

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

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

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

“Zonificación de Riesgo por Remoción en Masa y Obras de Reducción del Riesgo”

**Documento Final (Informe No. 4)
SCG-UNGRD-BATA-001**

REV (P)

BOGOTÁ D.C., JULIO DE 2014

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELA	REV	APR
0	2014-06	Emitido para Revisión Interna	GT EF	JMO MCT	UNGRD

REGISTRO DE MODIFICACIÓN

REVISIÓN No.	CAPÍTULO MODIFICADO	FECHA DE REVISIÓN	▲	OBSERVACIONES
0	Todo el documento	2014-06		Emitido para revisión interna

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

INFORME No.4

Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN	14
1.1 Antecedentes	14
1.2 Objetivos	15
1.3 Alcances	15
1.4 Metodología	15
2. GENERALIDADES.....	17
2.1 Localización y descripción del área de estudio	17
2.2 Fisiografía	20
2.3 Aspectos Climáticos	20
2.4 Uso del suelo y procesos de transformación.	20
2.5 Régimen hidrológico.....	24
3. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE	26
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.	26
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.	26
3.3 Esquema de Ordenamiento Territorial – EOT.....	27
3.4 Informe de Inspección Ocular. 14 de Agosto de 2012. Carlos Arturo Gómez Rivera ...	29
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	29
3.6 Informe del monitoreo comunitario de movimientos en masa implementado en el corregimiento.	30
3.7 Datos IDEAM	31
3.8 Planchas geológicas y de suelos.....	32

3.9	Fotografías Aéreas.....	32
3.10	Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Norte de Santander (IGAC, 2007).	32
4.	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	33
4.1	Labor adelantada	33
4.2	Metodología empleada en el levantamiento topográfico.....	33
5.	EVALUACIÓN CLIMÁTICA, 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 (<i>relación lluvia deslizamiento</i>).	38
5.4	Lluvias erosivas para el sector de estudio	39
5.5	Morfología y caudales de la cuenca Margua.	42
5.6	Coeficientes de escorrentía.....	44
5.7	Descripción del sistema de drenaje.....	46
5.8	Conclusiones.....	47
6.	EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOMORFOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA.....	48
6.1	Marco geológico regional	48
6.1.3.1	Depósitos no consolidados.	52
6.1.3.2	Unidades de Roca	55
6.1.3.3	Caracterización del macizo.....	58
6.2	Marco geomorfológico regional.	59
6.3	Hidrogeología (Modelo Hidrogeológico Conceptual).....	67
6.4	Sismicidad.....	69
6.5	Susceptibilidad a los deslizamientos	70
6.6	Evaluación geológica de la zona Inestable.....	71
6.7	Evaluación geológica de la zona potencial de expansión.	78
7.	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.....	83
7.1	Consideraciones generales.....	83
7.2	Evaluación geotécnica de la zona inestable.	94
7.3	Evaluación geotécnica de la zona potencial de expansión.	112
7.4	Evaluación geotécnica de la zona central.....	124

7.5	Evaluación geotécnica quebrada zona de expansión.....	129
8.	ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA.....	131
8.1	Zonificación de amenaza para la zona inestable	132
8.2	Zonificación de amenaza para la zona de expansión	133
8.3	Zonificación de amenaza para la zona central.....	134
8.4	Zonificación de amenaza para la zona quebrada – sección 4-4	135
9.	VULNERABILIDAD POR REMOCIÓN EN MASA	136
9.1	Vulnerabilidad social.	136
9.2	Vulnerabilidad física de viviendas.....	138
9.3	Vulnerabilidad estructural de edificaciones.....	139
9.4	Metodología de análisis de la información obtenida en campo y cálculo de vulnerabilidad estructural de las edificaciones.	140
9.5	Cálculo de resultados y análisis de resultados de la vulnerabilidad física.....	147
9.6	Índice de vulnerabilidad física.....	148
9.7	Vulnerabilidad física de infraestructura vital (redes de acueducto y alcantarillado, eléctricas y otras redes).....	151
9.8	Resultados	153
10.	ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA	156
10.1	Análisis.....	156
10.2	Riesgo en la zona de expansión.....	160
11.	ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA	161
11.1	Mitigación de los factores que generan amenaza.....	161
11.2	Mitigación de los factores que generan vulnerabilidad.....	162
11.3	Medidas de mitigación del riesgo por movimientos en masa	162
11.4	Alternativas de mitigación en la zona inestable.	166
11.5	Alternativas de mitigación en la zona de expansión	167
11.6	Análisis de las alternativas de mitigación	167
11.7	Evaluación de las alternativas de mitigación.	176
11.8	Medidas no estructurales.	181
11.9	Presupuesto General Intervenciones Modeladas.	183
12.	CONCLUSIONES TRABAJO DE SAN BERNARDO DE BATA	185
12.1	El sitio.	185

12.2	Propósito del estudio.....	185
12.3	Las actividades.	186
12.4	Desarrollo del estudio.....	186
12.5	Resultados.	187
12.6	Medidas de mitigación recomendadas.	189
12.7	Presupuesto General.	190
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	191
14.	ANEXOS	195
14.1	Topografía.....	195
14.2	Exploración del subsuelo.....	195
14.3	Caracterización Geomecánica.....	195
14.4	Hidrología e hidráulica.....	195
14.5	Vulnerabilidad	195
14.6	Planos	195

Tabla de Figuras

Figura 2.1 Corregimiento San Bernardo de Bata, Norte de Santander	17
Figura 2.2 Vista aérea zona de deslizamiento	18
Figura 2.3 Zona baja de río Margua margen derecha.....	18
Figura 2.4 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).....	21
Figura 2.5 Procesos de transformación de los ecosistemas para el año 2000. (Tomado del mapa de ecosistemas de Colombia del IDEAM).....	22
Figura 2.6 Mapa de uso del suelo (Tomado del mapa de uso del suelo EOT 2001)	23
Figura 3.1 Riesgos y amenazas- EOT. Alcaldía de Toledo.....	28
Figura 3.2 Planta triangulación topográfica para monitoreo	30
Figura 5.1 Histograma de precipitaciones para San Bernardo de Bata (Elaborada a partir de datos del IDEAM)	35
Figura 5.2 Tr para las precipitaciones Máx. en 24 Hr para San Bernardo de Bata.....	37
Figura 5.3 Comportamiento Histórico de los Eventos máximos de las precipitaciones Máx 24 hrs para San Bernardo de Bata	37
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.....	42
Figura 5.7 Caudales Proyectados para el río Margua.....	44
Figura 5.8 Zonas de Pendientes de San Bernardo de Bata	45
Figura 6.1 Modelo estructural de la Región Nor-Oriental del país (tomado de Ingeominas memoria técnica plancha 111- Toledo).....	51
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.....	61
Figura 6.4 Zona sísmica alta – Ciudad de Cúcuta y Toledo- Reglamento NSR10	69
Figura 6.5 Vista de los sistemas de fallas secundarias de influencia en el área de estudio (fotointerpretación fotos de la década del 80)	71
Figura 6.6 Modelo hidrogeológico conceptual mostrando la tabla de agua colgada por efecto de la zona de recarga de alta permeabilidad.	75
Figura 6.7 Interpretación perfil geofísico (VS de la parte baja del deslizamiento)	76
Figura 6.8 Vista de la zona de expansión afectada por el cruce de una falla local y su interpretación del perfil geofísico respectivo (VS)	79
Figura 6.9 Demarcación de los trazos de falla cercanos al sitio de expansión (fotointerpretación vuelo R 945 – 1984)	81
Figura 7.1 Vista área zona de deslizamiento	83
Figura 7.2 Zona baja de río Margua margen derecha.....	84
Figura 7.3 Zona de reubicación de viviendas	85
Figura 7.4 Zona de procesos activos.....	88

Figura 7.5 Esquema deslizamiento rotacional múltiple (Hutchinson, 1988)	91
Figura 7.6 Zona central	92
Figura 7.7 Composición granulométrica de % grava, % arena y % finos	102
Figura 7.8 Carta de plasticidad para el depósito inestable	103
Figura 7.9 Humedad, plasticidad y profundidad de muestreo	104
Figura 7.10 Peso unitario total con profundidad.....	104
Figura 7.11 Ubicación de secciones en la zona de estudio	107
Figura 7.12 Modelo de análisis Sección 1-1'	108
Figura 7.13 Variación de parámetros modelo de sensibilidad	108
Figura 7.14 Parámetros geomecánicos para los materiales de la sección 1-1'	110
Figura 7.15 Porcentaje de composición granulométrica: grava arena y finos	116
Figura 7.16 Carta de plasticidad zona potencial de expansión	117
Figura 7.17 Plasticidad vs humedad.....	117
Figura 7.18 Peso unitario – profundidad	118
Figura 7.19 Mapa de pendientes de la zona de expansión	119
Figura 7.20 Modelo de análisis Sección 3-3'	120
Figura 7.21 Variación de parámetros modelo de sensibilidad	121
Figura 7.22 Parámetros geomecánicos para los materiales de la sección 3-3'	122
Figura 7.23 Modelo de análisis Sección 2-2'	126
Figura 7.24 Variación de parámetros modelo de sensibilidad	127
Figura 7.25 Ubicación de la sección 4-4' en la zona de estudio.....	129
Figura 7.26 Modelo de análisis Sección 4-4'	130
Figura 9.1 Vulnerabilidad Social - Tipología familiar	137
Figura 9.2 Tipología estructural predios con levantamiento	147
Figura 9.3. Índice Global de Daño de las edificaciones.	148
Figura 9.4. Vulnerabilidad para amenaza en condiciones normales.	149
Figura 9.5. Distribución de la vulnerabilidad Física en condiciones Normales	149
Figura 9.6. Vulnerabilidad para amenaza en condiciones extremas.	150
Figura 9.7. Distribución de la vulnerabilidad física en condiciones extremas.	150
Figura 10.1 Niveles de Amenaza y Vulnerabilidad – Condiciones Normales	157
Figura 10.2: Niveles de Amenaza y Vulnerabilidad – Condiciones Extremas.....	158
Figura 10.3 : Evaluación del Riesgo	159
Figura 10.4: Evaluación del Riesgo-Zona de expansión	160
Figura 11.1: Nivel Freático Zona del deslizamiento (Sección 1-1) - Condición Crítica	167
Figura 11.2: Nivel Freático Zona del deslizamiento (Sección 1-1) - Estructuras drenantes.....	168
Figura 11.3: Drenes de penetración	168
Figura 11.4: Estructuras drenantes.....	169
Figura 11.5: Alternativa línea de caissons (Sección 1-1)	170
Figura 11.6: Alternativa doble línea de caissons (Sección 1-1).....	171
Figura 11.7: Alternativa línea de caissons-Variación de las condiciones de sismo (Sección 1-1)	172

Figura 11.8: Alternativa 1 Línea de Caissons-Variación de las condiciones de sismo	173
Figura 11.9: Estructuras drenantes zona de expansión.....	173
Figura 11.10: Terrazas 30° de Inclinación y descansos de 10.5 m. Zona de expansión (Sección 3-3).....	174
Figura 11.11: Estructuras de Contención Zona de expansión (Sección 3-3).....	175
Figura 11.12 Evaluación de alternativas en la zona inestable - Fase I.....	177
Figura 11.13 Evaluación de alternativas en la zona inestable - Fase II.....	178
Figura 11.14 Evaluación de alternativas en la zona expansión - Fase I.....	179
Figura 11.15: Estructuras Drenantes	180
Figura 11.16 Presupuesto general - Obras propuestas	183

Tabla de Fotografías

Fotografía 2.1 Viviendas parte baja de zona de estudio	19
Fotografía 2.2 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	22
Fotografía 2.3 Panorámica del estado y uso del suelo actual	23
Fotografía 2.4 Vista del tipo de drenajes difusos que se desarrolla sobre la vertiente	25
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 bloques Qb que cubren las laderas del sector urbano del corregimiento.	52
Fotografía 6.3 Vista de depósitos de bloques (diámetros >2.0m) expuestos en las laderas del sector occidental del sector urbano.	53
Fotografía 6.4 Vista de los depósitos de ladera (cantos y bloques que han sido movilizados sobre la vertiente	53
Fotografía 6.5 Vista de la unidad de depósito Coluvial arenoso expuestos en el la corona del deslizamiento	54
Fotografía 6.6 Vista de los depósitos aluviales del nivel de terraza, expuestos en el sitio contiguo al deslizamiento	54
Fotografía 6.7 Vista de los depósitos aluviales del río Margua, con los niveles de barras de gravas y los sedimentos del cauce.	55
Fotografía.6.8 Vista de los niveles de areniscas y limolitas micáceas expuestas sobre la margen derecha del río Margua	56
Fotografía 6.9 Vista de los niveles de limolitas muy meteorizadas y fracturadas, expuestas en la parte alta y media de la zona del deslizamiento	57
Fotografía 6.10 Vista del macizo estratificado con niveles de limolitas y shales de la unidad Ka-1	58
Fotografía 6.11 Vista de los niveles de limolitas muy meteorizadas y fracturadas (w3- w4) de la unidad KI-1 expuestas lateralmente al cuerpo del deslizamiento.	59
Fotografía 6.12 Vista de la unidad denudativa Ed-1 que delimita el sector urbanizado del corregimiento	62
Fotografía 6.13 Vista de la unidad de laderas denudativas Ed-2 que delimitan el campo de fútbol	62
Fotografía 6.14 Vista de la unidad coluvial Lc2 afectada por el deslizamiento.	64
Fotografía 6.15 Morfología sinuosa del cauce del río Margua con la formación de Barras	65
Fotografía 6.16 Vista de los afloramientos de la margen derecha del cauce expuestas en la base del deslizamiento	66
Fotografía 6.17 Condición actual de uso del suelo (pastos) en la zona afectada por el deslizamiento	72
Fotografía 6.18 Vistas parciales del sistema de grietas del movimiento y viviendas	74
Fotografía 6.19 Vistas parciales del sistema de grietas del movimiento	74

Fotografía 6.20 Localización de la zona de expansión	78
Fotografía 6.21 Construcciones en la zona de expansión	79
Fotografía 6.22 Vista del sector posterior del lote, afectado por el nivel freático colgado del sector occidental del predio	80
Fotografía 6.23 Vista del límite occidental de la zona de expansión, afectada por la afluencia de aguas sobre el talud superior, con procesos de reptación y formación de flujos de tierras	81
Fotografía 7.1 Zona de reubicación de viviendas	85
Fotografía 7.2 Afloramiento de Roca Sobre la vía	86
Fotografía 7.3 Características del Depósito Coluvial	86
Fotografía 7.4 Zona de expansión	87
Fotografía 7.5 Zona de expansión vista hacia la parte baja	87
Fotografía 7.6 Flancos del deslizamiento	88
Fotografía 7.7 Escarpe parte baja deslizamiento activo.....	89
Fotografía 7.8 Parta alta del deslizamiento – cancha	89
Fotografía 7.9 Flanco derecho y parte baja del deslizamiento	90
Fotografía 7.10 Zona central de estudio	93
Fotografía 7.11 Sondeos zona inestable	95
Fotografía 7.12 Líneas sísmicas zona inestable	97
Fotografía 7.13 Depósito coluvial zona inestable.....	99
Fotografía 7.14 Zona de contacto movimiento depósito coluvial – roca diaclasada	100
Fotografía 7.15 Limolitas verdes y shales negros.....	101
Fotografía 7.16 Depósito aluvial antiguo – Sondeo S4	102
Fotografía 7.17 Registro fotográfico zona potencial de expansión.....	113
Fotografía 7.18 Líneas sísmicas zona potencial de expansión	114
Fotografía 7.19 Suelo residual de lutita – sondeo S6.....	115
Fotografía 7.20 Limolitas verdes y lutitas negras.....	116
Fotografía 7.21 Sondeo 5 zona central.....	124
Fotografía 7.22 Líneas sísmicas zona central.....	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Información Construcción del Sistema de Drenaje Corregimiento	26
Tabla 3.2 Anexo E resultados de ensayos de laboratorio	27
Tabla 3.3 Mojones de control – Estudio de topografía	29
Tabla 3.4 Monitoreo comunitario – triangulación	30
Tabla 3.5 Información Estación San Bernardo de Bata	31
Tabla 3.6 Información Estación Peña de los Micos	31
Tabla 5.1 Valores históricos máximos de precipitación media anual	36
Tabla 5.2 Valores históricos máximos de precipitación media anual	36
Tabla 5.3 Valores de Lluvia crítica.....	39
Tabla 5.4 Clasificación del índice de Fournier (IF).....	39
Tabla 5.5 Clasificación del índice Modificado de Fournier (IMF).....	40
Tabla 5.6 Clasificación del ICP.....	42
Tabla 5.7 Características morfométricas de la Cuenca.....	43
Tabla 5.8 Proyección de Caudales.....	43
Tabla 5.9 Zonas de San Bernardo de Bata Coeficientes de escorrentía “C”	45
Tabla 5.10 Coeficientes de escorrentía “C”	46
Tabla 7.1 Exploración del subsuelo directa – sondeos y apiques/trincheras zona inestable	96
Tabla 7.2 Ensayos de laboratorio zona inestable	98
Tabla 7.3 Ensayos de corte directo	105
Tabla 7.4 Parámetros de resistencia de material deslizado del análisis de sensibilidad	109
Tabla 7.5 Parámetros de resistencia de material de la zona correspondiente a la sección 1-1’	110
Tabla 7.6 Factores de seguridad sección 1-1	112
Tabla 7.7 Exploración del subsuelo directa – sondeos mecánicos y apiques/trincheras zona potencial de expansión.....	113
Tabla 7.8 Ensayos de laboratorio zona potencial de expansión	115
Tabla 7.9 Ensayos de corte directo zona potencial expansión.....	118
Tabla 7.10 Propiedades geomecánicas de la zona de expansión.....	121
Tabla 7.11 Parámetros de resistencia de material de la zona correspondiente a la sección 3-3’	123
Tabla 7.12 Factores de seguridad para la sección 3-3’.....	123
Tabla 7.13 Exploración del subsuelo directa – sondeos y apiques/trincheras zona central	124
Tabla 7.14 Parámetros de resistencia de material deslizado del análisis de sensibilidad	128
Tabla 7.15 Factores de seguridad sección 2-2’	129
Tabla 7.16 Parámetros de resistencia de material de la zona correspondiente a la sección 4-4’	130
Tabla 7.17 Factores de seguridad sección 4-4’	130
Tabla 8.1 Niveles de amenaza, DPAAE, Resolución No. 227 de 2006	132
Tabla 8.2 Análisis de amenaza sección 1-1’	133
Tabla 8.3 Análisis de amenaza sección 3-3’	133

Tabla 8.4 Análisis de amenaza sección 2-2'	134
Tabla 8.5 Análisis de amenaza sección 4-4'	135
Tabla 9.1 Caracterización de las edificaciones.....	140
Tabla 9.2. Criterios para la clasificación de sistemas estructurales dentro de las tipologías de la metodología	141
Tabla 9.3. Intensidad de daño.	142
Tabla 9.4. Matriz de daño	142
Tabla 9.5. Calificación del nivel de daño en elementos estructurales y NO estructurales.	143
Tabla 9.6. Factores de ponderación del índice de daño	144
Tabla 9.7 Calificación de la Condición de la edificación.....	145
Tabla 9.8. Calificación del Índice Global de Daño de la Edificación	145
Tabla 9.9. Coeficiente de Importancia	146
Tabla 9.10. Categoría de la Vulnerabilidad.....	146
Tabla 9.11 Porcentaje de daño como función de la probabilidad de falla por movimiento en masa.	152
Tabla 9.12. Grado de daño de los elementos (líneas vitales)	153
Tabla 10.1 Tabla de evaluación del Riesgo	156
Tabla 10.2 : Nivel de Importancia de las Estructuras	157
Tabla 11.1 Medidas generales de mitigación propuestas	164
Tabla 11.2 : Alternativa Línea de caissons	170
Tabla 11.3 : Alternativa 2 Línea de Caissons	171

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 podrían tener alguna influencia en un área mayor que se estimó en 30 Ha.

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.

El Equipo de profesionales de la SCG encargado de los estudios técnicos esta conformado por:

Director del Proyecto: Dr. Juan Montero Olarte - Geólogo, MSc. Geotecnia.

Asesor en Riesgos PRM: Dr. Mario C. Torres S - IC, MSc Geotecnia Dr. Ing.

Geotecnista: Germán Darío Tapia - IC, Esp. Geotecnia, Experto en Riesgos PRM.

Estructural: Juan Jacobo Pinilla - IC, MSc en Estructuras, Experto en Vulnerabilidad.

Hidrólogo – Hidráulico: Javier Carrillo. IC. MSc en Hidráulica.

Geólogo: Edgar Forero Beltrán - Geólogo, Esp. Ambiental.

Apoyo en Campo: Álvaro Pedroza Rojas, IC, MSc, Candidato a Dr.

Auxiliar de Ingeniería: Óscar F. Parra. Candidato a IC.

Trabajadora Social: Bleidy Yarlenny Peñaranda.

Los trabajos de levantamiento topográfico, exploración del subsuelo directa e indirecta, y ensayos de laboratorio estuvieron a cargo de los socios de la SCG: Alvaro Pedroza, Jorge Alberto Rodríguez Ordoñez (Jeoprobe) y Francisco Montes Buritica (Pavimientos y Geotecnia).

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 expansión 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 expansión sometida a consideración de los especialistas de la SCG.

Con base en el resultado de los estudios relacionados anteriormente, en el presente informe final 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 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 a fuertes lluvias (1.5) Identificación de una falla geológica importante en la parte alta de la zona de expansión 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 expansión. 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 ubica al sur-oriente del municipio de Toledo, Departamento de Norte de Santander. Los límites del corregimiento se definen de la siguiente manera: por el norte, colinda con la vereda Venagá; por el oriente, con la vereda Támara, de la cual está separada por el río Margua, y la provincia de El Limoncito; por el sur, con la provincia de El Limoncito; y por el occidente, con la misma provincia de El Limoncito y con el municipio de Labateca, a lo largo del río Valegrá.

El centro poblado está localizado en una altitud cercana a los 1200 msnm y se caracteriza por tener clima medio húmedo, donde las temperaturas oscilan de 18 a 24°C y las lluvias anuales son menores de 2.000 mm. (Figura 2.1).



Figura 2.1 Corregimiento San Bernardo de Bata, Norte de Santander

La zona de estudio se encuentra ubicada en la ladera que conforma la margen derecha del río Margua. Su topografía presenta en general una pendiente uniforme entre 25° a 35°, pendiente interrumpida mediante la vía que conduce de Saravena hacia la parte media de la ladera. Hacia la parte inferior de la vía principal se ubican varias viviendas del corregimiento. (Figura 2.2).



Figura 2.2 Vista aérea zona de deslizamiento

La zona inestable corresponde a un deslizamiento que involucra masa coluvial y parte de la roca arcillosa subyacente, cuyas capas buzan hacia el interior de la ladera. (Figura 2.3).

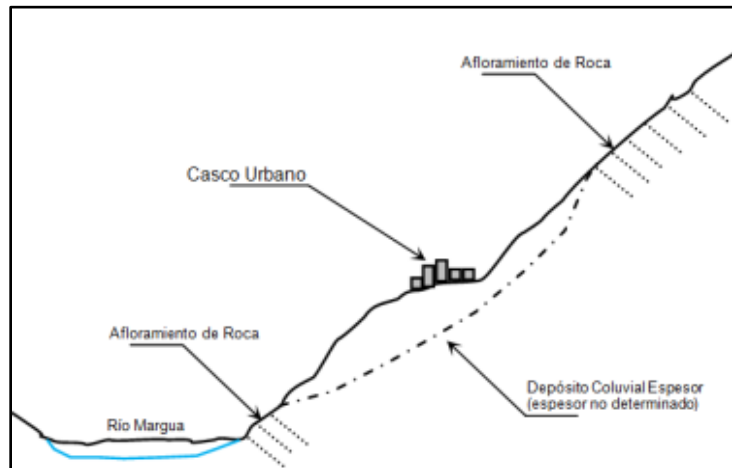



Figura 2.3 Zona baja de río Margua margen derecha

Hacia la parte alta de la misma se ubica una tubería de oleoducto de Ecopetrol la cual no es percibida desde la parte baja de la misma.

Las intervenciones de las viviendas se han efectuado en algunos casos mediante columnas largas las cuales se acomodan con la pendiente del terreno y en otros casos mediante cortes hacia la parte posterior modificando la pendiente con terrazas cortas. (Fotografía 2.1).

	
<p>Vivienda ubicada hacia la zona del colegio donde se puede observar las columnas largas y la generación de un piso falso.</p>	<p>Calle auxiliar donde se observan diferentes viviendas de 1 y 2 pisos sobre una pendiente baja.</p>
	<p>Vía principal, vista hacia el norte del Corregimiento. Se puede observar baja pendiente con menor cota hacia la entrada del corregimiento.</p>

Fotografía 2.1 Viviendas parte baja de zona de estudio

La ladera ha sido intervenida en el tiempo con cortes para la vía, para emplazamiento de viviendas y canchas de recreación.

De acuerdo a un concepto de Ingeominas (2011) la zona se encuentra ubicada sobre la Formación Colón – Mito Juan (Kscmj) compuesto de lodolitas grises y negras con intercalaciones de areniscas cuarzosas recubiertas por depósitos coluviales.

Los depósitos coluviales están conformados por cantos y bloques hasta de 1 m en matriz arcillosa de color amarillo a gris.

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 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 bien drenados.

2.3 Aspectos Climáticos

Fue recolectada información climática de IDEAM, en las que se encuentran las estaciones de San Bernardo de Bata y Peña de los Micos, las cuales sirvieron de base para tratar los aspectos climáticos en el Capítulo 5.

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 2.4 muestra el mapa de suelos de la región y la condición actual de uso. (Pastos y cultivos).

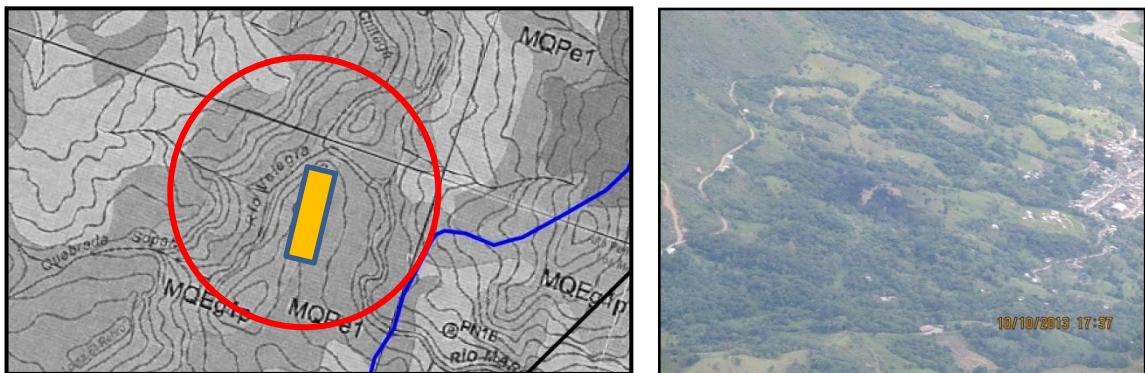


Figura 2.4 Vista de los suelos que delimitan el corregimiento de San Bernardo y su representación en el mapa de suelos del Norte de Santander (tomado IGAC, plancha 111-2007)

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 2.2 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 2.2 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. (Figura 2.5 y Figura 2.6).

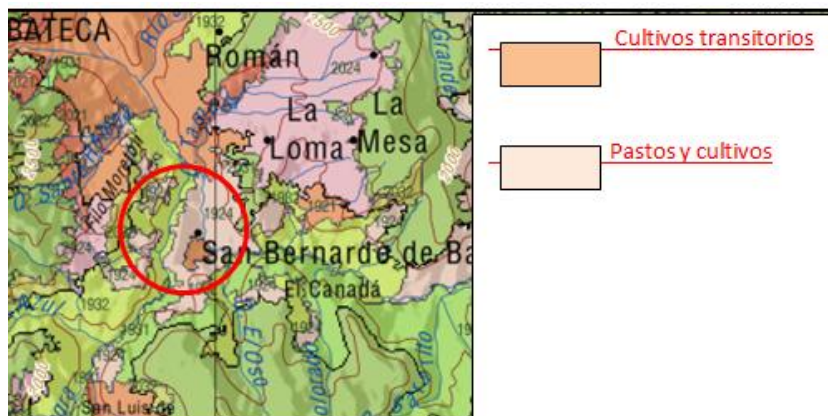


Figura 2.5 Procesos de transformación de los ecosistemas para el año 2000. (Tomado del mapa de ecosistemas de Colombia del IDEAM)

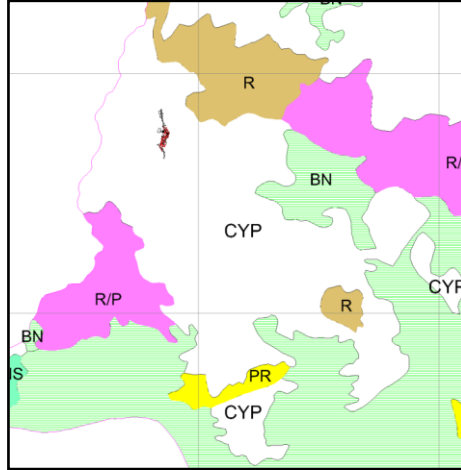
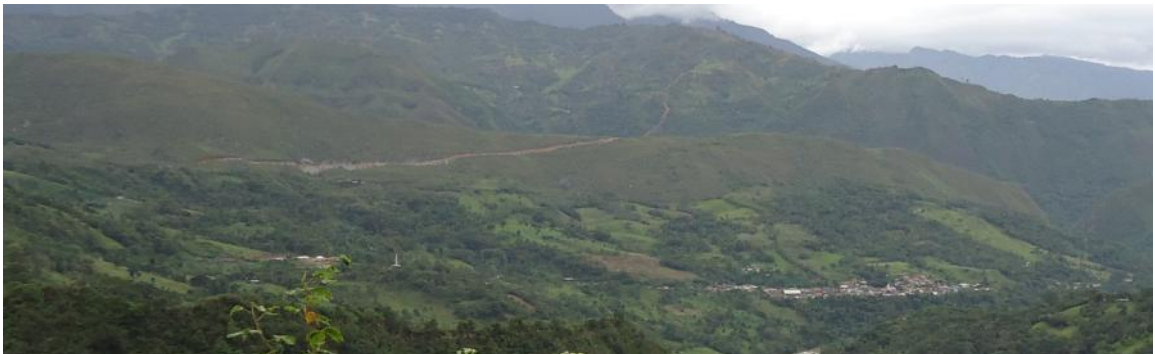


Figura 2.6 Mapa de uso del suelo (Tomado del mapa de uso del suelo EOT 2001)

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.

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 2.3 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 2.3 Panorámica del estado y uso del suelo actual

2.4.3 Conclusiones de uso del suelo

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.

