

CONSULTORÍA PARA ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN SAN BERNARDO DE BATA (TOLEDO, NORTE DE S/DER.), POR REQUERIMIENTO DEL TRIBUNAL ADMINISTRATIVO DE NORTE DE S/DER.

Acción Popular 2012-00079 el Tribunal Administrativo de Norte de Santander

CONTRATO No. 9677-04-972-2013 DE 2013

“Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa”

**Documento N°. 3 Ajustado
Documento No. 4 Preliminar
SCG-UNGRD-BATA-001**

REV (P)

BOGOTÁ D.C., MARZO DE 2014

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELA	REV	APR
0	2014-03-18	Emitido para Revisión Interna	GT EF	JMO MCT	UNGRD

REGISTRO DE MODIFICACIÓN

REVISIÓN No.	CAPÍTULO MODIFICADO	FECHA DE REVISIÓN	▲	OBSERVACIONES
0	Todo el documento	2014-03-18		Emitido para revisión interna

CONSULTORÍA PARA ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN SAN BERNARDO DE BATA (TOLEDO, NORTE DE S/DER.), POR REQUERIMIENTO DEL TRIBUNAL ADMINISTRATIVO DE NORTE DE S/DER.

INFORME No. 3

Tabla de Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	14
1.1	Antecedentes	14
1.2	Objetivos	14
1.3	Alcances.....	14
1.4	Metodología	15
2.	GENERALIDADES.....	17
2.1	Localización y descripción del área de estudio	17
2.2	Fisiografía	17
2.3	Aspectos climáticos	18
2.4	Uso del suelo y procesos de transformación	19
2.4.1	Capacidad de uso del suelo	19
2.4.2	Procesos de transformación.....	20
2.5	Régimen hidrológico.....	21
2.5.1	Drenaje superficial.....	22
3.	RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE	23
3.1	Concepto técnico sobre movimientos en masa que afectan al corregimiento de San Bernardo de Bata, Municipio de Toledo, Departamento de Norte de Santander. Ingeominas. Octubre de 2012.	23
3.2	Construcción del Sistema de Drenaje de Aguas Lluvias para la Mitigación de Riesgos en el Corregimiento Especial de San Bernardo de Bata, Municipio de Toledo, Norte de Santander-2012	23
3.3	Esquema de Ordenamiento Territorial - EOT.....	24
3.4	Informe de Inspección Ocular. 14 de agosto de 2012. Carlos Arturo Gómez Rivera	26
3.5	Estudio topográfico planimétrico y altimétrico, y amojonamiento para control de asentamiento geológico en zona de deslizamiento. Diego Germán López Garzón. Tecnólogo en obras civiles- UFPS.	26
3.6	Informe del monitoreo comunitario de movimientos en masa implementado en el corregimiento.....	27

3.7	Datos IDEAM	29
3.8	Planchas geológicas y de suelos	29
3.9	Fotografías Aéreas.....	29
3.10	Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Norte de Santander (IGAC, 2007)	30
3.11	Mapa de ecosistemas de Colombia 1:500.000 del IDEAM 2007.....	31
4.	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	34
5.	EVALUACIÓN HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA DEL DRENAJE SUPERFICIAL.....	35
5.1	Análisis de la precipitación media anual	35
5.2	Análisis de la precipitación máxima en 24 horas	36
5.3	Análisis de la lluvia crítica (relación lluvia deslizamiento).....	38
5.4	Lluvias erosionables para el sector de estudio.....	39
5.4.1	Cálculo del índice de Fournier (IF).....	40
5.4.2	Cálculo del índice Modificado de Fournier (IMF)	41
5.4.3	Cálculo del índice de concentración de las precipitaciones (ICP)	42
5.5	Morfología y caudales de la cuenca Margua.....	43
5.5.1	Morfología	43
5.5.2	Caudales de la Cuenca Margua	44
5.6	Coeficientes de escorrentía.....	45
5.7	CONCLUSIONES DE LA EVALUACIÓN DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.....	47
6.	EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOMORFOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA	48
6.1	Marco geológico regional.....	48
6.1.1	Estratigrafía.	48
6.1.2	Condiciones tectónicas y estructurales.....	49
6.1.3	Geología Detallada	51
6.1.4	Condiciones Tectónicas y Estructurales.	58
6.2	Marco geomorfológico regional.....	59
6.2.1	Geomorfología.....	59
6.2.2	Geomorfología detallada.....	60
6.2.3	Procesos Morfodinámicos	65
6.3	Hidrogeología (Modelo Hidrogeológico Conceptual).....	65

6.3.1	Descripción de unidades hidrogeológicas	66
6.3.2	Zonas de recarga	66
6.3.3	Controles hidrogeológicos.....	67
6.4	Sismicidad.....	67
6.5	Susceptibilidad a los deslizamientos	68
6.6	Evaluación geológica de la zona Inestable	69
6.6.1	Descripción del sitio	69
6.6.2	Descripción de la geología local	70
6.6.3	Condiciones estructurales locales.	72
6.6.4	Modelo hidrogeológico conceptual.	73
6.6.5	Diagnóstico del deslizamiento.....	73
6.7	Evaluación geológica de la zona potencial de reubicación	75
6.7.1	Descripción del sitio	75
6.7.2	Descripción de la geología local	76
6.7.3	Condiciones estructurales locales	76
6.7.4	Modelo hidrogeológico conceptual	77
6.7.5	Diagnóstico de estabilidad del sitio de reubicación y zona circundante.....	78
7.	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	80
7.1	Evaluación geotécnica de la zona inestable	80
7.1.1	Exploración del subsuelo.....	80
7.1.2	Caracterización geomecánica.....	83
7.1.3	Análisis retrospectivo	90
7.1.4	Evaluación de parámetros geomecánicos.....	94
7.1.5	Evaluación de estabilidad para amenaza	96
7.2	Evaluación geotécnica de la zona potencial de reubicación	97
7.2.1	Exploración del subsuelo.....	97
7.2.2	Caracterización geomecánica.....	99
7.2.3	Análisis retrospectivo	103
7.2.4	Evaluación de parámetros geomecánicos.....	107
7.2.5	Evaluación de estabilidad para amenaza	108

7.3	Evaluación geotécnica de la zona central.....	109
7.3.1	Análisis retrospectivo	109
7.3.2	Evaluación de estabilidad para amenaza	112
7.4	Evaluación geotécnica de la zona aledaña a la zona a la reubicación.....	113
7.4.1	Exploración del subsuelo	113
7.4.2	Evaluación de condiciones de estabilidad y parámetros geomecánicos	114
7.4.3	Evaluación de estabilidad para amenaza	114
8.	ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA.....	115
8.1	Zonificación de amenaza para la zona inestable.....	115
8.2	Zonificación de amenaza para la zona de potencial reubicación.....	117
8.3	Zonificación de amenaza para la zona central	117
8.4	Zonificación de amenaza para la zona central	118
9.	VULNERABILIDAD POR REMOCIÓN EN MASA.....	119
9.1	Vulnerabilidad física de viviendas	120
9.2	Vulnerabilidad estructural de edificaciones.....	121
9.2.1	Metodología de adquisición y registro de información en campo	121
9.2.2	Información adicional a recopilar adicional a la obtenida en campo	148
9.3	Metodología de análisis de la información obtenida en campo y cálculo de vulnerabilidad estructural de las edificaciones.....	148
9.3.1	Caracterización de viviendas	148
9.3.2	Cálculo de la Intensidad de Daño Metodología Leone, modificada por Soler	150
9.3.3	Cálculo alternativo de la Intensidad de Daño metodología DPAE-Uniandes.....	151
9.3.4	Determinación de la Calificación del Índice de Vulnerabilidad Física	154
9.4	Calculo de resultados y análisis de resultados de la vulnerabilidad física	155
9.4.1	Índice global de daño	156
9.5	Índice de vulnerabilidad física	157
9.6	Vulnerabilidad física de infraestructura vital (redes de acueducto y alcantarillado, eléctricas y otras redes)	160
9.6.1	Resultados	162
10.	RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA	165
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	166

12.	ANEXOS.....	169
12.1	Topografía	169
12.2	Exploración del subsuelo.....	169
12.3	Caracterización Geomecánica	169
12.4	Hidrología e Hidráulica	169
12.5	Vulnerabilidad	169
12.6	Planos	169

Tabla de Figuras

Figura 2.1 Corregimiento San Bernardo de Bata, Norte de Santander	17
Figura 2.2 Precipitación mensual máxima anual, Estación San Bernardo de Bata	18
Figura 2.3 Vista de los suelos que delimitan el Corregimiento de San Bernardo y su representación en el mapa de suelos del Norte de Santander (tomado IGAC, plancha 111- 2007).....	19
Figura 2.4 Procesos de transformación de los ecosistemas para el año 2000. (Tomado del mapa de ecosistemas de Colombia del IDEAM)	20
Figura 3.1 Riesgos y amenazas- EOT. Alcaldía de Toledo	25
Figura 3.2 Planta triangulación topográfica para monitoreo	28
Figura 3.3 Tomado del mapa de suelos del Norte de Santander	30
Figura 3.4 Procesos de transformación tomado del mapa ecosistemas 2007 mostrando los cambios de uso del suelo del sector urbano del corregimiento del San Bernardo	31
Figura 3.5 Mapa de Uso del Suelo (Tomado del mapa de Uso del Suelo del EOT 2001)	32
Figura 5.1 Histograma de precipitaciones para San Bernardo de Bata.....	35
Figura 5.2 Tr para las precipitaciones Máx. en 24 h para San Bernardo de Bata	37
Figura 5.3 Comportamiento Historio de los Eventos máximos de las precipitaciones Máx 24 h para San Bernardo de Bata	38
Figura 5.4 Índices de Fournier - IF (1992 -2012).....	40
Figura 5.5 Índices de Fournier IF - (1992 -2012).....	41
Figura 5.6 Índices ICP - (1992 -2012) para San Bernardo de Bata.	43
Figura 5.7 Caudales Proyectoados para el Río Margua.	45
Figura 5.8 Zonas de Pendientes de San Bernardo de Bata	46
Figura 6.1 Modelo estructural de la Región Nor-Oriental del país (tomado de Ingeominas memoria técnica plancha 111- Toledo).....	50
Figura 6.2 Vista de las condiciones tectónicas y estructurales del área de estudio (tomado de la plancha 111 Toledo, esc. 1:100.000 SGC)	51
Figura 6.3 Perfil geomorfológico de la vertiente	60
Figura 6.4 Zona sísmica alta – Ciudad de Cúcuta y Toledo- NSR10.....	67
Figura 6.5 Vista de los sistemas de fallas secundarias de influencia en el área de estudio (fotointerpretación fotos de la década del 80).....	70
Figura 6.6 Demarcación de los sistemas de fallas regionales y locales (fotointerpretación tectónica regional)	72
Figura 6.7 Modelo hidrogeológico conceptual mostrando la tabla de agua colgada por efecto de la zona de recarga de alta permeabilidad.	73
Figura 6.8 Interpretación perfil geofísico (VS de la parte baja del deslizamiento)	74
Figura 6.9 Vista de la zona de reubicación afectada por el cruce de una falla local y su interpretación del perfil geofísico respectivo (VS)	77
Figura 6.10 Demarcación de los trazos de falla cercanos al sitio de reubicación (fotointerpretación vuelo R 945 – 1984).....	78

Figura 7.1 Composición granulométrica de % grava, % arena y % finos.....	87
Figura 7.2 Carta de plasticidad para el depósito	88
Figura 7.3 Humedad, plasticidad y profundidad de muestreo	89
Figura 7.4 Peso unitario total con profundidad	89
Figura 7.5 Ubicación de secciones en la zona de estudio	92
Figura 7.6 Modelo de análisis Sección 1	93
Figura 7.7 Variación de parámetros modelo retrospectivo	93
Figura 7.8 Parámetros Geomecánicos para los materiales de la sección 1-1	95
Figura 7.9 Porcentaje de composición granulométrica: grava arena y finos	101
Figura 7.10 Carta de plasticidad zona potencial de expansión.....	101
Figura 7.11 Plasticidad vs humedad	102
Figura 7.12 Peso unitario – profundidad.....	102
Figura 7.13 Mapa de pendientes de la Zona de Expansión	104
Figura 7.14 Modelo de análisis Sección 3.....	105
Figura 7.15 Variación de parámetros modelo retrospectivo	106
Figura 7.16 Parámetros Geomecánicos para los materiales de la sección 3-3	107
Figura 7.17 Modelo de análisis Sección 2.....	110
Figura 7.18 Variación de parámetros modelo retrospectivo	111
Figura 7.19 Ubicación de la sección 4-4 en la zona de estudio.....	113
Figura 7.20 Modelo de análisis Sección 4.....	114
Figura 9.1 Formato de Campo Vulnerabilidad Estructural Página 1	122
Figura 9.2. Formato de Campo Vulnerabilidad Estructural Página 2	123
Figura 9.3. Formato de Campo Vulnerabilidad Estructural Página 3	124
Figura 9.4. Ejemplo de cálculo del movimiento diferencial unitario.....	133
Figura 9.5. Tipología estructural predios con levantamiento	156
Figura 9.6. Índice Global de Daño de las edificaciones.	157
Figura 9.7. Vulnerabilidad para amenaza en condiciones normales.....	158
Figura 9.8. Distribución de la vulnerabilidad Física en condiciones Normales.....	158
Figura 9.9. Vulnerabilidad para amenaza en condiciones extremas.....	159
Figura 9.10. Distribución de la vulnerabilidad Física en condiciones Extremas.....	159

Tabla de Fotografías

Fotografía 2.1 Vista de los suelos desarrollados a partir de las areniscas del Terciario. La fotografía del lado derecho, muestra en detalle los suelos desarrollados en la cima de la vertiente.....	20
Fotografía 2.2 Panorámica del estado y uso del suelo actual.....	21
Fotografía 2.3 Vista del tipo de drenajes difusos que se desarrolla sobre la vertiente	21
Fotografía 6.1 Exposición de las areniscas de la formación Barco en condición de roca muy fracturada.....	49
Fotografía 6.2 Vista de los depósitos de ladera Qb que cubren las laderas del sector urbano del corregimiento.....	51
Fotografía 6.3 Vista de depósitos de bloques (diámetros >2.0m) expuestos en las laderas del sector occidental del sector urbano.....	52
Fotografía 6.4 Vista de los depósitos de ladera (cantos y bloques) producto de la disgregación de estratos de areniscas	52
Fotografía 6.5 Vista de la unidad de depósito Coluvial arenoso expuestos en el la corona del deslizamiento	53
Fotografía 6.6 Vista de los depósitos aluviales del nivel de terraza, expuestos en el sitio contiguo al deslizamiento	53
Fotografía 6.7 Vista de los depósitos aluviales del río Margua.....	54
Fotografía 6.8 Vista de los niveles de areniscas y limolitas micáceas expuestas sobre la margen derecha del río Margua.....	55
Fotografía 6.9 Vista del macizo estratificado con niveles de limolitas y lodolitas fisibles	56
Fotografía 6.10 Vista de los niveles de limolitas muy meteorizadas y fracturadas (w3- w4), expuestas lateralmente al cuerpo del deslizamiento.	57
Fotografía 6.11 vista de las unidades de areniscas fracturadas de a formación Barco, expuestas en la cima de la vertiente.....	58
Fotografía 6.12 Unidad de laderas denudativas Ed-2 de la cima de la vertiente.....	61
Fotografía 6.13 Vista de la unidad denudativa Ed-1 que delimita el sector urbanizado del corregimiento.....	62
Fotografía 6.14 Vista de la unidad de laderas denudativas Ed-2 que delimitan el campo de fútbol	62
Fotografía 6.15 Vista de la unidad coluvial Lc2 afectada por el deslizamiento.....	63
Fotografía 6.16 Morfología sinuosa del cauce del río Margua con la formación de Barras	64
Fotografía 6.17 Vista de los afloramientos de la margen derecha del cauce expuestas en la base del deslizamiento	65
Fotografía 6.18 Condición actual de uso del suelo (pastos) en la zona afectada por el deslizamiento	70
Fotografía 6.19 Vistas parciales del sistema de grietas del movimiento y viviendas	71
Fotografía 6.20 Vistas parciales del sistema de grietas del movimiento	71
Fotografía 6.21 Localización de la zona de reubicación	75

Fotografía 6.22 Construcciones en la zona de reubicación.....	76
Fotografía 6.23 Vista del sector posterior del lote, afectado por el nivel freático colgado del sector occidental del predio	77
Fotografía 6.24 Vista del límite occidental de la zona de reubicación, afectada por la afluencia de aguas sobre el talud superior, con procesos de reptación y formación de flujos de tierras ..	78
Fotografía 7.1 Sondeos zona inestable	81
Fotografía 7.2 Líneas sísmicas zona inestable.....	83
Fotografía 7.3 Depósito coluvial.....	84
Fotografía 7.4 Zona de contacto movimiento deposito coluvial – roca diaclasada.....	85
Fotografía 7.5 Limolitas verdes y lutitas negras	86
Fotografía 7.6 Depósito aluvial antiguo – Sondeo 4	87
Fotografía 7.7 Registro fotográfico zona de expansión.....	98
Fotografía 7.8 Líneas sísmicas zonas potencial de expansión.....	99
Fotografía 7.9 Suelo residual de lutita – sondeo 6.....	100
Fotografía 7.10 Limolitas verdes y lutitas negras	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Información Construcción del Sistema de Drenaje Corregimiento	23
Tabla 3.2 Anexo E resultados de ensayos de laboratorio.....	24
Tabla 3.3 Mojones de control – Estudio de topografía	27
Tabla 3.4 Monitoreo comunitario - triangulación.....	28
Tabla 3.5 Información Estación San Bernardo de Bata	29
Tabla 5.1 Valores históricos máximos de Precipitación media anual	36
Tabla 5.2 Valores históricos máximos de Precipitación media anual	37
Tabla 5.3 Valores de Lluvia critica	39
Tabla 5.4 Clasificación del índice de Fournier (IF).....	40
Tabla 5.5 Clasificación del índice Modificado de Fournier (IMF)	41
Tabla 5.6 Clasificación del ICP.....	42
Tabla 5.7 Características Morfométricas de la cuenca del río Margua.....	44
Tabla 5.8 Proyección de Caudales	44
Tabla 5.9 Zonas para San Bernardo de Bata	46
Tabla 5.10 Coeficientes de escorrentía “C”	47
Tabla 7.1 Exploración del subsuelo directa – sondeos zona inestable	82
Tabla 7.2 Ensayos de laboratorio	83
Tabla 7.3 Ensayos de corte directo	90
Tabla 7.4 Parámetros de resistencia de material deslizado del análisis retrospectivo	94
Tabla 7.5 Parámetros de resistencia de material de la zona correspondiente a la sección 1-1..	95
Tabla 7.6 Factores de seguridad sección 1-1	97
Tabla 7.7 Exploración del subsuelo directa – sondeos zona inestable	98
Tabla 7.8 Ensayos de laboratorio zona de expansión.....	99
Tabla 7.9 Ensayos de corte directo	103
Tabla 7.10 Mapa de pendientes de la Zona de Expansión.....	106
Tabla 7.11 Parámetros de resistencia de material de la zona correspondiente a la sección 3-3	108
Tabla 7.12 Factores de seguridad para la sección 3-3	109
Tabla 7.13 Parámetros de resistencia de material deslizado del análisis retrospectivo	112
Tabla 7.14 Factores de seguridad sección 2-2.....	113
Tabla 7.15 Parámetros de resistencia de material de la zona correspondiente a la sección 4-4	114
Tabla 7.16 Factores de seguridad sección 4-4.....	114
Tabla 8.1 Niveles de Amenaza, DPAE, Resolución No. 227 de 2006	115
Tabla 8.2 Análisis de amenaza sección 1-1	116
Tabla 8.3 Análisis de amenaza sección 3-3.....	117
Tabla 8.4 Análisis de amenaza sección 2-2.....	118
Tabla 8.5 Análisis de amenaza sección 4-4.....	118

Tabla 9.1 Abreviaturas Municipio.....	125
Tabla 9.2. Calificación del nivel de daño estructural en la cimentación.....	133
Tabla 9.3. Calificación del nivel de daño estructural en los muros portantes	134
Tabla 9.4. Calificación del nivel de daño estructural en las columnas.....	135
Tabla 9.5. Calificación del nivel de daño estructural en las vigas.....	136
Tabla 9.6. Calificación del nivel de daño estructural en el entrepiso	136
Tabla 9.7. Calificación del nivel de daño estructural en las escaleras.....	137
Tabla 9.8. Calificación del nivel de daño estructural en la cubierta.....	137
Tabla 9.9. Calificación de la Condición de la cimentación.....	138
Tabla 9.10 Calificación de la Condición de los muros portantes	138
Tabla 9.11. Calificación de la Condición de las Columnas	139
Tabla 9.12. Calificación de la Condición de las Vigas	139
Tabla 9.13. Calificación de la Condición del entrepiso	140
Tabla 9.14. Calificación de la Condición de las escaleras.....	140
Tabla 9.15. Calificación de la Condición de la cubierta.....	141
Tabla 9.16. Calificación del nivel de daño estructural en los antepechos y muros de fachada .	141
Tabla 9.17. Calificación del nivel de daño estructural en los muros divisorios.....	142
Tabla 9.18. Calificación del nivel de daño en la cubierta	143
Tabla 9.19. Calificación del nivel de daño en el cielo raso	143
Tabla 9.20. Calificación del nivel de daño en las instalaciones y redes.....	144
Tabla 9.21. Calificación de la Condición de los Antepechos y muros de fachada.....	145
Tabla 9.22. Calificación de la Condición de los muros divisorios	145
Tabla 9.23. Calificación de la Condición de la cubierta.....	146
Tabla 9.24. Calificación de la Condición del cielo raso.	146
Tabla 9.25. Calificación de la Condición del Tanque Elevado	147
Tabla 9.26. Caracterización de las edificaciones.	148
Tabla 9.27. Criterios para la clasificación de sistemas estructurales dentro de las tipologías de la metodología.....	149
Tabla 9.28. Intensidad de daño.....	150
Tabla 9.29. Matriz de daño	151
Tabla 9.30. Calificación del nivel de daño en elementos estructurales y NO estructurales.	152
Tabla 9.31. Factores de ponderación del índice de daño	153
Tabla 9.32. Calificación de la Condición de la edificación	153
Tabla 9.33. Calificación del Índice Global de Daño de la Edificación	154
Tabla 9.34. Coeficiente de Importancia	155
Tabla 9.35. Categoría de la Vulnerabilidad	155
Tabla 9.36. Porcentaje de daño como función de la probabilidad de falla por movimiento en masa.....	161
Tabla 9.37. Grado de daño de los elementos (líneas vitales)	162

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Hacia finales del año 2011 en el corregimiento de San Bernardo de Bata se presentó un deslizamiento que se venía activando desde el mes de agosto de ese año, de acuerdo a lo que relatan los habitantes del corregimiento. El movimiento destruyó 20 viviendas del corregimiento, donde involucró un área aproximada de 4 Ha y provocó algunos daños en la carretera nacional denominada “Vía de la Soberanía” la cual sirve de acceso al corregimiento citado y conecta los departamentos de Norte de Santander y Arauca. Inicialmente se estimó que los efectos del movimiento podría tener alguna influencia en un área mayor que se estimó en 30 Ha (300.000 m²).

La situación creada por la afectación de las viviendas a raíz del citado deslizamiento originó la necesidad de atender una medida cautelar de urgencia proferida por el Tribunal Administrativo de Norte de Santander que demandaba un estudio orientado a conocer las causas y efectos del movimiento, con el objeto de dar a la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres-UNGRD los elementos técnicos apropiados para tomar las decisiones adecuadas y oportunas para atender la emergencia, en acción conjunta con las autoridades del Municipio de Toledo y el Departamento de Norte de Santander. Ante tal situación la UNGRD solicitó a la Sociedad Colombiana de Geotecnia-SCG su asesoría, teniendo en cuenta su reconocida experiencia, idoneidad y prestigio, con el fin de brindar a la UNGRD la asesoría necesaria para dar cumplimiento a cabalidad a lo ordenado por el Tribunal Administrativo de Norte de Santander en cumplimiento de las medidas cautelares de la acción popular 2012-00079.

1.2 Objetivos

Desarrollar estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por remoción en masa en el corregimiento de San Bernardo de Bata del Municipio de Toledo - Norte de Santander, tanto en la zona afectada por el deslizamiento como en la zona escogida por las autoridades del Municipio de Toledo para potencial reubicación de las personas que perdieron sus viviendas a causa del evento.

1.3 Alcances

Presentar un diagnóstico geológico-geotécnico relacionado con los siguientes propósitos: (1) características, causas y efectos del movimiento en la zona afectada y su zona de influencia, con la recomendación, en el caso de requerirse, de las medidas inmediatas de mitigación requeridas; (2) condiciones de confiabilidad y medidas preventivas para el sitio escogido de potencial reubicación de las personas que perdieron sus viviendas a causa del movimiento.

1.4 Metodología

El estudio se cumplió a través de las siguientes actividades:

1. Recopilación y análisis de información disponible, con el fin de obtener la mayor cantidad de información directa e indirecta relacionada con el tema del diagnóstico.
2. Reunión con la comunidad de San Bernardo sugerida por el director del estudio en el mes de Diciembre de 2013 para conocer sus opiniones e inquietudes. En desarrollo de esta reunión se presentó el grupo de trabajo y se solicitó su apoyo y colaboración de la comunidad.
3. Hacia finales de diciembre de 2013 y primeros días de enero de 2014 se llevó a cabo el levantamiento topográfico requerido para completar las 30 Ha concertadas con la UNGRD y la fotointerpretación de fotografías aéreas.
4. En el período del 3 al 7 de Febrero se llevó a cabo el reconocimiento de campo y la exploración directa e indirecta del subsuelo, mediante sondeos, apiques y trincheras, y la toma de muestras representativas del terreno. En reconocimiento de campo por parte del geólogo y el ingeniero geotecnista se extendió a toda la región, en tanto que la exploración del subsuelo se concentró en la zona del deslizamiento y el lote de posible reubicación propuesto por las autoridades municipales de Toledo.
5. En el período del 10 al 15 de Marzo se llevaron a cabo los ensayos índice de clasificación, humedad y propiedades mecánicas de los materiales.
6. Con base en los datos geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos y geotécnicos adquiridos por los especialistas durante el reconocimiento de campo, y el resultado de los ensayos de laboratorio, en el período del 17 al 22 de Marzo se adelantaron los análisis geotécnicos de estabilidad.
7. Simultáneamente con los reconocimientos de campo y la exploración del subsuelo, se adelantaron los estudios de vulnerabilidad física e impacto social en la zona del deslizamiento y en la zona de reubicación sometida a consideración de los especialistas de la SCG.

Con base en el resultado de los estudios relacionados anteriormente, en el presente informe de avance número 3 se tratan los siguientes aspectos:

- (1) Evaluación geológica, geomorfológica e hidrogeológica. De esta parte del informe se destaca lo siguiente: (1.1) la descripción de las unidades de relieve identificadas en la escala 1:2000 del estudio, indicando los procesos de inestabilidad que afectan cada geoforma, como un soporte de la evaluación de susceptibilidad del terreno a los deslizamientos y otros procesos. Esta parte de estudio se acompaña de planos de geología y susceptibilidad; (1.2) la complejidad tectónica y la sismicidad alta; (1.3) el modelo hidrogeológico conceptual que permite establecer el patrón de flujo de agua y prever las obras de drenaje dentro de las medidas de

mitigación. (1.4) la propuesta de un deslizamiento traslacional en la zona de las viviendas destruidas, que permitió el desplazamiento de una masa coluvio-aluvial arcillosa saturada y parte de la limolita subyacente muy fracturada y cizallada, como resultado de la reactivación de un movimiento antiguo desencadenado por un fuerte incremento del nivel freático en noviembre de 2011, asociado al fenómeno de La Niña. (1.5) Identificación de una falla geológica importante en la parte alta de la zona de reubicación preseleccionada, con roca muy fracturada y cizallada, alta concentración de humedad proveniente de manantiales y presencia de deslizamientos activos en la parte inferior de la ladera, con una influencia remota pero real sobre este sitio.

- (2) Evaluación geotécnica. Comprende la interpretación de la exploración, ensayos y análisis, que permite corroborar el modelo geomorfológico y características del deslizamiento que afectó el corregimiento y destruyó las viviendas y las condiciones precarias de estabilidad en el lote de potencial reubicación. La parte geotécnica del informe se acompaña de los perfiles de análisis y los planos de zonificación de amenaza y riesgo.

2. GENERALIDADES

2.1 Localización y descripción del área de estudio

El corregimiento de San Bernardo de Bata se localiza al Sur Este del Municipio de Toledo, Departamento de Norte de Santander, en la margen derecha del río Margua, como se puede apreciar en la Figura 2.1.

Latitud: 7°12'15.56"

Longitud: -72°26'33.21"



Figura 2.1 Corregimiento San Bernardo de Bata, Norte de Santander

2.2 Fisiografía

Descripción de los aspectos geográficos relacionados con el relieve, el clima y la hidrología de la región

El corregimiento de San Bernardo de Bata, jurisdicción del municipio de Toledo, se localiza en la parte media de la cuenca río Margua afluente del río Arauca. Este sistema fluvial drena a la vertiente de la cordillera oriental sobre un terreno montañoso de laderas escarpadas y valles angostos encañonados, con varias provincias de humedad, que se extiende desde el clima frío húmedo y muy húmedo hasta el clima cálido húmedo y muy húmedo en el sector del piedemonte.

Las condiciones fisiográficas del sector del Corregimiento, muestran en la parte intermedia y baja de la vertiente un relieve moderado, con pendiente de 12%- 25%, con un patrón de drenaje difuso por el desarrollo de suelos pedregosos – glacio

coluviales y en la parte alta de la vertiente, sector de laderas moderadamente escarpadas con pendientes entre el 50% y 75%, con exposición de un macizo disgregado en bloques, excesivamente bien drenados.

2.3 Aspectos climáticos

Las condiciones climáticas regionales muestran un comportamiento de las precipitaciones propio del clima Medio con una bio-temperatura entre 10°C y 24°C; precipitación promedia anual de 2000 mm y media mensual alrededor de los 210 mm, valores propios del ecosistema del Bosque Húmedo Pre-montano. .

El histograma de la Figura 2.2 recoge información de precipitación total mensual de la Estación San Bernardo de Bata del IDEAM, (dato 370220; latitud 0713N longitud 7226W), correspondiente a 21 años de registro. Se puede observar que el máximo valor se da en el mes de agosto con 480 mm, y el mínimo en enero con 80 mm, con un sistema unimodal de lluvias entre marzo y septiembre y una temporada relativamente seca entre octubre y febrero.

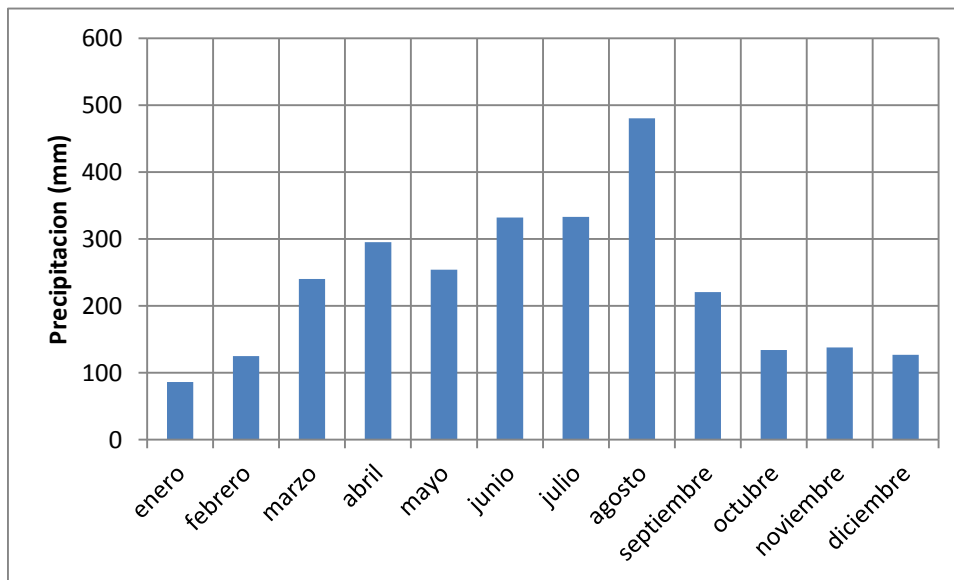


Figura 2.2 Precipitación mensual máxima anual, Estación San Bernardo de Bata

2.4 Uso del suelo y procesos de transformación

El Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Norte de Santander (IGAC, 2007) permite identificar para el sector urbano y sub urbano del corregimiento del San Bernardo de Bata, suelos propios del clima medio húmedo, (los cuales han evolucionado a partir de lutitas del Cretáceo sobre laderas con pendientes entre el 25% al 50%), con presencia de fragmentos de roca.

“Los suelos desarrollados en este ambiente climático se describen como profundos, bien drenados, de clase textural arcillosa, con bajos contenidos de calcio, magnesio, potasio, con una fertilidad natural baja. El mapa de suelos clasifica los suelos del municipio como “Asociación Humic Dystrudepts – Typic Eutrudepts” – **MQPe1**

2.4.1 Capacidad de uso del suelo

La información de la plancha 111 del “Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Norte de Santander IGAC, 2007” clasifica los suelos del sector urbano de la localidad de San Bernardo de Bata, en la clase VI, con “limitaciones severas que los hacen no aptos para la mayoría de cultivos, especialmente aquellos de carácter limpio y limitan su uso a cultivos densos, semi-bosque, o multiestrata” (IGAC, 2007) con severas restricciones para la ganadería extensiva, con recomendaciones de prácticas intensivas de conservación de los suelos”. La Figura 2.3 muestra el mapa de suelos de la región y la condición actual de uso actual (pastos y vegetación arbustiva)

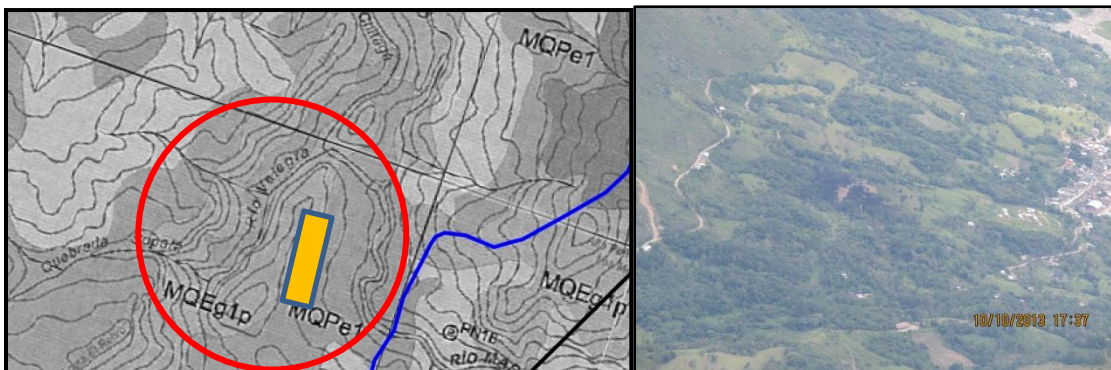


Figura 2.3 Vista de los suelos que delimitan el Corregimiento de San Bernardo y su representación en el mapa de suelos del Norte de Santander (tomado IGAC, plancha 111- 2007)

El mapa de uso potencial del IGAC, 2007 de la plancha 111, delimita para la zona urbana del corregimiento de San Bernardo de Bata hasta el cauce del río Margua, suelos del grupo de manejo **Vles-2**, con las siguientes características y recomendaciones de manejo.

- Relieve inclinado y ondulado con pendiente entre 25 - 50%, afectados por erosión laminar.

- Suelos moderadamente profundos, bien drenados, con textura arcillosa derivados de lutitas, de baja mediana fertilidad, con presencia de bloques superficiales. (Fotografía 2.1)



Fotografía 2.1 Vista de los suelos desarrollados a partir de las areniscas del Terciario. La fotografía del lado derecho, muestra en detalle los suelos desarrollados en la cima de la vertiente

2.4.2 Procesos de transformación

Los procesos de transformación hacen referencia a los cambios que ha sufrido el territorio por el cambio del uso del suelo, desde un estado original de bosques primarios propios del Bosque Húmedo Pre-montano antes de la década del 60 hasta su condición actual de zonas de pastos y cultivos. Como se aprecia en la Fotografía 2.1 en la parte alta de la vertiente y formando la divisoria del drenaje, se exponen una unidad de suelos líticos, derivados de las unidades de areniscas del terciario. Desarrollan un perfil de suelos bien drenados, de composición franco arenosa, pedregosos, con vegetación de rastrojos y pastos de muy baja fertilidad. Ver Figura 2.4

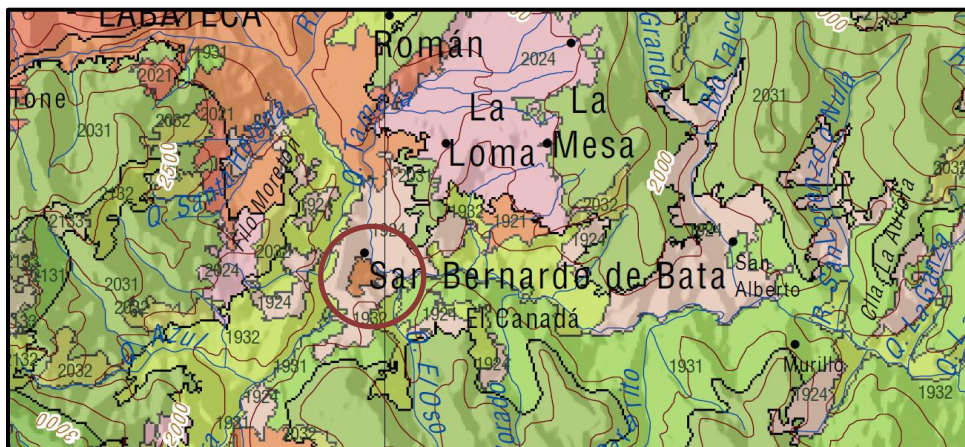


Figura 2.4 Procesos de transformación de los ecosistemas para el año 2000. (Tomado del mapa de ecosistemas de Colombia del IDEAM)

Durante la primera década del presente siglo, este proceso de pérdida de la cobertura vegetal se mantiene, con un incremento de las áreas de potreros. La Fotografía 2.2 muestra el estado actual del área de estudio, con una conservación local de la vegetación arbustiva. La cartografía del mapa de Uso del Suelo del POT del municipio de Toledo, muestra para la zona urbana del corregimiento de San Bernardo de Bata, una unidad de *Pastos y Cultivos*, concordantes con el análisis regional de los procesos de transformación de este sector de la cuenca del Río Margua.



Fotografía 2.2 Panorámica del estado y uso del suelo actual

2.5 Régimen hidrológico

El corregimiento de San Bernardo de Bata se ubica sobre la vertiente occidental de la cuenca del río Margua, formado a partir de la confluencia de los ríos Culagá y Valegrá, cauces que drenan la vertiente alta de la cordillera oriental. Como se puede observar en la Fotografía 2.3



Fotografía 2.3 Vista del tipo de drenajes difusos que se desarrolla sobre la vertiente

2.5.1 Drenaje superficial

El drenaje superficial desarrollado sobre las ladera aferentes al corregimiento, muestran un sistema de drenajes intermitente de 1er orden, que nacen en la parte media de la vertiente, alimentado por un flujo de aguas sub superficiales que fluyen a través de suelos coluviales arenosos, con una zona de recarga en la parte alta de la vertiente. Las Fotografía 2.3 muestran el tipo de drenajes de 1er orden protegidos parcialmente por vegetación arbustiva.

Dentro de este sistema de drenaje difuso, de baja densidad, se identifican varios nacederos (manantiales) en la parte media de la vertiente, que marcan un nivel freático colgado por la presencia de rocas lodosas de baja permeabilidad.

Dentro de los drenajes de importancia que intercepta la zona urbana se destaca un primer drenaje localizado en el límite sur de la zona urbana, con una entrega sobre la ladera externa. Este drenaje se alimenta de varios nacederos y muestra un proceso muy reciente de erosión e incremento de caudales generados posiblemente por las entregas de la vía de acceso al corregimiento de Chucurima que cruza la vertiente en la su parte media, fuera de la zona de estudio, y por la deforestación de su área aferente. El incremento de caudales y la deficiencia de las obras hidráulicas, genera periódicamente, en los eventos lluviosos, la inundación de la vía principal.

Un segundo drenaje se localiza en el extremo norte del corregimiento, sobre el eje del deslizamiento que afectó varias viviendas y el sitio del matadero municipal. Este drenaje, igualmente intermitente, se alimenta de flujos sub superficiales transmitidos a través de depósitos coluviales expuestos sobre el eje del drenaje original y conectado con varios nacederos. Se resalta este drenaje por su relación con el deslizamiento que afecta el límite norte del corregimiento.

3. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE

3.1 **Concepto técnico sobre movimientos en masa que afectan al corregimiento de San Bernardo de Bata, Municipio de Toledo, Departamento de Norte de Santander. Ingeominas. Octubre de 2012.**

Como apoyo técnico solicitado por la UNGRD sobre la medida cautelar del Tribunal en la zona del corregimiento, una comisión del INGEOMINAS se desplazó el 11 y 12 de octubre de 2012 con el fin de evaluar las acciones a seguir y la implementación de un sistema de monitoreo de dichos movimientos.

Describen el problema como un deslizamiento de tipo rotacional, posiblemente asociado a un deslizamiento antiguo que se reactivó en el año 2001 y que se intensificó desde el mes de agosto de 2011 según la comunidad. El movimiento tiene dirección N 60° E y tiene una influencia en un área aproximada de 4 Ha afectado alrededor de 20 viviendas del sector incluyendo el matadero (1288987 E, 1180596N) y la vía principal de acceso la cual constituye el paso Cúcuta - Saravena. La pendiente promedio de la ladera afectada es de 30°.

