Nótese el fracturamiento moderado que presenta el macizo rocoso en este talud (hacia el norte de la zona de estudio) y la rugosidad a nivel meso de las paredes de las diaclasas.

1.4.1.4 Unidad de Intercalaciones lodosas ondulosas (Kgst - Lod2)

Intercalaciones de lodolitas grises poco fisibles con capitas de areniscas bien cementadas con espesores menores de 5 cm. La geometría de las capas es muy ondulosa y su respuesta ante la deformación es dúctil, observándose de manera frecuente cambios fuertes de espesor, especialmente en las zonas de falla. En la mitad superior de esta unidad predominan casi totalmente las lodolitas. La observación cuidadosa de las longitudes de onda y la amplitud de la onda de la ondulosidad a lo largo de los afloramientos permite proponer que dichos rasgos no son una estructura sedimentaria sino una respuesta deformativa ante los esfuerzos tectónicos (Fotografía 3.3)



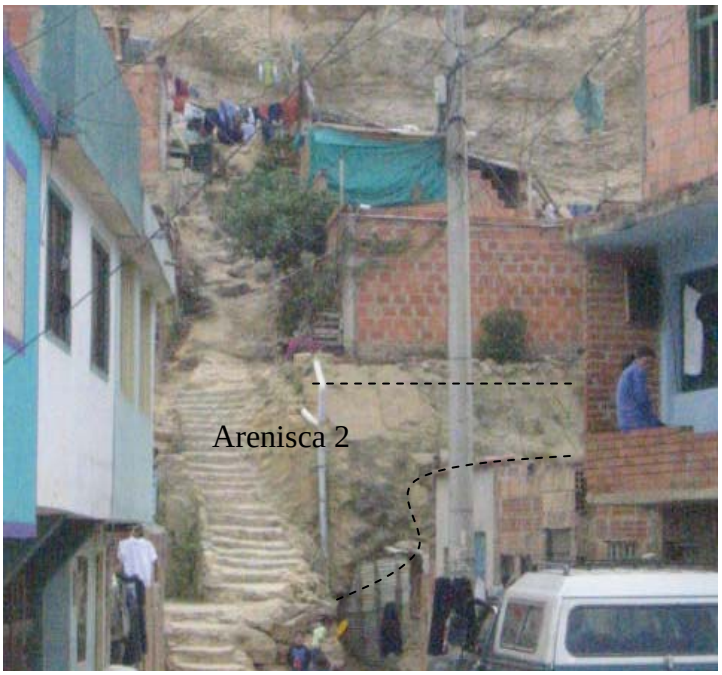
Fotografía 3.3. Intercalaciones lodosas ondulosas (Kgst - Lod2). La ondulosidad es más marcada en la parte inferior, con longitud de onda menor y amplitud de onda mayor que en la parte alta. Lo anterior puede explicarse en el sentido que la ondulosidad en este caso es un rasgo de deformación debida a esfuerzos tectónicos y no una estructura sedimentaria.

1.4.1.5 Unidad de Arenisca maciza en capa gruesa (Kgst - Are 2)

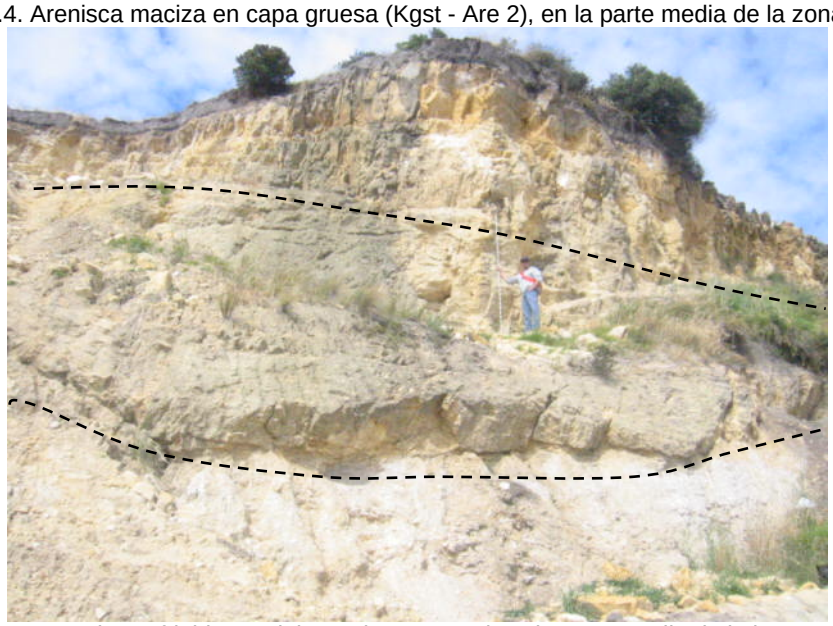
Cuarzoarenita de color amarillo, con delgadas intercalaciones de lodolitas (menores de 2 cm). Se dispone en capas plano - paralelas con espesor menor de 3 metros (Fotografía 3.4). Los afloramientos de esta unidad son escasos.

1.4.1.6 Unidad de Areniscas friables ondulosas (Kgst - Are3)

Estas areniscas son más lodosas que las areniscas macizas y muestran algunas intercalaciones de capas de lodolitas grises. Siempre se observan con mayor contenido de humedad natural que el banco de arenisca maciza que la suprayace. Las capas de areniscas tienen espesores entre 20 y 30 cm y las capas de lodolitas intercaladas no superan los 2 cm. (Fotografía 3.5)



Fotografía 3.4. Arenisca maciza en capa gruesa (Kgst - Are 2), en la parte media de la zona de estudio.



Fotografía 3.5. Areniscas friables ondulosas (Kgst - Are3) en la parte media de la imagen, las cuales suprayacen a la parte superior (con predominio de arcillolitas) de la unidad de Lodolitas 2 e infrayace la unidad de areniscas macizas superiores (Kgst – Are4)

1.4.1.7 Unidad de Areniscas macizas superiores (Kgst - Are4)

Cuarzoarenitas de grano medio a grueso (se observan algunos niveles escasos con tamaño de grano muy grueso, cercano a 2 mm), subredondeados a subangulares, de color amarillo fuerte a blancuzco (Fotografía 5), en general más meteorizadas que el paquete de arenisca suprayacente. Muestran ichnofosiles en el tope y foraminíferos en ciertos niveles. Esta unidad fue el principal objetivo de extracción de la actividad minera que se desarrolló en la zona. (Fotografía 3.6).



Fotografía 3.6. Areniscas macizas superiores (Kgst - Are4). Nótese su intenso fracturamiento y las porciones de talud en voladizo o con inclinación sub-vertical.

1.4.1.8 Unidad de coluviones recientes (Qcol)

Se presenta en las zonas objeto de intervención extractiva y en ellas predominan los materiales arenosos, tanto en la matriz como en los bloques pétreos. También se incluyen en esta unidad el producto de los deslizamientos activos que se observan en la parte central y sur del área de estudio.

1.4.1.9 Unidad de suelos oscuros (Qcen)

La cobertura original de suelos oscuros producto de la acción orgánica sobre horizontes de cenizas provenientes de la Cordillera Central se conserva especialmente en la parte alta (occidente) de la zona de estudio. Consiste de suelos limosos de color gris claro, que suprayacen un horizonte de turba (suelo negro endurecido) con espesor menor de 10 cm.

1.4.2 Estructural

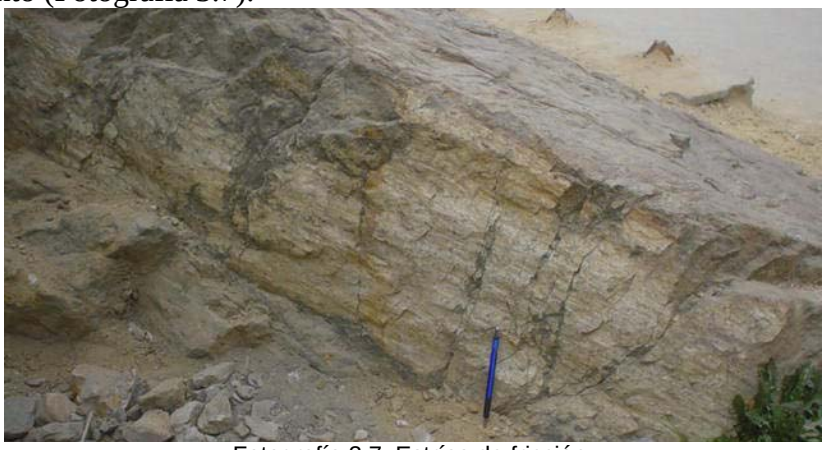
1.4.2.1 Mediciones

De la Tabla 1.1 a la Tabla 1.10 se presenta el inventario de las diaclasas y discontinuidades medidas en campo. Es importante anotar que las discontinuidades incluyeron la estratificación (en negrilla) y las fallas menores (en bastardilla), evidenciadas por estrías de fricción; en estos planos se midió, además de su acimut de buzamiento y su inclinación de buzamiento, la dirección (rumbo e inclinación) y el sentido de las estrías de fricción, con el fin de ligar estos datos con las estructuras regionales de fallamiento. En total se midieron 446 datos, que constituyen una muestra representativa de las discontinuidades del sector (los nombres de los taludes son informales). La red estereográfica de los datos medidos se

muestra en la Figura 1.2; los polos, en la Figura 1.3; las familias promedio, en la Figura 1.4 y, la condición cinemática de esfuerzos para la zona, en la Figura 1.5.

1.4.2.2 Análisis tectónico cinemático

En el sector de El Volador, los taludes medidos fueron clasificados de manera preliminar de acuerdo con su orientación. Se recolectaron datos estructurales correspondientes a estratificaciones, fracturas y fallas con sus respectivos indicadores cinemáticos de desplazamiento (Fotografía 3.7).



Fotografía 3.7. Estrías de fricción.

En el macizo rocoso se presentan cuatro familias principales de discontinuidades y algunas dispersas: (ver Figura 1.3 y Figura 1.4)

- D1 = Fracturas 215 / 72 con una frecuencia del 6,6%. Esta familia se encuentra asociada con fallas de rumbo, de carácter sinestral.
- D2 = Fracturas 321 / 84 con una frecuencia del 3,3%.
- D3 = Fracturas 147 / 67 con una frecuencia del 3,1%.
- D4 = Estratificación 68 / 27 con una frecuencia del 2,4%.
- Fracturas dispersas asociadas.

Estas familias se mantienen a lo largo y ancho de todo el sector. A las fallas registradas (12 en total), se les realizaron los cálculos de condición cinemática de esfuerzos, cuyos resultados fueron: (ver Figura 1.5)

- Plano principal de falla de rumbo sinestral, el cual origina la mayor cantidad de fracturas (203 / 72)
- Plano principal de falla conjugada = 298 / 77
- Dirección de esfuerzo principal S1 = 71 / 22 (Posible dirección de cizalla regional)
- Dirección de esfuerzo principal S2 = 240 / 68
- Dirección de esfuerzo principal S3 = 340 / 4

1.5 GEOMORFOLOGÍA

1.5.1 Morfoestructural

La zona de interés se encuentra en la parte alta de una ladera de tipo estructural que conforma un monoclinal fallado con inclinación hacia el oriente en cuya configuración

morfológica es claro el control estructural de rocas de resistencia alta ante la erosión. (Ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.)
La ladera tenía una inclinación promedio de 30º, pero fue intervenida por labores extractivas (como fuente de materiales de construcción) mediante cortes aproximadamente paralelos al rumbo de las capas en la parte más baja de la ladera. Como consecuencia de estas actividades, se crearon condiciones cinemáticas para la desestabilización de grandes porciones de macizo rocoso y las zonas de menor intervención fueron abandonadas con una reconfiguración morfológica inestable, tanto por los mencionados deslizamientos planares de macizo rocoso como por la creación de escarpes antrópicos sub-verticales sobre rocas sometidas a esfuerzos (voladuras) que disminuyeron sus características de resistencia.

1.5.1.1 Laderas estructurales denudacionales (Led)

Se ubican en la parte alta de la zona de estudio, en las áreas que no fueron intervenidas por la actividad extractiva (Fotografía 3.8). Se desarrollan sobre areniscas y lodolitas cubiertas por suelos coluviales delgados y suelos oscuros que enmascaran la litología. También se observan parches de rellenos antrópicos que no superan 1 metro de espesor. Sobre este tipo de formas no se observan procesos de remoción en masa antiguos ni recientes (como se detallará en el numeral de antecedentes de remoción en masa para la zona). Los rangos típicos de pendiente para estas zonas no intervenidas varían entre 15 y 20º.



Fotografía 3.8. Panorámica de las laderas estructurales denudacionales, en la parte alta de la zona de estudio.

1.5.1.2 Laderas intervenidas por la actividad extractiva (Lea)

La extracción de las areniscas destapó horizontes infrayacentes, que fueron dejados sin intervenir en muchos sectores, probablemente por la dificultad para su laboreo. Estas laderas son relativamente estables en la porción norte (Fotografía 3.9) de la unidad e inestables en la sur, con ocurrencia de deslizamientos de pequeña magnitud (menos de 500 m2) y flujos de tierra. Los gradientes de pendiente se encuentran en general en el rango entre 20 y 30º, aunque algunos sectores alcanzan pendientes de 40º (generalmente coincidente con los afloramientos de areniscas)



Fotografía 3.9. Panorámica de las laderas intervenidas por actividad antrópica, en la parte media de la zona de estudio.

1.5.1.3 Escarpes naturales

Existen remanentes de los escarpes naturales de las areniscas en la parte occidental norte de la zona de estudio (Fotografía 3.10), en la ladera que se dirige hacia la quebrada Limas. En ellas se pueden observar suelos residuales arenosos de colores rojizos, susceptibles al carcavamiento, que puede detonar procesos de remoción en masa de magnitud baja. Sus pendientes varían entre 45 y 70º.



Fotografía 3.10. Taludes naturales remanentes. Su estabilidad en el tiempo se evidencia por colores rojizos (indican un intemperismo en condiciones climáticas diferentes a las actuales). Debido a que las areniscas que los conformaron se encuentran muy meteorizadas, son susceptibles al carcavamiento.

1.5.1.4 Escarpes mecanizados

Son los escarpes producidos por la actividad extractiva o por el retroceso de ellos mediante procesos de remoción en masa. Sus pendientes son sub-verticales, con segmentos en voladizo (Fotografía 3.11). Están sujetos a la caída de bloques, dado su fracturamiento y la

disminución de sus características de resistencia por los esfuerzos a los que fueron sometidos durante su laboreo como yacimiento minero. Sus pendientes varían entre 60 y 90º, con algunos taludes o porciones de talud en voladizo.



Fotografía 3.11. Taludes mecanizados producidos por la intervención antrópica, relacionada con la extracción de materiales de construcción.

1.5.1.5 Explanaciones antrópicas

Formas suaves producidas por las actividades extractivas y posteriormente por adecuaciones para vías o viviendas. Suelen ubicarse adyacentes a los taludes de la antigua explotación minera sobre suelos residuales arenosos. En general, estas formas han sido urbanizadas. (Fotografía 3.12)



Fotografía 3.12. En primer plano, la perforación 1. Al fondo, las formas suaves características de la unidad Explanaciones antrópicas..

1.5.2 Morfodinámica

1.5.2.1 Meteorización

La meteorización es el conjunto de procesos externos (físico-químicos) que causan la alteración y desintegración de los componentes de las rocas y los suelos.
Para el área estudiada, el factor principal de meteorización es de tipo hídrico, en la que el lavado de ciertos minerales, y la concentración de otros, lleva al cambio de los suelos originales en suelos tipo residual.
Los procesos de meteorización se muestran en estadios avanzados en los remanentes de escarpes naturales no intervenidos, donde se observan suelos residuales arenosos de colores rojizos. Estos colores, concordantes con altos contenidos de óxidos e hidróxidos de hierro se relacionan con ambientes tropicales húmedos, no con los ambientes secos semidesérticos como el que actualmente se encuentra en la zona de estudio. Todo lo anterior permite inferir que el área tuvo una larga estabilidad en el tiempo, pero que dicha situación fue modificada por la intervención antrópica (extracción de materiales).

1.5.2.2 Erosión hídrica concentrada

Se definen como el grupo de eventos por medio de los cuales el material rocoso o los suelos son desprendidos o disueltos y transportados por el agua a lo largo de un eje lineal. Esto incluye, en el caso de los suelos, el movimiento de partículas arrancadas por el impacto de las gotas de lluvia que son transportadas en un flujo superficial.
Para la zona de estudio se encuentran surcos desarrollados sobre las caras desnudas de los escarpes naturales en los que afloran suelos residuales arenosos (Fotografía 3.13).



Fotografía 3.13. Carcavamiento sobre taludes naturales arenosos.

1.5.2.3 Procesos de remoción en masa

Los procesos identificados en campo se localizan en planta en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, de ellos se hizo un inventario que involucra características básicas como localización y área afectada, litología, clasificación, daños reales y potenciales, clasificación, morfometría, actividad y otros aspectos de relevancia para el

estudio. El resultado de este trabajo se muestra en fichas individuales por proceso en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Deslizamientos

El movimiento consiste de deformación por corte y desplazamiento, a lo largo de una o varias superficies que son visibles o pueden inferirse razonablemente, o dentro de una zona mas o menos estrecha. La rotura del talud no siempre es simultánea en todos los puntos de la superficie de falla, sino que puede propagarse desde una zona de falla local. La masa afectada puede deslizarse mas allá de la superficie original de rotura sobre el terreno natural (Invias, 1996).
Los deslizamientos se clasifican, de acuerdo con su forma de ruptura, como rotacionales o traslacionales. A continuación se describen los últimos, que son los que se presentan en el área trabajada:
Se relacionan con movimientos en los cuales la superficie de ruptura coincide con una superficie estructural, como un plano de buzamiento de una falla geológica, un plano de estratificación, un plano de diaclasa, etc. En este movimiento, la masa deslizada se efectúa por traslación sobre el plano de falla. A diferencia de los rotacionales, en los traslacionales es inherente la heterogeneidad de los materiales involucrados.
En la parte norte, en un talud afectado por actividad extractiva se encuentran este tipo de procesos (2 deslizamientos traslacionales) sobre areniscas muy alteradas y suelos residuales arenosos, con flujos de detritos asociados. Al parecer el agente detonante son las fugas de aguas servidas de viviendas ubicadas en la parte alta (Fotografía 3.14).



Fotografía 3.14. Deslizamiento traslacional en suelo residual arenoso costado norte.

Caídas y desprendimientos

Una caída representa la disgregación rápida de un volumen de material litológico a lo largo de una superficie sobre la cual ocurre muy poco desplazamiento cortante. Este movimiento ocurre sobre taludes verticales, sub-verticales o en voladizos, donde la gravedad constituye el principal agente motor del movimiento (Figura 1.7). Las caídas, desprendimientos o

desplomes son generados por procesos similares; ellos se distinguen solamente por la magnitud del fenómeno.
Las caídas son generalmente movimientos intermitentes en caída libre, asociados a escarpes de macizos rocosos con material litológico resistente y que presentan fracturamiento moderado a intenso; el volumen de material afectado es generalmente bajo y representa fragmentos independientes (cantos a bloques, y excepcionalmente, megalitos)
En los desprendimientos se produce una disgregación de masa litológica ya sea de suelo o roca fracturada y existe un descenso súbito con fragmentación del material a lo largo de una ladera de fuerte pendiente.
En los desplomes hay una disgregación de una masa litológica generalmente rocosa y de volumen considerable y forma en la base o pie un depósito caótico de material grueso.
En el caso de la zona de estudio el proceso se da a partir de las areniscas dispuestas en bancos con desprendimiento y caída de material en fragmentos mayores de 30 cm. En cuanto a volumen, el fragmento más grande observado tiene aproximadamente 0,1 m^3; es importante anotar que la masa del fragmento se relaciona directamente con la energía cinética que alcance el bloque en su caída y por lo tanto en el potencial de daño que pueda causar. (Fotografía 3.15)



Fotografía 3.15. Posibilidad cinemática de caída de bloques, siguiendo planos de diaclasas.

1.6 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE PROCESOS DENUDACIONALES.

Debido a que el IGAC no tenía a la venta ningún tipo de fotografía aérea a la fecha de realización del estudio, se consultaron las imágenes dentro de dicha institución, pero no se ilustran dentro del texto.

1.6.1 Año 1956 (C-773, Foto 057)

Se observa carcavamiento en la parte baja de la zona de estudio, pero no existen evidencias de movimientos en masa en esta imagen. La cobertura del suelo es de pasturas y para esta

época aún no se da la intervención por industrias extractivas. Es importante anotar que ya existe el acceso principal de la zona.

1.6.2 Año 1963 (R-590, Foto 022)

Esta fotografía (ver Figura 1.8 y Figura 1.9) fue analizada para determinar lineamientos fotogeológicos regionales que puedan ayudar a dilucidar los resultados obtenidos de la medición de diaclasas.
En cuanto a la situación morfodinámica de la zona de estudio, aun no se encuentra intervenida por la actividad extractiva y su situación es similar a la descrita para la fotografía aérea de 1956, aunque con el avance de los carreteables ladera arriba.

1.6.3 Año 1973 (C-1439, Foto 092)

Evidencias de un deslizamiento planar de macizo rocoso, no controlado, provocado por la pérdida de soporte basal debido a la actividad extractiva (cantera El Volador). Se observa la evolución del carcavamiento en la parte baja de la zona de estudio.

1.6.4 Año 1976 (C-1679)

El área afectada por la extracción de materiales de construcción ha aumentado, especialmente en la zona de estudio. Aún no se aprecia la urbanización de la zona.

1.6.5 Año 1987 (C-2323)

La zona ubicada abajo del acceso principal se encuentra urbanizada, con lo que se ha cubierto el área previamente afectada por carcavamiento. La actividad extractiva ha avanzado en el talud que buza hacia la quebrada Limas, al occidente de la zona de estudio.

1.6.6 Año 1998 (SAV-415, Faja 4, Foto 086)

La zona de estudio fue totalmente intervenida por actividades extractivas. Al occidente se encontraba la cantera El Volador, la cual mostró grandes deslizamientos planares de macizo rocoso inducidos por la actividad extractiva. La zona de estudio presenta una intervención de menor área. Por otra parte, ya se encuentra urbanizada la zona baja. (Figura 1.10)

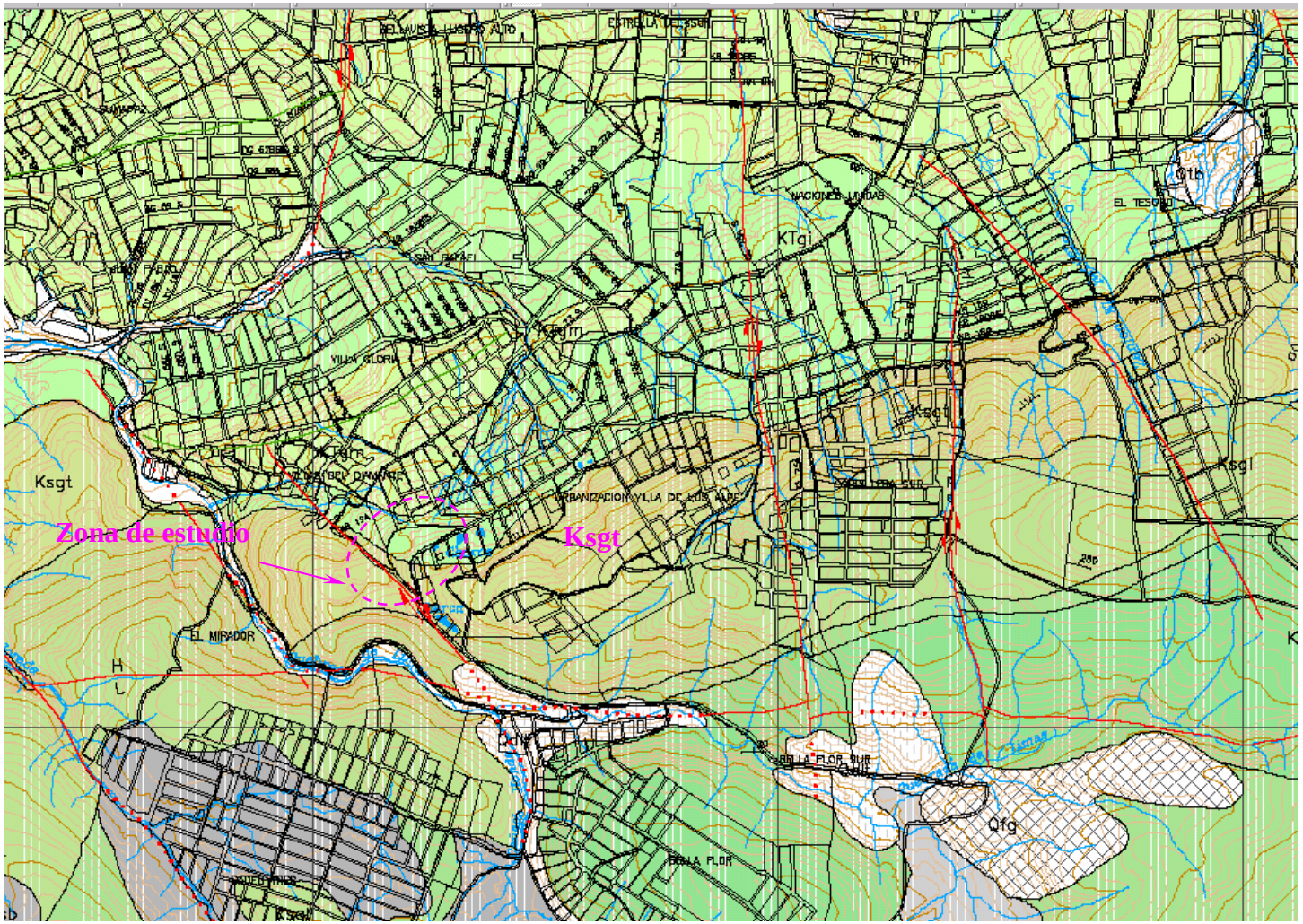


Figura 1.1 Marco geológico regional (Tomado de Ingeocim, 1999)

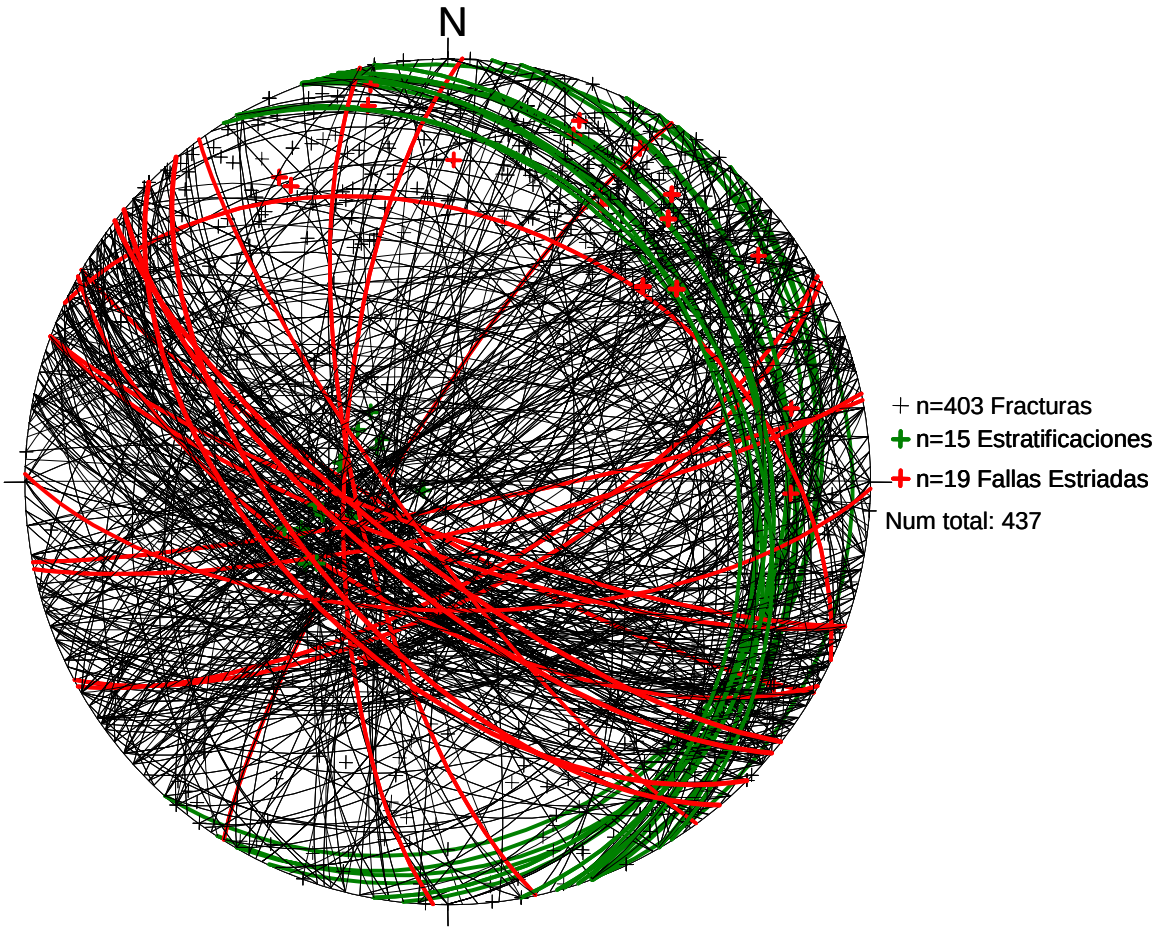


Figura 1.2 Estereógrafa de diaclasas

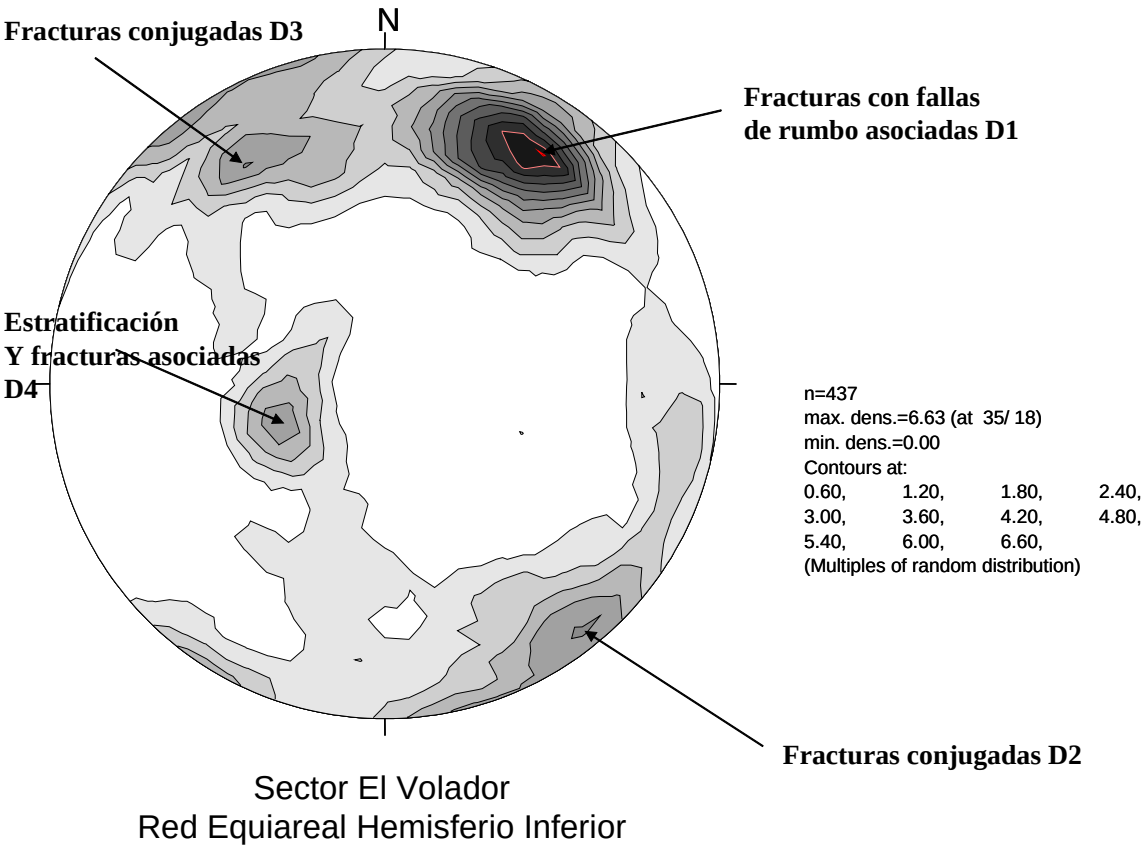


Figura 1.3 Polos para la totalidad de las diaclasas medidas

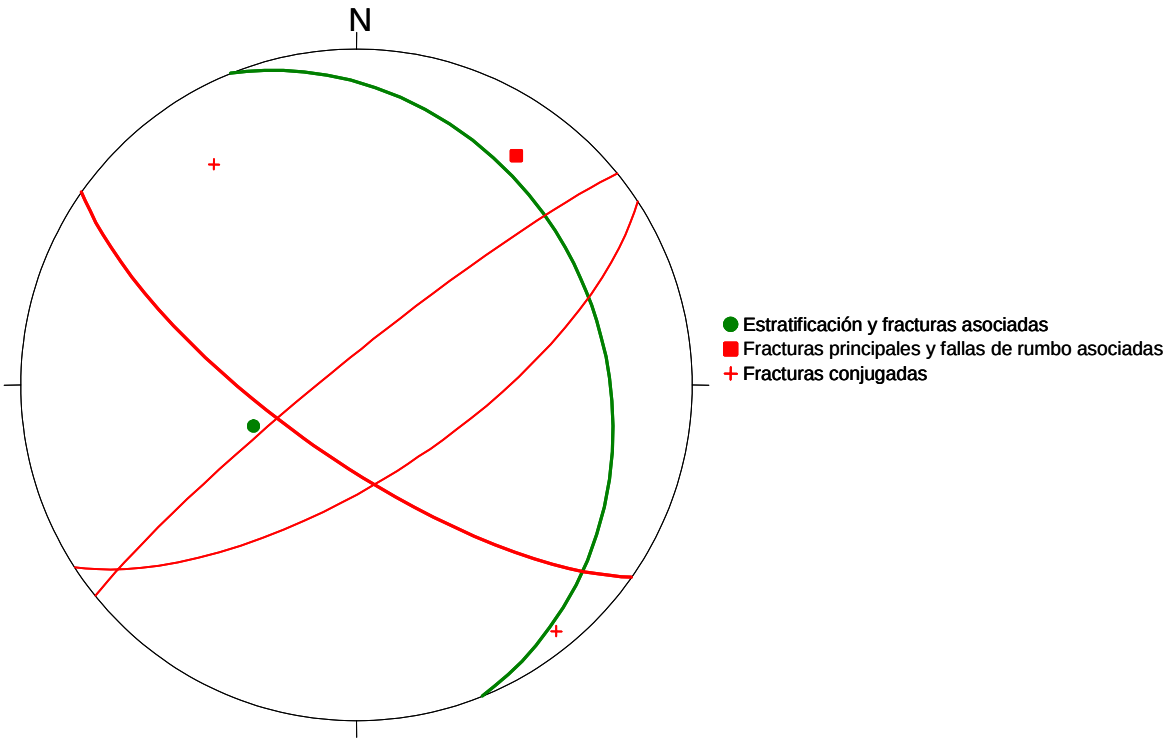


Figura 1.4 Discontinuidades promedias a partir de la totalidad de las diaclasas

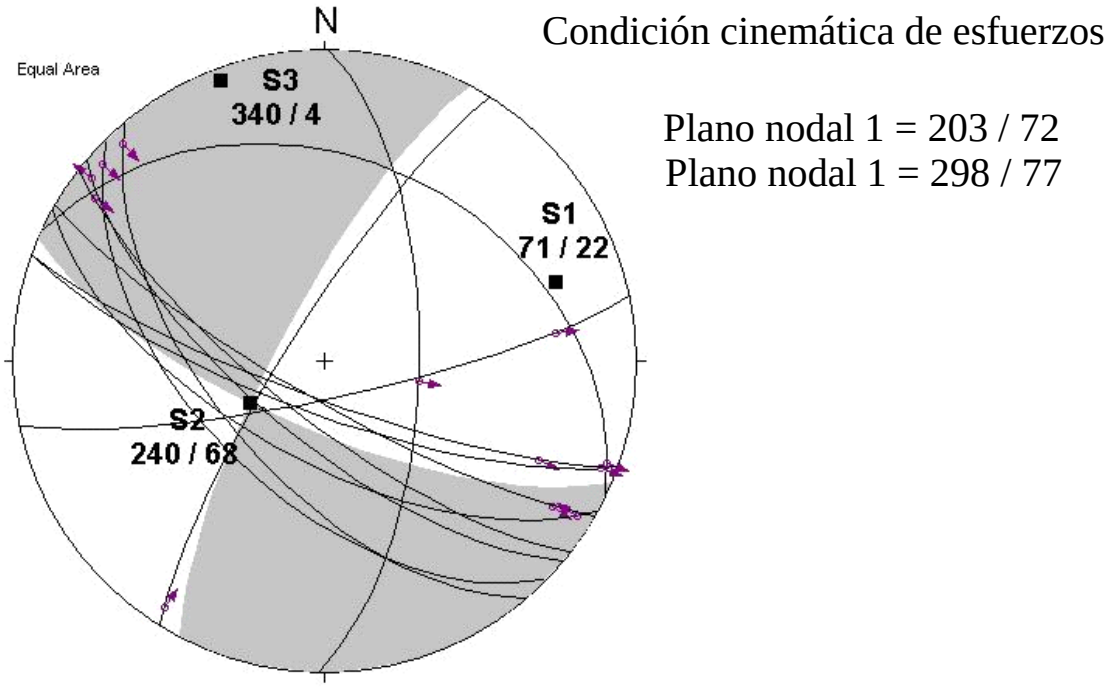


Figura 1.5 Condición cinemática de esfuerzos para la zona de estudio

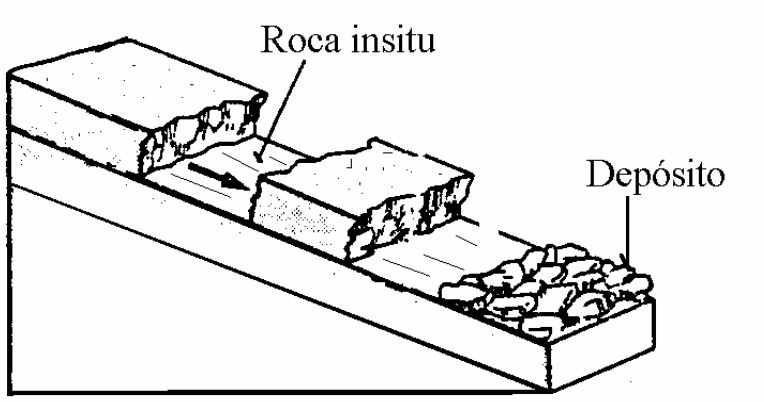


Figura 1.6 Ejemplo de deslizamiento traslacional de rocas (Varnes, 1978).

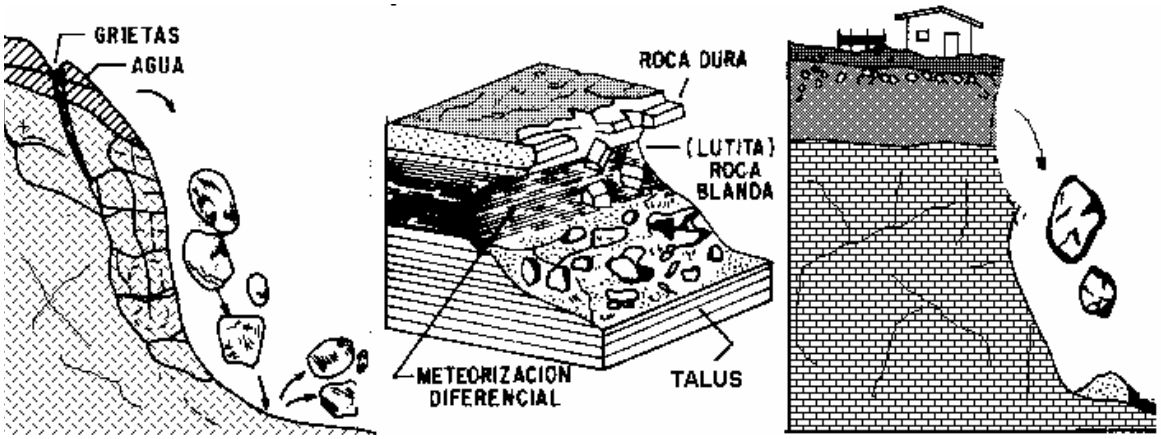


Figura 1.7 Ejemplos de caídas de rocas (Modificado de García, M. 1988)

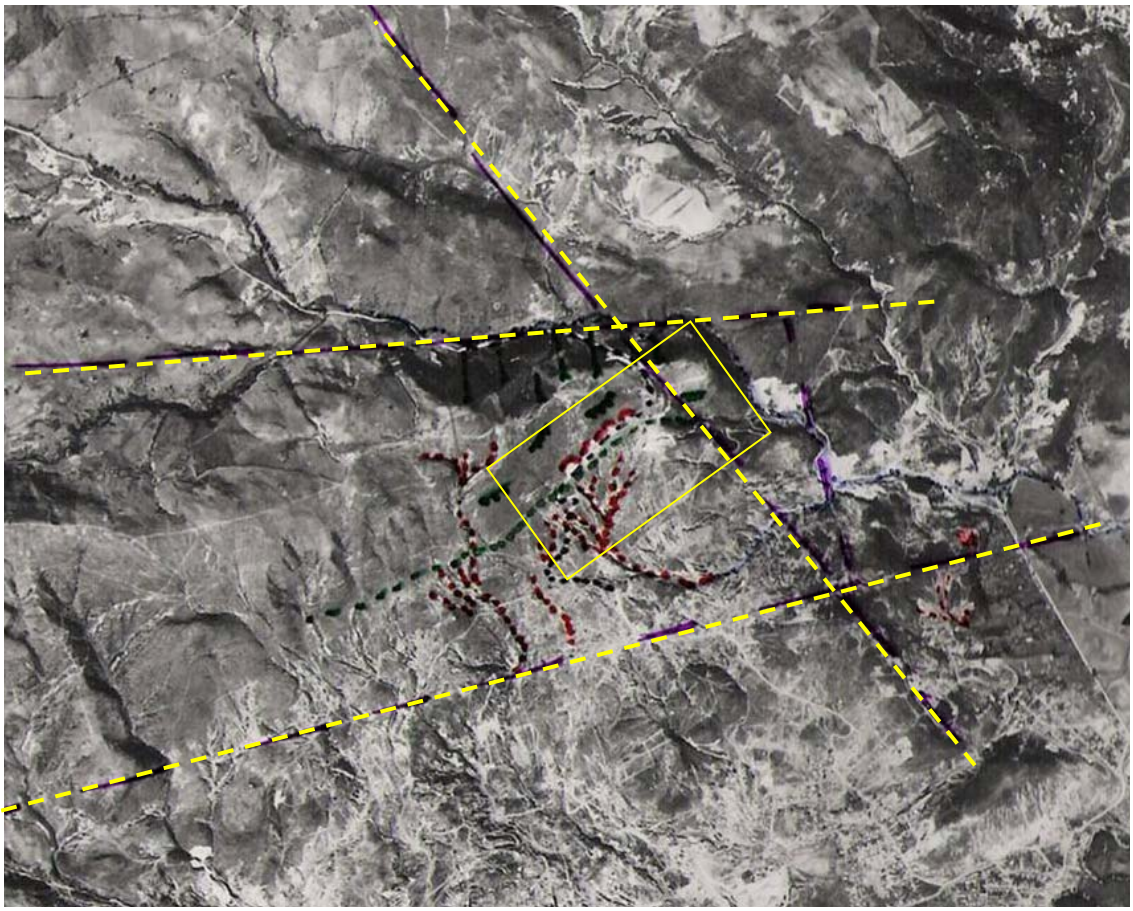


Figura 1.8 Fotografía aérea de 1963.