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.

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 incremente 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.

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 2.4.



Fotografía 2.4 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, muestra un sistema intermitente de 1er orden, que nace 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. La Fotografía 2.4 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 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.

En el informe de Ingeominas (2011) se describe 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 corona bien definida con un ancho aproximado 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 del 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. Tabla 3.2.

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 1:1000.000 se encuentra la siguiente información que debe ser tenida en cuenta durante el desarrollo del proyecto:

- Mapa geológico escala 1:100.000
- Mapa geomorfológico escala 1:100.000
- Mapa de riesgos y amenazas
- Mapa de isoyetas

De acuerdo al mapa de isoyetas del corregimiento, la precipitación es de 1415 mm anuales. El mapa de riesgos y amenazas identifica amenaza media y baja por deslizamiento y amenaza media por erosión.

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 Figura 3.1.



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, si bien, esta zona no está bien identificada en el mapa.

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 de cada uno de los mojones se encuentra en la Tabla 3.3.

PUNTO DE CONTROL DE DESLIZAMIENTO N°4				PUNTO DE CONTROL DE DESLIZAMIENTO N°1			
MOJON	COORD. NORTE	COORD. ESTE	COTA (M.S.N.M.)	MOJON	COORD. NORTE	COORD. ESTE	COTA (M.S.N.M.)
Mojon 10	1'288.754,84	849.123,80	1189,91	Mojon 1	1'288.896,86	849.126	1194,95
Mojon 11	1'288.781,84	849.110,75	1189,59	Mojon 2	1'288.892,55	849.119,98	1195,32
Mojon 12	1'288.768,44	849.137,31	1190,05	Mojon 3	1'288.892,00	849.127,74	1193,78

PUNTO DE CONTROL DE DESLIZAMIENTO N°5				PUNTO DE CONTROL DE DESLIZAMIENTO N°2			
MOJON	COORD. NORTE	COORD. ESTE	COTA (M.S.N.M.)	MOJON	COORD. NORTE	COORD. ESTE	COTA (M.S.N.M.)
Mojon 13	1'288.827,71	849.137,44	1177,26	Mojon 4	1'288.873,52	849.099,48	1196,94
Mojon 14	1'288.857,52	849.134,48	1179,98	Mojon 5	1'288.867,67	849.097,93	1197,03
Mojon 15	1'288.868,95	849.161,21	1170,85	Mojon 6	1'288.869,87	849.103,37	1195,40

PUNTO DE CONTROL DE DESLIZAMIENTO N°6				PUNTO DE CONTROL DE DESLIZAMIENTO N°3			
MOJON	COORD. NORTE	COORD. ESTE	COTA (M.S.N.M.)	MOJON	COORD. NORTE	COORD. ESTE	COTA (M.S.N.M.)
Mojon 16	1'288.841,38	849.194,71	1160,43	Mojon 7	1'288.800,73	849.067,94	1202,69
Mojon 17	1'288.852,43	849.187,72	1159,89	Mojon 8	1'288.795,34	849.069,83	1202,77
Mojon 18	1'288.882,40	849.211,14	1158,43	Mojon 9	1'288.798,61	849.076,38	1200,93

Tabla 3.3 Mojones 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 Figura 3.2.

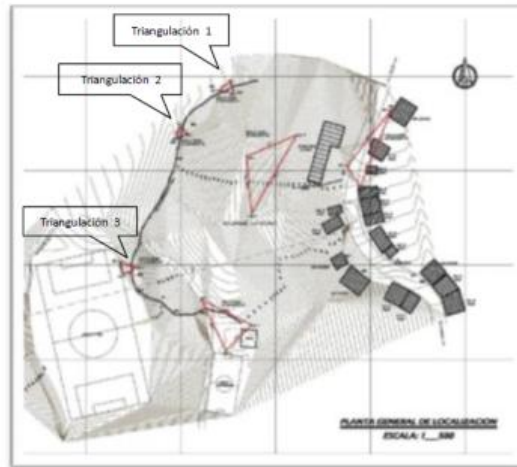


Figura 3.2 Planta triangulación topográfica para monitoreo

Los registros indicados en el informe se presentan en la Tabla 3.4:

TRIANGULACION	TRAMO			MONITOREO COMUNITARIO									
	MOJON INICIO	MOJON FINAL	LONGITUD	FECHA INICIO	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
	1	3	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
	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	5,74	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

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 2 estaciones en las que se encuentran:

- Precipitación total mensual de la Estación San Bernardo de Bata con la descripción de la Tabla 3.5.
- Caudales máximos, medios y mínimos de la Estación Peña de los Micos con la descripción de la Tabla 3.6.

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 *Capítulo 5*.

Descripción	Dato
No.	37027010
Años de registro	40 años
Latitud	0711N
Longitud	7225W

Tabla 3.6 Información Estación Peña de los Micos

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

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

Esta información sirve de base para conceptuar sobre los tipos de suelos, sus usos y conflictos, según se tratan estos temas en el Numeral 2.4

4. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

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).

4.1 Labor adelantada

Fue realizada la revisión de la topografía existente y verificada la existencia de algunos mojones de control y monitoreo en la zona de deslizamiento. Se pudo observar 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 trabajo topográfico se realizó con mayor nivel de detalle en el sector norte de la población, definido por el área afectada por el deslizamiento que destruyó algunas de las 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.

4.2 Metodología empleada en el levantamiento topográfico

A continuación se describe la metodología empleada para el levantamiento topográfico:

- ✓ Reconocimiento del lugar, orientado a recabar información superficial, datos de lindero, ubicación de mojones y de aspectos culturales dentro del área objeto del levantamiento. Antes de dar inicio a este ejercicio la Comisión de Topografía puso en conocimiento del trabajo a adelantar tanto del Inspector de Policía del Corregimiento como del Presidente de la Junta de Acción Comunal de dicha localidad. Posteriormente, en compañía del Presidente de la Junta se hizo una visita a los dos sectores, como labor previa al desarrollo de los trabajos. Fueron vinculados dos baquianos. Las jornadas de trabajo de la Comisión topográfica, realizó labores de campo y de procesamiento de información, en tres lapsos bien diferenciados: del 1 al 9 de Enero, del 20 al 25 de Enero y del 20 al 23 de Febrero.
- ✓ Revisión de antecedentes topográficos de la zona. Se hizo un análisis del plano topográfico existente en formato pdf. Dicho mapa permitió ubicar algunos puntos clave

sobre el terreno e identificar algunos puntos referenciales y mojones de control en la parte alta del deslizamiento. Fueron revisados algunos vértices de los polígonos indicados y algunos puntos internos de dicho levantamiento.

- ✓ Se hizo verificación de mojones de control instalados (hace más de un año) en el predio del deslizamiento, el cual fue objeto del levantamiento topográfico. Algunos de los mojones de triangulación fueron removidos por la actividad humana adelantada para acondicionar el acceso a áreas deportivas y puntos urbanos del centro poblado. Se hizo el chequeo de los mojones que fueron encontrados en el área.

En formato Excel, en diferentes archivos ubicados en el Anexo 14.1, según fechas específicas, se presentan las carteras contentivas de la totalidad del levantamiento topográfico.

En campo, el trabajo topográfico conllevó entre otros los siguientes pasos:

- ✓ Identificación en campo de la mejor ubicación del vértice de inicio para conformar la poligonal base o de referencia que configurará la estructura del levantamiento.
- ✓ Limpieza de área y apertura de trochas. Realizados los correspondientes permisos a los propietarios o usuarios, para acceder a los predios, se procuró cortar la menor vegetación posible, habida cuenta que en buena parte ésta corresponde a cultivos de pan coger, gramíneas, frutales.
- ✓ Ubicación, posicionamiento, calibración y nivelación de la Estación Total.
- ✓ Toma de mediciones. Se practicó levantamiento planimétrico y altimétrico de toda la población dando mayor nivel de detalle a las áreas norte (de deslizamiento) y sur (de futura expansión).
- ✓ Se incluyó la referenciación del tendido del gasoducto y de la red eléctrica de alta tensión, situadas topográficamente arriba de la población (en el sitio más próximo de esta obra lineal con el área de futura expansión). Por el costado inferior de la población, la topografía fue llevada hasta la margen derecha del río Margua.
- ✓ Cálculos y edición. Esta etapa incluyó las actividades de ajuste e informe de posicionamiento GPS, cálculo de la poligonal, de coordenadas, de áreas por coordenadas, carteras de campo, generación de planos y de perfiles mediante AutoCad.
- ✓ Generación de perfiles.
- ✓ Levantamiento de galería fotográfica. Diferentes archivos fotográficos constituyen la galería gráfica levantada que complementa el trabajo topográfico.
- ✓ Análisis general de los resultados.

5. EVALUACIÓN CLIMÁTICA, 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 la estaciones de San Bernardo de Bata y la estación Peña de los Micos (suministradas por el IDEAM) relacionado en la Tabla 3.5 y Tabla 3.6, junto con los valores típicos de la precipitación del Municipio de Toledo. En el Anexo 14.B (Isolíneas de precipitación media mensual total) se presente la distribución espacial de las lluvias para el sector de estudio.

Conforme con 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.

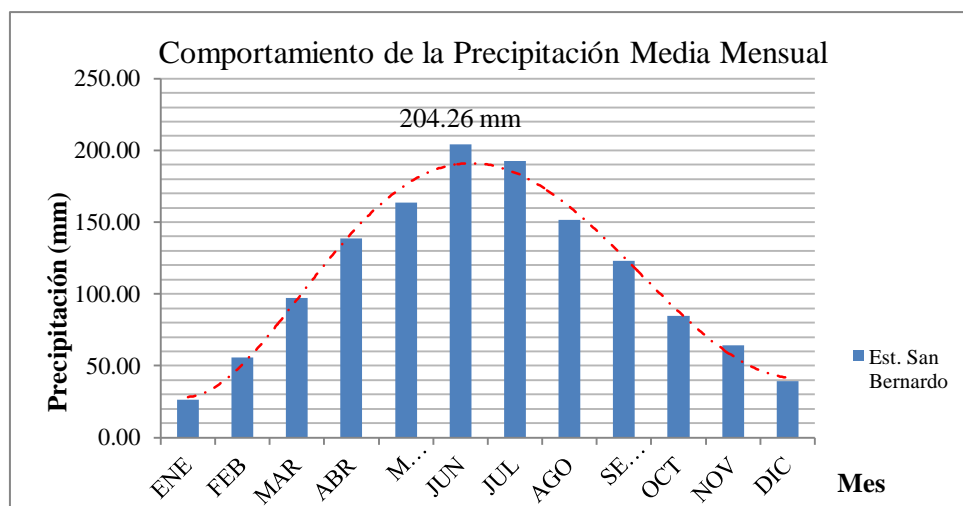


Figura 5.1 Histograma de precipitaciones para San Bernardo de Bata (Elaborada a partir de datos del IDEAM)

Dentro de la línea de tiempo de análisis para las precipitaciones medias anuales sobresalen los años; 1996, 2006, 2007 y el año 2011, en este último se ve asociado el fenómeno climático de La Niña donde las lluvias medias anuales registraron valores históricos máximos. En la Tabla 5.1, se presentan los registros.

Año	Mes	Precipitación Máxima Anual (mm)
1996	Junio	332
2006	Junio	254
2007	Junio	284.2
2010	Julio	214.2
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 fenómeno 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 períodos 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 14.4. (Anexo C) se muestran las tablas de distribución para los valores extremos de la estación utilizando (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 Hrs, para la zona de San Bernardo de Bata es de aproximadamente de 2.7 años, con una probabilidad de ocurrencia de 37%.

En la Figura 5.2, se presenta los T_r con relación a la lluvia crítica, junto con la que presenta los eventos máximos históricos de las precipitaciones máximas en 24 horas, 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 hr, lo cual obedece al T_r de 100 años.

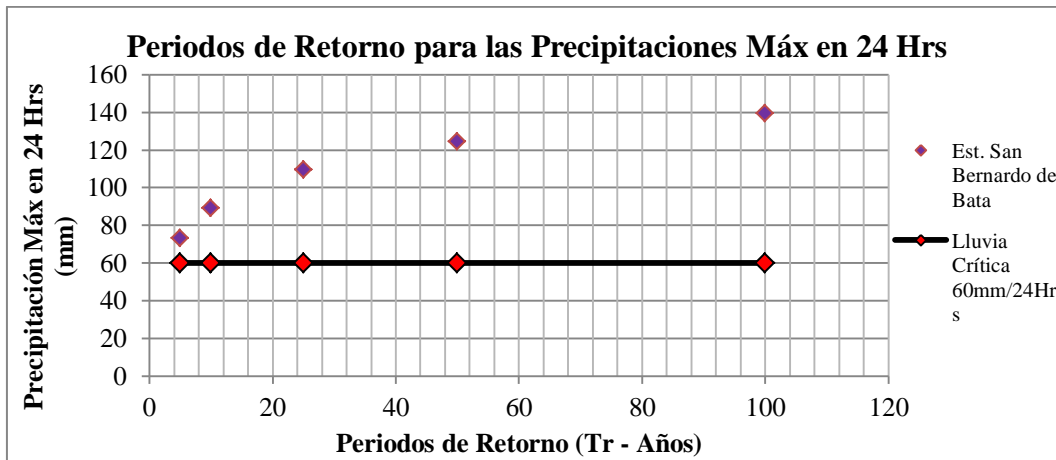


Figura 5.2 T_r para las precipitaciones Máx. en 24 Hr para San Bernardo de Bata

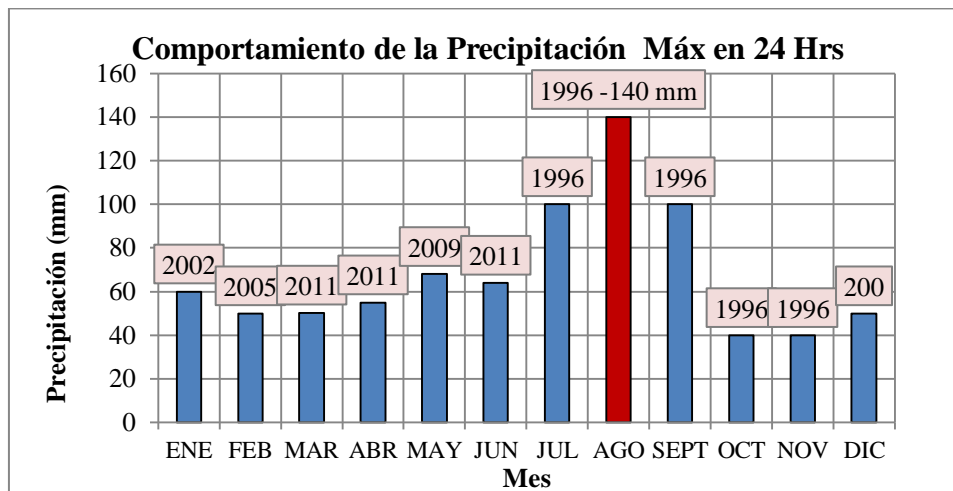


Figura 5.3 Comportamiento Histórico de los Eventos máximos de las precipitaciones Máx 24 hrs para San Bernardo de Bata

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, induce a deslizamientos, 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 fenómenos 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) el cual presenta algunos umbrales de intensidad-duración que se han estudiado en las dos últimas 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 presentan 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 erosivas 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)

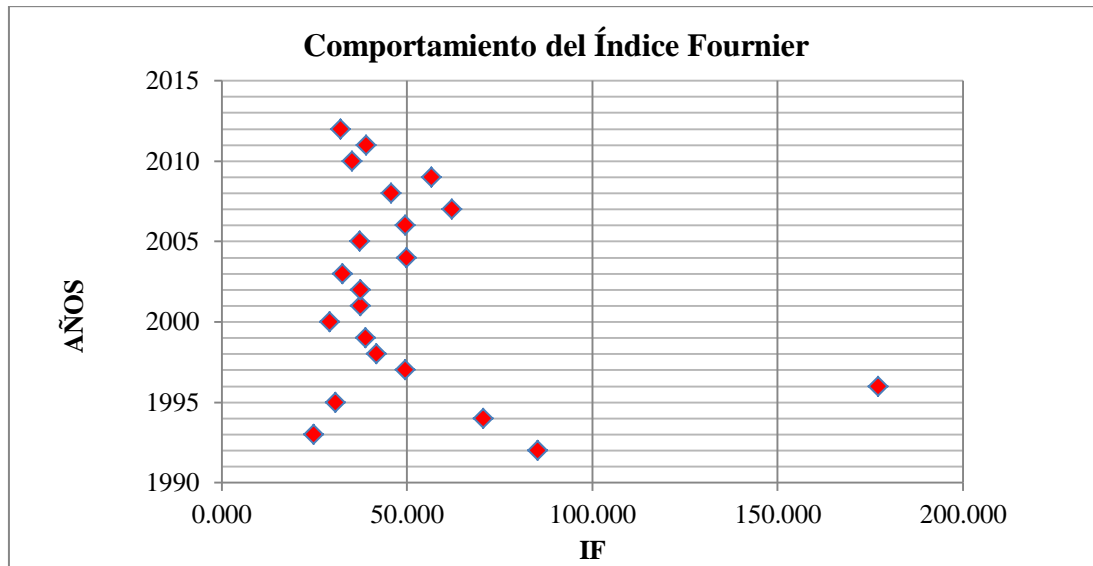


Figura 5.4 Índices de Fournier - IF (1992 -2012)

Con lo presentado en la Figura 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) el cual propuso 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)

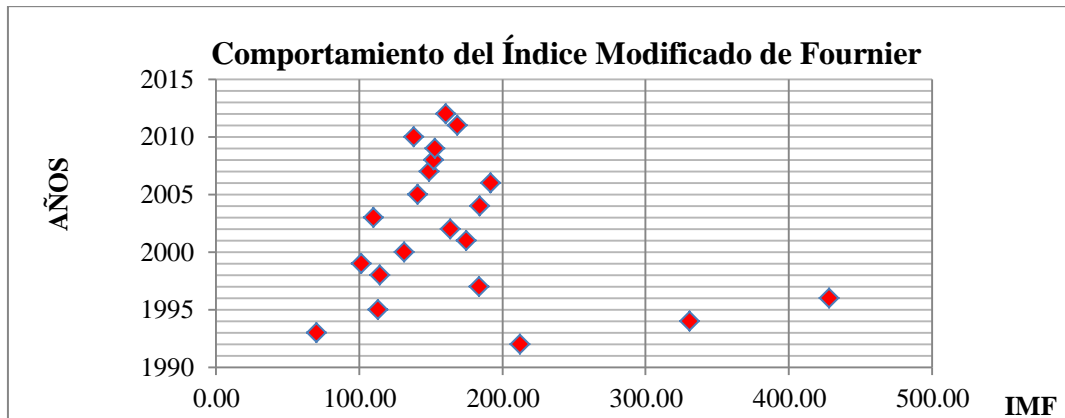


Figura 5.5 Índices de Fournier IF - (1992 -2012)

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 período 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

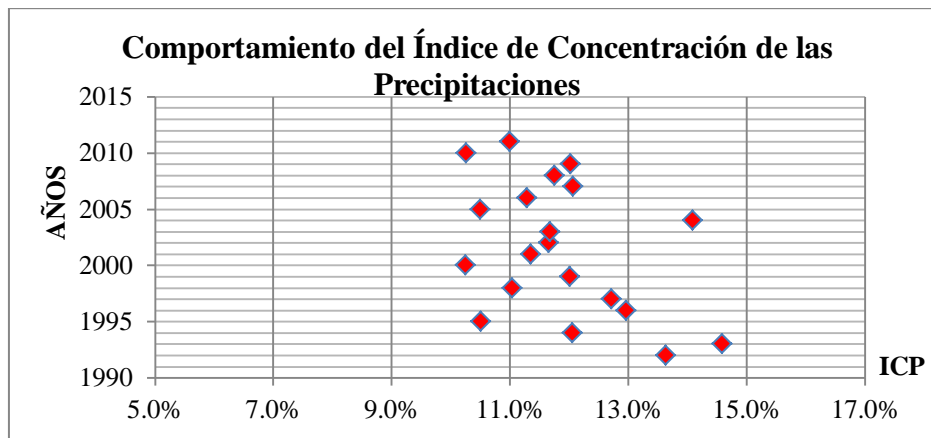


Figura 5.6 Índices ICP - (1992 -2012) para San Bernardo de Bata.

5.5 Morfología y caudales de la cuenca Margua.

5.5.1 Morfología

La cuenca del río 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

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 14.4. - Anexo A).

Conforme con lo anterior en la Tabla 5.8, se presentan los diferentes períodos 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 períodos de retorno.

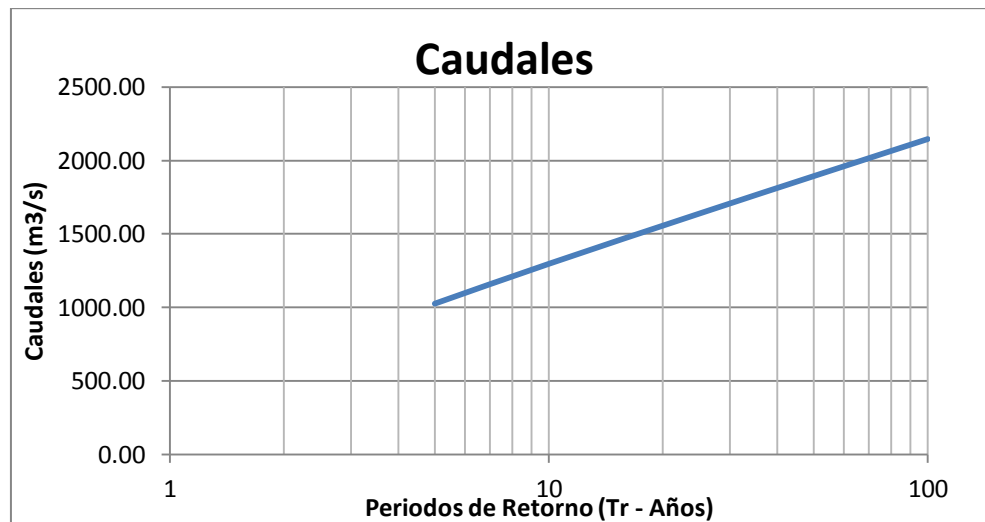


Figura 5.7 Caudales Projectados para el río Margua.

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 metros 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.

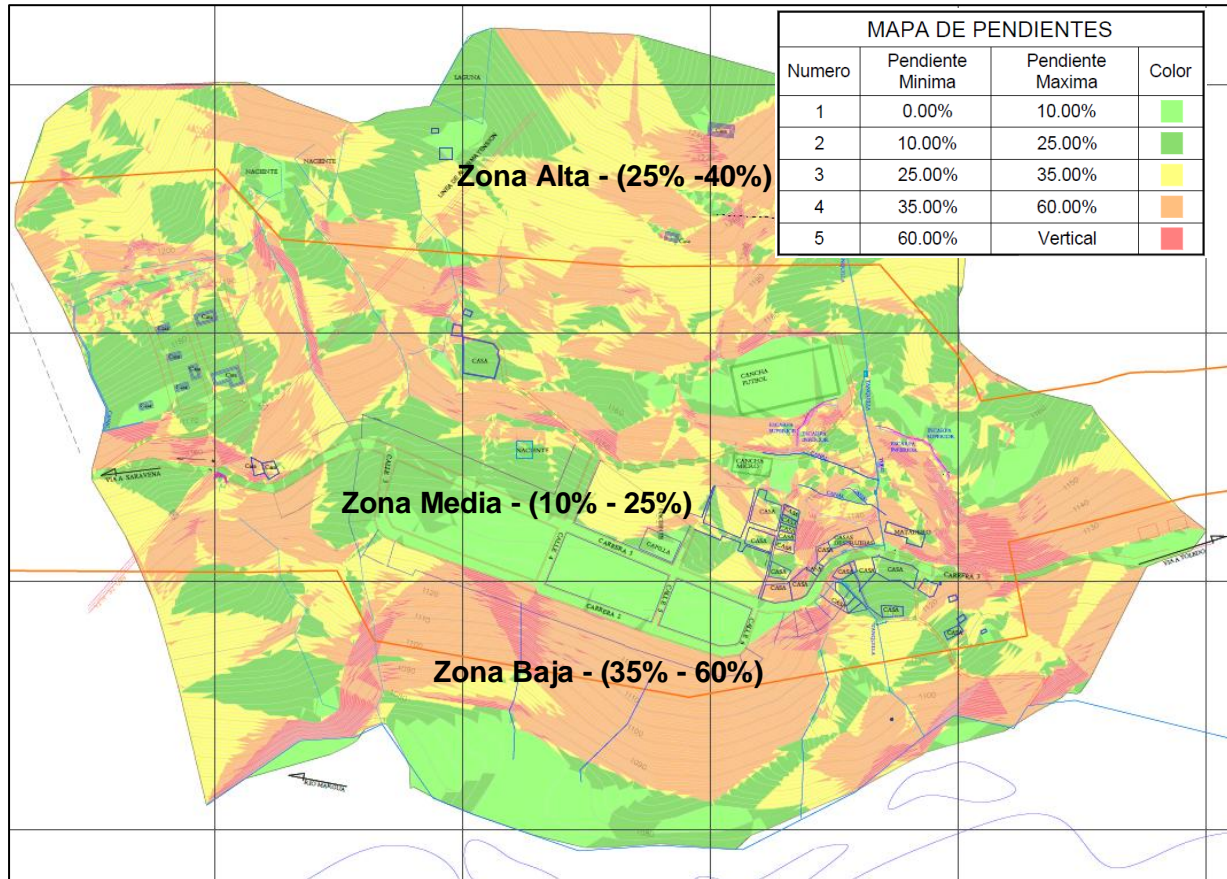


Figura 5.8 Zonas de Pendientes de San Bernardo de Bata

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 Suelo	del "C"
Zona Alta	32.5	2.3.1: Pastos limpios con alguna presencia de pastos enmalezados	Franco Arenosa	0.22
Zona Media	17.5	1.1.2: Tejido Urbano Discontinuo		0.37
Zona Baja	47.5	2.3.1: Pastos limpios con alguna presencia de pastos enmalezados		0.28

Tabla 5.9 Zonas de San Bernardo de Bata Coeficientes de escorrentía "C"

Zona	Tr (Años) - Coeficiente de Escorrentía "C"				
	2	5	10	25	50
Zona Alta	0,37	0,4	0,42	0,46	0,49
Zona Media	0,4	0,43	0,45	0,49	0,52
Zona Baja	0,37	0,4	0,42	0,46	0,49

Tabla 5.10 Coeficientes de escorrentía "C"

5.7 Descripción del sistema de drenaje

San Bernardo de Bata se encuentra inmerso en la cuenca del río Margua, la cual hace parte de la gran cuenca del río Arauca. Las características hidrográficas del municipio están determinadas por la fisiografía de la región, cuyas pendientes han sido moldeadas por la fuerza y velocidad de las corrientes que atraviesan el municipio.

La red de drenaje de la zona de estudio presenta dos sistemas; en primera instancia se tiene un patrón de drenaje de tipo colineal, es decir se presenta un drenaje paralelo a la ladera, de morfología ondulada cuyos cursos de agua pueden aparecer y desaparecer, generando un sistema de cursos intermitentes de 1er orden de muy baja densidad.

En segunda instancia se tiene un patrón de drenaje de características antrópicas, las cuales obedecen a canales y tuberías transversales y perpendiculares a la ladera de una longitud máxima de 207.5 m para los canales perpendiculares y 187.5 m para los canales transversales (Ver Anexo 14.4. - Anexo B). Estos canales son de carácter artificial, que actúan como zanjas de coronación en la parte sur de la zona de estudio y en la parte baja de la cancha de fútbol de San Bernardo de Bata.

Por otro lado en la zona baja (Ver Figura 5.8) se tienen 5 drenajes de tipo paralelo, es decir se presentan corrientes que discurren paralelas entre sí, sin importar el orden o la importancia en el conjunto total de tributarios que llegan al río Margua en el sector de la ladera denudativa Ed-1 y Lc-2 (Ver Geomorfología detallada).

Conforme con lo anterior se tiene que la zona de estudio no posee una densidad de drenaje integrada ya que el comportamiento de los cursos intermitentes, generan flujos que son conducidos de manera paralela aguas abajo de la ladera sin control. Esto debido a que la morfología ondulada de la zona no presenta depresiones topográficas que sean capaces de recoger las precipitaciones que se presentan y evacuarlas rápidamente hacia el río Margua.

Los canales transversales y perpendiculares presentes en la zona pueden mitigar la acción erosiva de estos cauces intermitentes, ya que estos canalizan y redirigen las aguas de las precipitaciones hacia el río Margua, disipando el poder erosivo de las mismas. No obstante se observa que la zona media de estudio (Ver Figura 5.8), no posee ninguna obra hidráulica (cortacorrientes, zanjas de coronación, trinchos y/o demás) que pueda mitigar el poder erosivo de las lluvias. Es allí donde el 40% del coeficiente de escorrentía presentado en el numeral 1.6, puede presentar una dinámica adversa al sistema de drenaje ya que la cobertura vegetal no opone gran resistencia a las lluvias que caen sobre el sector, principalmente en las zonas altas y bajas.

5.8 Conclusiones

- ✓ 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 fenómeno 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.
- ✓ 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 es nivel de erosividad del sector de estudio.
- ✓ Se encontró que el mes de Junio y Julio presentan la más alta precipitación 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 fenómenos 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 IMF 170.01.
- ✓ Para el sector de San Bernardo de Bata, se encontró un Índice de concentración de precipitaciones modernamente 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 geológica 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 Geología regional (*Anexo 14.6*) Se describen las unidades litológicas a nivel de formación, de la más antigua a más reciente.

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 arcillolitas 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

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 6.1.

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

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.

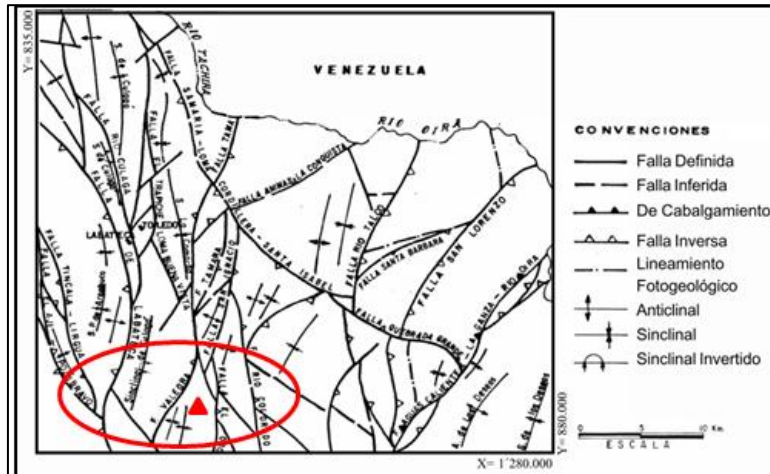


Figura 6.1 Modelo estructural de la Región Nor-Oriental del país (tomado de Ingeominas memoria técnica plancha 111- Toledo)

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.