Este deslizamiento presenta una coronan bien definida con un ancho aproximada de 45 m y una longitud cercana a los 100 m.

3.2 **Construcción del Sistema de Drenaje de Aguas Lluvias para la Mitigación de Riesgos en el Corregimiento Especial de San Bernardo de Bata, Municipio de Toledo, Norte de Santander-2012**

La Alcaldía de Toledo entregó documentos relacionados con la construcción el Sistema de drenaje de aguas lluvias del Corregimiento, el cual incluye los siguientes anexos:

Documento	Contenido
Anexo A	Presupuesto, APU y Cronograma
Anexo B	Memorias de cálculo hidráulico y estructural
Anexo C	Curvas Pluviográficas Precipitación San Bernardo de Bata
Anexo D	Carteras topográficas de nivelación
Anexo E	Ensayos laboratorio muestras de Suelo

Tabla 3.1 Información Construcción del Sistema de Drenaje Corregimiento

En la información de suelos del Anexo E se presenta los resultados de laboratorio de 5 apiques con valores de humedad, plasticidad, granulometría y compresión confinada efectuados a muestras superficiales. Los resultados son presentados en el siguiente cuadro:

Apique	Muestra	Prof (m)	Humedad	LL	LP	IP	Grava	Arena	Finos	Cu (kg/cm ²)	Peso Unitario húmedo (t/m ³)
A	1	0.35	27.44								
A	1	3.50				NP	17.94	54.53	27.54		
B	1	0.55	19.54	50.50	24.84	25.66	1.75	17.45	80.80	2.03	1.95
B	2	1.00	42.13	55.00	31.45	23.55	0.00	16.56	83.44	1.48	1.86
C	1	1.00	23.07	51.00	21.72	29.28	1.75	17.45	80.80	0.79	1.82
D	1	1.00	8.58	23.40	15.42	7.98	11.79	54.58	33.63		
E	1	0.45	17.50	43.00	24.21	18.79	22.26	26.95	50.79		
E	2	1.05	17.09	45.80	24.57	21.23	22.03	26.90	51.07		

Tabla 3.2 Anexo E resultados de ensayos de laboratorio

En general las muestras clasifican como CH a CL o como una arcilla de media a alta plasticidad con algo de arena y trazas de grava o algo de gravas en algunos casos. La compresibilidad es baja con valores de resistencia no drenada superiores a 0.50 kg/cm².

3.3 Esquema de Ordenamiento Territorial - EOT

Los documentos del EOT entregados por la Alcaldía Municipal fueron elaborados para mayo de 2001. A nivel general escala 1:1000000 se encuentra la siguiente información que debe ser tomada en cuenta durante el desarrollo del proyecto:

- Mapa geológico escala 1:100000
- Mapa geomorfológico escala 1:100000
- Mapa de riesgos y amenazas
- Mapa de isoyetas

De acuerdo al mapa de isoyetas el corregimiento se encuentra en 1415 mm anuales de precipitación. El mapa de riesgos y amenazas no identificaba ninguna situación en la zona de estudio.

La siguiente información del EOT cartográfica del Corregimiento y aplicable al desarrollo del proyecto son las siguientes:

- Altura de construcción
- Uso actual del suelo
- Energía
- Equipamientos
- Estado de vías
- Plan Vial
- Predial
- Red de acueducto y alcantarillado
- Red de Energía, teléfono
- Riesgos y amenazas
- Tratamiento urbano
- Uso potencial

De la información anterior se puede destacar para el alcance de este informe, el de riesgos y amenazas el cual se representa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

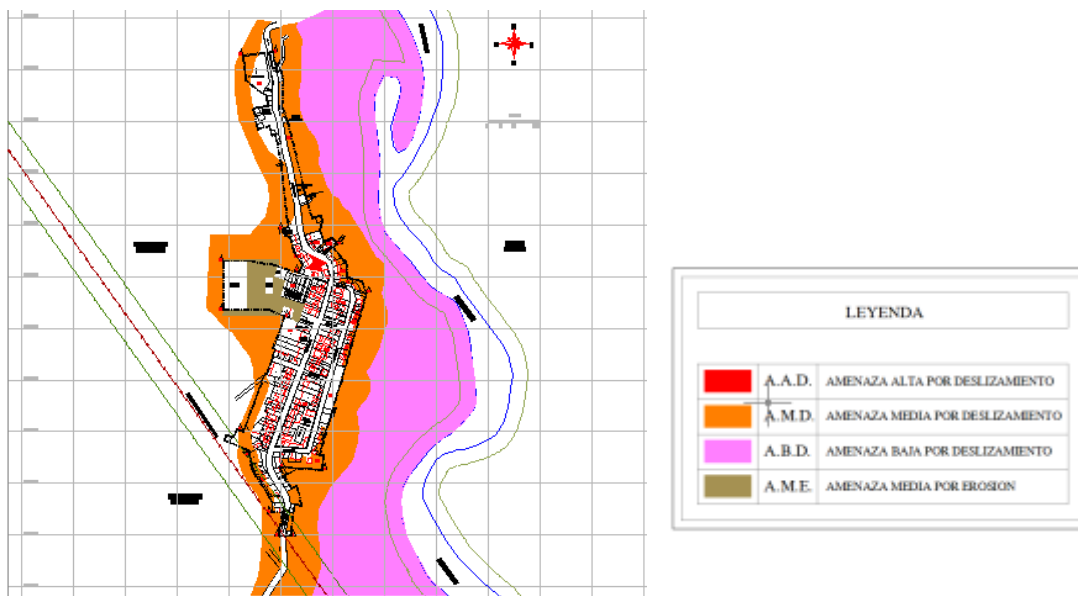


Figura 3.1 Riesgos y amenazas- EOT. Alcaldía de Toledo

De acuerdo a esta categorización el corregimiento se encuentra en amenaza media en la zona de viviendas, baja hacia la margen del río y en la zona del deslizamiento como amenaza alta.

La zona de expansión se considera como un área de actividad urbana integral en el área de expansión.

3.4 Informe de Inspección Ocular. 14 de agosto de 2012. Carlos Arturo Gómez Rivera

El profesional indicado efectúa una visita de reconocimiento a la zona afectada presentando diferentes condiciones existentes en la fecha, determinando posibles causas y señalando algunas recomendaciones a implementar. Menciona dos informes de la gobernación de 2007 y de Corponor en el año 2011 que indica que los procesos de reptación se aceleraron por las lluvias ocurridas en la región. El profesional es especialista en patología de construcción.

3.5 Estudio topográfico planimétrico y altimétrico, y amojonamiento para control de asentamiento geológico en zona de deslizamiento. Diego Germán López Garzón. Tecnólogo en obras civiles- UFPS

El consultor efectúa el estudio topográfico entre el 20 de octubre y el 3 de noviembre de 2012, dejando mojones para el control de movimiento. En total se efectuaron 18 mojones conformando 6 zonas de control con 3 mojones cada una. La ubicación en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

PUNTO DE CONTROL DE DESLIZAMIENTO N°4			
MOJON	COORD. NORTE	COORD. ESTE	COTA (M.S.N.M.)
Mojon 10	1'288.754,84	849.123,80	1189,91
Mojon 11	1'288.781,84	849.110,75	1189,59
Mojon 12	1'288.768,44	849.137,31	1190,05

PUNTO DE CONTROL DE DESLIZAMIENTO N°5			
MOJON	COORD. NORTE	COORD. ESTE	COTA (M.S.N.M.)
Mojon 13	1'288.827,71	849.137,44	1177,26
Mojon 14	1'288.857,52	849.134,48	1179,98
Mojon 15	1'288.868,95	849.161,21	1170,85

PUNTO DE CONTROL DE DESLIZAMIENTO N°6			
MOJON	COORD. NORTE	COORD. ESTE	COTA (M.S.N.M.)
Mojon 16	1'288.841,38	849.194,71	1160,43
Mojon 17	1'288.852,43	849.187,72	1159,89
Mojon 18	1'288.882,40	849.211,14	1158,43

PUNTO DE CONTROL DE DESLIZAMIENTO N°1			
MOJON	COORD. NORTE	COORD. ESTE	COTA (M.S.N.M.)
Mojon 1	1'288.896,86	849.126	1194,95
Mojon 2	1'288.892,55	849.119,98	1195,32
Mojon 3	1'288.892,00	849.127,74	1193,78

PUNTO DE CONTROL DE DESLIZAMIENTO N°2			
MOJON	COORD. NORTE	COORD. ESTE	COTA (M.S.N.M.)
Mojon 4	1'288.873,52	849.099,48	1196,94
Mojon 5	1'288.867,67	849.097,93	1197,03
Mojon 6	1'288.869,87	849.103,37	1195,40

PUNTO DE CONTROL DE DESLIZAMIENTO N°3			
MOJON	COORD. NORTE	COORD. ESTE	COTA (M.S.N.M.)
Mojon 7	1'288.800,73	849.067,94	1202,69
Mojon 8	1'288.795,34	849.069,83	1202,77
Mojon 9	1'288.798,61	849.076,38	1200,93

Tabla 3.3 Mojonnes de control – Estudio de topografía

3.6 Informe del monitoreo comunitario de movimientos en masa implementado en el corregimiento

Se presenta un informe de la UNGRD elaborado en octubre de 2013 con información desde noviembre de 2012 de topografía y daños estructurales.

Los datos de topografía y monitoreo se efectuaron en los meses de octubre y noviembre de 2012. La triangulación realizada se presenta en la siguiente **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

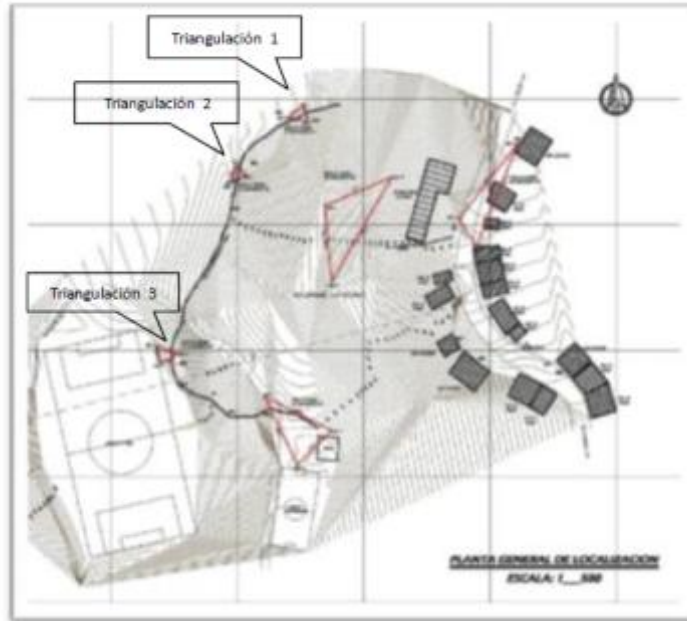


Figura 3.2 Planta triangulación topográfica para monitoreo

Los registros indicados en el informe se presentan a continuación:

TRIANGULACION	TRAMO		LONGITUD	MONITOREO COMUNITARIO										
	MOJON INICIO	MOJON FINAL		FECHA INICIO	FECHA: OCT 20-2012	FECHA: NOV 30-2012	FECHA: DIC 7-2012	FECHA: DIC 14-2012	FECHA: FEB 28-2013	FECHA: JUNIO 9-2013	FECHA: JULIO 9-2013	FECHA: AGOSTO 9-2013	FECHA: SEPT 9-2013	FECHA: OCT 25-2013
1	1	2	7,41	7,41	7,41	7,41	7,41	7,41	7,41	7,41	7,41	7,41	7,41	7,41
	1	3	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,4	5,41	5,47	5,49	5,49
	2	3	7,78	7,78	7,79	7,79	7,8	7,8	8,58	8,58	8,64	8,7	8,7	
2	4	5	6,06	6,06	6,06	6,06	6,06	6,06	6,06	6,06	6,06	6,06	6,06	6,06
	4	6	5,34	5,34	5,34	5,34	5,35	5,35	5,56	5,61	5,65	5,78	5,78	
	5	6	5,87	5,87	5,87	5,87	5,88	5,88	6,42	6,49	6,51	6,49	6,49	
3	7	8	5,72	5,72	5,72	5,72	5,72	5,72	5,74	5,74	5,74	5,75	5,75	
	7	9	8,71	8,71	8,77	8,77	8,77	8,77	8,96	9,12	9,24	9,3	9,3	
	8	9	7,33	7,33	7,37	7,37	7,38	7,38	8,48	8,49	8,49	8,52	8,52	
OBSERVACION CLIMATICA				TIEMPO SECO	TIEMPO SECO	TIEMPO SECO LLOVIO UN DIA DE LA SEMANA	TIEMPO SECO	LLUVIA CONSTANTE	LLUVIA MODERADA	LLUVIA MODERADA	LLUVIA MODERADA	LLUVIA MODERADA	LLUVIA MODERADA	

Tabla 3.4 Monitoreo comunitario - triangulación

El informe indica que no ha habido cambios significativos. No obstante se observa que en transcurso de la lectura del orden de un año uno de los lados del triángulo ha cambiado en casi 1 m (mojón 2, 5 y 8). Es necesario revisar la dirección y la coherencia del dato. Otra situación es que no se tiene una referencia del movimiento con un punto fijo o sin movimiento. Es posible que todo se mueva y por tanto la referencia no es contundente.

3.7 Datos IDEAM

Se cuenta con la información de precipitación total mensual de la Estación San Bernardo de Bata con la descripción de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

Descripción	Dato
No.	37020020
Años de registro	21 años
Máximo (mm)	480
Mínimo (mm)	86
Latitud	0713N
Longitud	7226W

Tabla 3.5 Información Estación San Bernardo de Bata

El análisis de esta información se presenta en el *Numeral 2.3.*

3.8 Planchas geológicas y de suelos

- Plancha geológica 11 de Toledo escala 1:100.000 Ingeominas.
- Plancha geológica de Pamplona Escala 1:100.000 Ingeominas.
- Geología y geoquímica de la Plancha 111 Toledo. Norte de Santander. Ingeominas
- Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Norte de Santander. IGAC. 2006.
- Atlas Geológico de Colombia. Planos Esc 1: 500.000 Ingeominas.

3.9 Fotografías Aéreas

La SCG efectuó la consulta en el IGAC determinando los siguientes vuelos y sus representativas fotografías para el análisis geológico y la fotointerpretación:

- Vuelo R 945 esc. 1:30.000, fotos 115 – 116 – 117, 1984
- Vuelo R945 esc. 1:30.000, fotos 125- 126, 1984
- Vuelo: R2441 esc.1:38.000 fotos 204- 205- 206, 1991

3.10 Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Norte de Santander (IGAC, 2007)

De acuerdo con la información del Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Norte de Santander (IGAC, 2007), con información 1:50.000 y presentado a escala 1:100.000, en el sector del área de estudio se exponen suelos propios del clima medio húmedo, con temperaturas medias de 20°C, y con precipitaciones promedio de 1500 mm, propio del bosque húmedo pre-montano (bh - PM), con suelos que han evolucionado a partir de lutitas del cretáceo sobre laderas con pendientes entre el 25% al 50%, con presencia de fragmentos de roca y movimientos superficiales.

“Los suelos desarrollados en este ambiente climático son profundos, bien drenados, de clase textural arcillosa, con bajos contenidos de calcio, magnesio, potasio, con una fertilidad natural muy baja. El mapa de suelos clasifica los suelos del municipio como “Asociación Humic Dystrudepts – Typic Eutrudepts” – MQPe1.

Capacidad de Uso. La información de la plancha 111 a escala 1:1000 del “Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Norte de Santander” clasifica los suelos del sector urbano de la localidad de San Bernardo de Bata, en la clase VI, con “limitaciones severas que los hacen no aptos para la mayoría de cultivos, especialmente aquellos de carácter limpio, que limitan su uso a cultivos densos, semibosque, o multiestrata” IGAC, 2007) y a la ganadería extensiva, con recomendaciones de prácticas intensivas de conservación de los suelos, como lo muestra la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

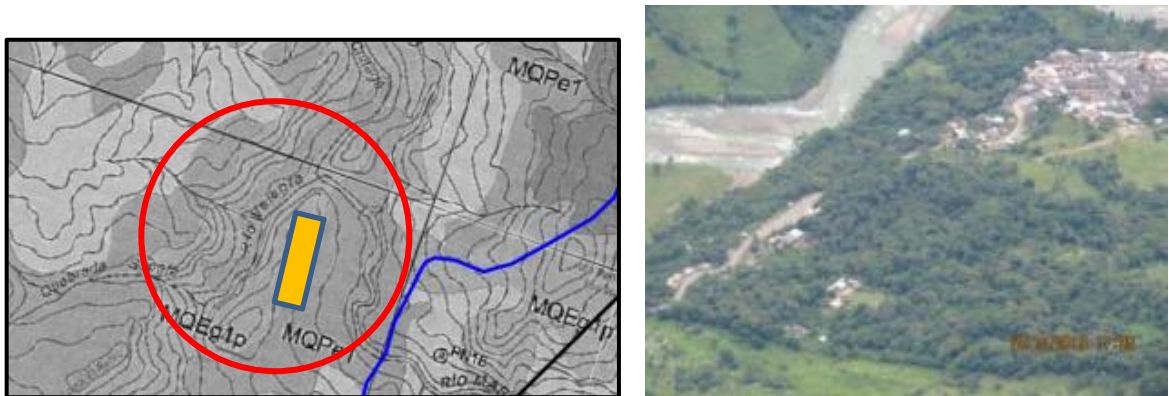


Figura 3.3 Tomado del mapa de suelos del Norte de Santander

El mapa de uso potencial del IGAC, 2007 de la plancha 111, delimita para la zona urbana del corregimiento de San Bernardo de Bata hasta el cauce del río Margua, suelos del grupo de manejo Vles-2, con las siguientes características y recomendaciones de manejo.

Relieve fuertemente inclinado con pendiente entre 25 - 50%, afectado por erosión laminar.

Los suelos son moderadamente profundos, bien drenados con textura arcillosa fertilidad baja a alta.

Consideraciones ambientales.

De acuerdo con el mapa de uso potencial, se recomienda la siembra de árboles frutales y cultivos permanentes.

Programas de regeneración natural y conservación de la vegetación existente. Se debe evitar el pastoreo permanente y las actividades que incrementen la humedad de los suelos.

De acuerdo con las anteriores consideraciones, las laderas del sector sub urbano del Corregimiento muestran la pérdida de sus condiciones naturales de vegetación que ha favorecido el incremento de la humedad de los suelos coluviales.

3.11 Mapa de ecosistemas de Colombia 1:500.000 del IDEAM 2007.

El mapa de Ecosistemas de Colombia 1:500.000 del IDEAM 2007, de la Figura 3.4 muestra el área de estudio en la categoría de zonas muy transformadas dedicada a las actividades agrícolas. El análisis de esta información regional, tomada con información 1:100.000 de la última década del siglo pasado y publicado en el año 2007, permite conocer el estado de transformación de los ecosistemas originales de la región a esta fecha, donde el desarrollo urbano del corregimiento desde la década del 60 transformó los ecosistemas naturales a zonas de pastos y cultivos. Esta condición de uso del suelo se mantiene a la fecha del estudio, con un valor estimado de 10% de vegetación secundaria arbustivas (ver Figura 3.4 y 3.5)

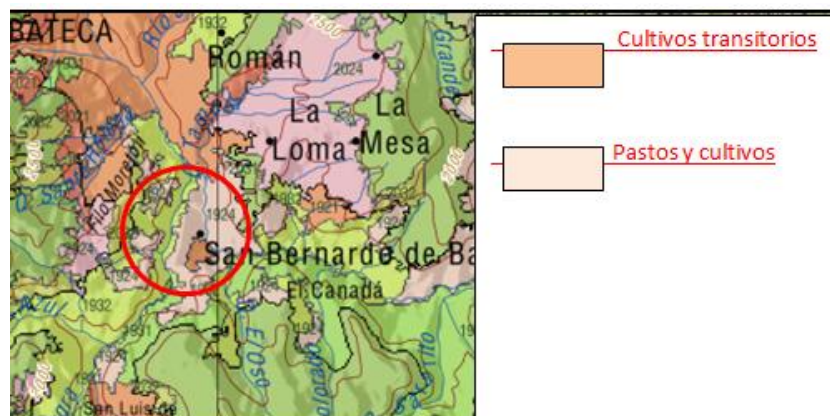


Figura 3.4 Procesos de transformación tomado del mapa ecosistemas 2007 mostrando los cambios de uso del suelo del sector urbano del corregimiento del San Bernardo

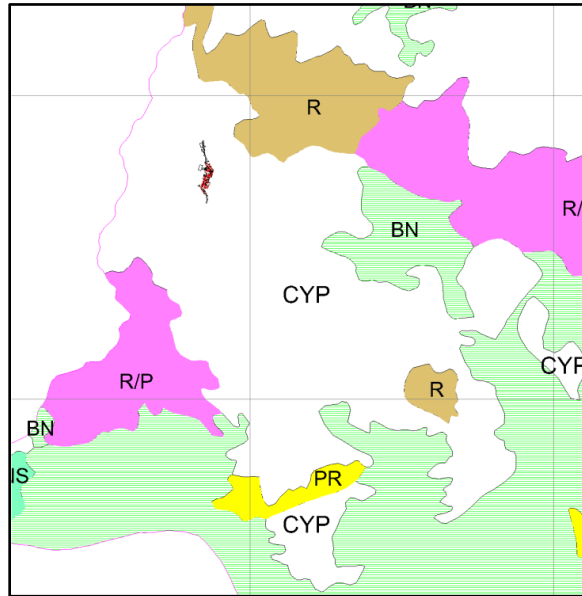


Figura 3.5 Mapa de Uso del Suelo (Tomado del mapa de Uso del Suelo del EOT 2001)

La información cartográfica del POT del Municipio de Toledo (2001), muestra para la zona urbana del corregimiento de San Bernardo, la unidad **CYP** que corresponde a cultivos y pastos, concordante con la información del análisis regional.

CONCLUSIONES DE USO DEL SUELO.

Para la zona urbana del corregimiento de San Bernardo, se mantiene a nivel de detalle la información regional del estudio realizado por el IDEAM con fotografías de la década del 90 y publicado en el año 2007.

El mapa de uso del suelo del IGAC, Plancha 111 de 2006, identifica para la zona urbana del Corregimiento la unidad **Vles-2**, con un uso recomendado de cultivos transitorios, con siembra de árboles frutales y recomienda mantener los suelos en programas de conservación mediante regeneración natural.

Para la parte alta de la vertiente, fuera de la zona de estudio, sobre la divisoria del drenaje, se delimita una unidad de Clase VIII que dada sus condiciones de pendiente y pedregosidad, suelos aptos para conservación por su condición de recarga de los drenajes superficiales.

El proceso de cambio de uso del suelo a pastos y cultivos con zonas de dedicadas a la ganadería como es el caso de la zona afectada por el deslizamiento, ha cambiado el régimen de infiltración de las laderas, con un incremento de la escorrentía durante los eventos lluviosos,

proceso que se manifiesta en los eventos de inundación que afecta la vía principal de la zona urbana, por deficiencia del sistema de alcantarillado.

Para el caso de los drenajes naturales de la vertiente, igualmente este proceso de cambio del uso del suelo a actividades de pastos y la pérdida de la vegetación arbustiva ha incrementado la escorrentía superficial, con procesos de erosión y profundización de los drenajes intermitentes.

Para los análisis de estabilidad, el uso del suelo de las zonas afectadas por los procesos de inestabilidad coincide con zonas muy transformadas clasificadas como *Pastos y Cultivos*

En la zona urbana se delimita un sector plano donde se localiza la mayor parte de las construcciones, localizadas sobre suelos de alta permeabilidad de origen aluvial y un sector de construcciones en media ladera sobre suelos arcillosos de baja permeabilidad.

4. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

En campo fue realizada la revisión de la topografía existente y verificada la existencia de algunos mojones de control y monitoreo en la zona de deslizamiento. Realmente fue notado in situ que posteriores intervenciones antrópicas (Construcción de vías de acceso) en el área donde ocurrió el proceso de remoción en masa, habían desaparecido los mojones. Aquéllos mojones que aún permanecían fueron objeto de levantamiento.

El levantamiento topográfico cubrió la totalidad del centro poblado de San Bernardo de Bata, en un área general que se aproxima a las cincuenta y cinco hectáreas (55 Ha): 850 m en el sentido N – S y de 640 m en el sentido E – W, en las longitudes de mayor cobertura topográfica. En el área levantada el registro topográfico cubrió en altura, un desnivel topográfico de doscientos (200) m, desde el nivel 1275 m (arriba del pueblo) hasta el nivel 1075 m.s.n.m. (en el margen derecha del río Margua).

El trabajo topográfico se levantó con mayor nivel de detalle en el sector norte de la población, definido por el área afectada por el deslizamiento que destruyó edificaciones existentes, y en el predio situado en el extremo opuesto de la población, sector sur, en dirección a Saravena, sobre el cual se proyecta realizar la expansión urbana de San Bernardo de Bata.

5. EVALUACIÓN HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA DEL DRENAJE SUPERFICIAL

5.1 Análisis de la precipitación media anual

Una de las condiciones atmosféricas para una cuenca o sector de interés es la precipitación, ya que el conocimiento de la distribución espacial de las lluvias es fundamental para comprender los regímenes de la precipitación. Para el corregimiento de San Bernardo de Bata se realizó un análisis espacial mediante los registros pluviográficos de las estaciones PM relacionados en la Tabla 5.1, junto con los valores típicos de la precipitación del Municipio de Toledo. En el Anexo B (Isolíneas de precipitación media mensual total) se presenta la distribución espacial de las lluvias para el sector de estudio.

Conforme a lo anterior se tiene que para el corregimiento de San Bernardo de Bata la precipitación media anual es de 1300.33 mm obtenido con registro histórico de 20 años. La distribución de la precipitación a través del año es de tipo monomodal, debido a la influencia climática de los Llanos Orientales, causada por los vientos Alisios del sureste.

En la Figura 5.1 se muestra el histograma de las precipitaciones multianuales para el sector de San Bernardo de Bata. Donde se aprecia el régimen monomodal, destacándose el mes de Junio y Julio como los meses más lluviosos del año, con una precipitación media anual máxima de 204.26 mm.

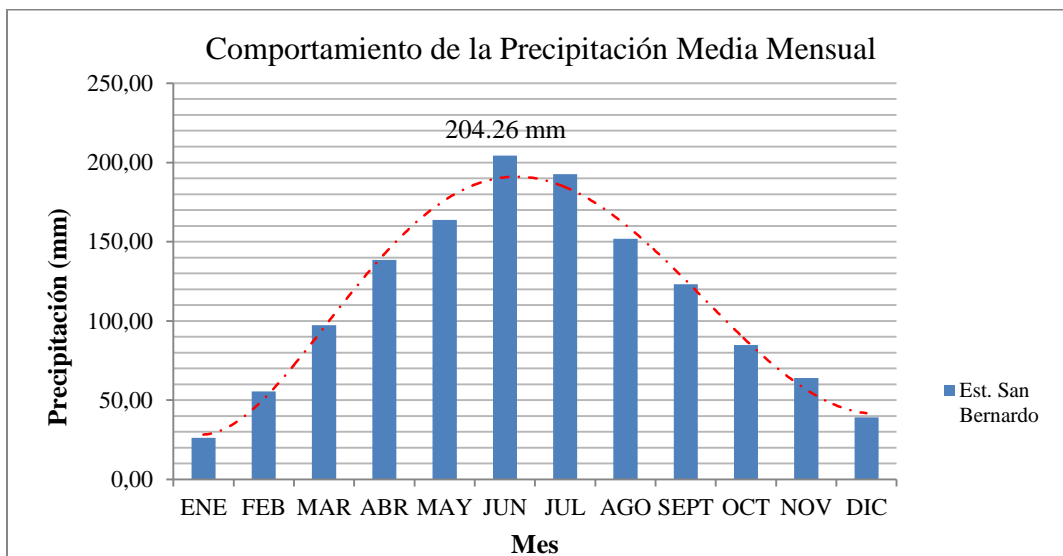


Figura 5.1 Histograma de precipitaciones para San Bernardo de Bata

Dentro de la línea de tiempo de análisis para las precipitaciones medias anuales sobresalen los años 1996, 2006, 2007 y el año 2011, donde las lluvias medias anuales registraron valores históricos máximos. En la Tabla 5.1, se presentan los registros.

Año	Mes	Precipitación Media Anual (mm)
1996	Junio	332
2006	Junio	254
2007	Junio	284.2
2011	Mayo	225.3
2011	Junio	220.1

Tabla 5.1 Valores históricos máximos de Precipitación media anual

5.2 *Análisis de la precipitación máxima en 24 horas*

Con el ánimo de relacionar la precipitación como un posible agente responsable del proceso de remoción en masa, se considera la influencia de las lluvias potencialmente generadoras de deslizamientos con las precipitaciones máximas en 24 horas y los meses del año que poseen mayor frecuencia. Para ello se considera la lluvia máxima en 24 horas con un período de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años, aplicando la distribución de valores extremos de Gumbel, Normal, Log Normal y Log Pearson III, usando series históricas con más de 16 años de registro.

A continuación, se muestra en la Tabla 5.2 los valores de periodos de retorno para las lluvias máximas en 24 horas, las cuales tienen mayor importancia para la predicción y relación con los fenómenos de remoción en masa. En el Anexo C se muestran las tablas de distribución para los valores extremos de la estación utilizada (San Bernardo de Bata)

Estación San Bernardo de Bata (1992 - 2012)					
Distribución	Tr (Años)				
	5	10	25	50	100
*GUMBEL	73.2795	89.4	109.7	124.7	139.7
NORMAL	71.5039	81.5	92.14	99.02	105.2
LOG-NORMAL	65.0293	75.1	87.6	96.74	105.8
LOG-PEARSON III	61.7665	76.1	99.34	121.1	147.4
* Seleccionada					

Tabla 5.2 Valores históricos máximos de Precipitación media anual

En este orden de ideas y considerando lo señalado por Hauser (1985) respecto a la interdependencia entre la generación de flujos y precipitaciones intensas, se tiene que 60 mm en 24 horas es un valor de precipitación intensa. En consecuencia se observa que la frecuencia en que tarda en manifestarse una precipitación igual o superior a 60 mm en 24 h, para la zona de San Bernardo de Bata es de aproximadamente de 2.7 años, con una probabilidad de ocurrencia del 37%.

En la Figura 5.2, se presenta los Tr con relación a la lluvia crítica, junto con la Figura 5.3 que presenta los eventos máximos históricos de las precipitaciones máximas en 24 h, donde se observa que en el mes de agosto de 1996 se presentó el evento máximo en los últimos 20 años con una precipitación máxima de 140 mm en 24 h, lo cual obedece al Tr de 100 años.

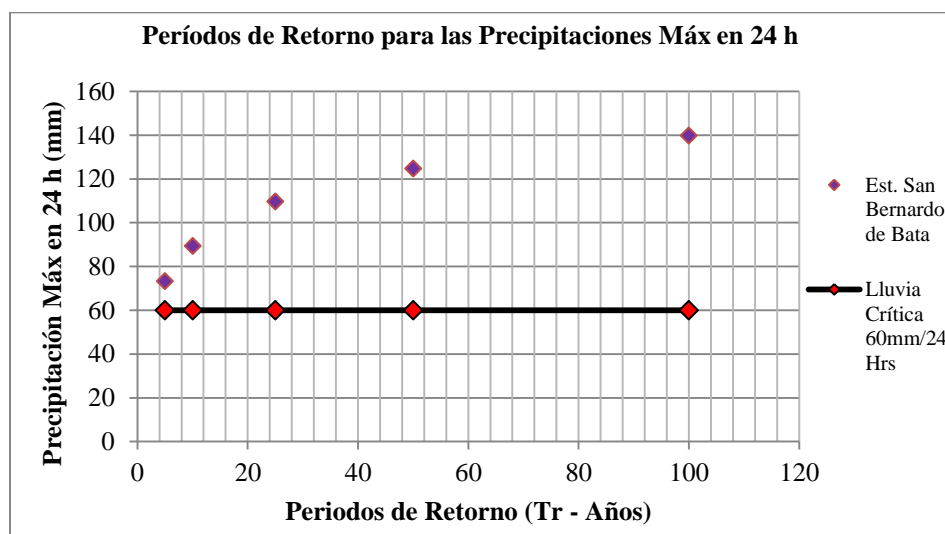


Figura 5.2 Tr para las precipitaciones Máx. en 24 h para San Bernardo de Bata

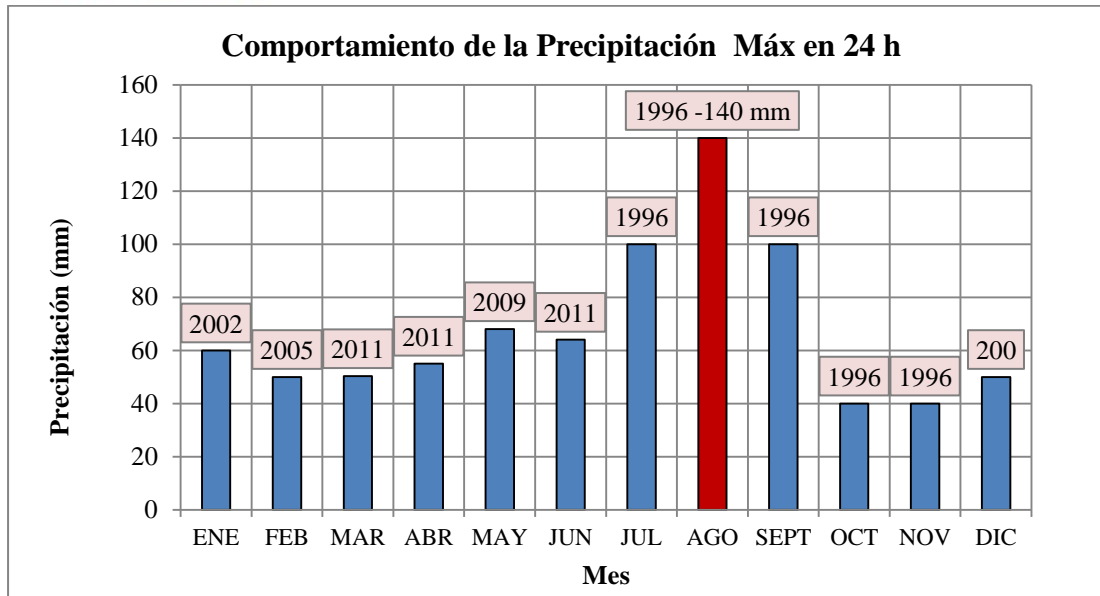


Figura 5.3 Comportamiento Historio de los Eventos máximos de las precipitaciones Máx 24 h para San Bernardo de Bata

5.3 Análisis de la lluvia crítica (relación lluvia deslizamiento)

La precipitación es el factor que comúnmente se asocia con los procesos de remoción en masa, debido a que la mayoría de estos fenómenos ocurren después de largos períodos lluviosos, ya que al producirse la precipitación, el agua puede ser conducida por la superficie en forma de escorrentía o puede infiltrarse a través de ella. El primero de estos dos procesos ocasiona problemas de erosión, principalmente en zonas donde la cobertura vegetal es insuficiente y con altos grados de erosión; el segundo, produce susceptibilidad al deslizamiento, especialmente en taludes con presencia de surcos y/o cárcavas que ayudan a una fácil infiltración del agua en el terreno. En consecuencia se mostraran algunos efectos que puede producir la presencia del agua en una masa de suelo determinada:

- ✓ Incrementa la presión de poros y por consiguiente disminuye los esfuerzos efectivos y la resistencia al corte.
- ✓ Origina presiones hidrostáticas en las diaclasas de las masas rocosas.
- ✓ Produce fuerzas hidro-dinámicas, especialmente cuando el agua fluye en sentido paralelo a la superficie de un talud o ladera.
- ✓ Reduce la resistencia del material (ablandamiento).
- ✓ Acelera la meteorización.
- ✓ Produce erosión interna.
- ✓ Incrementa el peso total de la masa por humedecimiento de la misma.

El efecto adverso de los anteriores procesos en la estabilidad de un talud o una ladera es agravado por la ocurrencia de las lluvias durante varios días consecutivos, o con pocos días de diferencia. Esto es debido a que el suelo no ha logrado drenar el agua infiltrada e inmediatamente ocurre la siguiente lluvia, produciendo acumulación progresiva de agua hasta alcanzar umbrales de inestabilidad que disparan el movimiento de una parte o de toda la masa del suelo.

Para el corregimiento de San Bernardo de Bata se realizó un análisis estadístico global no detallado en cuanto a la relación Lluvia – Deslizamiento, debido a la falta de una base de datos con inventario o seguimiento detallado de los procesos de remoción en masa en la zona de estudio. Con base en lo anterior, se decidió utilizar las ecuaciones descritas en el numeral 1.3.4 (Mayorga, 2003) para determinar la relación Lluvia – Deslizamiento. Se hace necesario mencionar que en la actualidad existen varias metodologías que permiten determinar la relación lluvia – deslizamiento, entre las cuales se tienen autores como Vásquez (2008), quien presenta algunos umbrales de intensidad-duración que se han estudiado en las últimas dos décadas, Cuadros y Siza (2003) en Manizales, Guzzetti et al. (2005) para el programa europeo RISK AWARE, Giannecchini (2005) en Toscana (Italia) y Hong et al. (2006) sobre la misión NASA – TRMM. Sin embargo para el caso del presente estudio se adoptaron las ecuaciones anteriormente mencionadas. En la Tabla 5.3 se presenta el resultado de la lluvia crítica para San Bernardo de Bata, donde el mes que tiene mayor probabilidad de presentarse es el mes de Junio, según los registros históricos de los últimos 20 años.

Sector	Constante de Lluvia	Constante de Duración	Lluvia Anual (mm)	Lluvia Crítica (mm)	Duración (días)
San Bernardo de Bata	0.4035	3.2829	1300.33	576.10	8.91

Tabla 5.3 Valores de Lluvia crítica

5.4 Lluvias erosionables para el sector de estudio

Con el ánimo de relacionar las Precipitaciones Totales Mensuales, con la frecuencia de erosividad que pueden tener estas precipitaciones, se determinaron los índices de agresividad del clima y la concentración de las precipitaciones de la siguiente manera.

5.4.1 Cálculo del índice de Fournier (IF)

Fournier (1960), establece el IF como un indicador de agresividad climática, el cual permite describir el efecto del proceso erosivo de las precipitaciones, mediante una relación de la precipitación máxima anual con el promedio anual de los años analizados. En la Tabla 5.4 se presentan la clasificación del IF y en la Figura 5.4 se presentan los índices de Fournier para los últimos 20 años en San Bernardo de Bata.

Clase	IF Adaptado	Descripción de la agresividad
1	15<	Muy Baja
2	16-30	Baja
3	31-50	Moderada
4	51-65	Alta
5	>65	Muy Alta

Tabla 5.4 Clasificación del índice de Fournier (IF)

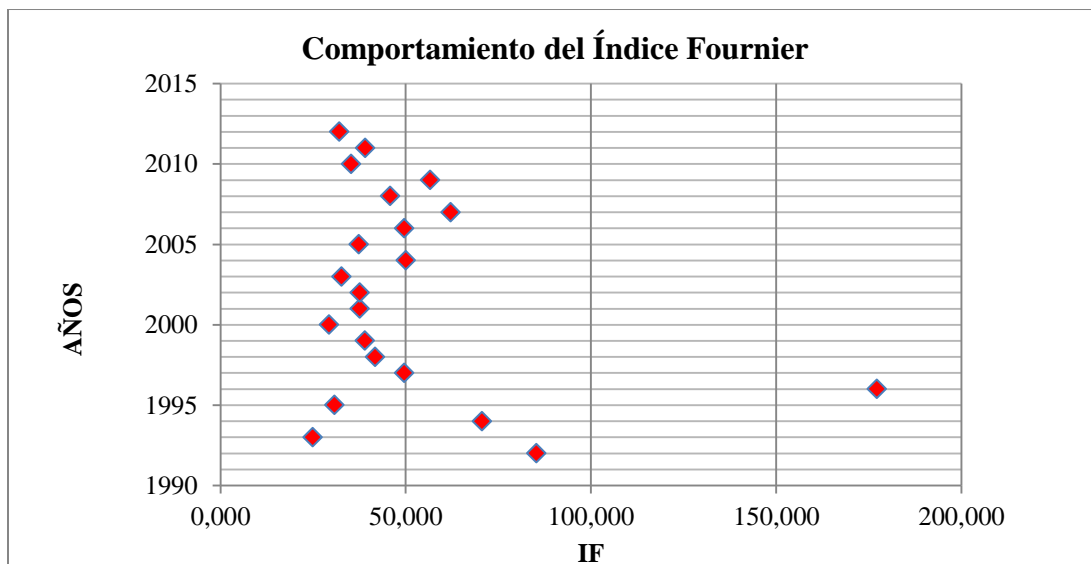


Figura 5.4 Índices de Fournier - IF (1992 -2012)

Con lo presentado en la Tabla N° 5.4, se aprecia que los efectos de erosión producidos por las precipitaciones medias mensuales, presentan una tendencia de agresividad moderada, con un evento asilado en el año 1996 con in IF de 177.186, es decir una agresividad muy alta, clase 5.

5.4.2 Cálculo del índice Modificado de Fournier (IMF)

Para el cálculo del IMF se adoptó lo propuesto por Arnoldus (1980) quien estableció una corrección del Índice de Fournier (IF) en que se consideran no sólo la precipitación mensual del mes más húmedo, sino también la del resto de los meses. Este índice modificado de Fournier (IFM) caracteriza la agresividad de la precipitación de una mejor manera. En la Tabla 5.5 se presentan la clasificación del IMF y en la Figura 5.5 se presentan los índices de Fournier para los últimos 20 años en San Bernardo de Bata.