Nótense los lineamientos fotogeológicos. La zona de estudio se encuentra dentro del recuadro.

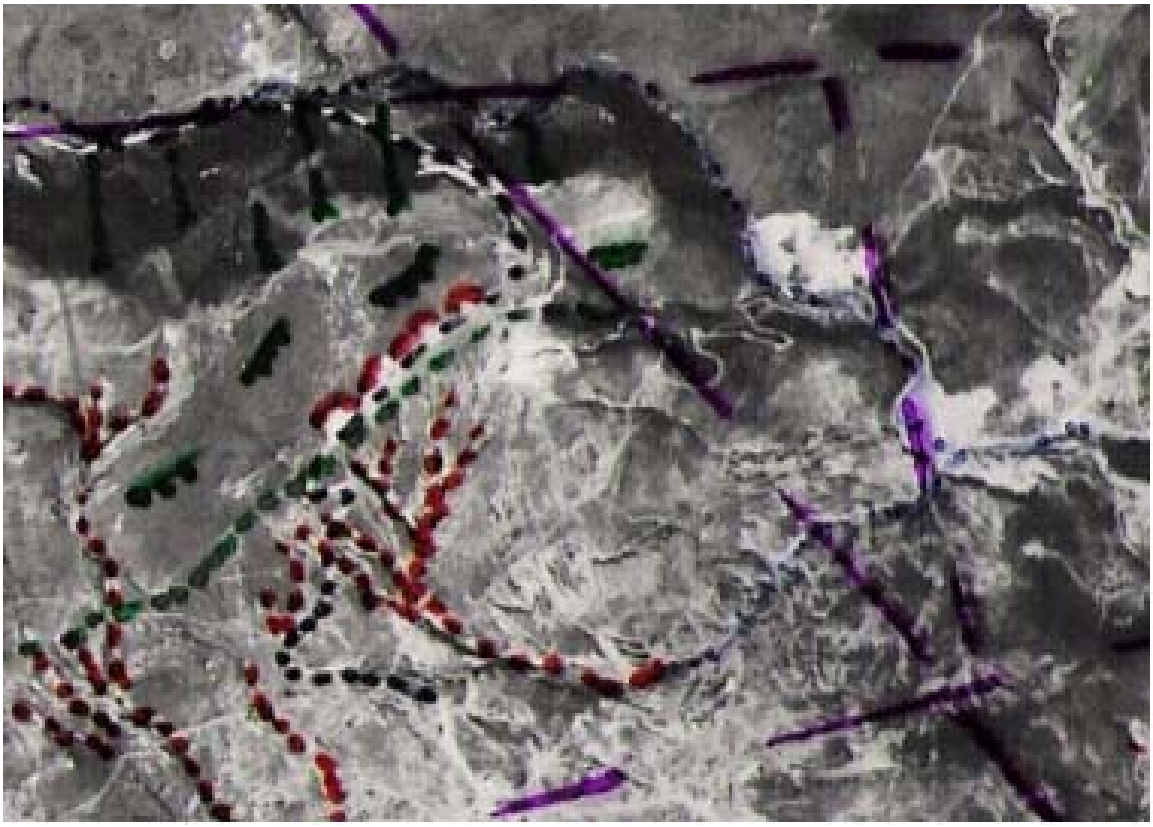


Figura 1.9 Detalles de la fotografía aérea de 1963

En rojo las canteras incipientes con extracción de la zona basal de areniscas, con cortes aproximadamente paralelos al rumbo, lo cual posibilita cinemáticamente los deslizamientos planares. De igual manera, se muestran en rojo las cárcavas de la zona arcillosa ubicada en la parte baja.



Figura 1.10 Fotografía de 1998

Nótese la intervención urbanística y los problemas de inestabilidad en los taludes de estudio, dejados por los procesos de extracción de materiales de construcción.

Tabla 1.1 Datos estructurales levantados en campo - Talud 1

(aproximadamente coincidente con el levantamiento de columna estratigráfica C-1A mostrado en el plano geológico)

Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento
150	65	170	50	200	75
10	60	210	85	114	40
10	66	190	76	126	50
216	85	290	85	188	70
210	80	348	62	190	72
318	85	180	80	122	35
215	70	198	65	10	34
344	89	6	75	198	75
212	85	10	68	276	76
354	86	192	52	192	80
268	80	310	74	148	22
30	88	7	69	102	42
170	89	2	70	140	88
170	70	94	66	210	71
10	60	354	90	314	30
42	50	304	81	201	80
212	78	174	59	200	72
8	52	325	80	288	77
354	85	**60**	**27**	60	50
163	70	308	63	170	75
155	76	278	64	210	80
38	50	206	61	150	65
10	56	60	78	345	38
140	70	350	90	162	50
20	83	192	67	167	56
70	**20**	200	60	23	52
70	5	204	74	40	54
96	20	**70**	**40**	163	50
70	**30**	344	51	300	72
132	20	136	61	298	75
123	15	36	90	25	61
120	20	90	25	164	51
115	15	20	90	20	60
10	75	220	85	160	56
15	80	145	66	266	71
3	90	90	27	0	50
0	90	270	63	210	70
284	88	203	80	16	40
0	45	278	79	215	80
286	77	208	79	158	35
4	48	160	50	210	69
196	76	140	62	205	62
260	79	302	80	42	75
164	84	110	65	135	78
40	90	120	48	134	90
330	62	215	70	**60**	**22**
280	81	178	65	56	30
345	76	**74**	**36**	30	70
112	60	315	90	206	64
210	85	192	80		
Acimut buzamiento plano	Inclinación buzamiento plano	Acimut buzamiento estría	Inclinación buzamiento estría	Sentido	
302	*80*	*190*	*6*	*Dextral*	

Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento
210	*80*	*128*	*14*	*Sinestral*	

Tabla 1.2 Datos estructurales levantados en campo - Talud 2 (coincidente con el corte D – D´)

Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento
142	88	60	60	42	75
217	65	325	70	232	65
214	70	204	71	76	62
126	75	8	25	78	58
318	72	170	63	194	70
144	65	310	85	132	35
288	28	204	70	192	75
212	55	211	67	116	75
215	76	42	25	204	80
160	60	116	75	206	72
130	76	297	88	198	55
166	60	138	88	190	65
83	84	160	62	322	55
217	67	28	80	106	80
241	76	320	80	200	65
165	70	282	85	260	70
146	70	215	78	125	55
210	65	138	82	222	75
220	76	322	80	180	53
342	72	152	65	154	65
158	75	58	83	214	60
146	66	155	85	158	60
217	67	212	62	176	70
287	80	150	45	16	45
218	77	214	75	228	70
208	25	326	80	138	70
222	75	324	75	250	80
220	65	150	56	220	35
155	76	278	80	132	65
182	69	342	65	176	57
240	75	225	75	330	80
32	15	152	85	284	76
233	70	202	82	194	65
145	83	212	72	166	85
241	70	146	72	130	55
158	50	180	80	0	76
328	82	120	85	114	40
146	72	272	80	154	62
205	64	220	72	162	62
202	65	222	55	200	50
220	65	140	70	146	80

Tabla 1.3 Datos estructurales levantados en campo - Talud 3 (aproximadamente coincidente con el corte C – C´)

Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento

Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento
72	**30**	151	71	22	35
191	63	152	68	169	85
324	65	220	55		

Tabla 1.4 Datos estructurales levantados en campo - Talud 4

(aproximadamente coincidente con el corte B – B´), incluyendo estratificación.

Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento
206	75	210	65	286	37
124	75	144	25	**73**	**42**
140	85	284	35		

Tabla 1.5 Datos estructurales levantados en campo - Talud Oeste

(aproximadamente coincidente con el levantamiento de columna estratigráfica C-5 mostrado en el plano geológico)

Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento
100	21	15	85	230	44
4	85	310	65	315	90
164	84	**60**	**32**	330	85

Tabla 1.6 Datos estructurales levantados en campo - Talud D. Gabriel

(aproximadamente coincidente con el levantamiento de columna estratigráfica C-6 mostrado en el plano geológico)

Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento
182	76	160	82	330	52
222	80	340	83	218	56
218	72	50	23	330	65
298	86	38	86	205	40
170	69	326	64	202	57
300	40	145	86	160	86
166	64	40	85	330	85
232	70	350	85	206	88
235	79	155	90	200	70
180	56	148	88	208	66
26	30	335	82	340	82
222	74	162	86	204	74
312	86	192	70	345	59
58	**25**	338	65	274	90
26	85	332	56	328	80
312	85	334	55		
350	90	220	68		

Tabla 1.7 Datos estructurales levantados en campo - Talud adyacente al Colegio

Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento

74	**30**	302	80	195	64
212	76	320	78		
210	85	325	88		
Acimut buzamiento plano	Inclinación buzamiento plano	Acimut buzamiento estría	Inclinación buzamiento estría	Sentido	
200	*80*	*111*	*25*	*Sinestral*	
25	*38*	*110*	*5*	*Dextral*	
200	*76*	*126*	*5*	*Sinestral*	
168	*80*	*88*	*26*	*Sinestral*	
209	*64*	*126*	*5*	*Dextral*	

Tabla 1.8 Datos estructurales levantados en campo - Talud contiguo a la malla del parque

(aproximadamente coincidente con el perfil A-A´)

Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento
270	67	218	71	324	76
272	70	324	87	**70**	**33**
320	70	228	50	343	74
90	25	216	48	202	60
258	72	310	80	230	57
222	70	260	45	325	66
42	85	224	53	220	65
75	**25**	208	65	181	65
218	65	196	62	102	27
330	80	138	87	284	70
210	66	225	80	162	75
228	78	215	50	202	78
155	90	316	80	280	68
225	72	210	57	**70**	**22**
80	**26**	228	55	200	67
Acimut buzamiento plano	Inclinación buzamiento plano	Acimut buzamiento estría	Inclinación buzamiento estría	Sentido	
272	*70*	*0*	*0*	*Dextral ?*	
258	*72*	*358*	*5*	*Dextral ?*	

Tabla 1.9 Datos estructurales levantados en campo - Talud ubicado 20 metros al noreste del contiguo a la malla del parque

Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento
150	77	220	60	**60**	**34**
194	70	312	79	196	64
234	80	202	54	200	75
338	72	160	75	138	89
210	70	30	50	190	63
303	60	322	76	58	30

74	**33**	28	86	258	65
220	70	210	55	320	85
344	80	192	54	197	55

Tabla 1.10 Datos levantados en campo - Talud contiguo al Sondeo 3

Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento
230	60	220	60	218	75
Acimut buzamiento plano	Inclinación buzamiento plano	Acimut buzamiento estría	Inclinación buzamiento estría	Sentido	
225	*55*	*225*	*55*	*Dextral ?*	

1. CLIMA, HIDROLÓGICA, HIDRÁULICA, HIDROGEOLOGÍA Y SISMOLOGÍA

1.1 CLIMA

La caracterización del clima del área se llevó a cabo con base en la información de los elementos constitutivos del mismo, sobre los cuales se dispone de información.

1.1.1 Información disponible

De acuerdo con las investigaciones adelantadas tanto en la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, en la CAR y en el IDEAM, aunque existen varias estaciones de medición, en no todas ellas se miden los elementos del clima necesarios para los objetivos propuestos. De las estaciones analizadas se seleccionó la de Doña Juana, cuya información corresponde con el mayor número de elementos y adicionalmente, es la más cercana al área de interés.
La caracterización de la precipitación media se adelantó con la información correspondiente a la estación Casa Blanca, la cual posee una serie que data de 1976, representativa para los análisis realizados y por otra parte, dada su cercanía con el área de interés, parece ser la que mejor refleja el régimen de precipitación desde el punto de vista de su distribución espacial y en el tiempo.
La precipitación máxima se determinó a partir de las curvas IDF obtenidas por la EAAB para el sector. Esta selección se llevó a cabo teniendo en cuenta los objetivos perseguidos con su determinación.
En la Figura 4.1 se presenta la localización de las estaciones y el patrón de distribución territorial de la precipitación media mensual en la Sabana de Bogotá, obtenido por INGEOMINAS en el marco del estudio de deslizamientos en el área cercana a la que es objeto del presente estudio.
Dentro de este orden de ideas se seleccionó para efecto de análisis la información sobre temperatura media del aire, Humedad Relativa media mensual y Brillo solar de la estación Doña Juana y los valores totales mensuales de precipitación correspondientes a la estación Casa Blanca en el tanque de la EAAB Sierra Morena.
De los análisis realizados con anterioridad para estudios similares de áreas cercanas se puede concluir que el clima del área es, con muy pocas diferencias, similar al de la Sabana de Bogotá, tal como se puede apreciar en lo que se consigna a continuación.

1.1.2 Precipitación media

De acuerdo con el patrón de distribución territorial, los valores medios anuales multianuales de precipitación son menores que en el resto de la Sabana, El valor total anual medio multianual, de acuerdo con la información de la estación Casablanca es de 616 mm, valor que coincide con lo observado en el patrón de isoyetas de la Figura 4.1.

1.1.2.1 Distribución territorial

La definición de la distribución territorial en la Sabana de Bogotá la realizó INGEOMINAS en el marco de los estudios de deslizamientos en El Espino, área localizada en el sur oriente

de la Sabana. Como se puede apreciar en la Figura 4.1, Los mayores valores de precipitación media anual multianual se presentan en el nororiente de la ciudad y decrecen hacia el sur y sur oeste de la Sabana, En el área de interés se observan valores medios anuales del orden de 650 mm, que coinciden con lo obtenido de la información de Casablanca, como se dijo antes.

1.1.2.2 Distribución temporal

La distribución intra anual de la precipitación obedece a un modelo bimodal, en el que se evidencian dos períodos lluviosos intercalados con períodos secos. El primer período lluvioso o húmedo corresponde a los meses de marzo a mayo, en el que tiene ocurrencia el 36,7 % de la precipitación anual. El segundo se localiza entre los meses de octubre y noviembre, en el que ocurre el 22,1 % del total anual. Los períodos secos corresponden a los meses de enero y febrero, el primero y a Julio a agosto el segundo. La variación intra anual de la precipitación en el área se aprecia en la Figura 4.2.
Los meses más secos, en promedio multianual son enero, con 20,6 mm; febrero donde se presentan 28,7 mm y diciembre, mes en el que ocurren 30,5 mm. Por otra parte, los más húmedos o de mayor precipitación son los meses de marzo, abril, mayo y octubre, con valores superiores a 70 mm.

1.1.3 Temperatura del aire, Humedad Relativa y evapotranspiración

La temperatura media del aire muestra pocas variaciones dentro del año; su valor medio es de 12,5° C .Los meses más cálidos son octubre, noviembre, marzo, abril y mayo donde se alcanzan valores de 13° C. El más frío es el de julio, con 11 ° C.
La Humedad Relativa es casi constante. Muestra una variación máxima del 10 % dentro del año. Los meses más secos son enero y febrero con valores de 69 y 70 %, respectivamente. El más húmedo es julio, donde el valor medio multianual alcanza el 78%.
La evapotranspiración se calculó utilizando la metodología propuesta por Hargreaves, en la cual se tienen en cuenta la temperatura media del aire, la humedad relativa y la relación entre el número de horas de luz en el día y la potencial para cada mes.

En el

Tabla 1.1 se aprecian los valores totales mensuales de precipitación obtenidos en la estación Casablanca y en el Tabla 1.2 los de las variables del clima y los de evapotranspiración potencial, obtenidos tal como se indicó antes.

1.2 HIDROLOGIA E HIDRAULICA

Los análisis hidrológicos se encaminaron a determinar los valores de escorrentía para un período de recurrencia de 50 años, en el área bajo estudio. y a la definición de caudales de esta misma recurrencia para cada uno de los canales de drenaje adyacentes a la parte superior de los taludes que presentan problemas de erosión, con los cuales se pretende interceptar la escorrentía y evitar que ésta afecte los afecte como génesis de los procesos erosivos.
Para efectos de la determinación de la escorrentía generada en cada una de las áreas aferentes a los canales se emplearon las curvas de Intensidad Duración Frecuencia desarrolladas por la EAAB para la zona.

Esta selección se llevó a cabo teniendo en cuenta para efectos de determinación de los valores de escorrentía, que dada la magnitud de la cuenca y del área adyacente al talud afectado por la erosión, los tiempos de concentración correspondientes son de tan sólo unos pocos minutos, como se aprecia en las memorias de cálculo.
El tiempo de concentración T_c de la cuenca aferente a cada canal se determinó mediante la fórmula desarrollada por el US Corps of Engineers:

$$T_c = 0.3\ (L/\ S^{.25})^{0.76}$$

Donde Tc es el tiempo de concentración
L la longitud de la corriente en Km
S la pendiente de la corriente
El tiempo de concentración calculado para las áreas aferentes varía entre 2,5 y 9 minutos. Para los canales C 6 y C 2, más corto y más largo, respectivamente. Se decidió adoptar un tiempo único de cinco (5) minutos para los cálculos de caudal.
La ecuación de las curvas IDF utilizadas es de la forma

$$I = C_1\ (\text{Duración} + X_0)^{c2}$$

De la aplicación de esta fórmula se obtuvieron los siguientes valores de intensidad en mm/hr.

T_R (Años)	C_1	X_o	C_2	I (mm/hr)
5	2857.4	23.0	- 1.07	80.8
25	4113.4	20.9	- 1.08	122.0
50	4651.4	20.4	- 1.08	141.4
100	5465.1	20.5	- 1.10	155.0

Dado que no fue posible determinar la distribución temporal de los aguaceros ante la carencia de pluviogramas, se optó por obtener los caudales de los canales mediante el empleo de la fórmula Racional
Del empleo del método se obtuvieron los siguientes valores para un coeficiente de escorrentía del 60%:

CANAL	AREA (m^2)	CAUDAL l/s
C 1	1051,2	24,7
C 1 A	780.0	18.3
C 2 arriba de C 3	1417.0	33.3
C 3	1312.2	30.8

C 2 abajo de C 3	2729.2	64.1
C 2 entrega	3897.3	91.6
C 2 A	656	15.4
C 4	143.9	3.4
C 5	67.5	1.5
C 6	112.0	2.6
C 7	1527.0	35.9

Los análisis hidráulicos se encaminaron a la definición de la mejor localización de los canales, en concordancia con sus objetivos y al cálculo hidráulico de los mismos y de sus estructuras de caída. Adicionalmente, se realizó la inspección de las redes de alcantarillado y drena superficial del área, con el fin de seleccionar los sitios de entrega de los canales propuestos a la red existente.

Puesto que existen redes de drenaje de aguas lluvias a lo largo de las vías de acceso al área, se determinó entregar los canales a las cunetas de estas vía, las cuales a su vez entregan, mediante sumideros transversales y longitudinales a la red de alcantarillado existente.

De la inspección realizada a los pozos existentes. Se puede deducir, en términos generales, el buen funcionamiento de la red.

En la localización de los canales se definen las cinco (5) zonas en las cuales se localizan los taludes que se desea proteger.

El sistema de drenaje propuesto está conformado por nueve (9) canales, todos ellos con una o más estructuras de caída que permiten la conducción de las aguas y la disipación de la energía a medida que se desciende por los taludes.

Se propone la construcción de drenes horizontales. Para efectos de evacuación del agua drenada por éstos, se construirán canales adicionales o secundarios, denominados D, los cuales conducirán el agua a los principales, denominados C, a los cuales se hace referencia enseguida:

En la Zona 1 se localiza parte del canal C 1 de sección rectangular en toda su longitud de 94 m, incluyendo los tramos que configuran estructuras de caída.

En la zona 2 se ubica parte del canal C 1 y el canal C1 A, de 78 m de longitud, de sección rectangular.

En la zona tres se localizan los canales C4 a C 6, con longitudes de 27, 26 y 21 m respectivamente. En la parte occidental de esta zona se ubica el canal C 7 y el tramo final del canal C1 A. Todos ellos son de sección rectangular en toda su longitud.

En la zona 4 se localiza el canal C 3, el cual entrega al canal C2 en la cota 2830 .m.s.n.m.. Tiene una longitud de 50,0 m.

En la zona 5 se localizan los canales C2 y C2 A de 171 y 86 m respectivamente, ambos de sección rectangular y que incluyen una gran cantidad de estructuras de caída con alturas entre 0,70 y 1,0 m.

El cálculo de las estructuras de caída se presenta en las memorias de cálculo. En todas ellas se verificó que la longitud de salto y la longitud total de las mismas tuvieran desarrollo

adecuado en los espacios que prodiga la topografía. Así mismo, se determinaron los valores de altura secuente de los resaltos en función de los caudales, de la altura de caída y de la geometría del canal de aproximación, con el fin de definir la altura total de sus muros laterales.
También se presentan los perfiles y las secciones transversales de los canales y las estructuras de caída de cada uno de ellos.

1.3 SISMOLOGÍA

De acuerdo con la "Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá", el Barrio Villas de Bolívar se localiza en la Zona 1 que corresponden a la Zona de Cerros. Para efectos de evaluar estabilidad de los taludes se recomienda emplear una aceleración horizontal pico máxima de A_{Hmax} = 0.24g, afectada por el 65% y para tener en cuenta efectos locales, un factor de amplificación de 1.2.

Tabla 1.1 Valores totales mensuales de precipitación, Estacion Casablanca (20197).

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
1976	21.0	31.0	80.0	78.0	58.0	49.9	14.2	20.2	46.8	88.9	45.9	22.2	556.1
1977	11.8	11.4	49.4	55.9	14.1	18.5	47.7	40.1	64.6	72.1	62.3	17.3	465.2
1978	3.1	19.5	28.0	109.2	94.8	61.4	41.8	21.2	40.8	49.8	26.5	13.6	509.7
1979	38.0	6.1	44.1	90.9	91.8	84.0	47.1	91.9	115.1	132.8	136.8	13.7	892.3
1980	9.9	38.5	7.2	55.7	82.8	86.6	20.6	50.4	28.8	50.9	72.6	31.3	535.3
1981	1.9	10.0	14.5	154.4	111.6	26.4	15.1	38.5	71.1	92.3	130.4	41.8	708.0
1982	53.5	19.1	42.4	141.7	84.6	9.5	31.9	29.5	18.4	75.7	41.0	48.4	595.7
1983	6.6	26.5	81.9	112.4	70.0	24.0	33.8	21.5	28.5	63.0	30.6	28.1	526.9
1984	39.0	45.9	28.8	38.6	79.2	97.1	26.3	107.9	50.8	93.6	77.3	3.3	687.8
1985	4.4	2.0	19.5	42.7	75.4	20.1	28.3	41.4	71.1	65.5	48.9	9.2	428.5
1986	8.6	73.7	37.3	50.2	117.4	38.2	22.1	21.1	84.8	142.5	55.7	2.4	654.0
1987	14.4	27.7	17.4	65.6	57.6	9.9	62.6	29.2	65.1	106.5	40.2	11.9	508.1
1988	13.5	25.6	10.0	47.1	46.5	57.8	27.9	48.3	93.2	107.9	95.1	47.6	620.5
1989	12.0	32.2	76.6	18.1	62.5	53.5	25.2	22.3	66.5	52.0	72.0	43.2	536.1
1990	33.3	28.8	38.3	50.2	75.1	26.6	37.6	37.4	33.1	97.1	51.0	19.0	527.5
1991	32.8	13.3	93.1	63.7	70.9	26.2	57.0	45.0	27.7	11.1	60.4	37.6	538.8
1992	16.5	19.9	12.2	42.5	73.5	9.3	26.5	29.7	61.9	16.8	9.4	57.3	375.5
1993	13.6	20.7	55.1	87.7	96.9	31.4	67.9	21.3	33.7	36.0	161.8	8.2	634.3
1994	41.1	39.4	81.3	77.5	79.4	42.4	31.9	30.1	15.3	96.6	135.8	7.5	678.3
1995	1.4	8.5	55.1	78.1	50.0	67.9	29.9	47.7	29.0	42.4	40.3	88.5	538.8
1996	28.6	48.1	92.0	86.4	47.6	87.2	50.0	42.4	29.8	124.8	42.8	31.0	710.7
1997	50.7	30.0	80.0	113.7	128.9	78.5	30.1	8.0	32.9	35.6	20.5	0.8	609.7
1998	0.2	26.9	39.9	93.6	137.8	33.8	75.4	49.2	47.7	66.3	49.7	59.6	680.1
1999	47.4	70.7	61.9	58.4	93.9	50.4	21.7	54.4	70.7	80.7	57.0	23.5	690.7
2000	30.2	81.2	92.6	44.7	73.7	50.0	38.6	50.0	67.2	47.3	45.5	30.9	651.9
2001	25.5	12.3	39.7	6.3	44.1	30.0	32.8	10.5	87.0	18.5	72.7	59.1	438.5
2002	17.4	4.2	51.7	139.3	98.1	86.3	21.3	24.6	47.7	68.8	36.8	56.1	652.3
2003	24.6	18.7	49.2	96.0	14.9	39.8	36.8	17.4	48.8	90.2	84.5	40.9	561.8
2004	6.9	70.9	47.8	149.3	97.1	69.6	46.5	37.5	53.0	72.0	64.0	31.0	745.6
SUMA	586.9	831.8	2169.9	2169.9	2228.2	1366.3	1048.6	1088.7	1531.1	2097.7	1867.5	885.0	17871.6
PROM.	20.2	28.7	74.8	74.8	76.8	47.1	36.2	37.5	52.8	72.3	64.4	30.5	616.3
%	3.3	4.7	12.1	12.1	12.5	7.6	5.9	6.1	8.6	11.7	10.4	5.0	

Tabla 1.2 Valores medios mensuales multianuales de variables climatológicas

	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Temperatura (°C)	12	12	13	1|3	13	12	11	12	12	13	13	12
.Humedad Relativa, (%)	69	70	73	73	77	75	78	75	71	71	73	72
Brillo Solar	194	149	148	131	128	144	129	157	156	148	134	183
Relación del número de horas de luz en el día	0.98	0.91	1.02	1.00	1.04	1.01	1.04	1.04	0.99	1.01	0.95	0.98
Evapotranspiración Potencial	63	57	62	61	54	53	44	54	60	66	58	57

Figura 4.1 Localización de las Estaciones y Patrón de Distribución de la Precipitación Media (Ingeominas 2002)

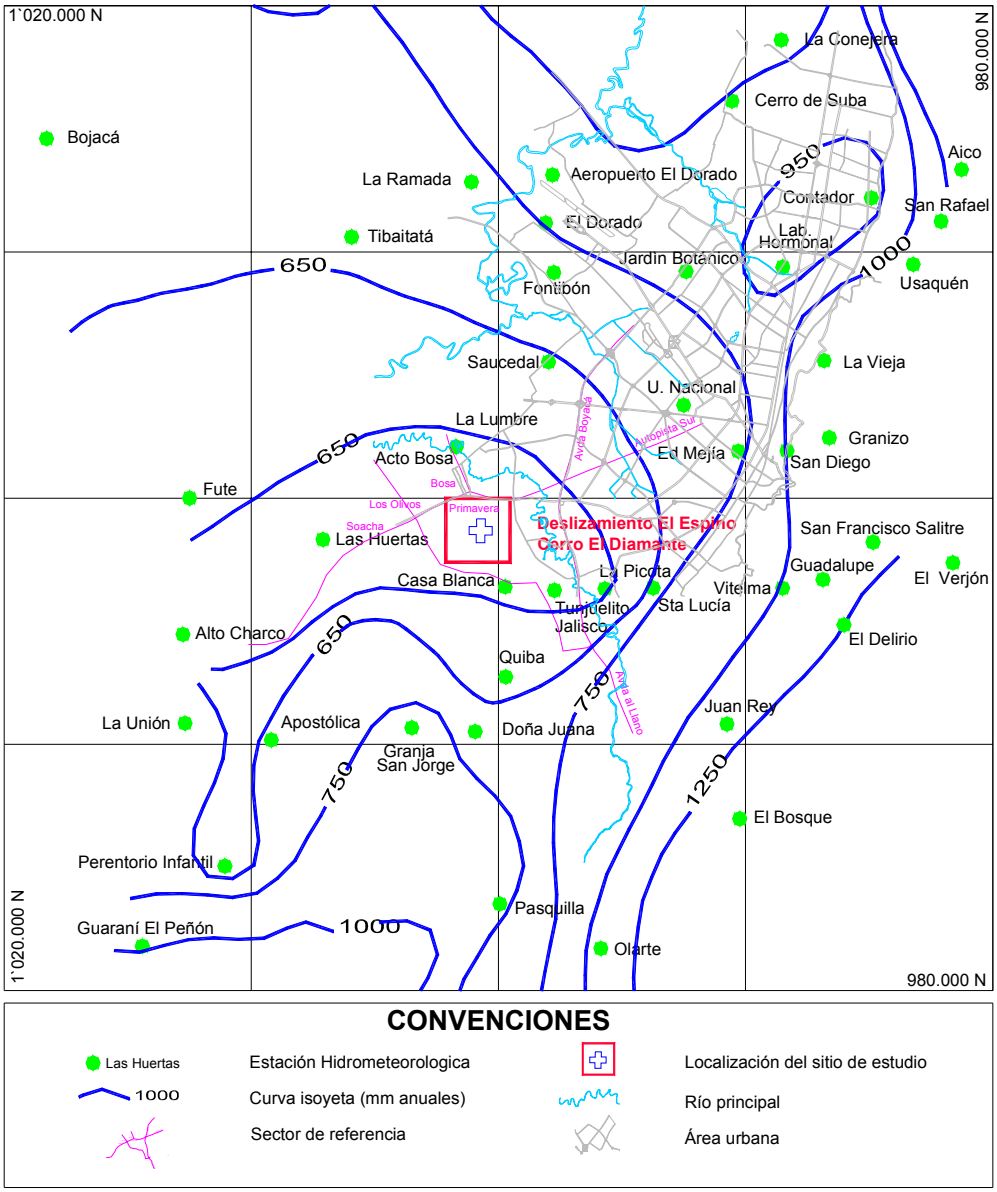
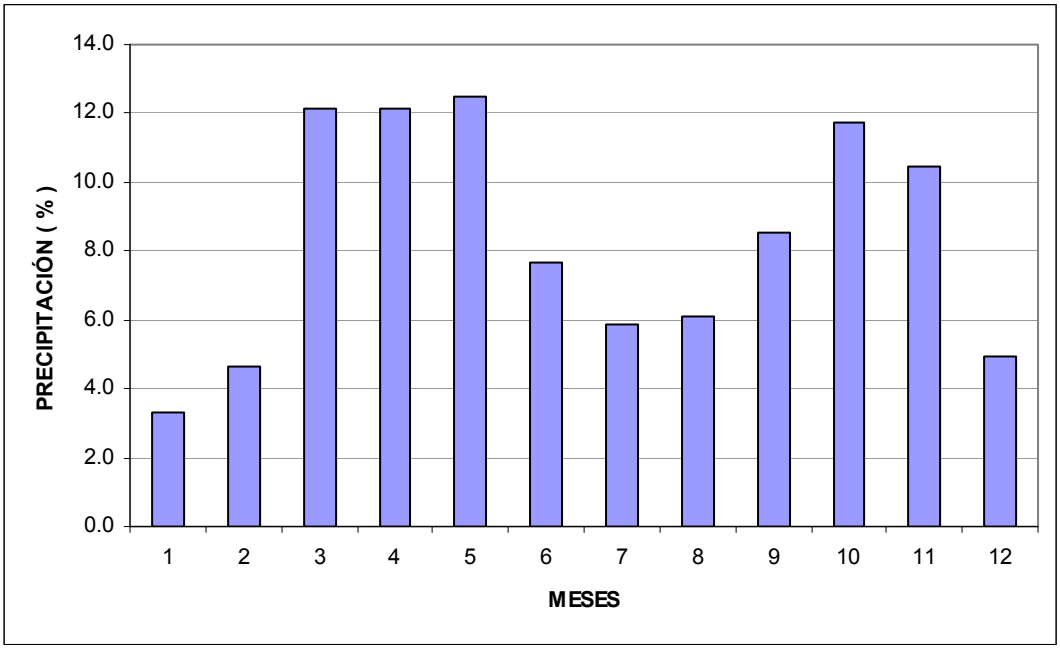


Figura 4.2 Distribución intra anual de la precipitación



1. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO, PRUEBAS DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO

Para determinar las características y propiedades mecánicas del subsuelo, se adelanta una serie de actividades de exploración del subsuelo consistente en perforaciones mecánicas, trincheras, exploración geofísica y ensayos de laboratorio. En este numeral se describen los resultados alcanzados a la fecha de presentación de este informe.

1.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

De acuerdo con las condiciones de la zona de estudio, se estableció un plan de exploración con el objeto de establecer las principales condiciones del subsuelo en relación con la distribución de los materiales y su comportamiento mecánico.
El programa de exploración contempló una fase directa compuesta por 3 sondeos mecánicos, 2 trincheras, toma de muestras de bloque en los taludes (aprox. 10 puntos), y una fase indirecta mediante la ejecución de 4 líneas de refracción sísmica y 3 sondeos eléctricos verticales, convenientemente distribuidos en el área de estudio.

1.1.1 Sondeos Mecánicos, Toma de Bloques y Trincheras

Se llevaron a cabo 3 sondeos (S-1, S-2 y S-3) con profundidades de 8, 14 y 8.1m, respectivamente, en cuyo avance se recuperaron muestras de los materiales encontrados, para su identificación y la caracterización detallada en el laboratorio. Adicionalmente, se registraron los porcentajes de recobro y el RQD de las perforaciones.
Por otra parte, se programaron 2 trincheras con longitudes de 16 y 80 m con el objeto de establecer la estratigrafía y extraer muestras de bloque y, 10 sitios para la inspección de taludes y la toma de muestras pares de bloques contiguos, que permitieron la caracterización de las discontinuidades.
En el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se ilustra la distribución espacial de los sondeos, trincheras y puntos de toma de muestras y de Figura 1.1 a la Figura 1.5 presentan los resúmenes gráficos de los registros de cada una de las perforaciones y trincheras realizadas, en los cuales se señalan: la estratigrafía, las unidades geológicas a las que pertenecen, los resultados de recobro y RQD, la longitud o profundidad, y las propiedades físicas y mecánicas de las muestras.
El Sondeo 1, localizado en la parte baja del talud principal, en las vecindades del colegio, se desarrolla a lo largo de la Are1 en toda su longitud. El sondeo 2, localizado en la parte alta del escarpe y contiguo a la vía de acceso a los Alpes, atraviesa, en su orden, la Lod2 hasta 1.6m; la Are2 hasta 9m; la Lod1, hasta 10m, material del cual no se tuvo recobro y la Are1 hasta alcanzar los 14m, longitud total de la perforación. En el sondeo 3, ejecutado en la explanación de la zona norte, se encontraron rellenos en la parte superficial, la Are2 hasta 6.2; la Lod1, hasta 7m y de allí hasta 8.1m, la Are1.
Las trincheras por su parte mostraron los siguientes materiales: La trinchera 1, que se extiende 80m a lo largo del escarpe principal y de occidente a oriente, exhibió 14m de Are3; posteriormente, 28m de Lod2, 12m de Are3 y 26m de Lod2. La trinchera 2, en el extremo norte, mostró 10m de Are2 y 6 de Lod1.

En el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se pueden observar algunas fotografías que detallan los sitios de exploración, los métodos de extracción, la toma de muestras tanto en las perforaciones como en los taludes y los materiales presentes en cada perforación.

1.1.2 Líneas de Refracción Sísmica

Con el fin de complementar y extrapolar la información geotécnica del subsuelo obtenida por métodos de exploración directos, se realizaron cuatro líneas de exploración geosísmica de refracción (LR1 a LR4) de longitudes variables entre 57 y 95m, supeditadas a las restricciones impuestas por el terreno. En el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la localización de las líneas de refracción.
Con la exploración se buscó determinar la profundidad de roca y los cambios estratigráficos mediante las velocidades de ondas de compresión [v_p] de los materiales que conforman el subsuelo.
Luego de la definición de los sitios de exploración y la localización en campo de éstos se procedió a la adquisición de datos y posteriormente a la interpretación en la oficina. La adquisición de datos se realizó empleando un sismógrafo marca Geometrics de 12 canales computarizado; geófonos; cables y demás accesorios necesarios. El equipo cuenta con software de recepción de datos, control de calidad e interpretación, por lo que la información es almacenada en medio digital.
Para las líneas sísmicas se hizo el proceso de generación de ondas en cuatro puntos (denominados shotpoint) y cada registro tiene los tiempos de llegada de los doce geófonos.
La interpretación se hizo empleando el software SIP (Seismic Interpretation Programs) que cuenta con varios programas para aplicaciones específicas dentro del proceso de interpretación (Rimrock Geophysics, 1995). El método que utiliza el programa es conocido como "Delay Times" o tiempos de retraso, el cual tiene las siguientes fases de interpretación:

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

y estructural; y con los registros de perforación cercanos a cada línea. En esta etapa normalmente es necesario reinterpretar y ajustar los modelos previamente definidos.

En el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se adjuntan las memorias de cálculo de este proceso.

Las líneas reportaron, en términos generales y tal como se muestra en la Tabla 1.1, velocidades de onda inferiores a 300 m/s para el estrato más superficial (z<0.80m); alrededor de 800 m/s hasta una profundidad promedio de 15m (roca fracturada) y de ahí en adelante, correspondiente a roca sana, se encuentran velocidades superiores a 1000 m/s.

1.1.3 Sondeos Eléctricos Verticales

Para evaluar las condiciones del agua del subsuelo y determinar la resistividad de los materiales presentes en el subsuelo se ejecutaron 3 sondeos eléctricos verticales.

Dichos sondeos eléctricos verticales se realizaron con una configuración tipo Schlumberger:, en la cual los dos electrodos de corriente (electrodos externos) se mueven alejándose del centro de medida, alcanzando cada vez una mayor profundidad de investigación, mientras que los electrodos de potencial (electrodos internos) permanecen fijos, cerca del centro de medida o estación. La profundidad explorada en los SEV fue entre 12 y 18m, restricción que fue causada por las barreras físicas en terreno. (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

El proceso de ejecución de cada SEV contempló las siguientes actividades: toma de datos en campo; cálculo y dibujo de las curvas de campo; utilización del software de interpretación y generación de modelos; comparación con la geología local; reinterpretación e interpretación final.

Para realizar los SEV se utilizó un equipo tipo ABEM Terrameter modelo 300C de fabricación Sueca con sus accesorios. El software interpretativo empleado fue: "Programs for the Automatic Processing and interpretation of Schulumberger Soundings", el cual se desarrolló en el U.S. Geological Survey por A. R. Zohdy y R. J. Bisdorf.

En el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se adjuntan tanto los datos de campo como las memorias de cálculo de este proceso.

Las curvas obtenidas en los SEV tienen una forma típica de campana, además, representan un subsuelo compuesto, principalmente por tres conjuntos de capas de manera que la resistividad de la capa superficial resulta menor a la de la capa 3. La resistividad de la capa 1 (z<1.6m) reportada para los SEVs 1 y 3 es entre 140 y 500 Ohm correspondiente a los materiales superficiales sueltos, para la capa 2, de roca fracturada, (SEVs 1 y 2) está entre 500 y 900 aprox. y la resistividad de la capa 3 (SEVs 1 y 2) supera los 1000 Ohms que evidencia el hallazgo de la roca sana. En el SEV 3 posiblemente, por la presencia del agua, que le da mayor conductividad y menor resistividad; se identifica una segunda capa con resistividad inferior a 100 Ohms. (ver Tabla 1.2)

1.2 PRUEBAS DE CAMPO

Durante la ejecución de los sondeos para cada una de las muestras extraídas por mecanismos de rotación (roca), se determinó el porcentaje de recobro y el RQD (Rock Quality Designation).

El registro de los porcentajes de RQD y de recobro se muestran, de manera gráfica, para cada sondeo, de la Figura 1.1 a la Figura 1.3. Para el sondeo 1 el recobro varía entre 20 y

50 y el RQD es nulo. Para el sondeo 2, el recobro está entre 10 y 80% pero con RQD nulo, excepto hacia los 12m de profundidad donde alcanza el 63%. Para el sondeo 3, hay un comportamiento del recobro cercano al 50% y RQD de 20% hasta 3m, de ahí en adelante, recobro y RQD tienen valores cercanos a 100%.

1.3 ENSAYOS DE LABORATORIO

La distribución de las muestras en los sondeos y trincheras exploratorios se muestra gráficamente de la Figura 1.1 a la Figura 1.5 y la localización de las muestras de discontinuidades, en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. Sobre las muestras obtenidas de los sondeos, las trincheras y los taludes inspeccionados, se realizaron ensayos de clasificación y resistencia. En el primer caso, pesos unitarios, pesos específicos de sólidos, determinación de porcentaje pasa No. 40, límites de consistencia y humedades; en el segundo, compresiones inconfinadas, cargas puntuales y tracción brasilera (sobre material rocoso) y bloque deslizante y corte directo, sobre discontinuidades; todo el conjunto, con el fin de obtener una caracterización global del macizo rocoso.

Los datos de las cargas puntuales, por haber sido realizadas sobre muestras paralelepípedas y no sobre núcleos cilíndricos, fueron corregidos por forma y comparados con las compresiones inconfinadas para los materiales muestreados, en la Tabla 1.4.

Por otra parte, para los ensayos de corte directo y bloque deslizante, se efectuó la cuantificación de la dilatancia, i. En los cortes directos efectuados sobre arenisca (TL-2 y TL-6) la tangente de i se calculó como la pendiente de la gráfica δn vs δt (desplazamiento normal vs desplazamiento tangencial), como se muestra en la Figura 1.6 de donde se tiene que la dilatancia es cercana a los 1.7º. Para los bloques deslizantes, la dilatancia se determinó mediante mediciones directas de la rugosidad del plano de falla y oscila entre 5º y 17º. Las muestras utilizadas para la obtención de fricción (y dilatancia) mediante ensayos de corte directo y bloque deslizante, se muestran en las fotografías de la Figura 1.7.

Finalmente, en la Tabla 1.3 se relacionan las cantidades de ensayos de laboratorio realizados y los resultados se muestran numéricamente en la Tabla 1.5 y de manera gráfica de la Figura 1.1 a la Figura 1.5.

1.4 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA

Para la caracterización geomecánica de los materiales encontrados en el sitio se tomaron como base los trabajos de reconocimiento de campo los cuales se plasmaron en planta en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y en varias secciones geológicas que aparecen en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. Esta información fue obtenida y cotejada por retroalimentación con la exploración del subsuelo y los ensayos de laboratorio (Tabla 1.4 y Tabla 1.5). En cada punto de exploración se asignó la unidad geológica respectiva por profundidad y de esa manera se agruparon las propiedades físicas y mecánicas de cada conjunto.

Adicionalmente, se recopiló información de algunos proyectos en los que se hubiesen determinado propiedades mecánicas de materiales similares, dichos datos se registran en la Tabla 1.6 y se grafican de la Figura 1.14 a la Figura 1.16. A continuación se discuten los resultados más relevantes de la caracterización.

1.4.1 Materiales

En esta parte, se hace referencia a los pesos unitarios y las resistencias a tracción y compresión de las rocas:
Los pesos unitarios son, en promedio, los siguientes: Are1, 2.3 Ton/m^3; Are2, 2.2 Ton/m^3; Are4, 2.2 Ton/m^3; Lod1, 1.8 Ton/m^3; Lod2, 2.11 Ton/m^3.
Con respecto a la resistencia a la compresión, σ_c, se tiene que es de 6; 34 y 37 MPa para Are 1, Are2 y Are4, respectivamente (ver Tabla 1.4). La resistencia a la tensión, σ_t, oscila entre 1.5 y 6.7 MPa para Are1 y alcanza 1.7MPa para Are2 (Ver Tabla 1.5).