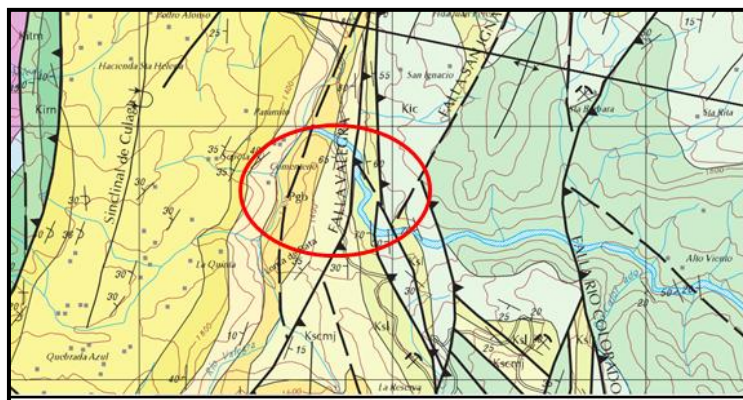


Figura 6.2 Vista de las condiciones tectónicas y estructurales del área de estudio (tomado de la plancha 111 Toledo, esc. 1:100.000 SGC)

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 – Qc1

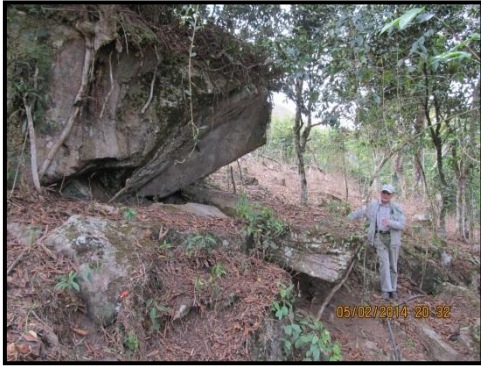
Se diferencia una unidad superficial (Qb) de bloques de areniscas, de formas angulares, dispuestos en la parte media y baja de la vertiente como aglomeraciones de bloques. Su origen se asocia a la disgregación in situ de niveles de areniscas del subsuelo intercalados con las rocas lodosas y movilizadas 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. La Fotografía 6.2 y Fotografía 6.3 muestra la unidad de bloques expuestas sobre las laderas del sector occidental del corregimiento. En la corona de deslizamiento que afectó la zona urbana, se delimita una unidad de bloques (Qb), producto de los desprendimientos de un talud de un nivel de areniscas y cubren la unidad de suelos coluviales arenosos.



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

En la parte alta de la vertiente, fuera del área de estudio, se diferencia una unidad de depósitos de talus (Qc1), asociados a la disgregación del nivel de areniscas de la formación Barco, que han sido movilizadas igualmente por efecto de la gravedad, con la formación local de flujos lentos de detritos. La Fotografía 6.2 muestra la unidad Qb con una disposición caótica de los

bloques superficiales y la Fotografía 6.3 muestra la unidad de depósitos de talus (Qc1) que han sido movilizados sobre la vertiente.



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

Estos depósitos tipo talus Qc1, se muestran localmente afectados por la erosión, con procesos locales de reptación, con un desplazamiento sobre la vertiente. Ver Fotografía 6.4.



Fotografía 6.4 Vista de los depósitos de ladera (cantos y bloques que han sido movilizados sobre la vertiente.

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 Qt

Esta unidad se expone en la parte baja de la vertiente y representa un nivel de terraza “colgada” donde se localiza en parte 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-Alo

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, con los niveles de barras de gravas y los sedimentos del cauce.

Depósito Coluvial de Deslizamiento Cd

Representa los materiales dejados por el deslizamiento que afectó la zona urbana del Corregimiento en el año 2011 con daños en las viviendas ubicadas en este sector. Se describe como un depósito matriz soportado con una composición de gravas y cantos en matriz limo arenosa. En su parte superior, esta unidad involucró en su movimiento la unidad de suelos coluviales de composición arenosa (Qc-2) y niveles de arenas y gravas del nivel de terraza aluvial que formaba el talud de corte de la vía. En su parte inferior movilizó los niveles de arenas, gravas arenosas y cantos del nivel de terraza aluvial, y parte de la roca arcillosa infrayacente.

6.1.3.2 Unidades de Roca

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

- Un nivel arenoso y limoso inferior (Ka1-Ka2) 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, con buzamientos $>45^\circ$ y en contacto con las rocas calcáreas de la formación La Luna.
- Un nivel intermedio de shales negros (K11), expuesto en el sector occidental del corregimiento, en la parte media de la vertiente, se expone en el sitio de expansión y forma parte de las unidades del subsuelo en el sitio del deslizamiento.
- Un nivel superior de limolitas y areniscas (K12) expuestas al occidente del corregimiento, se observa sobre los taludes que delimitan el campo de fútbol, donde se diferencia un nivel de areniscas de 10m de espesor expuesto en el límite occidental.

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

Esta unidad se expone en la parte baja de la vertiente, se prolongan hasta del cauce del río Margua bajo el escarpe del nivel de terraza aluvial. Presenta una composición de areniscas micáceas, bituminosas, con niveles de limolitas y delgados niveles de shales calcáreas. 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.

En el límite más oriental, configura la margen derecha del río Margua, con exposición de un nivel de areniscas, con un rumbo paralelo al cauce. Ver Fotografía.6.8.



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

Nivel de shales y limolitas grises KI-1

Esta unidad supra yace el nivel de areniscas y limolitas, configura la parte media de la formación Colón Mito Juan; se expone en la zona de expansión y se prolonga hacia el norte bajo los depósitos coluviales y hace parte de las unidades del subsuelo del cuerpo del deslizamiento. 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, expuesta en superficie como un macizo muy fracturado. Ver Fotografía 6.9.

En la zona de expansión, esta unidad exhibe en superficie un horizonte de roca meteorizada 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 shales fracturados de color gris oscuro w2- w3, ligeramente meteorizados.

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 6.9 de los afloramientos expuestos por las excavaciones del corregimiento. Por su condición arcillosa, a nivel de la base cuerpo del deslizamiento esta unidad puede estar involucrada en el movimiento.



Fotografía 6.9 Vista de los niveles de limolitas muy meteorizadas y fracturadas, expuestas en la parte alta y media de la zona del deslizamiento

Nivel de Areniscas y lodolitas KI-2

Este nivel configura las laderas del sector occidental de la zona estudiada, corresponde a un nivel de limolitas con intercalaciones de areniscas muy fracturadas. Sobre el talud que delimita el campo de fútbol, se expone un nivel de arenisca en capas de gruesas, en una condición de roca fracturada, cubierta en superficie por bloques erráticos, de formas planares, hasta de 2m de diámetro mayor, producto de la disgregación in situ de este nivel arenoso.

6.1.3.3 Caracterización del macizo.

Los afloramientos rocosos del sector oriental (unidad Ka1), entre la zona urbana y el cauce del río Margua, corresponden a un macizo estratificado de limolitas arenosas de mediana resistencia (Brown, 1981), con intercalaciones de shales calcáneos, 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° .

Para el macizo estratificado (Ka1), en capas de 0.2 a 0.5 m, con intercalaciones de limolitas arenosas en capas de 0.3 a 0.5m, este muestra una fracturación moderada J_v 5-7 disc/m^3 . Se estima un valor de GSI: 55- 60 (Marinos and Hoek, 2000). Fotografía 6.10

La unidad de areniscas y limolitas arenosas micáceas expuestas sobre la margen derecha del río Margua (Unidad K a1- Ka2) se clasifica como un macizo de mediana resistencia (Brown, 1981), en capas masivas con un bajo índice de fracturación (J_v 3-5), con un valor GSI 70- 75 (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). Esta unidad no se observó en superficie.

Las unidades de rocas blandas de la unidad K11 expuesta en superficie, se clasifica como una roca lodosa parcialmente meteorizada (w_3 - w_4 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. Ver Fotografía 6.11.



Fotografía 6.10 Vista del macizo estratificado con niveles de limolitas y shales de la unidad Ka-1



Fotografía 6.11 Vista de los niveles de limolitas muy meteorizadas y fracturadas (w3- w4) de la unidad KI-1 expuestas lateralmente al cuerpo del deslizamiento.

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 (3) 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.

- 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 geo-

mecánico 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 que dio origen a 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- 2000 mm 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, que localmente han sido desplazados sobre la vertiente por la acción de la gravedad.
- 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” y se enmarcan en el perfil geomorfológico de la vertiente (Figura 6.3), 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 ED2, un segmento intermedio igualmente denudativo LD1, 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.

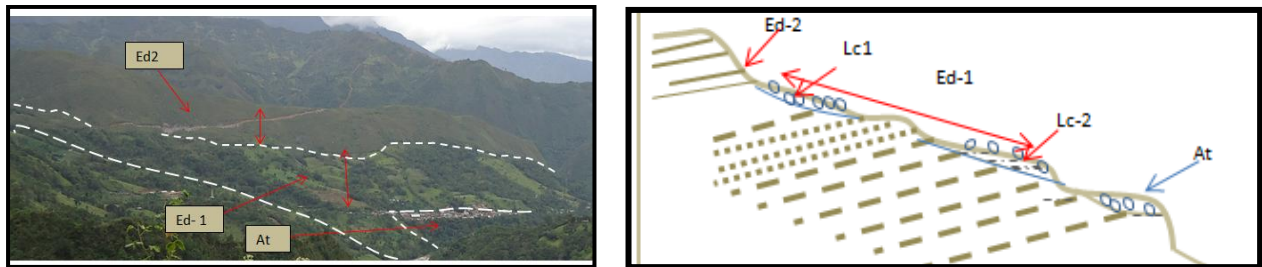


Figura 6.3 Perfil geomorfológico de la vertiente

Ladera denudativa Ed-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 primer 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 6.12.



Fotografía 6.12 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 6.13.



Fotografía 6.13 Vista de la unidad de laderas denudativas Ed-2 que delimitan el campo de fútbol

Ladera Residual Lr1- Lr2.

Estos segmentos se localizan en el límite sur del predio sobre la unidad de rocas blandas (limolitas y shales grises), con la presencia en superficie de un horizonte de suelos residuales y depósitos de ladera de poco espesor. Sobre el segmento Lr1 se localiza la zona de expansión y se prolonga hacia el occidente.

La unidad Lr2 se localiza en la parte baja de la vertiente y se muestra afectada por las aguas captadas por la vía nacional.

Régimen de agua: La unidad Lr1 se muestra afectada por una tabla de agua colgada generada por la exposición en la parte alta de la vertiente de la zona de recarga e infiltración en las unidades de areniscas de la formación Barco.

La unidad Lr2 se muestra afectada por las aguas superficiales vertidas por las obras de drenaje de la vía principal y los vertimientos de aguas servidas de algunas viviendas.

Procesos: Estas unidades muestran procesos de saturación y evidencias de reptación muy superficial con la formación de zonas de flujo (Cf).

Ladera coluvial Lc1.

Esta unidad hace referencia a los depósitos de talus que han sido movilizados sobre la vertiente con una composición de bloques sueltos y cubren las diferentes unidades. Su origen se asocia a los depósitos de talus de la formación Barco expuesta fuera del área de estudio y movilizados a lo largo de la vertiente. En el área de estudio se expone localmente como una unidad de bloque aislados.

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. El sector occidental de la zona urbana del corregimiento realiza cortes sobre esta unidad e igualmente los corte y rellenos de la cancha de fútbol.

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 6.14.



Fotografía 6.14 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 0.5 m. Su origen se asocia a la disgregación y acumulación in situ del nivel de areniscas expuesto sobre el talud del sector occidental del sitio.

Segmento de flujos Cf: Esta unidad se asocia a zonas con procesos estacionales de saturación y de reptación con la formación de pequeños flujos. Zonas afectadas por el régimen sub superficial de las laderas, con la presencia de suelos coluviales de escaso espesor y suelos arcillosos superficiales.

Terraza aluvial At 1- At-2.

Unidad de origen aluvial, de edad Holoceno – Pleistoceno, se formó a partir del proceso de incisión del río Margua, con una composición de bloques y cantos en matriz arenosa. Se diferencia un segmento plano donde se localiza parte del 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 6.15 no muestra las características morfológicas del cauce.

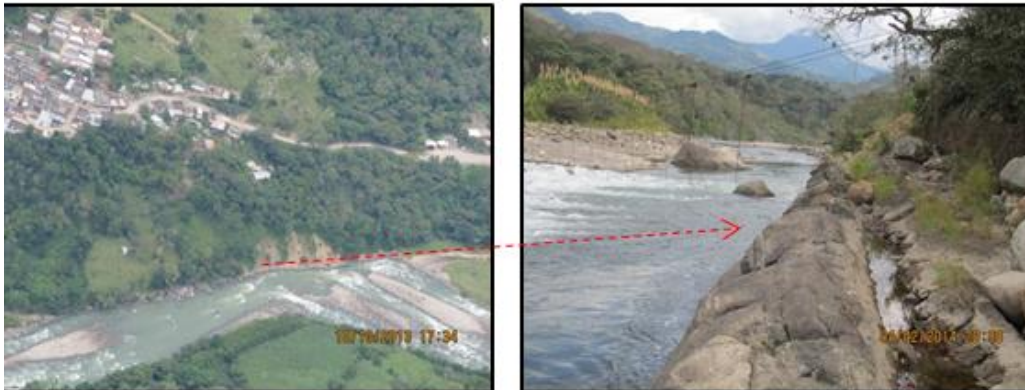


Fotografía 6.15 Morfología sinuosa del cauce del río Margua con la formación de Barras

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 6.16 muestra los afloramientos rocosos que controlan los efectos de erosión y socavación de la base de la ladera.



Fotografía 6.16 Vista de los afloramientos de la margen derecha del cauce expuestas en la base del deslizamiento

Unidades de origen antrópico.

Estos segmentos de ladera representan modificaciones en las geoformas por el desarrollo urbano, se incluyen las zonas de explanaciones y rellenos junto con los cortes generados por las vías de acceso y los cortes de explanaciones para las adecuaciones urbanas.

El mapa geomorfológico delimita los siguientes segmentos asociados a estas actividades antrópicas junto con los taludes naturales:

- a. Taludes de corte en suelos coluviales
- b. Talud de terraza aluvial (At2)
- c. Talud en areniscas fracturada con procesos de desprendimiento de bloques
- d. Talud de corte en lutitas meteorizadas.
- e. Talud en areniscas, afectadas por la dinámica del río Margua.
- f. Pata del deslizamiento.
- g. Cortes de explanación

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 la dinámica torrencial de los drenajes, con la formación de surcos y cárcavas.
- Un proceso de socavación potencial del río Margua, de muy baja acción por el control ejercido por un macizo de areniscas sobre la margen derecha.

- 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 (acuicludos) 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 5.0 m 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 (Jv: 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 síliceas 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 (*Anexo 14.6*).
- 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 N 30 E (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 al reglamento NSR10 (2010) las condiciones sísmicas de Toledo aplicable a edificaciones se ubican en zona sísmica alta, como se representa en la Figura 6.4:

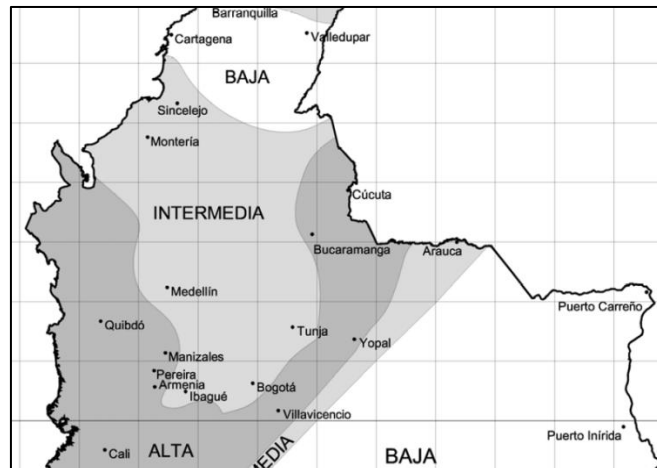


Figura 6.4 Zona sísmica alta – Ciudad de Cúcuta y Toledo- Reglamento NSR10

Los mapas indican un valor de A_a 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 que dieron origen a antiguos deslizamientos, 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 expansión afectado por pequeños flujos de tierra.

En la zona de expansión, la condición de alta susceptibilidad se asocia a niveles freáticos colgados y por la presencia de una falla con orientación N-S que atraviesa el sector occidental del lote. Esta falla se intercepta 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 de 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 (Fotografías de la década del 80), permite reconocer la zona en su estado original, donde se identifica el cruce de drenaje en 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 y el sitio del matadero; terrenos afectados posteriormente por el movimiento.

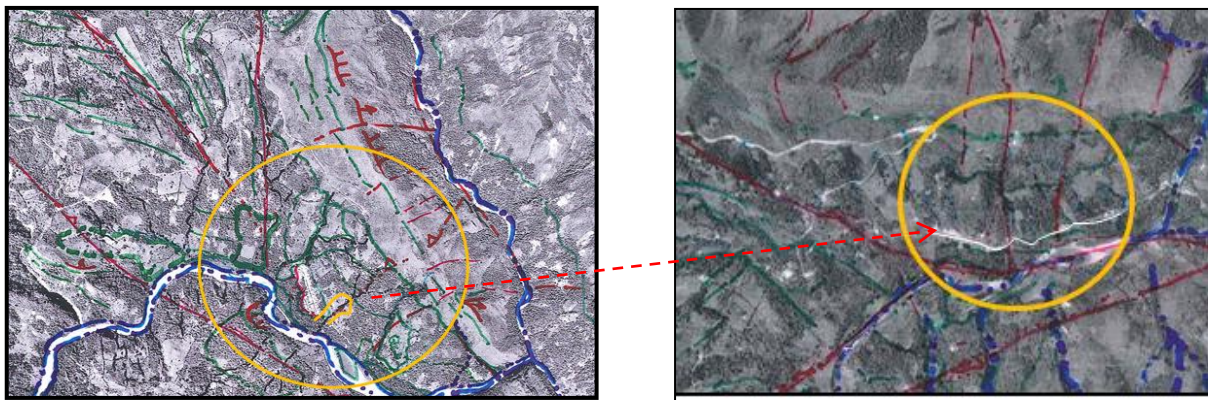
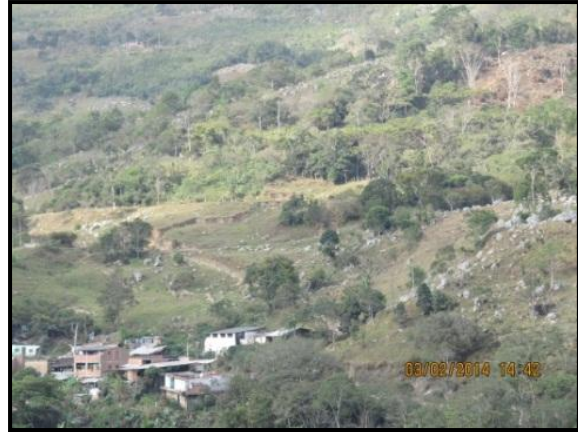


Figura 6.5 Vista de los sistemas de fallas secundarias de influencia en el área de estudio (fotointerpretación fotos de la década del 80)

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 6.17 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, cubiertos por la unidad de bloques sueltos (Qb).

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. El sondeo 4 realizado en el borde del escarpe del nivel de terraza aluvial, muestra un perfil de suelos de origen aluvial hasta los 12m de profundidad.

En la parte alta y bordeando la corona del movimiento, se expone la unidad superficial de bloques de areniscas (Ladera de bloques- Lb) producto de la disgregación de una capa de areniscas fracturadas. La investigación del sondeo 1 realizado en el campo de fútbol, fuera de la corona del deslizamiento identifica en siguiente perfil estratigráfico:

- Un horizonte superior de rellenos arcillosos hasta una profundidad de 6.7m de la superficie del terreno.
- Un suelo de composición arenosa de la unidad de suelos coluviales Qc₂ y depósitos aluviales hasta una profundidad de 15m.

- A partir de los 15m de profundidad se expone la unidad de lutitas meteorizadas, con fragmentos de lutitas.

El sondeo 2 realizado en la parte superior del cuerpo del deslizamiento identifica el siguiente perfil estratigráfico:

- Un horizonte superior del suelo coluvial arenoso afectado por el movimiento, hasta los 7.0m de profundidad, de composición limo arcillosa y limo arenosa con gravas.
- Un nivel inferior de gravas y arenas de origen aluvial que cubren en profundidad las unidades del subsuelo.

El sondeo 3 realizado en la parte media del cuerpo del deslizamiento muestra el siguiente perfil estratigráfico:

- Un horizonte superficial de rellenos arcillosos con presencia de gravas de origen aluvial hasta una profundidad 4.0m.
- Entre los 4 y 9.6m de profundidad se exponen suelos arenosos de muy alta permeabilidad.
- Entre los 9.6 y 13m del perfil se exponen suelos arcillosos de color café.
- Entre los 13 y 17.5m de investigación nuevamente se expone el nivel de terraza aluvial.
- De acuerdo con la investigación del sub-suelo, a nivel de la superficie de falla del deslizamiento en su parte alta, se expone la unidad de rocas arcillosas-limolitas arenosas, areniscas laminadas y lutitas grises, verdes muy fracturada y parcialmente meteorizadas, cubiertas en la parte media y baja del cuerpo del deslizamiento por los depósitos aluviales de gravas y arenas de alta permeabilidad, explicando la ausencia de nivel freático en la exploración. Por su alto grado de meteorización y alta fracturación, la unidad de rocas blandas fue involucrada parcialmente en el movimiento. La Fotografía 6.18 y Fotografía 6.19 muestra las características morfológicas del cuerpo del deslizamiento.



Fotografía 6.18 Vistas parciales del sistema de grietas del movimiento y viviendas



Fotografía 6.19 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 6.9 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 cuerpo del deslizamiento involucró en el movimiento la unidad de suelos coluviales arenosos (QC₂) y la parte superior de la unidad de limolitas y shales (K11) fisuradas y meteorizadas que forman parte de la depresión topográfica.

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 (Qc2) que delimitan la parte alta del deslizamiento, donde se expone igualmente el depósito de bloques superficiales (Qb). 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 sub- superficiales a lo largo de la zona fracturada.
- 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 6.6 muestra el modelo hidrogeológico conceptual.

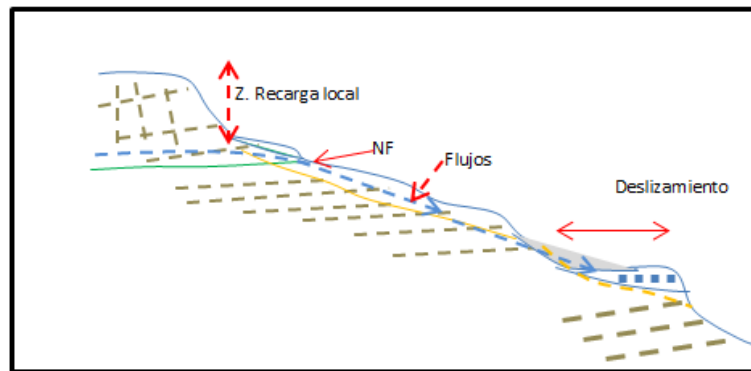


Figura 6.6 Modelo hidrogeológico conceptual mostrando la tabla de agua colgada por efecto de la zona de recarga de alta permeabilidad.

6.6.5 Diagnóstico y mecanismo de falla 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, p.e.: 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 del nivel de terraza aluvial.
- 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 6.7, 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.

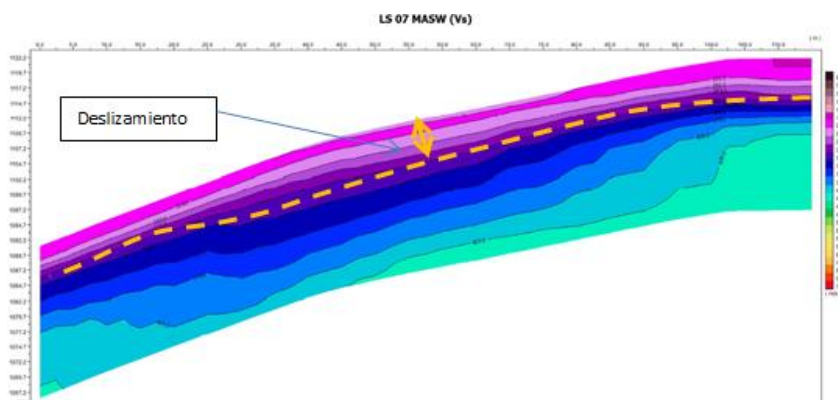


Figura 6.7 Interpretación perfil geofísico (VS de la parte baja del deslizamiento)

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 sub superficial 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, muy posiblemente generado por la dinámica antigua del río y reactivado por las causas enunciadas anteriormente.

A partir de este análisis la zona afectada por el proceso de inestabilidad hace parte de un antiguo deslizamiento generado inicialmente por la dinámica del río Margua y reactivado por los eventos extremos de precipitaciones del año 2010 como un deslizamiento traslacional retrogresivo, con una superficie de falla a nivel del contacto suelo/ roca.

6.7 Evaluación geológica de la zona potencial de expansión.

6.7.1 Descripción del sitio.

El sitio propuesto como área de expansión 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 6.20 muestra la ubicación del sitio de expansión con relación a las vías de acceso y el sector urbano.



Fotografía 6.20 Localización de la zona de expansión

6.7.2 Descripción de la geología local.

En el sitio de expansión se expone la unidad de 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 - 225 m/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 6.21 Construcciones en la zona de expansión

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 6.8 muestra el trazo de la falla en el costado occidental del lote y la interpretación de la línea sísmica respectiva.

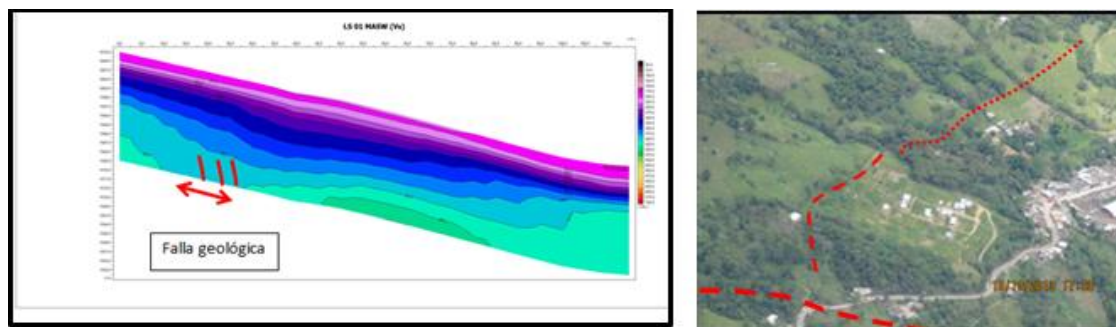


Figura 6.8 Vista de la zona de expansión afectada por el cruce de una falla local y su interpretación del perfil geofísico respectivo (VS)

6.7.4 Modelo hidrogeológico conceptual.

Por su composición arcillosa, el área prevista para la expansión 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 expansión se aprecia un cambio de pendiente asociado a un desplazamiento del terreno por el cruce de una falla geológica. En la Fotografía 6.22, se demarca la tabla de agua colgada, a una cota superior al sitio propuesto de expansión, 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 6.22 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 expansión 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 6.9 muestra la zona de estabilidad baja que delimita el área de expansión propuesta, asociada al cruce de la falla previamente mencionada.

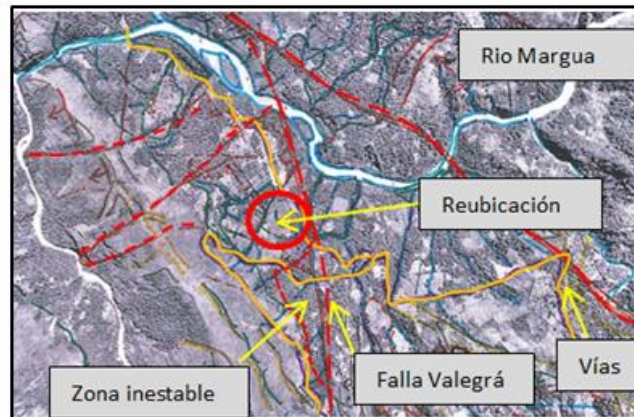


Figura 6.9 Demarcación de los trazos de falla cercanos al sitio de expansión (fotointerpretación vuelo R 945 – 1984)

La fotointerpretación del año 1986, de la Figura 6.9 muestra en el límite occidental del predio, evidencias de un movimiento superficial que coincide con el desnivel actual del terreno.



Fotografía 6.23 Vista del límite occidental de la zona de expansión, 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 expansión muestra una condición de muy baja estabilidad natural, con exposición de suelos residuales y depósitos que evidencian movimientos recientes. Ver Fotografía 6.23. 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 Consideraciones generales.

La zona de estudio se encuentra ubicada en la ladera que conforma la margen derecha del río Margua. Su topografía presenta en general una pendiente uniforme entre 25° a 35° , pendiente interrumpida mediante la vía que conduce de Saravena hacia la parte media de la ladera. Hacia la parte inferior de la vía principal se presenta una vía auxiliar donde se ubican varias viviendas del corregimiento.

La zona inestable, objeto principal del estudio, afecta la ladera de la margen derecha de río Margua, 150-200 m por encima del nivel de la carretera nacional y se extiende por debajo del nivel de la vía hasta la margen del río Margua. (Figura 7.1).

El depósito coluvial se encuentra sobre rocas sedimentarias cuyo buzamiento se opone a la pendiente de la ladera, lo anterior se puede observar en la Figura 7.2.



Figura 7.1 Vista área zona de deslizamiento



Figura 7.2 Zona baja de río Margua margen derecha

No se observa afectación por socavación del río debido a la presencia de roca, punto donde se presentan condiciones de borde y control.

Hacia la parte alta de la misma se ubica la tubería de oleoducto de Ecopetrol la cual no es percibida desde la parte baja de la misma; se ubica a una distancia mayor a 200 m.

Las intervenciones del terreno para las viviendas se han efectuado en algunos casos mediante columnas largas las cuales se acomodan con la pendiente del terreno y en otros casos mediante cortes hacia la parte posterior modificando la pendiente con terrazas cortas.

La ladera ha sido intervenida en el tiempo con cortes para la vía, para emplazamiento de viviendas y canchas de recreación.

Otra zona menor de deslizamiento se ubica en el costado NE cerca del río, la cual afecta algunas viviendas y la carretera.

La zona de estudio ha sido dividida en tres áreas de evaluación:

Zona de reubicación de viviendas.

Ubicado hacia el sur de la zona de estudio (Figura 7.3).