Clasificación del índice Modificado de Fournier (IMF)		
0	60	Muy bajo
60	90	Bajo
90	120	Moderado
120	160	Alto

Tabla 5.5 Clasificación del índice Modificado de Fournier (IMF)

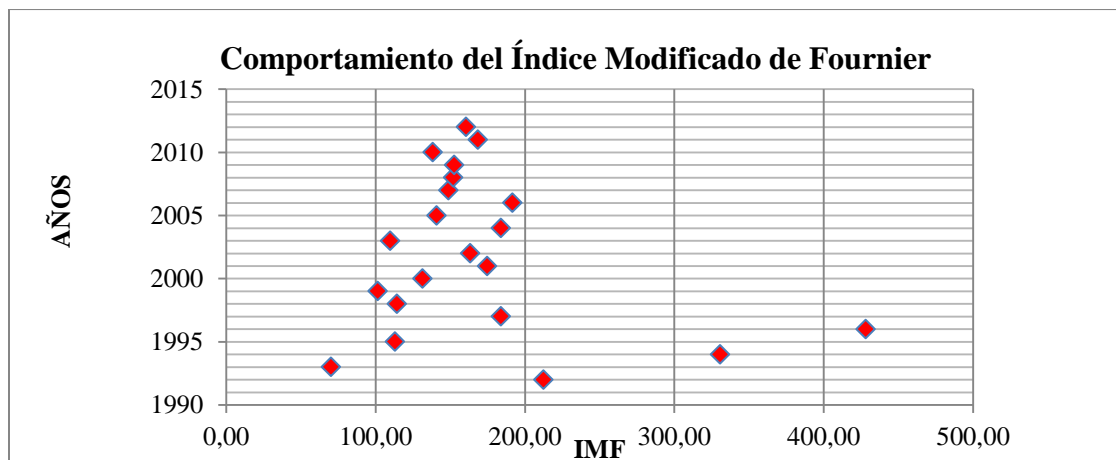


Figura 5.5 Índices de Fournier IF - (1992 -2012)

Conforme con los resultados presentados se aprecia que los efectos de erosión producidos por las precipitaciones medias mensuales, presentan una tendencia de agresividad alta, donde se tiene un promedio del IMF 170.01. No obstante la zona de San Bernardo tiene una denominación de precipitación seca medianamente húmeda (IDEAM, et al, 2007)

5.4.3 Cálculo del índice de concentración de las precipitaciones (ICP)

El valor de ICP reviste un gran interés, por la incidencia de la precipitación sobre la erosión del suelo, que genera una dinámica más activa cuanto mayor es la concentración en la temporada de lluvias. El ICP se refiere a cómo se comportan las precipitaciones, en su cantidad anual, variación estacional y duración de la estación lluviosa en un año cualquiera. Es decir, está referido a si las precipitaciones de la época lluviosa, se encuentran concentradas sobre un periodo corto o más largo dentro del año tal como fue propuesto por Oliver (1980). En la Tabla 5.6 se presentan la clasificación del ICP y en la Figura 5.6 se presentan el índice de concentración de las precipitaciones para los últimos 20 años en San Bernardo de Bata.

Conforme con lo anterior se tiene un Índice de concentración de precipitaciones modernamente estacional para las precipitaciones que se presentan en San Bernardo de Bata, es decir que la variación de la precipitación es moderadamente similar a lo largo del año, en términos de concentración.

Clasificación del Índice de Concentración de las Precipitaciones (ICP)		
8.3	10	Uniforme
10	15	Moderadamente Estacional
15	20	Estacional
15	50	Altamente estacional

Tabla 5.6 Clasificación del ICP

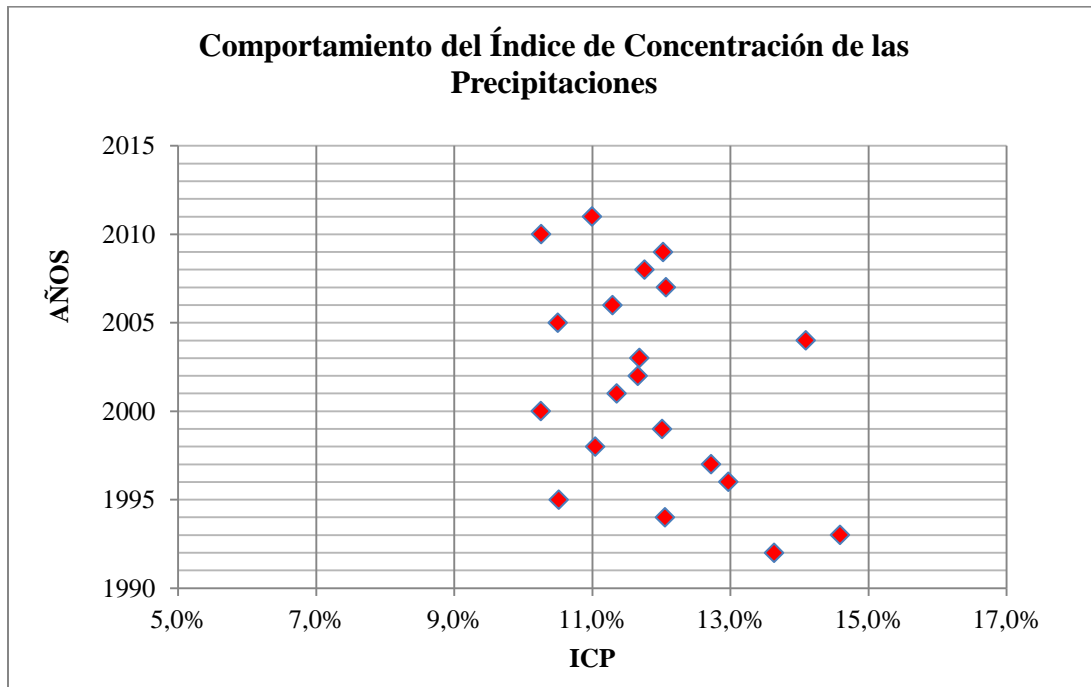


Figura 5.6 Índices ICP - (1992 -2012) para San Bernardo de Bata.

5.5 Morfología y caudales de la cuenca Margua

5.5.1 Morfología

La cuenca del Margua tiene su nacimiento en la confluencia de los ríos Chitagá y Valegrá en el municipio de Toledo a 12 km aproximadamente de San Bernardo de Bata. Esta cuenca hace parte del parque natural Tamá, la cuenca se localiza en la Cordillera Oriental, en el extremo sur Oriental del departamento de Santander.

Los afluentes principales de la cuenca son los ríos Colorado, Culagá, Chitagá, Saraito y Talco. En este sentido la cuenca hace parte de la gran cuenca del Río Arauca, la cuenca Margua posee un área aproximada de 3142.18 km² y longitud de cauce principal de 101.41 km. En la Tabla 5.7, se presentan las características principales de la cuenca en mención.

Características de la cuenca	
Área	3142.18 km ²
Perímetro	328.93 km
Longitud del cauce principal	101.41 km
Cota Máxima	4000 msnm
Cota Mínima	500 msnm
Pendiente media	3.5%
Orden de drenaje	III
Índice de Gravelius	1.65

Tabla 5.7 Características Morfométricas de la cuenca del río Margua

5.5.2 Caudales de la Cuenca Margua

Con el objeto de conocer el comportamiento de los caudales máximos presentados en el Río Margua a la altura del casco urbano de San Bernardo de Bata, se obtuvieron los registros de caudal de la estación limnigráfica Peña de los Micos, para ser sometidos a una valoración estadística calculando media aritmética, desviación típica y coeficiente de asimetría. Posteriormente, los datos históricos de esta variable hidrológica aleatoria se ajustaron a distribuciones probabilísticas de valores máximos conocidos y se calculan los valores de esta variable para diferentes periodos de retorno usando las distribuciones probabilísticas de: Gumbel, Normal, Log Normal y Log – Pearson Tipo III (Ver Anexo 9.5 - Anexo A).

Conforme con lo anterior en la Tabla 5.8, se presentan los diferentes periodos de retorno para los caudales de la cuenca del río Margua a la altura del casco urbano de San Bernardo de Bata.

DISTRIBUCIÓN	Tr [Años]				
	5	10	25	50	100
GUMBEL*	1026.48	1297.43	1639.78	1893.75	2145.85
NORMAL	1021.07	1199.50	1389.72	1512.56	1623.04
LOG-NORMAL	974.20	1288.23	1735.21	2103.27	2500.50
LOG-PEARSON III	981.80	1197.22	1436.83	1592.60	1730.78
* Seleccionada					

Tabla 5.8 Proyección de Caudales

Para la cuenca del río Margua se obtuvo un caudal máximo histórico de 1826.8 m³/s, presentado en 1974 del mes de mayo. En la Figura 5.7, se presenta los caudales para diferentes periodos de retorno.

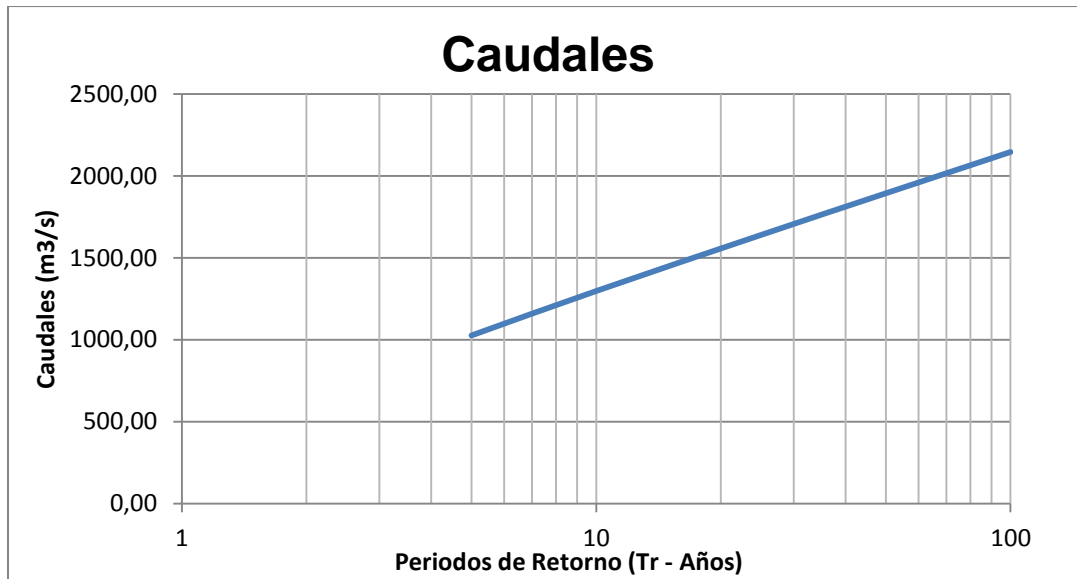


Figura 5.7 Caudales Proyectados para el Río Margua.

5.6 Coeficientes de escorrentía

El coeficiente de escorrentía “C”, transforma la lámina de agua en el caudal pico y su valor depende de elementos como: tipo de suelo, cobertura, pendiente del terreno y otros factores. En este sentido para el sector de estudio se obtuvo el coeficiente de escorrentía con base en los resultados de la exploración del subsuelo realizada, donde se encontró un horizonte en los primeros 3.50 m de exploración un tipo de suelo con material arenoso de color café, que presenta gravas de arenisca y fragmentos de roca con vetas de oxidación de color negro, humedad baja y con una consistencia media.

San Bernardo de Bata presenta en su cobertura terrenos dedicados principalmente a cultivos de pastos, en rotación y en descanso o barbecho. Igualmente comprende áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas heterogéneas las cuales también se pueden dar usos pecuarios además de los agrícolas. En la parte alta y media del casco urbano de Bata se presenta aproximadamente un 75% de cobertura de pastos limpios con alguna presencia de pastos enmalezados. En consecuencia de la cobertura de San Bernardo de Bata se definieron tres valores de coeficientes de escorrentía en función de la pendiente y la cobertura de suelo. En la Figura 5.8, se aprecian las pendientes del sector de estudio, así mismo se definieron para el cálculo de “C”, tres zonas en función de su pendiente.

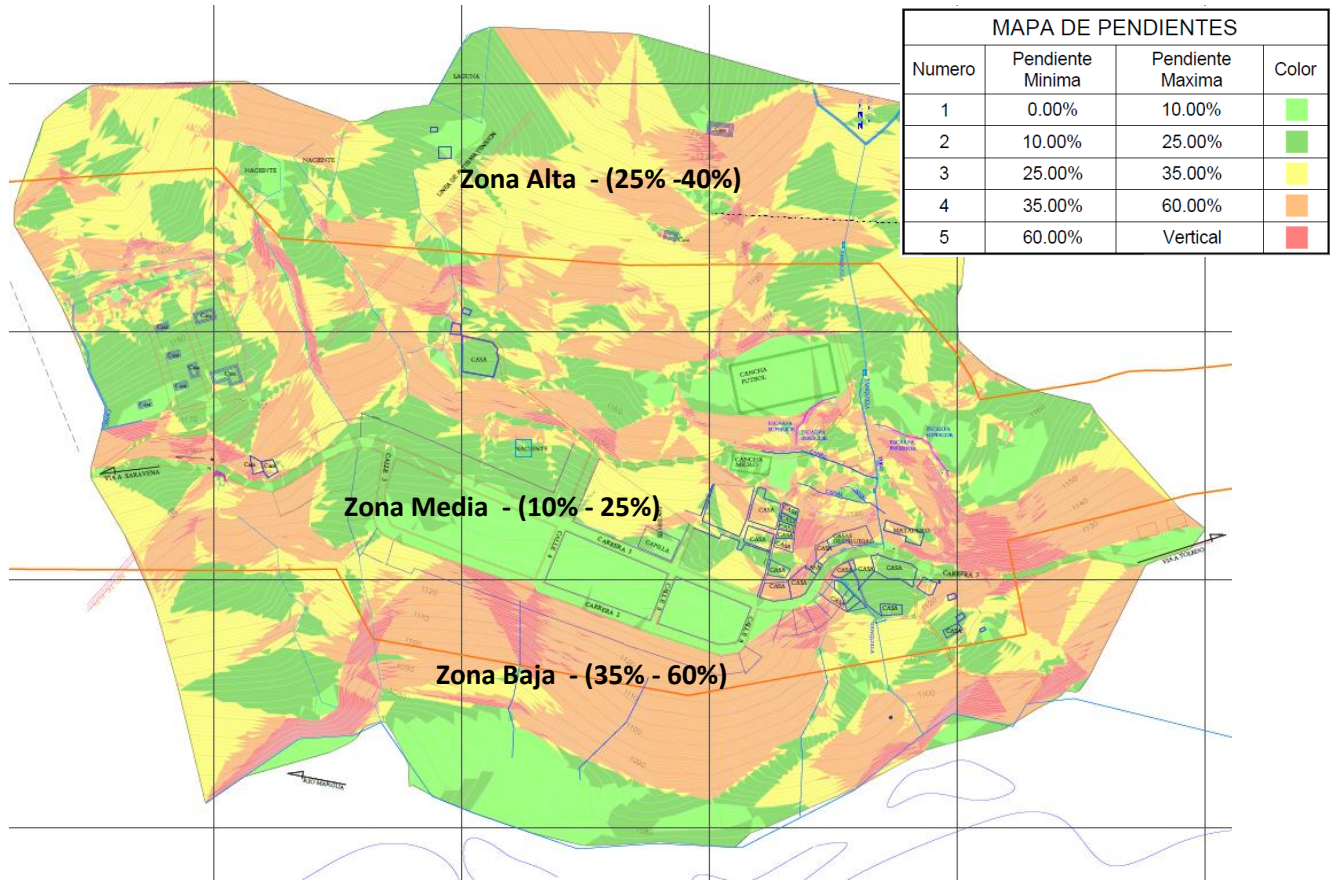


Figura 5.8 Zonas de Pendientes de San Bernardo de Bata

En este orden de ideas en la Tabla 5.9 y Tabla 5.10, se presentan los resultados obtenidos para las Zonas definidas en el sector de estudio.

ZONA	Pendiente Promedio	Cobertura	Textura del Suelo
Zona Alta	32.5	2.3.1: Pastos limpios con alguna presencia de pastos enmalezados	Franco Arenosa
Zona Media	17.5	1.1.2: Tejido Urbano Discontinuo	
Zona Baja	47.5	2.3.1: Pastos limpios con alguna presencia de pastos enmalezados	

Tabla 5.9 Zonas para San Bernardo de Bata

ZONA	Tr (Años) - Coeficiente de escorrentía "C"				
	2	5	10	25	50
Zona Alta	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49
Zona Media	0.4	0.43	0.45	0.49	0.52
Zona Baja	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49

Tabla 5.10 Coeficientes de escorrentía "C"

5.7 CONCLUSIONES DE LA EVALUACIÓN DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

- ✓ Para el sector de San Bernardo de Bata, se encontró una lluvia crítica de 576.10 mm, para una duración de 8.91 días, la cual puede causar o generar un proceso de remoción en masa.
- ✓ Como relación Lluvia – Deslizamiento se encontró un umbral de precipitación de 321.15 mm, como una precipitación causante de un deslizamiento de carácter rotacional.
- ✓ San Bernardo de Bata presenta lluvias que son altamente agresivas con el suelo y son potencialmente erosionables, por lo cual se tendrá que relacionar las lluvias y la cobertura suelo para verificar el nivel de erosionabilidad del sector de estudio.
- ✓ Se encontró que los meses de Junio y Julio presentan la precipitación más alta durante el año, que sobrepasa 100 mm mensuales.
- ✓ Debido a la deficiencia de instrumentación en la zona de estudio, no se puede realizar un análisis más detallado con la relación de procesos de remoción en masa.
- ✓ Para el sector de San Bernardo de Bata, se encontró una tendencia de agresividad alta, donde se tiene un promedio del Índice Modificado de Fournier (IMF) de 170.01
- ✓ Para el sector de San Bernardo de Bata, se encontró un Índice de concentración de precipitaciones moderadamente estacional, es decir que la variación de la precipitación es moderadamente similar a lo largo del año, en términos de concentración.
- ✓ Para el sector de San Bernardo de Bata, se encontró un "C" de 0.40 con un Tr de 5 años, para una pendiente de 32.5%, la cual predomina en mayor porcentaje sobre el área de estudio. Esto puede significar que un porcentaje cercano al 60% se puede llegar a infiltrar y un 40% se convertirá en escorrentía superficial.

6. EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOMORFOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA

6.1 *Marco geológico regional*

6.1.1 *Estratigrafía.*

Las unidades litológicas de la cuenca alta del río Margua hacen parte de la estratigrafía de la cuenca de Maracaibo, descritas en la planchas geológicas 111 de Toledo, del SGC (antiguo INGEOMINAS) donde se expone una secuencia de rocas plegadas del Cretáceo Medio y Superior de las formaciones Cogollo, La Luna, Colón y Mito Juan, en contacto con las rocas del Terciario Inferior de la formación Barco. Ver plano Geológico

Rocas del Cretáceo superior

Formación La Luna Ksl: La Formación la Luna (Cenomaniense- Campaniense) es una de las formaciones guías del Cretáceo de este sector de la cuenca, representada por una secuencia estratificada de cherts negros, lodolitas negras calcáreas, limolitas silíceas y lentes de calizas oscuras en capas delgadas muy replegadas, con grandes nódulos calcáreos. Se expone sobre ambos márgenes del Río Margua en contacto fallado con las unidades de la formación Cogollo. En el área de estudio esta unidad se expone sobre la margen izquierda delimitada por la falla de Valegrá

Formación Colón – Mito Juan (Kscmj): Estas dos formaciones se describen conjuntamente en la literatura como una secuencia de “lutitas fosilíferas gris oscuro a negras, macizas, piritosas y ocasionalmente micáceas o glauconíticas, con margas y capas de caliza subordinada. Las lutitas son más arenosas hacia la base y hacia la parte superior donde la unidad cambia transicionalmente a la Formación Mito Juan”, diferenciada esta última por la presencia de una facie más arenosa con niveles de areniscas intercaladas. Sobre la vertiente que delimita el corregimiento, la formación Colón esta representa como una secuencia de rocas blandas, de lodolitas grises calcáreas y verdes, con niveles de areniscas micáceas de gramo fino, shales negros laminados, intercaladas con los niveles de limolitas. La fotointerpretación logra identificar los planos de estratificación, oscurecidos por una cubierta de bloques de areniscas.

Rocas del Terciario Inferior.

Las rocas del Terciario Inferior están representadas por las formaciones Barco y Los Cuervos expuestas sobre la cuenca de Zulia- Maracaibo y se extienden hacia el sur sobre el valle del Río Valegrá – Culagá para formar la divisoria de la cuenca del río Margua en el área de estudio. Se

expone en la parte alta de la vertiente formando la divisoria del drenaje en contacto fallado con las rocas del Cretáceo Superior.

Formación Barco Pgb Representa la base de las rocas Terciario, descrita como una secuencia gruesa de areniscas cuarzosas micáceas y feldespáticas con algunas intercalaciones de arcillollitas grises. En el área de estudio se muestra como un macizo muy fracturado por efectos tectónicos, con buzamientos de 10°- 15° al oeste. Ver Fotografía 6.1



Fotografía 6.1 Exposición de las areniscas de la formación Barco en condición de roca muy fracturada

Formación los Cuervos (Pglc). La parte superior del Paleógeno, está representada por una unidad de rocas blandas de la formación los Cuervos, de lodolitas grises con niveles de areniscas, lodolitas carbonosas y mantos de carbón, expuestas sobre el valle del río Valegrá al occidente, fuera del área de estudio.

6.1.2 Condiciones tectónicas y estructurales

La información geológica de la plancha 111 de Toledo (antiguo INGEOMINAS) define el modelo tectónico y estructural para la cuenca alta del río Margua, con un sistema de fallas inversas de cabalgamiento con orientación N-S y planos inclinados hacia el oriente. Este sistema de fallas delimitan los contactos de las rocas del Cretáceo Superior con las rocas del Terciario Inferior (Paleógeno)

Dentro de las fallas de importancia regional se destaca la falla de Labateca, expuesta al occidente del San Bernardo de Bata, ubicada fuera de la zona de influencia, de tipo inversa, con una dirección N-S a NW-SE y delimita las rocas Paleozoicas, Jurásicas y Cretáceas al occidente con rocas Terciarias al oriente. Este sistema de fallas inversas se relaciona con un evento tectónico compresivo, formadas a partir de fallas normales pre-cretáceas, reactivadas como fallas inversas.

En la zona de influencia directa de los procesos de inestabilidad, se destaca la falla inversa de Valegrá- Támara, descrita como una falla sub-paralela a la falla de Labateca, cruza por el sitio

del corregimiento de San Bernardo en la base de la ladera con el río Margua y regionalmente se extiende por una longitud de 30 km, con un trazo en dirección NE-SW a N-S. Se clasifica como una falla inversa con un plano inclinado al oriente; afecta las rocas de edades Cretáceas y Terciarias, con efectos directos en los procesos de inestabilidad a nivel regional y local en el área de estudio. La Figura 6.1 muestra el modelo tectónico regional, tomado de la memoria explicativa de la plancha 111. Esta falla al norte del área de estudio sobre la cuenca del río Jordán (al oriente del municipio de Toledo), se asocia a un gran deslizamiento parcialmente estabilizado.

En el área de estudio esta falla afecta las rocas del cretáceo Superior y define una zona alta fracturación del macizo con procesos de inestabilidad que afectan la vía hacia Arauca. En el contexto local, en el límite sur oriental del área de estudio, esta falla define una zona de fracturación sobre las unidades de la formación Colon – Mito Juan y reorientan los flujos de aguas de infiltración.

La fotointerpretación identificó un sistema de fallas secundarias con orientación E-W, que cruzan la vertiente desde el valle del Río Valegrá e interceptan el área de estudio en el extremo norte y sur, con un control en los drenajes superficiales y ejercen un control en la orientación de los flujos de aguas sub-superficiales

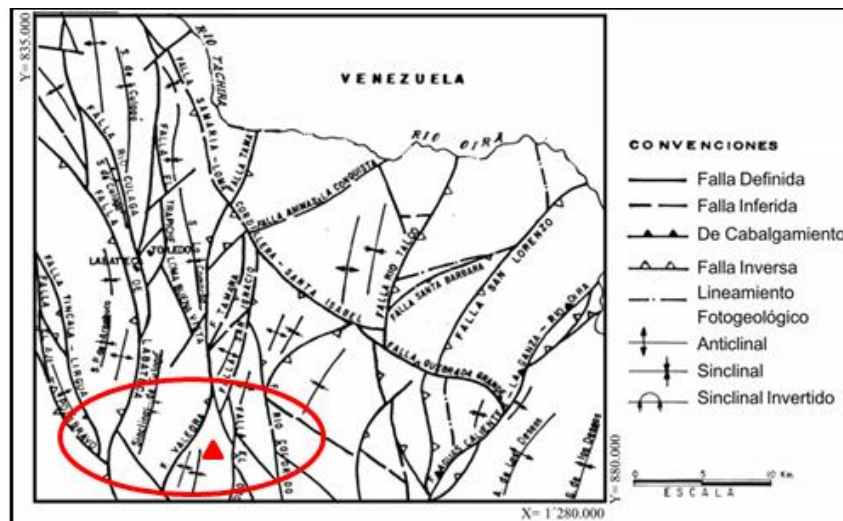


Figura 6.1 Modelo estructural de la Región Nor-Oriental del país (tomado de Ingeominas memoria técnica plancha 111- Toledo)

Conclusiones:

En el contexto local, la falla de Valegrá se localiza en la zona de influencia del área de estudio, cruza en la base de la vertiente sobre el cauce del río Margua y expone sobre su margen izquierda las rocas de la formación la Luna en contacto con un nivel de areniscas micáceas, bituminosas, expuestas sobre la margen derecha del río Margua y observadas en la base del deslizamiento que afecta el corregimiento. La Figura 6.2 muestra el modelo tectónico regional

del área de estudio, con la falla de Valegrá como elemento tectónico de mayor importancia, con una inclinación del plano de falla hacia el oriente.

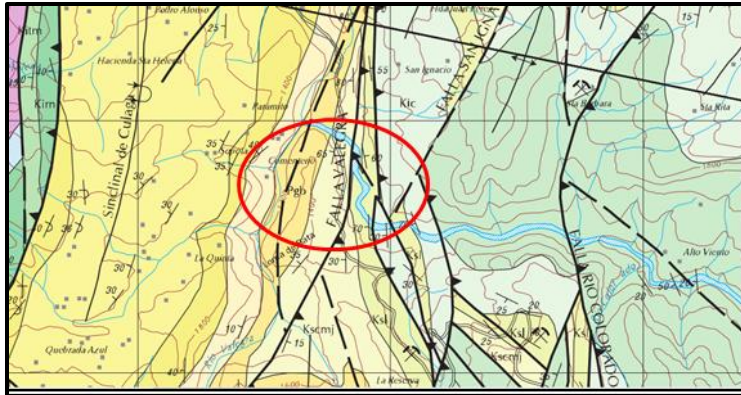


Figura 6.2 Vista de las condiciones tectónicas y estructurales del área de estudio (tomado de la plancha 111 Toledo, esc. 1:100.000 SGC)

6.1.3 Geología Detallada

6.1.3.1 Depósitos no consolidados.

En el contexto local, la zona de influencia directa de los procesos de inestabilidad, comprende la vertiente de la margen derecha, donde se exponen las siguientes unidades de roca y depósitos no consolidados:

Depósitos de ladera. Qb

Unidad superficial de bloques de areniscas, de formas angulares, dispuestos en la parte media y baja de la vertiente como aglomeraciones de bloques. Su origen se asocia a la disgregación in situ de niveles de areniscas del subsuelo intercalados con las rocas lodosas y movilizadas parcialmente sobre la vertiente. Este depósito superficial cubre las unidades de lodolitas y limolitas de la formación Colon y Mito Juan con un espesor restringido al diámetro de los bloques que cubren la superficie del terreno, 0.5- 2.0m



Fotografía 6.2 Vista de los depósitos de ladera Qb que cubren las laderas del sector urbano del corregimiento.

En la parte alta de la vertiente, esta unidad de bloques se asocia a la disgregación del nivel de areniscas de la formación Barco, formando la divisoria del drenaje, con la formación de un depósito de talus, movilizado igualmente por efecto de la gravedad, con la formación local de flujos lentos de detritos. La **Fotografía 6.3** no muestra la disposición caótica de los bloques superficiales que cubre las laderas.



Fotografía 6.3 Vista de depósitos de bloques (diámetros >2.0m) expuestos en las laderas del sector occidental del sector urbano.

Este depósito se clasifica como depósito de ladera tipo talus, afectado localmente por la erosión, con procesos locales de reptación, con un desplazamiento de los bloques sobre la vertiente. Ver Fotografía 6.4. En la parte media de la vertiente en límite con la zona urbana, esta unidad de bloques superficiales cubre un depósito coluvial arenoso.



Fotografía 6.4 Vista de los depósitos de ladera (cantos y bloques) producto de la disgregación de estratos de areniscas

Depósitos coluviales sub recientes Qc2

Se expone en la parte baja de la vertiente, dentro de la zona urbanizada del corregimiento. Representa un evento de agradación en media ladera de origen coluvial, de composición arenosa con gravas angulares de 1 a 3 pulgadas y un espesor de 3 a 5 m. Se clasifica como un depósito matriz soportado de mediana consolidación, de alta permeabilidad primaria, con un flujo de aguas sub superficiales. Ver Fotografía 6.5



Fotografía 6.5 Vista de la unidad de depósito Coluvial arenoso expuestos en el la corona del deslizamiento

Depósitos aluviales sub recientes At1

Esta unidad se expone en la parte baja de la vertiente y representa un nivel de terraza “colgada” donde se localiza en parte de la zona urbana del corregimiento. El origen de este nivel de terraza se asocia a un proceso de incisión y profundización del cauce del río, con una composición de cantos y bloques en matriz arenosa, con niveles de arenas gruesas en su parte superior, identificados en la exploración geotécnica del sitio del deslizamiento. Se clasifica como un depósito clasto soportado de alta permeabilidad y cubre unidades de areniscas y lodolitas del Cretáceo. Ver Fotografía 6.6



Fotografía 6.6 Vista de los depósitos aluviales del nivel de terraza, expuestos en el sitio contiguo al deslizamiento

Depósitos aluviales recientes AI1

Sedimentos expuestos sobre el valle del Río Margua, con una composición de gravas y cantos que han sido transportados por la dinámica del río Margua, con la formación de barras laterales e internas. Ver Fotografía 6.7 Esta unidad incluye tanto los depósitos de barras laterales AI1, como los sedimentos del cauce activo (Alo), con un espesor entre los 10 y 15m. El mapa de Geología detallada, delimita estas dos unidades sobre el valle del río Margua.



Fotografía 6.7 Vista de los depósitos aluviales del río Margua.

5.1.3.2 Unidades de Roca

Las unidades litológicas expuestas sobre la vertiente hacen parte de las unidades estratigráficas de la formación Colón – Mito Juan, escrita en el numeral de estratigrafía. En el área de influencia del área de estudio, se identifica las siguientes unidades de roca:

- Un nivel arenoso inferior de areniscas de grano fino, con niveles de limolitas arenosas, micáceas con delgados niveles de lutitas negras. Esta unidad forman el talud inferior del nivel de terraza aluvial y se expone sobre la margen derecha del cauce. Esta unidad se muestra afectada por el cruce de la falla Valegrá, en contacto con las rocas calcáreas y limolitas silíceas de la formación La Luna.
- Un nivel lutítico superior correlacionado con la formación Colón – Mito Juan, expuesto en el sector occidental del corregimiento, en la parte media de la vertiente. Está constituido por lutitas negras, limolitas verdes y niveles delgados de areniscas. Dentro de este nivel lutítico, se diferencia un nivel de areniscas de 10m de espesor expuesto al occidente del campo de fútbol. En el mapa de geología detallada se delimitan las siguientes unidades de roca:

Unidad de areniscas y limolitas. Ka-1 – Ka - 2

Esta unidad se expone en la parte baja de la vertiente y se prolongan hasta del cauce del río Margua, forma parte del escarpe del nivel de terraza aluvial y configuran un control geológico en la dinámica del río. Presenta una composición de areniscas micáceas, bituminosas, con niveles de limolitas y delgados niveles de lutitas. Su disposición estructural muestra una condición favorable a la estabilidad natural de la ladera, con buzamientos mayores de 40° hacia el interior de la ladera. Ver Fotografía 6.8

En el límite sur-oriental, esta unidad de limolitas y areniscas se presenta afectada por el cruce de la falla Valegrá, en contacto con las rocas de la formación Luna. En este punto se revisa la información geológica del SGC, con un trazo sobre el valle del río Margua y con la exposición de la formación La Luna sobre la margen izquierda del río. El mapa de geología detallada, delimita esta zona anexa al cruce de la falla de Valegrá como una zona de roca fracturada (RF) y diferencia una unidad de limolitas arenosas en capas gruesas expuesta sobre el lado oriental de la falla de Valegrá.



Fotografía 6.8 Vista de los niveles de areniscas y limolitas micáceas expuestas sobre la margen derecha del río Margua

Caracterización del macizo.

Los afloramientos entre el talud escarpado que delimita la zona urbana y el cauce del río Margua, corresponden a un macizo estratificado de limolitas arenosas de alta resistencia, con intercalaciones de lodolitas calcáreas, fisibles, con una disposición de bajo ángulo 10° a 20° hacia el occidente y cambian hacia el borde del cauce al nivel de areniscas con buzamientos mayores de 50°

Se clasifica como un macizo estratificado (en capas de 0.2 a 0.5m, con intercalaciones de limolitas arenosas en capas de 0.3 a 0.5m) de fracturación moderada J_v 5-7disc/m³. Se estima un valor de GSI: 55- 60 para el macizo estratificado, plegado y de fracturación moderada ((Marinos and Hoek, 2000).

Para la zona muy fracturada, que delimita la falla de Valegrá se estima un GSI: 35-50 (Marinos and Hoek, 2000).

La unidad de Limolitas arenosas micáceas, expuestas en el límite sur oriental, se clasifica como un macizo de mediana a alta resistencia, en capas masivas con un bajo índice de fracturación (Jv3-5), con un valor GSI 70- 75 (Marinos and Hoek, 2000).



Fotografía 6.9 Vista del macizo estratificado con niveles de limolitas y lodolitas fisibles

KI1 Esta unidad se expone en el límite sur del área de estudio, en la zona del sitio de reubicación. Se diferencia por la presencia de un horizonte de rocas lodosas muy meteorizadas con un horizonte de suelo residual y de roca parcialmente meteorizada, w5- w6 del perfil de meteorización de rocas lodosas y cambia en profundidad al horizonte de lodolitas fracturadas de color gris oscuro w2- w3 de lodolitas ligeramente meteorizadas.

Unidad de limolitas y shales negros KI 2

Esta unidad forma la parte media de la vertiente, delimitan la zona urbana del corregimiento. Está constituida por una secuencia de limolitas y shales grises de estratificación fina y delgada con intercalaciones de areniscas en capas de 0.5 a 1.0m de espesor. Localmente se expone como un macizo muy fracturado de rocas arcillosas, con niveles de limolitas y estratos de areniscas en capas de 0.5 a 1.0m de espesor. En la zona del deslizamiento principal que afecta la zona urbana del corregimiento, esta unidad se expone lateralmente como una unidad de roca muy meteorizada (w3- w4 del perfil de rocas lodosas de Wetzel & Einsele, 1985) y fracturada por efectos tectónicos, cubierta por los depósitos de ladera Qc2 y se extiende bajo el cuerpo del deslizamiento. Ver Fotografía 6.10. Por su condición de arcillosa, a nivel de la base cuerpo del deslizamiento esta unidad puede estar involucrada en el movimiento.



Fotografía 6.10 Vista de los niveles de limolitas muy meteorizadas y fracturadas (w3- w4), expuestas lateralmente al cuerpo del deslizamiento.

Caracterización del Macizo

Superficialmente se clasifica como una roca lodosa parcialmente meteorizada (w3- w4 del perfil de rocas lodosas de Wetzel & Einsele, 1985) donde se conserva la estructura original de la roca, fracturada en clastos angulares de fácil disgregación mecánica.

Unidad de areniscas fracturadas (Formación Barco)

Esta unidad se expone en la parte alta de la vertiente, fuera de la zona del proyecto, forma la divisoria del drenaje. Está constituida por una secuencia de areniscas de grano fino, feldespáticas, correlacionada con la formación Barco del terciario inferior. Se clasifica como un macizo fracturado y muy fracturado por efectos tectónicos (bloqueo), de muy alta permeabilidad primaria y secundaria. Esta unidad se localiza fuera de la zona de influencia, sin embargo representa una zona de recarga que alimenta los drenajes secundarios que drenan hacia el sector urbano del corregimiento. Ver Fotografía 6.11

Condición Geomecánica: Se clasifica como un macizo muy fracturado, afectado por varios sistemas de discontinuidades abiertas y oxidadas con un espaciamiento promedio de 0.2m, con una disposición estructural de 10° a 20°, parcialmente favorable. Se estima un GSI 40- 45 (Marinos and Hoek, 2000).



Fotografía 6.11 vista de las unidades de areniscas fracturadas de a formación Barco, expuestas en la cima de la vertiente

6.1.4 Condiciones Tectónicas y Estructurales.

Las diferentes unidades litológicas del Subsuelo, muestran en general una orientación NW-SE con buzamientos hacia el occidente (contra el talud) con una disposición favorable a la estabilidad natural.

En el contexto local la fotointerpretación identificó tres (2) fallas secundarias con orientación E-W que cruzan la vertiente desde el río Valegrá e interceptan el área de estudio. Una falla en el límite norte que intercepta la zona inestable y define el drenaje de este sector del área de estudio.

Un segundo lineamiento de origen tectónico identificado mediante fotointerpretación se ubica en el límite sur del predio e igualmente define el drenaje superficial de este tramo que cruza en el límite sur de la zona urbana.

6.2 *Marco geomorfológico regional*

6.2.1 *Geomorfología*

Los procesos que han actuado sobre la vertiente de la margen derecha del río Margua (donde se ubica el corregimiento de San Bernardo) han estado controlados por los siguientes factores: Ver Figura 6.3

Las geoformas y procesos que han actuado sobre las vertientes del río Margua en el contexto local y regional han estado controlados por los siguientes factores:

Sobre la vertiente de la margen derecha del río Margua se aprecian ciertas condiciones o acciones asociadas a los procesos característicos que afectan los diferentes materiales que conforman las laderas.

- Unas condiciones tectónicas heredadas por la cercanía de la falla de Valegrá, que han actuado indistintamente sobre las unidades del subsuelo y han definido un estado geomecánico de alta y muy alta fracturación del macizo tanto en los niveles de areniscas del terciario que forman la divisoria del drenaje como en las rocas del Cretáceo expuestas en parte media y baja de la vertiente.
- La acción de los procesos denudativos que han actuado sobre la vertiente, muy continuos en el tiempo (durante el holoceno reciente, 0-4 mil años), con la formación de suelos coluviales arenosos, talus y depósitos superficiales de bloques que cubre las laderas de la parte media y baja.
- La dinámica del río Margua durante el Holoceno- Pleistoceno, con un proceso principal de erosión e incisión del cauce del río Margua con la formación del nivel de terraza donde se ubica el corregimiento. La formación de esta terraza marca un proceso de reactivación de la dinámica del río Margua, con una mayor tasa de profundización del cauce hasta alcanzar los niveles actuales, generada posiblemente por factores tectónicos.
- Las condiciones climáticas húmedas, con precipitaciones medias que varían entre los 1500- 2000mm que favorece la meteorización de las unidades arcillosas que forman la parte media de la vertiente. Asociado a estas condiciones climáticas, relativamente estables en el Holoceno reciente, se identifica un proceso continuo de disgregación in situ de los estratos de areniscas intercalados con las unidades de lutitas, dando lugar a una segregación de bloques en superficie, desplazados sobre la vertiente por la acción de la gravedad.

- Las condiciones sísmicas regionales, con la presencia de fallas activas que se manifiesta en la presencia de depósitos de ladera producto de los procesos denudativos que han actuado sobre estas laderas rocosas fracturadas.
- Más recientemente asociado a los procesos de transformación, cambio de uso del suelo y la deforestación de la vertiente (70-80%), se observa el incremento de la escorrentía superficial con la formación de cárcavas y profundización de los drenajes naturales (erosión hídrica). Igualmente la disminución de la evapotranspiración por la deforestación de las vertientes, se manifiesta en un incremento de la humedad natural de los suelos que favorecen los procesos locales de reptación de los horizontes de suelos residuales y depósitos de ladera.

6.2.2 Geomorfología detallada

Las unidades geomorfológicas se describen a nivel de “segmentos de ladera” se enmarcan en el perfil geomorfológico de la vertiente (figura 5-3), desarrollada sobre un contra-escarpe estructural en las rocas de la formación Colón-Mito Juan, delimitada desde su cima hasta el cauce del río Margua. Se delimita un segmento superior denudativo LD1, un segmento intermedio igualmente denudativo LD2, un segmento inferior del nivel de terraza aluvial y el escarpe inferior que delimita el valle del río Margua. Cada segmento de ladera se describe de acuerdo con la composición de los materiales superficiales, estructura geológica, régimen de agua superficial y sub superficial, su interrelación entre los segmentos colindantes y los procesos dominantes. La estabilidad de cada unidad se evalúa a partir de los procesos activos y/o potenciales que permite conocer su condición de equilibrio ante los cambios y los procesos de transformación recientes. Dentro del área de influencia del corregimiento se delimitan los siguientes segmentos de ladera.