1.4.2 Discontinuidades

1.4.2.1 Caracterización geométrica

Las discontinuidades fueron descritas a partir de la información obtenida de los afloramientos, tomando como base los procedimientos sugeridos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, ISRM - 1981. Gracias a la gran extensión del afloramiento rocoso se tomaron datos estructurales (azimut de buzamiento y buzamiento) y propiedades de las discontinuidades en diez sitios los cuales se muestran en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.
El inventario de los datos obtenidos y las características de las discontinuidades asociadas a ellos, permiten establecer:

Familia E (Estratificación): 68/27

- Unidad geológica: Miembro Arenisca Tierna de la Formación Guadalupe
- Tipo de roca: Arenisca cuarzosa bien cementada
- Persistencia: Continua (>10m)
- Espaciamiento: Bastante próximas (30 cm – 1m) a Separadas (1- 3 m).
- Abertura: Ligeramente abierta (<0,5cm) a Abierta (0,5 a 20 cm)
- Relleno: No existe
- Rugosidad micro: Ondulada suave. En ocasiones rugosa (capas con ichnofósiles)
- Rugosidad macro: Ondulada a planar
- Agua: Seca
- Número de Cecil: 7 (tres familias de discontinuidades y discontinuidades dispersas) y 8 (roca triturada, material parecido al suelo)

Familia D1 (Diaclasa 1): 215/72

Asociada a fallas de rumbo de carácter sinestral.

- Unidad geológica: Miembro Arenisca Tierna de la Formación Guadalupe
- Tipo de roca: Arenisca cuarzosa bien cementada
- Persistencia: Continuidad media (5 – 10 m) a Continua (>10m)
- Espaciamiento: Bastante próximas (30 cm – 1m) a Separadas (1- 3 m).
- Abertura: Ligeramente abierta (<0,5cm) a Abierta (0,5 a 20 cm)
- Relleno: No existe o en ocasiones roca triturada.

- Rugosidad micro: Ondulada suave. En ocasiones estrías de fricción (mejor este término que espejo de falla)
- Rugosidad macro: Ondulada a planar
- Agua: Seca
- Número de Cecil: 7 (tres familias de discontinuidades y discontinuidades dispersas) y 8 (roca triturada, material parecido al suelo)

Familia D2 (Diaclasa 2): 321/84

Asociada con lineamientos de rumbo N60E

- Unidad geológica: Miembro Arenisca Tierna de la Formación Guadalupe
- Tipo de roca: Arenisca cuarzosa bien cementada
- Persistencia: Continuidad media (5 – 10 m) a Continua (>10m)
- Espaciamiento: Bastante próximas (30 cm – 1m) a Separadas (1- 3 m).
- Abertura: Ligeramente abierta (<0,5cm) a Abierta (0,5 a 20 cm)
- Relleno: No existe o en ocasiones roca triturada.
- Rugosidad micro: Ondulada suave. En ocasiones estrías de fricción (mejor este término que espejo de falla)
- Rugosidad macro: Ondulada a planar
- Agua: Seca
- Número de Cecil: 7 (tres familias de discontinuidades y discontinuidades dispersas) y 8 (roca triturada, material parecido al suelo)

Familia D3 (Diaclasa 3): 147/67

Asociada con lineamientos de rumbo N60E

- Unidad geológica: Miembro Arenisca Tierna de la Formación Guadalupe
- Tipo de roca: Arenisca cuarzosa bien cementada
- Persistencia: Continuidad media (5 – 10 m) a Continua (>10m)
- Espaciamiento: Bastante próximas (30 cm – 1m) a Separadas (1- 3 m).
- Abertura: Ligeramente abierta (<0,5cm) a Abierta (0,5 a 20 cm)
- Relleno: No existe o en ocasiones roca triturada.
- Rugosidad micro: Ondulada suave. En ocasiones estrías de fricción (mejor este término que espejo de falla)
- Rugosidad macro: Ondulada a planar
- Agua: Seca
- Número de Cecil: 7 (tres familias de discontinuidades y discontinuidades dispersas) y 8 (roca triturada, material parecido al suelo)

Como puede verse, las diaclasas 2 y 3 son la misma familia que, por ser cercanas a la vertical, son tomadas como dos sistemas: las D2 buzando al noreste y las D3 buzando al suroeste.

Para la determinación de la resistencia al deslizamiento entre discontinuidades, se utilizaron pruebas de corte directo en condición inundada y seca y de bloque deslizante en condición seca. Las muestras fueron especialmente tomadas, de manera que comprendieran en su interior una sección de un plano de discontinuidad. Los especimenes para corte directo fueron tallados y en su configuración se buscó la mayor coincidencia posible entre la

superficie de deslizamiento horizontal provocada por el ensayo de corte y la superficie de discontinuidad presente. Los testigos para bloque deslizante se probaron manteniendo el contacto preexistente entre paredes.
Los ángulos de fricción de las discontinuidades fueron depurados mediante la obtención de las dilatancias como se explicó en el numeral 1.3.

1.4.2.2 Caracterización geomecánica

De la descripción anterior, se puede inferir que las características geométricas de las discontinuidades guardan similitud y de manera conservadora, para los análisis, se consideran preponderantes las del plano preferencial de movilización correspondiente a la estratificación. Además, dado que la secuencia estratigráfica encierra dos grandes unidades litológicas, areniscas y lodolitas, se intenta una aproximación a dos envolventes de resistencia, según el tipo de material.
Para el efecto, se hizo uso de tres procedimientos complementarios:

- Un método gráfico, consistente en la colocación en un plano cartesiano, c-tanϕ, tanto de la información primaria (Tabla 1.5) como de la secundaria (Tabla 1.6), discriminada y agrupada por fuente, tipo de material y ensayo, como se aprecia en la Figura 1.14. Con este método se pretende detectar concentraciones y dispersiones para definir geométricamente su distribución de probabilidad; en este sentido, el dominio de las variables endógenas, c y ϕ, se marca con los extremos del universo de valores. La información secundaria fue seleccionada por similitudes litológica y geomorfológica y adoptada de los estudios de: GIA Consultores Ltda (2004), IGR-GIA (2003), Rocas y Minerales (1999), Civiles (2002) y MGL (2002). Ésta correspondió a los ensayos de corte y bloque deslizante en las areniscas y arcillolitas de la formación Labor y Tierna.
- El método estadístico, basado en la anterior agrupación para calcular el primer y segundo momento estadístico de cada conjunto de datos.
- El método de las envolventes, que también respeta los conjuntos preestablecidos, en el que se grafican en un plano cartesiano, τ-σ, los puntos máximos y mínimos de los cortes directos disponibles, como se muestra en la Figura 1.15 para las areniscas y en la Figura 1.16 para las lodolitas. Aquí, se pretende obtener dos envolventes por material, caracterizadas por sendas expresiones: $\tau = c + \sigma * \tan\phi$, de las que se desprenden los parámetros de resistencia.
- Retroalimentación, iterativa, de los propios análisis de estabilidad en los cuerpos potencialmente inestables, para los que se adoptó como criterio que la combinación de parámetros geomecánicos mínimos, en estados de no lluvia y no sismo, condujera a una condición mínima estable ($FS \geq 1.0$), tal como lo evidencia la configuración del terreno. Sin embargo, dichos límites de parámetros arrojaron un nivel de amenaza actual alto, discordante con la situación de hoy día, por lo cual fueron descartados.

Finalmente, como producto conjunto e integrado de tales procedimientos, se resumen los parámetros adoptados en Tabla 1.12.

1.4.3 Macizo rocoso

Una vez caracterizados material rocoso y discontinuidades, se procedió a la clasificación y posterior caracterización del macizo. Para la clasificación se utilizó el método del RMR (Bieniawski, 1976) para los límites inferior y superior de propiedades, tal como se muestra en la Tabla 1.9, de donde se concluye que el macizo es entre pobre y regular según esta clasificación y el RMR oscila entre 36 y 42. Los mismos límites según la clasificación visual del GSI se encuentran, de manera consistente, entre 30 y 40.

Con base en la clasificación del macizo y las propiedades del material rocoso y de las discontinuidades, se establecieron las propiedades mecánicas del macizo con ayuda de la formulación propuesta por Hoek, 1996. A manera de ejemplo se presenta la determinación de ellas, para la zona 1 en la Tabla 1.10. El resumen para las zonas 1 a 5 se muestra en la Tabla 1.11 y gráficamente en la Figura 1.14. No obstante, como se observa en la misma figura, los parámetros geomecánicos así obtenidos resultan significativamente superiores a los del universo muestral.

Así, resulta más lógico asumir que la respuesta del macizo está gobernada por las discontinuidades y adoptar sus parámetros de resistencia. De esta forma, con miras a los análisis de estabilidad, los parámetros empleados son los consignados para los ambientes arcillosos y arenosos citados en el numeral 1.4.2.

1.5 ANÁLISIS CINEMÁTICO

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

1.5.1 Familia de discontinuidades

El levantamiento de discontinuidades se condensa en la Figura 1.8 (ver Capítulo 4) en la que se señalan las familias promedio, incluida la estratificación, y las intersecciones que ellas generan.

1.5.2 Taludes de estudio

Son objeto de estudio los taludes que se muestran en la Figura 1.9, los que se distribuyen a lo largo de los afloramientos rocosos y se identifican como T1 a T12. La Tabla 1.7 lista sus características geométricas: azimut de buzamiento y buzamiento.

1.5.3 Posibilidad cinemática

Una vez se han definido las familias de discontinuidades y los taludes de estudio se puede proceder a la realización del análisis cinemático. A manera de ejemplo se presenta dicho análisis para el T-1 en la Tabla 1.8. Con base en este esquema de trabajo se establecieron las posibilidades cinemáticas de cada discontinuidad –o intersección- para los distintos

mecanismos (planar, cuña y volteo) y se contrastaron con la geometría de los taludes, de la Figura 1.11 a la Figura 1.13. En ellas se evidencia que bajo las condiciones geométricas mencionadas para los taludes y con las disposiciones de las diaclasas, los mecanismos de falla son planares para los taludes 1, 2, 4, 5B, 9, 11 y 12 con la estratificación (E4) y con la cuña D3E4 cuya geometría coincide con la estratificación. Se manifiesta la posibilidad de falla por volteo para los taludes 1, 2, 3, 5, 5B, 7, 8, 10 y 12.

1.6 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

Teniendo en cuenta que los FRM se relacionan directamente con la exposición de los taludes rocosos y que éstos se manifiestan alterados, la zonificación geotécnica se estableció con base en los siguientes criterios:

- Grado de alteración de los frentes de antigua explotación (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)
- Procesos morfodinámicos existentes (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)
- División por microcuencas
- Trayectorias de posibles caídas de bloques

En la Figura 1.9, se establecen las zonas, los taludes con los que se tipificaron, las posibles trayectorias de los bloques y el GSI de cada una y en la Tabla 1.11, se muestran las principales características de ellas.

Tabla 1.1 Velocidades y espesores de las capas obtenidos en la exploración geofísica

Línea de refracción		Velocidad, v_p [m/s]	Material	Espesor [m]
1	Capa 1	268	Rellenos	1 - 2
	Capa 2	637	Roca meteorizada	2-18
	Capa 3	1290	Arenisca meteorizada	--
2	Capa 1	294	Rellenos	0-2
	Capa 2	700	Roca meteorizada	15
	Capa 3	3253	Arenisca sana	--
3	Capa 1	222	Rellenos	0.8
	Capa 2	877	Roca meteorizada	15
	Capa 3	3111	Arenisca sana	
4	Capa 1	300	Rellenos	0.8
	Capa 2	841	Roca meteorizada	15
	Capa 3	2872	Arenisca sana	

Tabla 1.2 Resultados obtenidos en los Sondeos Eléctricos Verticales

SEV	CAPA 1		CAPA 2		CAPA 3		Prof. del N.F. [m]
	Resistividad [Ohm-m]	Profundidad [m]	Resistividad [Ohm-m]	Profundidad [m]	Resistividad [Ohm-m]	Profundidad [m]	
SEV-01	207.71 (relleno)	0.00-0.75	1000 (arenisca)	0.75→			-
SEV-02	541 (s	0.00-1.00	600-1000 (arenisca)	1.00→			-
SEV-03	391	0.00-0.81	70 (areniscas y arcillolitas)	0.81-11.92	20 (arcillolitas)	12-50	-

Tabla 1.3 Cantidades de ensayos de laboratorio realizados

Ensayo de laboratorio	Cantidad
Contenido de humedad natural	4
Límites de consistencia	4
Peso unitario	12
Peso específico de sólidos	4
Compresión simple (roca)	2
Esfuerzo de Tracción Brasilera	3
Carga puntual	5
Bloque deslizante	9
Corte Directo (en condición de humedad natural)	2

Tabla 1.4 Obtención de σ_c a partir de los ensayos de carga puntual y compresión inconfinada

Sondeo-Muestra	Unidad	Ensayo	Especimen No.	L (cm)	D (cm)	W (cm)	De (cm)	De^2 (cm^2)	P (Kgf)	Is (Kgf/cm^2)	$F_{corrección}$	Is_{50} (Kgf/cm^2)	Is_{50} (Kgf/cm^2)	σ_u (Kgf/cm^2)
S1-M8	Are1	Carga puntual	1	4,75	2,50	4,00	3,57	12,73	340	26,70	0,86	22,94	**15,55**	**373,25**
			2	4,75	3,00	3,90	3,86	14,90	290	19,47	0,89	17,33		
			3	4,75	3,05	4,10	3,99	15,92	360	22,61	0,90	20,43		
			4	4,70	2,50	4,47	3,77	14,23	190	13,35	0,88	11,76		
			5	4,73	2,80	4,51	4,01	16,08	310	19,28	0,91	17,46		
			6	4,74	2,92	3,80	3,76	14,13	190	13,45	0,88	11,83		
			7	4,70	2,88	3,05	3,34	11,18	220	19,67	0,83	16,41		
S3-M5	Are2	Carga puntual	1	4,80	3,70	4,00	4,34	18,84	214	11,36	0,94	10,66	**15,71**	**377,15**
			2	4,90	4,00	4,70	4,89	23,94	300	12,53	0,99	12,41		
			3	4,80	4,50	4,00	4,79	22,92	330	14,40	0,98	14,12		
			4	4,82	3,85	4,10	4,48	20,10	294	14,63	0,95	13,93		
			5	4,80	4,42	4,70	5,14	26,45	760	28,73	1,01	29,10		
			6	4,75	3,66	4,08	4,36	19,01	422	22,20	0,94	20,87		
			7	4,80	3,30	4,53	4,36	19,03	349	18,34	0,94	17,24		
S3-M8	Are1	Carga puntual	1	6,10	4,75	4,80	5,39	29,03	590	20,32	1,03	21,02	**23,16**	**555,83**
			2	6,50	4,80	4,10	5,01	25,06	380	15,17	1,00	15,17		
			3	6,68	4,80	4,97	5,51	30,37	470	15,47	1,04	16,17		
			4	6,10	4,80	4,80	5,42	29,34	870	29,66	1,04	30,74		
			5	5,71	4,80	4,84	5,44	29,58	520	17,58	1,04	18,26		
			6	4,75	4,30	4,75	5,10	26,01	670	25,76	1,01	25,99		
			7	4,85	3,70	4,80	4,76	22,61	700	30,96	0,98	30,26		
			8	4,75	3,50	4,75	4,60	21,17	890	42,05	0,96	40,50		
			9	4,75	3,20	4,70	4,38	19,15	400	20,89	0,94	19,67		
TL-1	Are4	Carga puntual	1	5,00	3,10	4,90	4,40	19,34	210	10,86	0,94	10,25	**4,97**	**119,35**
			2	6,30	4,05	5,58	5,36	28,77	165	5,73	1,03	5,92		
			3	6,10	5,05	5,90	6,16	37,94	180	4,74	1,10	5,21		
			4	6,43	4,56	5,35	5,57	31,06	158	5,09	1,05	5,34		
			5	6,70	4,84	5,90	6,03	36,36	150	4,13	1,09	4,49		
			6	5,04	3,89	4,93	4,94	24,42	124	5,08	0,99	5,05		
			7	5,80	4,20	5,20	5,27	27,81	83	2,98	1,02	3,06		
			8	7,00	4,75	5,30	5,66	32,05	116	3,62	1,06	3,83		
TL-6	Are4	Carga puntual	1	7,50	5,40	7,01	6,94	48,20	53	1,10	1,16	1,27	**1,40**	**33,70**
			2	4,85	4,22	4,51	4,92	24,23	31	1,28	0,99	1,27		
			3	6,30	5,80	6,00	6,66	44,31	54	1,22	1,14	1,39		
			4	5,64	4,80	5,00	5,53	30,56	29	0,95	1,05	0,99		
			5	5,00	4,37	5,60	5,58	31,16	28	0,90	1,05	0,94		
			6	4,80	3,50	4,70	4,58	20,94	26	1,24	0,96	1,19		
			7	5,25	3,50	4,93	4,69	21,97	63	2,87	0,97	2,79		
			8	4,89	3,40	4,07	4,20	17,62	44	2,50	0,92	2,31		
S2-M11	Are1	Compresión inconfinada	1											**401**
S3-M6	Are2	Compresión inconfinada	1											**302**

RESUMEN

Unidad	σ_u (Kgf/cm^2)	σ_u (MPa)
Are1	60	6
Are2	335	34
Are4	385	39

Tabla 1.5 Resumen de resultados de ensayos laboratorio

Sondeo	Muestra	Profundidad (m)			USCS	w_n (%)	%Pasa T No.40	LL (%)	LP (%)	IP (%)	G_s	γ_t (Ton/m³)	γ_d (Ton/m³)	q_u (Kg/cm²)	σ_t (Kg/cm²)	c' (Kg/cm²)	ϕ'CD (°)	ϕ' BDes (°)
		de	a	media														
S-1	8	4,30	5,10	4,70										373				
S-1	10	5,70	6,80	6,25								2,4						
S-2	4	2,60	4,00	3,30	CL	6,40	55,6	25,3	13,5	11,8		2,045	1,922					
S-2	11	11,30	12,40	11,85								2,127		401*	14,8			43
S-2	13	13,00	14,00	13,50								2,257						55
S-3	5	3,00	3,80	3,40								2,303		377				63
S-3	6	3,80	5,10	4,45								2,147		302*	16,2			
S-3	8	6,60	7,70	7,15								2,332		556	67,3			56
T1	B1	54,00	54,00	54,00	CL	9,90	58,30	48,90	19,80	29,10		1,98	1,80					
T2	B1	3,00	3,00	3,00	CL	21,70	76,80	40,40	20,40	20,00		1,87	1,54					
TL	1													119				31
TL	2											2,328				0,060	34	44
TL	3											2,311						49
TL	4																	49
TL	6										2,516	2,151		34		0,050	36	46
TL	7											2,11				0,007	17,00	
TL	8										2,711	1,938						
TL	9	10,00	10,00	10,00	CH	6,00	89,2	53	21,2	31,8	2,707	1,753	1,654					
TL	10	13,00	13,00	13,00							2,538	2,314						
FALLA											2,711	1,938						

	Qra
	Kgst-Lod1
	Kgst-Lod2
	Kgst-Are1
	Kgst-Are2
	Kgst-Are3
	Kgst-Are4
	Brecha

S	Sondeo
TL	Talud
T	Trinchera

Wn	Humedad natural
LL	Límite líquido
LP	Límite plástico
IP	Indice de plasticidad
Gs	Peso específico
γ_t	Peso unitario tota
γ_d	Peso unitario seco
q_u	Resistencia a la compresión inconfinada - Carga puntual
q_u*	Resistencia a la compresión inconfinada
σ_t	Tracción brasilera
c'	Cohesión
ϕ' CD	Corte directo
ϕ' BDes	Bloque deslizante

Tabla 1.6 Recopilación de información geomecánica

ENSAYO	LUGAR	TIPO DE MATERIAL	MUESTRA		Material	γ_t (Ton/m³)	CORTE DIRECTO			BLOQUE DESLIZANTE			Condicion de Fallado		Observación		Fuente
							c' (Kg/cm²)	ϕ' CD (°)	tan ϕ' CD (°)	ϕ' BD (°)	tan ϕ' BD (°)	i	Humedad Natural	Inundado	Plano falla por estratificación	Discontinuidad	
CD	Volador	Arenisca	TL	2	Are4	2,294	0,06	34,20	0,680			1,700	X	-	-	X	IGR
CD	Volador	Arenisca	TL	2	Are4 -i	2,294	0,06	32,50	0,637				X	-	-	X	IGR
CD	Volador	Arenisca	TL	2	Are4R	2,294	0,03	30,96	0,600			1,700	X	-	-	X	IGR
CD	Volador	Arenisca	TL	2	Are4R -i	2,294	0,03	29,26	0,560				X	-	-	X	IGR
CD	Volador	Arenisca	TL	6	Are4	2,153	0,05	35,75	0,720			1,700	X	-	-	X	IGR
CD	Volador	Arenisca	TL	6	Are4 -i	2,153	0,05	34,05	0,676				X	-	-	X	IGR
CD	Volador	Arenisca	TL	6	Are4R	2,153	0,03	32,62	0,640			1,700	X	-	-	X	IGR
CD	Volador	Arenisca	TL	6	Are4R -i	2,153	0,03	30,92	0,599				X	-	-	X	IGR
CD	Volador	Arcillolita	TL	7	Lod2	2,111	0,00	17	0,306				-	X	X	-	IGR
CD	Volador	Arcillolita	TL	7	Lod2R	2,111	0,01	16	0,287				-	X	X	-	IGR
BD	Volador	Arenisca	S-2	11	Are1	2,127				43	0,933		X				IGR
BD	Volador	Arenisca	S-2	11	Are1 -i	2,127				31	0,601	12	X				IGR
BD	Volador	Arenisca	S-2	13	Are1	2,257				55	1,428		X				IGR
BD	Volador	Arenisca	S-2	13	Are1 -i	2,257				45	1,000	10	X				IGR
BD	Volador	Arenisca	S-3	5	Are2	2,303				63	1,963		X				IGR
BD	Volador	Arenisca	S-3	5	Are2 -i	2,303				44	0,966	19	X				IGR
BD	Volador	Arenisca	S-3	8	Are1	2,332				56	1,483		X				IGR
BD	Volador	Arenisca	S-3	8	Are1 -i	2,332				43	0,933	13	X				IGR
BD	Volador	Arenisca	TL	1	Are4					31	0,601		X				IGR
BD	Volador	Arenisca	TL	1	Are4 -i					26	0,488	5	X				IGR
BD	Volador	Arenisca	TL	3	Are4	2,311				49	1,150		X				IGR
BD	Volador	Arenisca	TL	3	Are4 -i	2,311				35	0,700	14	X				IGR
BD	Volador	Arenisca	TL	4	Are4					49	1,150		X				IGR
BD	Volador	Arenisca	TL	4	Are4 -i					37	0,754	12	X				IGR

Tabla 1.6 Recopilación de información geomecánica (continuación)

ENSAYO	LUGAR	TIPO DE MATERIAL	MUESTRA		Material	γ_t (Ton/m³)	CORTE DIRECTO			BLOQUE DESLIZANTE			Condicion de Fallado		Observación		Fuente
							c' (Kg/cm²)	ϕ' CD (°)	tan ϕ' CD (°)	ϕ' BD (°)	tan ϕ' BD (°)	i	Humedad Natural	Inundado	Plano falla por estratificación	Discontinuidad	
CD	Mirador	Arenisca	BL	1	Ksg-at-ss	2,15	0,100	35,00	0,700				X	-	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	1	Ksg-at-ss	2,15	0,420	46,40	1,050			7,000		X	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	1	Ksg-at-ss -i	2,15	0,420	39,40	0,821					X	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	1	Ksg-at-ss (R)	2,15	0,050	35,00	0,700			7,000		X	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	1	Ksg-at-ss (R) -i	2,15	0,050	28,00	0,532					X	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	1	Ksg-at-ss	2,15	0,110	42,80	0,926			6,000	X	-	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	1	Ksg-at-ss -i	2,15	0,110	36,80	0,748				X	-	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	1	Ksg-at-ss (R)	2,15	0,000	38,70	0,801			6,000	X	-	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	1	Ksg-at-ss (R) -i	2,15	0,000	32,70	0,642				X	-	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	2	Ksg-at-ss	2,26	0,040	31,80	0,620			4,000	-	X	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	2	Ksg-at-ss -i	2,26	0,040	27,80	0,527				-	X	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	2	Ksg-at-ss (R)	2,26	0,040	39,40	0,821			4,000	-	X	X	-	GIA
CD	Mirador	Arenisca	BL	2	Ksg-at-ss (R) -i	2,26	0,040	35,40	0,711				-	X	X	-	GIA
CD	Codito	Arenisca	BL	1	Ksg-at	2,29	0,05	35,00	0,700								INDESA
CD	Codito	Bloques Sueltos	BL			1,8	0	33	0,649								INDESA
CD	Cordillera	Brecha de falla	BL	2	Ksgt-bf	1,87	0,023	30,1	0,580					X			IGR - GIA
CD	Cordillera	Arcilla	BL	5	TKgu-sr-c	1,96	0,43	23,3	0,431					X			IGR - GIA
CD	Cordillera	Arcilla	BL	6	Ksgt-sr-c	2	0,03	35,3	0,708					X			IGR - GIA
CD	Cordillera	Limos	BL	11	Qra-qda	1,69	0,21	31	0,601					X			IGR - GIA
BD	Cordillera	Arenisca			Ksgt-s	1,96				46,85	1,067			X			IGR - GIA
BD	Cordillera	Arcillolita			Ksgt-m	2				34,9	0,698			X			IGR - GIA
BD	Cordillera	Arcilla			Ksgt-sr-c	2				34,9	0,698			X			IGR - GIA
BD	Cordillera	Limos			Ksgt-sr-s	1,92				35,8	0,721			X			IGR - GIA
CD	Mirador	Arenisca				2,43	0,093	40,5	0,854					X			ROCAS Y MIN.
CD	Mirador	Arcillolita				2	0,05	24	0,445					X			ROCAS Y MIN.
CD	Mirador	Bloques sueltos				1,8	0	33	0,649					X			ROCAS Y MIN.

Tabla 1.7 Características de los taludes en estudio y análisis cinemático

Talud	Azimut de buzamiento [α]	Pendiente [°]
T-1	63	43
T-1A	103	45
T-2	47	82
T-3	19	82
T-4	76	80
T-5	38	82
T-5A	101	45
T-5B	44	45
T-6	102	40
T-7	27	70
T-8	347	80
T-9	71	82
T-10	298	65
T-11	82	70
T-12	42	80

Tabla 1.8 Ejemplo de análisis cinemático (T-1)

Datos del talud

TALUD No.	T-1
Orientación	N27W/43NE
Az. buzamiento, α_t	63
Buzamiento, β_t	43
Az. buzamiento, α_t + 150°	213
Az. buzamiento, α_t + 210°	273

Datos del material

Ángulo de fricción, ϕ	25

FALLA PLANAR

Datos de la discontinuidad						
Plano No.	Az. buzamiento α_d	Buzamiento β_d	Posibilidad Cinemática			Posibilidad falla planar
			$\lvert \alpha_t - \alpha_d \rvert <= 20°$	$\beta_d < \beta_t$	$\beta_d > \phi$	
D1	215	72	no	no	si	0
D2	321	84	no	no	si	0
D3	147	67	no	no	si	0
E4	68	27	si	si	si	1

D: Diaclasa

E: Estratificación

FALLA EN CUÑA

Datos de la intersección						
Intersección	Az. buzamiento α_d	Buzamiento β_d	Posibilidad Cinemática			Posibilidad falla en cuña
			$\lvert \alpha_t - \alpha_d \rvert <= 20°$	$\beta_d < \beta_t$	$\beta_d > \phi$	
D1D2	247	69	no	no	si	0
D1D3	170	65	no	no	si	0
D1E4	130	14	no	si	no	0
D2D3	232	12	no	si	no	0
D2E4	48	25	si	si	no	0
D3E4	69	27	si	si	si	1

D1D2: Intersección formada por la diaclasa 1 y la diaclasa 2

FALLA POR VOLTEO

Datos de la discontinuidad						
Plano No.	Az. buzamiento α_d	Buzamiento β_d	Posibilidad Cinemática			Posibilidad de falla por volteo
			$\alpha_d > (\alpha_t + 150°)$	$\alpha_d < (\alpha_t + 210°)$	$\beta_t > (90° - \beta_d + \phi)$	
D1	215	72	si	si	no	0
D2	321	84	si	no	si	0
D3	147	67	no	si	no	0
E4	68	27	no	si	no	0

D: Diaclasa

E: Estratificación

Convención:

No hay posibildad cinemática

Si hay posibildad cinemática

Tabla 1.9 Clasificación del macizo rocoso

Criterio de evaluación		**Valores mínimos**	**Valores máximos**
σ'_c (Kg/cm^2)	Valor	30,0	120,0
	Calificación/15	1	2
RQD (%)	Valor	0	45
	Calificación/20	3	8
S (m)	Valor	0,3	0,5
	Calificación/30	20	20
Estado de las Discontinuidades	Descripción	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es débil	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es débil
	Calificación/25	12	12
Agua	Descripción	Húmedo	Húmedo
	Calificación/10	0	0
RMR	**Calificación/100**	**36**	**42**
	Descripción	**Macizo pobre**	**Macizo regular**
GSI		**30**	**40**

Tabla 1.10 Ejemplo de determinación de propiedades mecánicas – Zona 1

Cálculo de los parámetros de resistencia del macizo rocoso: ϕ, C y σ_{cm}

Formación Labor y Tierna - Zona 1 (T1, T1A y T2)

Parámetros máximos						
GSI: 40			**σ_c (MPa):** 6		**mi:** 11	
σ_3	σ_1	$\delta\sigma1/\delta\sigma_3$	σ_n	τ	$\sigma_n.\tau$	σ_n^2
0,01	0,31	13,82	0,03	0,08	0,00	0,00
0,01	0,38	11,48	0,04	0,10	0,00	0,00
0,02	0,50	9,12	0,07	0,14	0,01	0,00
0,05	0,69	7,06	0,13	0,21	0,03	0,02
0,09	0,97	5,41	0,23	0,32	0,07	0,05
0,19	1,41	4,16	0,42	0,48	0,21	0,18
0,38	2,09	3,25	0,78	0,73	0,57	0,61
0,75	3,17	2,60	1,42	1,08	1,54	2,02
SUMATORIA			3,12	3,14	2,43	2,89
mb/mi: 0,12			**mb:** 1,29		**s:** 0,001	
a: 0,5			**E (Mpa):** 5623		**ϕ:** 36	
C (MPa): 0,11			**σ_{cm} (Mpa):** 0,44			

Parámetros mínimos						
GSI: 40			**σ_c (MPa):** 2		**mi:** 8	
σ_3	σ_1	$\delta\sigma1/\delta\sigma_3$	σ_n	τ	$\sigma_n.\tau$	σ_n^2
0,00	0,10	11,03	0,01	0,03	0,00	0,00
0,00	0,12	9,42	0,01	0,03	0,00	0,00
0,01	0,15	7,68	0,02	0,04	0,00	0,00
0,02	0,20	6,06	0,04	0,06	0,00	0,00
0,03	0,28	4,72	0,08	0,10	0,01	0,01
0,06	0,41	3,68	0,14	0,14	0,02	0,02
0,13	0,61	2,92	0,25	0,21	0,05	0,06
0,25	0,94	2,36	0,45	0,31	0,14	0,21
SUMATORIA			1,01	0,94	0,23	0,30
mb/mi: 0,12			**mb:** 0,94		**s:** 0,001	
a: 0,5			**E (Mpa):** 5623		**ϕ:** 33	
C (MPa): 0,04			**σ_{cm} (Mpa):** 0,13			

Tabla 1.11 Resumen de propiedades mecánicas para todas las zonas

Zona	GSI	σ_u (Kgf/cm^2)	Condición	m_i	C' (MPa)	ϕ' (°)	tan ϕ'	Taludes	Sección
Z1	40	6	máx	11	0.11	36	0.727	T-1, T-1A, T-2, T-12	A-A'
Z1		2	min	8	0.04	33	0.649		
Z2	32	6	máx	11	0.1	34	0.675	T-3, T-4, T-5A	B-B', C-C', D-D'
Z2		2	min	8	0.03	31	0.601		
Z3	32	6	máx	11	0.1	34	0.675	T-5, T-5B, T-6, T-11	E-E'
Z3		3	min	9	0.04	33	0.649		
Z4	40	6	máx	11	0.11	36	0.727	T-7, T-8	-
Z4		2	min	8	0.04	33	0.649		
Z5	30	3	máx	9	0.04	31	0.601	T-9, T-10	F-F'
Z5		2	min	8	0.03	30	0.577		

Tabla 1.12 Parámetros geomecánicos por material

Propiedad		Material	
		Arcillolitas	Areniscas
Peso unitario (Ton/m3)	Promedio	2,0015	2,1825
Cohesión (Ton/m2)	Mínima	0,61484	0
	Promedio	1,87137	1,18491
	Máxima	3,12791	2,36983
Fricción (Ton/m2)	Mínima	19,6356	32,6599
	Promedio	27,1274	40,9029
	Máxima	32,9672	47,5085

Figura 1.1 Resumen gráfico de propiedades índices y mecánicas Perforación S-1

PROYECTO: Altos del Volador
LOCALIZACIÓN: Calle 70A Sur # 20-49

SONDEO No: S-1
FECHA: Enero de 2005

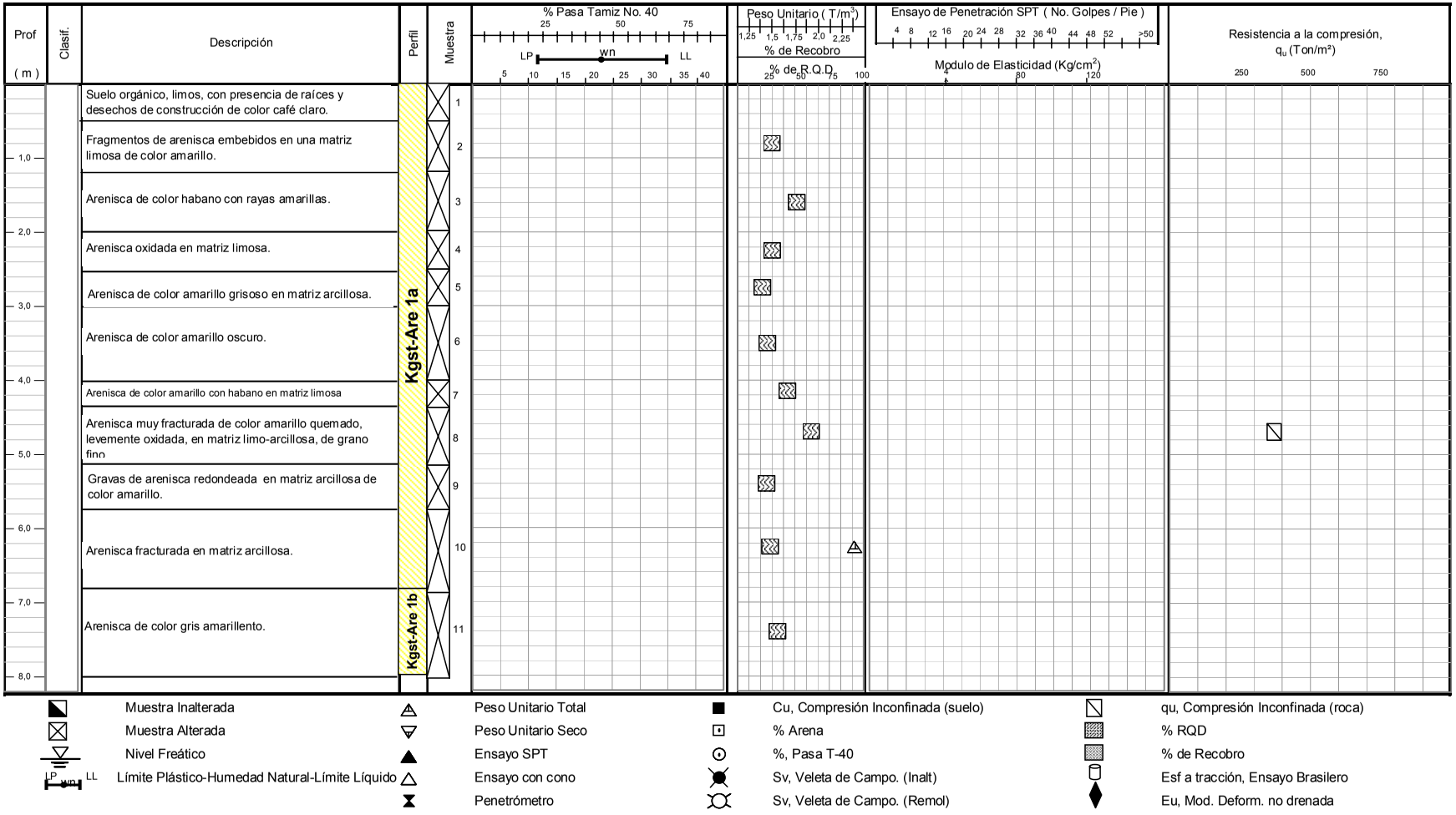


Figura 1.2 Resumen gráfico de propiedades índices y mecánicas Perforación S-2

PROYECTO: Altos del Volador
LOCALIZACIÓN: Calle 71 Sur # 22-01

SONDEO No: S-2
FECHA: Enero de 2005

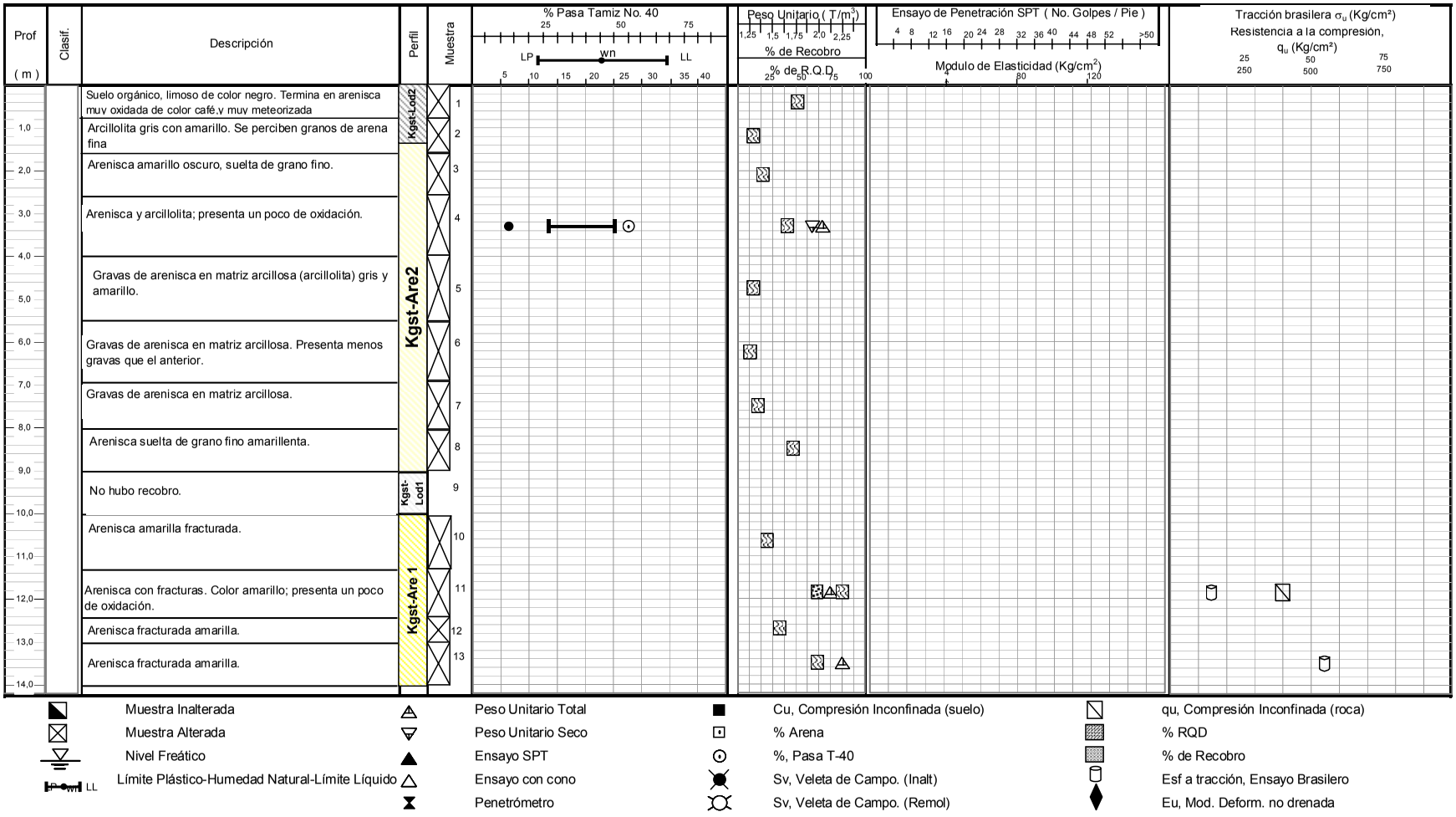


Figura 1.3 Resumen gráfico de propiedades índices y mecánicas Perforación S-3

PROYECTO: Altos del Volador
LOCALIZACIÓN: Calle 70f Sur # 20-43

SONDEO No: S-3
FECHA: Enero de 2005

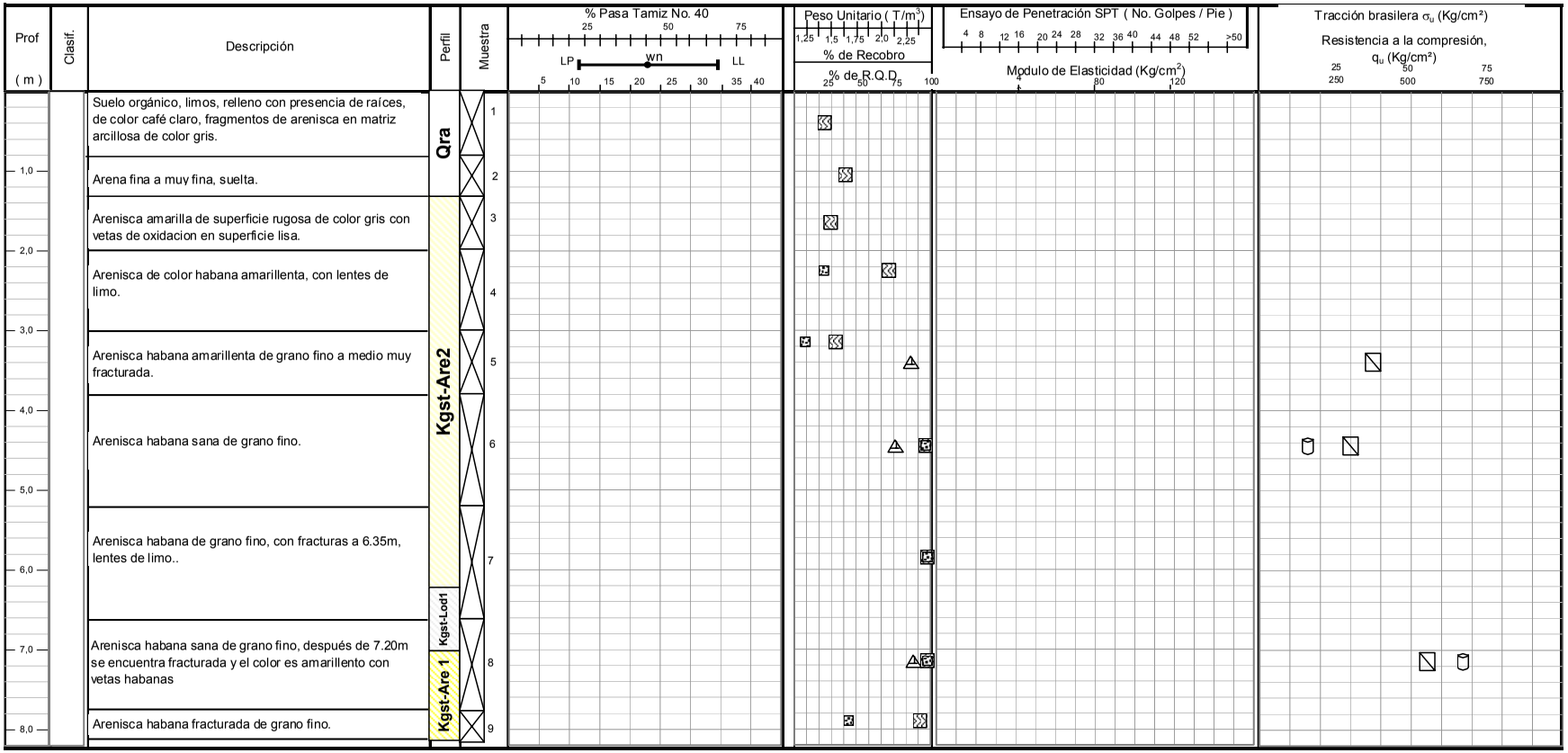


Figura 1.4 Resumen gráfico de propiedades índices y mecánicas Trinchera TR-1

PROYECTO: Altos del Volador
LOCALIZACIÓN:

SONDEO No: TR-1
FECHA: Febrero 5 de 2005

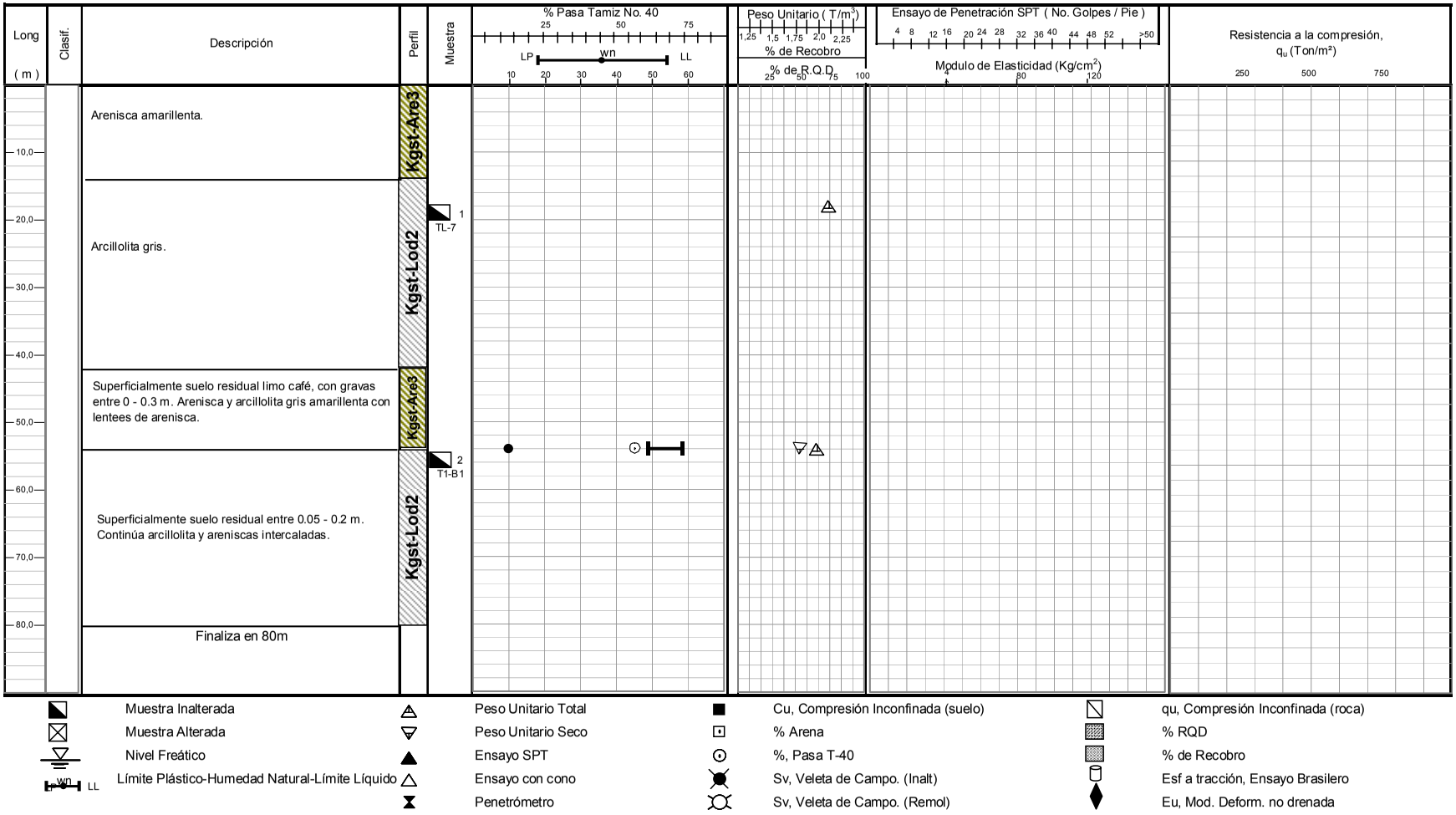


Figura 1.5 Resumen gráfico de propiedades índices y mecánicas Trinchera TR-2

PROYECTO: Altos del Volador
LOCALIZACIÓN:

SONDEO No: TR-2
FECHA: Febrero 5 de 2005

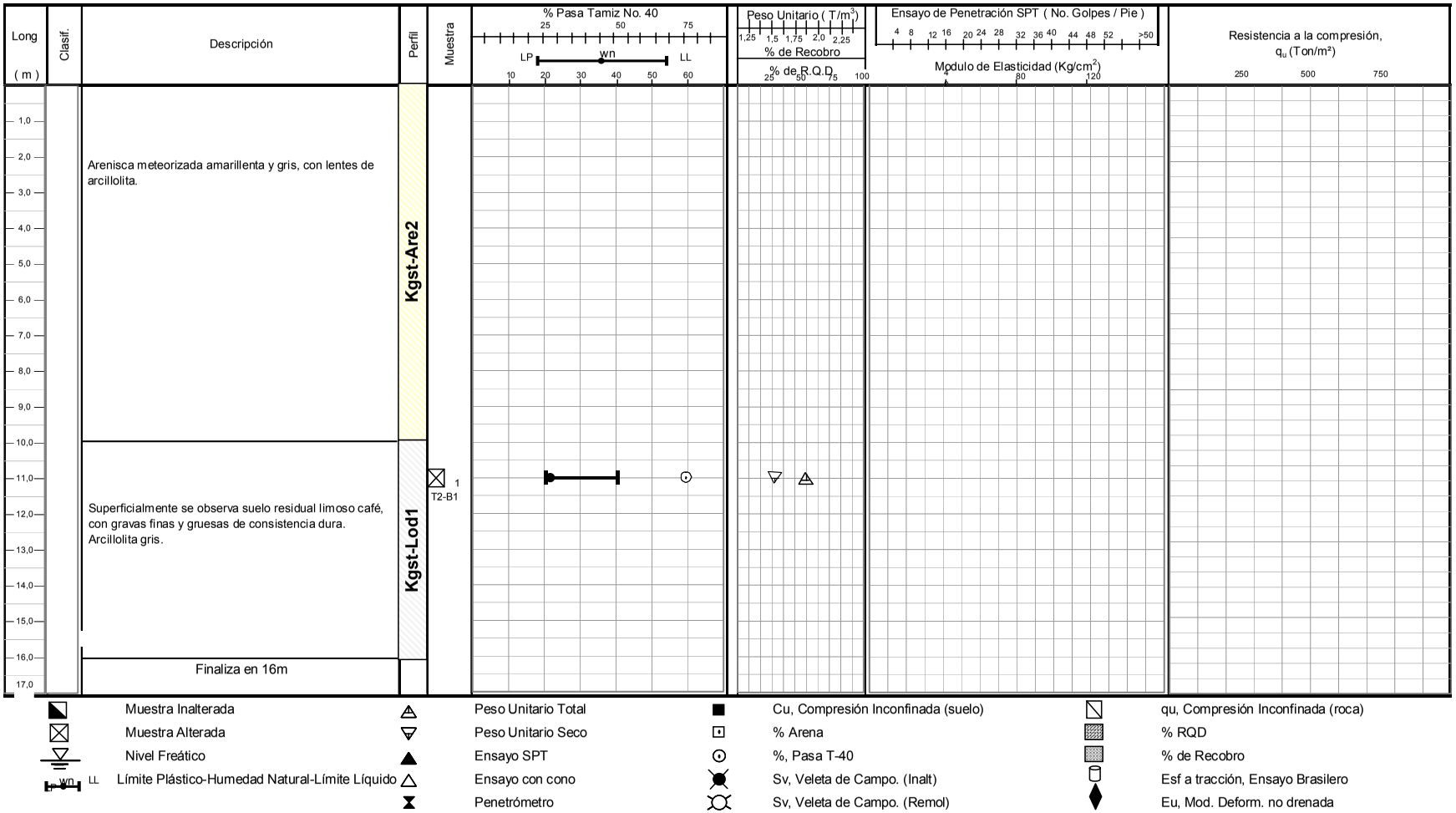


Figura 1.6 Determinación de la dilatancia en los cortes directos

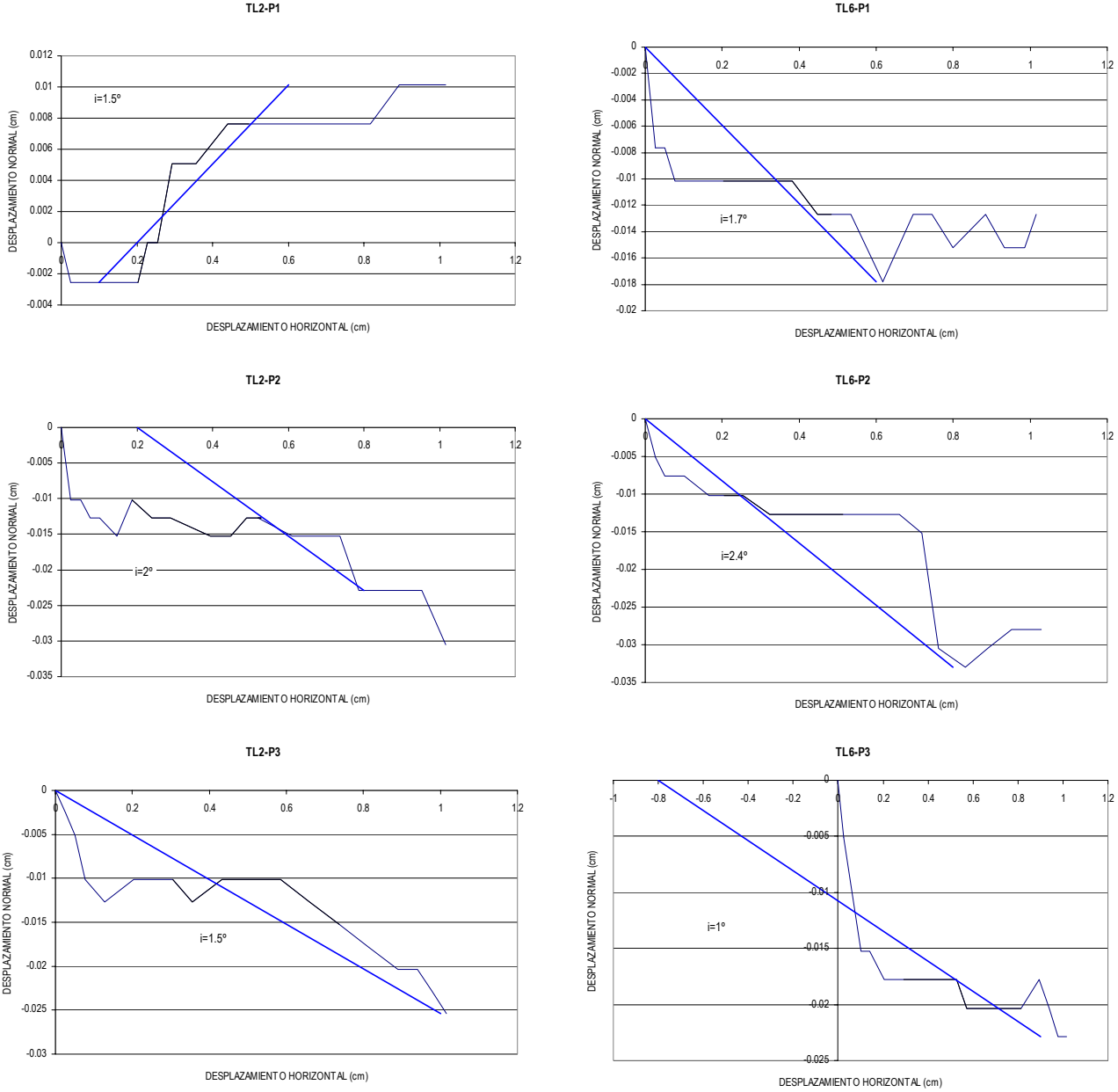


Figura 1.7 Muestras para ensayos de caracterización mecánica



TL-2 (Are4) CD
i = 2º



S2-M11 <11.3m – 12.4m> (Are1)
BD
i = 12º



S3-M8 <6.6m – 7.7m> (Are1)
i = 13º



TL-6 (Are4) CD
i = 2º



S2-M13 <13m – 14m> (Are1)
BD
i = 10º



TL-1 (Are 4) BD
i = 5º



TL-3 (Are 4) BD
i = 14º



TL-7 (Lod2) CD



S3-M5 <3.0m – 3.8m> (Are2)
i = 19º



TL-4 (Are 4 BD)
i = 12º

Convención: Sondeo-Muestra <Prof> (Litología) Ensayo

Figura 1.8 Representación de las familias de discontinuidades y sus intersecciones

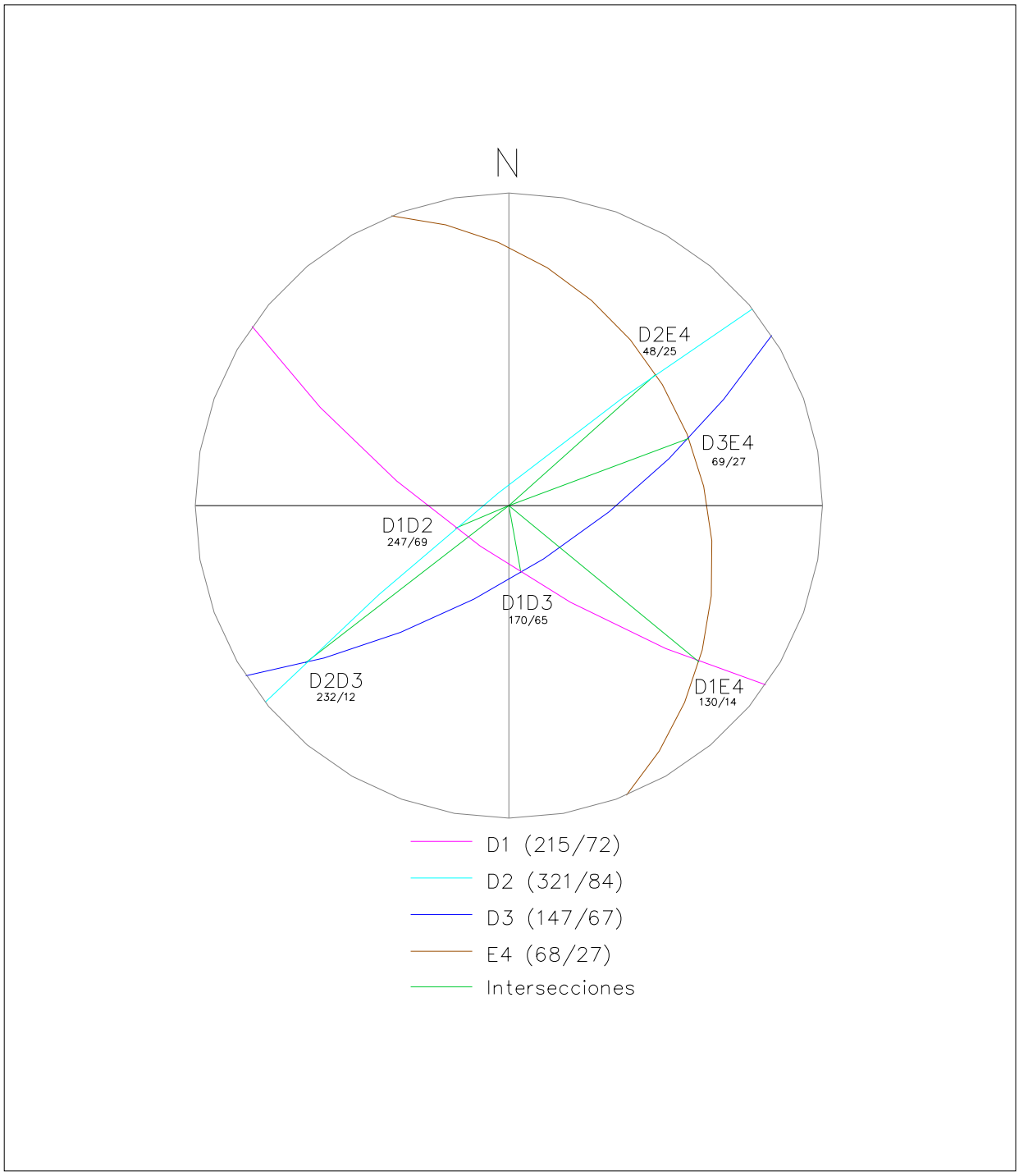


Figura 1.9 Localización e identificación de los taludes

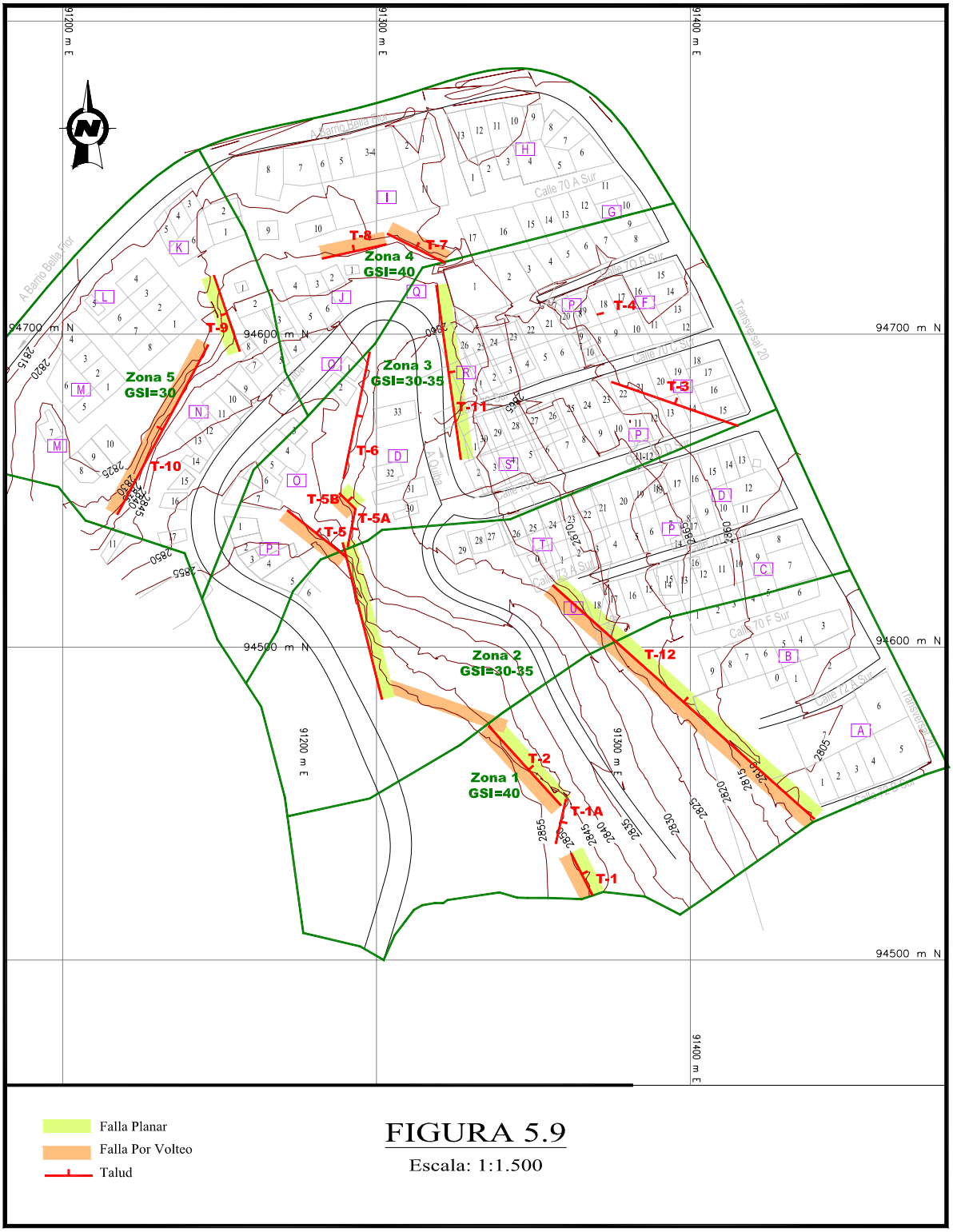


Figura 1.10 Fotografías de los taludes para análisis cinemático



Taludes 1 y 1A



Taludes 2 y 3



Talud 4



Talud 5



Taludes 5A y 5B



Talud 6



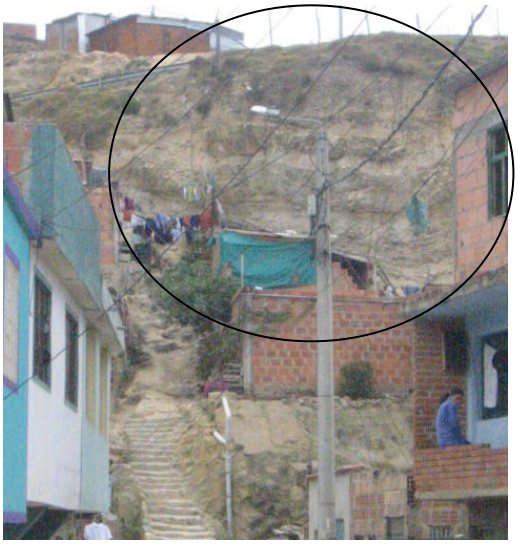
Talud 7



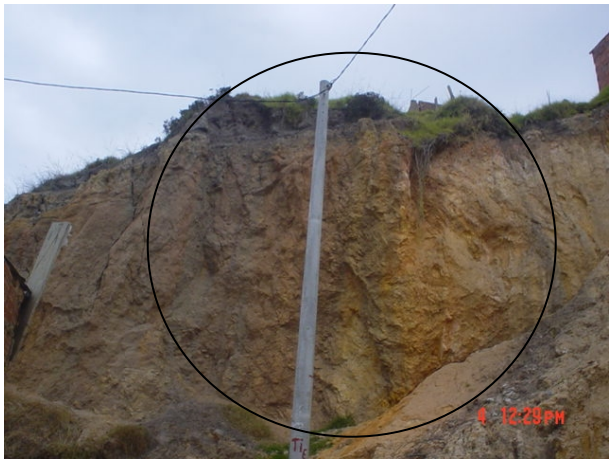
Talud 10



Talud 8



Talud 11



Talud 9



Talud 12

Figura 1.11 Resultados del análisis cinemático – falla planar

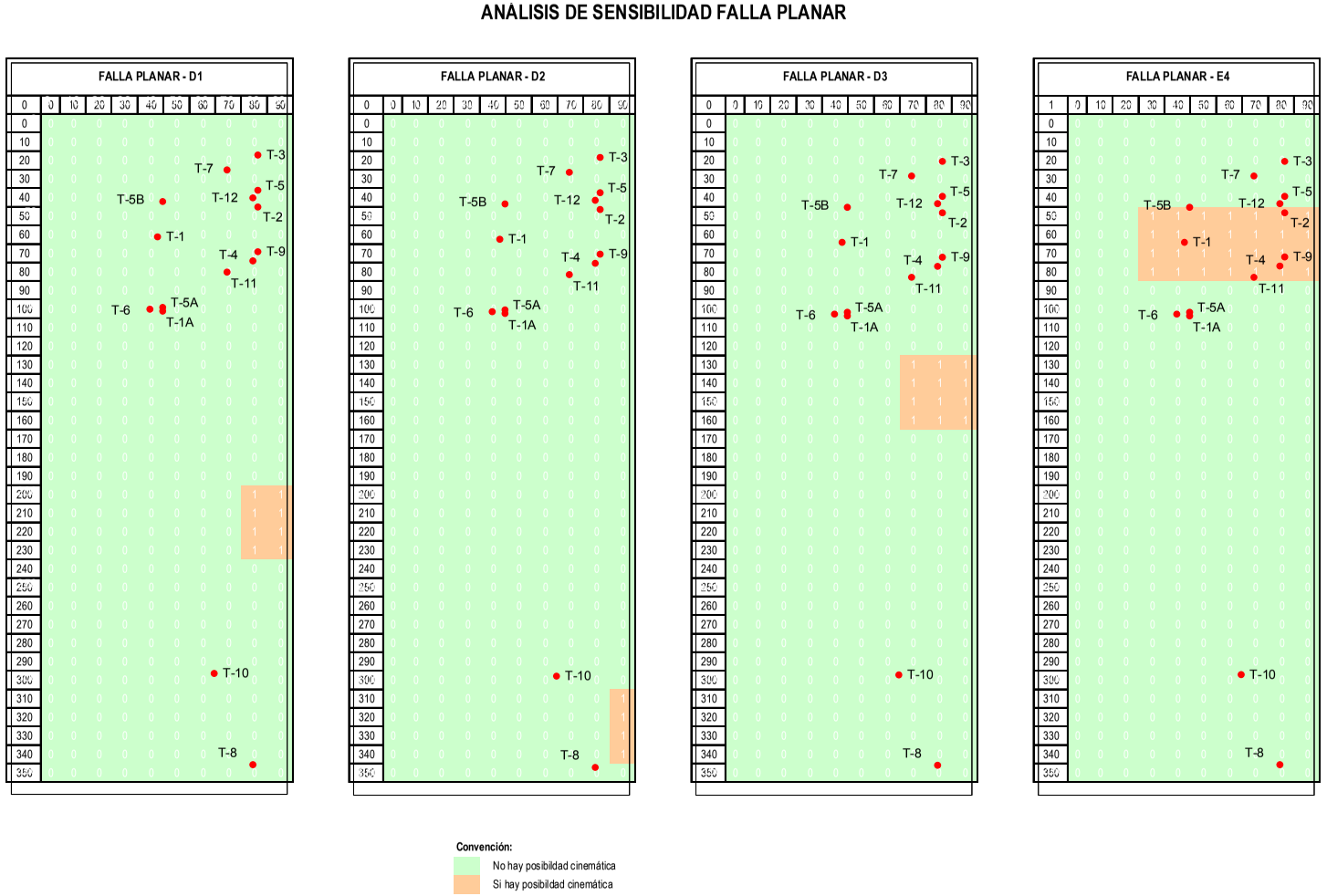


Figura 1.12 Resultados del análisis cinemático – falla en cuña

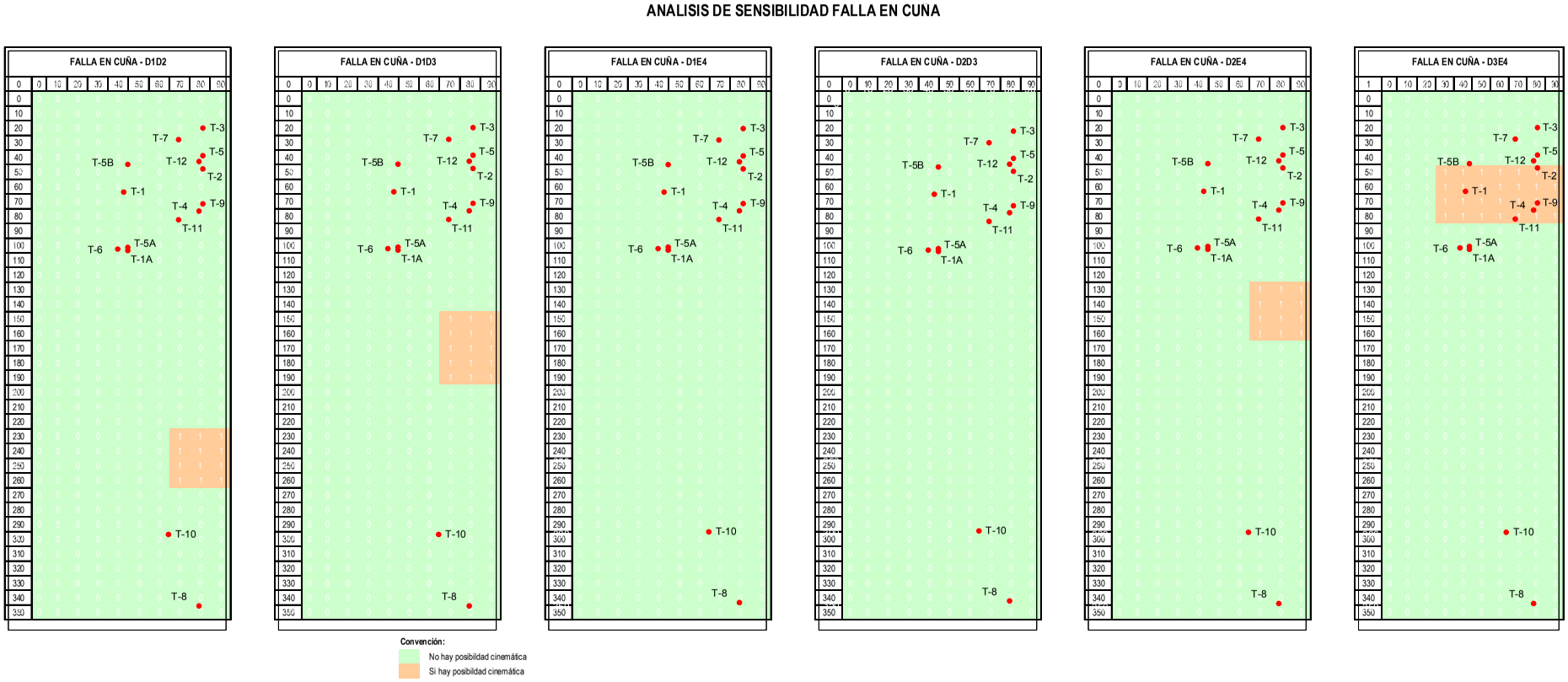


Figura 1.13 Resultados del análisis cinemático – falla por volteo

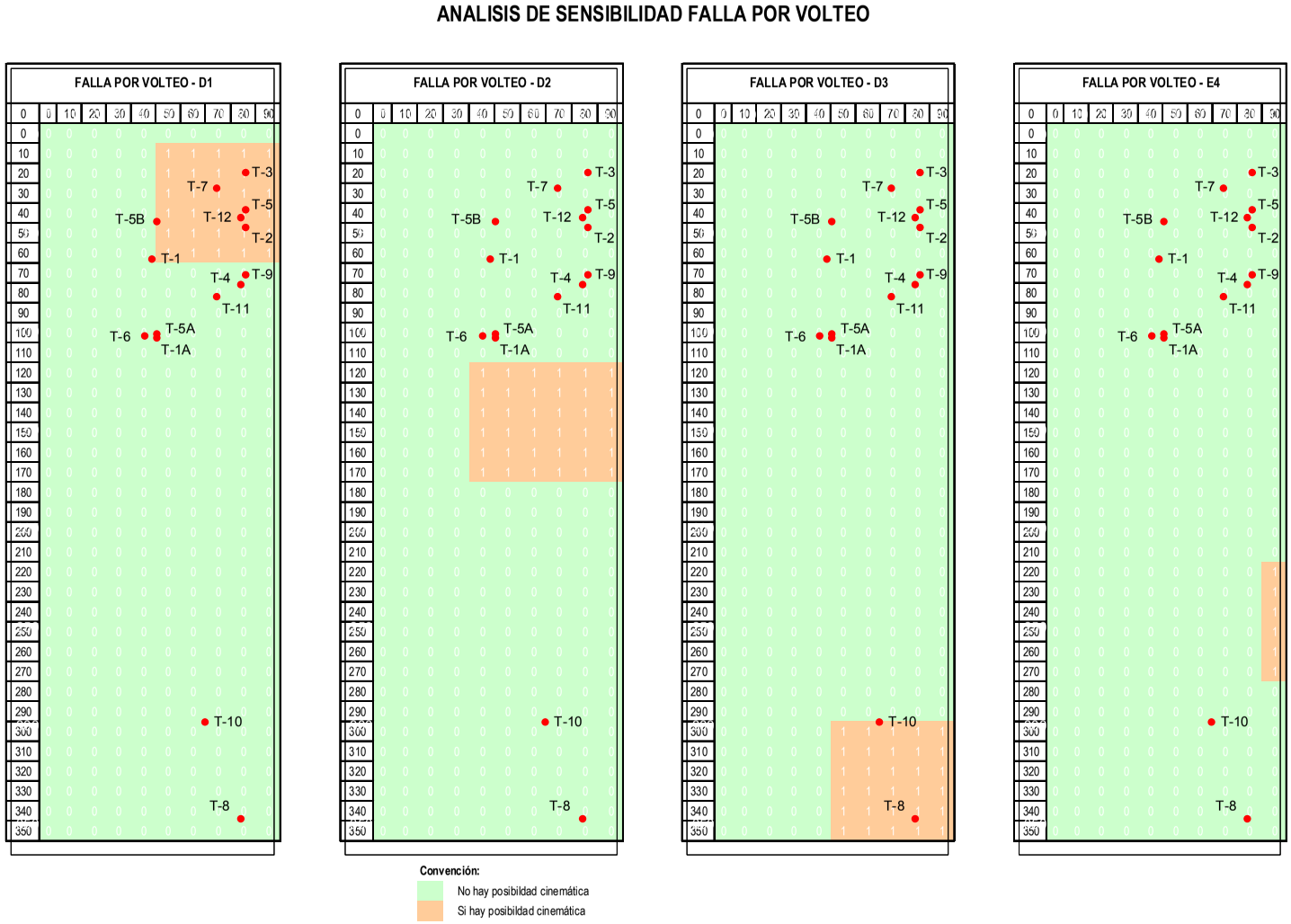


Figura 1.14 Compendio de parámetros geomecánicos

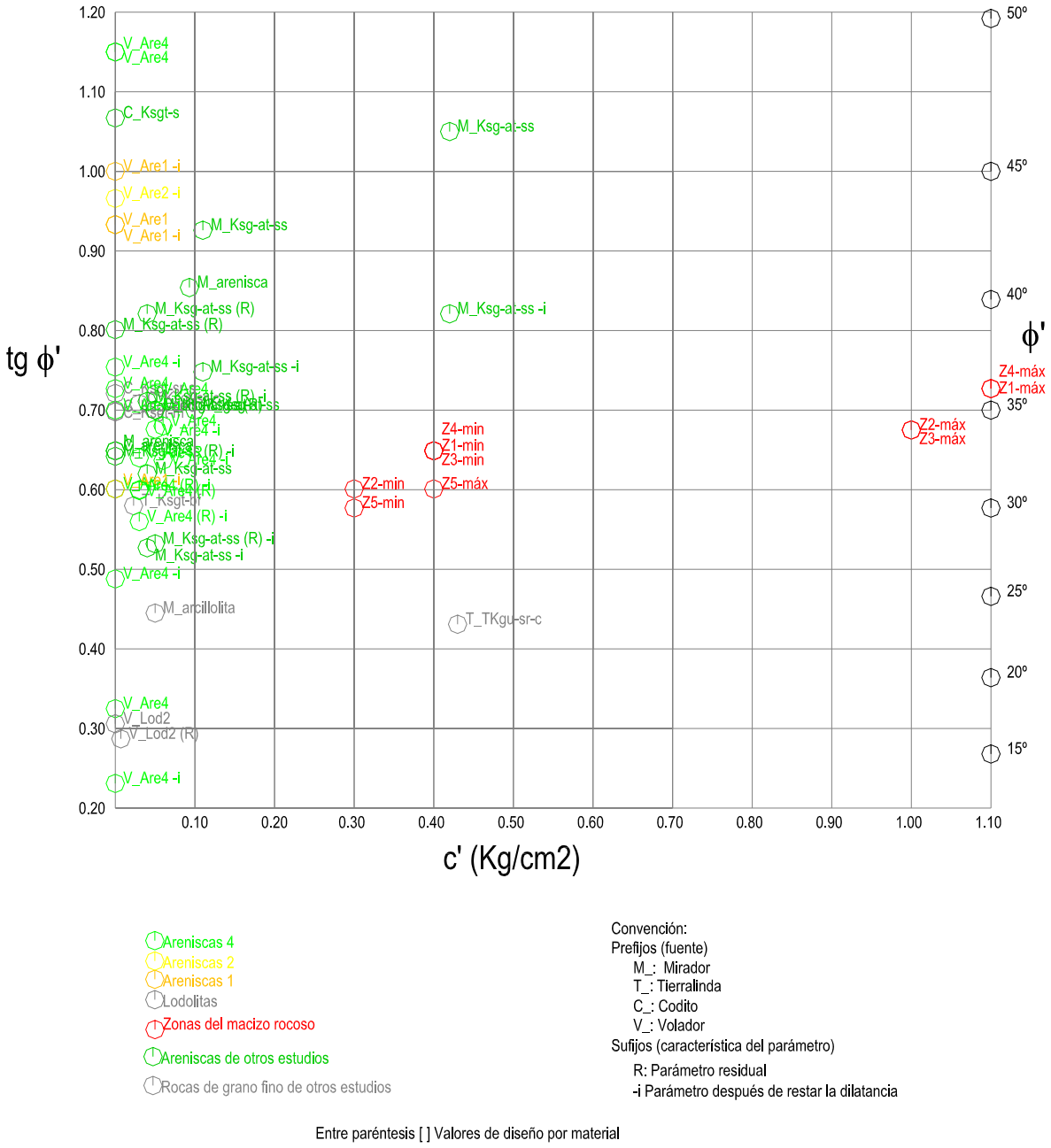


Figura 1.15 Envolvente de resistencia para la arenisca

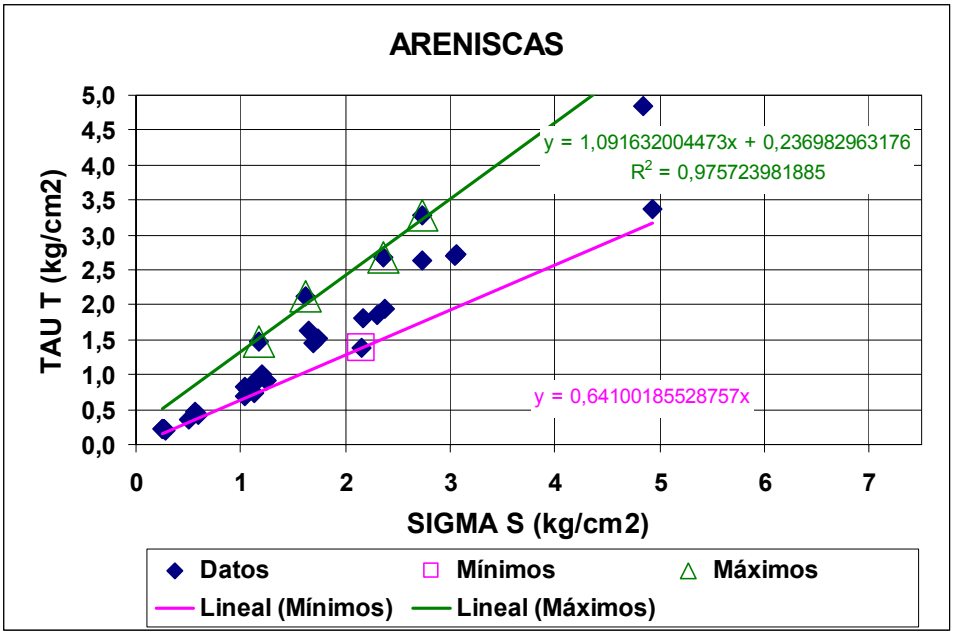
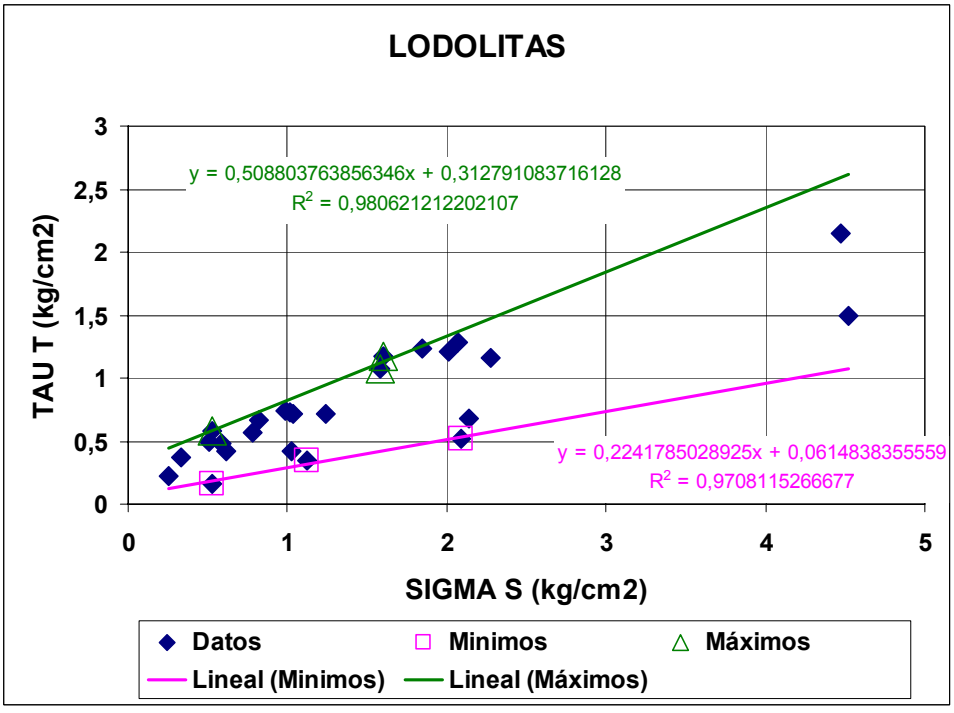


Figura 1.16 Envolvente de resistencia para la lodolita



1. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE AMENAZA POR FRM

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

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

1.1 HIPÓTESIS DE TRABAJO

1.1.1 Mecanismos de falla

Los mecanismos de falla posibles en el frente de explotación, si el ambiente de trabajo son los macizos rocosos menos fracturados y de acuerdo con los resultados del análisis cinemático (numeral **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), corresponden a deslizamientos planares con y sin grieta de tracción donde el plano de movilización está controlado por la estratificación E_2: 68/27 y volcamiento, controlado principalmente por la familia de diaclasas: 69/27. En el cuaternario y en el material rocoso muy fracturado, con comportamiento tipo suelo, los movimientos rotacionales y traslacionales, superficiales ocupan un espacio preponderante.

Así, la evaluación de estabilidad se efectúa para los taludes que presentan la posibilidad cinemática y se hace extensiva a la zona que representan. De acuerdo con los resultados del análisis cinemático, son factibles fallas, en:

- T-1, T-2 y T12 (Zona 1) que se manifiestan en los deslizamientos planares del costado sur, citados en el numeral **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**;
- T-4 (Zona 2) y T-5B, T-11 (Zona 3) caída de bloques y/o flujos de detritos o una potencial falla planar

- T-9 y T-10 (Zona 5) que se manifiestan en los deslizamientos de la parte norte a que hace mención el numeral **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Como se mencionó antes, la falla en cuña por la intersección D3E4 (69/27) es prácticamente la misma falla planar condicionada por la estratificación (68/27), razón por la cual, el análisis con este último mecanismo se considera suficiente.

1.1.2 Método de análisis y modelación

La modelación, se planteó gracias a los métodos de equilibrio límite, específicamente los ilustrados por Norrisahnd and Wyllie (1996), que son versiones generalizadas de los tratamientos de falla planar, con y sin grieta de tracción, desarrollados por Hoek y Bray (1974), y el método de dovelas de Janbu (1957). Las fallas en roca (planar con y sin grieta) se evaluaron con ayuda de hojas de cálculo debidamente validadas; y deslizamientos rotacionales, traslacionales y de bloque en suelos, a partir del programa PCStable 6.
En las secciones A a E el mecanismo empleado de falla planar general (con y sin grieta) suponiendo el plano de falla en el contacto Are3 – Lod2. En las sección F Los mecanismos fueron planar con plano falla, la discontinuidad 2 y rotacional.

1.1.3 Parámetros de resistencia

Como se explicó en el capítulo anterior, en la ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. se listan, para los parámetros estáticos de resistencia, el tipo de función de probabilidad adoptado y las propiedades que la caracterizan.