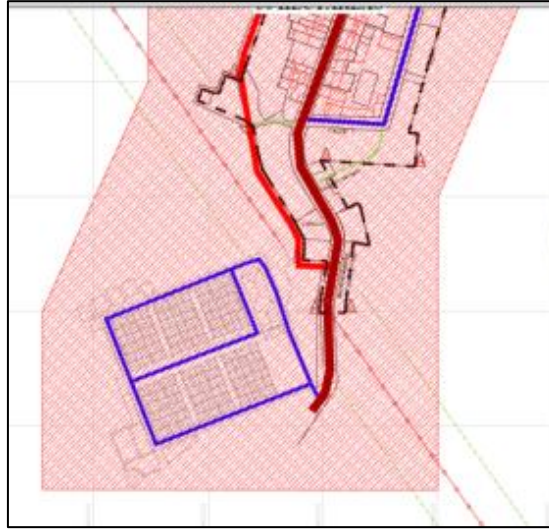


Figura 7.3 Zona de reubicación de viviendas

La zona de reubicación de viviendas propuesta por las autoridades del municipio de Toledo, que se encuentra ubicado hacia el sur del proyecto. Se encuentra ubicado hacia la parte superior de la vía rumbo a Saravena. En el acceso al predio se encuentra una falla local tipo flujo, asociada a una alcantarilla con problemas de drenaje. Hacia la parte inferior de la vía y al costado derecho de la alcantarilla se aprecia un flujo de tierra lento de un área importante cuyo desplazamiento llega hasta la margen derecha del río. Este proceso no fue claramente diferenciado en el posible avance hacia la parte superior de la vía.



Fotografía 7.1 Zona de reubicación de viviendas

Sobre la vía en la parte baja de la zona se aprecian bloques de arenisca que superyacen un depósito coluvial el cual es de espesor irregular, no superior a 5 m.



Fotografía 7.2 Afloramiento de Roca Sobre la vía

El acceso desde la vía hacia Saravena y el lote de estudio se efectúa en un corte a media ladera efectuado sobre el depósito coluvial, suelos residuales y saprolito de lutita en un talud del orden de 8 m. Su continuidad no es clara y debe ser evaluada posteriormente. El talud presenta un corte casi vertical estable con procesos de erosión incipientes.



Fotografía 7.3 Características del Depósito Coluvial

La zona de expansión presenta una pendiente promedio de 15° y en algunos puntos con mayor pendiente, (con recalces en ciclópeo para nivelar y en otros casos con cortes de 1.5m para nivelar especialmente hacia la parte superior del lote.



Fotografía 7.4 Zona de expansión

En la zona se observan condiciones variables de estabilidad: algunos procesos de flujo en el costado occidental (parte alta) que estarían asociados a un lineamiento de falla, y deslizamientos activos en el costado norte hasta una zona de mayor estabilidad relativa en la que actualmente se construyen viviendas y de posiblemente se reubiquen nuevas viviendas.

La comunidad indica que se ubicó en el sitio un canal de conducción de agua.



Fotografía 7.5 Zona de expansión vista hacia la parte baja

Zona del deslizamiento.

Ubicación hacia el norte de la zona de estudio y hacia la entrada vial del corregimiento.



Figura 7.4 Zona de procesos activos

La zona de procesos activos presenta una corona del orden de 100 m y una longitud hasta el río de 300 m de longitud conformado por depósitos coluviales matriz soportados no mayores a 5 m en la parte superior y sobre la vía del orden de 10 m de profundidad. Ha afectado varias viviendas hacia la parte inferior con deformaciones altas generando daños en muros y pisos.



Fotografía 7.6 Flancos del deslizamiento

La zona presenta movimientos hasta la margen derecha del río con presencia de dos escarpes desde la vía con alturas superiores a 1.5 m.



Corona auxiliar desde la vía hacia el río. Obsérvese los pies del acompañante y el borde bajo de la foto.

Fotografía 7.7 Escarpe parte baja deslizamiento activo

Hacia la parte superior de la corona se ubica una cancha de fútbol la cual de acuerdo a la comunidad se encuentra en suelo y parte en rellenos. En el corte a media ladera efectuado a la cancha se observa la presencia del depósito coluvial y del estrato de suelos residuales, saprolito y roca de arenisca.



Fotografía 7.8 Parta alta del deslizamiento – cancha

El flanco izquierdo parece ser estar controlado por un contacto estructural en roca diaclasada con bajo recubrimiento en el depósito coluvial:

 <p>20/11/2013 16:53</p>	 <p>20/11/2013 17:20</p>
<p>Control estructural del flanco derecho del deslizamiento con presencia de bloques de arenisca diaclasada.</p>	<p>Parte baja del deslizamiento sobre la vía</p>
 <p>20/11/2013 17:20</p>	
<p>Flanco izquierdo el cual presenta una ondulación de mas de 3 m de altura con presencia de corte en depósito coluvial del orden de 8 m de espesor. La obra futura debe estar sobre el borde de vía externa y controlando los movimientos sobre la berma interna</p>	

Fotografía 7.9 Flanco derecho y parte baja del deslizamiento

Tipo de movimiento y mecanismo de falla

A la luz de los hallazgos obtenidos en la investigación y en el intento de clasificar el tipo de movimiento con el objeto de sustentar el mecanismo de falla que se asume, se plantean que se presentan evidencias para proponer un deslizamiento rotacional múltiple (Hutchinson, 1988) en el cual se presentan 2 o más bloques deslizantes, cada uno con una superficie de falla tangencial a una común basal relativamente profunda. Dada la geometría asumida la apariencia general puede ser de un movimiento traslacional, pero debe tenerse en cuenta que cinemáticamente cada bloque individual se mueve rotacionalmente (Dikau 1996).

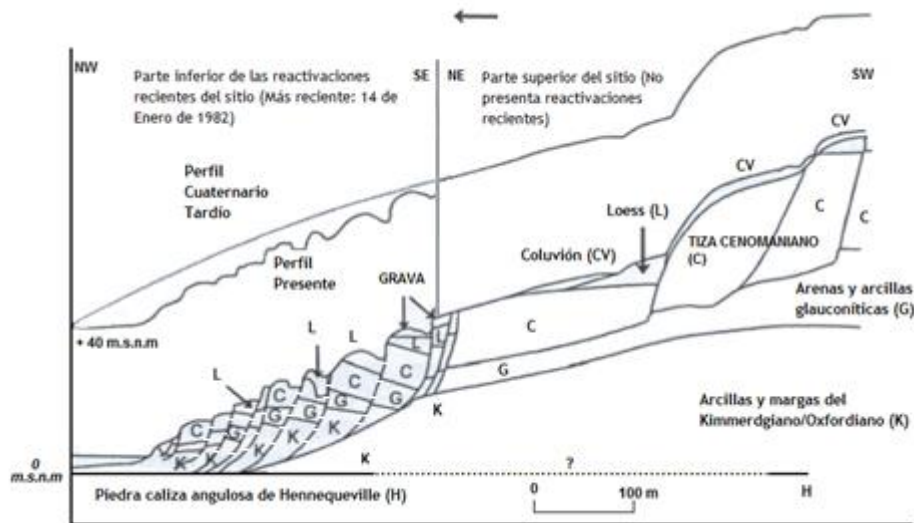


Figura 7.5 Esquema deslizamiento rotacional múltiple (Hutchinson, 1988)

Zona central.

Ubicado entre la zona de reubicación de viviendas y la zona de procesos activos. Se ubican viviendas las cuales no presentan problemas observados directamente.



Figura 7.6 Zona central

Hacia la parte superior de las viviendas se identifica un depósito coluvial el cual ha sido cortado para el emplazamiento de las viviendas y ubicado sobre suelos residuales y roca tipo lutita. Este depósito se observa antiguo con evidencias o rasgos de estabilidad. El corregimiento se ubica sobre un depósito aluvial evidente hacia la parte sur de la zona de estudio.



Depósito coluvial hacia la parte superior de las viviendas existentes.
No se observa inestabilidad evidente



Depósito coluvial evidente cortado hacia el final de la vía



Detalle del depósito coluvial

Fotografía 7.10 Zona central de estudio

7.2 Evaluación geotécnica de la zona inestable.

7.2.1 Exploración del subsuelo.

Para la zona inestable se efectuó la exploración orientada a definir tres aspectos, que contribuyen a identificar: el tipo de movimiento y en consecuencia, asumir el mecanismos de falla.

- Espesores del depósito coluvial, de los horizontes de saprolito y de suelo residual, y de la roca subyacente que pudieran estar involucrados en el movimiento.
- Condiciones geomecánicas de los depósitos coluviales y las unidades de roca o suelo residual que pueden o no estar involucradas en el movimiento.
- Cobertura lateral de procesos, es decir tendencia del movimiento a incrementarse espacialmente 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 delimitado por el río.

Para el cumplimiento de estos tres propósitos se efectuó la exploración del subsuelo mediante métodos directos consistentes en sondeos mecánicos, apiques y trincheras, y métodos indirectos consistentes en líneas sísmicas de refracción.

Métodos directos.

En total se efectuaron cuatro sondeos mecánicos: dos sondeos, S1 y S2, sobre la masa de suelo en movimiento, el S3 hacia la parte superior de la vía de estudio en cercanías del flanco izquierdo del proceso y el S4 hacia el flanco izquierdo del proceso. También se ejecutaron 3 apiques y 2 trincheras en el área aledaña a la zona del deslizamiento, con el propósito de verificar condiciones y calidad de los materiales superficiales del depósito.

El registro fotográfico de la ubicación de los sondeos se presenta a continuación (Fotografía 7.11):



Sondeo 1



Sondeo 2



Sondeo 3



Sondeo 4

Fotografía 7.11 Sondeos zona inestable

Los datos de los sondeos mecánicos y de las trincheras/apiques son presentados en la Tabla 7.1.

Sondeo	Norte (m)	Este (m)	Profundidad total (m)
1	1288887	1180430	22.40
2	1288903	1180522	20.50
3	1288935	1180580	17.50
4	1288853	1180623	15.0
Trinchera	Norte(m)	Este (m)	Longitud (m)
1	1289032	1180591	5
3	1180475.2	1288699.6	5
Apique	Norte(m)	Este(m)	Profundidad total (m)
1	1180433.1	1288802.0	1
2	1180385.9	1288904.5	1
3	1180420.7	1288978.9	1

Tabla 7.1 Exploración del subsuelo directa – sondeos y apiques/trincheras zona inestable

Métodos indirectos.

Se efectuó en la zona inestable el método de refracción sísmica mediante cuatro líneas sísmicas, las cuales abarcaran la zona de la vía, el flanco derecho e izquierdo y la zona de masa central, identificando espesores de materiales y velocidades de ondas V_s y V_p . Se efectuaron las líneas sísmicas LS-4 y LS-5 transversales a la zona de movimiento, la LS-8 sobre la zona de la vía hacia el flanco izquierdo y la LS-7 hacia la parte inferior de la vía. El registro fotográfico de la zona de las líneas se presenta en la Fotografía 7.12:



Fotografía 7.12 Líneas sísmicas zona inestable

7.2.2 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. Los ensayos de laboratorio efectuados en la zona inestable se presentan en la Tabla 7.2.

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

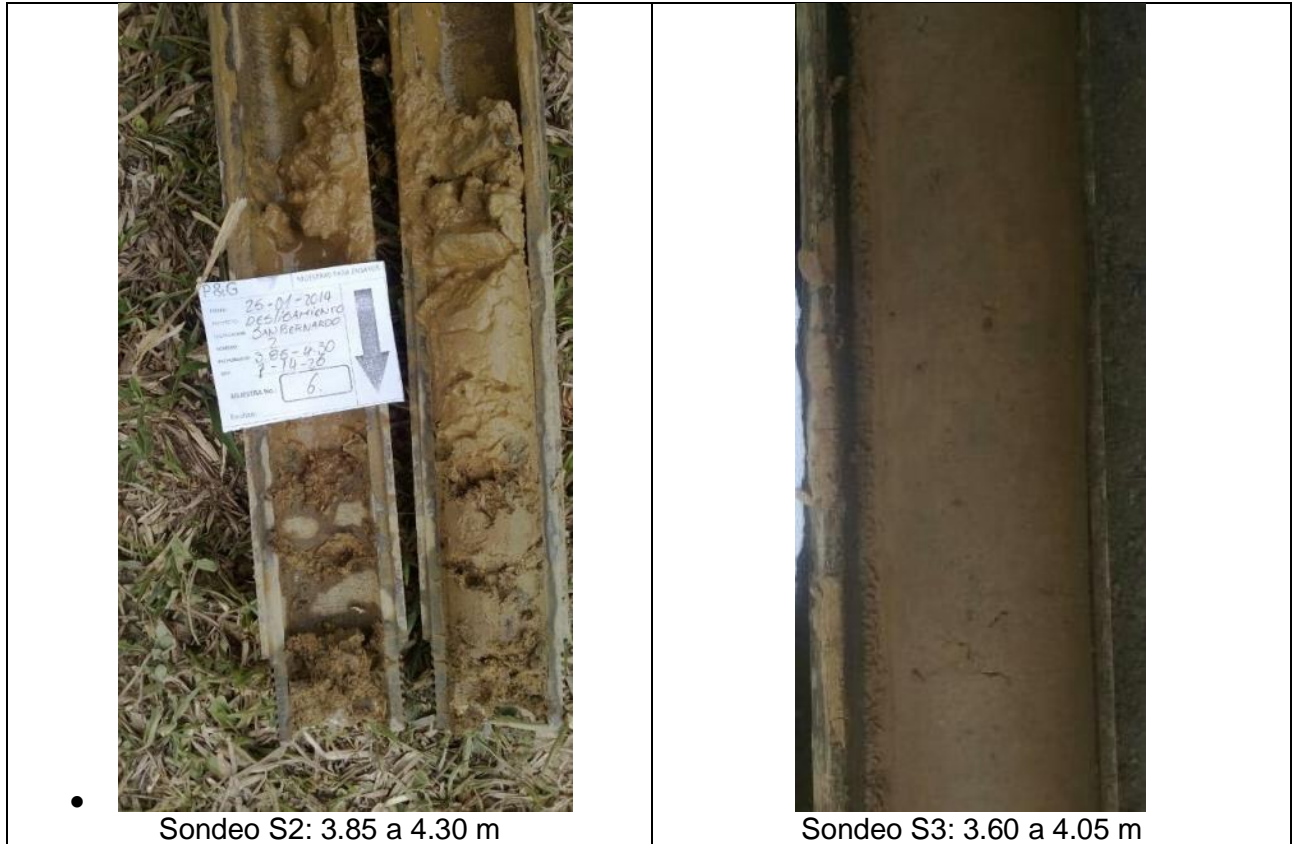
Tabla 7.2 Ensayos de laboratorio zona inestable

Perfil característico.

Los materiales presentes en la zona inestable son los siguientes:

Material del deslizamiento

Corresponde a bloques de roca, gravas y arenas con 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 de material del orden de 14 m 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; se advierte sin embargo que parte del espesor involucra roca descompuesta (Fotografía 7.13).



Fotografía 7.13 Depósito coluvial zona inestable

La zona de falla se identifica a una profundidad comprendida entre de 7 y 11 m, con un mayor contenido de humedad y remoldeo del material (Fotografía 7.14).



Fotografía 7.14 Zona de contacto movimiento depósito coluvial – roca diaclasada

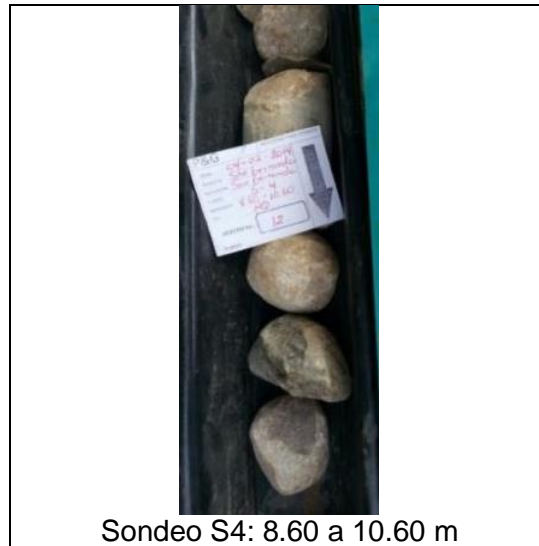
Limolitas verdes y shales negros. Areniscas micáceas con niveles de limolitas calcáreas.

Debajo del depósito coluvial se identifica hacia la parte superior limolitas y shales negros con alto diaclasamiento o fracturamiento que genera baja a nula recuperación de roca hacia la parte alta del movimiento se observa mayor predominio de limolitas y shales negros. 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 7.15).



Fotografía 7.15 Limolitas verdes y shales negros

Depósito aluvial. Hacia la parte baja en el talud de corte de la vía se presenta una terraza aluvial antigua sobre la cual se encuentra apoyado en el flanco izquierdo el depósito coluvial. Esta terraza siendo antigua se presenta en condiciones estables, relativamente dura y sin evidencia de procesos erosivos intensos. Fué identificado en profundidad a 14 m en el sondeo S4 (Fotografía 7.16).



Fotografía 7.16 Depósito aluvial antiguo – Sondeo S4

Caracterización de materiales.

Composición granulométrica.

Los porcentajes (%) de granulometría, asociados a tamaños grava, arena y finos de las muestras obtenidas en campo pueden ser representados en la Figura 7.7 con la profundidad:

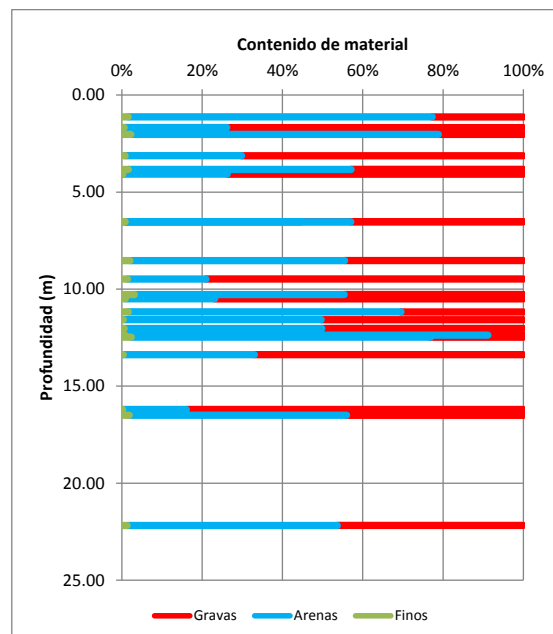


Figura 7.7 Composición granulométrica de % grava, % arena y % finos

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 7.8.

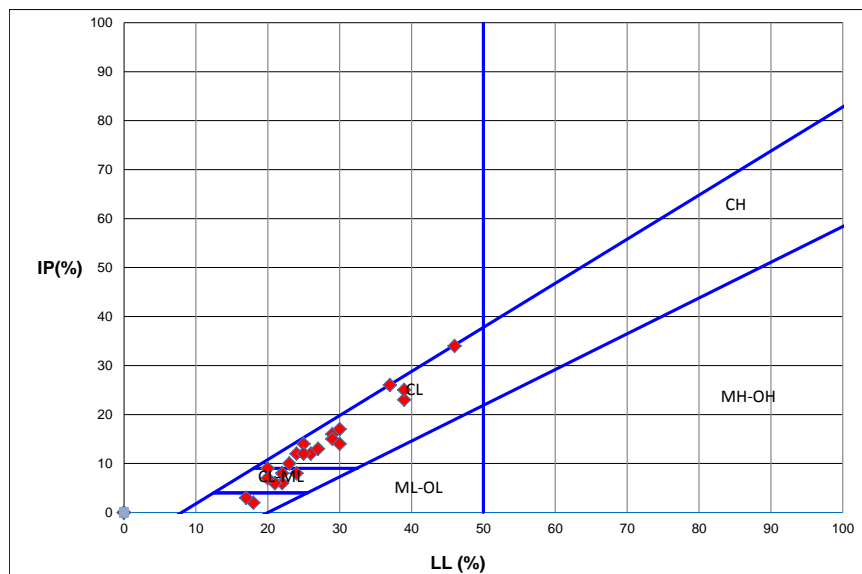


Figura 7.8 Carta de plasticidad para el depósito inestable

Los valores caracterizan a una matriz de plasticidad baja 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 7.9.

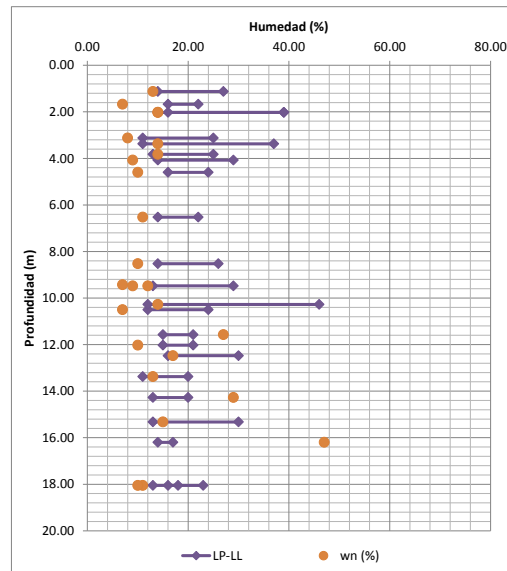


Figura 7.9 Humedad, plasticidad y profundidad de muestreo

Se observa un perfil uniforme en plasticidad con 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 el suelo.

Peso unitario

El valor de peso unitario total con la profundidad se presenta en la Figura 7.10.

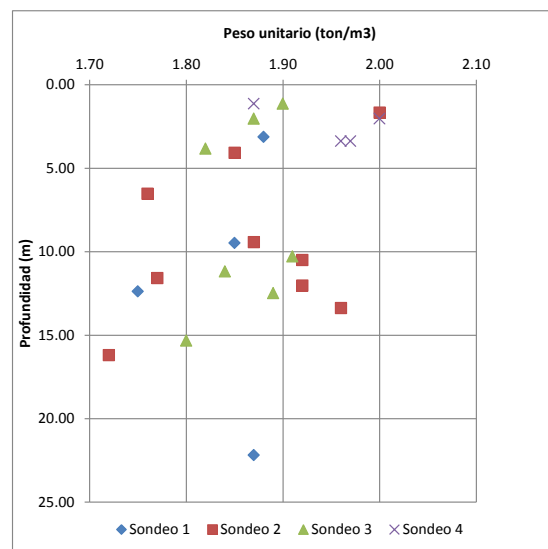


Figura 7.10 Peso unitario total con profundidad

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 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 resultados que se presentan en la Tabla 7.3; uno de los ensayos de corte directo no pudo ser terminado por tanto no se cuenta con un resultado contundente:

Sondeo	Muestra	Diámetro efectivo (m)	área (m ²)	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

7.2.3 Análisis de sensibilidad de parámetros geomecánicos.

De acuerdo con las características del sector se generaron diferentes modelos de estabilidad por material y sus propiedades. Para este análisis se utilizó 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. De conformidad con el mecanismo de falla definido, el nivel de aceptación es función del factor de seguridad FS, para las combinaciones de variables aleatorias extremas como son: parámetros geomecánicos de resistencia al corte (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 esfuerzo total, como el producto del peso unitario total r_t y la altura del punto en el suelo H , 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 planteado en la reglamentación NSR 10 con un valor de aceleración pico efectiva $A_a=0.35 \text{ g}$.

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

Cálculo de sensibilidad

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 de sensibilidad 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 agrietadas.

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 Figura 7.11 se presenta la distribución de las secciones 1-1, 2-2 y 3-3 dentro del área de estudio correspondiente a la zona inestable, área de potencial expansión y su entorno.

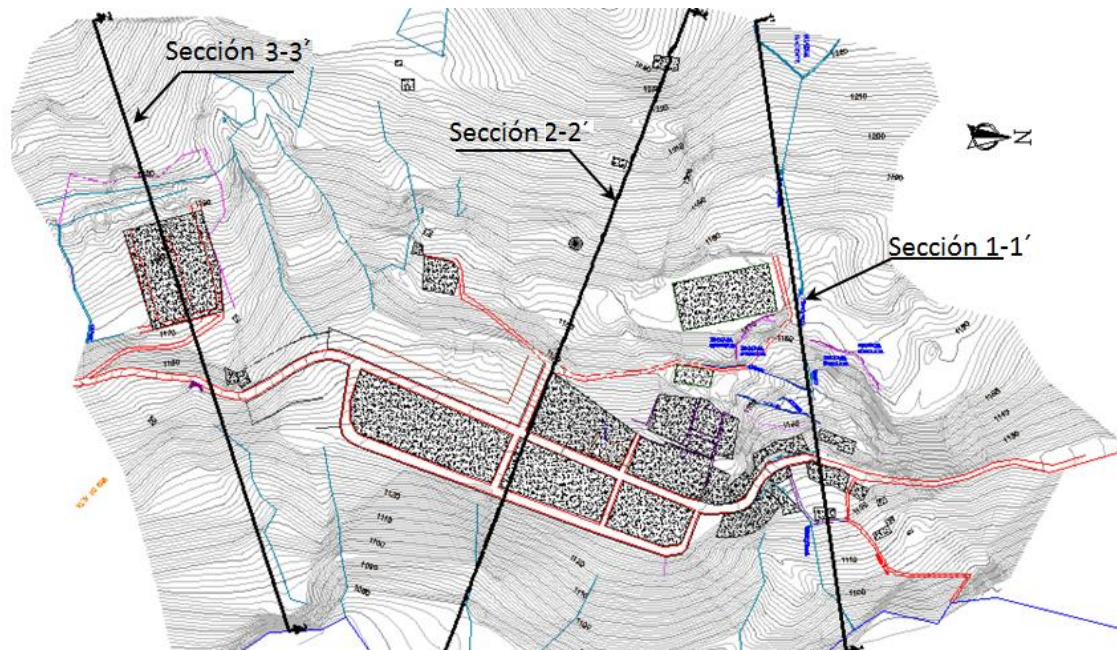


Figura 7.11 Ubicación de secciones en la zona de estudio

El modelo de análisis de la sección 1-1' se presenta en la Figura 7.12.

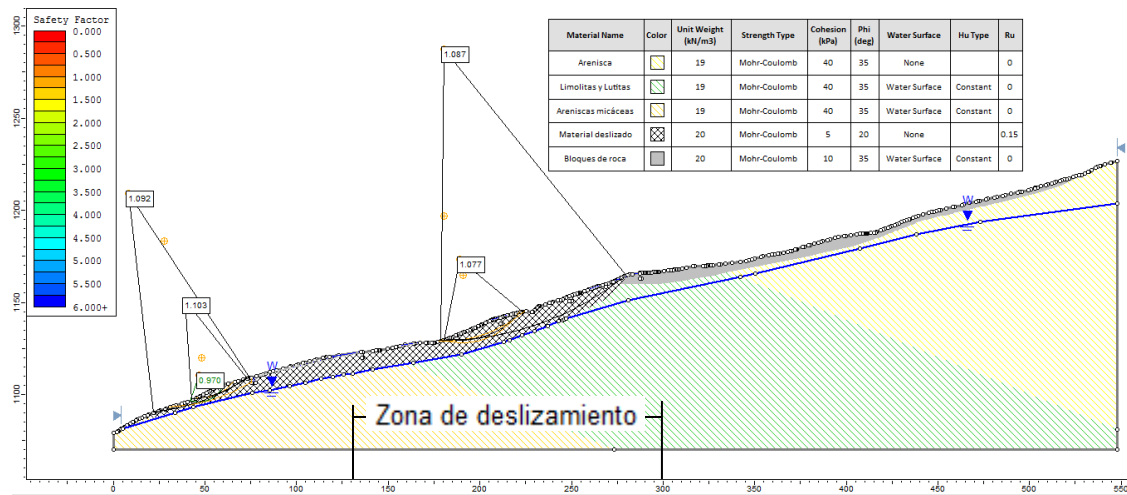


Figura 7.12 Modelo de análisis Sección 1-1'

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 presenta en la Figura 7.13.

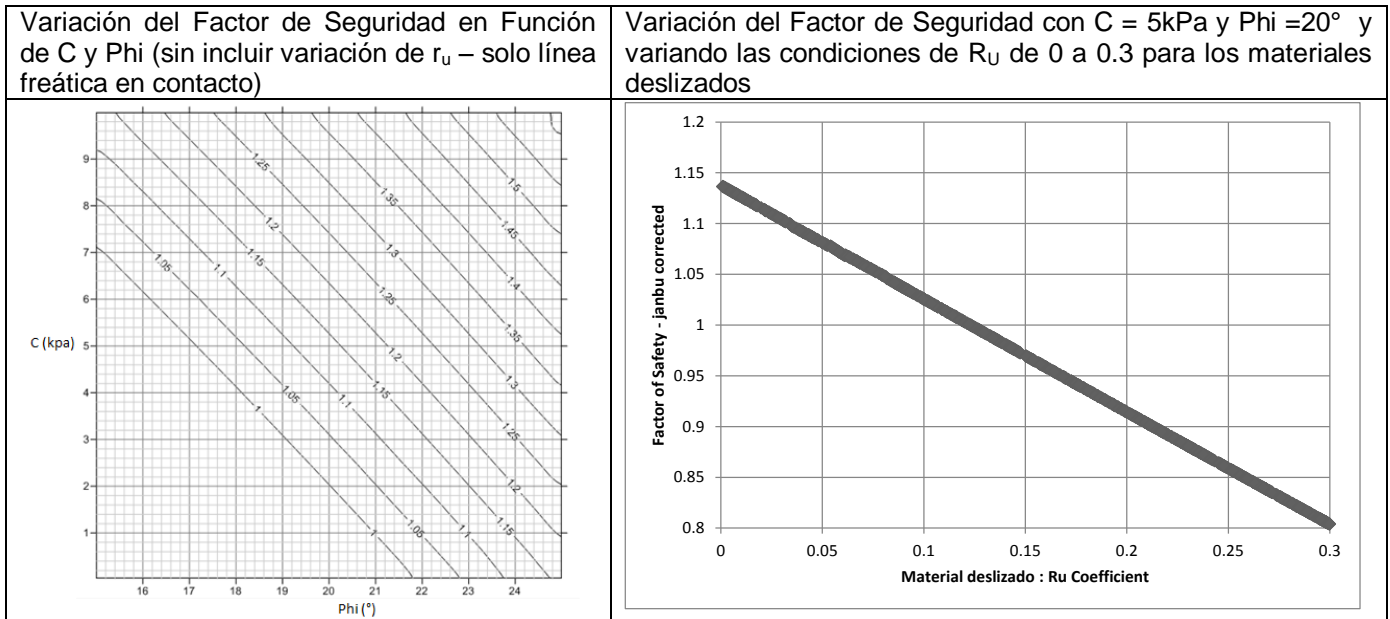


Figura 7.13 Variación de parámetros modelo de sensibilidad

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 de sensibilidad finalmente se obtiene las siguientes propiedades:

<i>Material</i>	<i>Angulo de Fricción (°)</i>	<i>Cohesión (kPa)</i>	<i>Peso unitario (kN/m²)</i>
Material Deslizado	20	5	20
Depósito Blocoso	35	10	20

Tabla 7.4 Parámetros de resistencia de material deslizado del análisis de sensibilidad

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

7.2.4 Evaluación de parámetros geomecánicos.

Tipos de materiales.