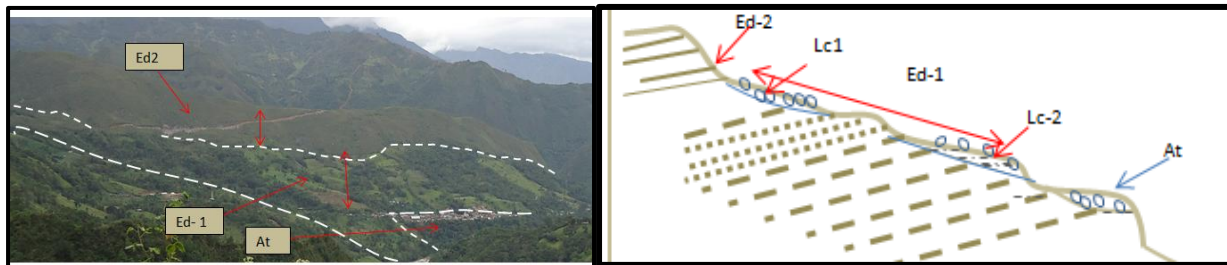


Figura 6.3 Perfil geomorfológico de la vertiente

Ladera denudativa Ed-2

Esta unidad de origen estructural configura la parte alta de la vertiente con exposición de las areniscas de la formación Barco, con una estructura propia de un macizo muy fracturado de alta permeabilidad primaria y secundaria con un proceso principal de infiltración.

Procesos: Erosión y disgregación de cantos y bloques, con la formación de depósitos de talus. Este proceso se ha mantenido en el tiempo y representa la fuente de los depósitos de bloques que cubren la parte media de la vertiente.

Régimen de agua: Por su composición arenosa y fracturación del macizo, esta unidad representa un medio poroso y fracturado de alta permeabilidad primaria y secundaria. Se comporta como una zona de recarga de las aguas lluvias que alimentan los drenajes intermitentes de la parte media de vertiente. Ver Fotografía 6.12



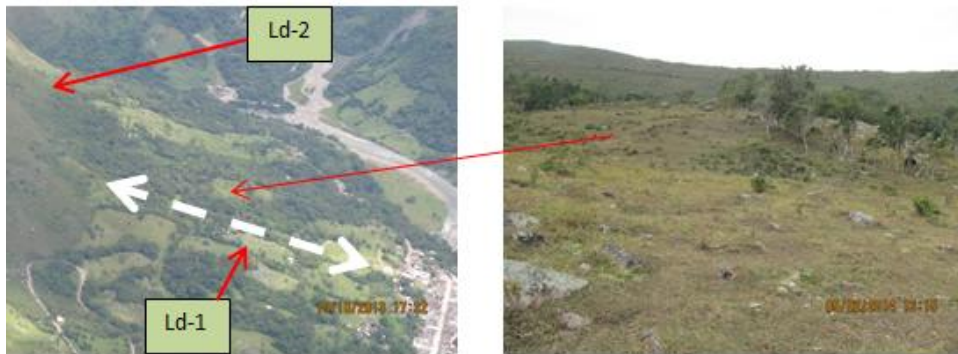
Fotografía 6.12 Unidad de laderas denudativas Ed-2 de la cima de la vertiente

Ladera denudativa Ed-1

Esta unidad configura la parte media de la vertiente y se extiende hasta la zona urbana del corregimiento. Muestra una morfología ondulada, disectada por drenajes obsecuentes, intermitentes de 1er orden de muy baja densidad, con una cobertura de pastos y parches de vegetación arbustiva. Su estructura geológica corresponde a una contrapendiente estructural sobre lutitas y areniscas de la formación Mito Juan, con una cobertura de bloques y cantos producto de la disgregación de las capas de areniscas intercaladas.

Régimen de agua. Por la presencia de un horizonte de roca parcialmente descompuesta y la presencia de aglomeraciones de bloques, esta unidad muestra un régimen principal de infiltración con un flujo sub-superficial, con zonas de afluencia de estas aguas (nacederos) en la parte media de la vertiente.

Estabilidad: Representa la unidad de mayor transformación por los cambios de uso del suelo, la pérdida de la vegetación arbustiva y con el mayor grado de intervención antrópica por las vías de acceso en media ladera. Sobre esta unidad se localiza el eje del Oleoducto Caño Limón Coveñas OCLC, los cortes de la vía al corregimiento de Chucurima. Ver Fotografía 6.13



Fotografía 6.13 Vista de la unidad denudativa Ed-1 que delimita el sector urbanizado del corregimiento

Ladera Denudativa Ed2

Este segmento hace parte integral de la unidad anterior, se expone en su parte baja y se diferencia por la afluencia de aguas de infiltración, con procesos locales de reptación superficial, con la presencia de un horizonte superficial de rocas parcialmente meteorizadas, de 2 a 3 m de espesor, con una cubierta local de bloques de areniscas. Ver Fotografía 6.14



Fotografía 6.14 Vista de la unidad de laderas denudativas Ed-2 que delimitan el campo de fútbol

Ladera coluvial Lc-2

Este segmento se expone en una franja angosta, al occidente del nivel de terraza aluvial. Está constituida por un depósito coluvial Lc2 de composición arenosa, con gravas angulares, de alta permeabilidad con una cubierta de bloques superficiales.

Régimen de agua: Por su composición arenosa, esta unidad muestra en superficie un proceso principal de infiltración, con la formación de un flujo de aguas de infiltración a nivel del contacto con las unidades de rocas arcillosas del subsuelo.

Estabilidad: Esta unidad muestra un alto grado de intervención por las construcciones del sector urbano y ha sido afectada por un deslizamiento que involucro la vía de acceso, las instalaciones del matadero y varas viviendas, objeto del presente estudio de riesgo.

Lateralmente esta unidad recibe las aguas de infiltración de la unidad Ed2 transmitidas a través de los drenajes secundarios formados en las zonas de aglomeraciones de bloques y a través de los horizontes de roca parcialmente descompuesta. Ver Fotografía 6.15



Fotografía 6.15 Vista de la unidad coluvial Lc2 afectada por el deslizamiento.

Segmento de Bloques Superficiales Lb

Este segmento se expone en la corona del deslizamiento y está constituida por un depósito de bloques sueltos de areniscas con diámetros de 0.3 a 0.5m. Su origen se asocia a la disgregación y acumulación in situ del nivel de areniscas expuesto sobre el talud del sector occidental del sitio.

Terraza aluvial At 1

Unidad de origen aluvial, formada por el proceso de incisión del río Margua durante el Holoceno – Pleistoceno con una composición de bloques y cantos en matriz arenosa. Se diferencia un segmento plano donde se localiza el sector urbano de corregimiento y un segmento escarpado que cubre unidades de areniscas.

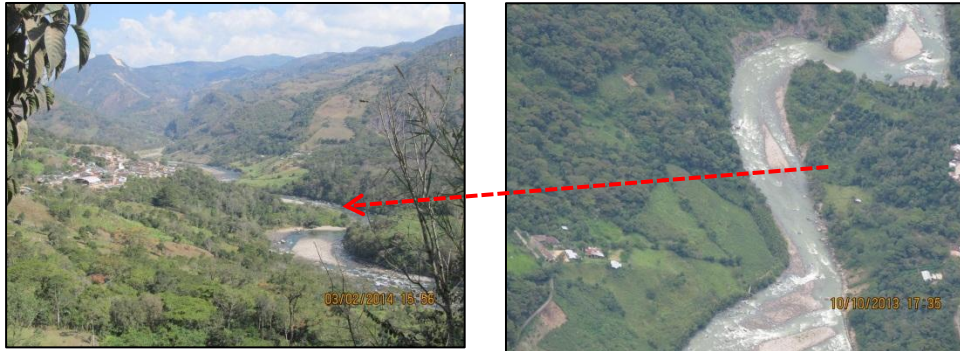
Régimen de agua. Por su composición granular y alta permeabilidad del depósito aluvial, esta unidad muestra un régimen principal de infiltración tanto de las aguas lluvias como de los vertimientos del municipio.

Terraza baja AI1

Unidad plana, expuesta sobre la margen derecha del Río Margua, delimita el cauce activo del río y se describe como un nivel de terraza baja, inundable periódicamente. Presenta una composición de arenas y gravas de pobre consolidación y cubren las unidades de limolitas y lodolitas.

Cauce activo del Río Margua Al-o

Descripción Morfológica: En el sector contiguo al corregimiento de Bata, el río Margua desarrolla un tramo sinuoso propio de ríos de alta energía, de baja sinuosidad, con un cauce activo de 50 a 60m de amplitud, con barras internas y un flujo concentrado. Se clasifica como un tramo sinuoso, de agradación temporal, con la formación de barras de gravas. La Fotografía 6.16 no muestra las características morfológicas del cauce.



Fotografía 6.16 Morfología sinuosa del cauce del río Margua con la formación de Barras

Este tramo se presenta delimitado sobre la margen izquierda por un terraza baja no inundable y sobre la margen derecha por afloramiento rocoso de areniscas que ejercen un control en la dinámica de erosión y socavación potencial.

La dinámica histórica del río registra un proceso de incisión y profundización de su lecho por efectos tectónicos y en este proceso histórico formó el nivel de terraza donde se ubica el corregimiento de San Bernardo. Se infiere una dinámica similar a la existente y en este proceso de incisión a dinámica del río afectó la estabilidad de las laderas.

En la zona contigua al corregimiento, no obstante que el río muestra una dinámica de muy alta energía, con un proceso de erosión lateral y socavación, estos procesos se muestran controlados parcialmente por la presencia de afloramientos de areniscas de alta resistencia, descartándose la acción del río en el proceso de inestabilidad que afectó recientemente el corregimiento. La Fotografía 6.17 muestra los afloramientos rocosos que controlan los efectos de erosión y socavación de la base de la ladera.



Fotografía 6.17 Vista de los afloramientos de la margen derecha del cauce expuestas en la base del deslizamiento

6.2.3 Procesos Morfodinámicos

En el área de influencia del sector urbano del Corregimiento se identifican los siguientes procesos:

- Procesos de Erosión asociados al incremento en el dinámica torrencial de los drenajes , con la formación de surcos y cárcavas
- Un proceso de socavación potencial, de muy baja acción por el control ejercido por un macizo de areniscas sobre la margen derecha del río Margua.
- Un proceso local de saturación y reptación muy superficial de los depósitos coluviales que cubre las laderas. Este proceso se asocia a las zonas cercanas a los nacimientos o manantiales. En el mapa geomorfológico este proceso se asocia a la unidad de flujos Cf.
- Un proceso de remoción en masa que afecta el sector urbano del Corregimiento, proceso que afectó la vía de acceso, varias construcciones y se extiende hasta la base de la ladera sobre el valle del río Margua.

6.3 Hidrogeología (Modelo Hidrogeológico Conceptual)

En este numeral se describe el modelo conceptual a nivel regional, con una descripción y evaluación de las unidades hidrogeológicas, se identifican las zonas de recarga, acuíferos, unidades confinantes y los controles en el régimen de flujo de las aguas subterráneas a nivel local y regional.

6.3.1 Descripción de unidades hidrogeológicas

Formación Los Cuervos. Unidad de composición arcillosa, de baja permeabilidad, expuesta al occidente, fuera del área de influencia local. Está compuesta por una secuencia de lodolitas grises con mantos de carbón y niveles lenticulares de areniscas de grano fino muy fracturadas. Representa una unidad de baja permeabilidad, fracturada, con pequeños niveles de areniscas de alta permeabilidad. Se clasifica como un acuicludo, por su baja permeabilidad.

Formación Barco. Unidad acuífera expuesta en la parte alta de la vertiente, sirve de divisoria con el cauce del río Culagá- Valegrá. Está compuesta principalmente por areniscas cuarzosas, feldespáticas, en capas de 0.5 a 5.0m de espesor, con delgados niveles de lodolitas grises. Se clasifica como una unidad de alta permeabilidad primaria y secundaria por el grado de fracturación del macizo (J_v : 7-9disc/m³). En el contexto local se comporta como una zona de recarga de las aguas lluvias que alimentan los drenajes secundarios y manantiales de la vertiente del río Margua.

Formación Colón Mito Juan. Esta unidad se expone sobre la vertiente del río Margua en la zona de influencia directa del corregimiento de San Bernardo de Bata. Está representada por una secuencia estratificada de lodolitas grises y verdes, calcáreas, micáceas; con intercalaciones de areniscas cuarzosas en capas muy fracturadas. Los niveles de areniscas se clasifican como acuíferos confinados.

Formación La Luna. Esta unidad se expone sobre el valle del Río Margua, fuera del área de estudio, sobre el trazo de la falla de Valegrá. Está constituida por una secuencia muy replegada y fracturada de cherts negros, calizas oscuras, limolitas silíceas y lodolitas. Por el grado de fracturación, esta unidad muestra una alta permeabilidad secundaria y se comporta como un acuífero fracturado, alimentado por el río Margua.

6.3.2 Zonas de recarga

Dentro del área de influencia directa se identifican las siguientes zonas de recarga de las aguas subterráneas:

- En el contexto local, sobre las unidades de areniscas fracturadas que forman la divisoria del drenaje, se delimita una zona de recarga local a través de los eventos lluviosos, con un flujo que alimenta los drenajes de 1er orden y los manantiales expuestos en la parte media de la vertiente. Esta zona de nacimientos se delimita en el plano de geología detallada.

- Sobre el cauce del río Margua, se identifica una segunda zona de recarga del acuífero aluvial y el cauce del río representa la cota regional del nivel freático regional

Al sur del área de estudio, entre el río Valegrá y el río Margua, se identifica una tercera zona de recarga a través de la zona de fracturación de la falla de Valegrá, con un flujo de agua que marca el nivel freático regional.

6.3.3 Controles hidrogeológicos

En el contexto local y regional se identifican los siguientes controles en los flujos de las aguas subterráneas:

- En el contexto local, se identifica un sistema de fallas secundarias con orientación E-W que afectan las unidades de areniscas y lodolitas de las formaciones Barco y Colón & Mito Juan y ejercen un control en los flujos de aguas de infiltración en esta misma orientación.
- En el contexto regional, la falla de Valegrá con orientación N30E (expuesta en el límite sur oriental del corregimiento) define una amplia zona de fracturación que reorienta los flujos subterráneos con esta misma orientación y explica la presencia de zonas húmedas a los largo de su trazo. Por las condiciones topográficas, la zona de recarga de estos flujos tienen su origen sobre el valle del río Valegrá.

6.4 Sismicidad

De acuerdo a la NSR10 las condiciones sísmicas de Toledo aplicable a edificaciones se ubican en zona sísmica alta, como se representa en la Figura 6.4:

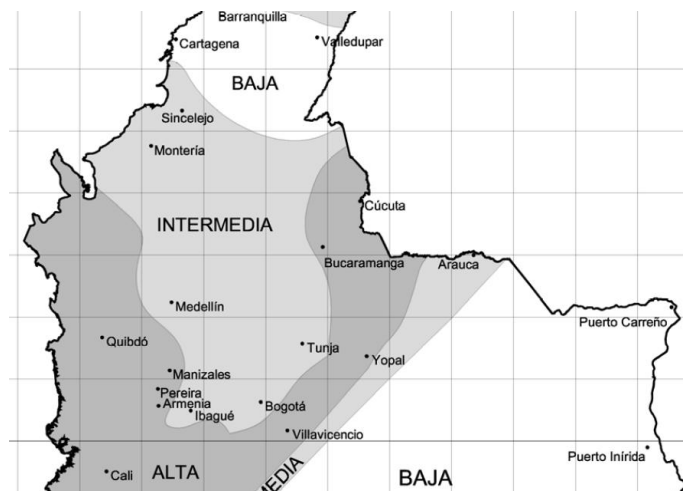


Figura 6.4 Zona sísmica alta – Ciudad de Cúcuta y Toledo- NSR10

Los mapas indican un valor de Aa de 0.35 g. Teniendo en cuenta que el título H permite efectuar una reducción de máximo el 80% de este valor para condiciones de macizos rocosos, suelos para análisis de estabilidad de taludes el valor a utilizar es de 0.20 g.

El sistema tectónico y estructural del nororiente del país, en límites con Venezuela (sobre la cuenca del río Margua- Oirá), muestra un sistema de fallas inversas con buzamiento hacia el oriente y dirección predominante NW-SE, destacándose en el contexto local, la Falla de Labateca al occidente, que pone en contacto las rocas del Jurásico con las rocas del Terciario; Falla de Aguas calientes, la falla de Valegrá cuyo trazo se ubica en la zona del proyecto y la falla del Río Colorado localizada al oriente del corregimiento.

Este sistema de estructuras tectónicas regionales forman en el límite Colombia – Venezuela el codo de Pamplona descrito por Singer A (2003) como una estructura de deformación neotectónica producto de los esfuerzos compresivos generados por la terminación de la falla transcurrente de Boconó y el sistema frontal inverso del Piedemonte Llanero. Dentro de este un cinturón de deformación neotectónica, se destaca las fallas de Aguas Calientes- Cúcuta – La Don Juana que representa la fuente de sismos superficiales con un registro histórico importante (1644, 1796, 1875, 1950 y 1957). Asociado a este sistema de fallas se asocia el terremoto de 1875 que destruyó las ciudades de Cúcuta y Villa del Rosario.

Dentro de este contexto local, el área de estudio se clasifica como de Amenaza Sísmica Alta

6.5 Susceptibilidad a los deslizamientos

Es una evaluación cualitativa de la predisposición de una unidad geomorfológica a los procesos de inestabilidad; valora en estos términos el grado de estabilidad natural de cada una de las laderas, controlada por factores primarios (inherentes), donde el cambio de factores externos pueden reducir o incrementar su resistencia y dar lugar a los procesos morfo-dinámicos.

La susceptibilidad de los diferentes segmentos de ladera que configuran la vertiente, está controlada por los siguientes factores primarios en orden de importancia.

- La ubicación dentro de zona de influencia de la falla de Valegrá cuyo trazo se ubica en el talud inferior, con un sistema de discontinuidades secundarias sobre la vertiente.
- El régimen hidrogeológico de la vertiente, con un flujo de aguas a través del horizonte de roca meteorizada y suelos coluviales. Estos flujos se manifiestan en los diferentes manantiales (nacederos) que alimentan los drenajes secundarios de carácter intermitente junto con procesos de reptación local.
- La dinámica histórica del río Margua con procesos de erosión e incisión del cauce hasta alcanza los niveles actuales. Este proceso de descenso de su nivel base local, estuvo

acompañado de un proceso de socavación lateral que explica procesos antiguos (deslizamientos fosilizados) sobre el valle del río Margua.

La zonificación de susceptibilidad (ver mapa de Susceptibilidad) se realiza sobre cada unidad geomorfológica con las siguientes conclusiones

Zonas de Susceptibilidad Alta: Se asocian a las áreas con procesos activos, con evidencias de deslizamientos activos que han afectado los segmentos de ladera. Se incluye la zona del deslizamiento activo y parte del sector de reubicación afectado por pequeños flujos de tierra

En la zona de reubicación, la condición de alta susceptibilidad se asocia a niveles freáticos colgados por la presencia de una falla que atraviesa el lote y la cercanía a la falla Valegrá.

Zonas de Susceptibilidad Media: En el límite norte, el deslizamiento activo está delimitado lateralmente por zonas de susceptibilidad media, donde los procesos potenciales de estas áreas depende del manejo y medidas de mitigación a implementar en la zona inestable.

En general la condición de susceptibilidad media se asocia a los procesos de reptación superficial y presencia de depósitos coluviales.

Zonas de Susceptibilidad Baja: En esta categoría se incluyen las laderas denudativas que forman el sector occidental del corregimiento, cubiertas por depósitos de bloques; las laderas con exposición d las unidades de areniscas y la unidad de terraza aluvial donde se ubica la zona urbana.

6.6 Evaluación geológica de la zona Inestable

6.6.1 Descripción del sitio

En este numeral se describen las condiciones geológicas y geomorfológicas del área afectada por el deslizamiento, se describe el perfil estratigráfico del sitio inestable, con un diagnóstico geomorfológico con la identificación y descripción de las causas y factores que originaron el movimiento.

La fotointerpretación de las Figura 6.5 de fotografías de la década del 80, permite reconocer la zona afectada por el movimiento, un estado inicial de protección con vegetación arbustiva de las laderas que delimitan el cauce Estos terrenos fueron posteriormente transformados y adaptados para el desarrollo urbano del corregimiento, con la construcción de viviendas.

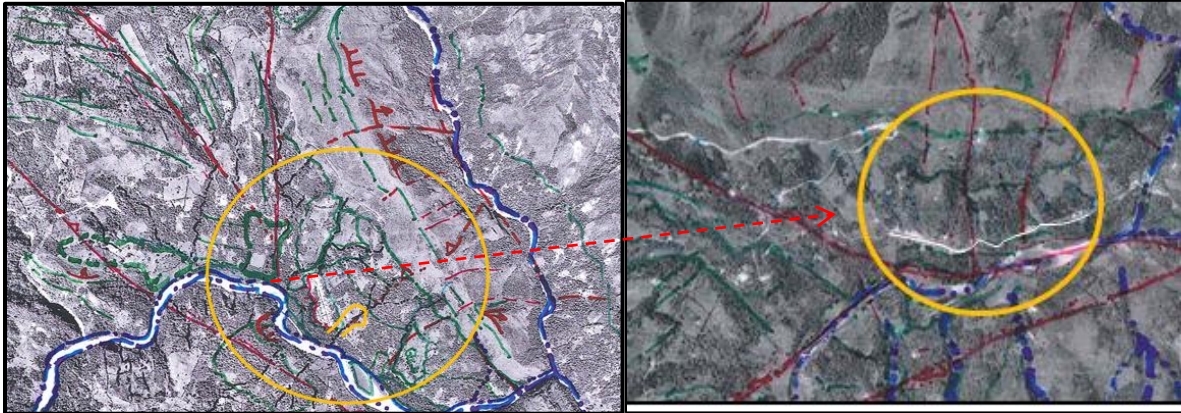


Figura 6.5 Vista de los sistemas de fallas secundarias de influencia en el área de estudio (fotointerpretación fotos de la década del 80)

6.6.2 Descripción de la geología local

El cuerpo del deslizamiento se localiza en un extremo del nivel de terraza aluvial y afecta la unidad de laderas coluviales Lc-2 que delimitan por el costado occidental el perímetro urbano del corregimiento. El área afectada por el deslizamiento se localiza en la zona de influencia de un drenaje intermitente de 1er orden delimitado en su parte alta por una depresión topográfica que demarca el drenaje original.



Fotografía 6.18 Condición actual de uso del suelo (pastos) en la zona afectada por el deslizamiento

En la zona afectada por el movimiento se describe el siguiente perfil estratigráfico:

- En superficie se expone la unidad de suelos coluviales de composición arenosa Qc-2 con un espesor promedio de 4m expuesto en la corona del movimiento.

- En su parte media y baja del deslizamiento se expone lateralmente los niveles de gravas arenosas del nivel de terraza aluvial que igualmente fueron involucrados por el deslizamiento.
- En la parte alta y bordeando la corona del movimiento, se expone una unidad superficial de bloques de areniscas (Ladera de bloques) producto de la disgregación de una capa de areniscas fracturadas.
- De acuerdo con la investigación del sub-suelo, a nivel de la superficie de falla del deslizamiento se expone la unidad de rocas arcillosas-limolitas arenosas, areniscas laminadas y arcillolitas grises, verdes muy fracturada y parcialmente meteorizadas. Por su grado de meteorización y alta fracturación esta unidad se involucra en la masa desplazada por el deslizamiento. La Fotografía 6.19, muestra las características morfológicas del deslizamiento.



Fotografía 6.19 Vistas parciales del sistema de grietas del movimiento y viviendas



Fotografía 6.20 Vistas parciales del sistema de grietas del movimiento

6.6.3 Condiciones estructurales locales.

A nivel del cuerpo del deslizamiento se muestran las siguientes condiciones estructurales y tectónicas:

- Las unidades del subsuelo, muestran una orientación favorable de los planos de estratificación con buzamientos al oeste, favorables (330/50), contra el talud natural.
- La fotointerpretación permitió delimitar una falla secundaria con orientación NW-SE. Esta falla define una zona de debilidad a nivel del macizo fracturado, que facilitó el desarrollo del drenaje natural. Sobre el escarpe dejado por el deslizamiento, se observan zonas de brecha que indican una zona de debilidad pre-existente al deslizamiento, con una condición de mayor fracturación de las unidades arcillosas del subsuelo, que definen las condiciones iniciales del sitio. La Figura 6.6 muestra la fotointerpretación estructural de área de estudio con un sistema de fallas secundarias que cruza la vertiente y controlan el drenaje de la vertiente.
- De acuerdo con las anteriores consideraciones, el deslizamiento involucró en su movimiento la unidad de suelos coluviales arenosos y parte de las unidades fisuradas y meteorizadas del subsuelo que formaban parte de la depresión topográfica.

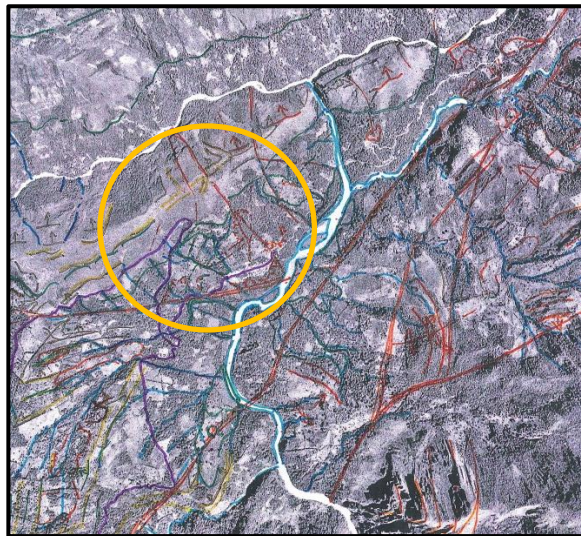


Figura 6.6 Demarcación de los sistemas de fallas regionales y locales (fotointerpretación tectónica regional)

6.6.4 Modelo hidrogeológico conceptual.

A nivel del sitio del cuerpo del deslizamiento, se identifica el siguiente modelo en el comportamiento de las aguas subterráneas y de infiltración.

- Un proceso de infiltración través de los suelos coluviales que delimitan la parte alta del deslizamiento, donde se expone u depósito de bloques superficiales. Este depósito se comportan como un medio poroso de alta permeabilidad que alimenta el cuerpo del deslizamiento.
- El lineamiento tectónico identificado en la fotointerpretación (falla secundaria) orienta los flujos de aguas subterráneas a lo largo de la zona fracturada y se comporta como un acuífero fracturado.
- Las unidades del subsuelo, muestran una composición arcillosa, de baja permeabilidad, que favorece la elevación de la tabla de agua durante los eventos lluviosos de larga duración. La Figura 6.7 muestra el modelo hidrogeológico conceptual

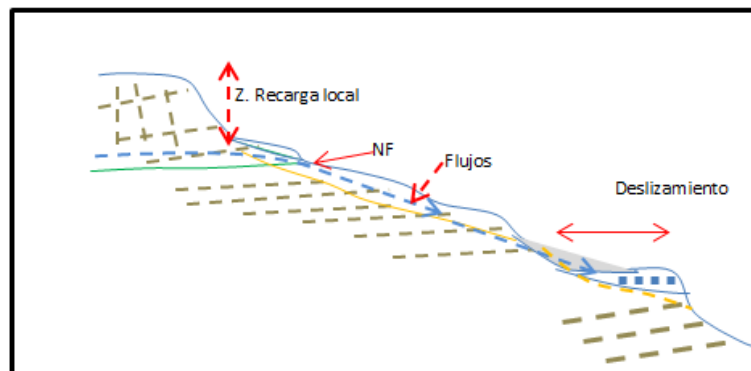


Figura 6.7 Modelo hidrogeológico conceptual mostrando la tabla de agua colgada por efecto de la zona de recarga de alta permeabilidad.

6.6.5 Diagnóstico del deslizamiento.

De acuerdo con los factores causantes de los procesos de inestabilidad, definidos por Montero, J. (1991) se diferencia los siguientes: (1) *Factores Inherentes*, (aquellos relacionados con la condición inicial del sitio) la litología, el estado de alteración, o las características estructurales que determinan la susceptibilidad del terreno. (2) *Factores Contribuyentes* (naturales o antrópicos), modifican el FS incrementando esfuerzos o reduciendo resistencia, sin superar el umbral de falla, ej.: incremento en la meteorización o humedad y (3) *Factor Desencadenante*, el que provoca la falla.

La investigación geotécnica del sondeo No 3 identifica el siguiente perfil estratigráfico sobre el cuerpo del deslizamiento.

- Un nivel superior de suelos de origen coluvial de 4.0m de espesor que han sido movilizados por el deslizamiento.
- Un nivel inferior, entre los 4 y 13m de suelos aluviales con gravas y lentes de arenas sueltas.
- A partir de los 13m hasta los 17m de la investigación se mantiene un registro en suelos de origen aluvial, con gravas y lentes de arenas del nivel de terraza expuesta sobre la vía de acceso.

La investigación geofísica de la Figura 6.8, realizada en la parte baja del cuerpo de del deslizamiento, muestra un espesor de los materiales movilizados que varían entre los 7 y 10m con una superficie de falla que asimila un mecanismo propio de deslizamientos traslacionales.

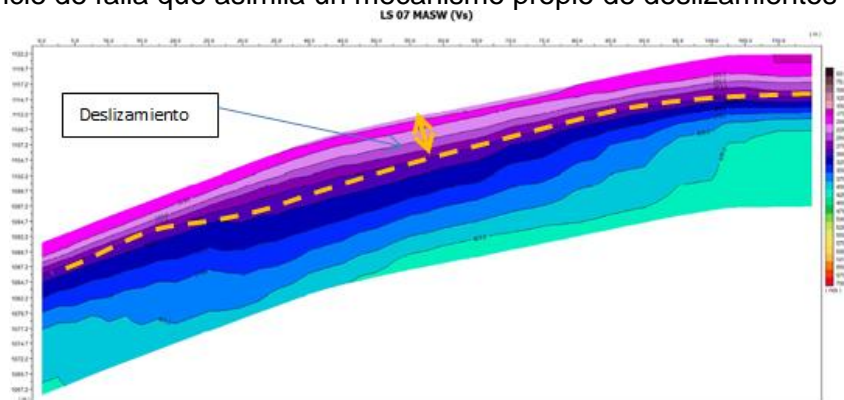


Figura 6.8 Interpretación perfil geofísico (VS de la parte baja del deslizamiento)

Factores inherentes:

Factor litológico: El deslizamiento que afecta la zona urbana del corregimiento involucra en su movimiento los depósitos coluviales arenosos (unidad Qc2 del mapa de geología de detalle) que formaban la superficie original del terreno que cubren un nivel de rocas arcillosas meteorizadas de baja permeabilidad.

Factor estructural: La fotointerpretación geomorfológica identifica sobre el eje del deslizamiento, el lineamiento de una falla secundaria con orientación NW- SE, con un control en el drenaje superficial y las aguas de infiltración.

Factor hidrogeológico: El cuerpo del deslizamiento está delimitado en su parte superior por un depósito de bloques que demarcan el eje del drenaje original, con un flujo de aguas de sub superficiales que alimentan la zona del movimiento.

Factores contribuyentes: Como factores Contribuyentes se pueden considerar la reducción de la resistencia de las rocas arcillosas del subsuelo por la acción del agua, los vertimientos de las aguas servidas de las viviendas ubicadas en la zona afectada y el uso del suelo de las laderas

ubicadas en la parte superior de la vía. Dentro de estos factores se incluye los cambios en el régimen sub-superficial y superficial por la construcción del OCLC.

El proceso de deforestación que protegía el drenaje natural, incrementó la escorrentía superficial. Este proceso fue seguido del cambio de uso del suelo para la construcción de las viviendas afectadas por el movimiento.

Factor desencadenante: Como una primera causa desencadenante del movimiento se plantea los eventos de lluvias críticas del año 2010. Estos eventos particularmente de muy alta intensidad en el departamento, generaron un proceso de elevación de la tabla de agua sobre el depósito coluvial que provocaron la falla, evento precedido de la saturación de la parte baja por vertimiento de aguas servidas.

Las evidencias morfológicas del sitio clasifican como un deslizamiento antiguo, posiblemente generado por la dinámica antigua del río y reactivado por las causas enunciadas anteriormente.

6.7 Evaluación geológica de la zona potencial de reubicación

6.7.1 Descripción del sitio

El sitio propuesto como área de reubicación se localiza en el costado sur occidental del corregimiento, en un sector en media ladera con un acceso muy corto a partir de la vía principal. Lateralmente, en su límite norte, colinda con un drenaje natural que desagua las laderas del sector, con una entrega sobre el sector urbano del corregimiento. En el costado occidental se identifica un cambio importante en la pendiente del terreno donde se han implementado obras de drenaje superficial. La Fotografía 6.21 muestra la ubicación del sitio de reubicación con relación a las vías de acceso y el sector urbano.



Fotografía 6.21 Localización de la zona de reubicación

6.7.2 Descripción de la geología local

En el sitio de reubicación se expone la unidad de lutitas (shales negros) de la formación Colón (Nivel KI-2, con una disposición estructural de alto ángulo, con buzamientos altos ($> 50^\circ$) hacia el occidente, favorable a la estabilidad natural.

La investigación geofísica y geotécnica identifica el siguiente perfil:

- Un horizonte de suelo residual (w5-w6) del perfil de meteorización de rocas lodosas hasta los 3.0m de profundidad con Vs 200- 225m/s donde no se conserva la estructura de la roca original, con una composición de arcillas y limos arcillosos.
- Un nivel inferior entre 3.0 y 7.0m de arcillas con clastos de lutitas, que corresponde con el horizonte w3- w4 del perfil de meteorización con una Vs: 225- 250m/s.
- A partir de los 7.0 m de profundidad se expone la unidad de lutitas parcialmente meteorizadas, oxidadas del horizonte w2- w3, con Vs: 250m/s.



Fotografía 6.22 Construcciones en la zona de reubicación

6.7.3 Condiciones estructurales locales

La fotointerpretación geomorfológica y las observaciones de campo permiten identificar en el límite occidental del lote, un cambio de pendiente que corresponde a un desplazamiento del terreno asociado al cruce de una falla geológica. Este desplazamiento se manifiesta por un cambio en el nivel freático y el desplazamiento del perfil de meteorización descrito en el numeral anterior.

La interpretación de la línea sísmica de este sector del predio identifica una anomalía en la Vs en profundidad que corrobora el diagnóstico geológico anterior. La Figura 6.9 muestra el trazo de la falla en el costado occidental del lote y la interpretación de la línea sísmica respectiva.

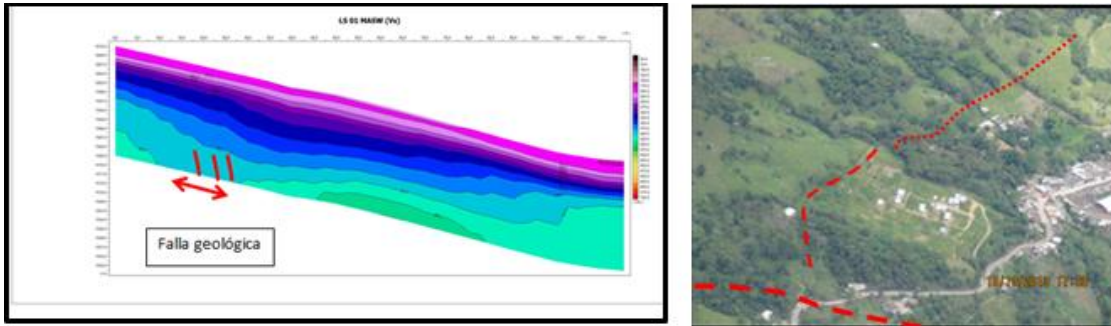


Figura 6.9 Vista de la zona de reubicación afectada por el cruce de una falla local y su interpretación del perfil geofísico respectivo (VS)

6.7.4 Modelo hidrogeológico conceptual

Por su composición arcillosa, el área prevista para la reubicación muestra una tabla de agua superficial que se manifiesta en la saturación de los suelos de la parte alta del lote y la presencia de agua a nivel de la zanja de drenaje localizada en el límite del predio.

En el borde occidental del área de reubicación se aprecia un cambio de pendiente asociado a un desplazamiento del terreno por el cruce de una falla geológica. En la Fotografía 6.23, se demarca la tabla de agua colgada, a una cota superior al sitio propuesto de reubicación, lo cual explica la afluencia de aguas sobre el talud de la parte alta del lote que ha generado un proceso de saturación y la formación de pequeños flujos de tierra que fueron removidos durante los trabajos de adecuación del lote.



Fotografía 6.23 Vista del sector posterior del lote, afectado por el nivel freático colgado del sector occidental del predio

6.7.5 Diagnóstico de estabilidad del sitio de reubicación y zona circundante.

En el límite occidental del lote la administración municipal habría realizado obras de drenaje superficial (zanjas de drenaje) para el manejo de las aguas que se exponen sobre el talud con una entrega sobre el drenaje que delimita la vía por el costado norte.

Por el costado sur, el predio colinda con laderas afectadas por el corte de la vía principal, igualmente se muestra afectado por el cruce de la falla de Valegrá, cuyo trazo se localiza en la base de la ladera. La Figura 6.10 muestra la zona de estabilidad baja que delimita el área de reubicación propuesta, asociada al cruce de la falla previamente mencionada.

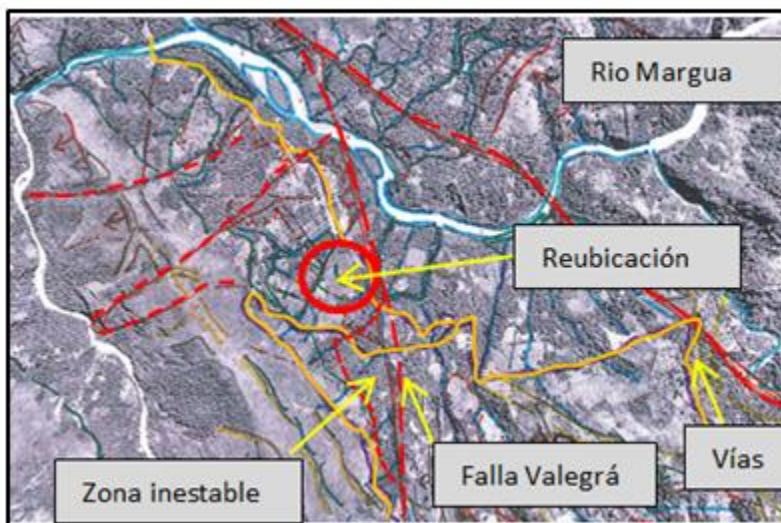


Figura 6.10 Demarcación de los trazos de falla cercanos al sitio de reubicación (fotointerpretación vuelo R 945 – 1984)

La fotointerpretación del año 1986, de la Figura 6.10 muestra en el límite occidental del predio, evidencias de un movimiento superficial que coincide con el desnivel actual del terreno.



Fotografía 6.24 Vista del límite occidental de la zona de reubicación, afectada por la afluencia de aguas sobre el talud superior, con procesos de reptación y formación de flujos de tierras

Conclusiones del diagnóstico de estabilidad:

El costado occidental del área de reubicación muestra una condición de muy baja estabilidad natural, con exposición de suelos residuales y depósitos que evidencian movimientos recientes. Ver Fotografía 5.23. Este borde del predio se clasifica como de susceptibilidad Alta a los deslizamientos, dadas las condiciones hidrogeológicas locales con una tabla de agua colgada por la presencia en la parte superior de una zona de recarga sobre un macizo arenoso muy fracturado. Por esta razón en este límite occidental no es recomendable ubicar viviendas; adicionalmente este borde muestra una condición de riesgo, donde el mismo desarrollo urbano se convertiría en un factor detonante de nuevos procesos potenciales por los vertimientos de aguas, más si en el futuro los nuevos asentamientos se desplazan hacia la ladera superior incrementando su condición de amenaza antropogénica.

El límite sur del predio, colindante con el corte de la vía principal se clasifica igualmente como de susceptibilidad Alta; este sector se localiza dentro de la zona de influencia del trazo de la falla regional de Valegrá.

La parte media y baja del predio se clasifican como de susceptibilidad Media por la presencia de suelos residuales arcillosos y de un depósito coluvial con presencia de bloques. La estabilidad de este sector del predio depende de la eficiencia de las obras de mitigación a implementar en el sector occidental mencionado anteriormente.

La cercanía de la falla de Valegrá igualmente define una condición de amenaza sísmica local adicional a las condiciones hidrogeológicas regionales que reorientan los flujos de agua a través de la zona fracturada.

7. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

7.1 *Evaluación geotécnica de la zona inestable*

7.1.1 *Exploración del subsuelo*

Para la zona inestable se efectuó la exploración orientada a definir tres aspectos:

- Profundidad del depósito coluvial y espesores de suelos residuales, saprolito o roca meteorizada o diaclasada que pudiera estar involucrado en el movimiento.
- Condiciones geomecánicas de materiales para los depósitos coluviales y las unidades de roca o suelo que pueden o no estar involucradas en el movimiento.
- Cobertura lateral de procesos, es decir qué tanto puede o no ampliarse el proceso hacia sus flancos y zona superior, teniendo en cuenta que hacia la parte inferior el proceso está limitado por el río.

Para el cumplimiento de estos tres aspectos se efectuó exploración del subsuelo mediante métodos directos consistentes en sondeos mecánicos y métodos indirectos consistente en línea sísmica de refracción.

Método directo.

En total se efectuaron cuatro sondeos: dos sondeos, el S1 y S2 sobre la masa de suelo en movimiento, el S3 hacia la parte superior de la vía de estudio en cercanía del flanco izquierdo del proceso y el S4 hacia el flanco izquierdo del proceso. El registro fotográfico de la ubicación de los sondeos se presenta a continuación (Fotografía 7.1):



Sondeo 1



Sondeo 2



Sondeo 3



Sondeo 4

Fotografía 7.1 Sondeos zona inestable

Los datos de los sondeos son presentados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

Sondeo	Norte	Este	Profundidad total (m)
1	1288887	1180430	22.40
2	1288903	1180522	20.50
3	1288935	1180580	17.50
4	1288853	1180623	15.0

Tabla 7.1 Exploración del subsuelo directa – sondeos zona inestable

Método indirecto.