1.1.4 Agentes detonantes

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

1.1.4.1 Agua

La presencia de agua en el talud se tuvo en consideración, de acuerdo con el mecanismo de falla adoptado como: la relación Hw/H para la falla planar sin grieta de tracción y Zw/Z para la falla planar con grieta de tracción.
La función de probabilidad de dichas variables (Hw/H y Zw/Z) se basó en la obtención para la Estación Casablanca -la más cercana a Brisas del Volador- de los periodos de retorno en función de lluvias acumuladas para una duración dada, mediante una distribución Gumbel de la forma:

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

O, lo que es lo mismo,

$$p = 1 - \exp\{-\exp[-a(Lld - b)]\}$$

donde:

Tr: Periodo de retorno (años)
p: Probabilidad de ocurrencia anual de Lld
Lld: Precipitación acumulada para una duración dada (mm)

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

$$a = 0.00002 \cdot Dcr^2 - 0.0026 \cdot Dcr + 0.0849$$

$$b = 0.0076 \cdot Dcr^2 + 2.7685 \cdot Dcr + 40.985$$

donde:

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

De acuerdo con Castellanos, 1995, la Dcr es función de la Lluvia crítica, Llcr, (en mm) y se escribe en términos de la precipitación anual, Lla (también en mm), así:

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

$$Llcr = 0.3608995184 \cdot Lla$$

Dado que la precipitación anual multianual, Lla, en la Estación Casablanca -la más cercana a Brisas del Volador-, es de 616 mm (ver capítulo 4), la precipitación crítica, Llcr, es 222 mm; su duración, Dcr, 31días y su periodo de retorno, Tr, 11.73 años. Los valores de los coeficientes de la distribución Gumbel para esta estación y duración, a y b, son 0.02352/mm y 119.5049 mm, respectivamente, con media de 144.0464 mm y desviación estándar de 54.5302 mm.

Para otros escenarios de exposición se tiene que:

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

donde:

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

n: Tiempo de exposición (años)

p: Probabilidad de ocurrencia anual de Lld

Con esta información se construyeron las curvas de Hw/H de la Figura 1.3 (falla planar sin grieta de tracción) para 1 y 10 años y de Zw/Z de la Figura 1.4 (falla planar con grieta de tracción) para los mismos escenarios, asimilando que la precipitación crítica aloja una cantidad de agua en el talud tal, que produce la falla (FS=1) y, otras precipitaciones, crean niveles de agua aritméticamente proporcionales. El talud empleado para esta retroalimentación, iterativa fue la sección D-D' (talud 4) para la que se adoptó como criterio que la combinación de parámetros geomecánicos promedio, en estados de lluvia y no sismo, condujera a una condición estable ($FS \geq 1.2$), tal como lo evidencia la configuración inmodificada del terreno durante las dos últimas décadas. En este periodo, se cree, ha acontecido la lluvia crítica (detonadora de deslizamientos) sin embargo, no se han producido fallas generales de las laderas.

1.1.4.2 Sismo

Con respecto al sismo, se tienen las siguientes consideraciones:

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

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

Así, la curva de amenaza presentada por el EGASC para Bogotá se afecta por las consideraciones mencionadas, tal como se presenta en la Figura 1.5, para un escenario de 1 año de exposición y se ajusta a la siguiente distribución Gumbel:

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

donde:

a_h/g: Coeficiente de aceleración horizontal del terreno
a: Coeficiente de Gumbel = 16.85895
b: Coeficiente de Gumbel = 0.319692

Para otros escenarios se tiene:

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

donde:

p_n: Probabilidad para exposición de n años
n: Tiempo de exposición (años)
p = probabilidad anual (= 1/475)

En la Figura 1.5, se muestra también la curva para una exposición de 10 años.

1.2 EVALUACIÓN DE AMENAZA

La amenaza por fenómenos de remoción en masa, entendida como la posibilidad de falla durante un tiempo de exposición dado, puede hacerse mediante análisis cuantitativos: probabilísticos o determinísticos, o por métodos puramente empíricos. En este estudio, la evaluación se hace en términos cuantitativos – probabilísticos de tal forma que la amenaza es función de múltiples factores, ya sean internos o externos que la controlan, expresados, unos, como valores únicos y, otros, como variables aleatorias. En el caso de los deslizamientos, la amenaza puede describirse mediante la evaluación del factor de seguridad.

Así, para estimar la probabilidad de falla es necesario conocer la distribución estadística del factor de seguridad (González, 2001) específicamente sus dos parámetros: media y desviación estándar. La solución a este inconveniente se plantea aquí al recurrir a cualquiera de dos métodos estadísticos: el PEM (método de estimados puntuales) o Montecarlo. .Cualquiera que sea el método, es preponderante definir las hipótesis de trabajo determinísticas (mecanismo de falla y métodos de análisis), y las hipótesis de trabajo probabilísticas (parámetros de resistencia y agentes detonantes), las últimas mediante funciones de probabilidad y los parámetros que las definen (p. ej. media y desviación estándar).

1.2.1 Consideraciones

Por limitaciones inherentes a las herramientas computacionales utilizadas en el cálculo del FS, se utilizaron para los mecanismos de falla planar con y sin grieta de tracción, los métodos de Montecarlo y PEM, en tanto que para los mecanismos en suelo, sólo se empleó el PEM, dado que los primeros, como se mencionó antes, fueron calculados con hojas electrónicas que facilitan la obtención de los insumos de ambos métodos, en tanto que los mecanismos de suelo fueron corridos en PC-Stable 6, algo limitado en la generación de múltiples combinaciones.

Fijos los comportamientos de las fuentes de incertidumbre, las funciones de probabilidad de las variables se constituyeron en elementos fundamentales para la determinación de la función de la probabilidad de falla. En este sentido se determina el FS para múltiples corridas, cinco mil (5000) en total, a partir de la selección aleatoria de los valores de las variables, en el caso del método de Montecarlo y dieciséis (16) para la determinación con el PEM.

Todas las valoraciones se efectuaron contemplando dos escenarios de exposición: actual (1 año) y a mediano plazo (10 años) con el fin de establecer sensibilidad con respecto a esta variable. La diferencia en los cálculos de la probabilidad condicional, entre uno y otro escenarios, depende del método estadístico, así:

- Si se trata del método de Montecarlo radica en la utilización de las curvas de probabilidad de las variables con incertidumbre temporal: agua y sismo, según el lapso de exposición. (ver de la Figura 1.3 a la Figura 1.5),
- Si el análisis se efectúa con PEM, se emplean los valores esperados y su probabilidad de ocurrencia. Sin embargo, bien podrían utilizarse los valores máximos (y su correspondiente probabilidad) sin detrimento de los resultados, pues las diferencias no son significativas.

Finalmente, con los factores de seguridad (F.S) se calcularon las curvas de densidad, a partir de las cuales se obtuvo la probabilidad de falla como el área bajo la curva para niveles del F.S. menores a la unidad.

1.2.2 Análisis de Resultados

En el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran, a manera de ejemplo, determinaciones de FS y Pf para los dos mecanismos, en la sección A-A'. Los resultados de los análisis se clasifican y resumen así:

- Un primer grupo incluye la falla planar sin grieta de tracción con plano de falla coincidente con el contacto arenisca-lodolita, para este caso se utilizan los parámetros de resistencia de la lodolita por se los más desfavorables (Tabla 1.2).
- Un segundo grupo, con el mismo mecanismo y también simulando falla por la estratificación, utiliza los parámetros de la lodolita ya que tal horizonte se devela como plano preferencial de movilización pues la unidad Are 3 no sólo es más arcillosa que la suprayacente (Are4) sino que su estratificación más delgada y encierra intercalaciones de arcillolita de 2 cm. (Tabla 1.3)
- Un tercer grupo que difiere del anterior en el empleo de los parámetros de la arenisca en el contacto Are4-Are3, en este caso se emplearon los parámetros de la arenisca (Tabla 1.4), con el fin de comparar la respuesta entre las dos litologías.
- Un último grupo se enfoca a los mecanismos de falla planar con grieta de tracción para diferentes geometrías (variaciones de H y b, altura y posición de la grieta) para las secciones A-A' a E-E'. (Tabla 1.5 a Tabla 1.8)

De los resultados obtenidos, se concluye que para el estado actual, los taludes representados por las secciones B a D, poseen probabilidades de falla superiores a 0.124; los planos preferenciales de falla son los contactos litológicos areniscas (Ksgt-Are3) – arcillolitas (Ksgt-Lod2) o Arenisca (Ksgt-Are4)-Arenisca (Ksgt-Are3) y el mecanismo dominante es la falla planar sin grieta.

Para tiempos de exposición de 10 años, las zonas vecinas a las secciones A y F migran de probabilidades condicionales de 0.10 a 0.14, y una porción pequeña de las C y D trasciende

de 0.21 a 0.45. Cualquiera sea el caso las coronas de los eventos preservan como límite superior el contacto Arcillolita (Ksgt-Lod2) – Arenisca Ksgt-Are3; los procesos potenciales de inestabilidad involucran fallas planares con grieta; los bloques potenciales ilustran alturas hasta de 8 m, con buzamientos en la cara frontal entre 66° y 82°, y posiciones de la grieta de tracción en la corona oscilantes entre 1.5 y 4.5 m.

Pero los deslizamientos no son los únicos eventos morfodinámicos. La erosión en surcos y cárcavas tiene papel preponderante, no sólo por su repercusión como expresión individual, sino por su papel como agente contribuyente en los primeros (deslizamientos). El más importante de los frentes erosivos tiene lugar en la zona homogénea 5, específicamente entre las viviendas 6 a 12 de la manzana N. Los surcos y cárcavas exhiben formas paralelepípedas; sus longitudes medias alcanzan los 10 m, y las secciones transversales, aproximadamente rectangulares, son de 0.03m por 0.40 m para los primeros, y 080 m x 2.10 m para las segundas. Unos y otras son detonadas por la ausencia de sistemas colectores en la corona de los taludes o por vertimientos provenientes de las unidades residenciales.

La tasa media de erosión, deducida como el volumen removido en el tiempo medio de exposición: 10 años –acorde con la edad de las viviendas en el frente de explotación, es de 1.2 m^3/año (véanse Fotos mile 002 y 003), lo que la clasifica como de moderada a severa (Van Zuidam, 1985), su dualidad radica en que los espaciamientos entre canales están en el dominio [3 m-7 m]. La atención, entonces, de estos fenómenos está regida por la implementación de cunetas y mejoras en el sistema de recolección de vertidos, sin dejar de lado la recuperación morfológica de las superficies libres.

1.2.3 Distancias de viaje de las masas potencialmente inestables

Conocidas la composición geotécnica de cada ladera, su configuración geomorfológica y sus probabilidades condicionales de falla, el último paso para obtener el mapa de Zonificación de Amenaza consiste en delimitar las zonas de afectación potencial de los procesos denudativos. Dichas áreas fueron demarcadas una vez estimadas las distancias de viaje de las masas, labor que se llevó a cabo para las caídas de bloques, con ayuda del Colorado Rock-fall Simulation Program, CRSP. El método toma como variables relevantes: la morfometría del talud, la altura, el tipo de bloque involucrado y la pendiente. La Tabla 1.1 condensa las longitudes máximas y medias calculadas con este método.

1.2.4 Zonificación de Amenaza

Conjugados los datos obtenidos tanto del Método de Montecarlo como del PEM, en materia de probabilidad de falla condicional y el CRSP, en materia de distancia de afectación, el área pudo dividirse en tres categorías de similar condición de amenaza: Baja, Media y Alta, para los dos horizontes temporales analizados: actual y mediano plazo –10 años- (Véanse ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. y ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**,** respectivamente). La clasificación de las zonas se realizó con base en la escala propuesta por González y Millán (1999) para el "Estudio de Zonificación de Santa Fe de Bogotá" pero adaptada por IGR en el proyecto "Altos de la Estancia-2004", y que versa en la Tabla 1.9.

De esta manera, la amenaza a 1 año, exhibe como escenarios de mayor potencial las zonas homogéneas 2 y 5 representadas por las secciones B-B, C-C, D-D y F-F; todas con

categoría media y probabilidades condicionales totales desde 0.14 hasta 0.23. Respuesta similar encierran pequeñas porciones de las superficies libres contiguas a los cortes A-A y E-E; ellas son las receptoras de las más recientes manifestaciones de actividad en la vertiente. La primera está remarcada por un deslizamiento local de tierra y detritos, hoy por hoy estabilizado-colapsado; la masa movida posee una longitud de 25 m, ancho máximo de 20 m y profundidad de escasos centímetros (<0.40m).

La segunda encierra el trabajo gradual y progresivo del deficiente drenaje de la Carretera a Quiba; la fuga permanente del agua lluvia de uno de los receptores (sumidero) sumado a la acción dinámica de los vehículos pesados (i.e. transporte público) provocaron desplomes de tierra, con consecuentes deformaciones de la estructura vial y de su suelo de fundación y el deterioro parcial de la vía (véanse Foto 1 y Foto 2). Aunque el fenómeno es puntual sus consecuencias trascienden los escasos metros involucrados; pues la rotura de la comunicación de la vereda Quiba, los accidentes vehiculares y los choques inelásticos, es decir, las colisiones entre objetos móviles (vehículos) y fijos (viviendas), son sólo algunas de las más relevantes.

Los cinturones de menor posibilidad engloban las regiones 1, 3 y 4 es decir las laderas, fijadas por los cortes A-A y E-E, excepto por los dominios señalados en el párrafo anterior. En estos dos recintos las probabilidad condicional no supera el 11%. La respuesta a 10 años se intensifica al punto de fijar categorías dominantes de amenaza media. Las laderas de las secciones A-A y F-F (Zonas 1 y 5) migran a 0.14 y 0.13, respectivamente.

Situación similar acontece con los cortes C-C, D-D (Zona 2), pero con la salvedad de que ellos mutan de media a alta, si el fenómeno es la falla planar en cuña o la caída de bloques, pero sólo en un espacio restringido; sin embargo, toda vez que el fenómeno recaiga en el deslizamiento traslacional la probabilidad condicional se preserva en media pero con aumentos porcentuales de hasta 10%. En general, los escenarios a 1 y 10 años mantienen como límite superior de las franjas de mayor amenaza, media y alta, el contacto en planta entre las areniscas y las lodolitas; el lindero inferior lo marca la distancia de viaje de los bloques móviles tal como se mencionó arriba.

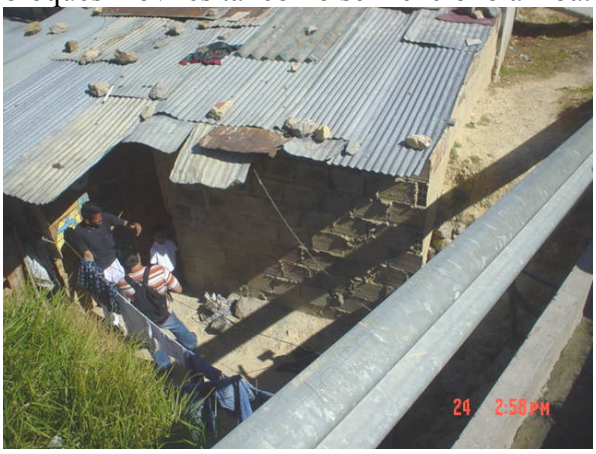


Foto 1 Vista desde la vía a Quiba, de la vivienda E-1





Foto 2 Vistas, desde la casa, del material de soporte erosionado de la vía. La placa y la tubería pierden apoyo

Tabla 1.1 Distancias de viaje (CRSP)

TALUD	Long (m)	Punto de análisis X (m)	No. rocas que pasan por el punto de análisis	Vel Prom (m/s)	Altura de caída Prom (m)	Dist. 70% de viaje (m)	Distancia máx. de viaje (m)
1	102.46	15	512	4.83	0.36	40	90
		60	40	6.34	0.53		
		95	0	0	0		
2	100	30	221	4.15	0.21	30	60
		60	0	0	0		
		80	0	0	0		
3	88.92	30	0	0	0	10	30
		55	0	0	0		
		75	0	0	0		
4	88.91	25	270	3.95	1.99	30	30
		26	630	6.21	4.06		
		40	0	0	0		
5-5a	102.91	13	378	4.35	0.16	20	90
		36	97	5.1	0.27		
		82	3	3.94	0.35		
6	40.25	10	0	0	0	20	30
		20	191	4.35	0.38		
		30	0	0	0		
7	26.42	5	0	0	0	20	26.42
		10	407	3.6	0.95		
		15	399	7	1.4		
8	22.32	5	747	4.66	0.31	10	20
		10	70	3.13	0.1		
		15	0	0	0		
9	28.28	12	1	4.42	0	20	28.28
		15	572	6.29	1.29		
		25	1	4.45	0		
10	32.82	12	324	6.36	0.77	20	30
		17	504	9.98	2.23		
		25	3	4.15	0.43		
11	41.12	10	0	0	0	10	10
		25	0	0	0		
		40	0	0	0		
12	52.53	10	335	4.04	0.17	20	40
		25	1	7.72	0		
		35	0	0	0		

Tabla 1.2 Resumen de los FS y de la probabilidad de falla condicional – Falla planar – Contacto Arenisca / Lodolita

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL							
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS							
				Sec A-A	Sec B-B	Sec C-C	Sec C-C(2)	Sec D-D	Sec D-D(2)	Sec E-E	Sec F-F
				Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar
Fricción	Cohesion (T/m²)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Sin	2,521	2,101	1,673	1,785	1,689	1,785	2,647	3,635
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Sin	1,947	1,527	1,099	1,211	1,115	1,211	1,746	3,217
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Sin	1,519	1,437	1,353	1,375	1,356	1,375	2,126	1,459
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Sin	0,945	0,863	0,779	0,801	0,782	0,801	1,225	1,042
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Con	2,452	2,042	1,625	1,734	1,641	1,734	2,540	3,563
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Con	1,895	1,486	1,068	1,177	1,084	1,177	1,677	3,156
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Con	1,475	1,394	1,312	1,334	1,315	1,334	2,039	1,426
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Con	0,918	0,838	0,755	0,777	0,759	0,777	1,176	1,019
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Sin	2,499	2,077	1,671	1,777	1,686	1,777	2,611	3,612
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Sin	1,935	1,514	1,098	1,207	1,113	1,207	1,727	3,205
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Sin	1,498	1,413	1,350	1,367	1,353	1,367	2,090	1,437
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Sin	0,934	0,850	0,777	0,796	0,780	0,796	1,206	1,029
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Con	2,431	2,019	1,622	1,726	1,638	1,726	2,506	3,541
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Con	1,884	1,473	1,067	1,173	1,082	1,173	1,658	3,144
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Con	1,454	1,371	1,310	1,326	1,312	1,326	2,005	1,404
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Con	0,907	0,825	0,754	0,773	0,757	0,773	1,157	1,007
h (Talud)											
				FPSGBVA-A	FPSGBVB-B	FPSGBVC-C	FPSGBVC-C(2)	FPSGBVD-D	FPSGBVD-D(2)	FPSGBVE-E	FPSGBVF-F
Material				Arcillolita	Arcillolita	Arcillolita	Arcillolita	Arcillolita	Arcillolita	Arcillolita	Arcillolita
	$Hw_{(1\ año)}$			2,64	2,46	1,41	2,71	1,62	2,70	4,59	0,69
	$Hw_{(10\ años)}$			6,93	6,46	3,69	7,10	4,26	7,09	12,04	1,81
Valores paramétricos empleados en cada sección	ϕ_{max}			32,99	32,99	32,99	32,99	32,99	32,99	32,99	32,99
	ϕ_{min}			19,64	19,64	19,64	19,64	19,64	19,64	19,64	19,64
	C_{max} (ton/m²)			3,13	3,13	3,13	3,13	3,13	3,13	3,13	3,13
	C_{min} (ton/m²)			0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM			n	0,1039	0,1415	0,2552	0,2110	0,2480	0,2110	0,0370	0,1150
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			n	0,1444	0,2154	0,3041	0,2700	0,2990	0,2700	0,0690	0,1370
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método MONTECARLO			n	0,0621	0,1504	0,2301	0,1960	0,2340	0,1990	0,0440	0,0390
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método MONTECARLO			n	0,2373	0,4899	0,4050	0,4260	0,4010	0,4310	0,3360	0,0950

Tabla 1.3 Resumen de los FS y de la prob. de falla condicional – Falla planar – Contacto Are4 / Are3 – Parámetros Iodolita

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL						
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS						
				Sec A-A	Sec B-B	Sec C-C	Sec C-C(2)	Sec D-D	Sec D-D(2)	Sec E-E
				Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar
Fricción	Cohesion (T/m^2)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Sin	3,338	2,584	1,819	1,954	1,804	1,910	2,746
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Sin	2,764	2,010	1,245	1,380	1,230	1,336	2,172
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Sin	1,680	1,532	1,381	1,408	1,378	1,399	1,563
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Sin	1,106	0,958	0,807	0,834	0,804	0,825	0,989
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Con	3,250	2,513	1,768	1,899	1,753	1,856	2,672
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Con	2,693	1,957	1,211	1,342	1,196	1,299	2,115
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Con	1,632	1,487	1,340	1,366	1,337	1,358	1,518
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Con	1,075	0,930	0,784	0,809	0,781	0,801	0,961
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Sin	3,317	2,558	1,810	1,937	1,795	1,896	2,714
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Sin	2,752	1,996	1,240	1,371	1,225	1,328	2,154
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Sin	1,659	1,506	1,372	1,391	1,370	1,385	1,531
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Sin	1,094	0,944	0,802	0,825	0,800	0,817	0,972
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Con	3,229	2,489	1,758	1,883	1,744	1,842	2,640
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Con	2,682	1,943	1,206	1,333	1,191	1,292	2,098
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Con	1,611	1,462	1,331	1,350	1,329	1,344	1,486
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Con	1,064	0,917	0,779	0,801	0,776	0,793	0,944
h (Talud)				7,0	7,0	14,0	12,5	15,0	12,5	8,0
				FPSGBVA-A	FPSGBVB-B	FPSGBVC-C	FPSGBVC-C(2)	FPSGBVD-D	FPSGBVD-D(2)	FPSGBVE-E
Material				Arcillolita	Arcillolita	Arcillolita	Arcillolita	Arcillolita	Arcillolita	Arcillolita
	$Hw_{(1\ año)}$			1,61	1,61	2,17	2,95	2,80	2,31	1,84
	$Hw_{(10\ años)}$			4,22	4,22	5,70	7,75	7,33	6,06	4,82
Valores paramétricos empleados en cada sección	ϕ_{max}			32,99	32,99	32,99	32,99	32,99	32,99	32,99
	ϕ_{min}			19,64	19,64	19,64	19,64	19,64	19,64	19,64
	C_{max} (ton/m^2)			3,13	3,13	3,13	3,13	3,13	3,13	3,13
	C_{min} (ton/m^2)			0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM			n	0,0820	0,1010	0,2000	0,1660	0,2050	0,1760	0,0960
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			n	0,1050	0,1450	0,2620	0,2350	0,2660	0,2430	0,1430
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método MONTECARLO			n	0,0280	0,0670	0,1870	0,1680	0,1930	0,1650	0,0710
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método MONTECARLO			n	0,0890	0,2580	0,4320	0,4720	0,4270	0,4670	0,3070

Tabla 1.4 Resumen de los FS y de la prob. de falla condicional – Falla planar – Contacto Are4 / Are3 – Parámetros arenisca

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL							
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS							
				Sec A-A	Sec A-A	Sec B-B	Sec C-C	Sec C-C(2)	Sec D-D	Sec D-D(2)	Sec E-E
				Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar	Planar
Fricción	Cohesion (T/m²)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Sin	3,694	3,694	3,016	2,552	2,653	2,620	2,541	4,588
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Sin	2,809	2,809	2,242	1,668	1,769	1,736	1,656	3,201
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Sin	2,142	2,142	2,032	2,142	2,142	2,142	2,142	3,360
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Sin	1,258	1,258	1,258	1,258	1,258	1,258	1,258	1,973
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Con	3,592	3,591	2,931	2,477	2,576	2,544	2,466	4,404
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Con	2,734	2,734	2,180	1,620	1,718	1,686	1,609	3,074
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Con	2,078	2,078	1,971	2,078	2,078	2,078	2,078	3,222
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Con	1,220	1,220	1,220	1,220	1,220	1,220	1,220	1,892
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Sin	3,658	3,658	2,977	2,517	2,627	2,584	2,519	4,528
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Sin	2,789	2,789	2,218	1,647	1,754	1,715	1,643	3,166
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Sin	2,107	2,107	1,993	2,108	2,117	2,106	2,120	3,300
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Sin	1,237	1,237	1,233	1,238	1,243	1,237	1,245	1,938
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Con	3,557	3,557	2,893	2,444	2,551	2,509	2,445	4,347
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Con	2,714	2,714	2,156	1,600	1,704	1,665	1,596	3,040
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Con	2,043	2,043	1,932	2,044	2,053	2,042	2,056	3,164
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Con	1,200	1,200	1,196	1,200	1,205	1,199	1,207	1,858
h (Talud)				7,0	7,0	7,0	14,0	12,5	12,5	15,0	15,0
				FPSGBVA-A	FPSGBVA-A(2)	FPSGBVB-B(2)	FPSGBVC-C	FPSGBVC-C(2)	FPSGBVD-D	FPSGBVD-D(2)	FPSGBVD-D(2)
Material				Arenisca	Arenisca	Arenisca	Arenisca	Arenisca	Arenisca	Arenisca	Arenisca
	$Hw_{(1\ año)}$			1,61	1,61	1,60	3,21	2,87	2,87	3,44	1,84
	$Hw_{(10\ años)}$			4,22	4,22	4,22	8,43	7,53	7,53	9,03	4,82
Valores paramétricos empleados en cada sección	ϕ_{max}			47,50	47,50	47,50	47,50	47,50	47,50	47,50	47,50
	ϕ_{min}			32,66	32,66	32,66	32,66	32,66	32,66	32,66	32,66
	C_{max} (ton/m²)			2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37
	C_{min} (ton/m²)			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM			n	0,0490	0,0490	0,0350	0,0330	0,0310	0,0310	0,0320	0,0060
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			n	0,0710	0,0710	0,0640	0,0600	0,0500	0,0580	0,0510	0,0120
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método MONTECARLO			n	0,0080	0,0070	0,0180	0,0350	0,0160	0,0290	0,0200	0,0020
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método MONTECARLO			n	0,0670	0,0071	0,2080	0,3190	0,1470	0,3140	0,1390	0,0650

Tabla 1.5 Resumen de la probabilidad de falla condicional – Falla planar con grieta de tracción – Sección A-A'

Sección	Inclinación de Talud	Inclinación Plano de Falla	Altura de Talud H (m)	b (m)	Z (m)	Zw (m)	Montecarlo		PEM (Esperados)		PEM (Extremos)		Observaciones
							Pf (1 año)	Pf (10 año)	Pf (1 año)	Pf (10 año)	Pf (1 año)	Pf (10 año)	
A-A'	45	27	1,50	1,50	0,628	0,628	x	x	x	x	x	x	No se forma
			3,00	1,50	1,194	1,194	0,017	0,087	0,095	0,149	0,085	0,141	
			4,50	1,50	1,930	1,930	0,035	0,202	0,085	0,175	0,074	0,170	
			6,00	1,50	2,665	2,665	0,058	0,348	0,080	0,208	0,071	0,210	
			7,00	1,50	3,156	3,084	0,066	0,422	0,074	0,223	0,067	0,229	Plano: arensica
			7,00	1,50	3,156	3,156	0,114	0,444	0,219	0,358	0,195	0,340	Plano: arcillolita
A-A'	45	27	4,50	3,00	1,653	1,653	0,018	0,103	0,075	0,135	0,065	0,127	
			6,00	3,00	2,389	2,389	0,033	0,222	0,070	0,157	0,061	0,153	
			7,00	3,00	2,879	2,879	0,044	0,308	0,068	0,176	0,060	0,175	
			11,50	3,00	5,087	4,274	0,080	0,450	0,059	0,189	0,056	0,201	E(Zw)
			11,50	3,00	5,087	5,087	0,080	0,450	0,059	0,189	0,072	0,302	Zw=Z
A-A'	45	27	6,00	4,50	2,112	2,112	0,022	0,129	0,064	0,128	0,055	0,120	
			7,00	4,50	2,602	2,602	0,030	0,198	0,062	0,141	0,054	0,124	
			11,50	4,50	4,456	4,456	0,078	0,472	0,061	0,193	0,057	0,200	E(Zw)
			11,50	4,50	4,809	4,809	0,078	0,472	0,061	0,193	0,063	0,238	
A-A'	45	27	7,00	6,00	2,357	2,357	0,025	0,137	0,058	0,119	0,050	0,110	
			11,50	6,00	4,538	4,538	0,077	0,451	0,060	0,187	0,056	0,192	
			11,50	7,00	3,979	3,979	0,048	0,299	0,054	0,139	0,048	0,135	

Tabla 1.6 Resumen de la probabilidad de falla condicional – Falla planar con grieta de tracción – Sección B-B'

Sección	Inclinación de Talud	Inclinación Plano de Falla	Altura de Talud H (m)	b (m)	Z (m)	Zw (m)	Montecarlo		PEM (Esperados)		PEM (Extremos)		Observaciones
							Pf (1 año)	Pf (10 año)	Pf (1 año)	Pf (10 año)	Pf (1 año)	Pf (10 año)	
B-B'	66	27	1,50	1,50	0,395	0,008	0,008	0,011	0,096	0,113	0,091	0,107	
			3,00	1,50	1,555	0,029	0,029	0,186	0,072	0,149	0,065	0,147	
			4,50	1,50	2,715	0,071	0,071	0,440	0,066	0,201	0,064	0,216	E(Zw)
			4,50	1,50	2,715	0,071	0,071	0,440	0,066	0,201	0,071	0,266	
			6,00	1,50	3,875	0,078	0,078	0,451	0,058	0,186	0,059	0,201	E(Zw)
			6,00	1,50	3,875	0,078	0,078	0,457	0,058	0,186	0,090	0,420	Zw=Z
			7,00	1,50	4,647	0,076	0,076	0,462	0,056	0,181	0,057	0,195	
			7,00	1,50	4,647	0,076	0,076	0,462	0,056	0,181	0,101	0,504	Zw=Z
			11,00	1,50	7,740	0,093	0,093	0,486	0,056	0,173	0,056	0,183	
B-B'	66	27	3,00	3,00	0,790	0,007	0,007	0,002	0,065	0,089	0,059	0,081	
			4,50	3,00	1,950	0,026	0,026	0,164	0,056	0,117	0,050	0,113	
			6,00	3,00	3,110	0,067	0,067	0,423	0,057	0,175	0,056	0,186	
			7,00	3,00	3,883	0,079	0,079	0,464	0,056	0,181	0,058	0,194	
			7,00	3,00	3,883	0,079	0,079	0,464	0,056	0,181	0,065	0,253	Zw=Z
			11,00	3,00	6,976	0,092	0,092	0,497	0,057	0,174	0,056	0,182	
			11,00	3,00	6,976	0,092	0,092	0,497	0,057	0,174	0,105	0,521	
B-B'	66	27	3,00	4,50	0,026	0,003	0,003	0,007	0,066	0,072	0,065	0,067	
			4,50	4,50	1,186	0,008	0,008	0,037	0,051	0,078	0,045	0,070	
			6,00	4,50	2,346	0,023	0,023	0,156	0,050	0,105	0,044	0,100	
			7,00	4,50	3,119	0,047	0,047	0,303	0,052	0,133	0,048	0,133	
			11,00	4,50	4,857	0,089	0,089	0,501	0,057	0,175	0,056	0,182	
			11,00	4,50	6,212	0,089	0,089	0,501	0,057	0,175	0,080	0,345	
B-B'	66	27	4,50	6,00	0,422	0,004	0,004	0,011	0,050	0,060	0,046	0,054	
			6,00	6,00	1,582	0,011	0,011	0,054	0,045	0,074	0,040	0,066	
			7,00	6,00	2,355	0,020	0,020	0,124	0,047	0,091	0,041	0,084	
			11,00	6,00	5,080	0,095	0,095	0,496	0,058	0,176	0,056	0,183	
B-B'	66	27	6,00	9,00	0,053	0,053	0,004	0,008	0,042	0,047	0,040	0,043	
			7,00	9,00	0,826	0,826	0,006	0,019	0,041	0,054	0,037	0,048	
			11,00	9,00	3,919	3,919	0,041	0,241	0,050	0,110	0,045	0,103	

Tabla 1.7 Resumen de la probabilidad de falla condicional – Falla planar con grieta de tracción – Sección C-C' y D-D'

Sección	Inclinación de Talud	Inclinación Plano de Falla	Altura de Talud H (m)	b (m)	Z (m)	Zw (m)	Montecarlo		PEM (Esperados)		PEM (Extremos)		Observaciones
							Pf (1 año)	Pf (10 año)	Pf (1 año)	Pf (10 año)	Pf (1 año)	Pf (10 año)	
C-C' y D-D'	82	27	14,00	1,50									
				3,00	11,460	5,100	0,111	0,519	0,063	0,174	0,062	0,181	E(Zw)
				3,00	11,460	11,460	0,111	0,519			0,174	0,595	Zw=Z
				6,00	9,940	9,940	0,108	0,527	0,065	0,177	0,116	0,551	Zw=Z
				6,00	9,940	6,147	0,108	0,527	0,065	0,018	0,063	0,181	E(Zw)
				12,00	6,883	6,883	0,102	0,494	0,064	0,171	0,060	0,171	
				18,00	3,826	3,826	0,036	0,136	0,051	0,086	0,045	0,076	
				15,00	5,355	5,355	0,057	0,281	0,057	0,117	0,051	0,108	
				21,00	2,297	2,297	0,020	0,073	0,046	0,067	0,042	0,058	
C-C' y D-D'	82	27	1,50	1,50	0,628	0,628	0,009	0,032	0,084	0,113	0,078	0,106	
			3,00	1,50	2,021	1,961	0,069	0,044	0,065	0,198	0,066	0,216	E(Zw)
			3,00	1,50	2,021	2,021	0,069	0,044	0,065	0,198	0,068	0,286	Zw=Z
			4,50	1,50	3,413	3,413	0,072	0,452	0,055	0,176	0,101	0,504	Zw=Z
			4,50	1,50	3,413	2,318	0,072	0,452	0,055	0,176	0,101	0,194	E(Zw)
			6,00	1,50	4,806	2,654	0,081	0,476	0,053	0,168	0,055	0,185	E(Zw)
			6,00	1,50	4,806	4,806	0,081	0,476	0,053	0,168	0,113	0,589	Zw=Z
			4,50	3,00	2,649	2,649	0,062	0,400	0,055	0,164	0,054	0,175	
C-C' y D-D'	82	27	3,00	3,00	1,257	1,257	0,013	0,070	0,056	0,096	0,050	0,089	Zw=Z
			6,00	3,00	4,018	4,018	0,153	0,072	0,064	0,300	0,079	0,349	
			6,00	4,50	3,277	3,277	0,068	0,403	0,053	0,152	0,051	0,159	Zw=Z
			6,00	6,00	2,513	2,513	0,013	0,175	0,047	0,097	0,042	0,091	
			6,00	9,00	0,985	0,985	0,008	0,024	0,040	0,056	0,037	0,049	

Tabla 1.8 Resumen de la probabilidad de falla condicional – Falla planar con grieta de tracción – Sección E-E'

Sección	Inclinación de Talud	Inclinación Plano de Falla	Altura de Talud H (m)	b (m)	Z (m)	Zw (m)	Montecarlo		PEM (Esperados)		PEM (Extremos)		Observaciones
							Pf (1 año)	Pf (10 año)	Pf (1 año)	Pf (10 año)	Pf (1 año)	Pf (10 año)	
E-E'	52	18	1,50	1,50	0,632	0,632	0,004	0,014	0,060	0,080	0,056	0,075	
			3,00	1,50	1,751	1,751	0,012	0,093	0,031	0,073	0,028	0,075	
			4,50	1,50	2,870	2,870	0,031	0,249	0,022	0,088	0,025	0,106	
			6,00	1,50	3,989	3,989	0,053	0,404	0,018	0,113	0,029	0,157	
			8,00	1,50	5,482	5,132	0,068	0,476	0,016	0,122	0,031	0,184	
			15,00	1,50	10,705	8,268	0,076	0,516	0,014	0,107	0,029	0,168	
			15,00	1,50	10,705	10,705	0,076	0,518	0,014	0,107	0,076	0,493	Zw=Z
E-E'	52	18	3,00	3,00	1,263	1,263	0,003	0,017	0,026	0,045	0,023	0,042	
			6,00	3,00	3,502	3,502	0,019	0,186	0,014	0,055	0,016	0,065	
			8,00	3,00	4,994	4,994	0,041	0,349	0,013	0,076	0,020	0,106	
			15,00	3,00	10,217	8,891	0,074	0,527	0,014	0,107	0,029	0,167	E(Zw)
			15,00	3,00	10,217	10,217	0,074	0,527	0,014	0,107	0,051	0,320	Zw=Z
E-E'	52	18	4,50	4,50	1,896	1,896	0,003	0,024	0,015	0,031	0,013	0,029	
			6,00	4,50	3,014	3,014	0,007	0,079	0,012	0,034	0,012	0,036	
			8,00	4,50	4,500	4,500	0,020	0,198	0,011	0,046	0,013	0,055	
			15,00	4,50	9,730	9,415	0,073	0,517	0,014	0,107	0,029	0,166	E(Zw)
			15,00	4,50	9,730	9,730	0,073	0,517	0,014	0,107	0,033	0,195	
E-E'	52	18	6,00	6,00	2,527	2,527	0,003	0,032	0,011	0,025	0,010	0,024	
			8,00	6,00	4,019	4,019	0,009	0,109	0,010	0,032	0,010	0,035	
			8,00	6,00	4,019	4,019	0,036	0,246	0,083	0,177	0,074	0,167	Arcillolita
			15,00	6,00	9,243	9,243	0,060	0,448	0,013	0,084	0,022	0,123	
			20,00	6,00	12,973	12,222	0,078	0,533	0,015	0,108	0,029	0,164	
E-E'	52	18	8,00	9,00	3,044	3,044	0,003	0,027	0,009	0,019	0,008	0,019	
			15,00	9,00	8,268	8,268	0,032	0,270	0,011	0,047	0,014	0,059	
			20,00	9,00	12,000	12,000	0,056	0,443	0,014	0,079	0,021	0,111	
E-E'	52	18	15,00	12,00	7,293	7,293	0,011	0,153	0,010	0,032	0,010	0,035	
			20,00	12,00	11,039	11,039	0,037	0,306	0,013	0,053	0,015	0,066	
E-E'	52	18	15,00	15,00	6,318	6,318	0,008	0,076	0,010	0,024	0,009	0,024	
			20,00	15,00	10,049	10,049	0,021	0,205	0,012	0,038	0,012	0,044	

Tabla 1.9 Categorías de amenaza

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

Figura 1.1 Distribución de probabilidad para la cohesión

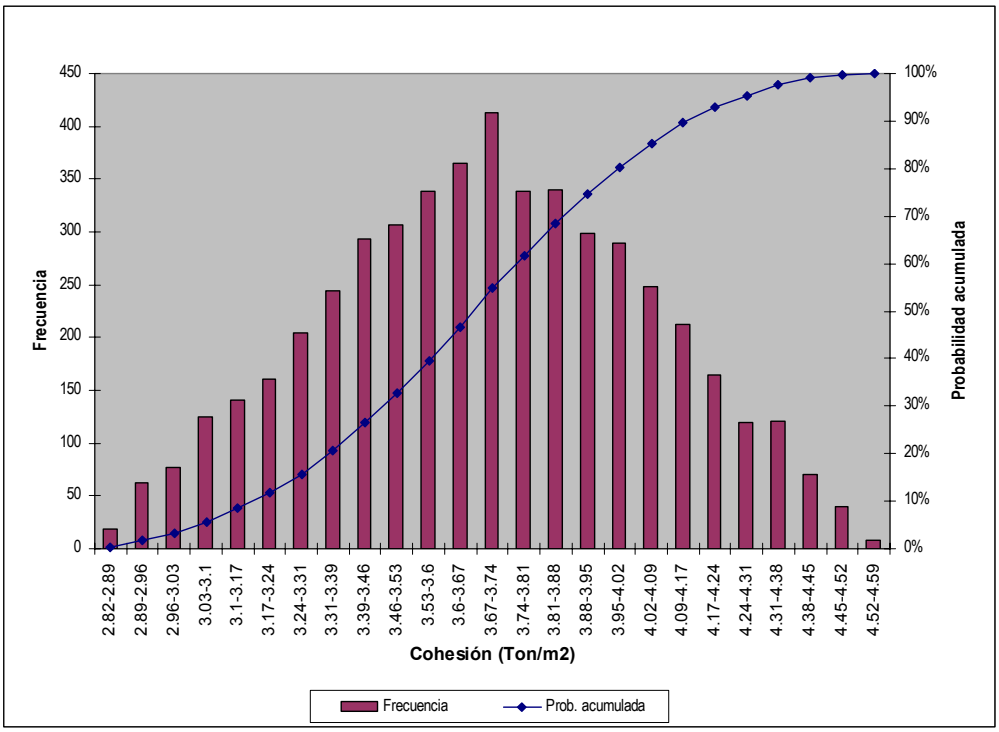


Figura 1.2 Distribución de probabilidad para el ángulo de fricción

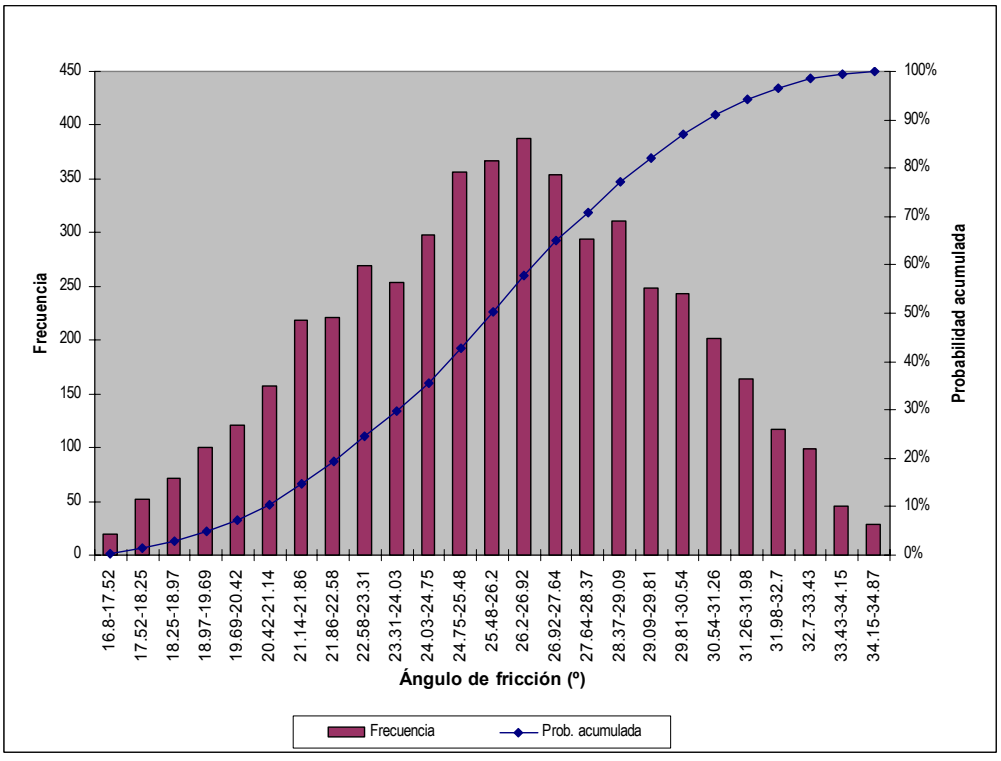


Figura 1.3 Distribución de probabilidad para el nivel del agua (falla planar sin grieta de tracción)