En términos geomecánicos se identifican dos unidades de materiales, el primero corresponde a las unidades rocosas, correspondientes a la Arenisca, Arenisca Micácea, shales 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 ponen en evidencia que la superficie de falla se moviliza tanto a través del material coluvial como de la roca subyacente. Por lo cual en los modelos de análisis se tiene en cuenta las propiedades de los materiales muestreados.

En esta zona se realizaron dos cortes directos, respectivos al sondeo S1, muestra M-12 y al sondeo S3, muestra M-6, a profundidades 9.70 m - 10.15 m y 2.25 m – 2.70 m. Los valores obtenidos se presentan en la Figura 7.14. El análisis de sensibilidad arrojó que para los materiales deslizados la cohesión es cercana a los 5 kPa y ángulo de fricción a los 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.

No obstante la caracterización de los materiales se realizó para el depósito coluvial, la roca subyacente que podría tener características geomecánicas más desfavorables, también está involucrada en el movimiento, pero para establecer la condición de borde del análisis se supone que la mayor parte del desplazamiento se da por el material coluvial o cerca del contacto.

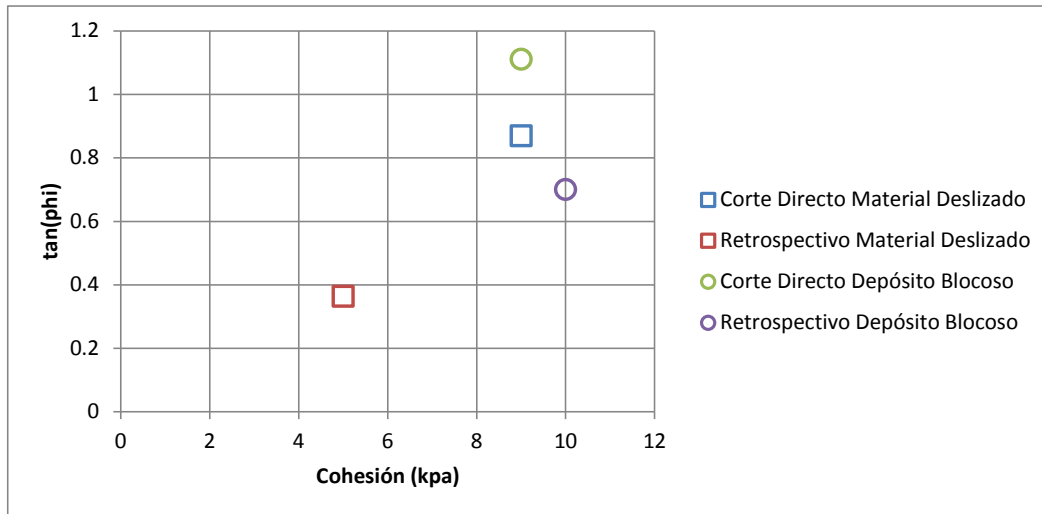


Figura 7.14 Parámetros geomecánicos para los materiales de la sección 1-1'

El gráfico de la figura anterior muestra como los valores de las condiciones retrospectivas son más conservativas 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 (°)	Cohesión (kPa)	Peso unitario (kN/m²)
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'

7.2.5 Evaluación de estabilidad para amenaza

Para la zona del deslizamiento el modelo de análisis se elaboró asumiendo superficies de falla rotacionales de radio amplio, es decir desde la parte superior de la zona comprometida se generan superficies a partir de los escarpes de falla; luego sobre la superficie basal, se presentan radios amplios que simulan un modelo traslacional. Esta condición del modelo es la que se observa en la zona definida por tres regiones: a) zona hacia la parte alta con el escarpe principal marcado de 2 m de altura, 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 intermedio 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 altura conformando materiales desplazados hacia el río. Estas tres unidades o bloques de falla conforman movimientos relativamente independientes dentro del 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
1—1'	Ladera Media	No	No	1.20
1—1'	Ladera Media	Si	No	1.05

Sección	Zona	Condiciones		F.S
		Agua	Sismo	
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

7.3 Evaluación geotécnica de la zona potencial de expansión.

7.3.1 Exploración del subsuelo.

Para la zona de expansión 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 propósitos se efectuó la exploración del subsuelo mediante métodos directos consistentes en sondeos mecánicos, apiques y trincheras, y métodos indirectos consistentes en líneas sísmicas de refracción.

Métodos directos.

En total se efectuaron dos sondeos mecánicos: el S6 y S7, además de 4 apiques y 2 trincheras. El registro fotográfico de la ubicación de los sondeos se presenta en la Fotografía 7.17.



Fotografía 7.17 Registro fotográfico zona potencial de expansión

Los datos de los sondeos son presentados en la Tabla 7.7:

Sondeo	Norte (m)	Este	Profundidad total (m)
6	1288405.7672	1180448.9103	10.20
7	1288382.9641	1180385.2414	9.70
Trinchera	Norte (m)	Este (m)	Longitud (m)
8	1288304.8294	1180501.8705	
9	1288290.8032	1180385.2566	5
10	1288395.6215	1180355.1783	5
Apique	Norte (m)	Este (m)	Profundidad total (m)
6	1288362.8073	1180497.0400	1
7	1288354.4113	1180467.2514	1
9	1288285.1530	1180416.9153	1
10	1288422.6772	1180368.7918	1

Tabla 7.7 Exploración del subsuelo directa – sondeos mecánicos y apiques/trincheras zona potencial de expansión

Métodos indirectos.

Se efectuó en la zona el método de refracción sísmica mediante tres líneas sísmica, las cuales abarcaron la zona en general de potencial de expansión, identificando espesores de materiales y velocidades de ondas Vs y Vp. Se efectuó la línea sísmica LS-1 y LS-3 paralelas a la dirección de la pendiente y la línea LS-2 transversal a la dirección de pendiente. El registro fotográfico de la zona de las líneas sísmicas se presenta a continuación:



Fotografía 7.18 Líneas sísmicas zona potencial de expansión

7.3.2 Caracterización geomecánica zona potencial expansión.

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 la Tabla 7.8:

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 potencial de expansión

Perfil característico.

Los materiales presentes en la zona de expansión los siguientes:

Suelo residual de lutita. Se presentan suelos de origen lutítico 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 7.19 Suelo residual de lutita – sondeo S6

Limolitas verdes y shales negros.

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 7.20 Limolitas verdes y lutitas negras

Caracterización de materiales.

Composición granulométrica.

Los porcentajes (%) de granulometría, asociados a tamaños grava, arena y finos de las muestras obtenidas en campo pueden ser representados en la Figura 7.15 con la profundidad:

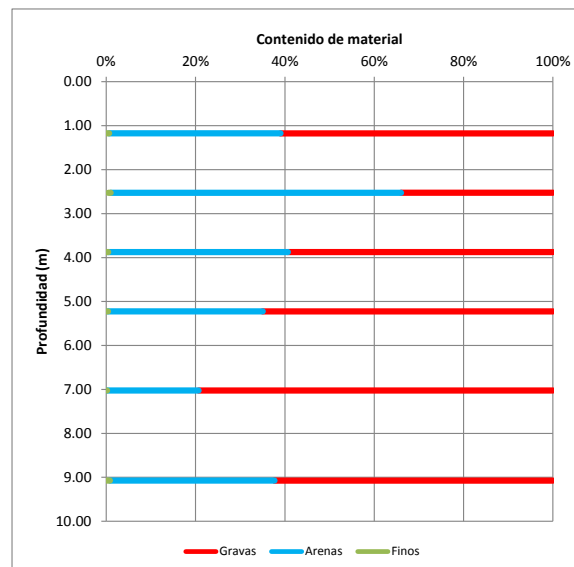


Figura 7.15 Porcentaje de composición granulométrica: grava arena y finos

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

Plasticidad.

La carta de plasticidad para los sondeos S6 y S7 se presenta en la Figura 7.16:

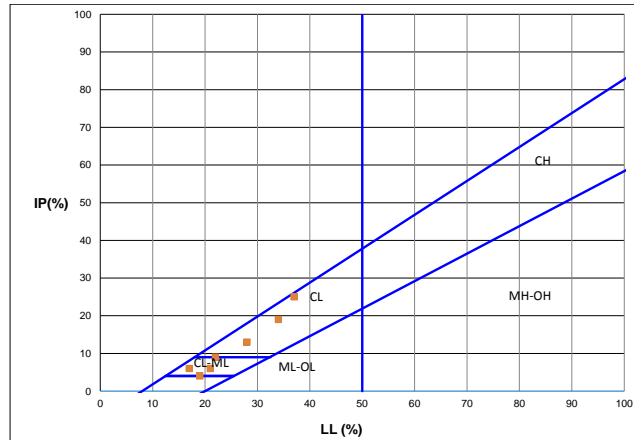


Figura 7.16 Carta de plasticidad zona potencial de expansión

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

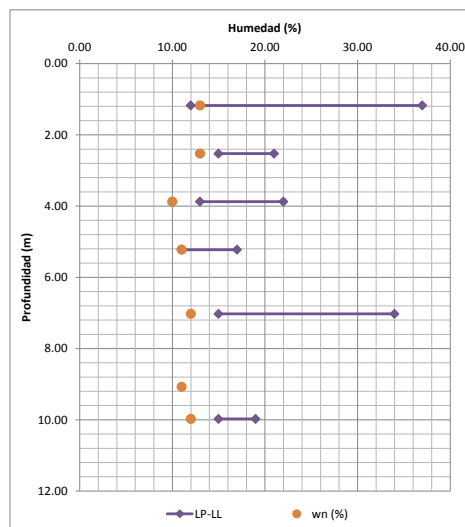


Figura 7.17 Plasticidad vs humedad

No se presentan humedades mayores al límite plástico indicando con ello relativa estabilidad.

Peso unitario.

El valor de peso unitario total se representa en la Figura 7.18:

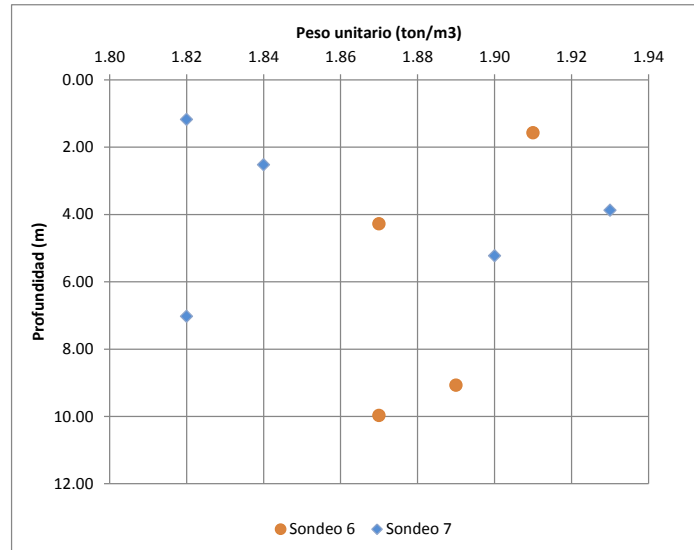


Figura 7.18 Peso unitario – profundidad

Los valores no son menores a 1.82 t/m^3 ni 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 (°)
S6	17	8.85	9.3	30	40

Tabla 7.9 Ensayos de corte directo zona potencial expansión

7.3.3 Análisis de sensibilidad.

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 de sensibilidad 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 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 7.19 se muestra lo anteriormente descrito.

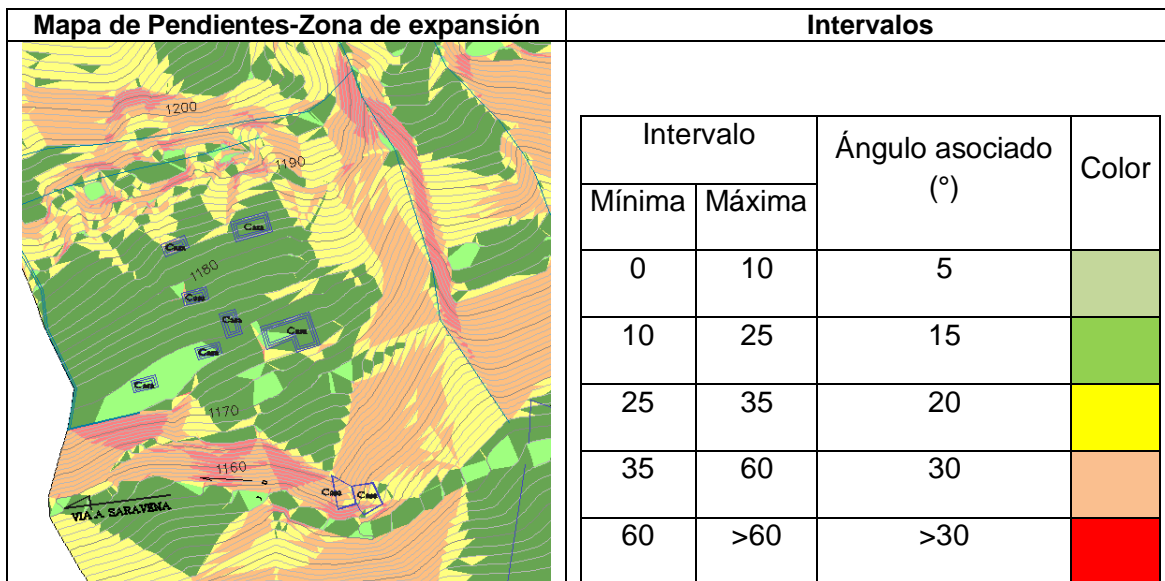


Figura 7.19 Mapa de pendientes de la zona de expansión

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 de expansión, donde se pueden construir casas tiene una pendiente promedio del orden de 15° con zonas de mayor gradiente. Por lo anterior no se espera inestabilidad en esta zona, considerando esta variable de análisis.

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

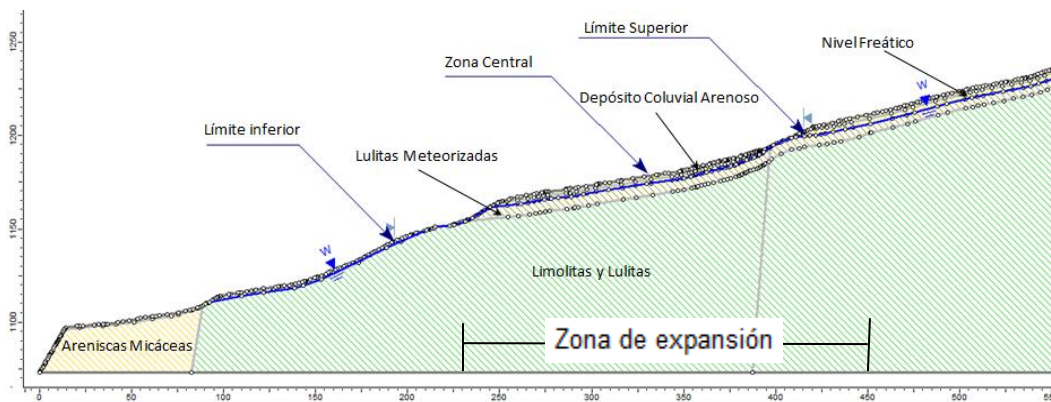


Figura 7.20 Modelo de análisis Sección 3-3'

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 shales) y dos que corresponden a unidades de suelo (Lutitas Meteorizadas y Depósito 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 ángulos de fricción más altos, esto referente a materiales más cohesivos. El espesor de esta unidad varía entre 0.0 y 4.5 m.

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 metaestables pero sin llegar a una 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 7.21.

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

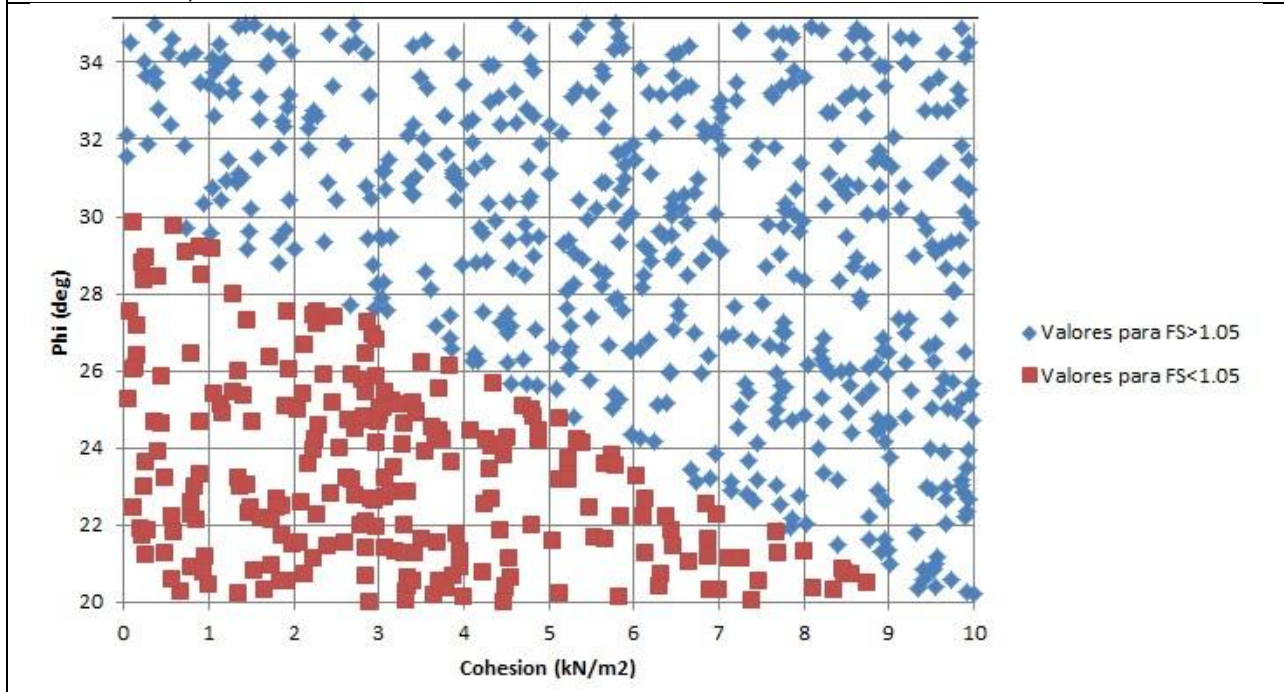


Figura 7.21 Variación de parámetros modelo de sensibilidad

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 de sensibilidad finalmente se obtiene las siguientes propiedades (Tabla 7.10):

Material	Angulo de Fricción ($^\circ$)	Cohesión (kPa)	Peso unitario (kN/m^3)
Depósito coluvial arenoso	25	5	19

Tabla 7.10 Propiedades geomecánicas de la zona de expansión

7.3.4 Evaluación de parámetros geomecánicos

Tipo de materiales

En términos geomecánicos se identifican dos unidades de materiales, la primera corresponde a las unidades rocosas, correspondientes las Areniscas Micáceas y shales 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 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 de 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 S6, muestra M-17, a profundidad de 8.85 a 9.30 m. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 7.11. El análisis de sensibilidad 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.

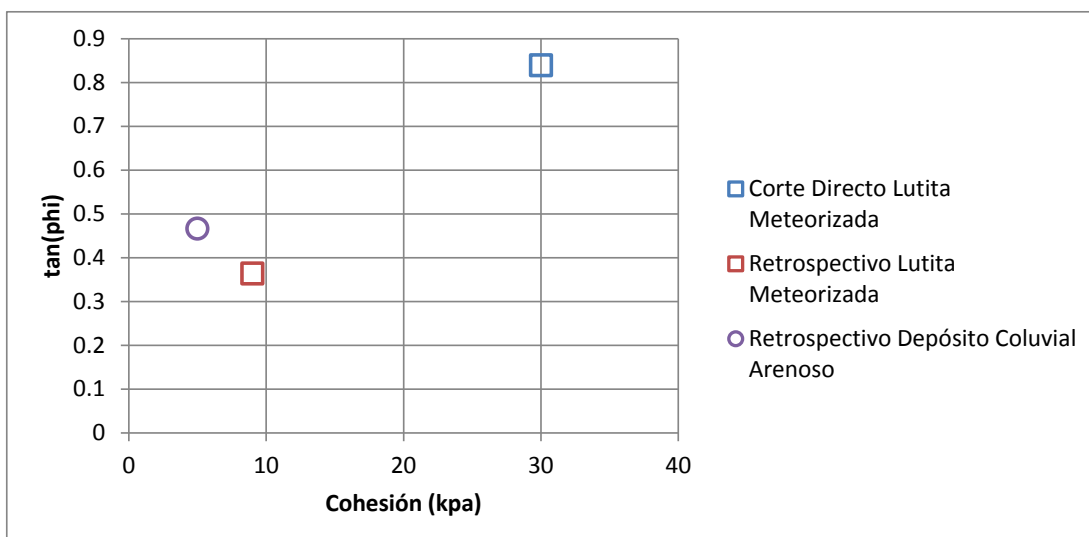


Figura 7.22 Parámetros geomecánicos para los materiales de la sección 3-3'

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 (kN/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'

7.3.5 Evaluación de estabilidad para amenaza

A continuación se presentan los factores de seguridad obtenidos para la zona de potencial expansión con las diferentes combinaciones:

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'

7.4 Evaluación geotécnica de la zona central.

7.4.1 Exploración del subsuelo.

Para la zona central se efectuó un sondeo, una trinchera y línea sísmica.

Métodos directos.

En total se efectuó un sondeo mecánico: S5. También se ejecutaron 1 trinchera, con el propósito de verificar condiciones y calidad de los materiales superficiales del depósito.

El registro fotográfico de la ubicación de los sondeos se presenta a continuación (Fotografía 7.21):



Fotografía 7.21 Sondeo 5 zona central

Los datos de los sondeos mecánicos y de las trincheras/apiques son presentados en la Tabla 7.13.

Sondeo	Norte (m)	Este (m)	Profundidad total (m)
5	1288706.0562	1180496.8657	22.40
Trinchera	Norte (m)	Este (m)	Longitud (m)
2	1288699.8770	1180474.8675	5

Tabla 7.13 Exploración del subsuelo directa – sondeos y apiques/trincheras zona central

Métodos indirectos.

Se efectuó en la zona el método de refracción sísmica mediante una línea sísmica, las cuales abarcaron la zona en general de depósitos coluviales identificando espesores de materiales y velocidades de ondas Vs y Vp. Se efectuó la línea sísmica LS-6. El registro fotográfico de la zona de la línea sísmica se presenta a continuación:



Línea sísmica LS-6
Fotografía 7.22 Líneas sísmicas zona central

Análisis de sensibilidad.

Las consideraciones del modelo, tienen en cuenta que la zona baja de análisis, donde se encuentran las terrazas aluviales ha estado sometida en el pasado a condiciones de sismo y agua muy adversas sin llevar 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 el área. Respecto a la zona alta, donde se encuentra un depósito coluvial, el espesor de los mismos no es considerable, 5.0 m aproximadamente, no obstante sus condiciones hacen que no se esperen valores del factor de seguridad altos en esta zona y será su susceptibilidad coherente con el origen de los materiales.

El análisis de sensibilidad 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.

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

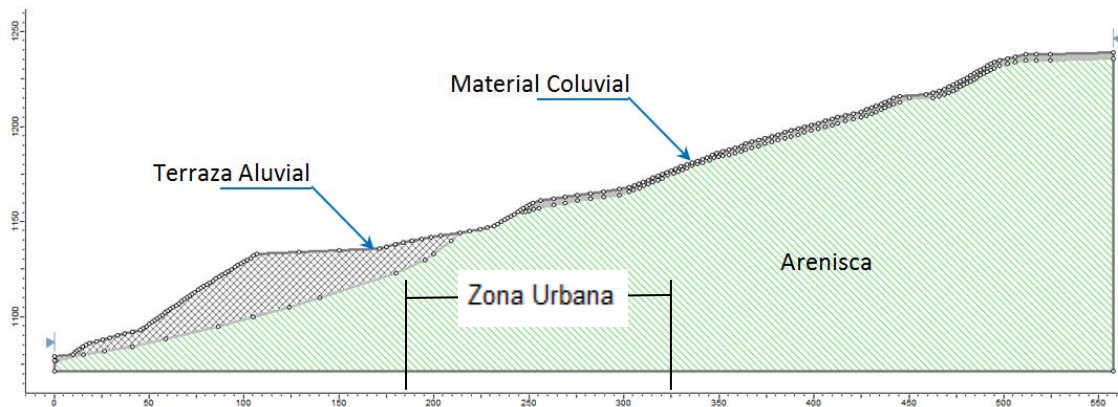


Figura 7.23 Modelo de análisis Sección 2-2'

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.

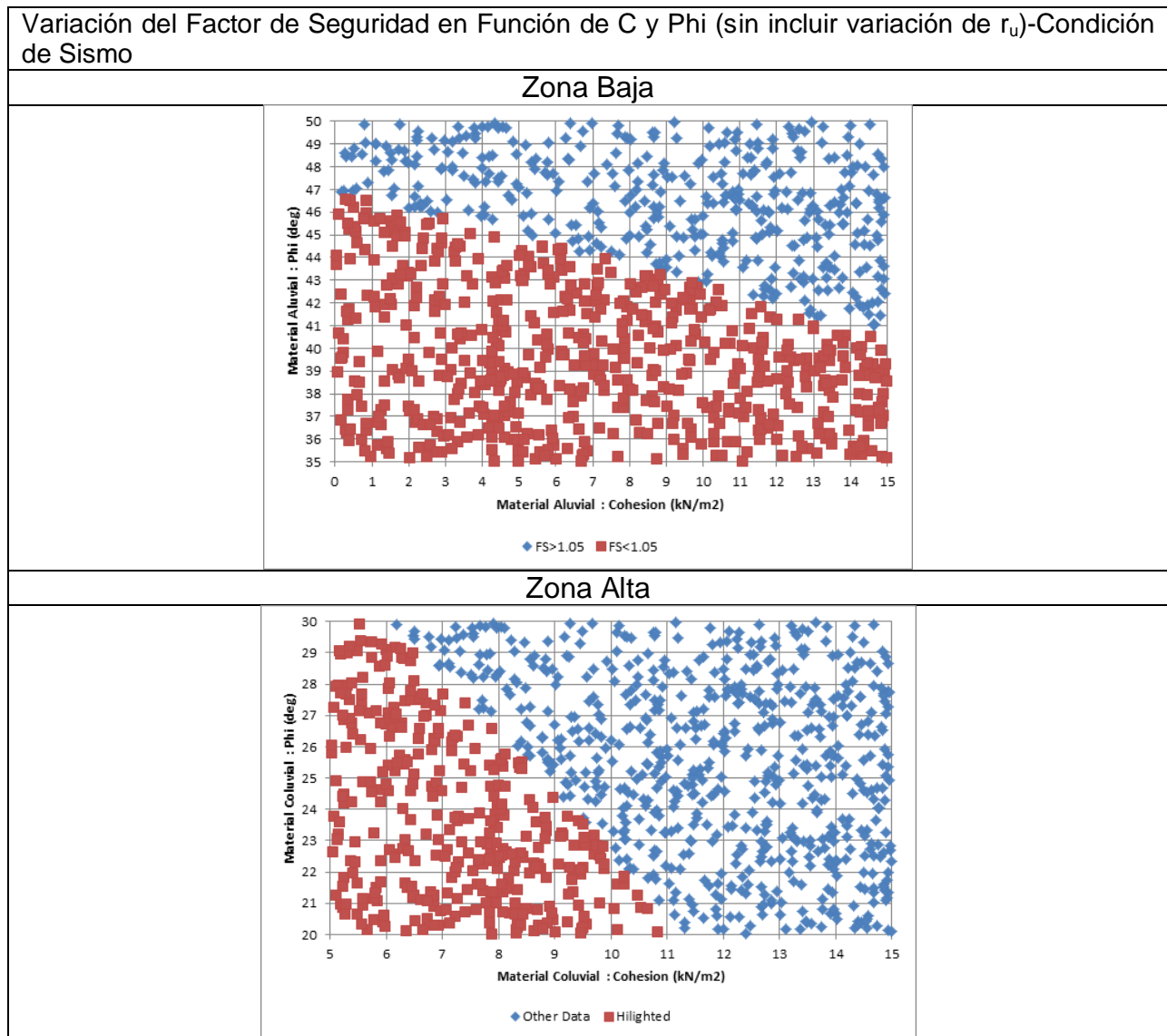


Figura 7.24 Variación de parámetros modelo de sensibilidad

De estos resultados es posible concluir:

Dirección: Calle 12C No.8-79 Of. 512 Tel: 3340270 · Fax: 3340270
e-mail: scg1@etb.net.co; scg1@colomsat.net.co <http://www.scg.org.co> - Bogotá D.C.- Colombia

- Para la zona alta los valores de cohesión y ángulo de fricción 10 kN/m^2 y 25° , estos valores son mayores a los valores del depósito coluvial de la zona inestable, 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 de sensibilidad finalmente se obtiene las siguientes propiedades:

<i>Material</i>	<i>Angulo de Fricción ($^\circ$)</i>	<i>Cohesión (kPa)</i>	<i>Peso unitario (kN/m^3)</i>
Depósito coluvial	25	10	19
Terraza Aluvial	45	10	20

Tabla 7.14 Parámetros de resistencia de material deslizado del análisis de sensibilidad

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 a 2011. Para condiciones actuales el valor de r_u no es tenido en cuenta.

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, en la terraza aluvial donde se encuentra Bata 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.

Los factores de seguridad obtenidos con las diferentes combinaciones se presentan en la Tabla 7.15.

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 7.15 Factores de seguridad sección 2-2'

7.5 Evaluación geotécnica quebrada zona de expansión.

7.5.1 Exploración del subsuelo.

Tipo de materiales.

La sección de análisis en esta zona es la sección 4-4' la cual se encuentra ubicada cerca a la quebrada aledaña a la zona potencial de expansión. 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 y 1.5 m en función de la pendiente. Las condiciones de agua son considerablemente altas, esto relacionado con las condiciones de agua de las otras secciones. Lo anterior debido a la cercanía con la quebrada de la zona.