Se efectuó en la zona inestable método de refracción sísmica mediante cuatro líneas sísmica, las cuales abarcaran la zona de la vía, el flanco derecho e izquierdo y la zona de masa central, identificando espesores de materiales, velocidad de onda V_s y V_p . Se efectuó la línea sísmica 4 y 5 transversal a la zona de movimiento, la línea sísmica 8 sobre la zona de la vía hacia el flanco izquierdo y la línea sísmica 7 hacia la parte inferior de la vía. El registro fotográfico de la zona de las líneas se presenta a continuación (Fotografía 7.2):



Línea sísmica 4

Línea sísmica 5



Línea sísmica 7



Línea sísmica 8

Fotografía 7.2 Líneas sísmicas zona inestable

7.1.2 Caracterización geomecánica

Ensayos de laboratorio

En los sondeos efectuados se obtuvieron muestras en cuchara partida SPT y en barrena NQ con broca de diamante debido a la presencia de bloques y gravas del depósito coluvial y los niveles de roca con alto diaclasamiento. Los materiales obtenidos con presencia de gravas finas impiden obtener muestras de condiciones aceptables para efectuar ensayos de caracterización geomecánica tales como corte directo. No obstante se efectuaron en material remoldeado. La cantidad de ensayos de laboratorio efectuados se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

Ensayo	Cantidad
Humedad natural	33
Límite líquido y plástico	31
Granulometría	29
Peso Unitario	32
Corte Directo	2

Tabla 7.2 Ensayos de laboratorio

Perfil característico

Los materiales presentes en la zona inestable son los siguientes:

Depósito coluvial.

Corresponde a bloques de roca, gravas y arenas en algo a trazas de finos tipo arcilla de baja a media plasticidad color gris. Presenta espesores entre 5 m hacia la parte alta y entre 10 y 12 m en la zona media hacia la vía. Hacia la zona del río se puede presentar espesores del orden de 14 m de espesor producto de la mayor acumulación. Este depósito coluvial está asociado directamente a los procesos de remoción en masa en movimiento identificados en la geología local (Fotografía 7.3).



Sondeo 2 – 3.85 – 4.30 m



Sondeo 3 3.60-4.05 m

Fotografía 7.3 Depósito coluvial

La zona de falla se identifica entre una profundidad de 7 m y 11 m con un mayor contenido de humedad y remoldeo del material (Fotografía 7.4)



Sondeo 2 – 9.40 – 9.55 m



Sondeo 3. 10.95 – 11-40 m

Fotografía 7.4 Zona de contacto movimiento deposito coluvial – roca diaclasada

Limolitas verdes y lutitas negras / Areniscas micáceas con niveles de limolitas calcáreas

Debajo del depósito coluvial se identifica hacia la parte superior limolitas y lutitas negras con alto diaclasamiento o fracturamiento generando baja a nula recuperación de muestras o muestras en bloques disgregados. Hacia la parte alta del movimiento se observa mayor predominio de limolitas y lutitas negras. Hacia la parte baja desde la zona de la vía se observan niveles de areniscas con intercalaciones de limolitas calcáreas, siendo estos niveles de control hacia la margen izquierda del río por procesos de socavación (Fotografía 7.5).



Sondeo 1 Profundidad 19.95m-21.95m



Sondeo 2. Profundidad 14.95m-15.95m

Fotografía 7.5 Limolitas verdes y lutitas negras

Depósito aluvial. Hacia la zona baja en el talud de corte de la vía se presenta una terraza aluvial antigua sobre el cual se encuentra apoyado en el flanco izquierdo el depósito coluvial. Esta terraza siendo antigua se presenta con condiciones estables, dura sin procesos erosivos intensos. Fue identificado en profundidad a 14 m en el sondeo 4 (Fotografía 7.6)



Sondeo 4 .Profundidad 8.60m-10.60m

Fotografía 7.6 Depósito aluvial antiguo – Sondeo 4

Caracterización de materiales

Composición granulométrica.

Los % de granulometría, asociados a tamaño grava, arena y finos de las muestras obtenidas en campo pueden ser representados en la Figura 7.1 con la profundidad:

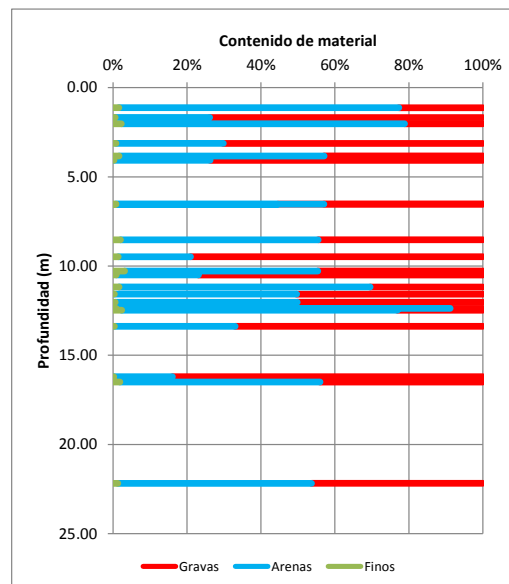


Figura 7.1 Composición granulométrica de % grava, % arena y % finos

Se puede observar que el contenido de finos de muestras es mínimo. Los materiales son predominantemente granulares con proporción uniforme entre gravas y arenas. El depósito coluvial es predominantemente granular ubicado arriba de los 12 m.

Plasticidad

La carta de plasticidad de los materiales y su fracción fina teniendo en cuenta la maceración de algunos materiales con el fin de aportar mayor material fino se muestra en la Figura 7.2

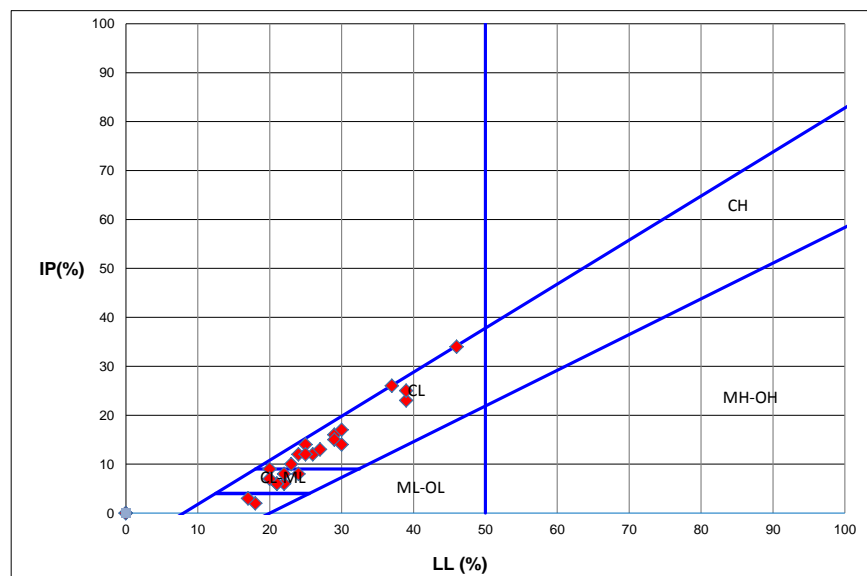


Figura 7.2 Carta de plasticidad para el depósito

Los valores caracterizan a una matriz de baja plasticidad tipo arcillosa clasificando como CL a arcilla limosa CL-ML.

La caracterización del perfil geotécnico en profundidad de humedad natural y humedad de plasticidad límite líquido y límite plástico se relaciona en la Figura 7.3

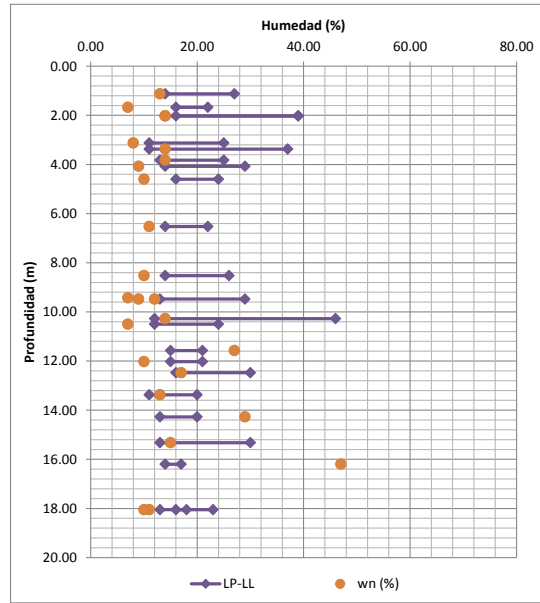


Figura 7.3 Humedad, plasticidad y profundidad de muestreo

Se observa un perfil uniforme en plasticidad siendo aumento de humedad a 12 m, 14 m y 16 m. En la zona de movimiento se observa mayor plasticidad y puntos de mayor humedad con valores superiores al límite líquido, generando problemas de fluencia plástica en suelo.

Peso unitario

El valor de peso unitario total con la profundidad se presenta en la Figura 7.4

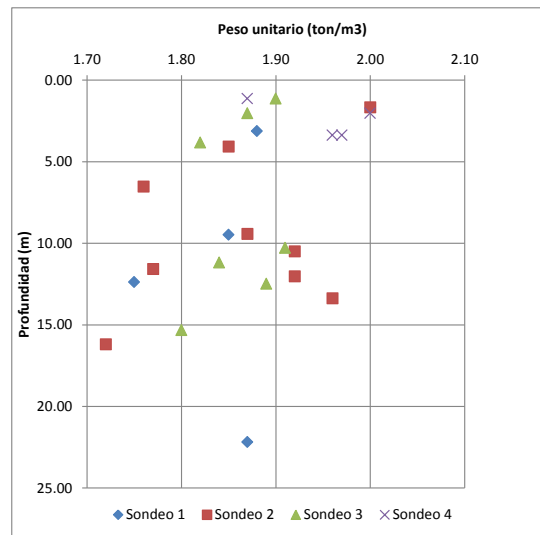


Figura 7.4 Peso unitario total con profundidad

Los valores oscilan entre 1.70 t/m^3 y 2.0 t/m^3 . Se observa una disminución progresiva del peso unitario hasta los 10 m donde nuevamente se aumenta asociado a los niveles de roca diaclasada.

Corte directo

Se efectuaron tres cortes directos consolidados drenados en muestras remoldeadas y molde normalizado obteniendo los siguientes resultados:

Sondeo	Muestra	De (m)	A (m)	Cohesión (kPa)	Angulo de fricción
1	12	9.7	10.15	9-10	48
3	6	2.25	2.7	9	41

Tabla 7.3 Ensayos de corte directo

7.1.3 Análisis retrospectivo

De acuerdo con las características del sector se generaron diferentes modelos de estabilidad por material y sus propiedades. Para este análisis se contó con el programa Slide 6.0® licenciado.

El programa utiliza el método de equilibrio límite para el análisis. Se puede definir para las condiciones del suelo el siguiente modelo de análisis: Se definen la o las secciones típicas para análisis, la configuración o perfil geotécnico y sus propiedades mecánicas. Posterior a esto se define el mecanismo de falla y los niveles de aceptación que es función del factor de seguridad, FS para las combinaciones de variables aleatorias extremas como son: parámetros geomecánicos (c y Φ) e influencia de los sismos y las lluvias.

Se definió un modelo con el fin de determinar las condiciones de estabilidad teniendo en cuenta las profundidades de materiales, valores de parámetros geomecánicos y condiciones geológicas.

Consideraciones de agua

Para considerar el agua dentro del modelo se aplicó el concepto de r_u . Esta variable se conoce como el coeficiente de presión de poros y está definido como la relación de presión de poros u y el producto del esfuerzo total como el peso unitario total Y_t y la altura del punto en el suelo, es decir:

$$r_u = \frac{\mu}{\gamma_t H}$$

El valor de r_u matemáticamente oscila entre 0 y 1. Para un suelo completamente saturado el valor de r_u corresponde a la relación de pesos unitarios del agua y del suelo y entendiendo que el agua en general tiene un peso unitario de 1 t/m^3 el valor de r_u es directamente igual a $1/\gamma_t$. Para un peso unitario de 2 t/m^3 el valor de r_u no es superior a 0,5 para un suelo completamente saturado.

Para los análisis de estabilidad se asume un valor de $r_u = 0.15$ con lo cual se considera que el suelo se encuentra parcialmente saturado. Algo importante del r_u es que considera cada punto de suelo saturado, de acuerdo a la cota o profundidad que tenga. Este valor de 0.15 fue aplicado a la masa deslizada, además de contar con un nivel permanente de agua asociado al modelo hidrogeológico de la zona.

Esta condición es conservadora en razón a que si se trabaja con un nivel freático o tabla dada no todos los puntos están con presión de poros y solo depende de los puntos que estén debajo de este nivel. Es importante tener esto en cuenta para la evaluación de obras.

Consideraciones de sismo

Con el fin de evaluar la intensidad del sismo de diseño para la zona se evaluó y se recopiló información de aceleración y el nivel de amenaza sísmica que se tiene para el país, se tomó lo dado en NSR 10 de un valor de aceleración pico efectiva $A_a=0.35 \text{ g}$.

Teniendo en cuenta la tabla H.5.2-1 de la NSR10 es posible trabajar con un valor del 80% como mínimo para suelos, enrocados y macizos rocosos, obteniendo un valor de 0.28 g.

Análisis retrospectivo

El planteamiento básico del modelo considera que el suelo se encuentra en condiciones residuales, en falla progresiva y por tanto el aporte de la cohesión es mínimo a nulo para el material sobre el cual se genera la superficie de falla.

El análisis retrospectivo se emplea para calibrar los parámetros de los materiales comparándolos con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio. El análisis contempla factores de seguridad cercanos a 1 dada la condición activa del proceso de remoción en masa.

Las características del material y condiciones observadas en campo permiten inferir que el movimiento de la masa de suelo comprometida en el proceso se genera a partir de superficies de falla rotacionales de radio amplio semejando el comportamiento de superficies de falla

traslacionales. Las condiciones del flujo presentan dentro de la masa algunas superficies abultadas y grietas que evidencian las condiciones mencionadas.

El criterio de falla para el sector es el incremento en el nivel de agua y de la presión de poros ocasionando la falla y el incremento en las deformaciones. Los valores obtenidos están asociados al depósito coluvial.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta la distribución de las secciones 1-1, 2-2 y 3-3 dentro del área de estudio.

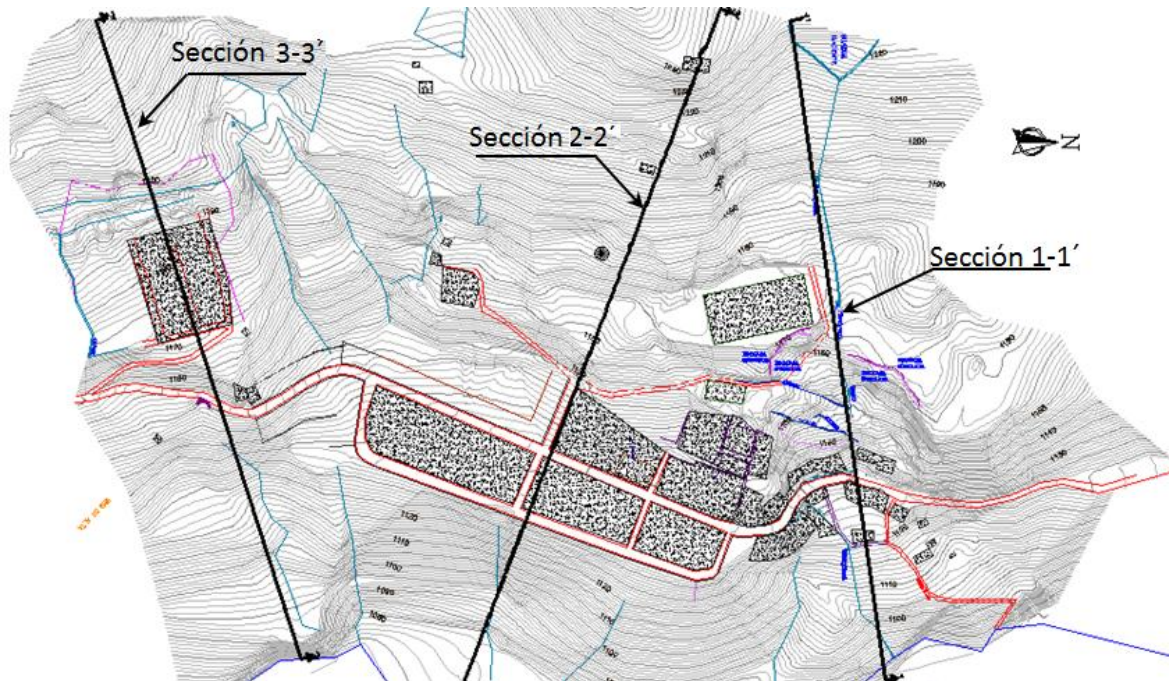


Figura 7.5 Ubicación de secciones en la zona de estudio

El modelo de análisis de la sección 1 se presenta en la Figura 7.6

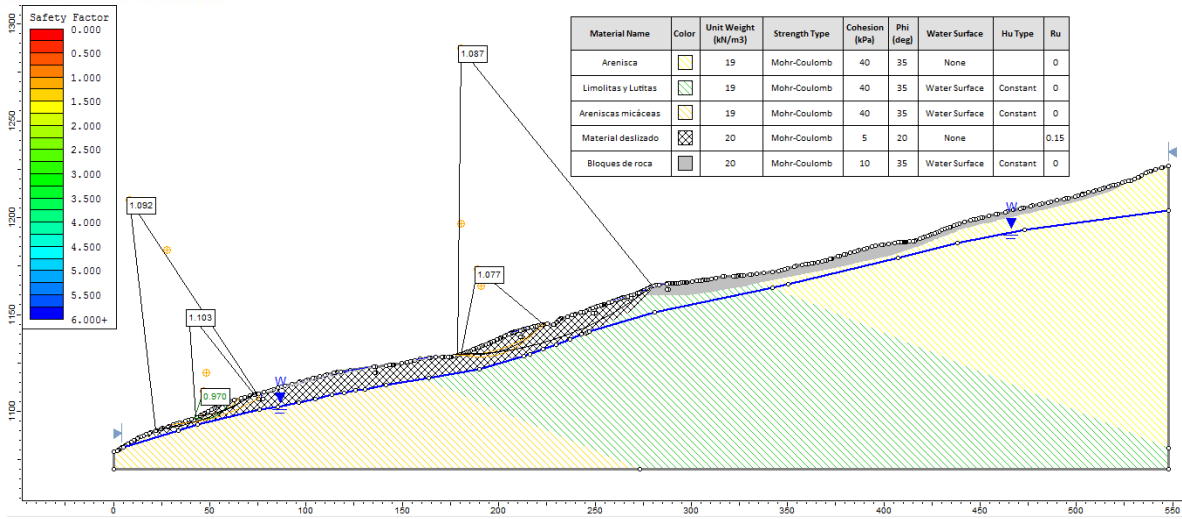


Figura 7.6 Modelo de análisis Sección 1

La variación de cohesión y ángulo de fricción con el factor de seguridad, y la variación del parámetro r_u con el factor de seguridad se representa en la Figura 7.7

Variación del Factor de Seguridad en Función de C y Phi (sin incluir variación de r_u – solo línea freática en contacto)

Variación del Factor de Seguridad con C =5kpa y Phi =20° y variando las condiciones de R_u de 0 a 0.3 para los materiales deslizados

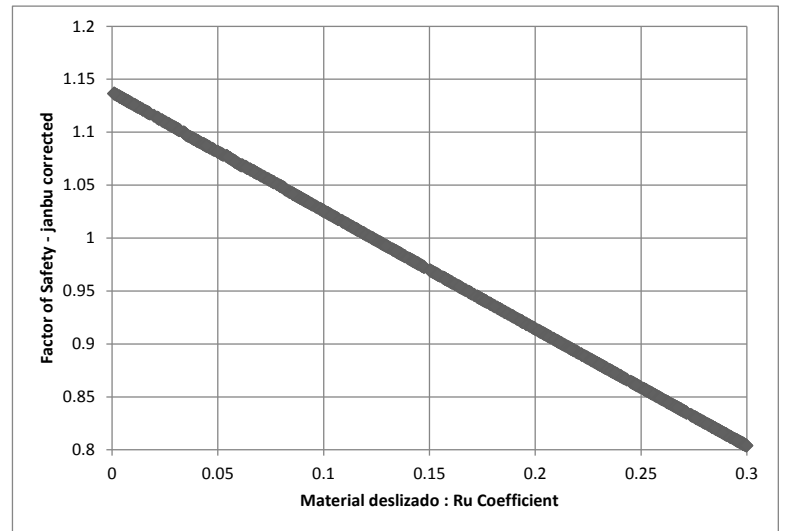
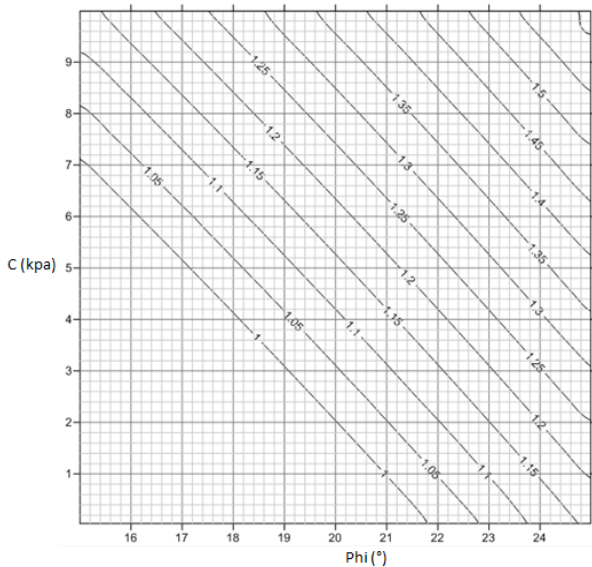


Figura 7.7 Variación de parámetros modelo retrospectivo

De estos resultados es posible concluir:

- Los valores de cohesión no son mayores a 9 kPa para obtener valores de factores de seguridad menores a 1.1.
- El ángulo de fricción debe ser superior a 15° pero no mayor a 24° para representar factores de seguridad menores a 1.1.
- El valor medio de cohesión de 5 kPa y ángulo de fricción de 20° reporta valores de factores de seguridad de 1.15. Cuando se utiliza un r_u de 0.15 los factores de seguridad son inferiores a 1.0.

Del análisis retrospectivo finalmente se obtiene las siguientes propiedades:

<i>Material</i>	<i>Angulo de Fricción (°)</i>	<i>Cohesión (kPa)</i>	<i>Peso unitario (t/m³)</i>
Material Deslizado	20	5	20
Depósito Blocoso	35	10	20

Tabla 7.4 Parámetros de resistencia de material deslizado del análisis retrospectivo

Los análisis de estabilidad para esta zona por tanto son efectuados considerando los datos anteriores con condiciones de agua de 0.15 de r_u para agua extrema, evento asociado a la temporada invernal del año 2010 y 2011. Para condiciones actuales el valor de r_u no es tenido en cuenta.

7.1.4 Evaluación de parámetros geomecánicos

Tipo de materiales

En términos geomecánicos se identifican dos unidades de materiales, el primero corresponde a las unidades rocosas, correspondientes las Arenisca, Arenisca Micácea, Lutitas y Limolitas las cuales afloran en la zona de estudio y respecto a la zona analizada las unidades rocosas solo afloran en la zona más cercana al Río Bata, parte baja de la sección de análisis. Y unidades de suelo, las cuales corresponde al material deslizado y depósitos blocosos, estos últimos ubicados en la zona alta, en cota, sobre el material deslizado.

Evaluación de condiciones de estabilidad y parámetros geomecánicos

Las condiciones observadas dan evidencia que el proceso compromete los materiales superficiales, es decir las unidades de suelo de la zona de estudio y no afecta las unidades rocosas. Por lo cual, en los modelos de análisis solo se tendrán en cuenta las propiedades de las unidades de suelo y las unidades rocosas como un control del movimiento, restringiéndolo en profundidad.

En esta zona se realizaron dos cortes directos, respectivos al sondeo 1, muestra 12 y al sondeo 3, muestra 6, a profundidades 9.70 m - 10.15 m y 2.25 m – 2.70 m. Los valores obtenidos se presentan en la Figura 7.8. El análisis retrospectivo arrojó que para los materiales deslizados la cohesión es de 5 kPa y ángulo de fricción 20° y para los depósitos blocosos arrojan valores de cohesión de 10 kPa y de ángulo de fricción 35° . A continuación unifican los parámetros geomecánicos obtenidos.

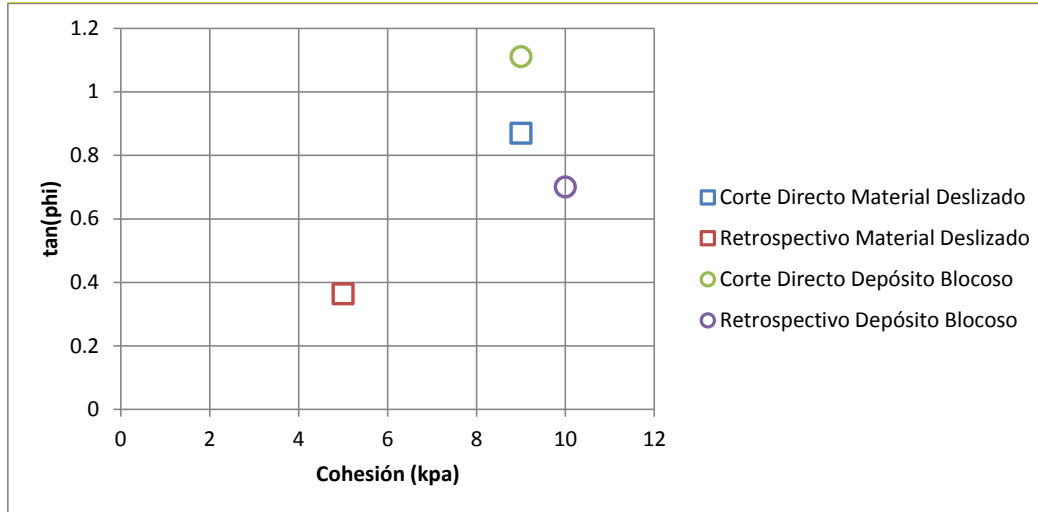


Figura 7.8 Parámetros Geomecánicos para los materiales de la sección 1-1

La anterior figura muestra como los valores de las condiciones retrospectivas son más conservativos para los materiales correspondientes a las unidades de suelo. Por lo anterior se adoptan los siguientes parámetros para el análisis de la amenaza.

Material	Angulo de Fricción ($^\circ$)	Cohesión (kPa)	Peso unitario (t/m^3)
Material Deslizado	20	5	20
Depósito Blocoso	35	10	20

Tabla 7.5 Parámetros de resistencia de material de la zona correspondiente a la sección 1-1

7.1.5 Evaluación de estabilidad para amenaza

Para la zona en deslizamiento en depósitos coluviales se efectuó el análisis mediante superficies de falla rotacionales de radio amplio, es decir desde la parte superior del radio se generan superficies sobre los escarpes de falla, luego sobre la zona de apoyo, radios amplios que simulan un modelo traslacional para que finalmente hacia la parte baja se generen superficies circulares nuevamente generando materiales conformando barrigas o levantamientos del terreno. Esta condición de modelo es la que se observa en la zona definidas por tres zonas: a) zona hacia la parte alta con el escarpe principal marcado de 2 de alto, cuyo levantamiento ocurre en la zona de las viviendas existentes, se observan grietas hacia la parte superior y media de la ladera, b) zona entre la parte superior de la vía existente conformando un talud de corte de 4 m definiendo un escarpe auxiliar cuya área se desarrolla hasta la parte media de la ladera entre la vía y el río y c) una zona desde la parte media de la ladera de la vía al río, con un escarpe del orden de 2 m de alto conformando materiales desplazados hacia el río. Estas tres unidades o bloques de falla conformando movimientos auxiliares frente al movimiento principal identificándose en el modelo como sección alta, media, baja y general como el análisis de toda la ladera.

En el caso de esta sección 1-1 se definieron las propiedades geomecánicas anteriores, un valor de r_u de 0.15 y un sismo de 0.28 g.

Los factores de seguridad obtenidos con las diferentes combinaciones se presentan en la Tabla 7.6:

Sección	Zona	Condiciones		F.S
		Agua	Sismo	
1--1	Ladera General	No	No	1.19
1--1	Ladera General	Si	No	1.01
1--1	Ladera General	No	Si	0.58
1--1	Ladera General	Si	Si	0.40
1--1	Ladera Baja	No	No	1.16
1--1	Ladera Baja	Si	No	1.05
1--1	Ladera Baja	No	Si	0.65
1--1	Ladera Baja	Si	Si	0.56

Sección	Zona	Condiciones		F.S
		Agua	Sismo	
1--1	Ladera Media	No	No	1.20
1--1	Ladera Media	Si	No	1.05
1--1	Ladera Media	No	Si	0.65
1--1	Ladera Media	Si	Si	0.55
1--1	Ladera Alta	No	No	1.16
1--1	Ladera Alta	Si	No	1.03
1--1	Ladera Alta	No	Si	0.69
1--1	Ladera Alta	Si	Si	0.58

Tabla 7.6 Factores de seguridad sección 1-1

7.2 Evaluación geotécnica de la zona potencial de reubicación

7.2.1 Exploración del subsuelo

Para la zona de potencial reubicación se efectuó la exploración orientada a definir tres aspectos:

- Profundidad y espesores de suelos residuales, saprolito o roca meteorizada o diaclasada.
- Condiciones geomecánicas de materiales roca o suelo.
- Cobertura lateral de materiales.

Para el cumplimiento de estos tres aspectos se efectuó exploración del subsuelo mediante métodos directos consistentes en sondeos mecánicos y métodos indirectos consistente en línea sísmica de refracción.

Método directo.

En total se efectuaron dos sondeos: el S6 y S7. El registro fotográfico de la ubicación de los sondeos se presenta a continuación:



Sondeo 6



Sondeo 7

Fotografía 7.7 Registro fotográfico zona de expansión

Los datos de los sondeos son presentados en el siguiente cuadro:

Sondeo	Norte	Este	Profundidad total (m)
6	1288401	1180420	10.20
7	NA	NA	9.70

Tabla 7.7 Exploración del subsuelo directa – sondeos zona inestable

Método indirecto.

Se efectuó en la zona método de refracción sísmica mediante tres líneas sísmica, las cuales abarcaron la zona en general de la zona, identificando espesores de materiales, velocidad de onda V_s y V_p . Se efectuó la línea sísmica 1 y 3 paralelo a la dirección de la pendiente y la línea 2 transversal a la dirección de pendiente. El registro fotográfico de la zona de las líneas se presenta a continuación:



Línea sísmica 1

Línea sísmica 2

Línea sísmica 3

Fotografía 7.8 Líneas sísmicas zonas potencial de expansión

7.2.2 Caracterización geomecánica

Ensayos de laboratorio

En los sondeos efectuados se obtuvieron muestras en cuchara partida SPT efectuando golpes altos por la compacidad del material. La cantidad de ensayos de laboratorio efectuados se presentan en el siguiente cuadro:

Ensayo	Cantidad
Humedad natural	12
Límite líquido y plástico	12
Granulometría	12
Peso Unitario	12
Corte Directo	1

Tabla 7.8 Ensayos de laboratorio zona de expansión

Perfil característico

Los materiales presentes en la zona potencial de expansión son los siguientes:

Suelo residual de lutita. Se presenta suelos de origen de lutita compuestos de gravas y arenas con trazas de arcillas a arcillas limosas de color habano a rojizo. Se presentan espesores entre 5 m y 7 m.

Muestra Número 5
Profundidad 1.80m-2.25m



Muestra Número 6
Profundidad 2.25m-2.70m



Muestra Número 7
Profundidad 2.70m-3.15m



Muestra Número 8
Profundidad 3.15m-3.60m



Fotografía 7.9 Suelo residual de lutita – sondeo 6

Limolitas verdes y lutitas negras

Se identifica hacia la parte superior limolitas y lutitas negras con alto diaclasamiento o fracturamiento generando baja a nula recuperación de muestras o muestras en bloques disgregados. Se identifican a partir de los 7 m de profundidad.



Fotografía 7.10 Limolitas verdes y lutitas negras

Caracterización de materiales

Composición granulométrica

Los % de granulometría, asociados a tamaño grava, arena y finos de las muestras obtenidas en campo pueden ser representados en la Figura 7.9 con la profundidad:

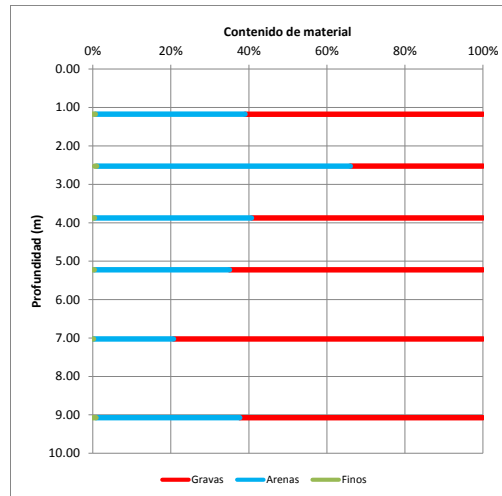


Figura 7.9 Porcentaje de composición granulométrica: grava arena y finos

El material presenta predominio de gravas y arenas mayor al 90%.

Plasticidad.

La carta de plasticidad para los sondeo 6 y 7 se presenta a continuación:

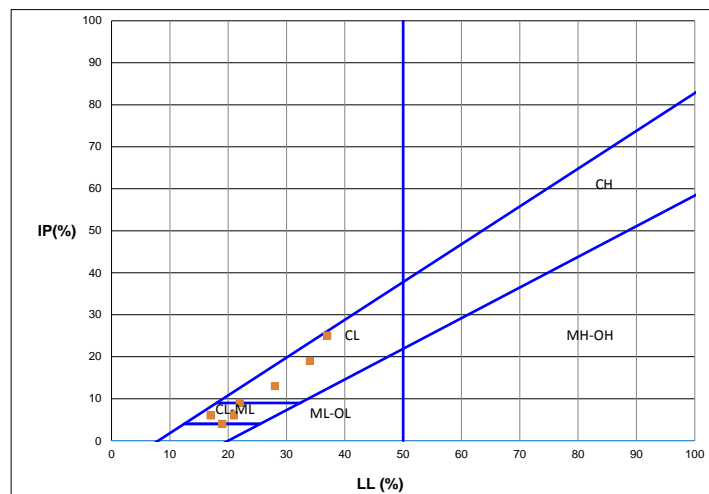


Figura 7.10 Carta de plasticidad zona potencial de expansión

Se evidencian suelos arcillosos a arcillas limosas de baja plasticidad. La plasticidad con la profundidad se representa a continuación:

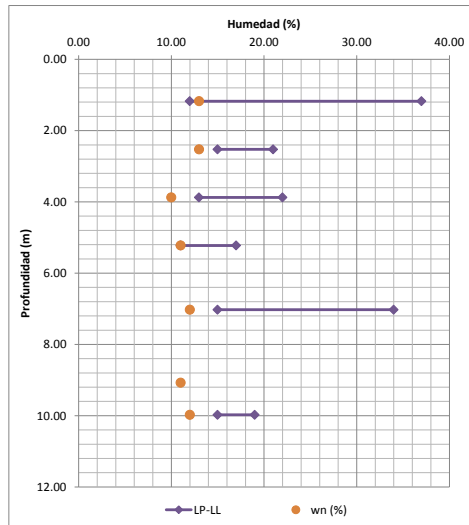


Figura 7.11 Plasticidad vs humedad

No se presenta humedad mayor al límite plástico con relativa estabilidad.

Peso unitario

El valor de peso unitario total se representa en la Figura 7.12:

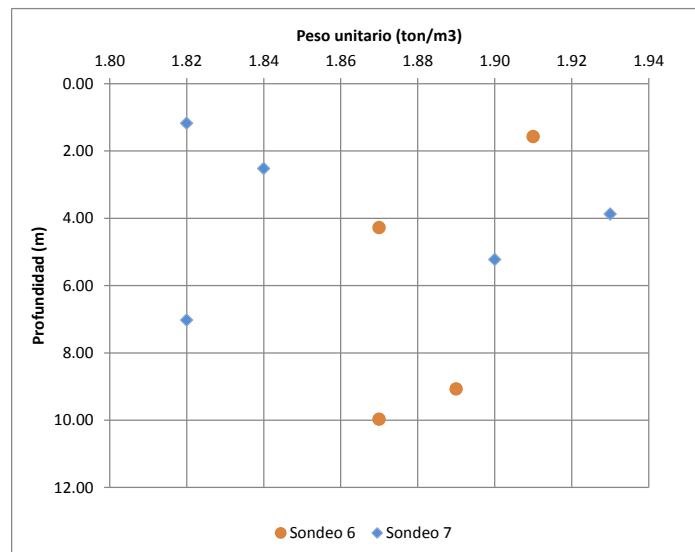


Figura 7.12 Peso unitario – profundidad

Los valores no son mayores a 1.92 t/m^3 .

Corte directo

Se efectuaron tres cortes directos consolidados drenados en muestras remoldeadas y molde normalizado obteniendo los siguientes resultados:

Sondeo	Muestra	De (m)	A (m)	Cohesión (kPa)	Angulo de fricción
6	17	8.85	9.3	30	40

Tabla 7.9 Ensayos de corte directo

7.2.3 Análisis retrospectivo

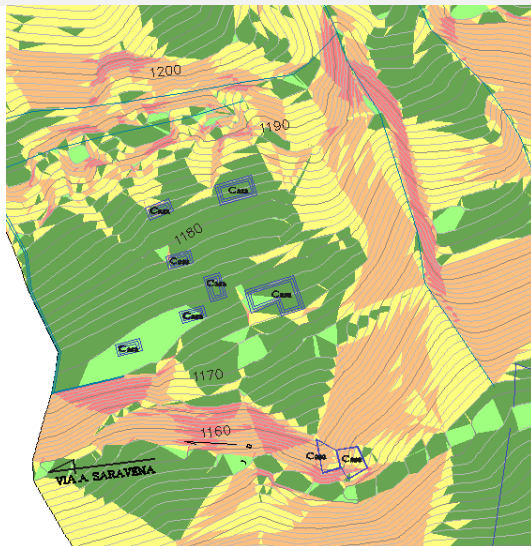
El planteamiento básico del modelo considera que el suelo se encuentra en condiciones residuales en falla progresiva y por tanto el aporte de la cohesión es mínimo a nulo para el material sobre el cual se genera la superficie de falla.

El análisis retrospectivo se emplea para calibrar los parámetros de los materiales comparándolos con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio. El análisis contempla factores de seguridad cercanos a 1.5 teniendo en cuenta que la zona no presenta movimientos actuales.

Cabe destacar que la pendiente de la zona correspondiente al de expansión es considerablemente baja y si bien los parámetros geomecánicos de los materiales se consideran residuales, los factores de seguridad correspondientes a condiciones normales deben reflejar el estado actual de la ladera. En la Figura 7.13 se muestra lo anteriormente descrito.

**Mapa de Pendientes-Zona de
Expansión**

Rangos



Rango		Ángulo asociado (°)	Color
Mínima	Máxima		
0	10	5	Light Green
10	25	15	Green
25	35	20	Yellow
35	60	30	Orange
60	>60	>30	Red

Figura 7.13 Mapa de pendientes de la Zona de Expansión

Como se puede observar en la zona de expansión, hay dos lugares donde la pendiente aumenta, teniendo valores entre 25% y 60% (20°- 30°), dichos lugares corresponderán a las zonas potencialmente inestables.

La zona central, donde se construirán las casas tiene una pendiente muy baja, no mayor a La 15° y con zonas donde la misma desciende hasta menos de 5° de inclinación. Por lo anterior no se espera inestabilidad en esta zona.

El criterio de falla para el sector es el incremento en el nivel de agua y de la presión de poros, así como el sismo ocasionando la falla. Los análisis de estabilidad retrospectivo para la zona son indicados en el Anexo 3. Estabilidad.

El modelo de análisis de la sección 3 se presenta a continuación:

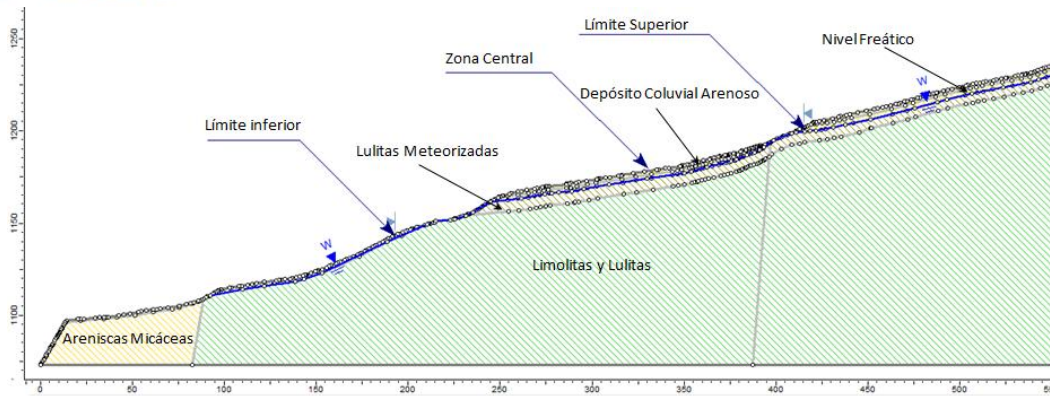


Figura 7.14 Modelo de análisis Sección 3

El modelo se caracteriza por la presencia de cuatro tipos de materiales, dos de ellos correspondientes a unidades de roca (Areniscas Micáceas y Limolitas y lutitas) y dos que corresponden a unidades de suelo (Lutitas Meteorizadas y Deposito Coluvial Arenoso).