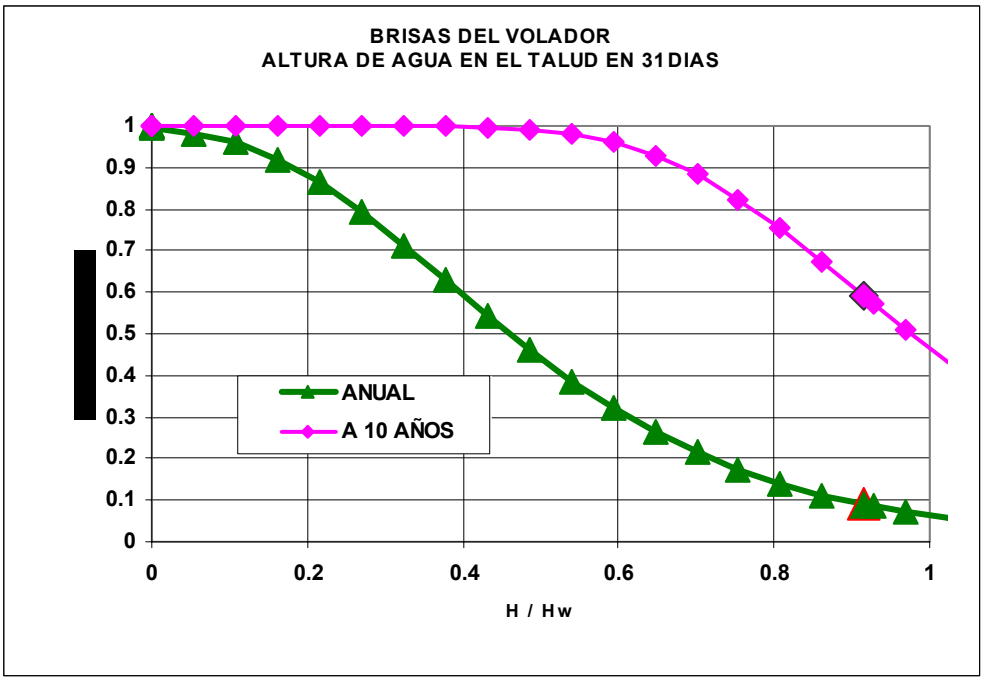


Figura 1.4 Distribución de probabilidad para el nivel del agua (falla planar con grieta de tracción)

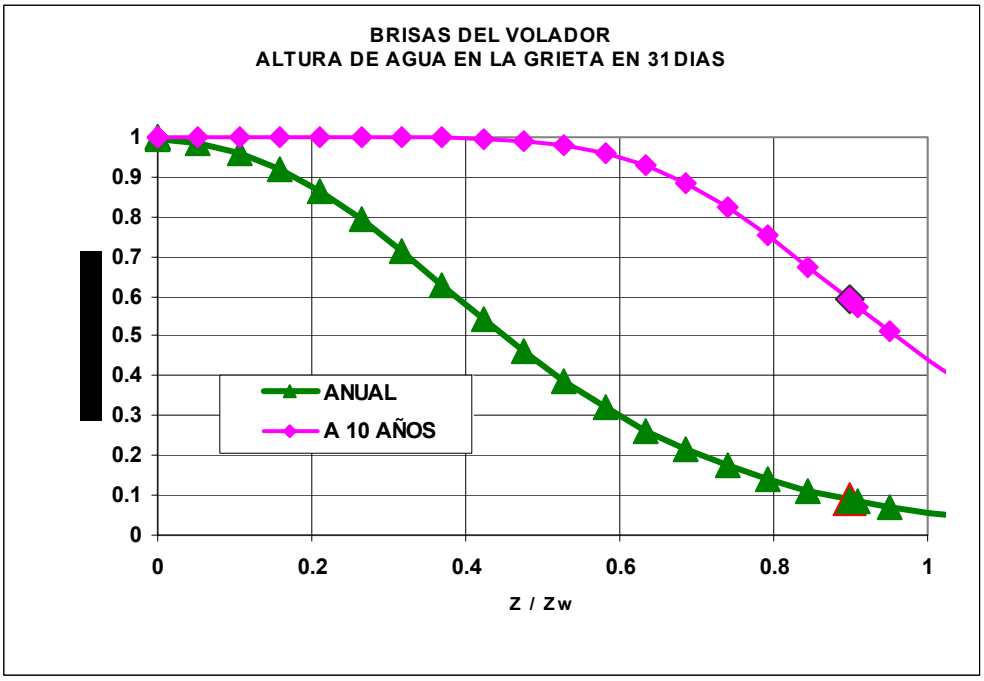
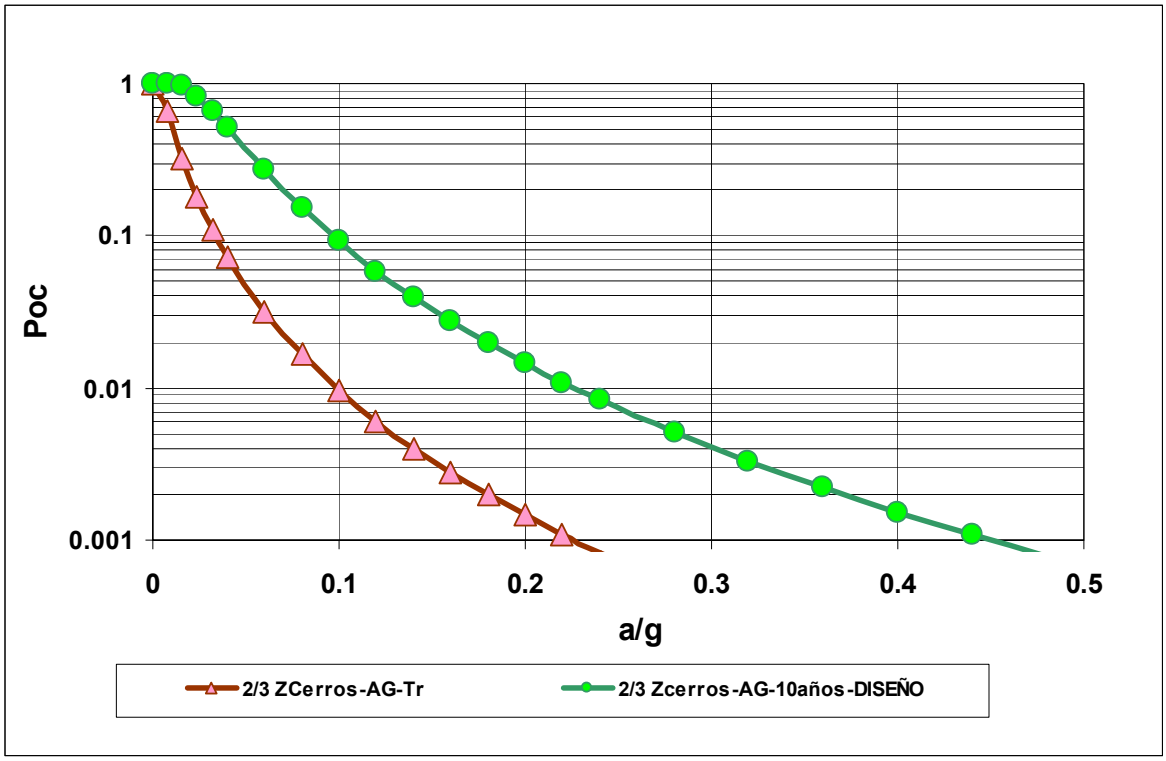


Figura 1.5 Distribución de probabilidad para la aceleración horizontal del terreno



1. EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad, entendida como la susceptibilidad a daño de un grupo social y de sus lugares de habitación ante un evento, es función de la exposición y de la resistencia, variables dependientes a su vez de la solicitud v.g. un deslizamiento. Es medible al grado de severidad de las consecuencias esperadas; su cuantificación está dada por dos connotaciones: una en términos de costos por el daño físico y otra por el peso específico de las variables que inciden en la función socioeconómica (Millán, J.A.,-2000). Su estudio, aunque implica los contextos social, físico o institucional, tiene como objetivo analizar la respuesta de los elementos frente a los diferentes fenómenos de remoción en masa potenciales y actuales y, junto con la evaluación de amenaza, dilucidar el(los) tratamiento(s) por adelantar. Dentro del referido contexto, por ejemplo, si las viviendas no se localizan en la zona de influencia o, se encuentran expuestos y gracias a su resistencia no sufren daño alguno, puede optarse por convivir con el problema; en caso contrario, y dependiendo de la gravedad de las consecuencias, se debe recurrir a obras de estabilidad o a programas de reubicación.

1.1 INFORMACIÓN PRIMARIA

La recopilación de los datos que permitieran evaluar la capacidad de respuesta de la estructura y determinar el nivel de daño de sus alrededores, se solventó a través del inventario de las 235 viviendas que hacen parte de la zona de estudio. En tanto que la fijación de la solicitación se fundamentó en los resultados del análisis de amenaza. El estudio de la vulnerabilidad de los elementos expuestos, en este caso las viviendas, se realizó utilizando como instrumento de recolección el "Formulario para la evaluación de daños y estado en edificaciones por fenómenos de remoción en masa". El formato está conformado por 4 secciones: La primera de ellas denominada: Datos Generales, comprende información concerniente al propietario, a la ubicación espacial y catastral de los predios y a las características orgánicas de las viviendas. La segunda: Condición Estructural, indaga acerca de las características de fundación y de estructura de las construcciones así como de su calidad constructiva. La tercera, titulada: Daños, se enfoca hacia la categorización de las averías o expresiones "patológicas" (a priori) en elementos estructurales y no estructurales, a la auscultación sobre filtraciones, y al planteamiento de alguna medida a priori de acuerdo con lo observado. Y la última condensa datos enmarcados en el contexto social. Finalmente, contiene un espacio para observaciones, en las que se plasman comentarios de los habitantes o apreciaciones del aforador que en alguna medida contribuyen al estudio. Se disponen el formato de campo con el instructivo que sirvió como guía para su utilización y la información levantada en este proceso.

1.2 VULNERABILIDAD SOCIAL

La vulnerabilidad en este contexto, se define como la susceptibilidad de un grupo social ante la ocurrencia de un desastre que ocasione daños o alteraciones permanentes o temporales en la estructura orgánica y funcionamiento de una comunidad; es una medida indirecta de su capacidad de respuesta y de recuperación, también conocida como resiliencia. Aunque su evaluación es muy subjetiva, se pueden examinar variables que la revelen en alguna medida; y que además delineen las condiciones de vida hoy día de los habitantes del conjunto social, es decir su "línea base", plataforma indispensable si se desea cuantificar la vulnerabilidad social; y estimar el tiempo de recuperación de los habitantes en caso de un desastre, y la potencial ayuda del Estado.

En este orden de ideas, el acopio de los datos involucró tópicos como: la capacidad económica de los pobladores, la cobertura de los servicios públicos, las organizaciones cívicas, el valor del inmueble, la tipología de viviendas y, el nivel de conocimiento que los habitantes tienen del problema de estabilidad y de las actuales y potenciales repercusiones que éste ocasiona o puede ocasionar sobre sus viviendas.

1.2.1 Capacidad económica de los pobladores

El nivel de ingresos de la población en general se puede concebir como bajo, entendido éste como el suficiente para surtir las necesidades básicas de supervivencia. De acuerdo con la percepción en el aforo de las unidades residenciales, los ingresos mensuales alcanzan el salario mínimo en el 38.30% de los casos, el 17.02% recibe desde $385,000 hasta $770,000, el 2.98% supera los dos salarios mínimos y del 41.70% se carece de información pero se cree, con base en el tipo de residencia, pertenecen al primer grupo (véase Figura 1.1). Tales valores adquieren mayor relevancia y develan su insuficiencia para describir estados dignos toda vez que se conjugan con el número de integrantes por familia. Sólo en cerca del 21.70% el conjunto de residentes no supera las cuatro personas, el restante percentil encierra más de cinco miembros (Figura 1.2). El hacinamiento y la pobreza son aún más apremiantes en cerca del 21% de los núcleos familiares; en ellos el número de ocupantes divaga de siete (7) a diez (10).

Idioma similar al panorama descrito trasiega el valor comercial de las viviendas. Éste último oscila desde 5 hasta 10 millones, para el 17.02% de las unidades, mayores a 10 millones para el 28.09% e incierto para el 49.36 % (Figura 1.3) pero inmerso en el primer dominio, según se deduce de la legalidad de los inmuebles: el 62% recaen en una promesa de venta y el 33% están sin definir; otros intervalos se consignan en la Figura 1.4.

1.2.2 Cobertura de Servicios Públicos

Un porcentaje muy bajo de las familias no poseen energía eléctrica (5%), el 74% si cuenta con este servicio, en tanto que del 21% restante no se obtuvo esta información. Más del 73% cuenta con acueducto y 57% con alcantarillado oficial; mientras que la cobertura del servicio telefónico alcanza el 35% y la del gas natural el 50%. Es importante anotar, que en todos los casos fue imposible capturar información de alrededor del 20% de las familias encuestadas.

Por otra parte, el 43% de las vías frontales de las viviendas están pavimentadas (Figura 1.5).

1.2.3 Tipología de las viviendas

Aunque este tema está cubierto con suficiencia dentro del contexto de la vulnerabilidad física, las construcciones en sí mismas son indicativas de la calidad de vida de los habitantes y de su capacidad de ahorro e inversión. El 48.90% de las edificaciones está conformado por muros portantes no confinados, i.e. ausencia de columnas, el 3.80% exhiben un sistema estructural aporticado y el 9.80% combina éste con una simulación de pórtico (i.e. muros confinados o encofrados con tabiques). Casas prefabricadas y otros sistemas de baja respuesta –de recuperación o sin definir- componen el restante 37.40% (véase Figura 1.6**)**. Las cifras aunque escalofriantes reafirman la posición marginal del barrio Brisas del Volador.

1.2.4 Percepción del Peligro

El 52% de la comunidad no vislumbra algún tipo de peligro que se pueda generar en su vivienda a partir de un proceso morfodinámico. Aunque cerca de la mitad (48%) reporta percepción del peligro, en la mayoría de estos casos la percepción apenas existe, es decir, es baja (véase Figura 1.7).

1.2.5 Daños generales de la construcción

Se estableció el nivel de daño general en las viviendas con base en las características geométricas de las grietas en los elementos de las estructuras, en su ubicación y su cantidad. Esta información se obtuvo a partir de la observación directa en las unidades residenciales, y de los comentarios de sus habitantes. Los criterios encaminados a establecer el nivel de daño general de las estructuras, se consigna en el instructivo del formato de

recolección. En la Figura 1.8 se exponen los resultados de este ítem y de ella se puede extractar que el 52.8% de las viviendas no registran alguna clase de daño, el 8.5% expone daños leves, el 5.1% moderado, el casi 1% de alto total a severo parcial. Del restante 32.77% se desconoce información.

1.2.6 Resiliencia

En conclusión, en el evento en el que ocurriera un desastre, reponer, en términos económicos, la línea base resultaría muy lento, posiblemente tardaría desde 20 hasta 40 años. La cobertura de servicios públicos básicos apenas logra transformarse en un pequeño paliativo. Las viviendas si bien en el mejor de los casos son aceptables como domicilios -aunque los sistemas estructurales de acuerdo con la NSR98 no los cataloga como los más apropiados-; los habitantes en más del 60% de los casos (baste con tomar como variables de juicio los ingresos y la legalidad de los inmuebles), sólo disponen de lo estrictamente necesario para solventar sus necesidades esenciales.
La Figura 1.9 y la Figura 1.10 realzan tales apreciaciones; ellas contrastan las pérdidas potenciales, constituidas como el patrimonio familiar, con la capacidad económica, incluida la intervención estatal, estimada en $7'000000 (18.4 2 SMMLV). La presunción del patrimonio familiar, consideró una valoración anual del 6% para el inmueble con una tasa de depreciación del 5% anual; los muebles y enseres, se deprecian 10% anual, pero se renuevan cada 20 años; por su parte, la capacidad económica se dedujo proporcional al potencial de endeudamiento del núcleo familiar, al tener en cuenta un ahorro potencial del 25% del ingreso mensual. Como la gráfica es susceptible ante la estimación del ingreso familiar, se elaboraron dos: la Figura 1.9 para el salario medio, y la Figura 1.10 para el salario máximo esperado (i.e. el salario medio incrementado en la desviación estándar).
La recuperación del nivel de base sólo tendría lugar en 36 años, si el salario esperado es igual al promedio, y si el Estado es partícipe. De otra parte, dentro del contexto emocional, la pérdida o afectación considerable de las viviendas, sería traumática: la mayoría de sus residentes son propietarios y tienen planeado vivir a largo plazo en ellas. Finalmente, aspectos como: la rotura de lazos familiares, vecinales o institucionales, si bien son de gran relevancia para la evaluación "holística" de la vulnerabilidad social no fueron considerados pues por una parte se carece de los instrumentos para dilucidar la consanguinidad entre los pobladores, y evaluar la efectividad de la relación instituciones-ciudadanía, y por otra parte están fuera del objeto del estudio.

1.3 VULNERABILIDAD FÍSICA

La vulnerabilidad física –viviendas-, se expresa como una medida porcentual de los costos de las averías originadas por un agente destructor, en este caso los Fenómenos de Remoción en Masa (FRM). El porcentaje (expresado en partes por uno) del perjuicio sobre el inmueble, definido bien con ID, índice de daño, o bien como una relación entre la velocidad de impacto del evento y la velocidad impacto resistente (vivienda) es proporcional a la exposición de los elementos e inversamente proporcional a su resistencia, si se trata del primer planteamiento; o las interrelaciona discrecionalmente, si hace referencia al segundo modelo.
La exposición se estudió con base en las posibles longitudes de viaje, y la resistencia, con la tipología de viviendas, como se explica a continuación.

1.3.1 Criterios aplicados

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

Este procedimiento permite expresar la vulnerabilidad en función de los posibles daños que pudiesen llegar a sufrir los elementos expuestos situados en la zona de afectación previsible por el fenómeno, y que se encuentran definidos en formas teórica y porcentual, a partir tanto de las intensidades de daño (de ahí el nombre de método de la Intensidad de daño, M.I.D., con el que nos referiremos a él en adelante) como por el valor del daño. Aunque Leone categoriza los niveles de resistencia con base en los sistemas estructurales de las unidades residenciales, en este caso se tuvieron en cuenta otras variables como: la calidad de la construcción, los sistemas de cimentación, las estructuras de placa de piso y cubierta, el estado del suelo de fundación y los daños en la construcción, todos asumidos importantes, y ponderadas según el método empleado (véanse de la Tabla 1.1 a la Tabla 1.5), así:
Una metodología alternativa, (modelo extraído y adaptado de la Unión Temporal Riesgos Urbanos, 2003) expresa la vulnerabilidad a partir de una medida de la capacidad de asimilación de las estructuras gracias a la deducción heurística y arbitraria de la velocidad de impacto. Este método fue empleado como calibración del anterior y se denomina Método de la velocidad de impacto, M.V.I.

1.3.2 Método de la Intensidad de Daño

1.3.2.1 Metodología

Con base en el contenido de las siguientes tablas: Tabla 1.1 Evaluación de la capacidad de respuesta de la edificación; Tabla 1.2 Calificación para variable: Sistema estructural; Tabla 1.3 Calificación para variable: Daño en la construcción, Tabla 1.4 Calificación para variable: Calidad de la construcción y Tabla 1.5 Calificación para variable: Tipo de cimentación; en las que se citan los criterios de evaluación para cada variable, la capacidad de respuesta de la estructura o los niveles de "resistencia" fueron clasificados como:
NIVEL A: Viviendas que cumplen con parámetros mínimos de rigidez y solidez estructural, tipo pórtico o de mampostería estructural, exenta de daños o con leves daños, y buena calidad de la construcción.
NIVEL B: Unidades residenciales que cumplen con parámetros mínimos de rigidez y solidez estructural, tipo pórtico o de mampostería estructural, pero su resistencia se ve disminuida por la regular calidad de la construcción o daños catalogados desde leves hasta moderados.
NIVEL C: El sistema estructural es de muros portantes no confinados o combinación de éste con muros portantes confinados, con daños desde leves hasta moderados y calidad regular de la construcción
NIVEL D: Encierra muros portantes no confinados o combinación de éste con muros portantes confinados, con daños altos parciales o severos parciales.
NIVEL E: El sistema estructural es de muros portantes no confinados o combinación de éste con muros portantes confinados, con daños altos totales o severos totales.
NIVEL F: Viviendas hechas de materiales de recuperación: cartón, zinc, madera etc.
NIVEL G: Lo comprenden edificaciones en proceso de construcción y lotes vacíos.

1.3.2.2 Evaluación con el Método MID

Definición del tipo de solicitud

A partir de la evaluación de estabilidad descrita en el capítulo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y de los resultados de amenaza, se determinaron los probables tipos de solicitaciones a los que están expuestas o se expondrían las unidades residenciales, y resumidas en empujes y desplazamientos verticales (véase Tabla 1.9-columna solicitación)

Cualificación de los daños

Los perjuicios que se producirían sobre las unidades, están condicionados por dos grupos de variables: el de exposición y el de resistencia. El primero involucra el tipo de evento (deslizamientos traslacionales –con o sin grieta de tracción- o rotacionales y caídas de bloques), la localización de las viviendas con respecto al mismo y la solicitación que el proceso ejerza sobre los componentes; el segundo, cubre la calidad, propiedades y atributos de las casas que, como se ha expresado antes, se condensan en la tipología. La contribución de las variables ya expuestas para este estudio, toda vez que se trate del Método de Intensidad, se registran en la matriz de intensidad de daño de la Tabla 1.6. La asociación de la intensidad con una descripción cualitativa del perjuicio y con una tasa de daño, se hizo de acuerdo con la tabla propuesta por el DRM (DELEGATION AUX RISQUES MAJEURS) y presentada por LEONE, 1996 (véase Tabla 1.7).

Tasa de daño

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

$$TD = \%\,daño \cdot A_{afectación}$$

Costo de daños o Costo de falla

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

$$C_f = VII \cdot TD$$

Índice de vulnerabilidad física y nivel de vulnerabilidad

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

$$IVF = \frac{C_f}{VII}$$

C_f: Costo de falla
VII: Valor inicial de inmueble

1.3.2.3 Resultados

La Tabla 1.9 muestra los diferentes componentes del análisis y el índice de vulnerabilidad para el abanico completo de viviendas y categoriza sus niveles de vulnerabilidad desde Bajo hasta Alto con base en la Tabla 1.8.
De este análisis se identifica que el 24% de los predios presenta una vulnerabilidad alta y el 9%, media. El 67% restante, no ostenta vulnerabilidad preocupante. La mayor concentración de alta vulnerabilidad se aloja en las manzanas N, O y P, localizadas en la parte superior de los escarpes rocosos. Otra importante manifestación de vulnerabilidad alta se presenta en las manzanas D y M que corresponde a la zona de influencia de las caídas de bloques.

1.3.3 Método de Velocidad de Impacto

1.3.3.1 Metodología

En el barrio se identifican dos taludes principales, uno en suelo y otro en roca, indistinto de ello, se pueden establecer zonas dentro (o fuera del fenómeno) en las cuales posiblemente se ubiquen las viviendas. En la Figura 1.11 se muestran dichas zonas y se cita la nomenclatura usada y en la Tabla 1.15 se asigna la exposición, EXP, a cada predio de acuerdo con su localización.

Por otra parte, con base en la

Tabla 1.10 Criterios para calificación de los indicadores de competencia estructural, cada una de las ocho variables representativas de la calidad estructural de las viviendas recibe una calificación numérica en el dominio cerrado [1-3]; uno idealiza el estado de respuesta más favorable y tres, su opuesto, es decir el más desfavorable; dos (2) obviamente es la posición neutral. La Competencia Estructural, CE, denominación otorgada en este método a la resistencia, es entonces el resultado del conteo de cada uno de los tipos de calificación, en otras palabras la cantidad de números buenos, o unos, regulares, o doses, y malos, o treses.

En la zona baja del talud rocoso, hacia donde viajarían los bloques (zona ICS), la vulnerabilidad física de las unidades habitacionales, se basa en la constrastación de su resistencia, expresada en términos de *velocidad de impacto resistible* - Vr y la velocidad que pueda tener el bloque en su paso por el predio, es decir la *velocidad de impacto* - Vx. La primera variable, Vr, se asigna de acuerdo con la calidad de la vivienda (competencia estructural) y la segunda, Vx de los resultados arrojados por el programa CRSP (Colorado Rock Fall Simulation Program). Las demás zonas son calificadas cualitativamente según su exposición y su resistencia o competencia estructural.

Para las viviendas localizadas en la zona ICS, la CE se traduce arbitrariamente a una velocidad de impacto resistible, Vr, según la

Tabla 1.11 Pautas para la asignación de CE y Vr, para posterior cotejo con la velocidad de impacto, Vx.

Una vez se ha definido para cada casa su exposición se ingresa a la matriz de calificación cualitativa de la vulnerabilidad en función de la calidad estructural de la edificación, según la Tabla 1.12 y para la zona de exposición ICS, correspondiente a la zona baja dentro de la distancia de influencia del evento, con los valores de velocidad de impacto (evento) y de velocidad de impacto resistible (vivienda), se califica la vulnerabilidad de las casas según la relación entre las dos variables conforme lo señala la Tabla 1.13:

1.3.3.2 Datos de entrada

Los insumos más relevantes de este procedimiento se constituyen en las velocidades de impacto, Vx, que habrían de sufrir los elementos expuestos. Dicha velocidad, de un bloque sobre una vivienda, corresponde a la velocidad promedio que tiene el bloque una vez ha recorrido la distancia, D, a la que se ubica la construcción con respecto a la corona del escarpe. Su determinación se efectuó con el ya mencionado CRSP, para los taludes señalados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** siguiendo la trayectoria allí señalada y asumiendo bloques cilíndricos de 0.5m de diámetro y 1m de longitud, con densidad de 2.2Ton/m^3 y velocidades iniciales de 2m/s. Los resultados se resumen en la Tabla 1.14.

1.3.3.3 Evaluación con el Método MVI

Siguiendo la metodología descrita anteriormente se evaluó la competencia estructural de las viviendas, y se asignó de manera visual, con referencia en las distancias de viaje de los bloques, su ubicación dentro de la sección según la Figura 1.11, para posteriormente determinar la vulnerabilidad.

1.3.3.4 Resultados

La Tabla 1.15 Determinación de la vulnerabilidad por MVI bosqueja el procedimiento descrito, precisa la asignación de la velocidad de impacto resistente y la calificación de vulnerabilidad resultante. Nótese que el 21% de las viviendas es altamente vulnerable; el 11%, moderadamente vulnerable y el 68% restante, poco vulnerable.

1.3.4 Zonificación de vulnerabilidad

Los resultados de los dos métodos son concordantes pues evidencian concentraciones de alta, media y baja vulnerabilidad en las mismas manzanas, lo cual se considera una validación aceptable de los análisis. A partir de los productos de ambos análisis, mostrados en la Tabla 1.9 (MID) y Tabla 1.15 (MVI), se infiere, que entre el 21 y el 24.% de las viviendas manifiestan vulnerabilidad alta y entre el 9y 11%, media. El 67-68% restante ostentan niveles bajos. Este fenómeno encuentra explicación en las bajas tasas de daño, más porque las estructuras están exentas de solicitación que por su capacidad de respuesta. Sin embargo, los sistemas estructurales no cumplen satisfactoriamente las exigencias de la Norma Sismorresistente Colombiana (NSR-98); y su vulnerabilidad por lo tanto frente al trabajo sísmico no se espera promisorio.

En este orden de ideas, los niveles altos de vulnerabilidad coinciden con las viviendas inmersas en los cuerpos de las masas potencialmente inestables, es decir: a) los predios 01 y 10 de la manzana M; 08 de la L; 2,4,3,6 y 10 del bloque N; 03 y 07 del cordón O; y 17 y 01, 29, 08 y 07 de las manzanas G, E, B y A, respectivamente con media; y b) 08 y 09 del bloque M; 01, 02, y 05 a 17 de la manzana N; 01, 02, 04, 05, 06 del cuadrángulo O; el cinturón completo de la P; y las residencias 01 y 26 del cordón F; 26 a 32 y 01 de los bloques D, C y B, respectivamente.

La representación gráfica de la definición de los niveles de amenaza, se muestra en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Tabla 1.1 Evaluación de la capacidad de respuesta de la edificación

CALIFICACIÓN DEL NIVEL DE RESISTENCIA					
VARIABLE	SISTEMA ESTRUCTURAL	DAÑO EN LA CONSTRUCCIÓN	TIPO DE CIMENTACIÓN	CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN	CALIFICACIÓN
PESO IMPORTANCIA (%)	30	20	30	20	A, B, C, D, E, F o G.

Tabla 1.2 Calificación para variable: Sistema estructural

SISTEMA ESTRUCTURAL		
CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	PONDERACIÓN (%)
Bueno	Pórtico, mampostería estructural, muros confinados	28
Regular	Muros portantes no confinados o combinación de confinados y pórtico con muros no confinados	21
Malo	Vivienda de 3 pisos con muros portantes no confinados, estructuras en materiales de recuperación o viviendas prefabricadas.	9

Tabla 1.3 Calificación para variable: Daño en la construcción

DAÑO EN LA CONSTRUCCIÓN		
CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	PONDERACIÓN (%)
Ninguno	Sin fisuras , ni tipo de fractura alguno	20
Leve	Fisuras tipo o grietas catalogadas como leves de acuerdo con el instructivo.	17
Moderado	Existen grietas catalogadas como intermedias en el instructivo o fracturas en elementos no estructurales.	13
Fuerte	Grietas en un solo o varios elementos estructurales.	10
Severo parcial	Aparición de grietas de daño severo, en uno o varios elementos estructurales o no estructurales	5

Tabla 1.4 Calificación para variable: Calidad de la construcción

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

Tabla 1.5 Calificación para variable: Tipo de cimentación

TIPO DE CIMENTACIÓN		
CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	PONDERACIÓN (%)
Buena	Zapatas, mixto	25
Regular	Muro confinamiento relleno,vigas corridas	21
Mala	Ninguna, otro tipo de cimentación	9

Tabla 1.6 Matriz de Intensidad de daño

SOLICITACIÓN	A	B	C	D	E	F	G
Desplazamiento vertical bajo (<1cm)	1	1	2	2	3	3	4
Desplazamiento vertical medio (>1cm)	1	2	2	3	3	4	4
Desplazamiento vertical alto (>1cm)	2	2	3	3	4	5	5
Empuje bajo (<1/3 h)	1	1	2	3	3	3	4
Empuje medio (2/3<h<1/3 h)	1	2	2	3	3	4	4
Empuje(>2/3 h)	2	3	3	4	4	5	5

Tabla 1.7 Tabla de clasificación de daños propuesta por el DRM

INTENSIDAD DE DAÑO	MODOS DE DAÑO	PORCENTAJE DE DAÑO
1	Daños ligeros no estructurales. Estabilización no afectada.	10

2	Fisuración de muros. Reparaciones no urgentes.	30
3	Deformaciones importantes. Fisuras en elementos estructurales.	60
4	Fracturación de la estructura. Evacuación inmediata.	75
5	Derrumbe parcial o total de la estructura	90

Tabla 1.8 Categorización de los niveles de vulnerabilidad

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

Tabla 1.9 Determinación de la vulnerabilidad por MID

IDENTIFICACIÓN DEL LOTE		EVALUACIÓN DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD FÍSICA														EVALUACIÓN DEL RIESGO						
MANZANA	LOTE	TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL	CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN	TIPO DE CIMENTACIÓN	DAÑO EN TODA LA CONSTRUCCIÓN	CALIFICACIÓN	Nivel de res.	Solicitación	Intensidad de daño	% de daño	% Área expuesta	Intensidad de daño	Valor del Daño	IVF	NIVEL DE VULNERABILIDAD	Prob. de falla a 1 año	Prob. de falla a 10 años	Sección	Índice de riesgo a 1 año	Nivel de riesgo a 1 año	Índice de riesgo a 10 año	Nivel de riesgo a 10 año
A	1	21	15	21	20	77	C	E2	2	0,3	1	0,3	1350000	0,30	Medio	0,062	0,237	A	0,01863	Bajo	0,07119	Medio
A	2	28	-	-	-	28	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,062	0,237	A	0	Bajo	0	Bajo
A	3	28	10	-	20	58	D	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,062	0,237	A	0	Bajo	0	Bajo
A	4	28	15	-	17	60	D	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,062	0,237	A	0	Bajo	0	Bajo
A	5	28	15	25	20	88	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,062	0,237	A	0	Bajo	0	Bajo
A	6	21	15	-	17	53	E	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,062	0,237	A	0	Bajo	0	Bajo
A	7	28	15	25	20	88	B	E2	2	0,3	1	0,3	60000000	0,30	Medio	0,062	0,237	A	0,01863	Bajo	0,07119	Medio
B	0	28	10	25	20	83	B	E2	2	0,3	1	0,3	0	0,30	Medio	0,062	0,237	A	0,01863	Bajo	0,07119	Medio
B	1	28	10	-	17	55	D	E2	3	0,6	1	0,6	8400000	0,60	Alto	0,062	0,237	A	0,03726	Bajo	0,14238	Medio
B	2	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,062	0,237	A	0	Bajo	0	Bajo
B	3	28	5	21	13	67	C	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,062	0,237	A	0	Bajo	0	Bajo
B	4	28	10	25	20	83	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,062	0,237	A	0	Bajo	0	Bajo
B	5	28	10	-	20	58	D	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,062	0,237	A	0	Bajo	0	Bajo
B	6	28	15	25	20	88	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,062	0,237	A	0	Bajo	0	Bajo
B	7	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,062	0,237	A	0	Bajo	0	Bajo
B	8	28	15	9	20	72	C	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,062	0,237	A	0	Bajo	0	Bajo
B	9	28	10	25	20	83	B	E2	2	0,3	1	0,3	3600000	0,30	Medio	0,062	0,237	A	0,01863	Bajo	0,07119	Medio
C	1	28	-	25	-	53	E	E2	3	0,6	1	0,6	0	0,60	Alto	0,142	0,215	B	0,0849	Medio	0,12924	Medio
C	2	28	10	25	20	83	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
C	3	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
C	4	28	15	21	17	81	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
C	5	21	15	25	20	81	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
C	6	28	15	25	20	88	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
C	7	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
C	8	28	15	25	20	88	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
C	9	28	15	21	20	84	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
C	10	21	5	-	-	26	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
C	11	28	15	25	20	88	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
C	12	28	-	21	-	49	E	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
C	13	28	10	21	20	79	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
C	14	28	15	21	20	84	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
C	15	28	15	21	20	84	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
C	16	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
C	17	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
C	18	28	15	25	20	88	B	E2	2	0,3	1	0,3	0	0,30	Medio	0,142	0,215	B	0,04245	Medio	0,06462	Medio
D	0	9	-	-	-	9	G	E2	4	0,75	1	0,75	0	0,75	Alto	0,142	0,215	B	0,106125	Medio	0,16155	Medio
D	1	21	15	21	20	77	C	E2	2	0,3	1	0,3	1500000	0,30	Medio	0,142	0,215	B	0,04245	Medio	0,06462	Medio
D	2	28	10	25	20	83	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
D	3	9	10	9	20	48	E	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
D	4	-	-	21	-	21	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
D	5	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
D	6	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
D	7	9	15	21	20	65	D	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
D	8	28	10	-	-	38	F	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
D	9	21	15	9	20	65	D	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
D	10	28	15	25	20	88	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
D	11	28	15	25	-	68	C	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
D	12	9	15	21	20	65	D	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
D	13	28	-	25	20	73	C	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
D	14	28	-	-	-	28	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
D	15	28	-	-	-	28	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,142	0,215	B	0	Bajo	0	Bajo
D	16	28	15	21	20	84	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	C	0	Bajo	0	Bajo
D	17	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	C	0	Bajo	0	Bajo
D	18	21	15	21	20	77	C	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	C	0	Bajo	0	Bajo
D	19	28	15	21	20	84	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	C	0	Bajo	0	Bajo
D	20	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	C	0	Bajo	0	Bajo
D	21	28	-	-	-	28	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	C	0	Bajo	0	Bajo
D	22	28	10	25	17	80	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	C	0	Bajo	0	Bajo
D	23	28	10	-	17	55	D	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	C	0	Bajo	0	Bajo
D	24	28	-	-	-	28	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	C	0	Bajo	0	Bajo
D	25	28	15	21	20	84	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	C	0	Bajo	0	Bajo
D	26	28	15	25	20	88	B	E3	3	0,6	1	0,6	12000000	0,60	Alto	0,252	0,452	C	0,1512	Medio	0,2712	Alto
D	27	-	-	-	-	0	G	E3	5	0,9	1	0,9	0	0,90	Alto	0,252	0,452	C	0,2268	Alto	0,4068	Alto
D	28	9	5	9	17	40	F	E3	5	0,9	1	0,9	0	0,90	Alto	0,252	0,452	C	0,2268	Alto	0,4068	Alto
D	29	28	15	25	20	88	B	E3	3	0,6	1	0,6	3600000	0,60	Alto	0,252	0,452	C	0,1512	Medio	0,2712	Alto
D	30	9	10	-	-	19	G	E3	5	0,9	1	0,9	0	0,90	Alto	0,252	0,452	D	0,2268	Alto	0,4068	Alto
D	31	28	15	21	20	84	B	E3	3	0,6	1	0,6	7200000	0,60	Alto	0,037	0,069	E	0,0222	Bajo	0,0414	Medio
D	32	28	10	21	20	79	B	E3	3	0,6	1	0,6	0	0,60	Alto	0,037	0,069	E	0,0222	Bajo	0,0414	Medio
D	33	28	10	25	20	83	B	E3	3	0,6	1	0,6	3000000	0,60	Alto	0,037	0,069	E	0,0222	Bajo	0,0414	Medio
E	1	28	5	21	13	67	C	E2	2	0,3	1	0,3	12000000	0,30	Medio	0,252	0,452	C	0,0756	Medio	0,1356	Medio
E	2	28	15	25	17	85	B	E2	2	0,3	1	0,3	12000000	0,30	Medio	0,252	0,452	D	0,0756	Medio	0,1356	Medio
E	3	28	-	-	-	28	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	D	0	Bajo	0	Bajo
E	4	28	15	25	20	88	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	D	0	Bajo	0	Bajo
E	5	28	15	25	20	88	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	D	0	Bajo	0	Bajo
E	6	28	10	25	17	80	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	D	0	Bajo	0	Bajo
E	7	-	-	25	-	25	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	D	0	Bajo	0	Bajo
E	8	28	10	25	20	83	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	D	0	Bajo	0	Bajo
E	9	28	10	-	17	55	D	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	D	0	Bajo	0	Bajo
E	10	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	D	0	Bajo	0	Bajo
E	11	28	-	25	20	73	C	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	D	0	Bajo	0	Bajo
E	12	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	D	0	Bajo	0	Bajo
E	13	28	15	25	20	88	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	D	0	Bajo	0	Bajo
E	14	9	10	21	20	60	D	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	D	0	Bajo	0	Bajo
E	15	28	15	25	20	88	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	D	0	Bajo	0	Bajo

Tabla 1.9 Determinación de la vulnerabilidad por MID (Continuación)

IDENTIFICACIÓN DEL LOTE		EVALUACIÓN DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD FÍSICA														EVALUACIÓN DEL RIESGO						
MANZANA	LOTE	TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL	CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN	TIPO DE CIMENTACIÓN	DAÑO EN TODA LA CONSTRUCCIÓN	CALIFICACIÓN	Nivel de res.	Solicitación	Intensidad de daño	% de daño	% Área expuesta	Intensidad de daño	Valor del Daño	IVF	NIVEL DE VULNERABILIDAD	Prob. de falla a 1 año	Prob. de falla a 10 años	Sección	Índice de riesgo a 1 año	Nivel de riesgo a 1 año	Índice de riesgo a 10 año	Nivel de riesgo a 10 año
E	16	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,252	0,452	D	0	Bajo	0	Bajo
E	17	28	-	25	20	73	C	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
E	18	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
E	19	28	15	25	17	85	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
E	20	9	-	-	-	9	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
E	21	28	15	25	20	88	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
E	22	28	15	21	20	84	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
E	23	28	15	25	20	88	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
E	24	28	-	-	-	28	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
E	25	28	-	-	-	28	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
E	26	28	-	21	20	69	C	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
E	27	28	-	-	-	28	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
E	28	9	15	9	20	53	E	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
E	29	28	15	21	20	84	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
E	30	21	10	21	20	72	C	E1	2	0,3	1	0,3	1500000	0,30	Medio	0,252	0,452	C	0,0756	Medio	0,1356	Medio
F	1	-	-	-	-	0	G	E2	4	0,75	1	0,75	0	0,75	Alto	0,037	0,069	E	0,02775	Bajo	0,05175	Medio
F	2	28	15	21	-	64	D	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	3	28	15	25	-	68	C	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	4	28	-	21	20	69	C	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	5	28	-	-	-	28	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	6	28	15	21	20	84	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	7	28	15	21	20	84	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	8	28	15	21	20	84	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	9	28	15	21	20	84	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	10	28	-	21	20	69	C	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	11	28	-	21	-	49	E	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	12	28	15	-	20	63	D	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	13	28	15	-	20	63	D	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	14	28	15	-	20	63	D	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	15	28	15	25	20	88	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	16	28	15	-	20	63	D	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	17	28	15	25	20	88	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	18	28	10	-	20	58	D	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	19	9	10	9	20	48	E	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	20	28	15	21	20	84	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	21	28	15	21	20	84	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	22	21	15	25	20	81	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	23	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	24	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	25	28	15	21	20	84	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
F	26	9	5	25	20	59	D	E2	3	0,6	1	0,6	3600000	0,60	Alto	0,037	0,069	E	0,0222	Bajo	0,0414	Medio
G	1	28	15	25	20	88	B	E2	2	0,3	1	0,3	3600000	0,30	Medio	0,037	0,069	E	0,0111	Bajo	0,0207	Bajo
G	2	9	10	9	20	48	E	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
G	3	21	15	21	20	77	C	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
G	4	28	15	-	20	63	D	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
G	5	28	-	-	-	28	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
G	6	28	10	25	20	83	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
G	7	21	15	25	17	78	C	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
G	8	21	15	25	20	81	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
G	9	-	-	21	-	21	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
G	10	28	15	25	20	88	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
G	11	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
G	12	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
G	13	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
G	14	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
G	15	9	10	9	20	48	E	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
G	16	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
G	17	28	15	25	20	88	B	E2	2	0,3	1	0,3	15000000	0,30	Medio	0,037	0,069	E	0,0111	Bajo	0,0207	Bajo
H	1	28	15	21	20	84	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
H	2	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
H	3	9	15	21	20	65	D	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
H	4	28	10	25	20	83	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
H	5	21	15	25	20	81	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
H	6	28	-	25	-	53	E	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
H	7	28	15	-	20	63	D	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
H	8	28	-	21	-	49	E	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
H	9	28	-	-	-	28	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
H	10	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
H	11	28	10	25	20	83	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
H	12	-	-	21	-	21	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
H	13	28	-	21	20	69	C	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,037	0,069	E	0	Bajo	0	Bajo
I	1	28	-	-	-	28	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
I	2	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
I	5	28	-	21	-	49	E	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
I	7	-	-	21	-	21	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
I	8	9	5	-	17	31	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
I	9	9	5	9	-	23	G	DV1	4	0,75	1	0,75	0	0,75	Alto	0,115	0,137	F	0,08625	Medio	0,10275	Medio
I	10	21	15	25	20	81	B	DV1	1	0,1	1	0,1	1300000	0,10	Bajo	0,115	0,137	F	0,0115	Bajo	0,0137	Bajo
I	11	-	-	-	-	0	G	DV1	4	0,75	1	0,75	0	0,75	Alto	0,115	0,137	F	0,08625	Medio	0,10275	Medio
I	3 4	28	-	-	-	28	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
J	1	9	-	9	-	18	G	DV3	5	0,9	1	0,9	0	0,90	Alto	0,115	0,137	F	0,1035	Medio	0,1233	Medio
J	2	9	10	9	13	41	F	DV3	5	0,9	1	0,9	9000000	0,90	Alto	0,115	0,137	F	0,1035	Medio	0,1233	Medio
J	3	28	10	25	17	80	B	DV3	2	0,3	1	0,3	2700000	0,30	Medio	0,115	0,137	F	0,0345	Bajo	0,0411	Medio