El modelo de análisis de la sección 4-4' se presenta en la Figura 7.25:

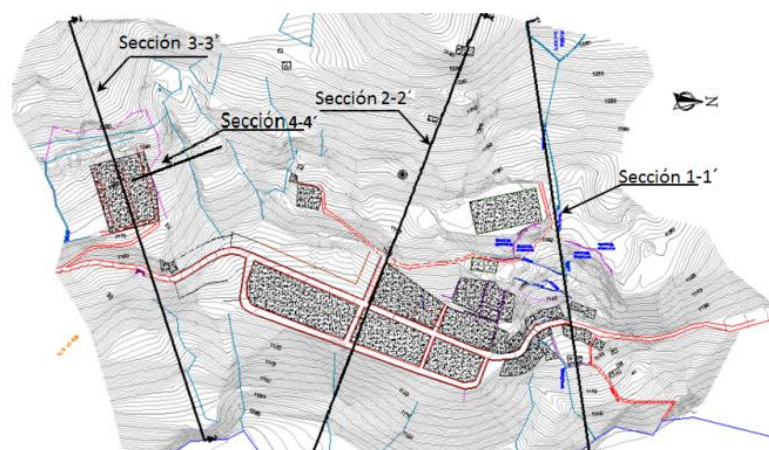


Figura 7.25 Ubicación de la sección 4-4' en la zona de estudio

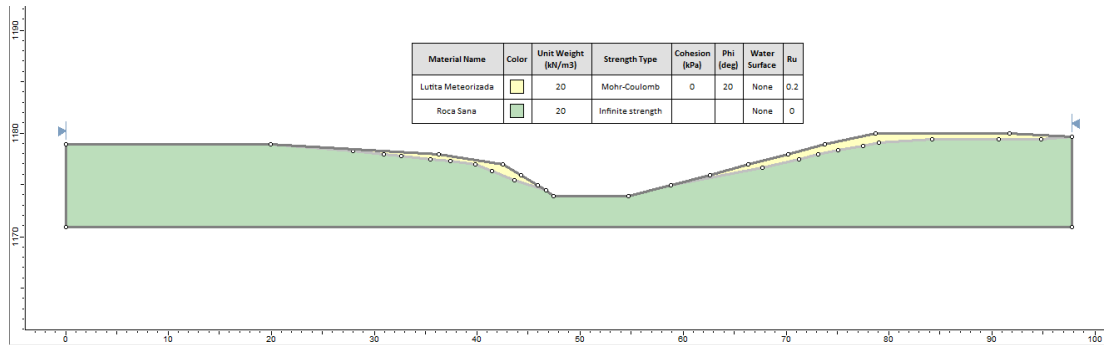


Figura 7.26 Modelo de análisis Sección 4-4'

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 (kN/m ³)
Lutita Meteorizada	20	9	20

Tabla 7.16 Parámetros de resistencia de material de la zona correspondiente a la sección 4-4'

Evaluación de estabilidad para amenaza.

La evaluación de esta zona corresponde a la limitación de la zona de expansión, 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 7.17 Factores de seguridad sección 4-4'

8. ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA

Se establecen áreas de terreno con características homogéneas en términos de su capacidad potencial a generar deslizamientos, mediante una combinación adecuada de los factores intrínsecos (intervinientes) y extrínsecos (detonantes), la cual para el caso de estudio y dadas la escala de trabajo (1:2000) como la metodología de análisis de tipo determinística (función del factor de seguridad), permite zonificar el área de estudio en dos escenarios principales: 1) actual, con niveles freáticos controlados y sin sismo, es decir en condiciones normales de los factores detonantes; 2) futuro, con niveles freáticos controlados y con sismo, es decir en condiciones extremas de los factores detonantes.

Según lo expuesto, no obstante en el plano de Susceptibilidad Geológica – Geomorfológica se percibe un escenario de mayor peligrosidad frente a la eventual ocurrencia de inestabilidades del terreno, particularmente en la zona de expansión, al analizar la estabilidad mediante modelación numérica de los parámetros geomecánicos representativos de cada sector, los niveles de amenaza resultan menores que aquellos previstos a nivel de susceptibilidad. La SCG procederá en consecuencia a establecer una serie de recomendaciones en relación con la potencial habitabilidad de esa zona, y una restricción definitiva al potencial desarrollo del costado sur-occidental (partes superior y lateral), dadas las características geomorfológicas asociadas a antiguos flujos de tierra y la incidencia que podría tener una falla local en la estabilidad del sector.

Por lo tanto los planos de Susceptibilidad Geológica – Geomorfológica y Amenaza se elaboraron mediante metodologías diferentes y no necesariamente son vinculantes, ya que para el caso de la susceptibilidad ésta se refiere a condiciones in-situ que podrían llegar a tener una incidencia importante en la estabilidad de la zona, una vez ésta sea intervenida por eventuales desarrollos habitacionales (sectores de antiguos flujos, lineamiento de falla geológica inferida y procesos activos en el costado sur-occidental) mientras que la amenaza se determinó mediante análisis de estabilidad geotécnica, estableciendo que de conformidad con los FS encontrados, la zona reviste diversos grados de amenaza, tanto en condiciones normales como extremas de los agentes detonantes (sismo, asumiendo una condición de aguas controladas mediante las obras propuestas). En conclusión, ambos conceptos se consideran válidos pero para efectos de zonificar el área de expansión, el mapa de Amenaza es el instrumento con el cual se espera que el tomador de decisiones, establezca los diversos usos que se pueden permitir para esta zona.

8.1 Zonificación de amenaza para la zona inestable

Se aplicarán 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 con 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 7.11.

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

Sección	Zona	Condiciones		F.S	Niveles de Amenaza	
		Agua	Sismo		Normal	Extrema
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 (Plano 8. Amenaza en condiciones normales) y amenaza futura (Plano 9. Amenaza en condiciones extremas) con agua o sismo (condición similar para esta ladera). Estos resultados son presentados en el *Anexo 14.6*.

8.2 Zonificación de amenaza para la zona de expansión

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 Tabla 8.3.

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 (Plano 8. Amenaza en condiciones normales) y amenaza futura (Plano 9. Amenaza en condiciones extremas) con agua o sismo (condición similar para esta ladera). Estos resultados son presentados en el *Anexo 14.6*.

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 anteriormente.

Los datos de factores de seguridad analizados bajo el contexto anterior se presentan en la Tabla 8.4.

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 (Plano 8. Amenaza en condiciones normales) y amenaza futura (Plano 9. Amenaza en condiciones extremas) con agua o sismo (condición similar para esta ladera). Estos resultados son presentados en el *Anexo 14.6*.

8.4 Zonificación de amenaza para la zona quebrada – sección 4-4

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 niveles de amenaza, dados por la Tabla 8.1.

Los datos de factores de seguridad analizados bajo el contexto anterior se presentan en la Tabla 8.5.

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 (Plano 8. Amenaza en condiciones normales) y amenaza futura (Plano 9. Amenaza en condiciones extremas) con agua o sismo (condición similar para esta ladera). Estos resultados son presentados en el *Anexo 14.6*.

9. VULNERABILIDAD POR REMOCIÓN EN MASA

9.1 Vulnerabilidad social.

La vulnerabilidad social es el resultado de los impactos provocados por el patrón de desarrollo vigente pero también expresa la incapacidad de los grupos más débiles de la sociedad para enfrentarlos, neutralizarlos u obtener beneficios de ellos. Frecuentemente se identifica la condición de pobreza de la gente con vulnerabilidad. Sin embargo, la inseguridad e indefensión que caracterizan a ésta no son necesariamente atribuibles a la insuficiencia de ingresos, propia a la pobreza. En efecto, si se comparan las condiciones de vida de los trabajadores urbanos con la de los campesinos de áreas remotas es probable que éstos, al basar su vida en la agricultura de subsistencia, se hayan visto menos afectados frente a los programas de ajuste estructural y a los golpes de naturaleza macroeconómica.

Se concluye que el concepto de vulnerabilidad social tiene dos componentes explicativos: Por una parte la inseguridad e indefensión que experimentan las comunidades, familias e individuos en sus condiciones de vida a consecuencia del impacto provocado por algún tipo de evento económico y social. Por otra parte el manejo de recursos y estrategias que usan las comunidades, familias y personas para enfrentar los efectos de ese evento. (Roberto Pizarro 2001).

Por otra parte, la vulnerabilidad social está directamente ligada a cualquier evento que pueda alterar la óptima calidad vida del ser humano, calidad de vida que se determina a través de la evaluación de cuatro áreas fundamentales: Bienestar físico (Salud, seguridad física), bienestar material (Ingresos económicos, pertenencias, vivienda, transporte y vías de acceso), bienestar social (Relaciones personales, familiares y comunitarias), desarrollo (Productividad, contribución y educación) y por último bienestar emocional (Autoestima, mentalidad, inteligencia emocional, etc), éste último es especialmente en estudios psicológicos.

Por ello se realizó el estudio a través del análisis de variables en la totalidad de familias encuestadas (40 familias), para finalmente determinar cuál de estas se encuentran en condiciones de vulnerabilidad y finalizar con el análisis de dichos hogares.

Teniendo en cuenta la población encuestada, que corresponde a 146 personas, las cuales hacen parte de 40 familias de diversas tipologías (Figura 9.1), se concluye que la tipología familiar que predomina en la población es la tipología nuclear (padre, madre e hijos), con un 40% (16 familias) seguida por la tipología familiar extensa (Miembros que comparten vínculos de consanguinidad y que a varias generaciones), con un porcentaje de 27% (11 familias), mientras que la tipología monoparental (padre o madre, e hijos) ocupa sólo un 10% (4 familias) y se establece bajo rangos bajos las tipologías nuclear incompleta (pareja) 8% (3 familias), seguida por la uniparental (una persona habitando la vivienda) 7% (3 personas), astral o

recompuesta (establece una nueva unión junto a sus hijos y los de su pareja) 5% (2 familias) y por último está la unidad doméstica (individuos sin vínculo de consanguinidad que conviven juntos) 3% (1). De acuerdo a las estadísticas que muestra el tipo de familia que poseen los hogares, se deduce que la comunidad tiene un imaginario social de preservación familiar, lo que permite que se tejan vínculos de unión y afectividad.

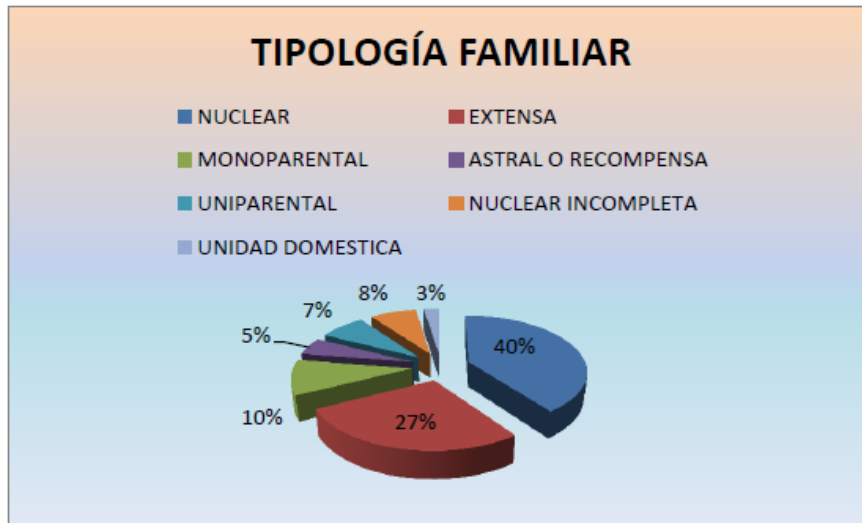


Figura 9.1 Vulnerabilidad Social - Tipología familiar

Paralelamente, durante la ejecución del estudio se implementaron metodologías de información que permitieran explicar a la comunidad las labores y objetivos que se tenían establecidos con el presente estudio, con el fin de brindar tranquilidad a los habitantes por medio de la búsqueda de soluciones de su seguridad actual, adicionalmente esto permitía obtener toda la colaboración posible por parte de los habitantes del corregimiento y facilitar las labores de exploración y toma de información.

La totalidad del estudio y el análisis de variables establecidas para evaluar las condiciones de vida de los habitantes del corregimiento y determinar la vulnerabilidad social por medio de la evaluación de las cuatro áreas fundamentales mencionadas anteriormente se encuentran en el Anexo 14.5.

9.2 Vulnerabilidad física de viviendas.

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 a 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.

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 realizó 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.

9.3 Vulnerabilidad estructural de edificaciones.

9.3.1 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.

9.4 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 (*Anexo 14.5*) 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).

9.4.1 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 9.1.

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 9.1 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 Paneles en Madera
	Pórtico en Madera y Paneles en Otros Materiales
	Otro
E	Edificaciones en proceso de construcción.
F	Lotes vacíos

Tabla 9.2. Criterios para la clasificación de sistemas estructurales dentro de las tipologías de la metodología

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.

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

Vf: 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 9.3. 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 Solicitación	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 9.4. 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.

9.4.2 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	0.00
2	LEVE	0.30
3	MODERADO	0.60
4	FUERTE	0.80
5	SEVERO	1.00

Tabla 9.5. 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 entrepisos, por tanto se decide otorgar un porcentaje de importancia a dichos elementos tal y como se presenta en la Tabla 9.6. 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. (2011).

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)		0.2
ELEMENTO	FACTOR DE PONDERACIÓN (EN)	
Muros de Fachada o Antepecho	0.30	
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 9.6. 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 9.7 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)	$0.80 < \text{IGD}$
FUERTE (4)	$0.60 < \text{IGD} \leq 0.80$
MODERADO (3)	$0.45 < \text{IGD} \leq 0.60$
LEVE (2)	$0.15 < \text{IGD} \leq 0.45$
NINGUNO (1)	$0.00 < \text{IGD} \leq 0.15$

Tabla 9.8. 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.

9.4.3 Determinación de la Calificación del Índice de Vulnerabilidad Física.

Según lo indica el anexo técnico (*Anexo 14.5*), 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 Tabla 9.9.

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

Tabla 9.9. Coeficiente de Importancia

La valoración cualitativa de la vulnerabilidad se obtiene a partir del Índice de Vulnerabilidad Física, para ello se emplea la siguiente tabla, la cual está contenida en el anexo técnico (*Anexo 14.5*) 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 9.10. Categoría de la Vulnerabilidad

Para el caso particular de las viviendas construidas en material de recuperación pertenecientes al Tipo de Vivienda B1 se utilizará la metodología propuesta por Leone, modificada por Soler, la cual castiga con unos Índices de Daño, según la Matriz de Daño (Tabla 9.10), altos, lo que representará vulnerabilidad física media y alta de acuerdo con los grados de exposición y movimientos de la masa de suelo.

9.5 Cálculo 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 (1996), y el índice global de daño, según la metodología de FOPAE-Uniandes (2011).

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.

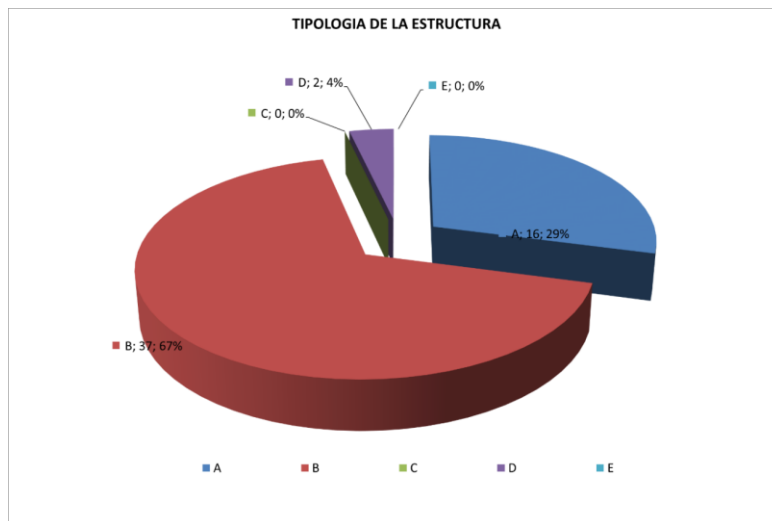


Figura 9.2 Tipología estructural predios con levantamiento

En la Figura 9.2 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.

9.5.1 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 9.3 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.

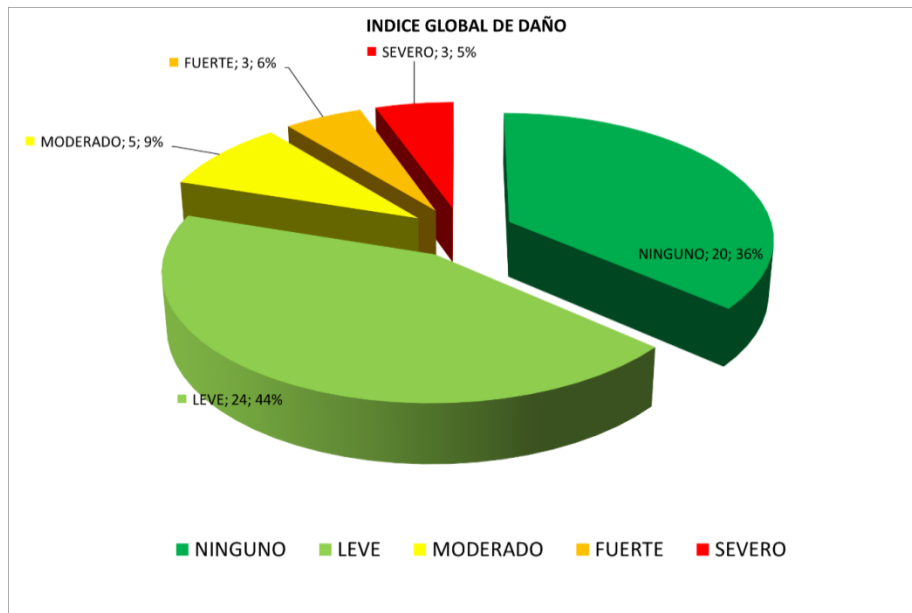


Figura 9.3. Índice Global de Daño de las edificaciones.

9.6 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 9.4 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 9.5 se presentan los predios evaluados con su calificación de vulnerabilidad para condiciones normales de amenaza.

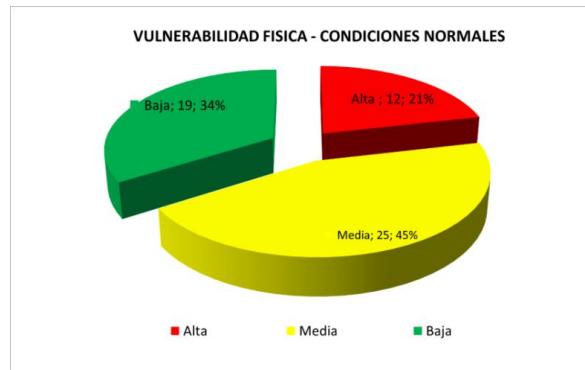


Figura 9.4. Vulnerabilidad para amenaza en condiciones normales.



Figura 9.5. Distribución de la vulnerabilidad Física en condiciones Normales

En la Figura 9.6 se presenta la vulnerabilidad para la amenaza futura, 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 9.7 se presentan los predios evaluados con su calificación de vulnerabilidad para condiciones extremas de amenaza.

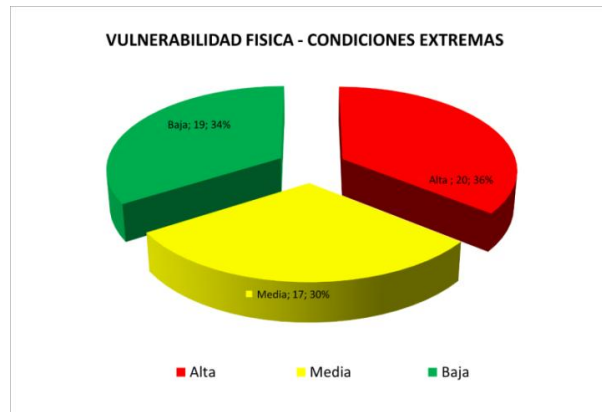


Figura 9.6. Vulnerabilidad para amenaza en condiciones extremas.



Figura 9.7. 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.

9.7 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:

- **Sistemas de Movilidad:** Los cuales comprenden carreteras, vías, puentes, ferrocarriles, aeropuertos y puertos.
- **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 erosión o 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 Tabla 9.11.

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 9.11 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 9.12. 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.

9.8 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. ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

10.1 Análisis

El riesgo puede definirse como el conjunto de daños y pérdidas que pueden presentarse en caso de ocurrir un desastre o una emergencia. A continuación se presentará una valoración del riesgo desde el punto de vista de pérdidas económicas.

Dicha valoración contempla los escenarios de amenaza y vulnerabilidad en condiciones normales y extremas y producto de este cruce de valores (amenaza x vulnerabilidad) se obtienen los valores de riesgo para cada escenario evaluado.

Este riesgo corresponde a un escenario estático en función de las condiciones actuales y extremas y no a una probabilidad de falla como la resultante de análisis por confiabilidad. Esta condición teniendo en cuenta que el modelo de amenaza fue efectuado mediante el factor de seguridad, concepto determinístico que implica que la probabilidad de los eventos detonantes no es utilizada.

Las áreas que corresponden a los diferentes niveles de amenaza en condiciones normales y extremas varían en cada escenario, siendo la condición extrema la que presenta mayores áreas en condiciones de amenaza alta y media. Las condiciones de riesgo deben reflejar esta condición. Para este fin se generan las siguientes matrices de evaluación de riesgo, las cuales cruzan las condiciones de amenaza con vulnerabilidad obteniendo los niveles de riesgo para las estructuras a las que se les evaluó la vulnerabilidad. La matriz de riesgo para cada escenario se presenta en la Tabla 10.1.

Condiciones Normales				Condiciones extremas			
Amenaza/Vulnerabilidad	Vulnerabilidad Alta	Vulnerabilidad Media	Vulnerabilidad Baja	Amenaza/Vulnerabilidad	Vulnerabilidad Alta	Vulnerabilidad Media	Vulnerabilidad Baja
Amenaza Alta	Riesgo Alto	Riesgo Alto	Riesgo Medio	Amenaza Alta	Riesgo Alto	Riesgo Alto	Riesgo Medio
Amenaza Media	Riesgo Medio	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Amenaza Media	Riesgo Medio	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo
Amenaza Baja	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Amenaza Baja	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo

Tabla 10.1 Tabla de evaluación del Riesgo

En función de esta metodología se definen tres tipos de unidades estructurales dado su nivel de importancia, lo anterior hace referencia si la estructura es indispensable en la ocurrencia de un evento. En este orden se definen estructuras de importancia alta, baja y media.

Nivel de Importancia	Tipo de Estructura
Alta	Iglesias, Entidades Educativas, Entidades Prestadoras de Salud
Media	Residencial, Multipropósito
Baja	Vías

Tabla 10.2 : Nivel de Importancia de las Estructuras

Este nivel de importancia no implica cambio en el análisis del riesgo sino en las condiciones en que los diferentes niveles de riesgo deberán ser mitigados y si el mismo corresponde a riesgo no mitigable y está directamente asociado con las especificaciones de las estructuras necesarias para la reducción de los niveles de amenaza.

La Figura 10.1 muestra los niveles de amenaza y vulnerabilidad obtenidos para cada escenario analizado.

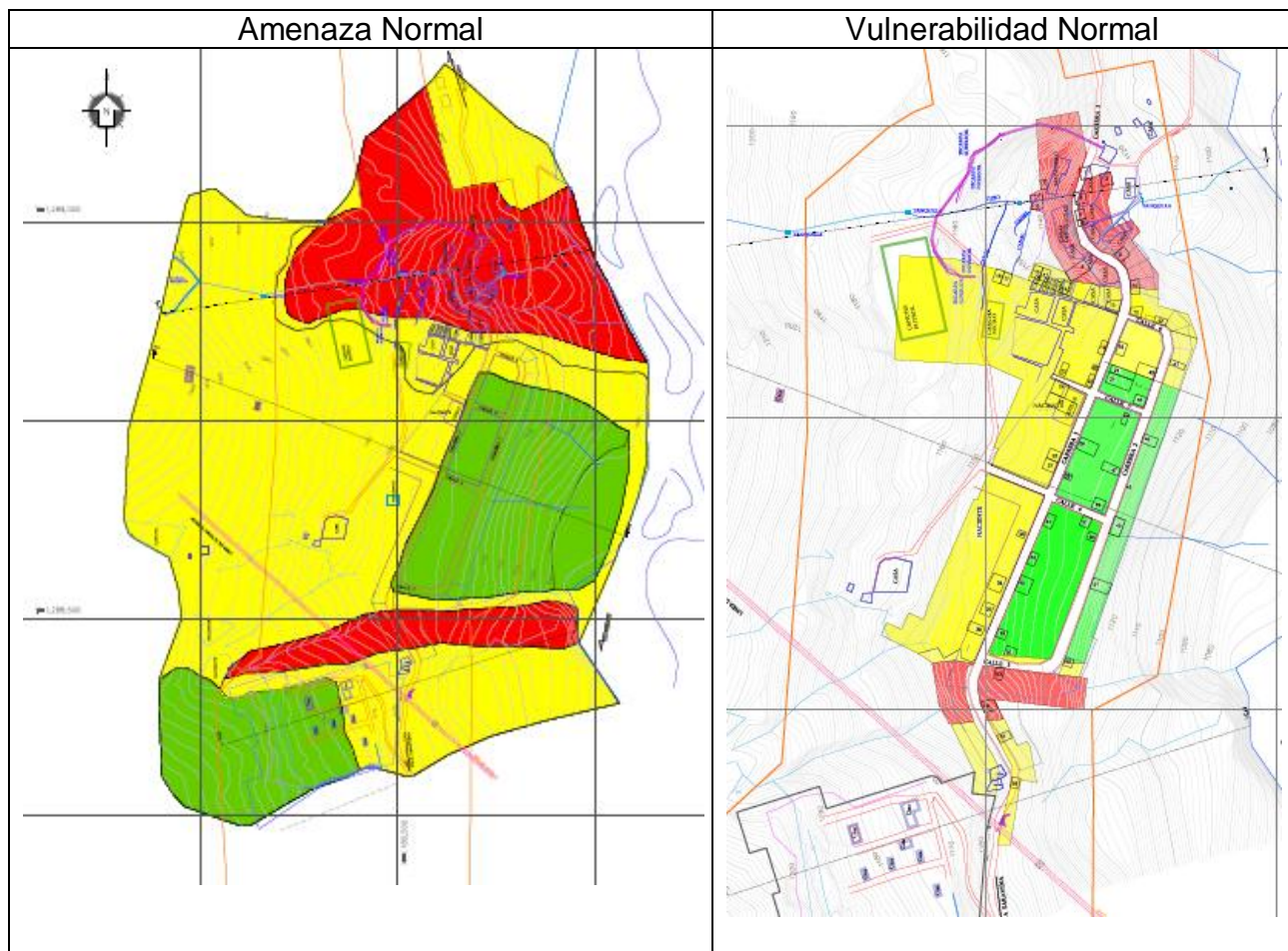


Figura 10.1 Niveles de Amenaza y Vulnerabilidad – Condiciones Normales

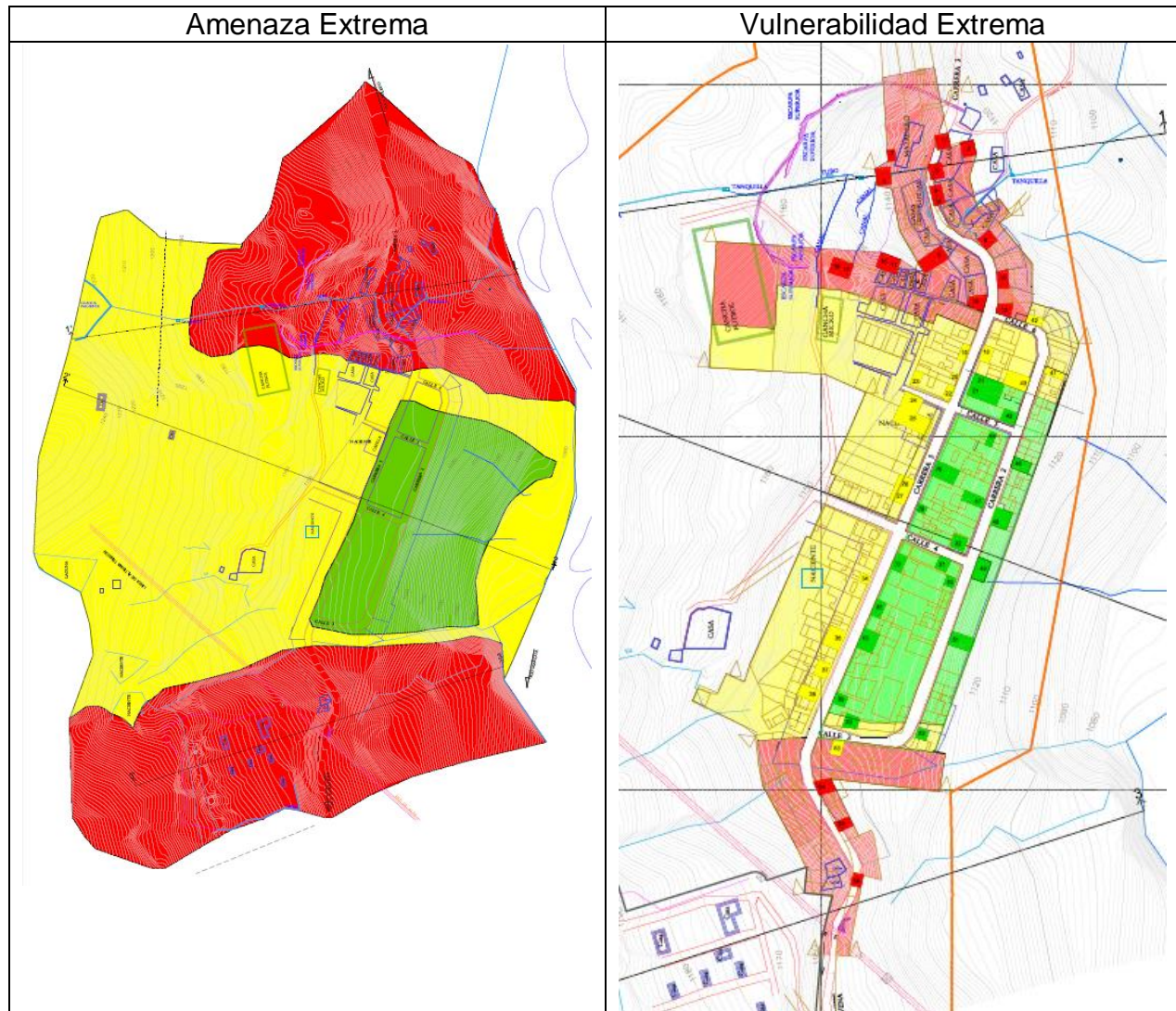


Figura 10.2: Niveles de Amenaza y Vulnerabilidad – Condiciones Extremas

Los valores de la matriz de riesgo en condiciones normales y extremas fueron presentados en la Tabla 10.1

Cuando se establece la categorización de los niveles de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por remoción en masa, las metodologías de análisis recomiendan que la zonificación resultante se establezca en términos de cierta transición entre un nivel y otro, por una parte, dado que niveles superiores pueden tener una mayor incidencia física sobre los niveles inferiores, o simplemente por cuestiones de escala de trabajo y extrapolación de los diversos grados de zonificación.