Respecto a las unidades de roca, los procesos analizados no comprometen dichos materiales, estos limitan los procesos superficiales analizados limitando el avance del mismo y la profundidad del material movilizado.

Las unidades de suelo, y específicamente la unidad coluvial la cual será foco de la calibración de los parámetros será la unidad asociada con la inestabilidad y cuya condición arenosa correspondería a valores de cohesión bajos y de ángulos de fricción más altos esto referente a materiales más cohesivos. El espesor de esta unidad varía entre 0.0 metros y 4.5 metros.

Debido a que la condición actual es estable, los factores de seguridad más bajos en la zona han de estar asociados a condiciones de sismo, no obstante los factores de seguridad alcanzarán valores cercanos a la unidad, la ladera se encuentra en condiciones meta estables pero sin llegar a un a falla masiva de la misma.

En función de lo anterior la variación de cohesión y ángulo de fricción con el factor de seguridad se analizará para condiciones de sismo y con los niveles de agua en las capas inferiores de suelo, sin influenciar la zona que se proyecta inestable. Lo anterior se presenta en la Figura 7.15

Variación del Factor de Seguridad en Función de C y Phi (sin incluir variación de r_u – solo línea freática en contacto)-Condición de Sismo

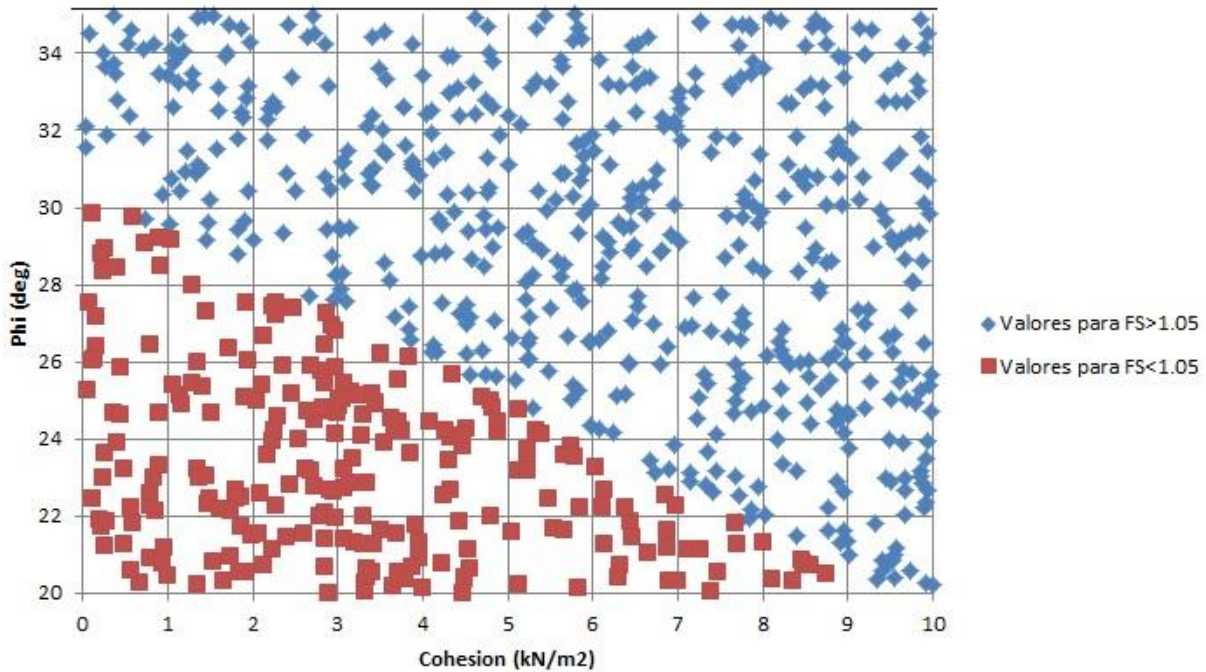


Figura 7.15 Variación de parámetros modelo retrospectivo

De estos resultados es posible concluir:

- Los valores de cohesión no son mayores a 5 kPa para obtener valores de factores de seguridad menores a 1.05
- El ángulo de fricción debe ser superior a 25 pero no mayor a 32° para representar factores de seguridad menores a 1.05
- El valor medio de cohesión de 5 kPa y ángulo de fricción de 30° reporta valores de factores de seguridad de 1.07

Del análisis retrospectivo finalmente se obtiene las siguientes propiedades:

Material	Angulo de Fricción (°)	Cohesión (kPa)	Peso unitario (t/m³)
Depósito coluvial arenoso	25	5	19

Tabla 7.10 Mapa de pendientes de la Zona de Expansión

7.2.4 Evaluación de parámetros geomecánicos

Tipo de materiales

En términos geomecánicos se identifican dos unidades de materiales, el primero corresponde a las unidades rocosas, correspondientes las Arenisca Micácea y Lutitas y Limolitas las cuales afloran en la zona de estudio y respecto a la zona analizada las unidades rocosas solo afloran en la zona más cercana al Río Batá, parte baja de la sección de análisis. Y unidades de suelo, las cuales corresponden a depósitos coluviales arenosos y lutitas meteorizadas, estos últimos ubicados bajo los depósitos coluviales.

Evaluación de condiciones de estabilidad y parámetros geomecánicos

Las condiciones observadas dan evidencia que el proceso compromete los materiales superficiales, es decir las unidades de suelo de la zona de estudio y no afecta las unidades rocosas. Por lo cual, en los modelos de análisis solo se tendrán en cuenta las propiedades de las unidades de suelo y las unidades rocosas como un control del movimiento, restringiéndolo en profundidad.

En esta zona se realizó un corte directo, respectivo al sondeo 6, muestra 17, a profundidad de 8.85 metros-9.30 metros. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 7.9. El análisis retrospectivo arrojó que para los depósitos coluviales arenosos la cohesión es de 5 kpa y ángulo de fricción 25° y para la lutita meteorizada arrojan valores de cohesión de 9 kpa y de ángulo de fricción 20° . A continuación unifican los parámetros geomecánicos obtenidos.

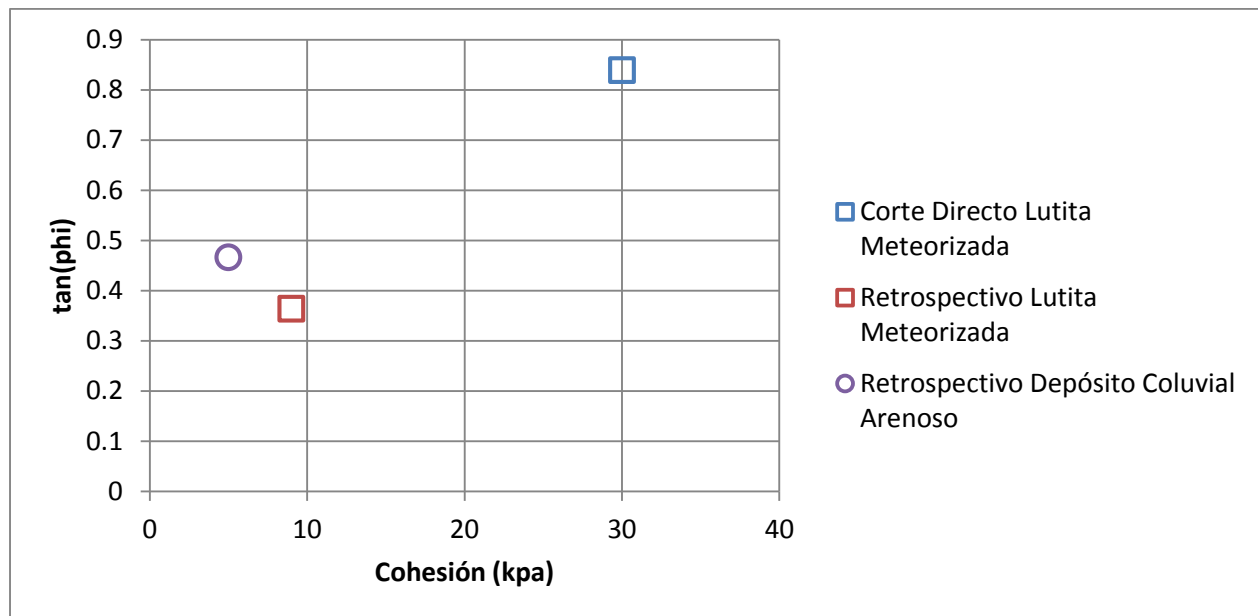


Figura 7.16 Parámetros Geomecánicos para los materiales de la sección 3-3

La anterior figura muestra como los valores de las condiciones retrospectivas son más conservativos para los materiales correspondientes a las unidades de suelo. Por lo anterior se adoptan los siguientes parámetros para el análisis de la amenaza.

<i>Material</i>	<i>Angulo de Fricción (°)</i>	<i>Cohesión (kPa)</i>	<i>Peso unitario (t/m³)</i>
Lutita Meteorizada	20	9	20
Depósito Coluvial Arenoso	25	5	19

Tabla 7.11 Parámetros de resistencia de material de la zona correspondiente a la sección 3-3

7.2.5 Evaluación de estabilidad para amenaza

Para la zona en deslizamiento en depósitos coluviales se efectuó el análisis mediante superficies de falla rotacionales de radio amplio, es decir desde la parte superior del radio se generan superficies sobre los escarpes de falla, luego sobre la zona de apoyo, radios amplios que simulan un modelo traslacional para que finalmente hacia la parte baja se generen superficies circulares nuevamente generando materiales conformando barrigas o levantamientos del terreno. Esta condición de modelo es la que se observa en la zona definidas por tres zonas: a) zona hacia la parte alta con el escarpe principal marcado de 2 de alto, cuyo levantamiento ocurre en la zona de las viviendas existentes, se observan grietas hacia la parte superior y media de la ladera, b) zona entre la parte superior de la vía existente conformando un talud de corte de 4 m definiendo un escarpe auxiliar cuya área se desarrolla hasta la parte media de la ladera entre la vía y el río y c) una zona desde la parte media de la ladera de la vía al río, con un escarpe del orden de 2 m de alto conformando materiales desplazados hacia el río. Estas tres unidades o bloques de falla conformando movimientos auxiliares frente al movimiento principal identificándose en el modelo como sección alta, media, baja y general como el análisis de toda la ladera.

En el caso de esta sección 1-1 se definieron las propiedades geomecánicas anteriores, un valor de r_u de 0.15 y un sismo de 0.28 g. El modelo de falla desarrollado y los diferentes análisis se presenta en el Anexo 3 análisis de estabilidad.

Los factores de seguridad obtenido con las diferentes combinaciones se presentan a continuación:

Sección	Zona	Condiciones		F.S
		Agua	Sismo	
3--3	Baja	No	No	2.050
3--3	Baja	Si	No	1.818
3--3	Baja	No	Si	1.084
3--3	Baja	Si	Si	0.953
3--3	Alta	No	No	2.386
3--3	Alta	Si	No	2.082
3--3	Alta	No	Si	1.070
3--3	Alta	Si	Si	0.926

Tabla 7.12 Factores de seguridad para la sección 3-3

7.3 Evaluación geotécnica de la zona central

7.3.1 Análisis retrospectivo

Las consideraciones del modelos, tienen en cuenta que la zona baja de la zona de análisis, donde se encuentran las terrazas aluviales ha pasado con condiciones de sismo y agua muy adversas sin llevar a la zona a condiciones de falla, por esto y debido a que las terrazas de la zona están compuestas en mayor medida de materiales granulares, los valores de fricción esperados son altos siendo valores de cohesión menores en función de la matriz que caracteriza la zona. Respecto a la zona alta, donde se encuentra un depósito coluvial, el espesor de los mismos no es considerable, 5.0 metros aproximadamente, no obstante sus condiciones hacen que no se esperen valores de seguridad altos en esta zona y será su susceptibilidad coherente con el origen de los materiales.

El análisis retrospectivo se emplea para calibrar los parámetros de los materiales comparándolos con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio. El análisis contempla factores de seguridad cercanos a 1.5 teniendo en cuenta que la zona no presenta movimientos actuales.

El criterio de falla para el sector estará relacionado con las condiciones críticas de análisis, donde la influencia del agua sumada a las características del sismo de diseño se evalúa para llevar la ladera a condiciones de falla. Los análisis de estabilidad retrospectivo para la zona son indicados en el Anexo 3. Estabilidad.

El modelo de análisis de la sección 2 se presenta a continuación:

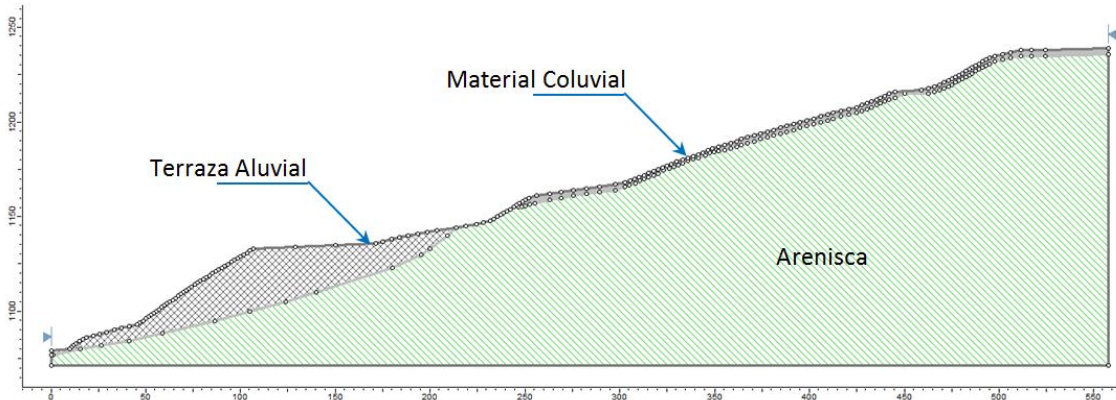


Figura 7.17 Modelo de análisis Sección 2

El modelo se caracteriza por la presencia de tres tipos de materiales, dos de ellos correspondientes a unidades de suelo (Terraza Aluvial y Material Coluvial) y uno que corresponden a unidades de roca (Arenisca).

Respecto a las unidades de roca, los procesos analizados no comprometen dichos materiales, estos limitan los procesos superficiales analizados limitando el avance del mismo y la profundidad del material movilizado.

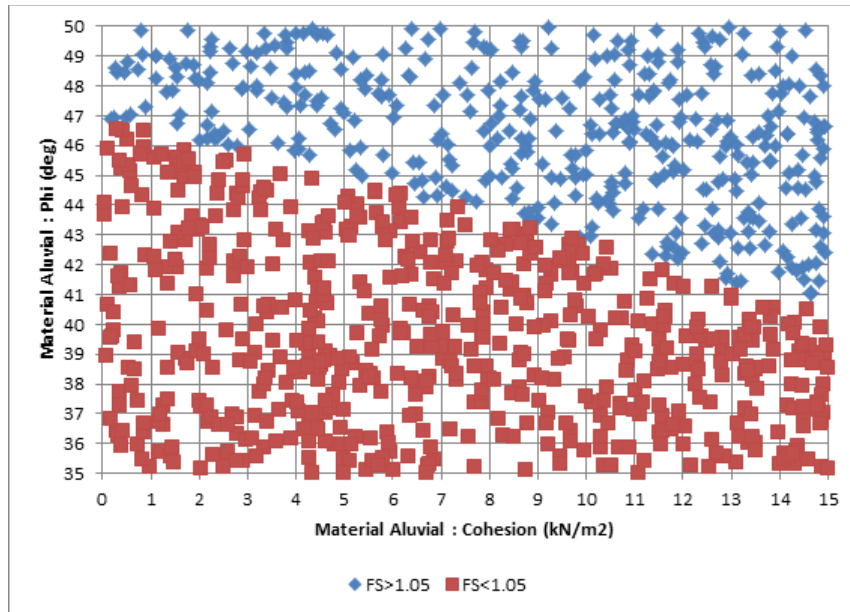
Las unidades de suelo, y específicamente la unidad coluvial la cual será foco de la calibración de los parámetros será la unidad asociada con la inestabilidad y cuya condición arenosa correspondería a valores de cohesión bajos y de ángulos de fricción más altos esto referente a materiales más cohesivos. Lo anterior respecto a la zona alta.

Debido a que la condición actual es estable, los factores de seguridad más bajos en la zona han de estar asociados a condiciones de sismo y agua.

En función de lo anterior la variación de cohesión y ángulo de fricción con el factor de seguridad se analizará para condiciones de sismo y se buscarán valores que vislumbren las condiciones de estabilidad de la ladera antes mencionadas.

Variación del Factor de Seguridad en Función de C y Phi (sin incluir variación de r_u)-Condición de Sismo

Zona Baja



Zona Alta

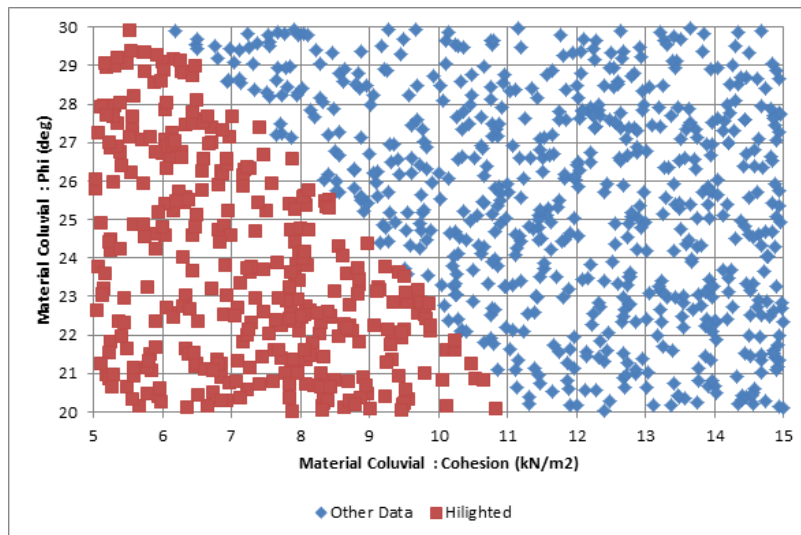


Figura 7.18 Variación de parámetros modelo retrospectivo

De estos resultados es posible concluir:

- Para la zona alta los valores de cohesión y ángulo de fricción 10 kN/m² y 25°, estos valores son mayores a los valores del depósito coluvial de la zona inestable, esto debido a que si bien los materiales pueden tener un origen similar, las condiciones de estabilidad actuales permiten suponer que los materiales de esta zona tienen características geomecánicas más favorables.
- La zona baja, donde se encuentran las terrazas aluviales, sus fuertes taludes y condiciones de estabilidad favorables, indican valores de fricción considerablemente altos, los valores medios obtenidos de este análisis se presentan en la siguiente tabla.

Del análisis retrospectivo finalmente se obtiene las siguientes propiedades:

Material	Angulo de Fricción (°)	Cohesión (kPa)	Peso unitario (t/m³)
Depósito coluvial	25	10	19
Terraza Aluvial	45	10	20

Tabla 7.13 Parámetros de resistencia de material deslizado del análisis retrospectivo

Los análisis de estabilidad para esta zona por tanto son efectuados considerando los datos anteriores con condiciones de agua de 0.15 de r_u para agua extrema, evento asociado a la temporada invernal del año 2010 y 2011. Para condiciones actuales el valor de r_u no es tenido en cuenta.

7.3.2 Evaluación de estabilidad para amenaza

La evaluación de los niveles de amenaza para la zona central se divide en dos zonas. La parte alta, correspondiente a la ladera arriba del pueblo, donde los materiales superficiales se clasifican como depósitos coluviales y su comportamiento está influenciado por su bajo espesor y por los afloramientos rocosos continuos en la ladera que limitan el proceso. La parte baja, donde la terraza aluvial donde se encuentra Batá domina el comportamiento del análisis.

En el caso de esta sección 2-2 se definieron las propiedades geomecánicas anteriores, un valor de r_u de 0.15 y un sismo de 0.28 g. El modelo de falla desarrollado y los diferentes análisis se presentan en el Anexo 3 análisis de estabilidad.

Los factores de seguridad obtenidos con las diferentes combinaciones se presentan en la Tabla 7.14

Sección	Zona	Agua	Sismo	FS
2--2	Alta	No	No	1.7
2--2	Alta	Si	No	1.6
2--2	Alta	No	Si	1.1
2--2	Alta	Si	Si	1.0
2--2	Media	No	No	1.9
2--2	Media	Si	No	1.6
2--2	Media	No	Si	1.1
2--2	Media	Si	Si	1.0

Tabla 7.14 Factores de seguridad sección 2-2

7.4 Evaluación geotécnica de la zona aledaña a la zona a la reubicación

7.4.1 Exploración del subsuelo

Tipo de materiales

La sección de análisis en esta zona es la sección 4-4 la cual se encuentra ubicada a la quebrada aledaña a la zona de reubicación. Dicha sección se caracteriza por la unidad rocosa bajo los materiales superficiales, suelo orgánico y parte de la lutita meteorizada que se identifica en la sección geológica 3-3. El espesor de estos materiales superficiales puede variar entre 0.0 metros 1.5 m en función de la pendiente. Las condiciones de agua son considerablemente altas, esto relacionado con las condiciones de agua de otras secciones. Lo anterior debido a la cercanía con la quebrada de la zona.

El modelo de análisis de la sección 4 se presenta a continuación:

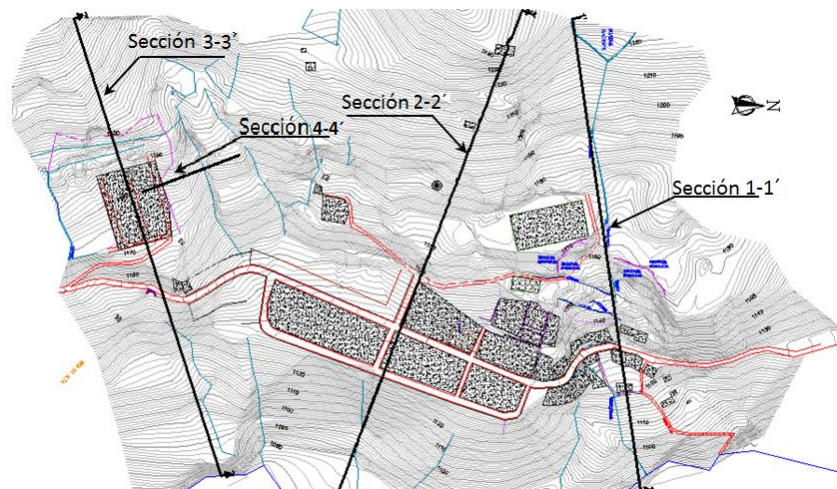


Figura 7.19 Ubicación de la sección 4-4 en la zona de estudio

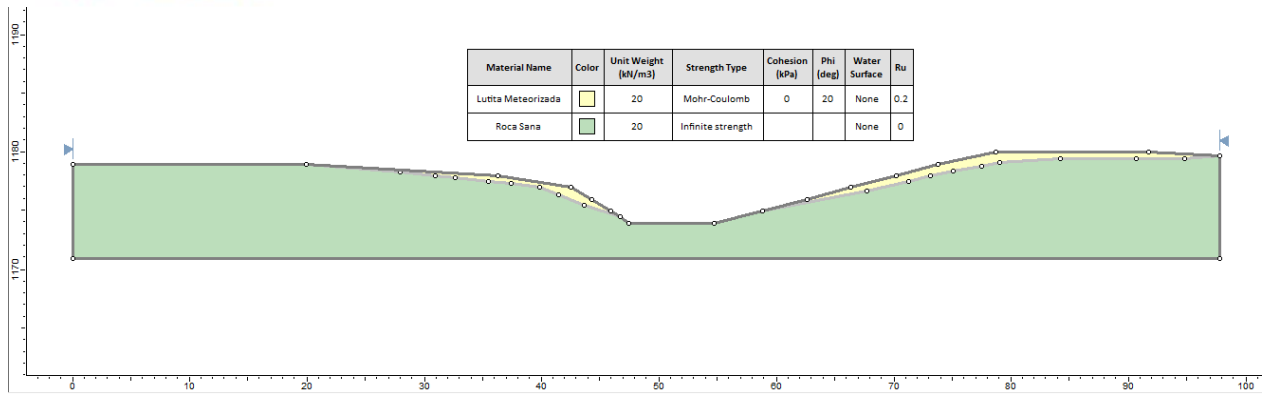


Figura 7.20 Modelo de análisis Sección 4

7.4.2 Evaluación de condiciones de estabilidad y parámetros geomecánicos

Las condiciones de los parámetros geomecánicos están muy relacionadas con las condiciones de la roca que subyace a los materiales superficiales. Por lo cual parámetros similares a los de la lutita meteorizada pero con valores de cohesión nulos, son una aproximación conservativa pero cercana a lo observado en las visitas de campo.

Material	Angulo de Fricción (°)	Cohesión (kPa)	Peso unitario (t/m ³)
Lutita Meteorizada	20	9	20

Tabla 7.15 Parámetros de resistencia de material de la zona correspondiente a la sección 4-4

7.4.3 Evaluación de estabilidad para amenaza

La evaluación de esta zona corresponde a la limitación de la zona de reubicación, debido a las condiciones superficiales de los materiales susceptibles a movimiento, se presentarán superficies de falla con radios muy amplios. Las condiciones de sismo son las mismas a las evaluadas anteriormente donde la aceleración $A_g=0.28$; respecto a las condiciones de agua estas son mayores a las evaluadas en los otros modelos, en este caso en condiciones normales el valor de R_u es de 0.2 y extremas 0.3.

Sección	Agua	Sismo	FS
4--4	No	No	1.0
4—4	Si	No	0.8
4—4	No	Si	0.7
4—4	Si	Si	0.6

Tabla 7.16 Factores de seguridad sección 4-4

8. ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA

8.1 Zonificación de amenaza para la zona inestable

Se aplicará las consideraciones dadas de acuerdo a la resolución No. 227 de 2006 de la DPAE para el distrito capital, la cual debe ser realizada de acuerdo a los siguientes niveles de amenaza:

Amenaza	Condiciones normales FS
Baja	>1.9
Media	1.2-1.9
Alta	<1.2
Amenaza	Condición extrema (50 años) FS
Baja	>1.30
Media	1.05 – 1.3
Alta	<1.05

Tabla 8.1 Niveles de Amenaza, DPAE, Resolución No. 227 de 2006

Los datos de factores de seguridad analizados bajo el contexto anterior se presentan en la Tabla 8.1 y la distribución de secciones según la Figura 7.5

Sección	Zona	Condiciones		F.S	Niveles de Amenaza	
		Agua	Sismo		Normal	Extrema
1--1	Ladera General	No	No	1.19	ALTA	
1--1	Ladera General	Si	No	1.01	ALTA	
1--1	Ladera General	No	Si	0.58		ALTA
1--1	Ladera General	Si	Si	0.40		ALTA
1--1	Ladera Baja	No	No	1.16	ALTA	
1--1	Ladera Baja	Si	No	1.05	ALTA	
1--1	Ladera Baja	No	Si	0.65		ALTA
1--1	Ladera Baja	Si	Si	0.56		ALTA
1--1	Ladera Media	No	No	1.20	MEDIA	
1--1	Ladera Media	Si	No	1.05	ALTA	
1--1	Ladera Media	No	Si	0.65		ALTA
1--1	Ladera Media	Si	Si	0.55		ALTA
1--1	Ladera Alta	No	No	1.16	ALTA	
1--1	Ladera Alta	Si	No	1.03	ALTA	
1--1	Ladera Alta	No	Si	0.69		ALTA
1--1	Ladera Alta	Si	Si	0.58		ALTA

Tabla 8.2 Análisis de amenaza sección 1-1

Con los datos anteriores y de acuerdo a la geomorfología y pendientes de la zona se identifican dos planos: amenaza actual y amenaza futura con agua o sismo (condición similar para esta ladera). Estos resultados son presentados en el Plano 7 Amenaza actual y futura.

8.2 Zonificación de amenaza para la zona de potencial reubicación

Se aplicará las consideraciones dadas de acuerdo a la resolución No. 227 de 2006 de la DPAE para el distrito capital, la cual debe ser realizada de acuerdo a los siguientes niveles de amenaza, dados por la Tabla 8.1:

Los datos de factores de seguridad analizados bajo el contexto anterior se presentan en la siguiente tabla.

Sección	Zona	Condiciones		F.S	Niveles de Amenaza	
		Agua	Sismo		Normal	Extrema
3-3	Baja	No	No	2,050	BAJA	
3-3	Baja	Si	No	1,818	MEDIA	
3-3	Baja	No	Si	1,084		MEDIA
3-3	Baja	Si	Si	0,953		ALTA
3-3	Alta	No	No	2,386	BAJA	
3-3	Alta	Si	No	2,082	BAJA	
3-3	Alta	No	Si	1,070		MEDIA
3-3	Alta	Si	Si	0,926		ALTA

Tabla 8.3 Análisis de amenaza sección 3-3

Con los datos anteriores y de acuerdo a la geomorfología y pendientes de la zona se identifican dos planos: amenaza actual y amenaza futura con agua o sismo (condición similar para esta ladera). Estos resultados son presentados en el Plano 7 Amenaza actual y futura.

8.3 Zonificación de amenaza para la zona central

Se aplicará las consideraciones dadas de acuerdo a la resolución No. 227 de 2006 de la DPAE para el distrito capital, la cual debe ser realizada de acuerdo a los siguientes niveles de amenaza, dados por la Tabla 8.1.

Los datos de factores de seguridad analizados bajo el contexto anterior se presentan en la siguiente tabla.

Sección	Zona	Condiciones		F.S	Niveles de Amenaza	
		Agua	Sismo		Normal	Extrema
2-2	Alta	No	No	1.7	MEDIA	
2-2	Alta	Si	No	1.6	MEDIA	
2-2	Alta	No	Si	1.1		MEDIA
2-2	Alta	Si	Si	1.0		ALTA
2-2	Media	No	No	1.9	BAJA	
2-2	Media	Si	No	1.6	MEDIA	
2-2	Media	No	Si	1.1		MEDIA
2-2	Media	Si	Si	1.0		ALTA

Tabla 8.4 Análisis de amenaza sección 2-2

Con los datos anteriores y de acuerdo a la geomorfología y pendientes de la zona se identifican dos planos: amenaza actual y amenaza futura con agua o sismo (condición similar para esta ladera). Estos resultados son presentados en el Plano 7 Amenaza actual y futura.

8.4 Zonificación de amenaza para la zona central

Se aplicará las consideraciones dadas de acuerdo a la resolución No. 227 de 2006 de la DPAAE para el distrito capital, la cual debe ser realizada de acuerdo a los siguientes niveles de amenaza, dados por la Tabla 8.1.

Los datos de factores de seguridad analizados bajo el contexto anterior se presentan en la siguiente tabla.

Sección	Condiciones		F.S	Niveles de Amenaza	
	Agua	Sismo		Normal	Extrema
4--4	No	No	1.0	Alta	
4-4	Si	No	0.8	Alta	
4-4	No	Si	0.7		Alta
4-4	Si	Si	0.6		Alta

Tabla 8.5 Análisis de amenaza sección 4-4

Con los datos anteriores y de acuerdo a la geomorfología y pendientes de la zona se identifican dos planos: amenaza actual y amenaza futura con agua o sismo (condición similar para esta ladera). Estos resultados son presentados en el Plano 7 Amenaza actual y futura.

9. VULNERABILIDAD POR REMOCIÓN EN MASA

El área de estudio es de 9.65 Ha, en las que se encuentran aproximadamente 250 predios, por lo que la realización del levantamiento de la información resultaba muy costo y extenso. En ese sentido se aplicó un análisis muestral para obtener una muestra representativa de la zona, es decir que reflejara adecuadamente las características del conjunto de la zona de estudio.

Para la definición del número de viviendas ha inventariar en la vulnerabilidad física de viviendas y social, el tamaño de la muestra se selección con procedimientos básicos de estadística.

En ese sentido para una población de 250 predios y un nivel de confianza del 95% el tamaño de la muestra es de 66 viviendas.

Para la toma de adquisición y registro de información en campo de vulnerabilidad física de viviendas se utilizan los formatos de Vulnerabilidad Estructural (Física de viviendas) definidos al inicio del estudio. El proceso para la toma de datos consta de los siguientes pasos:

- a. Ingreso a la edificación.
- b. Se diligencian datos iniciales como fecha de la evaluación, hora, dirección, nombre del propietario, edad de la construcción, para esto se recurre a información proporcionada por la persona residente o encargada en la edificación.
- c. Recorrido por la edificación y diagnostico visual por parte del evaluador.
- d. Toma de fotografías como vistas generales, visuales del sistema estructural y patologías estructurales, si las hay.
- e. Se realizan preguntas a los habitantes del predio según el instructivo de los formularios de vulnerabilidad estructural y social.
- f. Diligenciar la evaluación en el formulario de acuerdo con la metodología y el diagnóstico realizado en el paso c.

9.1 Vulnerabilidad física de viviendas

La vulnerabilidad, entendida como la predisposición intrínseca de un sujeto o de un elemento a sufrir daño debido a posibles acciones externas (La Red, 2000), o como “el porcentaje de pérdida de un elemento o de un grupo de elementos en un área sometida a una amenaza” (Uzielli et al, 2008), es función de la exposición y de la resistencia, variables dependientes a su vez de la solicitud de un evento en este caso un deslizamiento. El grado de severidad de las consecuencias esperadas, es medible. 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, 2000). Su evaluación contribuye en forma fundamental al conocimiento del riesgo mediante interacciones del elemento susceptible con el ambiente peligroso; en otras palabras, tiene como objetivo analizar la respuesta de los elementos (i.e. las viviendas, las redes de servicios públicos, etc) frente a los potenciales fenómenos de remoción en masa. Combinado con la evaluación de amenaza pretende dilucidar el(los) tratamiento(s) por adelantar.

La evaluación de la vulnerabilidad física se realizará para todos los elementos expuestos, frente a las amenazas identificadas; este análisis arroja como resultado una valoración semi cuantitativa y debe incluir los siguientes aspectos fundamentales:

Identificar todos los elementos expuestos, tanto estructuras como elementos de infraestructura ante las amenazas identificadas, tanto las actuales como las potenciales.

Evaluar el grado de exposición de los elementos expuestos ante las amenazas identificadas, tanto las actuales como las potenciales.

Evaluar la capacidad de respuesta de los elementos expuestos ante las amenazas identificadas, tanto las actuales como las potenciales, a partir de las características estructurales específicas frente a las posibles sollicitaciones a que se expondría ante la ocurrencia de los procesos de inestabilidad.

A la luz de la concepción de vulnerabilidad adoptada en este proyecto, la determinación de un índice que permita evaluarla, involucra las variables: resistencia y solicitud. Su asignación trae consigo grados de incertidumbre que aunada con la ausencia de modelos objetivos, universales y de apropiado sustento teórico, hacen que esta tarea recaiga en los métodos de racionamiento aproximado, y por ende, encierre algún nivel de subjetividad. Sin embargo, y en aras de subsanar estas limitaciones el modelo que se emplea en este estudio, está fundada en la propuesta de Leone (1996) y Leone et al (1996). Este procedimiento expresa la vulnerabilidad en función de los posibles daños que pueden sufrir los elementos situados en la zona de afectación previsible por el fenómeno, daños definidos en formas teórica y porcentual, a partir de las intensidades de daño. Aunque Leone (1996) categoriza los niveles de resistencia con base en los sistemas estructurales de las unidades residenciales, en este caso se toman en cuenta otras variables como: la calidad de la construcción, los sistemas de cimentación, la estructura y el recubrimiento de la cubierta y los daños en la construcción.

9.2 Vulnerabilidad estructural de edificaciones

9.2.1 Metodología de adquisición y registro de información en campo

La vulnerabilidad de las edificaciones depende de diferentes factores involucrados tanto durante el proceso de construcción como durante su uso y ocupación, una mayor vulnerabilidad aumenta el riesgo de las edificaciones a sufrir daños, e incluso colapsar, ante la ocurrencia de eventos extremos como fenómenos de remoción en masa, inundación o sismos de mediana y gran magnitud. La falta de planificación urbana, los procesos de autoconstrucción, el desconocimiento de las normas de construcción, el elevado crecimiento demográfico y los desarrollos subnormales en áreas propensas a la acción de fenómenos inducidos aumentan los índices de vulnerabilidad de las edificaciones.

Variables implicadas como el sistema constructivo, el tipo de materiales, año de construcción, topografía, el entorno, los daños presentes, entre otras, permiten evaluar la vulnerabilidad física de las viviendas. Con base en estos factores, se determinará el grado de vulnerabilidad que se define como la susceptibilidad de la vivienda a sufrir daños estructurales en caso de un evento determinado.

El proceso para la toma de datos consta de los siguientes pasos:

1. Ingreso a la edificación.
2. Se diligencian datos iniciales como fecha de la evaluación, hora, dirección, nombre del propietario y edad de la construcción, para esto se recurre a información proporcionada por la persona residente o encargada en la edificación.
3. Recorrido por la edificación y diagnóstico visual por parte del evaluador.
4. Toma de fotografías como vistas generales, visuales del sistema estructural y patologías estructurales, si las hay.
5. Se realizan preguntas a los habitantes del predio según el instructivo del formulario.
6. Diligenciar la evaluación en el formulario de acuerdo con la metodología y el diagnóstico realizado en el paso 3.

Para la toma de adquisición y registro de información en campo se utiliza el formato de Vulnerabilidad Estructural (Figura 9.1 a Figura 9.3), el cual consta de siete partes:

1. Identificador del formulario y fecha de toma de información
2. Identificación de la edificación.
3. Listado de Fotos.
4. Descripción del sistema estructural.
5. Evaluación y diagnóstico de daños.
6. Esquemas de detalle.
7. Comentarios y Observaciones.

El formato de Campo de Diagnóstico estructural e inspección visual se presenta a continuación.


	VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL	
1. No. Formulario: _____ 2. Fecha y hora visita <input type="text" value="HH:HH"/> <input type="text" value="DD"/> <input type="text" value="MM"/> <input type="text" value="AAAA"/>		
IDENTIFICACIÓN GENERAL DE LA EDIFICACIÓN		
3. Nombre del propietario o poseedor _____		
3.1. Cédula de Ciudadanía _____		3.2. Teléfono _____
3.3. Nombre del Arrendatario _____		
4. Dirección, Manzana, Lote: _____		Mz: _____ Lote: _____
Barrio: _____		
5. Uso Predominante		
<input type="checkbox"/> 5.1. Residencial		
<input type="checkbox"/> 5.2. Comercial		
<input type="checkbox"/> 5.3. Educacional		
<input type="checkbox"/> 5.4. Salud		
<input type="checkbox"/> 5.5. Hotelero		
<input type="checkbox"/> 5.6. Oficinas		
<input type="checkbox"/> 5.7. Industrial		
<input type="checkbox"/> 5.8. Institucional		
<input type="checkbox"/> 5.9. Bodegas		
<input type="checkbox"/> 5.10. Parqueaderos		
<input type="checkbox"/> 5.11. Multipropósito		
<input type="checkbox"/> 5.12. Otros		
6. Estrato de la Vivienda		
<input type="checkbox"/> 6.1. Estrato		
7. Localización en la manzana		
<input type="checkbox"/> 7.1. Esquinera		
<input type="checkbox"/> 7.2. Medianera		
<input type="checkbox"/> 7.3. Aislada		
8. Número de Pisos		
<input type="checkbox"/> 8.1. Niveles sobre el terreno		
<input type="checkbox"/> 8.2. Sótanos		
<input type="checkbox"/> 8.3. Total		
9. Área Construida aproximada		
<input type="text"/>	9.1 Área Primer Piso	
<input type="text"/>	9.2 Área Segundo Piso	
<input type="text"/>	9.3 Área Tercer Piso	
<input type="text"/>	9.4 Área Cuarto Piso	
10. Tenencia del Bien		
<input type="checkbox"/> 10.1 Propiedad		
<input type="checkbox"/> 10.2 Arriendo		
<input type="checkbox"/> 10.3 Posesión		
11. Estado de la construcción		
<input type="checkbox"/> 11.1. Completa		
<input type="checkbox"/> 11.2 Incompleta		
<input type="checkbox"/> 11.3 En construcción		
<input type="checkbox"/> 11.4 No construido		
<input type="checkbox"/> 11.5 Porcentaje en caso 11.2		
12. Control de Calidad durante la Construcción		
<input type="checkbox"/> 12.1 Autoconstrucción		
<input type="checkbox"/> 12.2 Con Supervisión por Profesional o Técnico idóneo		
13. Edad de la construcción		
<input type="text"/>	13.1 Años de construida	
14. Datos Ocupación		
<input type="checkbox"/> 14.1. N° Apartamentos y locales		
<input type="checkbox"/> 14.2. N° de Familias en la edificación		
<input type="checkbox"/> 14.3. N° de residentes en la edificación		
<input type="checkbox"/> 14.4. N° de años de residir en la edificación		
<input type="checkbox"/> 14.5. N° de años de residir en el barrio		
15. Acceso a la edificación		
<input type="checkbox"/> 15.1. Peatonal destapado		
<input type="checkbox"/> 15.2. Peatonal pavimentado		
<input type="checkbox"/> 15.3. Vehicular destapado		
<input type="checkbox"/> 15.4. Vehicular pavimentado		
<input type="checkbox"/> 15.5. Sin acceso		
16. Servicios públicos		
<input type="checkbox"/> 16.1. Acueducto		
<input type="checkbox"/> 16.2. Alcantarillado		
<input type="checkbox"/> 16.3. Energía Eléctrica		
<input type="checkbox"/> 16.4. Gas Domiciliario		
<input type="checkbox"/> 16.5. Teléfono		
<input type="checkbox"/> 16.6. Internet		
17. La vivienda esta sometida a empujes de tierra:		
<input type="checkbox"/> Sí		
<input type="checkbox"/> No		
18. Que área de la vivienda se encuentra sometida a deslizamiento:		
<input type="text"/>	1/3	<input type="checkbox"/> Total
<input type="text"/>	1/2	<input type="checkbox"/> N/A
<input type="text"/>	2/3	
19. LISTADO DE FOTOS		
19.1 CONSECUTIVO	19.2 DESCRIPCIÓN Y OBSERVACIONES	

Figura 9.1 Formato de Campo Vulnerabilidad Estructural Página 1

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL											
20. Cimentación			23. Sistema estructural								
<input type="checkbox"/>	20.1 Zapatas	<input type="checkbox"/>	23.1 Pórticos en Concreto Reforzado	<input type="checkbox"/>	23.2 Muros estructurales en Concreto Reforzado	<input type="checkbox"/>	23.3 Sistema Combinado en Concreto Reforzado	<input type="checkbox"/>	23.4 Prefabricados en concreto		
<input type="checkbox"/>	20.2 Vigas Corridas	<input type="checkbox"/>	23.5 Mampostería Confinada	<input type="checkbox"/>	23.6 Mampostería Reforzada	<input type="checkbox"/>	23.7 Mampostería No Reforzada	<input type="checkbox"/>	23.8 Pórtico Resistente a Momento en Acero		
<input type="checkbox"/>	20.3 Mixto	<input type="checkbox"/>	23.9 Pórtico Arriostrado en Acero	<input type="checkbox"/>	23.10 Pórtico y Páneles en Madera	<input type="checkbox"/>	23.11 Pórtico en Madera y Páneles en Otros Materiales	<input type="checkbox"/>	23.12 Muros en Bahareque		
<input type="checkbox"/>	20.4 Concreto ciclopeo	<input type="checkbox"/>	23.13 Muros en Tapia Pisada	<input type="checkbox"/>	23.14 Muros en Adobe	<input type="checkbox"/>	23.15 Material de recuperación	<input type="checkbox"/>	23.16 Mixto. Cuales??		
<input type="checkbox"/>	20.5 Pilotes	<input type="checkbox"/>	23.17 Otro	24. Localización en la ladera					<input type="checkbox"/>	24.1 Corona	
<input type="checkbox"/>	20.6 Caissons	<input type="checkbox"/>	24.2 Cuerpo	25. Implantación en la ladera					<input type="checkbox"/>	24.3 Base	
<input type="checkbox"/>	20.7 Placa de Cimentación	<input type="checkbox"/>	25.1 Sobre Relleno	<input type="checkbox"/>	25.2 En Corte	<input type="checkbox"/>	25.3 Estructura Palafítica				
<input type="checkbox"/>	20.8 No existe										
<input type="checkbox"/>	20.9 No identificada										
<input type="checkbox"/>	20.10 Otro										
21. Sistema de entepiso											
<input type="checkbox"/>	21.1 Placa maciza de concreto										
<input type="checkbox"/>	21.2 Placa aligerada de concreto										
<input type="checkbox"/>	21.3 Lámina colaborante (Steel Deck)										
<input type="checkbox"/>	21.4 Vigas metálicas										
<input type="checkbox"/>	21.5 Cerchas metálicas										
<input type="checkbox"/>	21.6 Entramado en madera										
<input type="checkbox"/>	21.7 Otro										
<input type="checkbox"/>	21.8 No Aplica										
22. Sistema de Cubierta											
<input type="checkbox"/>	22.1 Placa en Concreto										
<input type="checkbox"/>	22.2 Placa en Steel Deck										
<input type="checkbox"/>	22.3 Estructura Metálica y Teja										
<input type="checkbox"/>	22.4 Estructura de Madera y Teja										
<input type="checkbox"/>	22.5 Otro										
EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE DAÑOS											
26. Causa de daños presentes			27. Actualmente está expuesto a:			29. Grado de daño en los elementos estruc por FRM					
<input type="checkbox"/>	26.1 Asentamientos	<input type="checkbox"/>	27.1 Deslizamiento de tierra	<input type="checkbox"/>	29.1 Severo	<input type="checkbox"/>	29.2 Fuerte	<input type="checkbox"/>	29.3 Moderado		
<input type="checkbox"/>	26.2 Deslizamiento de tierra	<input type="checkbox"/>	27.2 Caída de Rocas	<input type="checkbox"/>	29.4 Leve	<input type="checkbox"/>	29.5 Ninguno				
<input type="checkbox"/>	26.3 Inundación	<input type="checkbox"/>	27.3 Flujos								
<input type="checkbox"/>	26.4 Sísmos	<input type="checkbox"/>	27.4 Ninguno								
<input type="checkbox"/>	26.5 Caída de Rocas	28. Grado de exposición a FRM									
<input type="checkbox"/>	26.6 Impáctos	<input type="checkbox"/>	28.1 Alto								
<input type="checkbox"/>	26.7 Deficiencias Constructiva	<input type="checkbox"/>	28.2 Medio								
<input type="checkbox"/>	26.8 Otro	<input type="checkbox"/>	28.3 Bajo								
<input type="checkbox"/>	26.9 No presenta daños								30. Movimiento Diferencial Unitario o Asentamiento diferencial en el contacto de la estructura expuesta		
31. Evaluación de daños en elementos estructurales								<input type="checkbox"/> 30.1 Asentamiento diferencial máximo (cm)			
								<input type="checkbox"/> 30.2 Luz correspondiente a 30.1			
ELEMENTO	DAÑO					CONDICION					
	Ninguno	Leve	Moderado	Fuerte	Severo	Malo	Regular	Bueno			
Cimentación											
Muros Portantes											
Columnas											
Vigas											
Entrepisos											
Escaleras											
Soporte de Cubierta											
32. Evaluación de daños en elementos NO estructurales											
ELEMENTO	DAÑO					CONDICION					
	Ninguno	Leve	Moderado	Fuerte	Severo	Malo	Regular	Bueno			
Antepecho											
Muros divisorios											
Cubierta											
Cielo Raso											
Tanques elevados											

Figura 9.2. Formato de Campo Vulnerabilidad Estructural Página 2

XX-YYY

Dónde:

XX: Corresponde a caracteres alfanuméricos de acuerdo con la abreviatura asignada al barrio donde se hace la evaluación. En la Tabla 9.1 se encuentran las abreviaturas de los barrios.

YYY: Corresponde a caracteres numéricos los cuales son un número consecutivo desde el 001 hasta el 999.

NOMBRE	ABREVIATURA
San Bernardo de Bata	SBB

Tabla 9.1 Abreviaturas Municipio

2. Fecha y hora de la visita

Corresponde a la fecha, día, mes y año en números; y a la hora, hora y minutos al inicio de la visita, la hora se escribirá desde la hora 0:00 hasta la hora 23:59.

Identificación General de la Edificación

1. Nombre del propietario o poseedor.

Se escribirá el nombre del propietario o poseedor del predio, en lo posible que sea él el que acompañe la visita.

3.1. Cédula de Ciudadanía: Se escribirá el número de cédula del propietario, en caso de que el propietario atienda la visita o si los residentes tienen conocimiento del número de cédula.

3.2. Teléfono: Se escribirá el número de teléfono de contacto del propietario, en caso de que el propietario atienda la visita o si los residentes tienen conocimiento del número de teléfono de contacto.

3.3. Nombre del Arrendatario: Se escribirá el nombre del arrendatario en caso de que el predio esté arrendado, en este caso se procurará que el arrendatario sea quien acompañe la visita.

2. Dirección, Manzana, Lote

Se escribirá la dirección del predio tal como conste en un recibo de servicios públicos o su registro en planeación municipal. Se diligenciarán los campos Mz: con el identificador de la manzana, si lo hay. Lote: con el identificador del lote, si lo hay. Barrio: con el nombre del barrio, esto con el fin de tener redundancia en la información y prevenir errores.

3. Uso predominante

Se marcará con una X en el recuadro en frente de cada una de las clasificaciones: Residencial, Comercial, Educacional, Salud, Hotelero, Oficinas, Industrial, Institucional, Bodegas, Parqueaderos, Multipropósito u Otros. En caso de clasificarse dentro de Otros, se deberá consignar el uso predominante en frente.

4. Estrato de la vivienda

Según como conste en un recibo de servicios públicos se diligenciará la casilla con el número del estrato sea 0, 1, 2, 3, 4, 5 o 6.

5. Localización en la manzana

Se marcará con una X la ubicación del predio dentro de la manzana dentro de las opciones propuestas: Esquinera, medianera (ubicación central en el lote entre dos edificaciones) o aislada (no tiene edificaciones en su colindancia).

6. Número de pisos

Se escribirán en la casilla correspondiente el número de niveles sobre terreno, el número de sótanos y en la última casilla se escribirá la suma de los dos anteriores.

7. Área construida aproximada

El evaluador estimará con el área del lote, los retrocesos y el porcentaje construido, el área construida por piso, en las casillas 9.1, 9.2, 9.3 y 9.4, para el piso 1, 2, 3 y 4 respectivamente. En el formato se relacionan únicamente 4 pisos debido a que en las visitas previas realizadas a la zona de estudio no se encontraron edificaciones de mayor número de pisos.

8. Tenencia del bien

Se marcará Con una X la casilla que corresponda, si el bien es de propiedad del tenedor, o está en arriendo, o en Posesión, en caso de no clasificarse dentro de las posibilidades propuestas se marcará la casilla Otro y se escribirá en frente la forma de tenencia del bien.

9. Estado de la construcción

Muestra el avance constructivo a la fecha o intenciones de ampliaciones, modificaciones estructurales, etc. Se marcará con una X el estado en que corresponda: Completa, en caso en que la vivienda se encuentre íntegramente construida (cimientos, estructura portante, cerramientos, divisiones y cubierta); incompleta, en caso en que no se esté ejecutando la construcción y no se pueda catalogar como completa; en construcción, en caso en que se encuentre en proceso de construcción; no construido, en caso en que el lote se encuentre vacío.

10. Control de calidad durante la construcción

Se refiere al cumplimiento de las especificaciones mínimas de construcción durante el proceso constructivo. Se identifica la técnica de construcción además del control en el proceso constructivo.

Se marcará con una X la casilla que corresponda: Autoconstrucción, en caso en que por los procedimientos constructivos, la diversidad de materiales estructurales utilizados y/o por información del propietario del bien, se pueda encontrar que la edificación fue construida por personal sin capacitación tecnológica o profesional en construcción, arquitectura o ingeniería civil (o mecánica si es una estructura en acero) conocedora de las normas de construcción sismo resistentes o el código que aplique; o Con supervisión Profesional o Técnico idóneo, en caso en que por las causas anteriormente nombradas se pueda inferir que la construcción fue realizada por personal con capacitación tecnológica o profesional en construcción, arquitectura o ingeniería civil (o mecánica si es una estructura en acero) conocedora de las normas de construcción sismo resistentes o el código que aplique.

11. Edad de la construcción

Identifica la época de construcción. Norma vigentes consecuentes con el momento de construcción de la edificación. Se escribirá en la casilla en frente los años de construida, aproximando la cantidad de años a la unidad.

12. Datos ocupación

Se anotará el número de apartamentos y locales en la casilla 14.1. Se anotará el número de Familias en la edificación en la casilla 14.2. Se anotará el número de personas residentes en la edificación en la casilla 14.3. Se anotará el número de años de la persona que más tiempo haya residido en la edificación y que actualmente resida en esta en la casilla 14.4. Se anotará el número de años de la persona que más tiempo haya residido en el barrio y que actualmente resida en la edificación en análisis en la casilla 14.5.

13. Acceso a la edificación

Se marcará con una X la casilla que describa el tipo de acceso a la edificación, ya sea este un acceso (15.1) Peatonal destapado, (15.2) Peatonal pavimentado, (15.3) Vehicular destapado, (15.3) Vehicular pavimentado, (15.5) Sin acceso. Las casillas que hacen referencia a accesos destapados se marcarán cuando estos sean en material de afirmado, subrasante mejorada o subrasante de terreno natural; Las casillas que hacen referencia a accesos pavimentados se marcarán cuando estos sean en concreto asfáltico o concreto hidráulico.

14. Servicios públicos

Se marcará con una X la casilla si el servicio público a que hace referencia se encuentra instalado en la edificación. Se referencian de la casilla 16.1 a 16.6 los siguientes servicios públicos en su orden, Acueducto, Alcantarillado, Energía eléctrica, Gas Domiciliario, Teléfono e Internet.

15. La vivienda está sometida a empujes de tierra

En el caso que se presenten empujes de tierras sobre la edificación se marcará con una X la casilla "SI", de lo contrario se marcará con una X la casilla "NO".

16. Qué área de la vivienda se encuentra sometida a deslizamiento

Se marcará con un X la fracción de la casa que se encuentra sometida directamente a un deslizamiento, ya sea 1/3 de la casa, 1/2, 2/3 o el total de la casa. En caso en que la edificación evaluada no se encuentre sometida a deslizamiento se marcará la casilla N/A.

Registro Fotográfico (Listado de Fotos)

Se registrará en el campo 19.1 Consecutivo, el número de la foto que asigne la cámara Fotográfica usada por el evaluador, y en el campo 19.2 se escribirán la descripción de la fotografía, comentarios y observaciones.

Descripción del Sistema Estructural

20. Cimentación

Se marcará con una X el tipo de cimentación de la edificación ya sean zapatas, Vigas corridas (vigas en concreto reforzado para sistemas de muros), Mixto, Concreto ciclópeo (vigas en concreto ciclópeo, sin vigas de concreto reforzado), Pilotes, Caissons (también llamados

pilares, corresponden pilotes excavados a mano que funcionan principalmente por punta), Placa de cimentación (cimentación superficial mediante placa maciza o aligerada). En caso de no tener cimentación se marcará la Casilla 20.8 No existe, si la cimentación no se puede apreciar y el propietario no tiene conocimiento de la misma se marcará la casilla 20.9 No Identificada. En caso de presentar otro sistema de cimentación se marcará la casilla 20.10 Otro y se escribirá en frente el tipo de cimentación presente.

21. Sistema de entrepiso

Se marcará con una X el sistema estructural de el/los entrepisos como corresponda, ya sea Placa maciza en Concreto, Placa aligerada en concreto, placa en lámina colaborante (tipo Steel deck, con viguetas metálicas o en concreto), entrepiso conformado por vigas metálicas y loseta en concreto o madera, entrepiso conformado por cerchas metálicas y loseta en concreto o madera, entramados de madera. En caso de encontrarse otro sistema estructural se marcará en la casilla 21.7 Otro y se escribirá en frente el sistema estructura que presenta el/los entrepisos evaluados evaluada, si no se encuentran entrepisos en la edificación se marcará en la casilla 21.8 No Aplica.

22. Sistema de cubierta

Se marcará con una X el sistema estructural de la cubierta, ya sea placa en concreto (maciza o aligerada), Placa en Steel Deck, estructura metálica y teja liviana, Estructura de madera y teja. En caso de presentar otro sistema estructural se marcará en la casilla 22.5 Otro y se escribirá en frente el sistema estructura que presenta la cubierta evaluada.

23. Sistema Estructural

Se marcará con una X el sistema estructural al que corresponda la estructura. A continuación se explica brevemente la composición de los diferentes sistemas estructurales.

23.1 Pórticos en concreto reforzado: Es un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial (columna-vigas), resistente a momentos, esencialmente completo, sin diagonales, en concreto reforzado.

23.2 Muros estructurales en concreto reforzado: Es un sistema estructural que no dispone de un pórtico esencialmente completo y en el cual todas las solicitaciones son soportadas por muros en concreto reforzado o pórticos en concreto reforzado con diagonales en el mismo material.

23.3 Sistema combinado en concreto reforzado: Es un sistema estructural en el cual se presentan pórticos (columna-viga) en concreto reforzado esencialmente completos, combinados con muros en concreto reforzado o pórticos con diagonales en el mismo material.

23.4 Prefabricados en concreto: Es un sistema estructural compuesto principalmente por elementos prefabricados de concreto los cuales conforman su estructura resistente a las solicitaciones impuestas y particiones de la edificación. Estos prefabricados están conectados por medio de perfiles metálicos, anclajes mecánicos o químicos.

23.5 Mampostería confinada: Es un sistema de muros de unidades de mampostería de perforación vertical, perforación horizontal o maciza, ya sean de arcilla, concreto o sílico calcáreos, unidas por mortero, la cual se construye utilizando muros de mampostería rodeados con elementos de concreto reforzado, vaciados posteriormente a la ejecución del muro y que actúan monolíticamente con éste.

23.6 Mampostería reforzada: Es un sistema de muros de unidades de perforación vertical, ya sean de arcilla, concreto o sílico calcáreos, unidas por medio de mortero, reforzada internamente por barras y alambres de acero, algunas o todas las celdas se inyectan con mortero de relleno.

23.7 Mampostería no reforzada: Es un sistema de muros portantes de unidades de mampostería de arcilla, concreto o sílico calcáreos, unidas por medio de mortero, que no presenta reforzamiento con elementos de concreto reforzado o con refuerzo interno de barras o alambres de acero.

23.8 Pórtico resistente a momento en acero: Es un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial (columna-vigas), resistente a momentos, esencialmente completo, sin diagonales, con conexiones rígidas, en acero estructural.

23.9 Pórtico arriostrado en acero: Es un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial (columna-vigas), no resistente a momentos, esencialmente completo, con diagonales en algunos vanos que van desde la cimentación, con conexiones flexibles, en acero estructural.

23.10 Pórtico y paneles de madera: Es un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial (columna-vigas), esencialmente completo en madera y paneles entre los vanos del pórtico fabricados con madera.

23.11 Pórtico en madera y paneles en otros materiales: Es un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial (columna-vigas), esencialmente completo en madera y paneles entre los vanos del pórtico fabricados en otros materiales, como esterilla de guadua, entre otros.

23.12 Muros en bahareque: Es un sistema estructural compuesto por paralelos o columnas en guadua o madera, y el espacio entre estos está ocupado por un entramado de guadua y barro seco, el cual puede estar pañetado con mortero o no; los cuales conforman muros estructurales.

23.13 Muros en tapia pisada: Es un sistema estructural compuesto por muros portantes realizados con tierra adicionada con otros materiales, como paja, material celuloso, melado de caña, cañas de guadua, el cual es compactado por acción mecánica.

23.14 Muros en adobe: Es un sistema de muros portantes de unidades de adobe (tierra adicionada con paja u otros materiales), unidas por medio de mortero, que no presenta reforzamiento con elementos de concreto reforzado o con refuerzo interno de barras o alambres de acero.

23.15 Material de recuperación: Cuando en una edificación se presenten dos o más sistemas estructurales y no se determine uno como predominante se debe marcar esta casilla y anotar al frente el número del ítem de los sistemas estructurales presentes.

23.16 Mixto: Cuando en una edificación se presenten dos o más sistemas estructurales y no se determine uno como predominante se debe marcar esta casilla y anotar al frente el número del ítem de los sistemas estructurales presentes.

23.17 Otro: Cuando en una edificación el sistema estructural no se clasifique dentro de los anteriormente descritos se debe marcar esta casilla y escribir en frente la descripción del sistema estructural.

24. Localización en la ladera

Se marcará con una X la localización de la edificación en la ladera, si se ubica corona, en el cuerpo de la ladera o en la base de la ladera.

25. Implantación en la ladera

Se marcará con una X la implantación de la edificación en la ladera, si se ubica sobre relleno, en corte o en estructura palafítica.

Evaluación y diagnóstico de daños

26. Causa de daños presentes

Se obtendrá con esta evaluación la causa de los daños que se encuentren en la edificación, los cuales se clasifican como daños por asentamientos, deslizamientos de tierra, inundación, sismos, caída de rocas, impactos, deficiencias constructivas, no presenta daños u otro, en caso de que se presente un daño diferente a los contemplados se deberá indicar cuál es la causa.

27. Actualmente está expuesto a:

Se marcará con una X en tantas casillas como corresponda si la edificación está expuesta actualmente a un (27.1) Deslizamiento de tierras, (27.2) Caída de rocas, (27.3) flujos o (27.4) Ninguno.

28. Grado de exposición a FRM

La sigla FRM hace referencia a Fenómenos de Remoción en Masa. Se marcará con una X en el grado de exposición a Fenómenos de Remoción en Masa, ya sea Alto, Medio o Bajo. Un grado de exposición Alto hace referencia a FRM que se encuentre directamente afectando la edificación evaluada o cuando exista un FRM de gran magnitud en cercanías a la vivienda; un grado de exposición Medio hace referencia a un FRM de mediana o baja magnitud que no se encuentre afectando directamente la vivienda, pero que se encuentre a menos de 100m (una cuadra) de esta si es un FRM de baja magnitud o a menos de 200m (dos cuadras) si es un FRM de mediana magnitud; un grado de exposición Bajo hace referencia a FRM que no se encuentren afectando directamente la edificación y que se encuentren a una distancia mayor de 100m (una cuadra) de esta si es un FRM de baja magnitud o a más de 200m (dos cuadras) si es un FRM de mediana magnitud.

29. Grado de daño en los elementos estructurales por FRM

Se realizará una evaluación general de los daños en los elementos estructurales únicamente generados por Fenómenos de remoción en masa. Estos se clasificarán por el evaluador como Severo, Fuerte, Moderado, Leve o Ninguno, marcando con una X en la casilla indicada. Para la evaluación se utilizarán las consideraciones del punto 31.

30. Movimiento Diferencial Unitario o Asentamiento diferencial en el contacto con la estructura expuesta

A continuación se presenta en la Figura 9.4 un ejemplo de la evaluación del Movimiento Diferencial Unitario, según Leone, 1996 (tomada de Jiménez, 2005). Se anotara en números en la casilla 30.1 el asentamiento diferencial máximo en centímetros; en la casilla 30.2 se anotará la luz correspondiente al asentamiento diferencial máximo (30.1) en metros.

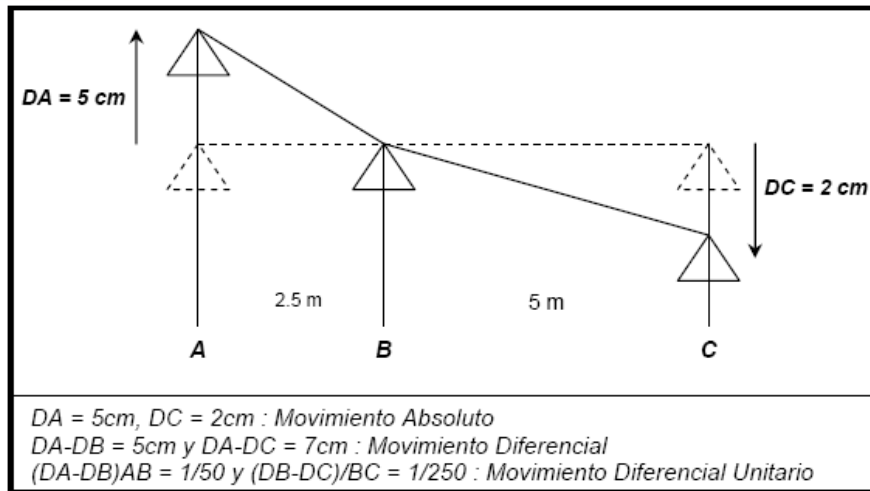


Figura 9.4. Ejemplo de cálculo del movimiento diferencial unitario.

31. Evaluación de daños en elementos estructurales

- a. **Daños:** Por medio de la inspección visual se califica el nivel de daño estructural en cada uno de los componentes de la edificación de la siguiente forma.

- **Cimentación**

DAÑOS	NIVEL
No presenta daños.	NINGUNO
Fisuras < 3 mm.	LEVE
Grietas 3 a 9 mm.	MODERADO
Grietas 9 a 15 mm. Hundimientos < 15 mm.	FUERTE
Grietas > 15 mm. Hundimientos > 15 mm. Deformaciones (muros de contención)	SEVERO

Tabla 9.2. Calificación del nivel de daño estructural en la cimentación

Nota: En la evaluación se tiene en cuenta la presencia de agua, humedad, otros.

- **Muros portantes.** Se asocian los efectos de: rotación del muro, deslizamiento de las juntas horizontales, mecanismo de tensión diagonal y grietas por flexión.

DAÑOS	NIVEL
No presenta daños.	NINGUNO
Fisuras apreciables (+1mm.).	LEVE
Grietas continuas diagonales con aberturas hasta de 5 mm. Fisuras en juntas horizontales en el extremo superior e inferior del muro	MODERADO
Grietas abiertas continuas (de 5 a 9 mm.) y mecanismo de rotura escalonado Unidades de mampostería rotas. Desplazamiento relativo o movimiento en el plano fuera de él.	FUERTE
Grietas (> 9 mm.) y desplazamientos que presenten mecanismos de colapso. Inclinaciones del muro fuera de su plano vertical. Unidades de mampostería rotas.	SEVERO

Tabla 9.3. Calificación del nivel de daño estructural en los muros portantes

- **Columnas.** Se asocian los efectos de: rotación, pandeo, grietas por flexión y cortante, juntas horizontales, mecanismo de tensión diagonal y grietas por flexión.

DAÑOS	NIVEL
No presenta daños.	NINGUNO
Fisuras apreciables (+1mm.).	LEVE
Grietas diagonales de cortante con aberturas hasta de 5 mm.	MODERADO
Grietas abiertas (de 5 a 9 mm.) Pérdida de recubrimiento de refuerzo Pandeo apreciable o rotación (torsión) del elemento. Corrosión del acero de refuerzo.	FUERTE
Grietas (> 9 mm.) y desplazamientos que presenten mecanismos de colapso. Inclinaciones de la columna fuera de su plano vertical, pandeo apreciable. Pérdida de recubrimiento de refuerzo, rotura de las varillas de refuerzo. Corrosión muy avanzada en el acero de refuerzo (pérdidas de sección superiores al 20%)	SEVERO

Tabla 9.4. Calificación del nivel de daño estructural en las columnas

- **Vigas.** Se asocian los efectos de: rotación, pandeo, deflexión, grietas por flexión y cortante.

DAÑOS	NIVEL
No presenta daños.	NINGUNO
Fisuras apreciables (+1mm.).	LEVE
Grietas diagonales de cortante con aberturas hasta de 5 mm.	MODERADO
Grietas abiertas (de 5 a 9 mm.) Pérdida de recubrimiento de refuerzo. Pandeo apreciable o deflexión del elemento. Corrosión del acero de refuerzo.	FUERTE
Grietas (> 9 mm.) y desplazamientos que presenten mecanismos de colapso. Pandeo y/o deflexión muy apreciable. Pérdida de recubrimiento de refuerzo, rotura de las varillas de refuerzo. Corrosión muy avanzada en el acero de refuerzo (pérdidas de sección superiores al 20%)	SEVERO

Tabla 9.5. Calificación del nivel de daño estructural en las vigas

- **Entrepiso**

DAÑOS	NIVEL
No presenta daños.	NINGUNO
Fisuras parciales discontinuas apenas perceptibles.	LEVE
Fisuras continuas.	MODERADO
Grietas con aberturas de 3 a 5 mm. Deflexiones apenas perceptibles.	FUERTE
Grietas >5 mm. Deflexiones apreciables.	SEVERO

Tabla 9.6. Calificación del nivel de daño estructural en el entrepiso

- **Escaleras**

DAÑOS	NIVEL
No presenta daños.	NINGUNO
Fisuras apreciables (+1mm.).	LEVE
Grietas diagonales de cortante con aberturas hasta de 5 mm.	MODERADO
Grietas abiertas (de 5 a 9 mm.) Pérdida de recubrimiento de refuerzo. Pandeo deflexión apreciable del elemento. Corrosión del acero de refuerzo.	FUERTE
Grietas (> 9 mm.) y desplazamientos que presenten mecanismos de colapso. Deflexiones muy apreciables. Pérdida de recubrimiento de refuerzo, rotura de las varillas de refuerzo. Corrosión muy avanzada en el acero de refuerzo (pérdidas de sección superiores al 20%)	SEVERO

Tabla 9.7. Calificación del nivel de daño estructural en las escaleras

- **Soporte de Cubierta.**

DAÑOS	NIVEL
No presenta daños.	NINGUNO
Fisuras en dinteles.	LEVE
Desprendimiento de dinteles (fisuras).	MODERADO
Pérdida parcial de apoyos. Rotura de amarre de vinculación muro-cubierta	FUERTE
Pérdida de apoyos con mecanismo de colapso.	SEVERO

Tabla 9.8. Calificación del nivel de daño estructural en la cubierta

b. Condición: Se definen los siguientes criterios para la evaluación de la condición estructural:

- **Cimentación.** Pretende identificar el sistema utilizado para transmitir las cargas de la edificación al suelo de fundación. Califica de manera muy general (siempre y cuando sea posible) la condición de competencia para transmitir cargas al suelo de fundación.

CONDICIÓN	NIVEL
La cimentación cuenta con viga corrida en concreto reforzado bajo muros, conformando anillos amarrados.	BUENO
La cimentación cuenta con algunas vigas corridas en concreto reforzado bajo muros, pero no conforman anillos amarrados.	REGULAR
La edificación no cuenta con una cimentación adecuada	MALO

Tabla 9.9. Calificación de la Condición de la cimentación

NOTA: En la evaluación se tiene en cuenta la presencia de agua, humedad, otros.

- **Muros portantes.** Describe la tipología utilizada. Pretende evaluar de forma preliminar las condiciones de integridad de los muros, la presencia de muros en dos direcciones ortogonales entre sí, irregularidad en planta, geométrica, irregularidad en altura, etc.

CONDICIÓN	NIVEL
Existen muros en las dos direcciones principales de la edificación.	BUENO
Los muros se concentran en una dirección, aunque existen algunos o varios en la otra dirección.	REGULAR
La mayoría de los muros se concentran en una sola dirección	MALO

Tabla 9.10 Calificación de la Condición de los muros portantes

- **Columnas.** Describe la tipología utilizada. Pretende evaluar de forma preliminar las condiciones de integridad de las columnas, la distribución uniforme de columnas, esbeltez, irregularidad en planta, geométrica, irregularidad en altura, etc.

CONDICIÓN	NIVEL
Las columnas son completas desde la cimentación hasta el piso superior.	BUENO
Algunas columnas de importancia menor en la resistencia de la edificación no son continuas desde la cimentación, nacen en placas intermedias o se interrumpen y continúan otros sistemas estructurales.	REGULAR
La mayoría de las columnas no son continuas desde la cimentación, nacen en placas intermedias o se interrumpen y continúan otros sistemas estructurales.	MALO

Tabla 9.11. Calificación de la Condición de las Columnas

- **Vigas.** Describe la tipología utilizada. Pretende evaluar de forma preliminar las condiciones de integridad de las vigas, condiciones de apoyos, la conectividad de las vigas, esbeltez la formación de nudos con columnas o muros, etc.

CONDICIÓN	NIVEL
Las columnas son completas desde la cimentación hasta el piso superior.	BUENO
Algunas columnas de importancia menor en la resistencia de la edificación no son continuas desde la cimentación, nacen en placas intermedias o se interrumpen y continúan otros sistemas estructurales.	REGULAR
La mayoría de las columnas no son continuas desde la cimentación, nacen en placas intermedias o se interrumpen y continúan otros sistemas estructurales.	MALO

Tabla 9.12. Calificación de la Condición de las Vigas

- **Entrepiso.** Pretende identificar la tipología utilizada. Se identifican las características de las condiciones de uso, disposición, longitud de las luces, condiciones de apoyos, entre otras características de evaluación.

CONDICIÓN	NIVEL
<ul style="list-style-type: none"> - El entrepiso está conformado por placas de concreto que funcionan de manera monolítica. - La placa de entrepiso se apoya de manera adecuada proporcionando continuidad. 	BUENO
<ul style="list-style-type: none"> - La placa de entrepiso no cumple con alguna de las anteriores consideraciones. 	REGULAR
<ul style="list-style-type: none"> - Los entrepisos están conformados por combinaciones de materiales (madera, guadua, etc.), que no proporcionan continuidad y amarre deseados. 	MALO

Tabla 9.13. Calificación de la Condición del entrepiso

- **Escaleras.** Pretende identificar la tipología utilizada. Se identifican las características de las condiciones de uso, condiciones de apoyos, disposición, longitud, entre otras características de evaluación.

CONDICIÓN	NIVEL
<ul style="list-style-type: none"> - Las escaleras no presentan deflexiones apreciables y se encuentran construidas monolíticamente con sus apoyos o conectados adecuadamente a estos. - Las escaleras se apoyan sobre vigas rígidas y conectadas al sistema estructural principal. 	BUENO
<ul style="list-style-type: none"> - Las escaleras presentan deflexiones y vibraciones apreciables. 	REGULAR
<ul style="list-style-type: none"> - Las escaleras presentan deflexiones apreciables y vibraciones, no se encuentran construidas monolíticamente con el apoyo, ni están conectadas adecuadamente a este. 	MALO

Tabla 9.14. Calificación de la Condición de las escaleras

- **Soporte de Cubierta.** Describe la topología utilizada. Se identifican las características de las condiciones de uso, disposición, longitud de las luces, condiciones de apoyos, entre otras características de evaluación.

CONDICIÓN	NIVEL
<ul style="list-style-type: none"> - Existe una buena condición de amarre y apoyo entre la estructura de la cubierta y muros. - Hay arriostramiento de las vigas. - La cubierta es liviana y está debidamente amarrada a su estructura. 	BUENO
<ul style="list-style-type: none"> - La mayoría de los anteriores requisitos se cumplen 	REGULAR
<ul style="list-style-type: none"> - No se cumplen los requisitos anteriores y/o presenta condiciones contrarias (ej. cubierta pesada) 	MALO

Tabla 9.15. Calificación de la Condición de la cubierta

32. Evaluación de daños en elementos NO estructurales

- a. **Daños:** Por medio de la inspección visual se califica el nivel de daño en elementos no estructurales, que comprometan la integridad y seguridad de los ocupantes, en cada uno de los componentes de la edificación de la siguiente forma.
- **Antepecho y Muros de fachada.** Se asocian los efectos de: rotación del muro, deslizamiento de las juntas horizontales, mecanismo de tensión diagonal y grietas por flexión.

DAÑOS	NIVEL
No presenta daños.	NINGUNO
Fisuras apreciables (+1mm.).	LEVE
Grietas continuas diagonales con aberturas hasta de 5 mm. Fisuras en juntas horizontales en el extremo superior e inferior del muro	MODERADO
Grietas abiertas continuas (de 5 a 9 mm.) y mecanismo de rotura escalonado Unidades de mampostería rotas. Desplazamiento relativo o movimiento en el plano fuera de él.	FUERTE
Grietas (> 9 mm.) y desplazamientos que presenten mecanismos de colapso. Inclinaciones del muro fuera de su plano vertical. Unidades de mampostería rotas.	SEVERO

Tabla 9.16. Calificación del nivel de daño estructural en los antepechos y muros de fachada

- **Muros divisorios.** Se asocian los efectos de: rotación del muro, deslizamiento de las juntas horizontales, mecanismo de tensión diagonal y grietas por flexión.

DAÑOS	NIVEL
No presenta daños.	NINGUNO
Fisuras apreciables (+2mm.).	LEVE
Grietas continuas diagonales con aberturas hasta de 7 mm. Fisuras en juntas horizontales en el extremo superior e inferior del muro	MODERADO
Grietas abiertas continuas (de 7 a 12 mm.) y mecanismo de rotura escalonado. Unidades de mampostería rotas. Desplazamiento relativo o movimiento en el plano fuera de él.	FUERTE
Grietas (> 12 mm.) y desplazamientos que presenten mecanismos de colapso. Inclinaciones del muro fuera de su plano vertical. Unidades de mampostería rotas.	SEVERO

Tabla 9.17. Calificación del nivel de daño estructural en los muros divisorios

- **Cubierta.** Hace referencia a los elementos propios de la cubierta como tejas y correas.

DAÑOS	NIVEL
No presenta daños.	NINGUNO
Goteras y fisuras en los elementos de cubierta.	LEVE
Desplazamientos de los elementos de la cubierta. Agujeros mayores a 50mm en los elementos de cubierta.	MODERADO
Pandeo en los elementos de apoyo. Desplazamiento fuerte de los elementos de la cubierta, apoyos entre ellos menores a 20mm.	FUERTE
Mecanismo de colapso de los elementos de cubierta.	SEVERO

Tabla 9.18. Calificación del nivel de daño en la cubierta

Cielo raso.

DAÑOS	NIVEL
No presenta daños.	NINGUNO
Fisuras en el cielo raso menores a 5mm.	LEVE
Pandeo del cielo raso con pérdida de sujeción a la estructura. Fisuras menores a 10mm.	MODERADO
Pandeo del cielo raso y pérdida de entre el 5% y 20% del mecanismo de sujeción del cielo raso a la estructura.	FUERTE
Mecanismo de colapso del cielo raso.	SEVERO

Tabla 9.19. Calificación del nivel de daño en el cielo raso

Tanques elevados.

DAÑOS	NIVEL
No presenta daños.	NINGUNO
Fisuras cerradas en el tanque. La estructura de soporte del tanque no presenta daños.	LEVE
Fisuras entre 2mm y 5mm en la estructura de soporte del tanque.	MODERADO
Fisuras entre 5mm y 10mm en la estructura de soporte del tanque. Apoyo deficiente del tanque y su estructura de soporte.	FUERTE
Presencia de mecanismo de colapso de la estructura de soporte tanque. Apoyo deficiente del tanque y su estructura de soporte.	SEVERO

Tabla 9.20. Calificación del nivel de daño en las instalaciones y redes.

b. Condición: Se definen los siguientes criterios para la evaluación de la condición de los elementos NO estructurales:

- **Antepechos y Muros de fachada.** Describe la tipología utilizada. Pretende evaluar de forma preliminar las condiciones de integridad de los muros y la sujeción de los muros a la estructura.

CONDICIÓN	NIVEL
<p>Los muros se encuentran adecuadamente anclados a la estructura de la edificación.</p> <p>Los muros tienen refuerzo, embebido o externo, en donde existen aberturas.</p>	BUENO
<p>Los muros presentan anclajes a la estructura, aunque no en la cantidad adecuada (se pueden presentar algunas dilataciones de los muros en algunos puntos).</p> <p>Los muros no tienen refuerzo en las aberturas.</p>	REGULAR
<p>Los muros están sueltos, no se anclan a la estructura.</p> <p>No presentan refuerzo en ningún punto.</p>	MALO

Tabla 9.21. Calificación de la Condición de los Antepechos y muros de fachada

- **Muros divisorios.** Describe la tipología utilizada. Pretende evaluar de forma preliminar las condiciones de integridad de los muros y la sujeción de los muros a la estructura.

CONDICIÓN	NIVEL
<p>Los muros se encuentran adecuadamente anclados a la estructura de la edificación.</p> <p>Los muros se encuentran trabados entre sí.</p>	BUENO
<p>Los muros presentan anclajes a la estructura, aunque no en la cantidad adecuada (se pueden presentar algunas dilataciones de los muros en algunos puntos).</p> <p>No todos los muros se encuentran trabados entre sí.</p>	REGULAR
<p>Los muros están sueltos, no se anclan a la estructura.</p> <p>Los muros no se encuentran trabados entre sí.</p>	MALO

Tabla 9.22. Calificación de la Condición de los muros divisorios

- **Cubierta.** Se identifican las características de las condiciones de uso, disposición, peso, entre otras características de evaluación.

CONDICIÓN	NIVEL
<ul style="list-style-type: none"> - La cubierta es liviana y está debidamente amarrada a su estructura. - Las luces entre correas no son mayores a la longitud de las tejas. - Las pendientes y bajantes son suficientes e impiden el empozamiento de agua y/o granizo. 	BUENO
<ul style="list-style-type: none"> - La mayoría de los anteriores requisitos se cumplen 	REGULAR
<ul style="list-style-type: none"> - No se cumplen los requisitos anteriores y/o presenta condiciones contrarias (ej. cubierta pesada) 	MALO

Tabla 9.23. Calificación de la Condición de la cubierta

- **Cielo Raso**

CONDICIÓN	NIVEL
<ul style="list-style-type: none"> - El cielo raso es pesado, en láminas de yeso (tipo dry Wall), en fibra mineral, en Icopor y similar. - El cielo raso se encuentra adecuadamente sujetado a la estructura de cubierta. 	BUENO
<ul style="list-style-type: none"> - El cielo raso es liviano, en mortero de cemento sobre guadua, o en malla y mortero, o similar. - El cielo raso se encuentra adecuadamente sujetado a la estructura de cubierta. 	REGULAR
<ul style="list-style-type: none"> - El cielo raso se NO se encuentra adecuadamente sujetado a la estructura de cubierta. 	MALO

Tabla 9.24. Calificación de la Condición del cielo raso.

- **Tanque elevado**

CONDICIÓN	NIVEL
- El Tanque Elevado. - El cielo raso se encuentra adecuadamente sujetado a la estructura de cubierta.	BUENO
- El cielo raso es liviano, en mortero de cemento sobre guadua, o en malla y mortero, o similar. - El cielo raso se encuentra adecuadamente sujetado a la estructura de cubierta.	REGULAR
- El cielo raso se NO se encuentra adecuadamente sujetado a la estructura de cubierta.	MALO

Tabla 9.25. Calificación de la Condición del Tanque Elevado

33. Esquemas de detalle

El evaluador realizará esquemas localización de la vivienda, área afectada por FRM, disposición de daños en las estructuras o cualquier esquema o representación que considere oportuno para la consideración dentro del análisis de vulnerabilidad de las edificaciones.

34. Comentarios y observaciones

Este espacio se destina para que el observador consigne sus observaciones y comentarios sobre la inspección realizada, en cuanto al estado y vulnerabilidad de la edificación.

Evaluador

35. Nombre y Apellidos

En este espacio se escribirá el/los nombre(s) y apellidos del evaluador.

36. No de evaluación

Corresponde a un consecutivo de las evaluaciones realizadas por el evaluador.

NOTA: En caso de no poder diligenciar alguna información se debe escribir en el espacio destinado en el punto 34 las razones por las cuales no fue posible.