Tabla 1.9 Determinación de la vulnerabilidad por MID (Continuación)

IDENTIFICACIÓN DEL LOTE		EVALUACIÓN DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD FÍSICA														EVALUACIÓN DEL RIESGO						
MANZANA	LOTE	TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL	CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN	TIPO DE CIMENTACIÓN	DAÑO EN TODA LA CONSTRUCCIÓN	CALIFICACIÓN	Nivel de res.	Solicitación	Intensidad de daño	% de daño	% Área expuesta	Intensidad de daño	Valor del Daño	IVF	NIVEL DE VULNERABILIDAD	Prob. de falla a 1 año	Prob. de falla a 10 años	Sección	Índice de riesgo a 1 año	Nivel de riesgo a 1 año	Índice de riesgo a 10 año	Nivel de riesgo a 10 año
J	4	28	15	25	20	88	B	DV3	2	0,3	1	0,3	9000000	0,30	Medio	0,115	0,137	F	0,0345	Bajo	0,0411	Medio
J	5	9	15	21	20	65	D	DV3	3	0,6	1	0,6	3600000	0,60	Alto	0,115	0,137	F	0,069	Medio	0,0822	Medio
J	6	28	15	25	13	81	B	DV3	2	0,3	1	0,3	2700000	0,30	Medio	0,115	0,137	F	0,0345	Bajo	0,0411	Medio
K	1	9	15	21	20	65	D	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
K	2	28	10	21	20	79	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
K	3	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
K	4	21	15	21	20	77	C	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
K	5	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
K	6	21	10	21	20	72	C	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
L	1	28	-	-	-	28	G	DV2	4	0,75	1	0,75	0	0,75	Alto	0,115	0,137	F	0,08625	Medio	0,10275	Medio
L	2	28	-	-	20	48	E	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
L	3	28	15	21	17	81	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
L	4	-	-	-	-	0	G	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
L	5	9	15	9	20	53	E	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
L	6	21	10	-	20	51	E	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
L	7	28	10	21	20	79	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
L	8	21	15	21	20	77	C	DV2	2	0,3	1	0,3	1800000	0,30	Medio	0,115	0,137	F	0,0345	Bajo	0,0411	Medio
M	1	28	15	25	20	88	B	DV2	2	0,3	1	0,3	2400000	0,30	Medio	0,115	0,137	F	0,0345	Bajo	0,0411	Medio
M	2	28	15	21	20	84	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
M	3	21	15	21	20	77	C	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
M	4	9	15	21	20	65	D	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
M	5	9	15	21	20	65	D	DV2	3	0,6	1	0,6	4200000	0,60	Alto	0,115	0,137	F	0,069	Medio	0,0822	Medio
M	6	28	10	21	20	79	B	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
M	7	9	10	9	20	48	E	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
M	8	28	-	21	-	49	E	DV2	3	0,6	1	0,6	0	0,60	Alto	0,115	0,137	F	0,069	Medio	0,0822	Medio
M	9	9	10	9	20	48	E	DV2	3	0,6	1	0,6	0	0,60	Alto	0,115	0,137	F	0,069	Medio	0,0822	Medio
M	10	28	15	21	20	84	B	DV2	2	0,3	1	0,3	3600000	0,30	Medio	0,115	0,137	F	0,0345	Bajo	0,0411	Medio
M	11	9	5	9	13	36	F	DV3	5	0,9	1	0,9	3600000	0,90	Alto	0,115	0,137	F	0,1035	Medio	0,1233	Medio
N	1	9	10	-	-	19	G	DV3	5	0,9	1	0,9	0	0,90	Alto	0,115	0,137	F	0,1035	Medio	0,1233	Medio
N	2	28	15	25	20	88	B	DV3	2	0,3	1	0,3	0	0,30	Medio	0,115	0,137	F	0,0345	Bajo	0,0411	Medio
N	3	9	5	9	20	43	E	DV3	4	0,75	1	0,75	11250000	0,75	Alto	0,115	0,137	F	0,08625	Medio	0,10275	Medio
N	4	28	15	25	10	78	C	DV3	3	0,6	1	0,6	6000000	0,60	Alto	0,115	0,137	F	0,069	Medio	0,0822	Medio
N	5	28	10	21	13	72	C	DV3	3	0,6	1	0,6	0	0,60	Alto	0,115	0,137	F	0,069	Medio	0,0822	Medio
N	6	-	-	21	-	21	G	DV3	5	0,9	1	0,9	0	0,90	Alto	0,115	0,137	F	0,1035	Medio	0,1233	Medio
N	7	9	5	9	20	43	E	DV3	4	0,75	1	0,75	0	0,75	Alto	0,115	0,137	F	0,08625	Medio	0,10275	Medio
N	8	21	10	21	5	57	D	DV3	3	0,6	1	0,6	4800000	0,60	Alto	0,115	0,137	F	0,069	Medio	0,0822	Medio
N	9	-	-	-	-	0	G	DV3	5	0,9	1	0,9	0	0,90	Alto	0,115	0,137	F	0,1035	Medio	0,1233	Medio
N	10	28	15	25	13	81	B	DV3	2	0,3	1	0,3	9000000	0,30	Medio	0,115	0,137	F	0,0345	Bajo	0,0411	Medio
N	11	9	10	9	13	41	F	DV3	5	0,9	1	0,9	16200000	0,90	Alto	0,115	0,137	F	0,1035	Medio	0,1233	Medio
N	12	9	10	9	13	41	F	DV3	5	0,9	1	0,9	3600000	0,90	Alto	0,115	0,137	F	0,1035	Medio	0,1233	Medio
N	13	9	10	9	20	48	E	DV3	4	0,75	1	0,75	3000000	0,75	Alto	0,115	0,137	F	0,08625	Medio	0,10275	Medio
N	14	9	5	9	17	40	F	DV3	5	0,9	1	0,9	0	0,90	Alto	0,115	0,137	F	0,1035	Medio	0,1233	Medio
N	15	9	5	9	-	23	G	DV3	5	0,9	1	0,9	9000000	0,90	Alto	0,115	0,137	F	0,1035	Medio	0,1233	Medio
N	16	9	10	9	17	45	E	DV3	4	0,75	1	0,75	11250000	0,75	Alto	0,115	0,137	F	0,08625	Medio	0,10275	Medio
N	17	9	10	25	13	57	D	NO	NO	0	0	0	0	0,00	Bajo	0,115	0,137	F	0	Bajo	0	Bajo
O	1	9	10	9	20	48	E	DV3	4	0,75	1	0,75	10875000	0,75	Alto	0,115	0,137	F	0,08625	Medio	0,10275	Medio
O	2	9	10	9	20	48	E	DV3	4	0,75	1	0,75	4500000	0,75	Alto	0,115	0,137	F	0,08625	Medio	0,10275	Medio
O	3	28	15	25	20	88	B	DV3	2	0,3	1	0,3	6000000	0,30	Medio	0,115	0,137	F	0,0345	Bajo	0,0411	Medio
O	4	21	15	25	13	74	C	DV3	3	0,6	1	0,6	15000000	0,60	Alto	0,115	0,137	F	0,069	Medio	0,0822	Medio
O	5	9	10	9	17	45	E	DV3	4	0,75	1	0,75	15000000	0,75	Alto	0,115	0,137	F	0,08625	Medio	0,10275	Medio
O	6	9	10	9	13	41	F	DV3	5	0,9	1	0,9	19800000	0,90	Alto	0,115	0,137	F	0,1035	Medio	0,1233	Medio
O	7	28	15	25	20	88	B	DV3	2	0,3	1	0,3	6600000	0,30	Medio	0,115	0,137	F	0,0345	Bajo	0,0411	Medio
P	1	9	10	9	20	48	E	DV3	4	0,75	1	0,75	0	0,75	Alto	0,037	0,069	E	0,02775	Bajo	0,05175	Medio
P	2	-	-	21	-	21	G	DV3	5	0,9	1	0,9	0	0,90	Alto	0,037	0,069	E	0,0333	Bajo	0,0621	Medio
P	3	28	-	-	20	48	E	DV3	4	0,75	1	0,75	0	0,75	Alto	0,037	0,069	E	0,02775	Bajo	0,05175	Medio
P	4	28	15	-	20	63	D	DV3	3	0,6	1	0,6	0	0,60	Alto	0,037	0,069	E	0,0222	Bajo	0,0414	Medio
P	5	-	-	-	-	0	G	DV3	5	0,9	1	0,9	0	0,90	Alto	0,252	0,452	D	0,2268	Alto	0,4068	Alto
P	6	28	15	9	17	69	C	DV3	3	0,6	1	0,6	12000000	0,60	Alto	0,252	0,452	D	0,1512	Medio	0,2712	Alto
P	7	9	10	9	20	48	E	DV3	4	0,75	1	0,75	7500000	0,75	Alto	0,252	0,452	C	0,189	Medio	0,339	Alto
P	8	-	-	-	-	0	G	DV3	5	0,9	1	0,9	0	0,90	Alto	0,252	0,452	C	0,2268	Alto	0,4068	Alto
P	9	9	10	9	20	48	E	DV3	4	0,75	1	0,75	7500000	0,75	Alto	0,142	0,215	B	0,106125	Medio	0,16155	Medio
P	10	9	10	9	-	28	G	DV3	5	0,9	1	0,9	0	0,90	Alto	0,142	0,215	B	0,12735	Medio	0,19386	Medio
P	13	9	10	9	17	45	E	DV3	4	0,75	1	0,75	0	0,75	Alto	0,062	0,237	A	0,046575	Medio	0,177975	Medio
P	14	28	15	21	20	84	B	DV3	2	0,3	1	0,3	3900000	0,30	Medio	0,062	0,237	A	0,01863	Bajo	0,07119	Medio
P	15	9	15	21	20	65	D	DV3	3	0,6	1	0,6	7200000	0,60	Alto	0,062	0,237	A	0,03726	Bajo	0,14238	Medio
P	16	28	15	9	20	72	C	DV3	3	0,6	1	0,6	5400000	0,60	Alto	0,062	0,237	A	0,03726	Bajo	0,14238	Medio
P	17	28	15	9	20	72	C	DV3	3	0,6	1	0,6	2400000	0,60	Alto	0,062	0,237	A	0,03726	Bajo	0,14238	Medio
P	11 12	9	10	9	-	28	G	DV3	5	0,9	1	0,9	0	0,90	Alto	0,142	0,215	B	0,12735	Medio	0,19386	Medio

Tabla 1.10 Criterios para calificación de los indicadores de competencia estructural

Variable	Parámetro	Descripción	Calificación
V-1	Edad de la construcción	Posterior a 1998	1
		Entre 1995 y 1998	2
		Anterior a 1995	3
V-2	Tipo de cimentación	Zapatas, mixto	1
		Muro confinamiento relleno, vigas corridas	2
		Ninguna, otro tipo de cimentación	3
V-3	Estructua de la placa de piso	Cemento, baldosa	1
		Madera	3
		Ninguna	3
		Otro	3
V-4	Estructura de soporte de cubierta	Concreto reforzado	1
		Metálico	1
		Madera	3
		Otro	3
V-5	Cubierta	Valoradas como livianas	3
V-6	Sistema estructural	Muros portantes, pórtico, muro confinado	1
		Encofrado con tabiques	2
		Prefabricados, de recuperación, otro	3
V-7	Daños en la construcción	Ninguno	1
		Ligero, moderado	2
		Fuerte, severo	3
V-8	Condición del suelo de fundación	Roca	1
		Relleno confinado	3
		Relleno no confinado, otro	3

Tabla 1.11 Pautas para la asignación de CE y Vr

Competencia estructural, CE / Variable	BUENA	REGULAR	MALA
NB: Cantidad de 1	Mayores a 5	Menores a 5	Menores a 5
NR: Cantidad de 2		Mayores a 2	Menores a 2
NM: Cantidad de 3			Mayor que cantidades de 1 en diferencia
Velocidad de impacto resistible, Vr (m/s)	6.4	0.81	0.41

Tabla 1.12 Matriz de calificación de la vulnerabilidad

EXP / CE	SF	ICSR	C	ICS	IF
B	BAJA	MEDIA	MEDIA	Ver Tabla 1.13	BAJA
R	BAJA	MEDIA	ALTA		BAJA
M	BAJA	ALTA	ALTA		BAJA

Tabla 1.13 Matriz de calificación de la vulnerabilidad en ICS

Vx (m/s) / Vr (m/s)	<0.01	0.01 -0.41	0.41 - 0.81	0.81 - 6.40	>6.40
0.41	BAJA	MEDIA	ALTA	ALTA	ALTA
0.81	BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	ALTA
6.40	BAJA	BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA

Tabla 1.14 Velocidades de impacto de los bloques

	TALUD		T1	T2	T3	T4	T5-5a	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
	Long (m).		102.5	100	88.92	88.91	102.9	40.25	26.42	22.32	28.28	32.82	41.12	52.53
	Vel inicial en X y Y (m/s)		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
VELOCIDAD MÁXIMA (m/s)	Distancias (m)	5	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	8.5
		10	5	0	0	0	5	0	12	5	0	8.5	0	9
		15	10.1	0	0	0	9	10	14	0	13.5	17.5	0	8
		20	12	0	0	0	11.5	7	6	0	7	15	0	8
		25	13	0	18.5	18.5	12.5	5	0		0	2.5	0	4
		30	15	8	0	0	12.5	6				0	0	0
		35	14	10.5	0	0	12	0					0	0
		40	12	12	0	0	7.5	0					0	0
		45	14	12.5	0	0	12.5							0
		50	16	7.5	0	0	12							0
		55	14.5	9	0	0	11.5							
		60	15	0	0	0	11							
		65	17	0	0	0	12							
		70	20.5	0	0	0	14.5							
		75	17.5	0	0	0	10							
		80	7.5	0	0	0	0							
		85	0	0	0	0	0							
		90	0	0			0							
		95	0	0			0							
		100	0	0			0							

Tabla 1.15 Determinación de la vulnerabilidad por MVI

COMPETENCIA ESTRUCTURAL, CE										VULNERABILIDAD					
Vivienda		V-1	V-2	V-3	V-4	V-5	V-6	V-7	V-8						
MANZANA	LOTE	EDAD DE LA CONSTRUCCIÓN	TIPO DE CIMENTACIÓN	ESTRUCTURA DE PISO	ESTRUCTURA DE TECHO	CUBIERTA	TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL	DAÑOS EN CONSTRUCCION	CONDICIÓN DEL SUELO EN EL LUGAR	CE	Vr	Vx	Para ICS	EXPOSICIÓN	CALIFICACION VULNERABILIDAD
A	1	1	2	1	3	1	2	1	3	REGULAR	0,81	0	<0.01	ICS	BAJA
A	2	-	-	-	-	1	1	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
A	3	2	-	1	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
A	4	2	-	1	3	1	1	2	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
A	5	2	1	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
A	6	3	-	1	1	1	2	2	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
A	7	3	1	1	1	1	1	1	3	BUENA	6,4	0	<0.01	ICS	BAJA
B	0	3	1	1	1	1	1	1	3	BUENA	6,4	4	0.81 - 6.4	ICS	MEDIA
B	1	2	-	1	3	1	1	2	3	REGULAR	0,81	4	0.81 - 6.4	ICS	ALTA
B	2	-	-	-	-	1	-	-	-	MALA	0,41			IF	BAJA
B	3	2	2	1	3	1	1	2	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
B	4	3	1	1	1	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
B	5	2	-	1	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
B	6	1	1	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4	4	0.81 - 6.4	ICS	MEDIA
B	7	-	-	-	-	1	-	-	-	MALA	0,41	0,4	0.01 - 0.41	ICS	MEDIA
B	8	3	3	1	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81	0,8	0.41 - 0.81	ICS	MEDIA
B	9	2	1	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4	7	>6.4	ICS	ALTA
C	1	-	1	1	3	1	1	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
C	2	3	1	1	1	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
C	3	1	-	-	-	1	-	-	-	REGULAR	0,81			IF	BAJA
C	4	3	2	1	3	1	1	2	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
C	5	2	1	1	3	1	2	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
C	6	3	1	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
C	7	-	-	-	-	1	-	-	3	MALA	0,41			IF	BAJA
C	8	2	1	1	1	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
C	9	3	2	1	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
C	10	-	-	-	-	1	2	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
C	11	2	1	1	1	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
C	12	-	2	-	-	1	1	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
C	13	3	2	1	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
C	14	1	2	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
C	15	1	2	3	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
C	16	-	-	-	-	1	-	-	3	MALA	0,41			IF	BAJA
C	17	-	-	-	-	1	-	-	3	MALA	0,41			IF	BAJA
C	18	1	1	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
D	0	-	-	-	-	1	3	-	3	MALA	0,41			IF	BAJA
D	1	3	2	1	3	1	2	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
D	2	2	1	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
D	3	1	3	3	3	1	3	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
D	4	-	2	-	-	1	-	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
D	5	-	-	-	-	1	-	-	3	MALA	0,41			IF	BAJA
D	6	.-	-	-	-	1	-	-	3	MALA	0,41			IF	BAJA
D	7	-	2	1	3	1	3	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
D	8	-	-	-	3	1	1	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
D	9	3	3	1	3	1	2	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
D	10	1	1	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
D	11	3	1	1	3	1	1	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
D	12	3	2	1	3	1	3	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
D	13	1	1	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
D	14	-	-	-	3	1	1	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
D	15	-	-	-	-	1	1	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
D	16	2	2	1	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
D	17	-	-	-	-	1	-	-	-	MALA	0,41			IF	BAJA
D	18	3	2	1	3	1	2	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
D	19	1	2	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
D	20	-	-	-	-	1	-	-	-	MALA	0,41			IF	BAJA
D	21	-	-	-	-	1	1	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
D	22	3	1	1	3	1	1	2	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
D	23	-	-	1	3	1	1	2	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
D	24	-	-	-	3	1	1	-	3	REGULAR	0,81	0	<0.01	ICS	BAJA
D	25	1	2	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4	0	<0.01	ICS	BAJA
D	26	3	1	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4	10	>6.4	ICS	ALTA
D	27	-	-	-	-	1	-	-	3	MALA	0,41	14,5	>6.4	ICS	ALTA
D	28	1	3	3	3	1	3	2	3	REGULAR	0,81	12	>6.4	ICS	ALTA
D	29	3	1	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4	11	>6.4	ICS	ALTA
D	30	-	-	-	-	1	3	-	3	MALA	0,41	11,5	>6.4	ICS	ALTA
D	31	1	2	1	3	1	1	1	1	BUENA	6,4			C	MEDIA
D	32	3	2	1	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			C	ALTA
D	33	1	1	3	3	1	1	1	3	BUENA	6,4			C	MEDIA
E	1	1	2	3	3	1	1	2	3	REGULAR	0,81	10	>6.4	ICS	ALTA
E	2	-	1	1	-	1	1	2	3	REGULAR	0,81	14,5	>6.4	ICS	ALTA
E	3	1	-	1	3	1	1	-	3	REGULAR	0,81	10	>6.4	ICS	ALTA
E	4	1	1	1	1	1	1	1	3	BUENA	6,4	0	<0.01	ICS	BAJA
E	5	3	1	1	1	1	1	1	3	BUENA	6,4	0	<0.01	ICS	BAJA
E	6	3	1	1	1	1	1	2	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
E	7	1	1	1	-	1	-	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
E	8	3	1	3	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA

Tabla 1.15 Determinación de la vulnerabilidad por MVI (Continuación)

COMPETENCIA ESTRUCTURAL, CE										VULNERABILIDAD					
Vivienda		V-1	V-2	V-3	V-4	V-5	V-6	V-7	V-8	CE	Vr	Vx	Para ICS	EXPOSICIÓN	CALIFICACION
E	9	3	-	1	3	1	1	2	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
E	10	-	-	-	-	1	-	-	3	MALA	0,41			IF	BAJA
E	11	1	1	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
E	12	-	-	-	-	1	-	-	3	MALA	0,41			IF	BAJA
E	13	3	1	1	1	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
E	14	1	2	3	3	1	3	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
E	15	3	1	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
E	16	-	-	-	-	1	-	-	3	MALA	0,41			IF	BAJA
E	17	1	1	1	1	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
E	18	-	-	-	-	1	-	-	3	MALA	0,41			IF	BAJA
E	19	-	1	1	1	1	1	2	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
E	20	-	-	-	-	1	3	-	3	MALA	0,41			IF	BAJA
E	21	3	1	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
E	22	3	2	1	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
E	23	1	1	1	1	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
E	24	-	-	-	-	1	1	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
E	25	-	-	1	-	1	1	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
E	26	1	2	1	3	1	1	1	1	BUENA	6,4			IF	BAJA
E	27	1	-	3	3	1	1	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
E	28	2	3	3	3	1	3	1	3	REGULAR	0,81	0,8	0.41 - 0.81	ICS	MEDIA
E	29	-	2	1	3	1	1	1	1	BUENA	6,4	6	0.81 - 6.4	ICS	MEDIA
E	30	1	2	1	3	1	2	1	1	BUENA	6,4	7	>6.4	ICS	ALTA
F	1	-	-	-	-	1	-	-	1	REGULAR	0,81			IF	BAJA
F	2	-	2	-	3	1	1	-	1	REGULAR	0,81			IF	BAJA
F	3	-	1	1	3	1	1	-	1	BUENA	6,4			IF	BAJA
F	4	-	2	1	3	1	1	1	1	BUENA	6,4			IF	BAJA
F	5	-	-	-	-	1	1	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
F	6	1	2	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
F	7	3	2	1	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
F	8	2	2	1	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
F	9	2	2	1	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
F	10	-	2	1	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
F	11	-	2	1	-	1	1	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
F	12	3	-	1	1	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
F	13	3	-	1	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
F	14	2	-	1	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
F	15	1	1	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
F	16	3	-	1	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
F	17	-	1	1	1	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
F	18	-	-	1	1	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
F	19	3	3	3	3	1	3	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
F	20	2	2	1	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
F	21	2	2	1	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
F	22	1	1	1	3	1	2	1	1	BUENA	6,4			IF	BAJA
F	23	-	-	-	-	1	-	-	-	MALA	0,41			IF	BAJA
F	24	-	-	-	-	1	-	-	-	MALA	0,41			IF	BAJA
F	25	2	2	3	3	1	1	1	1	REGULAR	0,81			IF	BAJA
F	26	1	1	3	3	1	3	1	1	BUENA	6,4			IF	BAJA
G	1	1	1	1	3	1	1	1	1	BUENA	6,4			C	MEDIA
G	2	1	3	3	3	1	3	1	1	REGULAR	0,81			IF	BAJA
G	3	2	2	1	3	1	2	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
G	4	-	-	1	3	1	1	1	1	BUENA	6,4			IF	BAJA
G	5	-	-	1	-	1	1	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
G	6	3	1	1	3	1	1	1	1	BUENA	6,4			IF	BAJA
G	7	1	1	1	3	1	2	2	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
G	8	1	1	1	3	1	2	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
G	9	-	2	-	-	1	-	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
G	10	1	1	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
G	11	-	-	-	-	1	-	-	-	MALA	0,41			IF	BAJA
G	12	-	-	-	-	1	-	-	-	MALA	0,41			IF	BAJA
G	13	-	-	-	-	1	-	-	-	MALA	0,41			IF	BAJA
G	14	-	-	-	-	1	-	-	-	MALA	0,41			IF	BAJA
G	15	2	3	3	3	1	3	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
G	16	-	-	-	-	1	-	-	-	MALA	0,41			IF	BAJA
G	17	1	1	1	3	1	1	1	1	BUENA	6,4			C	MEDIA
H	1	-	2	1	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
H	2	-	-	-	-	1	-	-	3	MALA	0,41			IF	BAJA
H	3	2	2	1	3	1	3	1	1	REGULAR	0,81			IF	BAJA
H	4	3	1	1	3	1	1	1	1	BUENA	6,4			IF	BAJA
H	5	3	1	1	3	1	2	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
H	6	-	1	-	-	1	1	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
H	7	-	-	1	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
H	8	-	2	-	-	1	1	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
H	9	-	-	1	-	1	1	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
H	10	-	-	-	-	1	-	-	3	MALA	0,41			IF	BAJA
H	11	1	1	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	BAJA
H	12	-	2	-	-	1	-	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
H	13	3	2	1	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
I	1	-	-	-	3	1	1	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
I	2	-	-	-	-	1	-	-	-	MALA	0,41			IF	BAJA
I	5	-	2	-	-	1	1	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
I	7	-	2	-	-	1	-	-	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA
I	8	3	-	1	3	1	3	2	3	REGULAR	0,81			IF	BAJA

Tabla 1.15 Determinación de la vulnerabilidad por MVI (Continuación)

COMPETENCIA ESTRUCTURAL, CE										VULNERABILIDAD					
Vivienda		V-1	V-2	V-3	V-4	V-5	V-6	V-7	V-8	CE	Vr	Vx	Para ICS	EXPOSICIÓN	C
I	9	-	3	3	3	1	3	-	3	MALA	0,41	0	<0.01	ICS	
I	10	1	1	1	3	1	2	1	3	BUENA	6,4	0	<0.01	ICS	
I	11	-	-	-	-	1	-	-	3	MALA	0,41	6	0.81 - 6.4	ICS	
I	3 4	-	-	-	3	1	1	-	3	REGULAR	0,81			IF	
J	1	-	3	-	3	1	3	-	3	MALA	0,41			C	
J	2	1	3	1	3	1	3	2	3	REGULAR	0,81			C	
J	3	1	1	1	3	1	1	2	1	BUENA	6,4			C	
J	4	1	1	3	3	1	1	1	3	BUENA	6,4			C	
J	5	1	2	1	3	1	3	1	3	REGULAR	0,81			C	
J	6	1	1	1	3	1	1	2	3	BUENA	6,4			C	
K	1	2	2	1	3	1	3	1	3	REGULAR	0,81			IF	
K	2	2	2	1	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			IF	
K	3	-	-	-	-	1	-	-	-	MALA	0,41			IF	
K	4	1	2	1	3	1	2	1	3	REGULAR	0,81			IF	
K	5	-	-	-	-	1	-	-	3	MALA	0,41			IF	
K	6	1	2	3	3	1	2	1	3	REGULAR	0,81			IF	
L	1	-	-	-	-	1	1	-	3	REGULAR	0,81	7	>6.4	ICS	
L	2	1	-	1	1	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	
L	3	2	2	1	1	1	1	2	3	REGULAR	0,81			IF	
L	4	-	-	-	-	1	-	-	3	MALA	0,41			IF	
L	5	1	3	3	3	1	3	1	1	REGULAR	0,81			IF	
L	6	2	-	3	3	1	2	1	3	REGULAR	0,81			IF	
L	7	1	2	3	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			IF	
L	8	1	2	1	3	1	2	1	3	REGULAR	0,81	6	0.81 - 6.4	ICS	
M	1	2	1	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4	2,5	0.81 - 6.4	ICS	
M	2	1	2	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4			IF	
M	3	1	2	3	3	1	2	1	3	REGULAR	0,81			IF	
M	4	1	2	1	3	1	3	1	3	REGULAR	0,81			IF	
M	5	1	2	1	3	1	3	1	3	REGULAR	0,81			IF	
M	6	3	2	1	3	1	1	1	3	REGULAR	0,81			IF	
M	7	-	3	1	3	1	3	1	3	REGULAR	0,81			IF	
M	8	-	2	-	3	1	1	-	3	REGULAR	0,81			C	
M	9	1	3	3	3	1	3	1	1	REGULAR	0,81			C	
M	10	1	2	3	3	1	1	1	1	BUENA	6,4			C	
M	11	1	3	3	3	1	3	2	3	REGULAR	0,81			C	
N	1	-	-	-	-	1	3	-	3	MALA	0,41			C	
N	2	1	1	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4			C	
N	3	2	3	3	3	1	3	1	3	REGULAR	0,81			C	
N	4	1	1	1	3	1	1	3	3	BUENA	6,4			C	
N	5	2	2	3	3	1	1	2	3	REGULAR	0,81			C	
N	6	-	2	-	-	1	-	-	1	REGULAR	0,81			C	
N	7	2	3	3	3	1	3	1	1	REGULAR	0,81			C	
N	8	1	2	1	3	1	2	3	1	REGULAR	0,81			C	
N	9	-	-	-	-	1	-	-	3	MALA	0,41			C	
N	10	1	1	1	3	1	1	2	3	BUENA	6,4			C	
N	11	1	3	3	3	1	3	2	3	REGULAR	0,81			C	
N	12	2	3	3	3	1	3	2	3	REGULAR	0,81			C	
N	13	1	3	3	3	1	3	1	3	REGULAR	0,81			C	
N	14	-	3	3	3	1	3	2	3	REGULAR	0,81			C	
N	15	2	3	3	3	1	3	-	3	REGULAR	0,81			C	
N	16	2	3	3	3	1	3	2	3	REGULAR	0,81			C	
N	17	1	1	3	3	1	3	2	3	REGULAR	0,81			SF	
O	1	1	3	3	3	1	3	1	1	REGULAR	0,81			C	
O	2	1	3	3	3	1	3	1	1	REGULAR	0,81			C	
O	3	1	1	3	3	1	1	1	1	BUENA	6,4			C	
O	4	1	1	1	3	1	2	2	1	BUENA	6,4			C	
O	5	1	3	3	3	1	3	2	3	REGULAR	0,81			C	
O	6	1	3	1	3	1	3	2	3	REGULAR	0,81			C	
O	7	1	1	1	3	1	1	1	3	BUENA	6,4			C	
P	1	1	3	3	3	1	3	1	3	REGULAR	0,81			C	
P	2	-	2	-	-	1	-	-	3	REGULAR	0,81			C	
P	3	-	-	-	-	1	1	1	3	REGULAR	0,81			C	
P	4	1	-	1	3	1	1	1	1	BUENA	6,4			C	
P	5	-	-	-	-	1	-	-	1	REGULAR	0,81			C	
P	6	1	3	1	3	1	1	2	1	BUENA	6,4			C	
P	7	1	3	3	3	1	3	1	1	REGULAR	0,81			C	
P	8	-	-	-	-	1	-	-	1	REGULAR	0,81			C	
P	9	1	3	3	3	1	3	1	1	REGULAR	0,81			C	
P	10	1	3	3	3	1	3	-	1	REGULAR	0,81			C	
P	13	1	3	3	3	1	3	2	1	REGULAR	0,81			C	
P	14	1	2	3	3	1	1	1	1	BUENA	6,4			C	
P	15	2	2	1	3	1	3	1	1	REGULAR	0,81			C	
P	16	1	3	3	3	1	1	1	1	BUENA	6,4			C	
P	17	-	3	-	3	1	1	1	1	REGULAR	0,81			C	
P	11 12	1	3	3	3	1	3	-	1	REGULAR	0,81			C	