En el caso de la vulnerabilidad física, debido a que se trabajó mediante un muestreo aleatorio a efectos de levantar las características de fragilidad de las viviendas objeto de estudio, desde el punto de vista de incertidumbre estocástica, resulta conveniente extrapolar (manzaneo) la

condición de mayor inestabilidad potencial, de modo de lograr la transición adecuada entre los distintos niveles de vulnerabilidad.

La zonificación del riesgo obtenido de conformidad con los criterios expuestos se presenta a continuación:

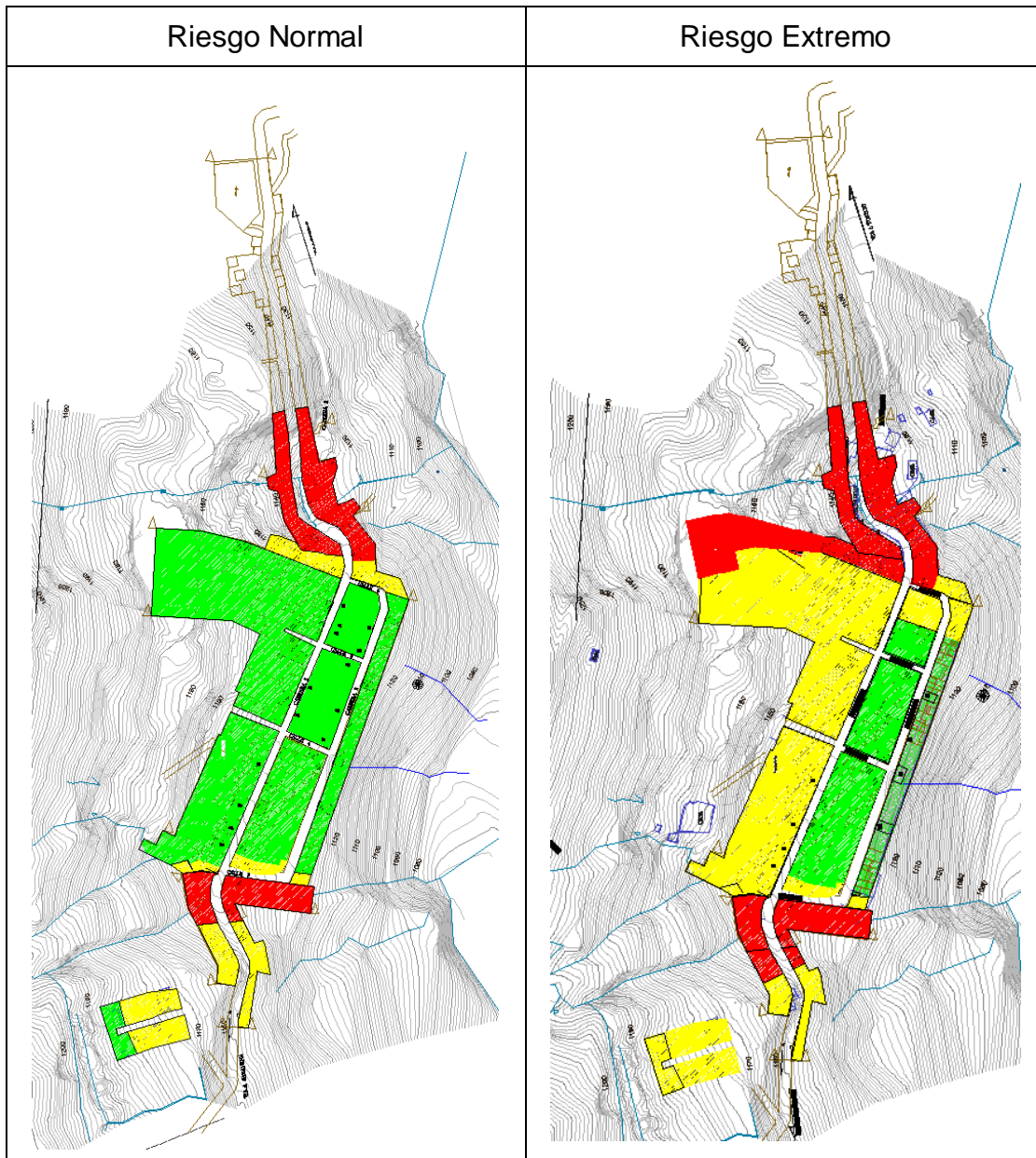


Figura 10.3 : Evaluación del Riesgo

10.2 Riesgo en la zona de expansión

La zona de expansión plantea un escenario de vulnerabilidad diferente al evaluado en el correspondiente análisis. Dicha zona presenta construcciones nuevas, cumpliendo con las especificaciones de la norma sismo resistente vigente. Por tanto la vulnerabilidad estructural de las estructuras proyectadas en esta zona es baja, no obstante en función de la exposición a la amenaza si esta es baja la vulnerabilidad de la estructura se considerará baja.

Ahora bien el análisis del riesgo para esta zona, donde se cruzan los valores de amenaza y vulnerabilidad se presentan en la Figura 10.4.

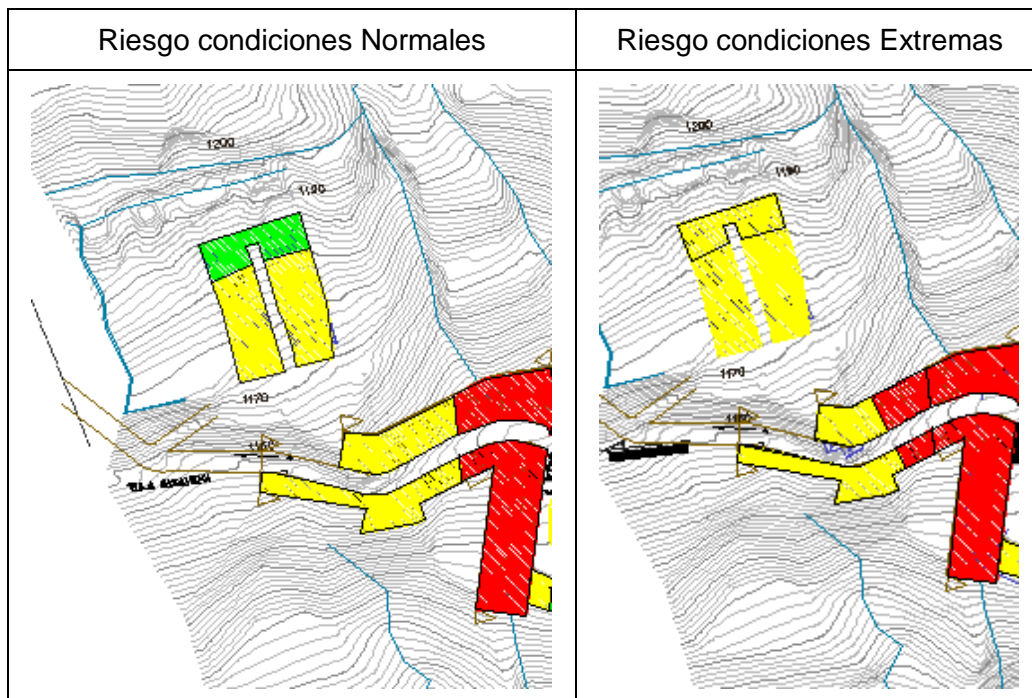


Figura 10.4: Evaluación del Riesgo-Zona de expansión

11. ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA

Una vez establecida la zonificación del riesgo por movimientos en masa para la zona de interés, en sus distintas áreas: zona del deslizamiento, zona central y zona de potencial expansión, el presente estudio plantea un análisis de alternativas de mitigación o reducción del riesgo asociado a procesos de remoción en masa, actuales o potenciales, particularmente para aquellas áreas zonificadas como de riesgo alto. No obstante los términos de referencia establecen la necesidad de determinar si el nivel de riesgo alto se considera *mitigable o no*, la decisión final le corresponderá a las autoridades municipales y otras entidades involucradas, en función de los estudios detallados que deberán adelantarse a partir de las recomendaciones que aquí se presentan, las cuales tienen un carácter general y exclusivamente geotécnico.

Debido a que el riesgo es entendido como una función de la interacción entre los factores que controlan la amenaza y la vulnerabilidad física de las estructuras expuestas en el área de influencia (particularmente para la zona del deslizamiento), cuando éste se clasifica como alto, deberán establecerse una serie de acciones que conlleven a la reducción del riesgo a niveles admisibles o tolerables, implementándolas bien sea para el control de los factores que generan amenaza o para aquellos que inducen vulnerabilidad física. A continuación se plantean las principales medidas de mitigación del riesgo que serán desarrolladas a partir del presente estudio, considerando en todo caso que son de carácter general y que deberán llevarse posteriormente a nivel de diseño.

11.1 Mitigación de los factores que generan amenaza

Se estableció que los dos factores que tienen mayor influencia en la generación de la amenaza en las diferentes zonas de interés son: aspectos de la geología y geomorfología, relacionados con depósitos de pendiente complejos, con materiales grueso granulares inmersos erráticamente en matriz fina arcillo-limosa, suprayaciendo formaciones rocosas de naturaleza arcillosa, fracturadas y meteorizadas, producto de antiguos procesos y sujetas a las condiciones de aguas de infiltración y escorrentía, que los saturan y debilitan continuamente; en otros casos, el terreno está conformado de arcillolitas hídricamente degradadas y alteradas, por incidencia de fallas locales. Su control es difícil ya que no se pueden modificar completamente las condiciones de los materiales, por tanto el tratamiento se limitará a mejorar aspectos como la pendiente de las laderas (reconformación), el mejoramiento de su resistencia (p.e. mediante claveteado o inyecciones) y las estructuras de contención.

El otro factor de incidencia importante lo constituye la presencia y flujo de agua tanto superficial como subsuperficial y profunda, lo cual requiere de medidas estructurales que permitan controlar los flujos y descargar permanentemente las laderas aledañas, de modo que se puedan reducir los efectos asociados. Las medidas en este caso deberían direccionarse a la

planeación, diseño, construcción y mantenimiento de obras que permitan la captación, conducción y entrega de las aguas presentes.

Un factor de la mayor importancia lo constituye la amenaza sísmica, que para el sector se clasifica como muy alta, y en consecuencia deberá ser considerada en los estudios de detalle que se adelanten para el diseño estructural de las obras previstas. En particular las estructuras de contención deberán observar este aspecto.

11.2 Mitigación de los factores que generan vulnerabilidad

Los principales factores que inducen vulnerabilidad física son la exposición y la capacidad estructural de los elementos expuestos. En el primer caso se trata de reducir los niveles de exposición, restringiendo la posibilidad de localizar viviendas u otra clase de edificaciones en las zonas de riesgo alto y su área de influencia directa (ordenamiento territorial), mientras en el segundo se trata de acciones que conllevan al mejoramiento en la capacidad de respuesta de los elementos expuestos, p.e. las vías en la parte media de la ladera, las cuales deberán integrarse a los sistemas de contención previstos.

Otra forma de reducir la vulnerabilidad física de las edificaciones expuestas es su expansión en el área propuesta por el municipio; para ello, no obstante se debe advertir sobre las limitaciones actuales y potenciales de desarrollo que presenta esa zona y en consecuencia no podrá considerarse propiamente como una zona de expansión urbana del corregimiento.

11.3 Medidas de mitigación del riesgo por movimientos en masa

Estas medidas tienden a modificar o controlar los aspectos y factores que generan tanto amenaza como vulnerabilidad, según se planteó anteriormente, considerando que las mismas son de carácter general y por tanto deberá adelantarse un trabajo de investigación del subsuelo como una cartografía de mayor detalle, previo a los análisis de estabilidad y diseños de ingeniería correspondientes. En la Tabla 11.1 se presentan en orden prioritario las medidas generales de mitigación propuestas a raíz del presente estudio, algunas de las cuales serán descritas con mayor detalle, con el propósito de ofrecer a las autoridades municipales y usuarios del informe, un orden de magnitud de lo que podría llegar a significar su implementación. Vale aclarar que los costos propuestos no obedecen a un estudio de mercado, ya que además no se trata del diseño de tales obras.

Inicialmente se describen, para cada zona de interés, las medidas relacionadas con la reducción de la vulnerabilidad física, dado que se consideran viables en el menor tiempo posible desde los puntos de vista social, económico y financiero, ya que el mayor esfuerzo deberá hacerse desde lo institucional. En cuanto a las medidas de reducción de la amenaza, como se indicó previamente, las mismas se deben precisar una vez se detallan los trabajos de cartografía (mínimo a escala 1:500), exploración del subsuelo complementaria, caracterización

de los materiales en las zonas de obras propuestas, planteamiento urbanístico y estructural, así como la elaboración de análisis de costo / beneficio y otras actividades relacionadas.

Propósito de la Medida	Medida general propuesta por zona	Tipo de propuesta	Observaciones generales
Reducción de la Vulnerabilidad (Grado de exposición y resistencia de los elementos expuestos a las amenazas)	1. Zona deslizamiento * Ordenación del territorio	Física	Limitación de uso y ocupación de la zona del deslizamiento para nuevas edificaciones, tanto habitacionales como institucionales o productivas. Solo podría usarse para recreación pasiva (un parque o paraje natural) y en ningún caso para actividades que generen aglomeración de personas.
	2. Zona central * Monitoreo e inspección general de condiciones vulnerables	No física	Ver propuesta general de monitoreo (11.8 Medidas no estructurales)
	3. Zona reubicación viviendas * Desarrollo del EOT Básico	No física	Con base en los resultados del mapa de zonificación del Riesgo por PRM, una vez ejecutadas las Medidas de mitigación, la zona de expansión podrá desarrollarse delimitando con absoluta claridad los sectores aledaños (costados occidental y sur-occidental) en los que por ningún motivo debería permitirse la construcción de vivienda e infraestructura.
Reducción de la Amenaza (Condiciones naturales como pendientes del terreno, litologías presentes, niveles piezométricos y otras, en relación con la variabilidad de los factores detonantes de lluvias y sismos)	1. Zona deslizamiento * Manejo y control de aguas: obras de captación, interceptación, conducción y entrega	Física	Identificar claramente los tipos de flujo de agua y sus estructuras hidráulicas: escorrentía superficial, subsuperficial, profunda; sitios con concentración de flujo de agua. Se deben plantear obras en las partes alta (corona), media y flancos, tales como zanjas de coronación y canaletas; interceptación en contacto suelo – roca, etc. A mayor profundidad, se plantea la construcción con suficiente profundidad de caissons drenantes, que se combinarían con la función estructural y sub-drenes de penetración; todo interconectado a un sistema que en la base de la ladera recoja y entregue al río Margua
	* Reconfiguración de la ladera	Física	Llenado de sectores deprimidos, limpieza de cauces y microcauces, perfilado de sectores protuberantes, claveteado de sectores actual o potencialmente sueltos, trinchos, inyección de grietas y fisuras, etc. (obras de bioingeniería).
	* Monitoreo en la vía afectada	No física	Complementar según propuesta general del presente estudios (11.8 Medidas no estructurales). Construcción de las obras de drenaje con una estructura adoquinada, un mantenimiento

Propósito de la Medida	Medida general propuesta por zona	Tipo de propuesta	Observaciones generales
	* Contención y prevención de posible reactivación del deslizamiento	Física	periódico y un filtro interno hasta el sitio de la gasolinera En la parte inferior se recomienda la construcción de obras robustas, que atraviesen los estratos de menor competencia, aunque pueden combinarse con estructuras menores en el cuerpo del deslizamiento principal, para que la fuerza no se concentre en la base; el cuerpo del deslizamiento debería ser claveteado; si se logra cierta efectividad, se pueden reducir las fuerzas actuantes en la base sobre la estructura principal, la cual podría ser desde una pantalla profunda anclada hasta una cortina de pilotes metálicos, pasando por los caissons; muros de contención en voladizo tendrían relativa poca efectividad, ya que por un lado la superficie de falla es profunda y no se conoce con detalle su localización, pero sobretodo porque las fuerzas actuantes son grandes y ese tipo de estructura trabaja por reacción, asociada al peso propio (estructuras masivas), refuerzo (antieconómico) o anclaje (difícil garantizar por la heterogeneidad de los rellenos y resulta muy especializada para llevar a la zona, además de los costos); en conclusión y dado que los análisis de estabilidad así lo indican, se trata de estructuras semi-profundas, robustas y ancladas en su base las que ofrecen las mejores condiciones para garantizar la efectividad frente a cargas normales de servicio. Para el caso de cargas extremas debidas a sismo, se recomienda un análisis bidimensional de propagación de ondas de modo que el coeficiente de aceleración sísmica pueda reducirse de conformidad con la NSR-10.
	2. Zona central * Reconformación ladera superior (incluye terraceo) y manejo de aguas de escorrentía e infiltración	Física	Ídem anteriores recomendaciones en lo que resulte pertinente.
	3. Zona reubicación de viviendas * Reconformación de la ladera y recuperación de la cobertura vegetal; manejo de aguas de infiltración y escorrentía superficial.	Física	Ídem anteriores recomendaciones en lo que resulte pertinente; siembra de pastos y vegetación aloctona, lo cual se deberá incluir en los diseños.

Tabla 11.1 Medidas generales de mitigación propuestas

Otras medidas consideradas no estructurales se deberán orientar a procesos de educación comunitaria, específicamente en cuanto al uso adecuado del territorio, p.e. pastoreo no destructivo, como lo es el caso de los búfalos; igualmente en limpieza permanente de canales, zanjas y demás estructuras de captación y evacuación de aguas de escorrentía e infiltración, así como de cultivos alóctonos y mantenimiento de la cobertura vegetal.

La zona verde puede proveerse de una barrera verde aguas abajo de la ladera para proteger el cauce natural del río Margua y en todo caso que las descargas de aguas servidas y tratadas se hagan controladamente. En ello los trabajos de reforestación se consideran altamente eficaces; en caso de requerir zonas de expansión urbana del Centro Poblado, debería revisarse los terrenos en la margen izquierda del río Margua, que pueden llegar a presentar mejores condiciones de estabilidad para el desarrollo humano.

Las alternativas finalmente corresponden a la combinación de procedimientos de intervención geotécnicos y estructurales de tal forma que permitan incrementar o no el factor de seguridad frente a condiciones de agua y sismo.

Complementariamente a lo expuesto en previo, el presente estudio considera que por la escala a la cual se elaboró (1:2000), es difícil establecer el grado de efectividad de las diferentes medidas recomendadas y por tanto solo se presentan algunas recomendaciones generales orientadas a ofrecerle al tomador de decisiones un orden de magnitud, tanto en términos de tipologías de intervenciones como costos estimados, respecto de lo que puede llegar a implicar la ejecución de las medidas de mitigación. De todas formas, una vez se haya mejorado el nivel de detalle del estudio en cuanto a aspectos geológicos, geomorfológicos, hidráulicos, climáticos y geotécnicos, pasando por la cartografía de las zonas de mayor interés, será factible establecer con certeza diversas alternativas que consideren los propósitos aquí requeridos.

A continuación se presentan los análisis de estabilidad geotécnica de las principales medidas de reducción del riesgo propuestas en el presente estudio.

11.4 Alternativas de mitigación en la zona inestable.

Manejo y control de aguas.

Las condiciones de flujo de agua en esta zona determinan que el nivel freático está controlado por el río en la parte baja de la ladera y por las condiciones del macizo rocoso muy fracturado que aflora en la parte alta. En estas zonas las presiones piezométricas son nulas, lo cual corresponde a la cota cero del nivel freático.

Las alternativas de manejo y control de aguas están encaminadas a controlar la escorrentía y mantener abatido el NF de forma tal que no se generen presiones desfavorables de agua. Para asegurar esta condición propone instalar drenes de penetración; se simula el comportamiento del nivel freático mediante el software de elementos finitos Groundwater de slide 6.0® para flujo estacionario.

Adicionalmente se propone construir trincheras drenantes en la berma interna de la carretera, contribuyendo que el nivel freático se mantenga abatido en esta sección de la ladera.

Sería conveniente que en la oportunidad que se acometan los diseños y una vez se hayan perfilado los taludes y sellado las grietas que se presentan en la ladera, se incluya la construcción de zanjas de coronación en la parte alta de la ladera y canales a todo lo largo de la zona inestable que recojan las aguas superficiales y las conduzcan en forma controlada hasta el cauce del río Margua.

Modelación de estructuras de contención:

Debido a que los niveles de amenaza en esta zona son muy desfavorables se hace pertinente la evaluación de estructuras de contención que permitan mejorar estas condiciones, y asegurar la estabilidad de la ladera y la continuidad del uso de la vía.

La superficie de falla se encuentra a una profundidad aproximada media de 11 m, comprometiendo todo el espesor del depósito coluvial y parte de la roca infrayacente.

Las obras que se plantean parten de la premisa de que las condiciones de presiones de agua en los materiales ya han sido controladas, esto es debido a que si bien la reducción del agua permite a su vez la reducción de las presiones que se generan en el modelo, los materiales secos también permiten en cierta medida el mejoramiento de los parámetros geomecánicos de los materiales.

11.5 Alternativas de mitigación en la zona de expansión

Manejo y control de aguas.

Las obras de manejo y control de aguas se enfocan a la captación de la escorrentía superficial por lo cual se analizan el comportamiento de trincheras drenantes en la parte alta de la zona de expansión. El papel de las trincheras drenantes es controlar tanto el flujo superficial como el sub-superficial

Modelación de terracedo del terreno.

Para la zona de expansión se plantea la construcción de terrazas auxiliares que generen cortes de tal manera que el espesor de los suelos residuales sea mínimo dejando la roca a menor profundidad. Con esto se garantiza que con la pendiente controlada y menor espesor de material pueda moverse o generar superficies de falla críticas para condiciones de sismo. Las terrazas tienen una inclinación de 30° y descansos de 11 m.

11.6 Análisis de las alternativas de mitigación

11.6.1 Zona Inestable

Manejo y control de aguas

El nivel de agua subterránea crítico esperado se presenta en la Figura 11.1. En ésta se observa el control de este nivel con el río en la parte baja de la ladera, siempre muy cercano a la superficie, esto con el objeto de simular la peor condición posible, donde el nivel freático se encuentra superficialmente.

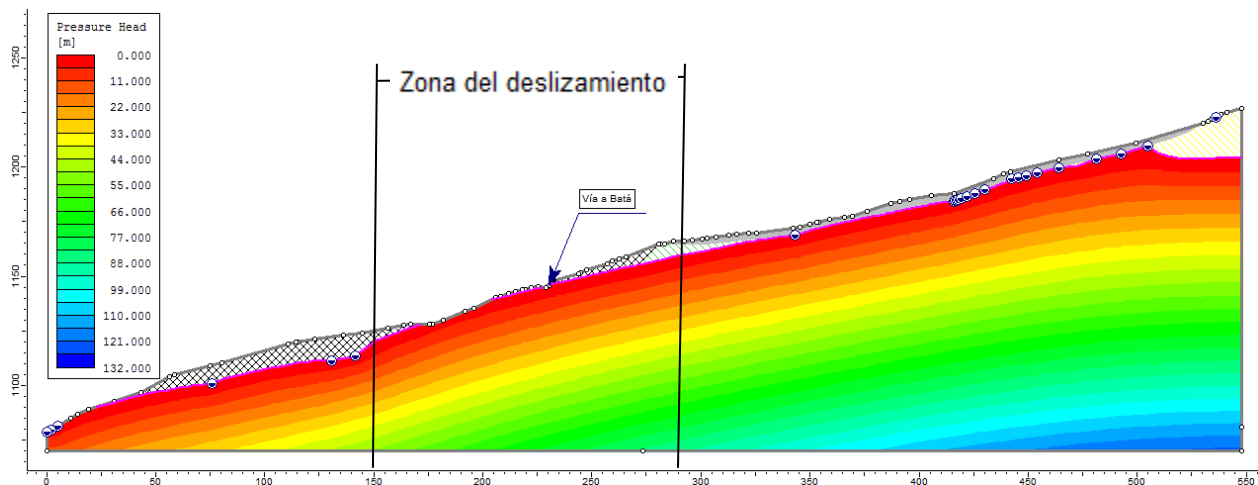


Figura 11.1: Nivel Freático Zona del deslizamiento (Sección 1-1) - Condición Crítica

Debido a que es necesario que estos niveles no se presenten, asegurando que el nivel freático no alcance los materiales tipo suelo, se disponen drenes de penetración como se presentan en la Figura 11.2.

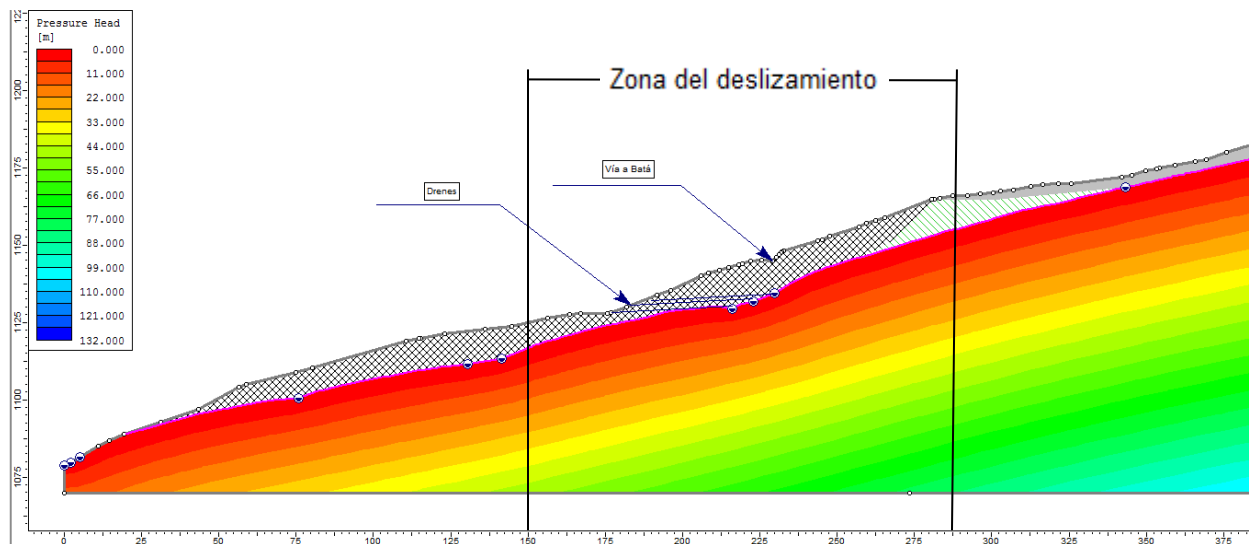


Figura 11.2: Nivel Freático Zona del deslizamiento (Sección 1-1) - Estructuras drenantes

Con el objeto de asegurar esta condición se recomienda la disposición de baterías de drenes de longitud de 40 m, con una inclinación de 2° y asegurando que los mismos penetren al menos 1 m en los materiales rocosos de contacto entre materiales. La separación entre ellos es de 2 m horizontalmente y 1 m verticalmente. El arreglo dispuesto es *a tres bolillos* como se muestra en la Figura 11.3. La longitud aproximada de los drenes es de 40 m.

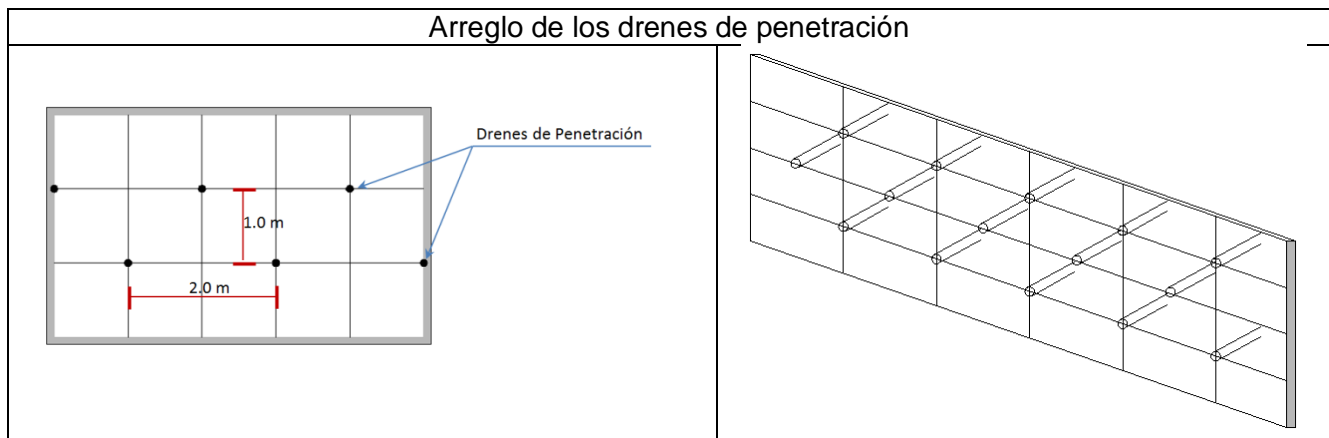


Figura 11.3: Drenes de penetración

En esta zona se dispondrán tres arreglos como los mostrados anteriormente logrando cubrir en altura 6 m en total. En la parte baja de los drenes se debe disponer estructuras de captación de forma tal que se recoja y direcciona el agua hacia las depresiones naturales de la zona.

Adicionalmente a los drenes de penetración se recomienda la construcción de una trinchera drenante en la berma interna de la vía a una profundidad de 6 m y un ancho no menor a 1 m, con una longitud aproximada de 90 m. Esto con el fin de asegurar las condiciones de estabilidad del talud interno. (Figura 11.4).

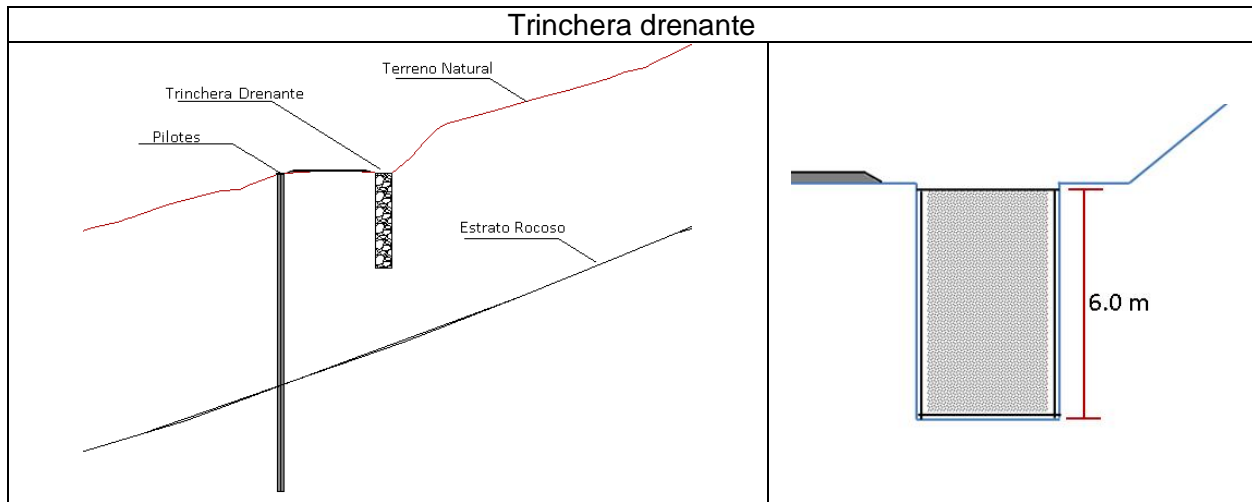


Figura 11.4: Estructuras drenantes

Modelación de estructuras de contención.