9.2.2 Información adicional a recopilar adicional a la obtenida en campo

Adicional a la información recopilada para cada predio en el formato de campo, se relacionará cada uno de los predios con el código catastral y con el chip respectivo, esta información será consolidada oportunamente por el personal de oficina de la Consultoría.

9.3 Metodología de análisis de la información obtenida en campo y cálculo de vulnerabilidad estructural de las edificaciones

Para la definición de la metodología de la evaluación se utilizó la metodología especificada en el Anexo técnico de este contrato. Esta metodología es la propuesta por Leone (1996) y adaptada al marco regional por Soler (1998). Los autores antes mencionados proponen evaluar la vulnerabilidad en el contexto de Fenómenos de Remoción en Masa (FRM) mediante el Índice de Daño (ID), el cual puede definirse un nivel de daño potencial o nivel de pérdidas. El ID se expresa en escala de 0 a 1 y depende de la intensidad con que el FRM se manifieste y obedece a factores del deslizamiento como la distancia de viaje, el volumen transportado, la velocidad del deslizamiento y en relación a los elementos expuestos, este depende de sus características físicas y su proximidad a la masa deslizada (personas, edificios e infraestructura).

9.3.1 Caracterización de viviendas

La capacidad de respuesta o la vulnerabilidad física se evalúa de acuerdo al tipo de estructura de cada una de las edificaciones, establecida mediante el sistema estructural identificado en la inspección visual realizada mediante el Formato de Campo. En la Tabla 9.26 se presentan las tipologías.

Tipo de Vivienda	Descripción
A	Viviendas con estructura en concreto, mampostería estructural y acero.
B	Viviendas con muros cargueros, pero sin confinamiento adecuado.
C	Viviendas de muros cargueros y viviendas prefabricadas.
D	Viviendas informales construidas utilizando material de recuperación.
E	Edificaciones en proceso de construcción.
F	Lotes vacíos

Tabla 9.26. Caracterización de las edificaciones.

Los sistemas estructurales son clasificados de acuerdo a los siguientes criterios:

Tipo de Vivienda	Descripción
A	Viviendas con estructura en concreto, mampostería estructural y acero.
	Pórticos en Concreto Reforzado
	Muros estructurales en Concreto Reforzado
	Sistema Combinado en Concreto Reforzado
	Mampostería Confinada
	Mampostería Reforzada
	Pórtico Resistente a Momento en Acero
	Pórtico Arriostrado en Acero
B	Viviendas con muros cargueros, pero sin confinamiento adecuado.
	Mampostería no Reforzada
C	Viviendas de muros cargueros y viviendas prefabricadas.
	Prefabricados en concreto
	Muros en Bahareque encementado
	Muros en Tapia Pisada
	Muros en Adobe
	Mixto
D	Viviendas informales construidas utilizando material de recuperación.
	Material de recuperación
	Pórtico y Páneles en Madera
	Pórtico en Madera y Páneles en Otros Materiales
	Otro
E	Edificaciones en proceso de construcción.
F	Lotes vacíos

Tabla 9.27. Criterios para la clasificación de sistemas estructurales dentro de las tipologías de la metodología

9.3.2 Cálculo de la Intensidad de Daño Metodología Leone, modificada por Soler

La intensidad de daño se calculará según la propuesta de Délégation aux Risques Majeurs DRM (1990), que caracteriza el daño en relación al valor antes y después de sufrir los daños probables después del evento, mediante la siguiente ecuación:

$$ID = \frac{V_i - V_f}{V_i}$$

Dónde: ID: Índice de daño.

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

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

Para relacionar el índice de daño con la intensidad de daño se utiliza la siguiente tabla:

INTENSIDAD DE DAÑO	MODOS DE DAÑO	PORCENTAJE DE DAÑO (ID)
I	Daños ligeros no estructurales. Estabilidad no afectada	0.01 - 0.10
II	Fisuración en muros, reparaciones no urgentes.	0.11 - 0.30
III	Deformaciones importantes, fisuras en elementos estructurales.	0.31 - 0.60
IV	Fractura de la estructura, evacuación inmediata	0.61 - 0.80
V	Colapso parcial o total de la estructura.	0.81 - 1.00

Tabla 9.28. Intensidad de daño.

Para relacionar el tipo de proceso de remoción con el daño en los elementos se utiliza la siguiente matriz de daño:

SOLICITACIÓN	TIPOLOGIA					
	A	B	C	D	E	F
Desplazamiento Vertical						
Alto	0.50	0.50	0.75	0.95	0.50	0.00
Medio	0.25	0.25	0.50	0.65	0.25	0.00
Bajo	0.10	0.10	0.25	0.40	0.05	0.00
Empujes						
Alto	0.50	0.75	0.75	0.95	0.50	0.00
Medio	0.25	0.50	0.50	0.65	0.25	0.00
Bajo	0.10	0.15	0.25	0.40	0.05	0.00
Impactos						
Alto	0.50	0.75	0.95	0.95	0.95	0.00
Medio	0.50	0.50	0.75	0.65	0.75	0.00
Bajo	0.15	0.20	0.50	0.40	0.25	0.00
Hundimiento-Desplazamiento Vertical						
Alto	0.50	0.50	0.75	0.95	0.50	0.00
Medio	0.05	0.25	0.50	0.65	0.25	0.00
Bajo	0.05	0.05	0.25	0.40	0.05	0.00
No Solicitud	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 9.29. Matriz de daño

La calificación del daño en los elementos expuestos debe realizarse a partir de la estimación de la altura de la masa deslizada y de la velocidad de desplazamiento de la masa que debe estar debidamente sustentada y debe incluir aspectos tales como el tipo de movimiento y las características reológicas de la masa.

9.3.3 Cálculo alternativo de la Intensidad de Daño metodología DPAE-Uniandes

Alternativamente, para calcular el grado de daño de las edificaciones evaluadas se propone utilizar el Índice Global de Daño (IGD), que considera una mayor cantidad de variables, como deficiencias constructivas, la condición estructural de los elementos estructurales y no estructurales, el grado de daño de cada uno de los elementos, y la importancia de cada uno para la estabilidad de la edificación.

El índice Global de Daño (IGD) se calcula a partir de la información levantada en campo de acuerdo con el grado de daño se obtuvo con base en la estimación observada en campo y la condición de cada uno de los elementos estructurales y NO estructurales. Para describir la evaluación del daño es necesario determinar las fallas que presentan las viviendas. Para ello se emplean términos o definiciones cualitativas que sirven como calificadores del grado de daño de la edificación.

Para esto se establecen cinco calificadores identificados a través de los siguientes estados: Ninguno, Leve, Moderado, Fuerte y Severo; otorgándoles a cada uno, un valor numérico específico, determinando y afectando así la calificación total de los elementos estructurales y no estructurales evaluados para cada vivienda.

CALIFICACIÓN	NIVEL	CUANTIFICACIÓN DAÑO
1	NINGUNO	0.0
2	LEVE	0.30
3	MODERADO	0.60
4	FUERTE	0.80
5	SEVERO	1.00

Tabla 9.30. Calificación del nivel de daño en elementos estructurales y NO estructurales.

De acuerdo con la importancia de cada uno de los elementos, a los que se les evalúa su nivel de daño, se les asigna un peso porcentual, esto debido a que una columna con un daño severo, es más crítica dentro de la estabilidad de la edificación, que un daño severo en las escaleras.

Los elementos estructurales predominantes en el caso de determinar el estado de una estructura en términos de vulnerabilidad son la cimentación, las columnas y muros porantes, las vigas y los entresijos, por tanto se decide otorgar un porcentaje de importancia a dichos elementos tal y como se presenta en la Tabla 9.30. Así mismo, el colapso de los elementos no estructurales puede ocasionar pérdidas de vidas o comprometer la seguridad de las mismas, por lo que se le asigna un peso porcentual a los mismos, dependiendo de su importancia.

Para el cálculo del índice global de daño se le asigna un peso porcentual del 80% a los elementos estructurales y un 20% a los elementos NO estructurales.

Los pesos porcentuales asignados y el cálculo de los índices globales de daño se basan en la metodología propuesta por la Universidad de Los Andes y el DEPAE (ahora FOPAE, Fondo para la Prevención y Atención de Emergencias) de Bogotá D.C.

INDICE DE DAÑO		
ELEMENTOS ESTRUCTURALES (EE)		PONDERACIÓN INDICE DE DAÑO GLOBAL
ELEMENTO	FACTOR DE PONDERACIÓN (EE)	
Muros Portantes	Promedio(ID muros portantes + ID columnas)*0,50	0.8
Columnas		
Vigas	0.15	
Nudos o puntos de conexión	0.10	
Entrepisos	0.15	
Escaleras	0.05	
Soporte de Cubierta	0.05	
SUBTOTAL	1.00	
ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES (EN)		
ELEMENTO	FACTOR DE PONDERACIÓN (EN)	
Muros de Fachada o Antepecho	0.30	0.2
Muros divisorios	0.30	
Cubierta	0.10	
Cielo Raso	0.10	
Instalaciones	0.05	
Tanques elevados	0.15	
SUBTOTAL	1.00	
TOTAL		1.00

Tabla 9.31. Factores de ponderación del índice de daño

En la inspección visual se califica la condición de los componentes de la edificación utilizando variables cualitativas como se presenta a continuación:

CALIFICACIÓN	NIVEL	FACTOR DE MAYORACIÓN
1	BUENO	1.00
2	REGULAR	1.10
3	MALO	1.20

Tabla 9.32. Calificación de la Condición de la edificación

Los factores de mayoración empleados para amplificar el nivel de daño, son los siguientes:

- Factor de mayoración por “condición Buena”: 1.0
- Factor de mayoración por “condición Regular”: 1.10
- Factor de mayoración por “condición mala”: 1.20

El factor de mayoración correspondiente se aplica directamente sobre la calificación del daño a cada elemento respectivamente.

Para la obtención de la calificación de la intensidad del daño de la edificación se utilizará la siguiente tabla.

CALIFICACIÓN DE DAÑO	INDICE GLOBAL DE DAÑO (IGD)
SEVERO (5)	0.80 < IGD
FUERTE (4)	0.60 < IGD ≤ 0.80
MODERADO (3)	0.45 < IGD ≤ 0.60
LEVE (2)	0.15 < IGD ≤ 0.45
NINGUNO (1)	0.00 < IGD ≤ 0.15

Tabla 9.33. Calificación del Índice Global de Daño de la Edificación

El Índice Global de Daño de la Tabla 9.33. es un indicador de la habitabilidad de la vivienda a corto y mediano plazo, teniéndose que para cuando las edificaciones presenten una Calificación de Daño Fuerte o Severa se entenderá que la habitabilidad de la vivienda está comprometida y el FOPAE deberá tomar las acciones que sean pertinentes para asegurar la preservación de la vida de los ocupantes.

Finalmente, el valor del daño se obtendrá como el mayor de los obtenidos por la matriz de daño de la Tabla 9.29 y el Índice Global de Daño de la Tabla 9.33.

9.3.4 Determinación de la Calificación del Índice de Vulnerabilidad Física

Según lo indica el anexo técnico, el Índice de Vulnerabilidad Física (IVF) debe ser calculado a partir de la expresión empírica propuesta por Soler (1998).

$$IVF = \left[1 - (1 - ID)^{\frac{1}{1-\alpha ID}} \right]^{1-\alpha ID}$$

Dónde: IVF: Índice de Vulnerabilidad Física.

ID: Índice de Daño.

α : Coeficiente de importancia.

Los valores del coeficiente de importancia se seleccionan en relación con la evaluación de la amenaza efectuada. Los valores a emplear se relacionan en la siguiente tabla.

Calificación de la amenaza	Valor de α
Baja	0.2
Media	0.4
Alta	0.6

Tabla 9.34. Coeficiente de Importancia

La valoración cualitativa de la amenaza se obtiene a partir del Índice de Vulnerabilidad Física, para ello se emplea la siguiente tabla, la cual está contenida en el anexo técnico que rige el presente contrato.

Categoría de la vulnerabilidad	Valor del IVF
Alta	≥ 0.65
Media	$0.65 > IVF \geq 0.15$
Baja	< 0.15

Tabla 9.35. Categoría de la Vulnerabilidad

Para el caso particular de las viviendas construidas en material de recuperación pertenecientes al Tipo de Vivienda B1 de la Tabla 9.26 se utilizará la metodología propuesta por Leone, modificada por Soler, la cual castiga con unos Índices de Daño, según la Matriz de Daño (Tabla 9.29), altos, lo que representará vulnerabilidad física media y alta de acuerdo con los grados de exposición y movimientos de la masa de suelo.

9.4 *Calculo de resultados y análisis de resultados de la vulnerabilidad física*

Se realizó un levantamiento de información completa. Con esta información es posible calcular el Índice de Vulnerabilidad Física (IVF), según la metodología de Leone, y el índice global de daño, según la metodología de FOPAE-Uniandes.

Se realizó el levantamiento completo de información para 56 predios.

De acuerdo al levantamiento de información realizado, se tiene que las Tipologías predominantes son A con un 63%, B con un 15% y F con un 13%. Las estructuras no identificadas corresponden a predios a los que no se permitió el ingreso y que por la fachada no es posible determinar el sistema estructural.

Para los predios a los cuales se les realizó un levantamiento resumido de información se tiene que las Tipologías predominantes son B con un 48%, A con un 25% y D con un 19%. Las

estructuras no identificadas corresponden a predios a los que no se permitió el ingreso y que por la fachada no es posible determinar el sistema estructural.

A continuación se presenta una gráfica con la información de la tipología de predios.

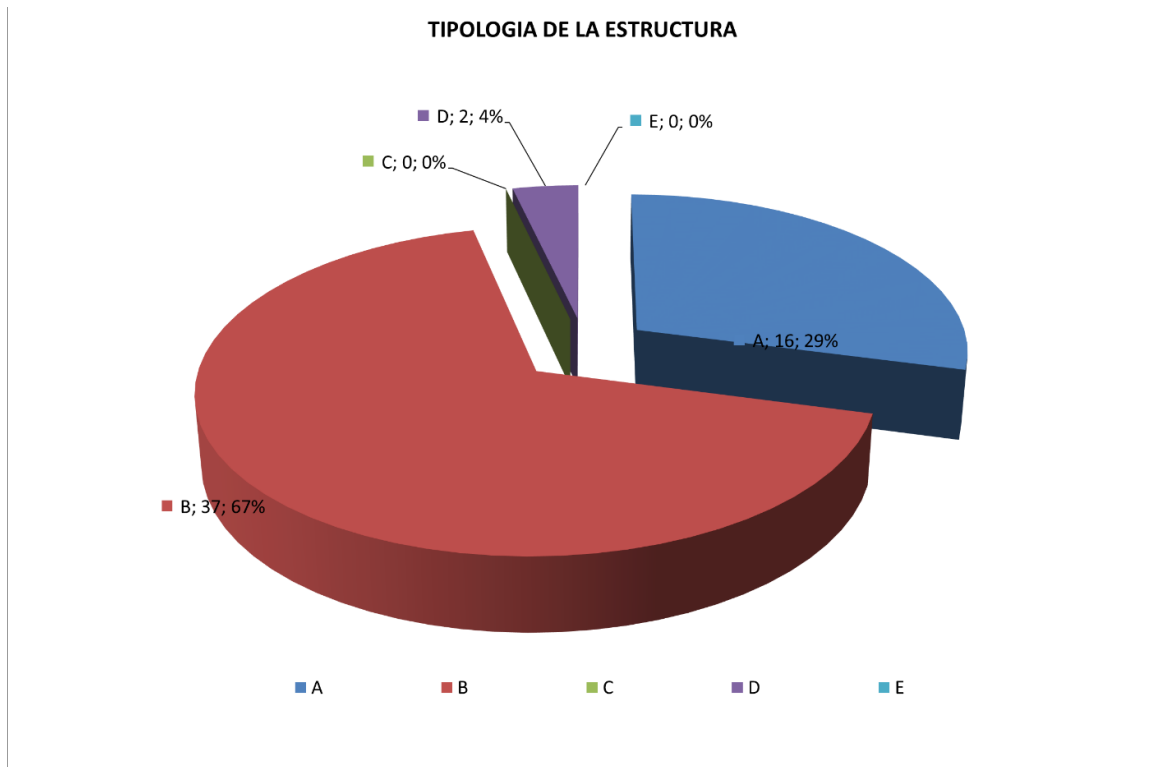


Figura 9.5. Tipología estructural predios con levantamiento

En la Figura 9.5 se puede apreciar que el sistema estructural de más del 60% de las edificaciones construidas no es aceptado por la norma NSR-10, la cual es la norma de construcción vigente, de construcción vigente, Ley 400 de 1997, modificada Decretos 2525 de 2012, 092 de 2011 y 340 de 2012.

9.4.1 Índice global de daño

El índice global de daño por la metodología FOPAE-Uniandes se presenta con el fin de establecer el estado actual de daños de las edificaciones, el cual no se relaciona directamente con los procesos o solicitudes a las que estas se puedan ver sometidas. De la Figura 9.6 se obtiene que el 36% de las edificaciones evaluadas presentan un Índice

Global de Daño (IGD) calificado como Ninguno o Inexistente, un 44% como Leve, el 9% de las edificaciones evaluadas presentan un IGD moderado, Fuerte el 6% y el 5% de las viviendas presentan índice de daño Severo.

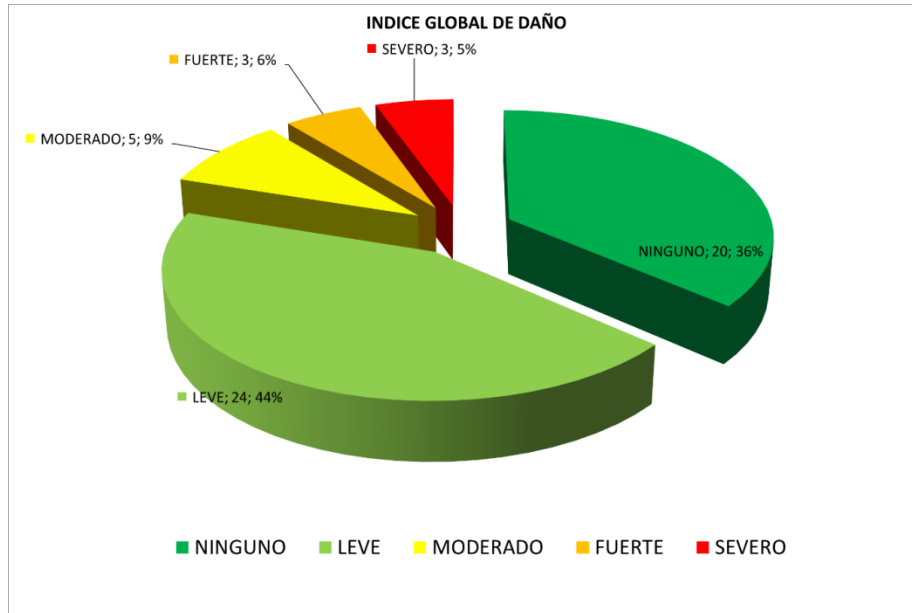


Figura 9.6. Índice Global de Daño de las edificaciones.

9.5 Índice de vulnerabilidad física

Para el índice de vulnerabilidad física (IVF) se tuvo en cuenta dos escenarios, la vulnerabilidad en condiciones normales y la vulnerabilidad en condiciones extremas, En la Figura 9.7 se presenta la distribución de vulnerabilidad para la amenaza en condiciones normales, en la cual se observa que el 34% de las edificaciones se encuentran en vulnerabilidad baja, un 45% en vulnerabilidad media y un 21% en vulnerabilidad alta. En la Figura 9.8 se presentan los predios evaluados con su calificación de vulnerabilidad para condiciones normales de amenaza.

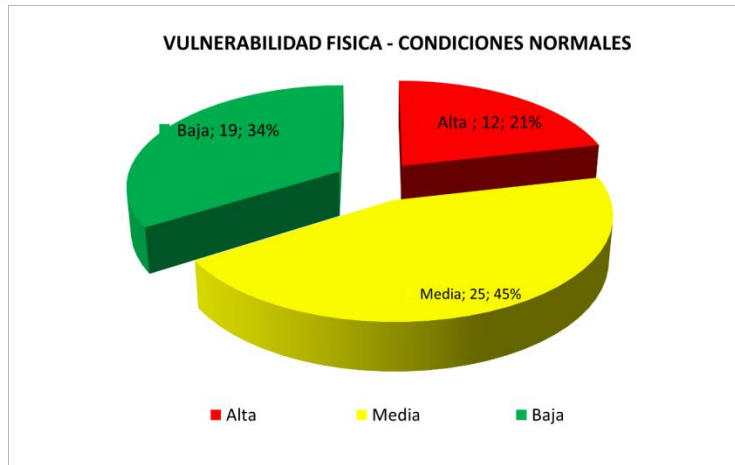


Figura 9.7. Vulnerabilidad para amenaza en condiciones normales.



Figura 9.8. Distribución de la vulnerabilidad Física en condiciones Normales.

En la Figura 9.9 se presenta la de vulnerabilidad para la amenaza actual, en la cual se observa que el 34% de las edificaciones se encuentran en vulnerabilidad baja, un 30% en vulnerabilidad media y un 36% en vulnerabilidad alta. En la Figura 9.10 se presentan los predios evaluados con su calificación de vulnerabilidad para condiciones extremas de amenaza.

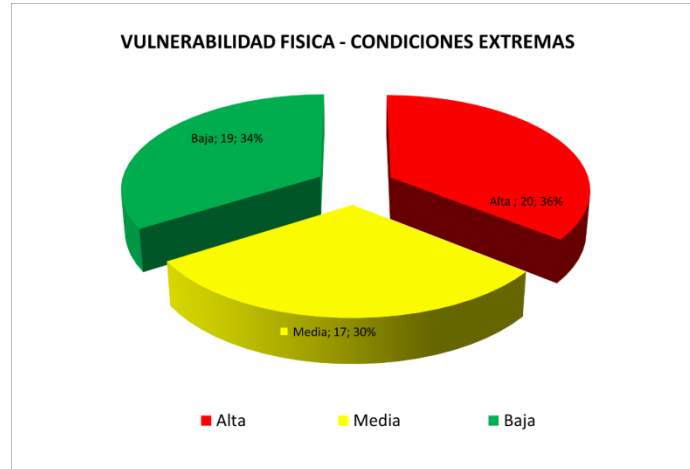


Figura 9.9. Vulnerabilidad para amenaza en condiciones extremas.



Figura 9.10. Distribución de la vulnerabilidad Física en condiciones Extremas.

De las gráficas anteriores se concluye que la vulnerabilidad se aumenta un 7% para el escenario de amenaza futura con respecto al escenario de amenaza actual; las edificaciones con Vulnerabilidad Baja se mantienen constantes para los dos escenarios evaluados.

9.6 Vulnerabilidad física de infraestructura vital (redes de acueducto y alcantarillado, eléctricas y otras redes)

Las líneas vitales se refieren al complejo grupo de componentes y sistemas que son esenciales para sostener la vida y el crecimiento de una comunidad. Para asegurar la calidad de vida y habitabilidad de un sector de la población hay que proveerla de infraestructura de servicios, tales como, energía, redes de acueducto y alcantarillado y redes de acceso a los lugares como vías y puentes. Las líneas vitales agrupan los componentes y sistemas físicos de los servicios públicos que son más importantes para la comunidad, por su alto potencial de riesgo en caso de falla.

Las líneas vitales y su infraestructura se pueden clasificar en dos categorías:

- a) Sistemas de Movilidad: Los cuales comprenden carreteras, vías, puentes, ferrocarriles, aeropuertos y puertos.
- b) Sistemas de Servicios: Los cuales comprenden redes de agua potable, alcantarillado, energía eléctrica, gas natural, telecomunicaciones. Incluyendo estaciones, bombas, patios de maniobras, sistemas de almacenamiento, torres de transmisión y plantas de tratamiento.

Por otra parte, la vulnerabilidad Física de estas se relaciona directamente con elementos físicos y funcionales, como pérdidas potenciales referidas a los daños o a la interrupción de los servicios. La vulnerabilidad definida como el nivel de daño potencial es la probabilidad de que se presente cierto nivel de daño, lo cual se obtiene a partir de las curvas de daño o curvas de fragilidad, las cuales relacionan la magnitud de la amenaza con el nivel de daño esperado para un determinado elemento expuesto. El nivel de daño está asociado con el tipo de sollicitación que se transmite al elemento expuesto.

Es importante anotar que la vulnerabilidad constituye un sistema dinámico, que surge como consecuencia de la interacción de una serie de factores y características que convergen en una comunidad en particular. Como resultado se obtiene la incapacidad o capacidad de la comunidad para responder adecuadamente a la presencia de un riesgo determinado.

Para el municipio San Bernardo de Bata, los sistemas de acueducto, de alcantarillado, de electricidad, y otras, son a todas luces altamente vulnerables; su alta exposición, en razón a su necesaria vinculación con el suelo, y su baja resistencia así lo explican (y argumentan). En cuanto a los tramos de las redes existentes en la zona, los más susceptibles ante un fenómeno de remoción en masa, dependen exclusivamente del nivel de amenaza; así pues, son los que

se encuentran en las zonas de amenaza cualitativa alta. Es decir, responden a aquellas que se encuentran sobre los movimientos en masa o en sus inmediaciones.

Es importante mencionar que por su interrelación con las laderas, las redes de acueducto y alcantarillado, podrían estar vinculadas (a través de rupturas y desempates y escapes) más como fuente generadora que como consecuencia- con los procesos de inestabilidad.

Teniendo en cuenta lo anterior, las curvas de daño o fragilidad adoptadas para el caso de vulnerabilidad por remoción en masa son homologadas de las que se encuentran en los documentos del “Applied Technology Council” ATC-25, en cuanto a la probabilidad de falla de los taludes o laderas.

Los valores de porcentaje de daño como función de la probabilidad de falla por remoción de un talud se presentan en la siguiente tabla.

Infraestructura	Probabilidad de Falla						
	Grado de daño (%)						
	20.0%	33.0%	51.5%	70.0%	80.0%	90.0%	100.0%
Infraestructuras del transporte							
Carreteras y Pavimentos, puentes articulados o de luces simples, vigas	0.4	2	8.8	26.4	48.4	81.6	98.9
Puentes continuos, losas o monobloque	0.1	0.5	3.3	9.9	41.2	63.8	89.4
Abastecimiento y depositos (agua, gasoductos)							
Canales	1.3	2.8	5.8	9.5	24.3	47.5	87.5
Tuberías subterráneas*	0.0	0.0	1.6	2.8	11.6	31.6	76.0
Depósitos de superficie	0.1	0.5	1.7	4.6	16	70	92.5
Abastecimiento eléctrico							
Torres de alta tensión	0.3	1.8	2.8	7.8	20.0	42.5	85.0
Torres normales	0.3	1.5	2.8	9.5	22.8	47.5	85.0
Tuberías de superficie* (asimilable a cables aéreos)	0	0	2.5	5.5	11.5	25.5	70
Aguas residuales							
Tuberías subterráneas*	0.0	0.0	2.0	3.5	14.5	39.5	95.0

* Los valores son roturas por kilómetro (BPK). Se puede suponer que 1 BPK = 5% de daño.

Tabla 9.36. Porcentaje de daño como función de la probabilidad de falla por movimiento en masa.

De la anterior tabla, se obtiene el grado de daño de los elementos (líneas vitales) en una zona de afectación con respecto a su probabilidad de falla.

Grado de Daño	Rango de Porcentajes de Daño	Valor central de Rango	Descripción
SIN DAÑOS	0%	0%	No hay daños
INSIGNIFICANTES	0%-1%	0.50%	Daños mínimos y localizados. No requieren reparación para mantener la operatividad
LEVES	1%-10%	5%	Daños significativos localizados en algunos elementos que normalmente no necesitan reparación para mantener la operatividad
MODERADOS	10%-30%	20%	Daños significativos localizados en varios elementos y que deben ser reparados.
FUERTES	30%-60%	45%	Daños generales. Es necesario realizar reparaciones importantes
GRAVES	60%-99%	80%	Daños graves que puedan interrumpir la operatividad o la función del elemento. Se ha de reparar, sustituir o demoler y reemplazar.
MUY GRAVES	100%	100%	Destrucción total del elemento e inutilidad total de la línea o elemento

Tabla 9.37. Grado de daño de los elementos (líneas vitales)

Con la tabla anterior se relaciona el grado de daño de los elementos con la operatividad de las líneas vitales.

9.6.1 Resultados

- Infraestructura de transportes:

Para el análisis de la infraestructura de transportes se evalúa las vías regionales Secundarias y las vías urbanas. La vía regional corresponde a la vía principal del casco urbano, por esta vía se encuentra la entrada y la salida al municipio y por lo tanto representa la vía más importante. En la entrada y la salida del municipio, esta vía presenta zonas de amenaza alta por lo que se esperan “Daños Fuertes” y “Daños Graves” que pueden interrumpir la operatividad o la función y que deberán ser reparados para permitir el ingreso y la salida del casco urbano.

Las vías urbanas se encuentran en amenaza alta, media y baja. Los tramos localizados en amenaza alta presentarán “Daños Fuertes” y “Daños Graves” que pueden interrumpir la operatividad o la función y que deberán ser reparados. Para los tramos localizados en amenaza media, se tendrán “Daños Leves” y “Daños Moderados” en los elementos que componen la red vial. Los elementos que se encuentren en amenaza baja tendrán un grado de daño entre “Sin Daños” y “Daños Insignificantes”, por lo tanto se esperan daños mínimos que no requieren ser reparados para mantener la operatividad.

- **Abastecimiento y almacenamiento (acueducto):**

Para el análisis de la infraestructura de abastecimiento y almacenamiento de agua se toman en cuenta el abastecimiento del agua, almacenamiento y red de distribución.

El abastecimiento del sistema se realiza por el costado suroccidental de área de estudio, a través de dos ramales, de los cuales uno se encuentra en zona de amenaza alta y el otro en zona de amenaza media. De acuerdo a lo anterior, el abastecimiento al casco urbano se puede ver afectado en el tramo que se encuentra en amenaza alta, en donde se esperan “Daños Fuertes” y “Daños Graves” que pueden interrumpir la operatividad o la función del sistema y que deberán ser reparados. En el tramo de abastecimiento que se encuentra en amenaza media presentaran daños significativos, sin embargo no deberán ser reparados para mantener la operatividad.

El tanque de almacenamiento de agua se encuentra localizado en amenaza media para condiciones normales de amenaza y en amenaza alta para condiciones extremas, en cualquiera de los dos casos se presentaran daños significativos, sin embargo para condiciones extremas es necesario reparar los daños para garantizar la operatividad del sistema.

La Red de distribución de agua, se localiza en amenaza alta, media y baja distribuida en todo el casco urbano. Los tramos localizados en amenaza alta presentaran “Daños Fuertes” y “Daños Graves” que pueden interrumpir la operatividad o la función del sistema y que deberán ser reparados. En amenaza media se esperan daños significativos, que no deberán ser reparados para mantener la operatividad. Finalmente los tramos en amenaza baja se espera que presenten daños entre “Sin Daños” y “Daños Insignificantes” es decir, se esperan daños mínimos que no requieren ser reparados para mantener la operatividad.

- **Abastecimiento eléctrico:**

Para el análisis de la infraestructura de abastecimiento eléctrico se toman en cuenta dos ítems, la línea de alta tensión, la línea de media tensión y el transformador.

La línea de alta tensión ingresa y sale del casco urbano del municipio por zonas de amenaza alta, por lo que se esperan daños “Daños Fuertes” y “Daños Muy Graves”, por lo tanto se presentaran daños que podrán interrumpir la operatividad de los elementos y estos deberán ser reparados o reemplazados. En el interior del municipio esta línea de alta tensión se encuentra entre amenaza media y baja, por lo que se presentaran daños representativos que no necesitan ser reparados para continuar con la operación.

La línea de media tensión al igual que la de alta tensión, entra y sale al municipio en amenaza alta, por lo mismo se esperan “Daños Fuertes” y “Daños Muy Graves”, que podrán interrumpir la operatividad de los elementos y estos deberán ser reparados o reemplazados. Esta red se distribuye en el casco urbano entre zonas de amenaza media y baja. La red localizada en

amenaza media podría presentar daños moderados representativos que no deberán ser reparados para continuar con la operación. El cableado localizado en zona de amenaza baja no se presentara ningún tipo de daño.

- **Aguas residuales (Tuberías subterráneas):**

Para las tuberías subterráneas que se encuentren en amenaza baja no se esperan daños. Aquellas tuberías que se encuentren en zona de amenaza media se presentaran daños leves, los cuales no deberán ser reparados para continuar con la operación de estas. Finalmente las que se encuentren en zona de amenaza alta presentaran un grado de daño entre “Daños Moderados” y “Daños Muy Graves”, lo que significa que las tuberías presentaran daños graves que podrían interrumpir la función de la red y por lo tanto deberá ser reparado o reemplazado.

La entrada de la tubería se encuentra en amenaza alto, sin embargo por este ser el inicio de la red de descarga, un daño en este punto no generaría un colapso del sistema de forma inminente, lo daños podrían no ser reparados y el sistema seguiría en funcionamiento. Caso contrario sucede con la tubería de aguas residuales de descarga que se encuentra en zona de amenaza alta, esta tubería al presentar algún tipo de problema debido al deslizamiento, altera la funcionalidad del sistema. Esta tubería se distribuye a lo largo del casco urbano, presentando tramos que se localizan en amenaza media, que como se menciona en el párrafo anterior, se podrían presentar daños moderados que no requieren la reparación inmediata para que la red siga en funcionamiento. Finalmente hay tramos en amenaza baja, en los cuales no se presentara ningún tipo de daño.

10. RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA

Con base en los análisis de la información secundaria y la obtenida en los reconocimientos del terreno sobre las características geológicas, geomorfológicas, morfodinámicas e hidrológicas, se procedió a emitir un diagnóstico sobre las características de los movimientos actuales o potenciales, sus causas e impactos directos e indirectos de mayor relevancia, así como una propuesta de solución a nivel de planteamiento general, que conduzca a la rehabilitación del sector y su habitabilidad futura si fuere conducente.

Una vez definidos los elementos básicos que generan susceptibilidad a los procesos de remoción en masa, se realizará una zonificación de la amenaza (**A**) por remoción en masa, a escala 1:2000, mediante la implementación de análisis por equilibrio límite o los que resulten aplicables en función de las características de los geomateriales y mecanismos de falla previamente establecidos, valorándola al menos cualitativamente en ALTA, MEDIA o BAJA.

Se evaluó la vulnerabilidad (**V**) de las construcciones en la zona de trabajo, mediante la aplicación de encuestas y levantamientos estructurales a una muestra representativa de tales construcciones, de modo que permita zonificar el área al menos en forma cualitativa en una escala ALTA, MEDIA o BAJA.

Con base en las zonificaciones de amenaza y vulnerabilidad, se zonificó el terreno por Riesgo (**R**) asociado a PRM, valorándolo al menos en forma cualitativa en ALTO, MEDIO o BAJO, con base en lo cual se emitieron las recomendaciones de intervención ingenieril para los dos niveles superiores de riesgo por remoción en masa en el área de interés. Para la zona de Expansión estudiada se evaluó únicamente la Amenaza.

Propuesta de Solución

Con base en los resultados de la exploración, muestreo, ensayos, análisis geotécnicos y la zonificación del riesgo por procesos de remoción en masa del área de trabajo, la Sociedad propuso alternativas de solución para controlar las inestabilidades actuales o potenciales, con un costo aproximado de las mismas de tal manera que a partir de su dictamen la entidad o entidades correspondientes definan y adelanten los diseños y obras necesarias. Esta propuesta es de carácter geotécnico y en ningún caso incluye diseño alguno de las obras recomendadas.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIS, INGEOMINAS, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia– Amenaza Sísmica, Bogotá, Comité AIS 300, (1996).

EL CONGRESO DE COLOMBIA, Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998, Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo resistente.

GONZÁLEZ A. J., ZAMUDIO E. Y CASTELLANOS R. “Relaciones de Precipitación Crítica-Duración Lluvias que Disparan Movimientos en Masa en Santa Fe de Bogotá – Colombia”. Bogotá D.C, (1999).

ACHILLEOS, Eftychos. User Guide for PCSTABL 5 M. Purdue University – West Lafayette, Indiana. Diciembre de 1988.

DUNCAN, MICHEL EN TURNER, A. KEITH Y SHUSTER, ROBERT. Landslides, Investigation and Mitigation – Special Report 247, Chapter 13, National Academy Press – Washington, D.C. 1996.

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

GONZÁLEZ, ÁLVARO. Estimativos de parámetros efectivos de resistencia con el SPT en X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana. Sociedad Colombiana de Ingenieros – Sociedad Colombiana de Geotecnia. Bogotá, (1999).

GOODMAN, R.E. Introduction to rock mechanics. John Wiley and sons. Cap. 8. 1989 Pp 293 – 335.

HARR. Reliability based design in civil engineering. Dover. 1987. Pp. 187 – 222.

ISRM. Rock characterization testing and monitoring – suggested methods. ET Brown Pergamon press. 1981.

JULIVERT, M. Léxico estratigráfico internacional. Vol V, fasc. 4ª Colombia. 1968.

KOEFOED, OTTO. Geosounding principles publicado por el servicio geológico holandés (TNO).

LOW, B. K. Reliability analysis of rock wedges in Journal of geotechnical and geoinveronmental engineering. June 1997.

HOEK, EVERT. BRAY, JHON. Rock slope engineering, third edition, London, Institution of mining and metallurgy, 1981, ISBN 0-419-16010-8

BRAJA, M. DAS. Fundamentos de ingeniería geotécnica, México D.F, Thomson Learning, 2001, ISBN 97-0686-061-4

FARIÑAS DE ALBA, JUAN LUIS. GOMEZ PRIETO, ROBERTO. MATIAIX GONZALEZ, CARMEN. GARCIA BERMUDEZ, PILAR, LLOPIS TRILLO, GUILLERMO. SERRANO PEDRAZA, PEDRO ALBERTO. LOPEZ JIMENO, CARLOS. Manual de estabilización y re vegetación de taludes, Segunda edición, Madrid, Graficas Arias Montano, S.A, 2002, ISBN 84-9921708-7-5

MONTERO (1991) Factores y Causas de los Movimientos en Masa

GEOSISTEMAS PAVCO COLOMBIA, Manual de diseño, Quinta edición, Bogotá D.C

BOWLES, JOSEPH. E. Foundation Analysis and design, Fifth edition, United states of America. Mc Graw-Hill, 1996. ISBN 0-07-114052-2

JONES, D.K.C. LEE, M.E. Landslide risk assessment, First edition, London, Thomas Telford. 2004, ISBN 07277-3005-3

CARRILLO, JOSUE. Nociones de mecánica de rocas (Primera Parte). Medellín, Universidad Nacional de Colombia.

NATIONAL ACADEMY PRESS. Transportation research board national research council. Washington D.C, National Academy Sciences, 1996, ISBN 0-309-06151-2

PULLER, MALCOLM. Deep excavations a practical manual, First edition, London, Thomas Telford, 1996, ISBN 0-7277-1987-4

U.S DEPARTAMENT OF TRANSPORTATION. Geotechnical engineering Circular No.4 Ground anchors and anchored systems. Washington D.C, U.S DEPARTAMENT OF TRANSPORTATION Federal highway administration, June 1999.

DUNCAN C. WYLLIE. Foundation on rock, London, E& FN SPON, April 1994, ISBN 0-0-419151508

F. A. Rumiche P. y J. E. Indacochea B; Estudios de Caso de Fallas y Accidentes en Gasoductos y Oleoductos; University of Illinois at Chicago.

S.M. Beden, S. Abdullah, A.K. Ariffin; Fatigue crack growth rate of API X70 steel pipelines under spectrum loading; International Journal of Pressure Vessels and Piping; 2012.

C. Salazar Tirado, B. Powers; Evaluación de fallas en tuberías del proyecto Camisea y soluciones a largo plazo; E-Tech International; 2006.

H. HERNÁNDEZ A.; Análisis de falla por fractura en tuberías de conducción de petróleo; Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Colombia.

M. Dziubinski, M. Fratczak, A.S. Markowski; Aspects of risk analysis associated with major failures of fuel pipelines; Journal of Loss Prevention in the Process Industries; 2006.

J. M. Álvarez Villegas; Evaluación de Impacto por Derramo en el Poliducto Puerto Salgar-Cartago, Tramo Vereda Aguazul, municipio de Dosquebradas; CARDER; 2011.

Amanda Marilu Cassa; A numerical Investigation into the behavior of cracks in uPVC pipes under pressure; University of Johannesburg; 2011.

Eric. J. Parker, Chiara Traverso; Evaluation of landslide impact on deepwater submarine pipelines; Offshore Technology Conference; 2008.

Francesco Calvetti; Claudio di Prisco; and Roberto Nova; Experimental and Numerical Analysis of Soil–Pipe Interaction; 2004.

Failure modes in pressurised pipeline systems; Water Services Association of Australia; 2012.

Rex L. Baum, Devin L. Galloway, and Edwin L. Harp; Landslide and Land Subsidence Hazards to Pipelines; USGS; 2008.

F. P. Beer, E. Russell, J. T. DeWolf; Mecánica de materiales; Mac Graw Hill; 2001.

P. Fazzini, J. L. Otegui, H. Kunert; Predicting failure conditions of smaw girth welded x70 pipelines subjected to soil movement.

Mark F. Randolph; Donghee Seo; and David J. White; Parametric Solutions for Slide Impact on Pipelines; Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, ASCE; 2010.

Charis J. Gantes, George D. Bouckovalas ;Slope Failure Verification of Buried Steel Pipelines.

12. ANEXOS

- 12.1 *Topografía*
- 12.2 *Exploración del subsuelo*
- 12.3 *Caracterización Geomecánica*
- 12.4 *Hidrología e Hidráulica*
- 12.5 *Vulnerabilidad*
- 12.6 *Planos*