Figura 1.1 Ingresos Familiares

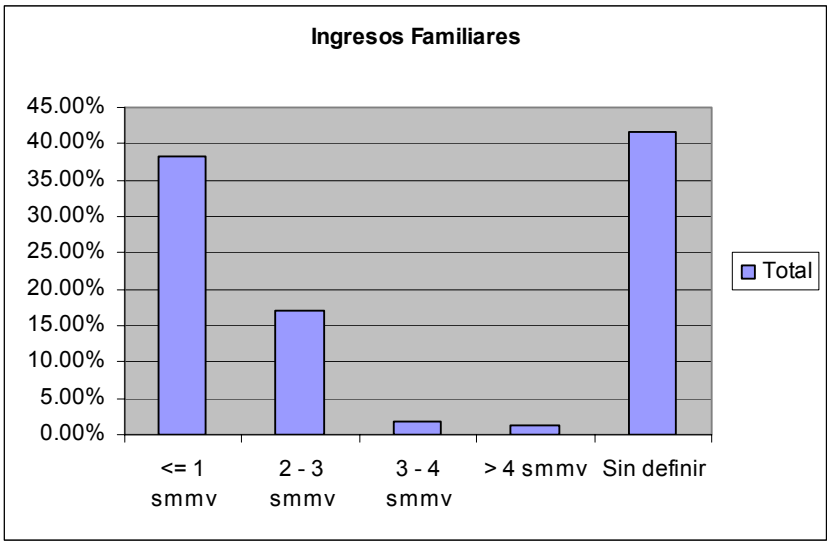


Figura 1.2 Número de Habitantes por Vivienda

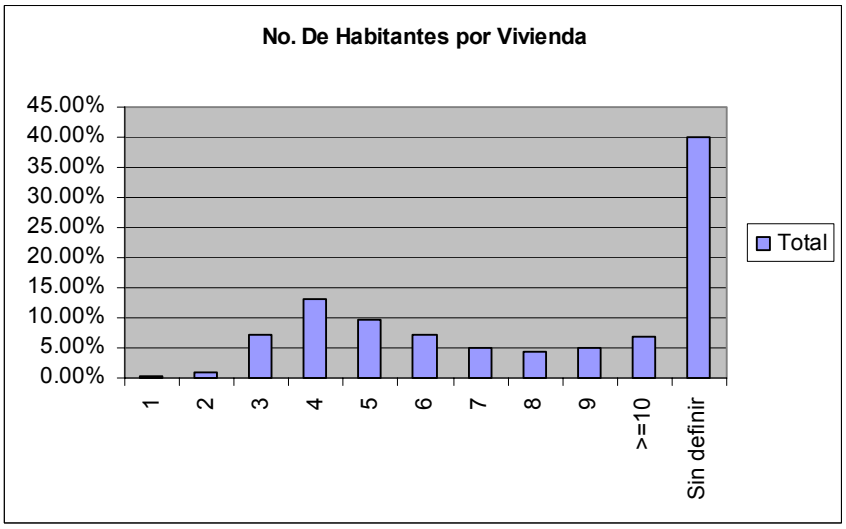


Figura 1.3 Valor del Inmueble

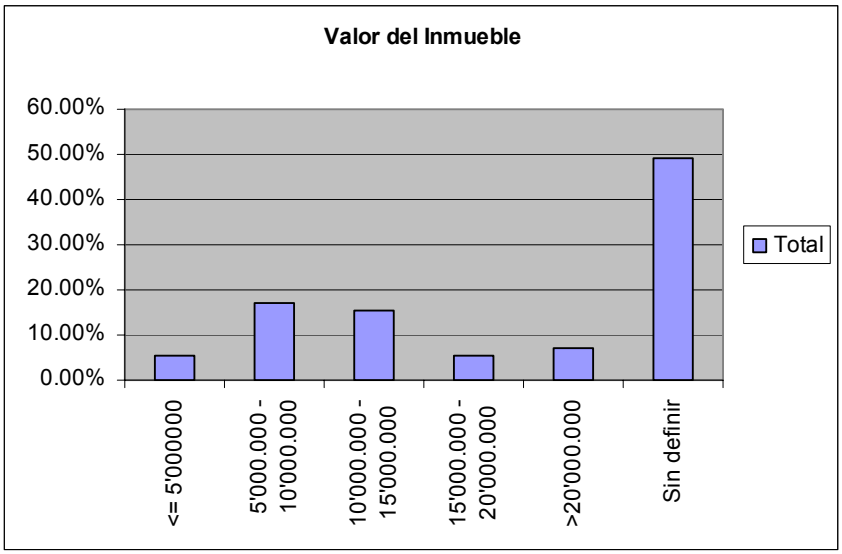


Figura 1.4 Documento de Propiedad del Inmueble

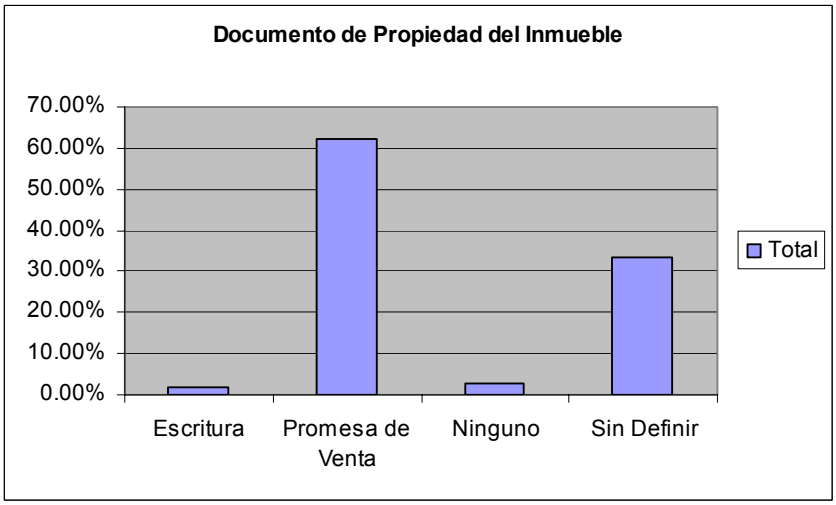


Figura 1.5 Cobertura de Servicios Públicos

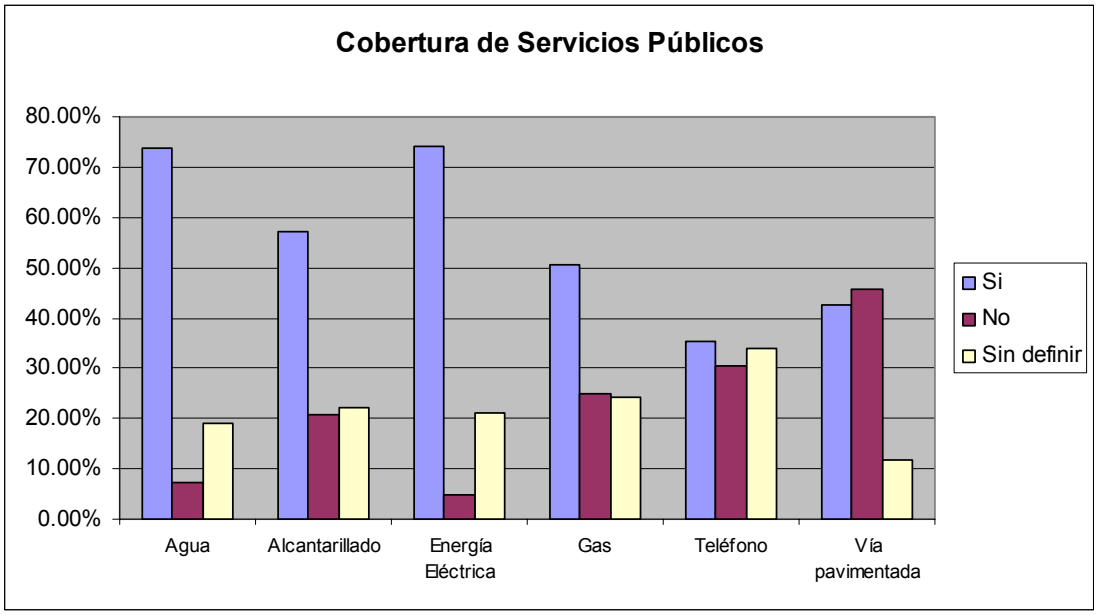


Figura 1.6 Tipo de Sistema Estructural

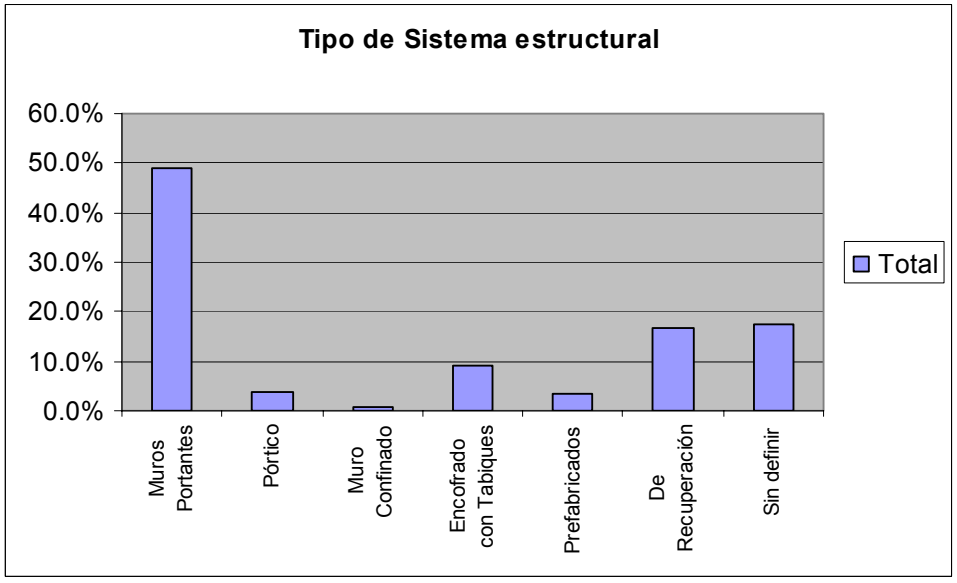


Figura 1.7 Percepción del peligro

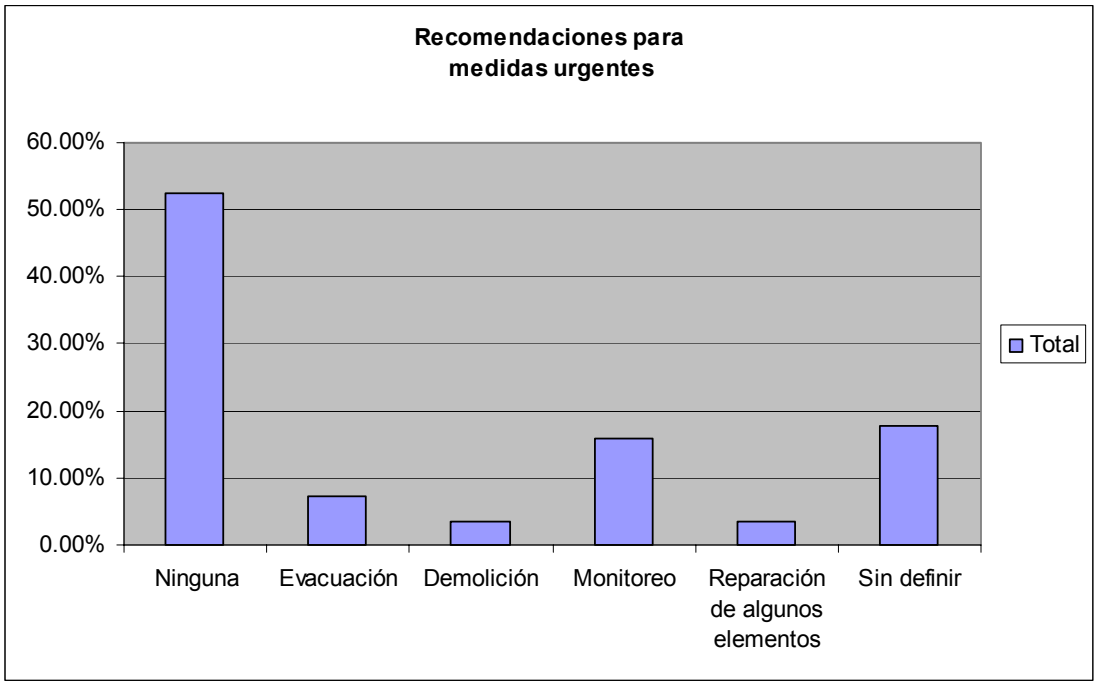


Figura 1.8 Daño en la Construcción

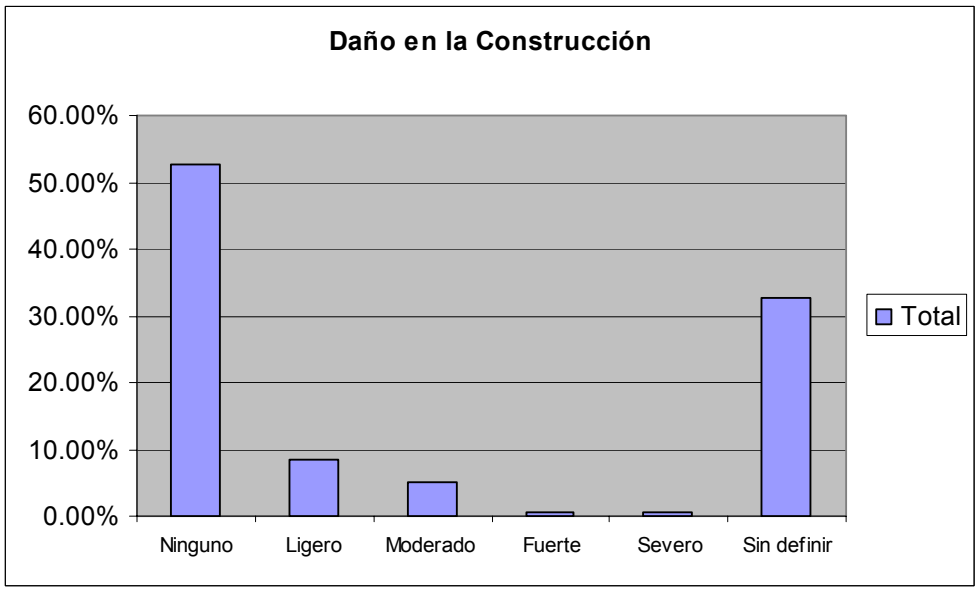


Figura 1.9 Capacidad económica para el salario medio esperado

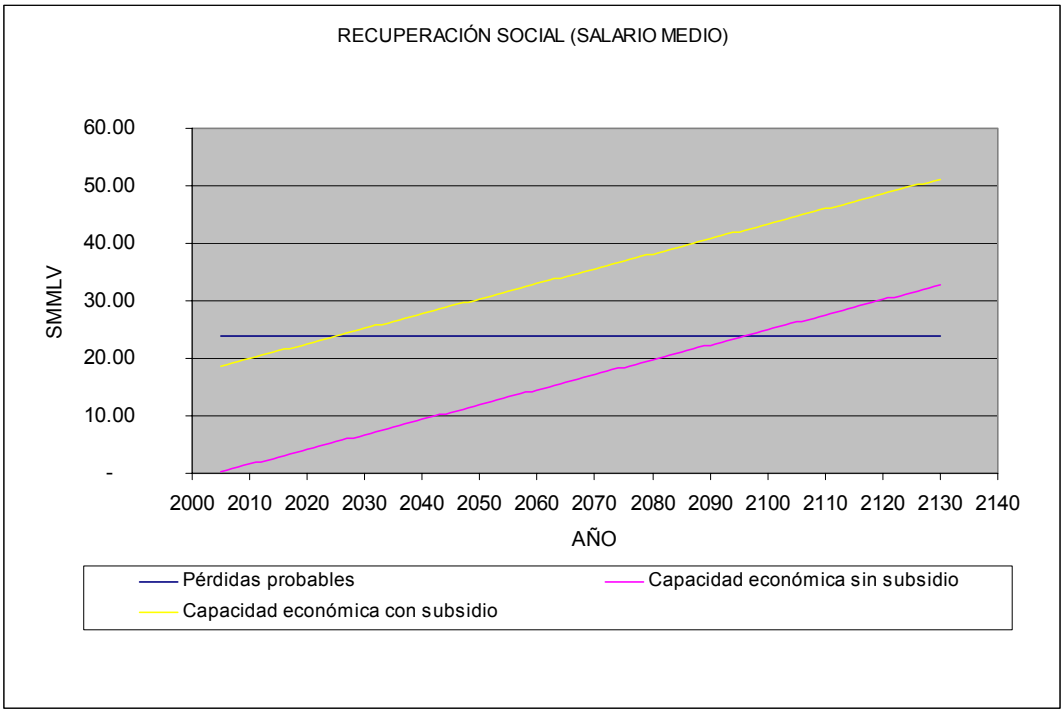


Figura 1.10 Capacidad económica para el salario máximo esperado

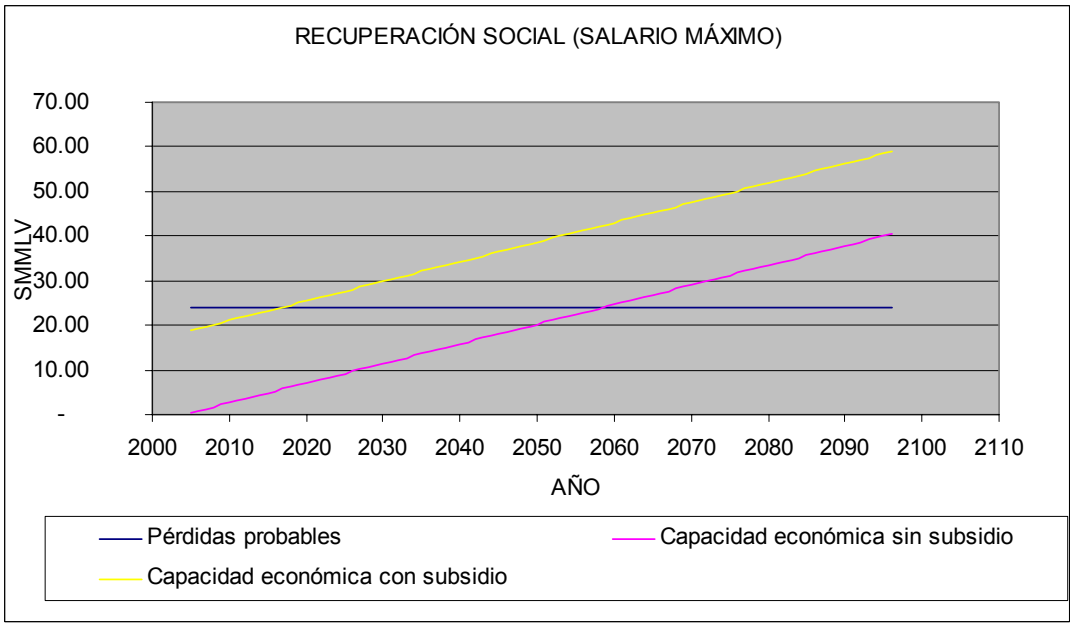
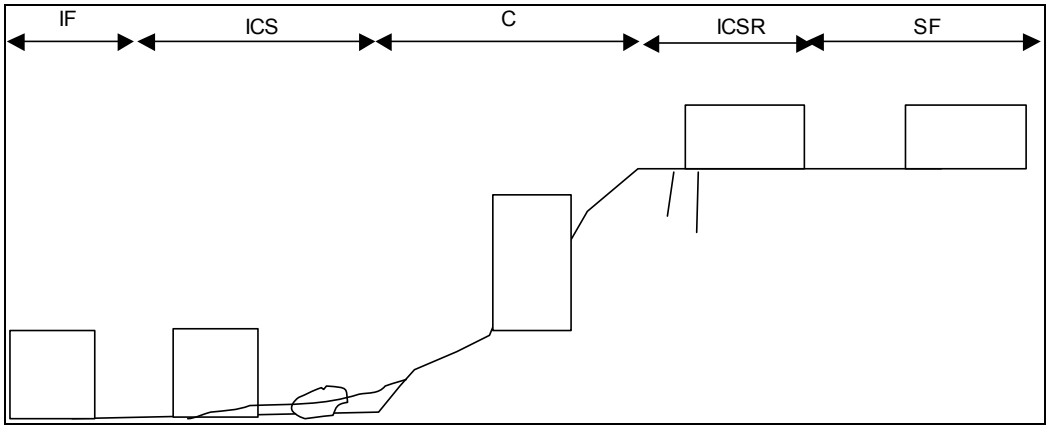


Figura 1.11 Zonas de exposición para los dos tipos de eventos



Exposición, EXP	Localización de la vivienda
SF	Fuera de la influencia del evento, zona superior (suelo o roca)
ICSR	Dentro de la influencia, zona de corona (suelo o roca)
C	En el cuerpo del evento (suelo o roca)
ICS	Dentro de la influencia, zona de pata (suelo o roca)
IF	Fuera de la influencia del evento, zona inferior (suelo o roca)

1. RIESGO

1.1 INDICADORES

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

$$Riesgo = P_f \cdot C_f$$

P_f: Probabilidad de falla condicional en el escenario de 10 años
C_f: Costo de falla
Sin embargo, con el fin de enajenar del riesgo, el efecto de las diferencias entre los costos de las viviendas (representadas en inversión inicial, mejoras, muebles e inmuebles), se opta por recurrir al índice de riesgo, con el cual se nivelan con el mismo rasero las unidades habitacionales pues, independientemente de su costo, representan más que bienes, "hogares" para las personas.
El Índice de riesgo se define como:

$$IR = P_f \cdot IVF$$

IR: Índice de riesgo
P_f: Probabilidad de falla
IVF: Índice de vulnerabilidad física
Para este caso se obtuvieron los intervalos de cualificación de las pérdidas probables a partir de la conjugación –producto punto- de los niveles de vulnerabilidad y de amenaza aplicados al proyecto, pero asumida cada una como variable independiente (Véase Tabla 1.1).

1.2 ZONIFICACIÓN DEL RIESGO

Como se deduce de la ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.: el 68% de las viviendas expone riesgo bajo, el 28% medio y el 4% (nueve viviendas) alto. Esta distribución se justifica en el alto porcentaje de casas con pequeños niveles de vulnerabilidad, y en los bajos grados de exposición de los domicilios, es decir, es muy reducida la fusión de niveles medios o altos de vulnerabilidad, con zonas de amenaza media o alta.
El resultado del análisis revela que las unidades con mayor probabilidad de daño son en esencia las más vulnerables, relación biunívoca en esta ocasión pues la amenaza es igual para todas ellas: alta. Las restantes viviendas exponen índices de riesgo bajo. En concordancia, las alternativas de solución estarán destinadas a la reducción del riesgo, mediante mejoras en los niveles de vulnerabilidad, apoyadas en la reubicación o en estructuras de control o aislamiento, o a la disminución de las categorías de amenaza gracias al trabajo individual o conjunto de anclajes y perfilados.

Tabla 1.1 Categorización del riesgo

NIVEL DE RIESGO	INTERVALOS DE LOS ÍNDICES

Alto	0.2215– 1.000
Medio	0.041 – 0.2215
Bajo	0.000 – 0.041

1. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

1.1 MEDIDAS DE MITIGACIÓN

1.1.1 Análisis y consideraciones generales

Uno de los más relevantes beneficios del análisis de amenaza actual reside en la formulación de un plan de acción objetivo, equilibrado y sustentable que permita atenuar las consecuencias de los procesos existentes. Es decir un programa que permita mitigar, conservar o controlar los niveles de amenaza, y disminuir la influencia de los agentes detonantes y contribuyentes.

A la luz del objeto de este proyecto, surge entonces la necesidad de estudiar, en adelante, el papel de un abanico de medidas que emergieron de los temas tratados en los capítulos anteriores. Los criterios de decisión tienen como apalancamiento un análisis comparativo entre la condición que alcanzarían los taludes en 10 años, sin obras, y su mejoramiento con la implementación de las obras que poseen un valor económico asociado. Por lo tanto, las soluciones a proponer, aunque posean un alto contenido de subjetividad, tendrán como función principal preservar, al menor costo, niveles de riesgo bajos; bien sea al reducir la amenaza (perfilados, drenaje, subdrenaje, etc) o bien, la vulnerabilidad (reubicación, barandas, mallas protectoras).

Las medidas propuestas se enmarcan dentro de la capacidad operativa y económica, no sólo de la DPAE, sino de las demás entidades distritales que tienen ingerencia activa y continua en las condiciones de habitabilidad y seguridad en el Distrito Capital, tales como el DAPD, la EAAB y el IDU.

1.1.2 Planteamiento de alternativas

A partir de los resultados de la evaluación de amenaza, y acorde con las zonas homogéneas se consideraron las siguientes alternativas para cada uno de los taludes estudiados.

1.1.2.1 Zona 1

Abarca el extremo sur, específicamente en la porción de la vertiente conexa a las manzanas A y B; recorre los taludes: T1, T1A y T2, sobre una de las mejores expresiones de la ladera estructural. Si bien es uno de los escenarios menos habitados, su importancia radica en que allí tuvo lugar la más reciente manifestación de actividad, y es el espacio escolar por excelencia. Los procesos potenciales responden a fallas traslacionales, posiblemente con grieta de tracción, de bloques en roca, detonados por saturación en los períodos lluviosos.

Al considerar los aspectos anteriormente exhibidos, se plantean las medidas cuyos costos se resumen de la Tabla 1.1 a la Tabla 1.3 y que a continuación se describen.

- **Alternativa 1. No llevar a cabo medida alguna:** Esto implica no sólo obviar la puesta en marcha de medida alguna para la reducción de la amenaza (estabilización o mitigación) sino mantener imperturbable la respuesta estructural de las edificaciones, es decir considerar constante la vulnerabilidad física.

- **Alternativa 2**. **Reasentar las familias dispuestas en las franjas superior e inferior de la ladera:** Este planteamiento involucra, la movilización de los bienes muebles e inmuebles de 11 núcleos familiares, identificados como: 13 al 17 de la manzana P; 1 del bloque C; 9, 0 y 1 de la manzana B; y 1 y 7 de la A.
- **Alternativa 3**. Está compuesta por varios grandes ítems: perfilado (0.5H:1V) y empradización de las superficies expuestas; drenes subhorizontales; cunetas de recolección de aguas de escorrentía en la corona y pata del taludes ya perfilado y del escarpe mecanizado en vecindades del colegio; y malla de protección, eslabonada paralela al paramento posterior del Centro Educativo. Bajo estas condiciones se busca retirar totalmente los materiales susceptibles a fallar por saturación –rellenos y suelos residuales-, restringir la movilización de bloques y disminuir la amenaza en la franja inferior de casas.
- **Alternativa 4**. Difiere de la anterior únicamente en que se efectúa una remoción completa del nivel Are4 con pendiente igual al buzamiento de la estratificación, equivalente aproximadamente a 2H:1V.

1.1.2.2 Zona 2

Cubre la franja central de la vertiente en el dominio de las secciones B, C y D y de las manzanas P, C y D. Es el espacio de mayor posibilidad de activación, pues encierra categorías de amenaza media y alta; los procesos, al igual que los de la región precedente, demarcan fallas planares en roca con y sin grieta de tracción; los bloque móviles oscilan entre 1.5 y 4.5 m de arista, aunque coexiste la posibilidad de falla general (sin grieta), y su plano preferencial de desprendimiento reside en la estratificación.
Aunque a diferencia de la Zona 1 sus consecuencias pondrían en entredicho más de una decena de viviendas y un corredor vehicular adoquinado, sus alternativas de solución son muy similares: La reubicación de 11 familias, remarcada como alternativa 1; el no hacer nada, alternativa 2; y el perfilado acompañado de una baranda de delimitación, los subdrenes horizontales, la protección con empradización, y los sistemas de recolección con cunetas, alternativas 3 y 4; remarcan el grupo de posibles soluciones. De ellas, las dos últimas requieren el reasentamiento (reubicación) de seis familias dado que se carece de espacio físico para su puesta en marcha y se diferencian porque en la alternativa 3, se propone el corte con taludes 1H:2V en tanto que en la 4, el corte se dispone 2H:1V coincidente aproximadamente con el plano de estratificación en el contacto Are4-Are3.

1.1.2.3 Zonas 3 y 4

Son los subespacios menos propensos para la formación de procesos de inestabilidad y de menor dominio de riesgo. Ocupan los cortes y laderas de menor expresión morfométrica y menos explotados por el hombre, pero más habitados. Su probabilidad condicional actual es inferior al 8 % y a 10 años alcanza el 14 %. El centro de atención reside en un pequeño parche erosionado de la vía a Quiba que además de afectar el propio alineamiento de la vía y la conectividad de dicha vereda con la ciudad, amenaza los primeros predios de la Manzana E, tanto por inestabilidad del terreno como por probables accidentes vehiculares que esta situación dispare. Por la importancia del cinturón vial, la alternativa es unidireccional y excluyente: confinar la estructura vial con un muro de gravedad

(entiéndase: gaviones, tierra armada o en cantiliver). Esta solución debe ser diseñada e implementada por el IDU, entidad bajo cuya competencia se enmarca este corredor.

1.1.2.4 Zona 5

Enmarca el extremo noroccidental del cuadrángulo de estudio en una de las pocas porciones de la contrapendiente estructural (cortes T9 y T10). Es uno de los marcos más retrabajados por la erosión pluvial concentrada: surcos y cárcavas; los canales alcanzan profundidades métricas y diámetros hasta las dos docenas de centímetros. Pero su predisposición no sólo radica en este primer tipo de procesos, involucra además deslizamientos traslacionales a lo largo de uno de los planos de diaclasamiento. Las masas potencialmente inestables son apenas de unos pocos centímetros de profundidad y su longitud alcanza los 16 metros.
El tratamiento de esta subregión encierra tres alternativas a saber: la elusión (alternativa 1); la reubicación –alternativa 2-: y el perfilado con drenaje, constituido por cunetas, y empradización (alternativa 3). El segundo planteamiento encierra el traslado y la compra de las familias residentes en las unidades: 6 a 16 de la manzana N, y 1 y 10 de los bloques L y M, respectivamente. Y el tercero, más que modificar las características morfométricas, enfatiza el control y transporte del agua de escorrentía y el control de los frentes de erosión.
Las condiciones de amenaza actual, oscilantes entre baja y media, son el reflejo de las particulares condiciones topográficas, morfológicas y estratigráficas del sector, con dominio de secuencias líticas constituidas por areniscas, arcillolitas, y esporádicos parches de suelos residuales; dispuestos en laderas estructurales, escalonadas y con pendientes divergentes entre 80° (en los frentes de avance) y 18° en espacios semi-naturales.

1.1.3 Amenaza con obras

El especial matiz de la amenaza actual y la susceptibilidad de los elementos dispuestos sobre las superficies de los potenciales procesos de inestabilidad hacen del tratamiento de las zonas un marco de relativa compleja solución. Por una parte las obras tendientes a la reducción de la amenaza, p.e.: retiro de material, deben ser de fácil maniobrabilidad y construcción, y por otra parte deben garantizar una reducción de la probabilidad de falla con bajos presupuestos, premisa que desde ya hace de la reubicación una alternativa poco viable, máxime si se destaca que el número esperado de viviendas a manejar alcanza la treintena.
La valoración de las medidas de mitigación contempla así la determinación de su capacidad reductora de la probabilidad de falla. El desarrollo de este tema involucró asumir válidas las funciones de probabilidad de las variables aleatorias c' y ϕ', la aceleración sísmica (a) y el nivel de agua y los modos de falla estudiados en el capítulo 6. Por lo tanto la estimación de la probabilidad de falla implicó la determinación de los factores de seguridad de cada sección de análisis con la incorporación de la medida correctiva para los parámetros de resistencia y las variables ambientales esperadas (lluvia y sismo) con el procedimiento referido en el numeral 6.1 del Capítulo de amenaza.
Bajo el marco teórico expuesto, la evaluación de amenaza futura obviamente se concentró en el análisis del comportamiento de las Zonas 1, 2 y 4, frente a las diferentes medidas de mitigación, específicamente el perfilado y el subdrenaje. No obstante, como parte de las alternativas de solución tienden al retiro de las unidades expuestas y a la convivencia con el

problema, el análisis de amenaza formulado en el capítulo sexto permanece vigente. Así entonces, es claro que la posibilidad de falla para las alternativas: no hacer nada y reubicación es equivalente a la probabilidad condicional de los taludes para las solicitaciones en 10 años (Véanse las Tablas 6.2 a 6.8).

De esta forma, resulta apenas obvio que la alternativa con mayores beneficios en el control de los fenómenos potenciales consiste, cualquiera sea la zona en la implementación de sistemas de subdrenaje. Ella produce un notable aumento del factor de seguridad y, por ende, una reducción de la probabilidad de falla; esta última pasa a valores próximos al 10 % y 9 %, para las zonas 1 y 2, respectivamente, toda vez que el mecanismo de falla sea planar con grieta de tracción. Así, la condición de amenaza a 10 años sería baja, para la zona 1 y media, para la 2. De los análisis se desprende que los bloques con mayor posibilidad de movilización poseen alturas hasta de 4.5 m y profundidades (definidas con base en la posición de la grieta de tracción) de 1.50 m (Véase la Tabla 1.4).

Por otra parte, el efecto individual de perfilar los frentes expuestos visualiza mejoría en la estabilidad sólo si el plano de corte coincide con la estratificación pues se inhibe, de tajo, uno de los mecanismos amenazantes; cualquier retiro parcial mantiene los niveles de amenaza originales.

Entonces, la implementación de las baterías de subdrenaje, el manejo de las aguas lluvias (con cunetas de coronación), y la protección de las superficies expuestas apunta desde ya a ser la mejor alternativa técnicamente. Su selección como la propuesta recomendada será función exclusiva de su beneficio económico frente a las otras alternativas.

1.1.4 Selección de alternativas

El modelo de decisión probabilístico, es uno de los múltiples mecanismos que permite al diseñador seleccionar una entre diversas alternativas de solución, sin caer en un marco subjetivo dominado por el juicio del experto. Este modelo está basado en un análisis comparativo entre el nivel de riesgo alcanzado por una medida de mitigación y el costo esperado en pesos para la misma; en consecuencia contiene como variables relevantes: la probabilidad de falla y los costos de la solución (o costos inicial) y costo de falla. Aunque la aplicabilidad ambiental, beneficios sociales y su viabilidad operativa durante construcción, no hacen parte integral dentro del universo de variables, el método sólo permite su participación como elementos externos de decisión.

Uno de los procedimientos de análisis de decisión más simples es el conocido como "Árboles de decisión hipotéticos". Con el ánimo de proveer una adecuada plataforma para su implementación, se optó por hacer una modificación a la definición de riesgo y adoptar como paradigma la propuesta por Wu et al (1996), la cual estipula:

$$R = P_f C_f$$

donde:
R = Riesgo Esperado
P_f = Amenaza o probabilidad de falla de un talud y,
C_f = Consecuencia o costo de falla

Para el caso en estudio, la evaluación de probabilidad de falla, para cada tipo de fenómeno y solicitación, se encuentra compilada de la Tabla 1.1 a la Tabla 1.4. Por su parte, el costo de falla, se consideró como:

$$C_f = ID \times C_0$$

donde:
ID = Índice de daño de la unidad expuesta
C_0 = Valor inicial de la alternativa

El costo inicial corresponde al valor presente de la obra pues no existen otros elementos físicos que puedan incorporarse. Las pérdidas potenciales (o costo de falla), en caso de deslizamiento, son iguales al presupuesto de cada alternativa, sumado al valor de la atención de la emergencia; este último entendido como la reubicación de las familias, el retiro del material deslizado y la recuperación morfológica de las laderas (pero sólo a nivel primario, i.e. de atención de emergencia). El monto individual de reubicación se abstrajo equivalente al operado hoy día por la DPAE, esto es $ 14.000.000.00 por núcleo familiar.
Cabe señalar que el complejo social y la consolidación urbana, hace poco viable apelar a la elusión y a la reubicación total como alternativas viables, máxime si se aprecia que el riesgo esperado entre la primera (no hacer nada) y tercera (o cuarta) alternativa (perfilado más drenaje) es muy similar.
De la Tabla 1.1 a la Tabla 1.3 se tienen los árboles de decisión, discriminados por zona geotécnica, obtenidos para períodos de diseño a valor presente. De ella, se puede apreciar que la alternativa, indistintamente de la zona, que involucra el menor nivel de riesgo esperado, es la 3: el perfilado, el drenaje y subdrenaje, y la reubicación parcial. Si bien, la elusión en la zona 2 delinea un nivel de riesgo similar al de la alternativa 3, la desatención de la zona puede acarrear alteraciones sociales y, así, aumento en el riesgo esperado (no calculable), en contravía con el objetivo del análisis.

Tabla 1.1 Árbol de decisión de las medidas de mitigación – Zona 1

ARBOL DE DECISIÓN - ZONA 1						
Descripción		Probabilidad de ocurrencia	Costo	Prob * Costo	IR	
NO HACER NADA						
	Falla	0,237	$ 687.395.399	$ 162.912.709	$ 162.912.709	
	No falla	0,763	0	$ 0		
REUBICACIÓN						
COSTO DE ALTERNATIVA						
	Falla	0,237	$ 511.395.399	$ 121.200.709	$ 620.202.709	
	No falla	0,763	$ 654.000.000	$ 499.002.000		
SOLUCIÓN 1 (Perfilado 1H:2V)						
DRENAJE						
NO EFICIENTE	Falla	0,0525	$ 511.395.399	$ 26.848.258	$ 44.947.011	
0,3	No falla	0,2475	$ 73.126.272	$ 18.098.752		$ 128.961.759
EFICIENTE	Falla	0,0749	$ 511.395.399	$ 38.303.515	$ 84.014.748	
0,7	No falla	0,6251	$ 73.126.272	$ 45.711.233		
SOLUCIÓN 2 (Retiro Total de Are-4)						
DRENAJE						
NO EFICIENTE	Falla	0,0315	$ 511.395.399	$ 16.108.955	$ 38.211.750	
0,3	No falla	0,2685	$ 82.319.535	$ 22.102.795		$ 119.863.673
EFICIENTE	Falla	0,056	$ 511.395.399	$ 28.638.142	$ 81.651.923	
0,7	No falla	0,644	$ 82.319.535	$ 53.013.781		

Tabla 1.2 Árbol de decisión de las medidas de mitigación – Zona 2

ARBOL DE DECISIÓN - ZONA 2						
Descripción		Probabilidad de ocurrencia	Costo	Prob * Costo	IR	
NO HACER NADA (CON RECUPERACIÓN AMBIENTAL)						
	Falla	0,452	$ 262.666.532	$ 118.725.273	$ 118.725.273	
	No falla	0,548	0	$ 0		
REUBICACIÓN						
COSTO DE ALTERNATIVA						
	Falla	0,452	86666532,3	$ 39.173.273	123565272,6	
	No falla	0,548	154000000	84392000		
SOLUCIÓN 1 (Perfilado 1H:2V)						
DRENAJE						
NO EFICIENTE	Falla	0,0618	$ 241.922.315	$ 14.950.799	$ 51.932.727	
0,3	No falla	0,2382	$ 155.255.783	$ 36.981.927		166071766
EFICIENTE	Falla	0,063	241922315	15241105,85	114139039,4	
0,7	No falla	0,637	155255782,7	98897933,6		
SOLUCIÓN 2 (Retiro Total Are-4)						
DRENAJE						
NO EFICIENTE	Falla	0,0318	$ 397.121.719	$ 12.628.471	95892551,65	
0,3	No falla	0,2682	310455186,4	$ 83.264.081		313817847,9
EFICIENTE	Falla	0,007	$ 397.121.719	$ 2.779.852	217925296,2	
0,7	No falla	0,693	310455186,4	215145444,2		

Tabla 1.3 Árbol de decisión de las medidas de mitigación – Zona 5

ARBOL DE DECISIÓN - ZONA 5						
Descripción		**Probabilidad de ocurrencia**	**Costo**	**Prob * Costo**	**IR**	
NO HACER NADA (CON RECUPERACIÓN AMBIENTAL)						
	Falla	0,137	$ 216.504.647	$ 29.661.137	$ 29.661.137	
	No falla	0,863	0	$ 0		
NO HACER NADA (SIN RECUPERACIÓN AMBIENTAL)						
	Falla	0,137	$ 208.000.000	$ 28.496.000	$ 28.496.000	
	No falla	0,863	0	$ 0		
REUBICACIÓN						
COSTO DE ALTERNATIVA						
	Falla	0,137	$ 8.504.647	$ 1.165.137	$ 158.231.137	
	No falla	0,863	$ 182.000.000	$ 157.066.000		
SOLUCIÓN 1 (Perfilado 1H:2V)						
DRENAJE						
NO EFICIENTE	Falla	0,0411	$ 8.504.647	$ 349.541	$ 13.714.839	
0,3	No falla	0,2589	$ 51.623.399	$ 13.365.298		
						$ 45.716.130
EFICIENTE	Falla	0,0959	$ 8.504.647	$ 815.596	$ 32.001.291	
0,7	No falla	0,6041	$ 51.623.399	$ 31.185.695		

Tabla 1.4 Probabilidad de falla con obras

CÁLCULO DE PROBABILIDAD DE FALLA - BRISAS DEL VOLADOR
PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS - SECCIÓN C-C (Perfilado)

VARIABLES DE ANÁLISIS				H=4,50m b=1,50m α=62° β=27°		
Fricción	**Cohesión (T/m2)**	**Lluvia**	**Sismo**	**F.S.**	**E[FS] normal**	**Pf normal**
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Sin	3,449	2,338	0,038421
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Sin	2,490		
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Sin	2,186		
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Sin	1,226		
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Con	2,380	1,499	0,000325
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Con	1,643		
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Con	1,355		
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Con	0,761		
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Sin	1,876	1,200	0,028206
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Sin	1,467		
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Sin	0,933		
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Sin	0,524		
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Con	1,281	0,800	0,000121
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Con	1,032		
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Con	0,568		
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Con	0,318		

Probabilidad de Falla

LOGNORMAL	0,0501
NORMAL	0,0671
WEIBULL	0,0273

			TR	
Prob. Lluvia =	0,081718685	0,627836791	11,73	0,081718685
Prob. Sismo =	0,002103049	0,429623998	475	0,002103049

Tabla 1.4 Probabilidad de falla con obras (Continuación)

CÁLCULO DE PROBABILIDAD DE FALLA - BRISAS DEL VOLADOR
PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS - SECCIÓN C-C (Perfilado)

VARIABLES DE ANÁLISIS				H=6,0m b=3,0m α=62° β=27° θ=0° (Corona Talud)		
Fricción	Cohesión (T/m2)	Lluvia	Sismo	F.S.	E[FS] normal	Pf normal
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Sin	3,119	2,173	0,033081
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Sin	2,160		
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Sin	2,186		
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Sin	1,226		
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Con	2,007	1,384	0,000359
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Con	1,412		
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Con	1,355		
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Con	0,761		
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Sin	1,975	1,324	0,019513
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Sin	1,448		
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Sin	1,200		
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Sin	0,673		
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Con	1,304	0,858	0,000115
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Con	0,982		
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Con	0,734		
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Con	0,412		

Probabilidad de Falla

LOGNORMAL	0,0360
NORMAL	0,0531
WEIBULL	0,0154

			TR	
Prob. Lluvia =	0,081718685	0,627836791	11,73	0,081718685
Prob. Sismo =	0,002103049	0,429623998	475	0,002103049

Tabla 1.4 Probabilidad de falla con obras (Continuación)

FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCIÓN

(Brisas del Volador)

Sección	Inclinación de Talud	Inclinación Plano de Falla	Altura de Talud H (m)	b (m)	Z (m)	Zw (m)	Montecarlo		PEM (Esperados)		PEM (Extremos)		Observaciones
							Pf (1 año)	Pf (10 año)	Pf (1 año)	Pf (10 año)	Pf (1 año)	Pf (10 año)	
A-A'	45	27	1,50	1,50	-	-	-	-	-	-	-	-	No se genera
			3,00	1,50	1,194	1,194	0,017	0,087	0,095	0,149	0,085	0,141	
			4,50	1,50	1,930	1,930	0,035	0,202	0,085	0,175	0,074	0,170	
			4,50	3,00	1,653	1,653	0,018	0,103	0,075	0,135	0,065	0,127	
			6,00	4,50	2,112	2,112	0,022	0,129	0,064	0,128	0,055	0,120	

FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCIÓN

(Brisas del Volador) Retiro Total Are4-4 y Hw=0,5 E(Hw) Drenajes Eficientes

Sección	Inclinación de Talud	Inclinación Plano de Falla	Altura de Talud H (m)	b (m)	Z (m)	Zw (m)	Montecarlo		PEM (Esperados)		PEM (Extremos)		Observaciones
							Pf (1 año)	Pf (10 año)	Pf (1 año)	Pf (10 año)	Pf (1 año)	Pf (10 año)	
A-A'	45	27	3,00	1,50	1,195		0,008	0,019	0,085	0,107	0,079	0,099	
			4,50	1,50	1,930	0,965	0,008	0,032	0,070	0,100	0,063	0,092	
			4,50	3,00	1,653	0,827	0,007	0,024	0,065	0,088	0,059	0,080	
			6,00	4,50	2,112	1,056	0,006	0,026	0,054	0,077	0,048	0,069	

Tabla 1.4 Probabilidad de falla con obras (Continuación)

FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCIÓN

(Brisas del Volador) Perfilado: 1H:2V y Hw=0,5 E(Hw) Planteamiento de Alternativas

Sección	Inclinación de Talud	Inclinación Plano de Falla	Altura de Talud H (m)	b (m)	Z (m)	Zw (m)	Montecarlo		PEM (Esperados)		PEM (Extremos)		Observaciones
							Pf (1 año)	Pf (10 año)	Pf (1 año)	Pf (10 año)	Pf (1 año)	Pf (10 año)	
C-C' y D-D'	62	27	3,00	1,50	1,423	0,715	0,006	0,022	0,064	0,087	0,059	0,079	
			4,50	1,50	2,517	1,250	0,011	0,054	0,053	0,087	0,047	0,080	
			6,00	1,50	3,610	1,448	0,011	0,064	0,046	0,078	0,041	0,071	
			4,50	3,00	1,752	0,876	0,007	0,022	0,049	0,069	0,044	0,061	
			3,00	3,00	0,659	0,329	0,004	0,009	0,064	0,075	0,061	0,069	
			6,00	3,00	2,846	1,423	0,011	0,048	0,045	0,072	0,040	0,064	
			6,00	4,50	2,082	1,040	0,007	0,026	0,043	0,061	0,039	0,054	

FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCIÓN

(Brisas del Volador) Perfilado

α= 62° (Cara Talud) β= 27° (Plano de Falla) θ= 0° (Corona Talud)

Sección	Inclinación de Talud	Inclinación Plano de Falla	Altura de Talud H (m)	b (m)	Z (m)	Zw (m)	Montecarlo		PEM (Esperados)		PEM (Extremos)		Observaciones
							Pf (1 año)	Pf (10 año)	Pf (1 año)	Pf (10 año)	Pf (1 año)	Pf (10 año)	
C-C' y D-D'	62	27	3,00	1,50	1,423	1,423	0,024	0,137	0,075	0,140	0,066	0,135	
			4,50	1,50	2,517	2,500	0,073	0,431	0,070	0,209	0,067	0,222	
			6,00	1,50	3,610	2,891	0,073	0,447	0,061	0,192	0,060	0,206	
			4,50	3,00	1,753	1,753	0,020	0,112	0,057	0,110	0,050	0,104	
			3,00	3,00	0,658	0,658	0,006	0,019	0,068	0,088	0,062	0,081	
			6,00	3,00	0,220	0,220	0,051	0,341	0,057	0,155	0,053	0,159	
			6,00	4,50	2,082	2,082	0,019	0,120	0,050	0,097	0,044	0,090	
			6,00	6,00	1,317	1,317	0,008	0,039	0,046	0,070	0,041	0,062	

FALLA PLANAR CON GRIETA DE TRACCIÓN

(Brisas del Volador) Perfilado

Soluciones Perfilado α= 62°

Sección	Inclinación de Talud	Inclinación Plano de Falla	Altura de Talud H (m)	b (m)	Z (m)	Zw (m)	Montecarlo		PEM (Esperados)		PEM (Extremos)		Observaciones
							Pf (1 año)	Pf (10 año)	Pf (1 año)	Pf (10 año)	Pf (1 año)	Pf (10 año)	
C-C' y D-D'	82	27	3,00	1,50	2,021	1,961	0,024	0,137	0,075	0,140	0,066	0,135	

1. DISEÑO DE OBRAS

1.1 OBRAS DE MITIGACIÓN

1.1.1 Plan de acción recomendado

Bajo una percepción global, las obras involucran (ver Plano 10 para la implementación en planta y Plano 11y Plano 12 para los detalles de construcción):
a) Reubicación: Prevé la compra de seis predios, su posterior demolición y consecuente disposición con el fin de evitar su reocupación en el futuro. Tiene como único escenario válido, la Zona 2. Su importancia reside en proveer el espacio para la construcción de las redes de drenaje superficial.
b) Perfilado de los frentes de explotación: Implica el retrabajamiento de las superficies expuestas con gradientes: 2H:1V, si se trata de la zona 1; 1H:2V en cuanto atañe a la zona 2 (y parte de la 3); o la reconformación con el mismo buzamiento en la zona 5. Todos estos trabajos estarán acompañados con la protección de los cortes con cespedón o biomanto. (ver Plano 11 para identificar materiales a retirar)
c) Manejo de aguas lluvias y de infiltración: Envuelve la intercepción tanto del agua de escorrentía como de infiltración. La primera, a través de cunetas en concreto y líneas de conducción enterradas, estas últimas circunscritas exclusivamente a la zona 2. Y la segunda, gracias a baterías sucesivas de subdrenes, compuestas cada una por tres unidades de 20 m de longitud, dispuestas a lo largo de las regiones 1 y 2. El sistema de cunetas involucra prácticamente la totalidad del área debido a la gran cantidad de frentes de explotación antiguos y hace entrega a la red de alcantarillado existente, previa revisión de su capacidad hidráulica. Este tema se aborda con mayor detalle en el numeral 10.2.
d) Baranda de delimitación: Comprende una estructura de aislamiento, metálica, de altura libre de 1.1m, con separación horizontal de 1.5m y vertical de 0.27m, constituida por secciones tubulares de 2" en acero galvanizado. La baranda delimita la corona de los perfilados de las zonas 2 y 3.
e) Malla de protección: Consiste en una estructura cimentada con una viga de amarre de 0.3m*0.3m, muro de mampostería de 0.5m de altura seguida por una malla eslabonada en alambre galvanizado calibre 9 con eslabonado de 2"*2", de 1.9 m adicionales de altura, para un total de 2.4m libres; las unidades se separan por postes de acero galvanizado de 2.5" de diámetro interno embebidos en columnetas de igual sección de la viga. Esta malla protege el CED que se localiza en la parte baja de la zona 1, ante la acción de posibles pequeños bloques móviles de las partes alta y baja de los taludes. Su construcción está ampliamente justificada porque el área posterior del colegio es utilizada como patio en las actividades lúdicas de los niños, agentes expuestos en este caso.

1.1.2 Presupuesto

El presupuesto total de las obras se presenta de la Tabla 10.1 a la 10.4, cuyos documentos de soporte: Análisis de precios unitarios y especificaciones, hacen parte del Anexo G y Anexo H respectivamente.

Tabla 1.1 Cantidades de obra y presupuesto – Zona 1

PRESUPUESTO OBRAS BRISAS DEL VOLADOR ZONA 1					
ITEM No.	DESCRIPCION	UNIDAD	Valor Unitario	Cantidad	Total
1.2	Localización y Replanteo	GL	4,762,042	0.08	374,158
1.3	Campamento	GI	1,225,000	0.08	96,249
1.5	Aislamiento y protección de la zona intervenida	ML	7,964	91.00	724,724
1.6	Plan de manejo vial	GL	1,200,000	0.08	94,285
2.1	Demolición de vivienda	UN	30,626	0.00	-
2.2	Demolición de pavimento rígido	M3	65,942	1.35	89,022
3.2	Perfilado de taludes (excavación)	M3	18,050	1171.71	21,149,299
7.2	Empradización con césped	M2	4,360	1032.19	4,500,335
8.2	Cajas de Inspección	UN	213,638	0.00	-
8.3	Cuneta revestida en concreto fc'=2500psi	M3	492,799	11.58	5,704,767
	Excavación manual cunetas	M3	21,688	22.06	478,491
8.4	Subdrenes horizontales	ML	194,190	91.61	17,789,746
9.1	Arborización	UN	65,000	0.00	-
9.2	Construcción de pavimento rígido	M3	331,955	1.35	448,140
9.3	Cerramiento en malla eslabonada	ML	76,758	84.26	6,467,665
9.4	Barandas metálicas	ML	48,097	89.32	4,295,995
				TOTAL	62,212,875

Tabla 1.2 Cantidades de obra y presupuesto – Zona 2

PRESUPUESTO OBRAS BRISAS DEL VOLADOR ZONA 2					
ITEM No.	DESCRIPCION	UNIDAD	Valor Unitario	Cantidad	Total
1.2	Localización y Replanteo	GL	4,762,042	0.26	1,239,704
1.3	Campamento	GI	1,225,000	0.26	318,905
1.5	Aislamiento y protección de la zona intervenida	ML	7,964	197.05	1,569,306
1.6	Plan de manejo vial	GL	1,200,000	0.26	312,396
2.1	Demolición de vivienda	UN	30,626	6.00	183,753
2.2	Demolición de pavimento rígido	M3	65,942	2.03	133,533
3.2	Perfilado de taludes (excavación)	M3	18,050	1685.85	30,429,540
7.2	Empradización con césped	M2	4,360	1910.49	8,329,716
8.2	Cajas de Inspección	UN	213,638	0.00	-
8.3	Cuneta revestida en concreto fc'=2500psi	M3	492,799	25.48	12,557,766
	Excavación manual cunetas	M3	21,688	63.79	1,383,392
8.4	Subdrenes horizontales	ML	194,190	159.73	31,017,969
9.1	Arborización	UN	65,000	0.00	-
9.2	Construcción de pavimento rígido	M3	331,955	2.03	672,209
9.3	Cerramiento en malla eslabonada	ML	76,758	0.00	-
9.4	Barandas metálicas	ML	48,097	55.82	2,684,756
				TOTAL	90,832,945

Tabla 1.3 Cantidades de obra y presupuesto – Zona 5

PRESUPUESTO OBRAS BRISAS DEL VOLADOR ZONA 5					
ITEM No.	DESCRIPCION	UNIDAD	Valor Unitario	Cantidad	Total
1.2	Localización y Replanteo	GL	4,762,042	0.66	3,148,180
1.3	Campamento	GI	1,225,000	0.66	809,846
1.5	Aislamiento y protección de la zona intervenida	ML	7,964	360.14	2,868,155
1.6	Plan de manejo vial	GL	1,200,000	0.66	793,319
2.1	Demolición de vivienda	UN	30,626	0.00	-
2.2	Demolición de pavimento rígido	M3	65,942	0.00	-
3.2	Perfilado de taludes (excavación)	M3	18,050	1227.60	22,158,204
7.2	Empradización con césped	M2	4,360	2521.17	10,992,287
8.2	Cajas de Inspección	UN	213,638	0.00	-
8.3	Cuneta revestida en concreto fc'=2500psi	M3	492,799	20.39	10,048,669
	Excavación manual cunetas	M3	21,688	34.63	750,960
8.4	Subdrenes horizontales	ML	194,190	0.00	-
9.1	Arborización	UN	65,000	19.00	1,235,000
9.2	Construcción de pavimento rígido	M3	331,955	0.00	-
9.3	Cerramiento en malla eslabonada	ML	76,758	0.00	-
9.4	Barandas metálicas	ML	48,097	84.38	4,058,397
				TOTAL	56,863,017

Tabla 1.4 Cantidades de obra y presupuesto general

PRESUPUESTO OBRAS BRISAS DEL VOLADOR TOTAL					
ITEM No.	DESCRIPCION	UNIDAD	Valor Unitario	Cantidad	Total
1.2	Localización y Replanteo	GL	4,762,042	1.00	4,762,042
1.3	Campamento	GI	1,225,000	1.00	1,225,000
1.5	Aislamiento y protección de la zona intervenida	ML	7,964	648.19	5,162,185
1.6	Plan de manejo vial	GL	1,200,000	1.00	1,200,000
2.1	Demolición de vivienda	UN	30,626	6.00	183,753
2.2	Demolición de pavimento rígido	M3	65,942	3.38	222,555
3.2	Perfilado de taludes (excavación)	M3	18,050	4085.15	73,737,043
7.2	Empradización con césped	M2	4,360	5463.84	23,822,337
8.2	Cajas de Inspección	UN	213,638	0.00	-
8.3	Cuneta revestida en concreto fc'=2500psi	M3	492,799	57.45	28,311,202
	Excavación manual cunetas	M3	21,688	120.48	2,612,843
8.4	Subdrenes horizontales	ML	194,190	251.34	48,807,715
9.1	Arborización	UN	65,000	19.00	1,235,000
9.2	Construcción de pavimento rígido	M3	331,955	3.38	1,120,349
9.3	Cerramiento en malla eslabonada	ML	76,758	84.26	6,467,665
9.4	Barandas metálicas	ML	48,097	229.52	11,039,148
				SUBTOTAL	209,908,837
	Compra de Viviendas de Reubicación	UN	11,000,000	6	66,000,000
	ADMINISTRACIÓN, IMPREVISTOS, UTILIDAD	%	30		82,772,651
				TOTAL	292,681,488