La disposición de estructuras de contención considera que se disminuya el riesgo en la vía nacional que pasa por esta zona para condiciones de sismo. En principio se evalúan las condiciones de estas estructuras, p.e. tipo caissons, separados 1 m el uno del otro en la parte baja de la vía, es decir calculando los valores de resistencia al corte por metro lineal. Los resultados se presentan en la Figura 11.5.

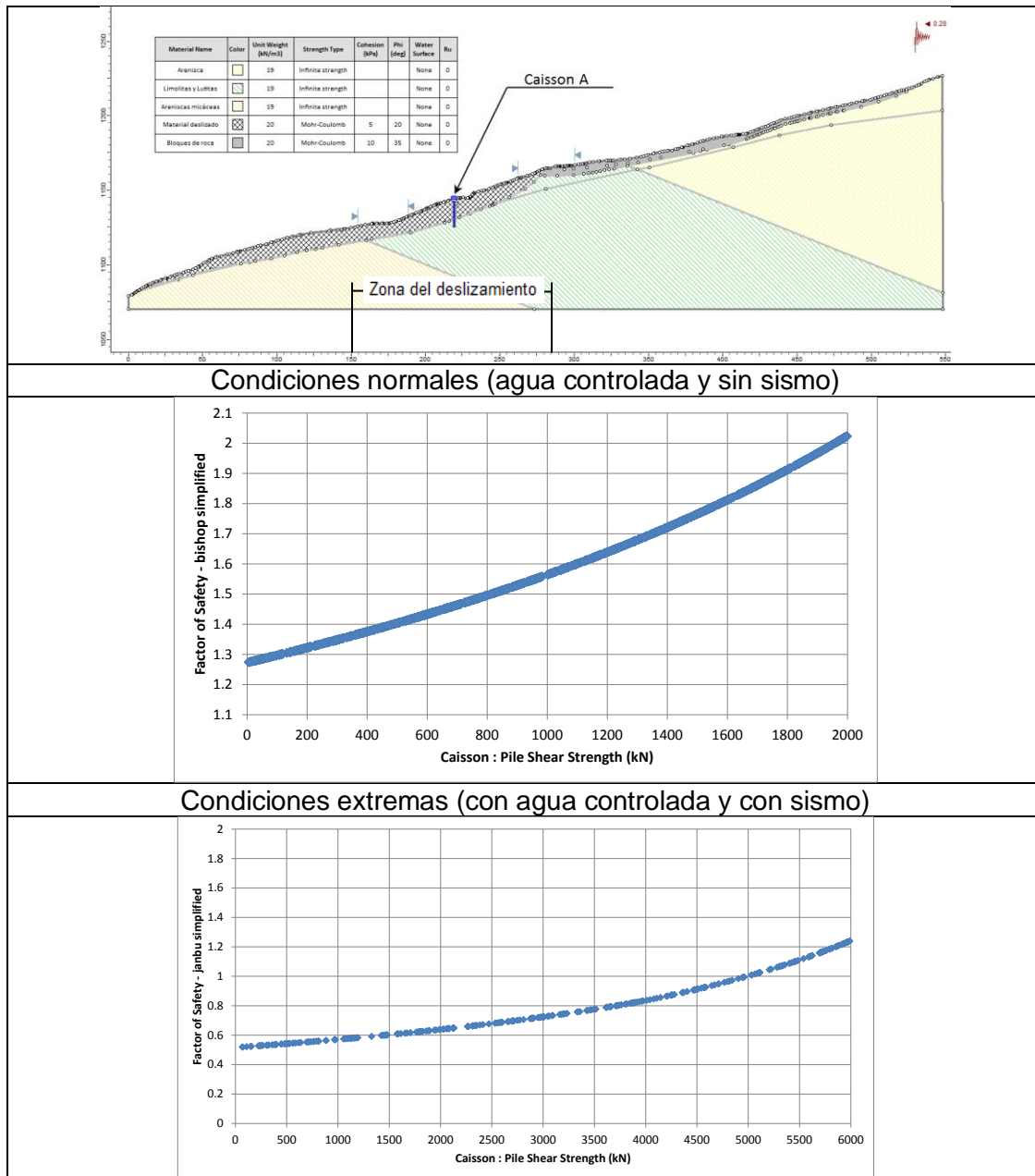


Figura 11.5: Alternativa línea de caissons (Sección 1-1)

Sección	Condición	Agua	Sismo	Obras	Factor de Seguridad
1-1'	Normal	No	No	1 Línea de Caissons-Resistencia 5000 kN	>2.0
1-1'	Extrema	No	Si	1 Línea de Caissons-Resistencia 5000 kN	FS:1.0

Tabla 11.2 : Alternativa Línea de caissons

Estos valores de resistencia son considerablemente altos, por lo cual se optaría por la disposición de dos líneas de pilotes. El arreglo y los valores obtenidos para las condiciones extremas, donde el sismo domina la estabilidad de la ladera se presenta en la Figura 11.6.

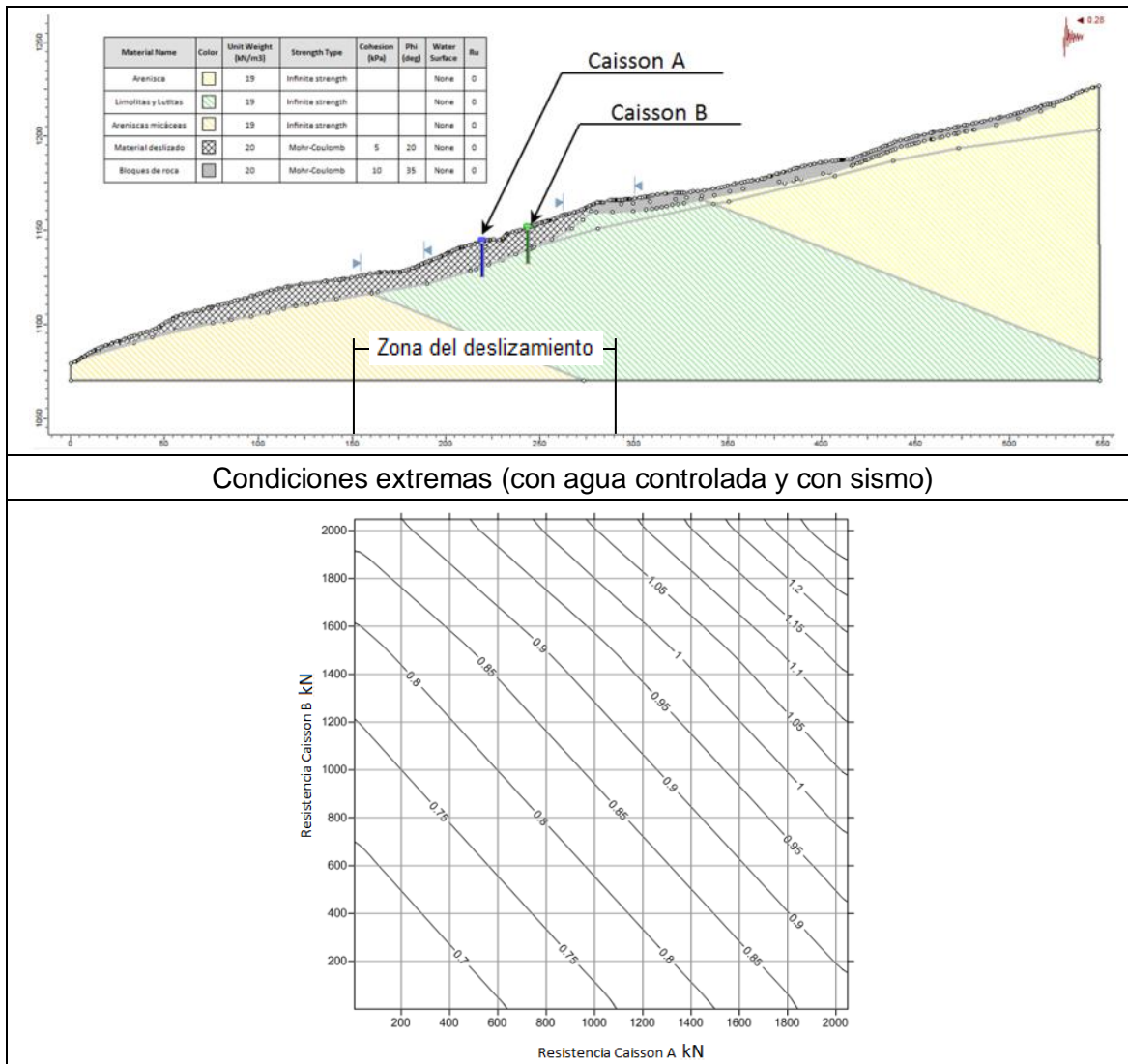


Figura 11.6: Alternativa doble línea de caissons (Sección 1-1)

Sección	Condición	Agua	Sismo	Obras	Factor de Seguridad
1-1'	Extrema	No	Si	2 Líneas de Caissons- Caissons A:2000kN Caissons B: 1000 kN	FS:1.0

Tabla 11.3 : Alternativa 2 Línea de Caissons

Estas condiciones, implican obtener factores de seguridad aceptables pero con obras muy robustas, costos altos y consideraciones estructurales complejas para las especificaciones de la zona.

Esto implica que esta es una zona de riesgo no mitigable o mitigable bajo otras condiciones de factores de seguridad, solo para asegurar la movilidad de la comunidad mediante la vía que atraviesa la zona, pero en ningún caso para usos permanentes, como vivienda, comercio, etc. Se plantea como una zona de uso pasivo como parques.

Por lo anterior se proyectan las obras en función de las condiciones normales, asegurando un factor de seguridad aceptable. A continuación se presentan los valores obtenidos de factor de seguridad para un caisson en la berma externa de la vía con una resistencia al cortante de 1000 kN dispuestos cada metro y empotrado al menos 5 m en la roca que subyace al material deslizado.

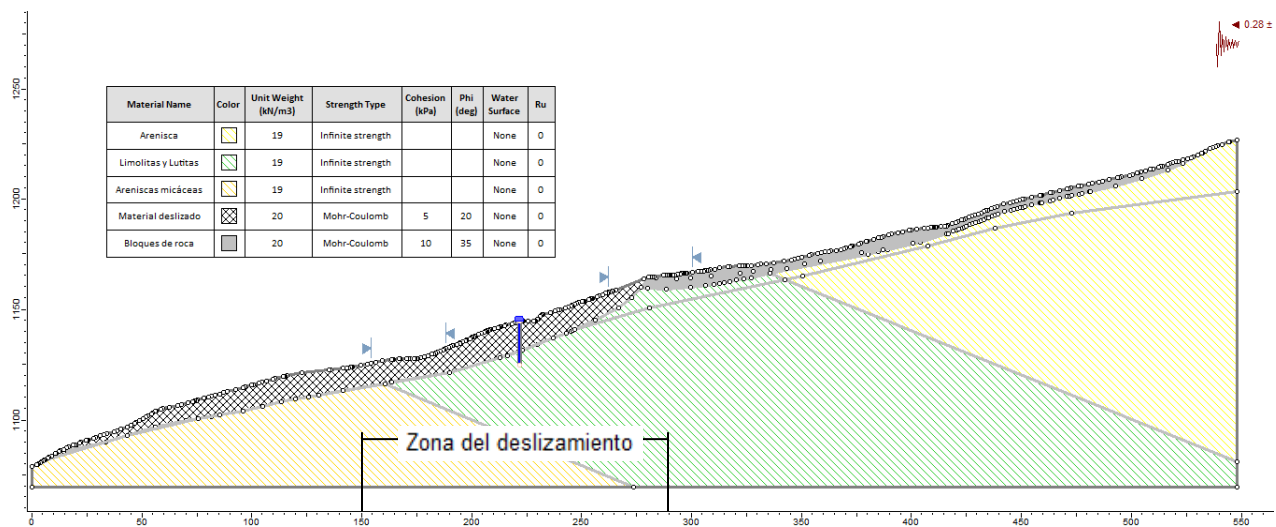


Figura 11.7: Alternativa línea de caissons-Variación de las condiciones de sismo (Sección 1-1)

El factor de seguridad obtenido en este caso se evalúa en la siguiente figura variando el nivel de aceleración sísmica para el modelo:

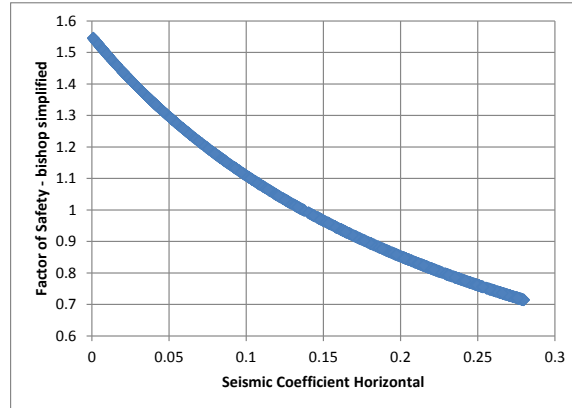


Figura 11.8: Alternativa 1 Línea de Caissons-Variación de las condiciones de sismo

Se puede observar que el valor de aceleración superior a 0.12g presenta factores de seguridad menores a 1.0. Para este contexto debe estar planteada la obra.

11.6.2 Zona de expansión.

Manejo y control de aguas.

En la zona hoy en día se encuentran viviendas las cuales presentan relativa estabilidad.

Las condiciones de agua en esta zona permiten que los niveles de agua en condiciones críticas sean controlados con obras de captación y encauzamiento del agua superficial y subsuperficial.

Las trincheras drenantes son una opción que permite obtener buenos rendimientos en función de las condiciones de estabilidad de la zona. La misma se dispondrá en la parte baja del talud al oeste de la zona de expansión urbana, según se presenta en la Figura 11.9

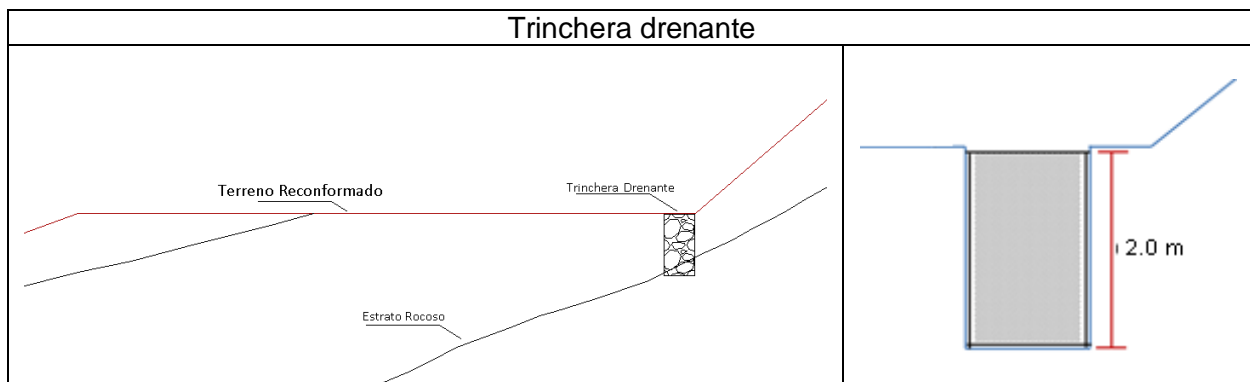


Figura 11.9: Estructuras drenantes zona de expansión.

La trinchera drenante debe descargar hacia el costado norte de la zona de expansión, con una pendiente del 2%. Con este valor se puede disponer el agua con facilidad a la quebrada que cruza por esta zona. La transición de la estructura de la trinchera y entrega al cauce de la quebrada debe protegerse de forma tal que no se generen procesos erosivos en esta zona.

Modelación de terraseo del terreno y estructuras de contención

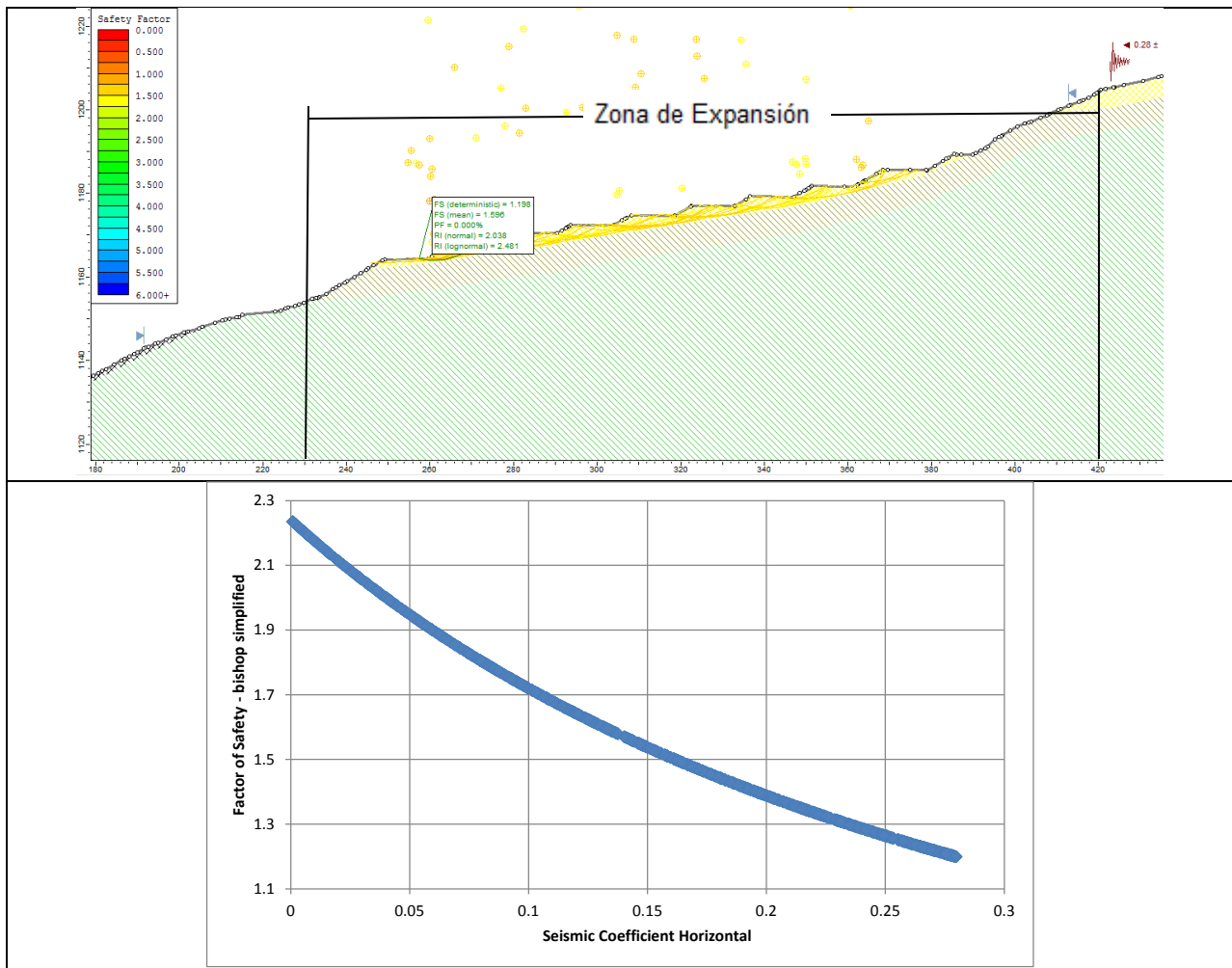


Figura 11.10: Terrazas 30° de Inclinción y descansos de 10.5 m. Zona de expansión (Sección 3-3).

De conformidad con los resultados de los análisis realizados, este tipo de intervención se considera adecuado, debido a que se logra un efecto favorable en términos de estabilidad de la zona, y a además cumple con los Factores de Seguridad mínimos establecidos por amenaza sísmica.

Se puede observar que los valores de aceleración de la zona son favorables con este tipo de obras.

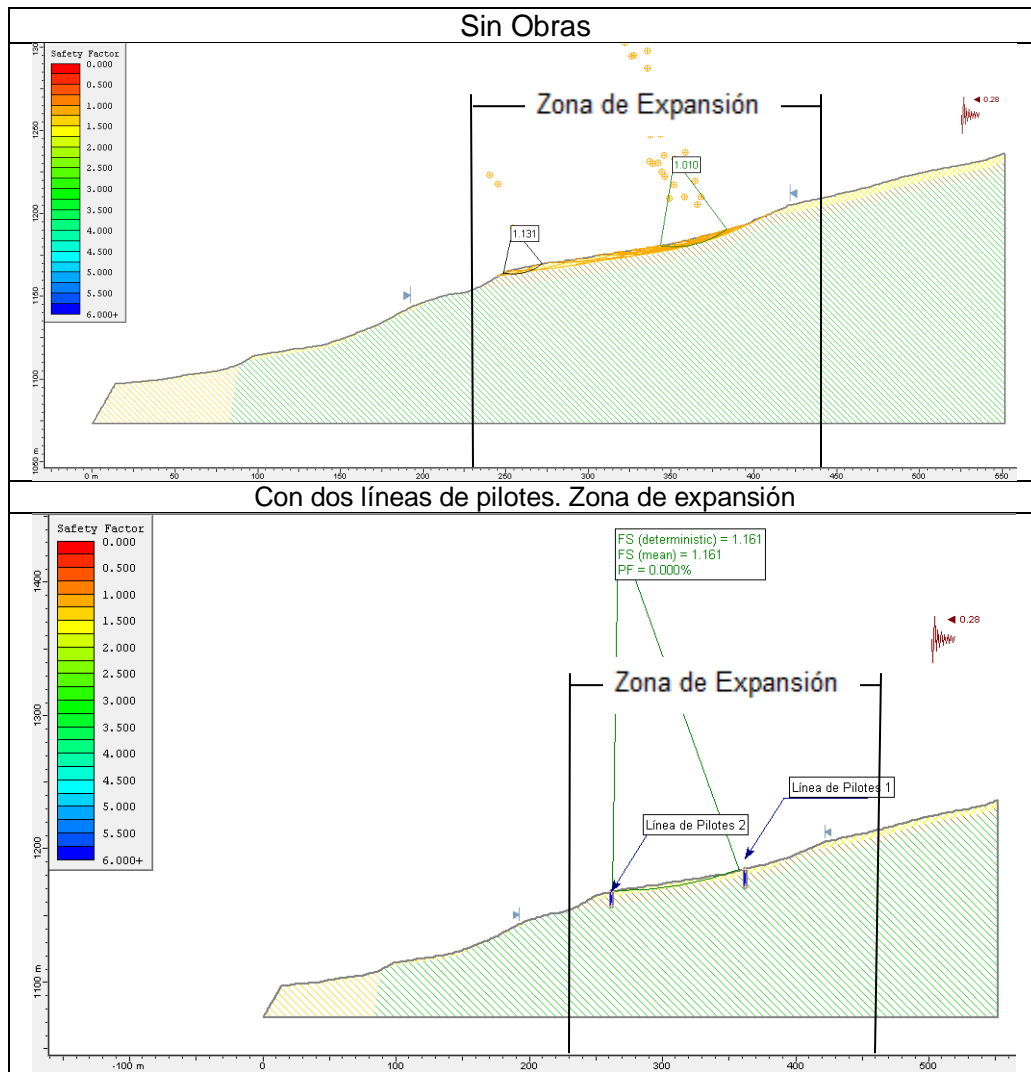


Figura 11.11: Estructuras de Contención Zona de expansión (Sección 3-3)

La Figura 11.11 muestra que tras la disposición de dos líneas de pilotes con resistencia al cortante de 500 kN, para arreglos de 1 m de separación se generan superficies de falla con factores de seguridad desfavorables.

11.7 Evaluación de las alternativas de mitigación.

El siguiente numeral da las condiciones finales de las alternativas de obras de mitigación, su disposición y fases en las que se prioriza la implementación de las medidas de mitigación, las cuales deberán desarrollarse a la luz de las particularidades de la zona de interés, es decir requieren estudios de detalle para su diseño y construcción. La evaluación se desarrollará para las tres zonas de análisis: la zona inestable, la zona de expansión y la zona central.

Las fases están orientadas a construir procedimientos de intervención los cuales paulatinamente mejoran el factor de seguridad siempre asociado a condiciones futuras de sismo. Es decir que la intervención planteada mejora las condiciones de estabilidad

Las fases de desarrollo e implementación de las medidas de mitigación de riesgos por remoción en masa en la zona de estudio, están orientadas a la priorización de recursos físicos y financieros, dado que orienta al tomador de decisiones en cuanto a la facilidad de aplicar tales medidas. Inicialmente se deberían implementar aquellas medidas que requieren menor tiempo e inversión de recursos económicos, como son la ordenación del territorio, en el sentido de delimitar en campo las zonas en donde se recomienda no permitir nuevos desarrollos habitacionales o la reconstrucción de las viviendas que resultaron destruidas por el evento. También deberían incluirse en esta fase, las medidas relacionadas con mejoramientos del terreno a nivel superficial, es decir limpieza, inyección de grietas, claveteados, etc.

Se considera igualmente que la primera fase debería incluir lo relacionado con obras menores de captación, conducción y entrega de aguas superficiales, de modo que se controlen recargas de la ladera, lo cual podría afectarla nuevamente reactivando eventualmente el proceso principal en la zona. Para estas medidas, se pueden aplicar los criterios generales del presente estudio y el buen juicio de un profesional ingeniero civil o geólogo de ingeniería, con experiencia en el tema.

La segunda fase de implementación de medidas requiere su diseño estructural y por tanto se deberán adelantar estudios de mayor detalle a escala 1:500 o mejor, previo levantamiento topográfico con curvas de nivel al menos cada 0.50 m, especialmente en las áreas catalogadas en riesgo medio y alto por remoción en masa, en donde se requiere la construcción de tales obras. El conjunto de medidas se consideran de tipo estructural, conformado por obras hidráulicas de interceptación, conducción y entrega de aguas subsuperficiales y profundas (trincheras drenantes y drenes de penetración, entre otras), como estructuras de contención en la zona del deslizamiento y terraceo en el área destinada a expansión.

El presente estudio adelantó algunas modelaciones preliminares con el fin de verificar la efectividad de esta clase de intervenciones según la zonificación establecida, pero es claro que para su diseño y construcción se recomienda mejorar el detalle de la zonificación de amenaza en las áreas prestablecidas, esto es en zonas de amenaza media y alta se deberán revisar, a la luz de este documento técnico, aspectos geológicos y geomorfológicos de mayor detalle, como

de caracterización geotécnica, lo cual implica la ejecución de actividades de exploración del subsuelo (directa e indirecta, si se requiere), de modo que se obtengan parámetros geomecánicos de los materiales en los sectores específicos en donde se diseñarán y construirán las obras.

Tales estudios de detalle, deberán incluir la planeación, diseño y construcción de estructuras hidráulicas, de manera que se garantice que los niveles de amenaza se reducen considerablemente; para ello se deberán elaborar nuevos mapas de re zonificación de las áreas pre establecidas, antes y después de la implementación de las obras, garantizando que toda la zona de interés quede en amenaza no mayor a media según los factores de seguridad adoptados en el presente estudio (metodología determinística) y riesgo bajo o nulo por eventuales nuevos procesos o reactivación de los existentes, en condiciones normales y extremas de los agentes detonantes.

11.7.1 Zona Inestable.

Fase I: medidas no estructurales y manejo y control de aguas

Debido a que las obras proyectadas aseguran la continuidad del uso de la vía a Bata en condiciones extremas, pero que los niveles de riesgo no son favorables frente al uso de la zona para vivienda o estructuras de usos pasivos como parques, la Fase I consiste en la reubicación de las personas que actualmente habiten esta zona aislándola y permitiendo solamente su uso como vía de acceso al municipio.

Esta fase se complementa con acciones que conlleven al manejo y control de aguas, mediante el diseño y construcción de obras de captación, conducción y entrega, de conformidad con los lineamientos presentados previamente y la distribución espacial que esquemáticamente se presenta en la Figura 11.12.

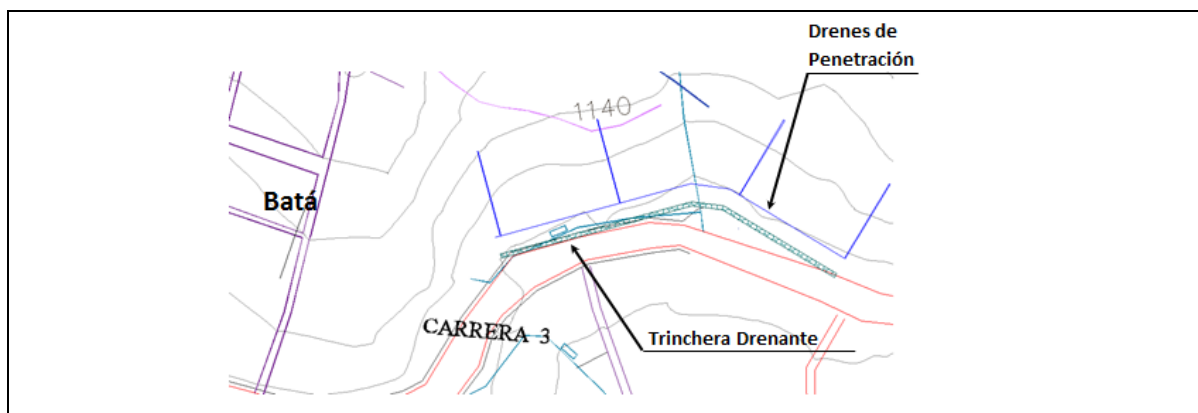


Figura 11.12 Evaluación de alternativas en la zona inestable - Fase I

Finalmente la Fase I considera la reconfiguración de la vía a Bata, el cambio del pavimento asfáltico por adoquín de modo que se admitan mayores niveles de deformación de la banca de la vía sin afectar la continuidad del tránsito por la misma.

Fase II

La Fase II contempla la construcción de las estructuras de contención de la ladera, la cuales corresponden a dos arreglos de pilotes. Una primera fila en la berma externa de la vía a Bata y otra en la parte alta de la ladera. La longitud de los pilotes es variable y se debe garantizar un empotramiento en estratos rocosos de conformidad con los criterios establecidos en la normatividad NSR10, Título H.

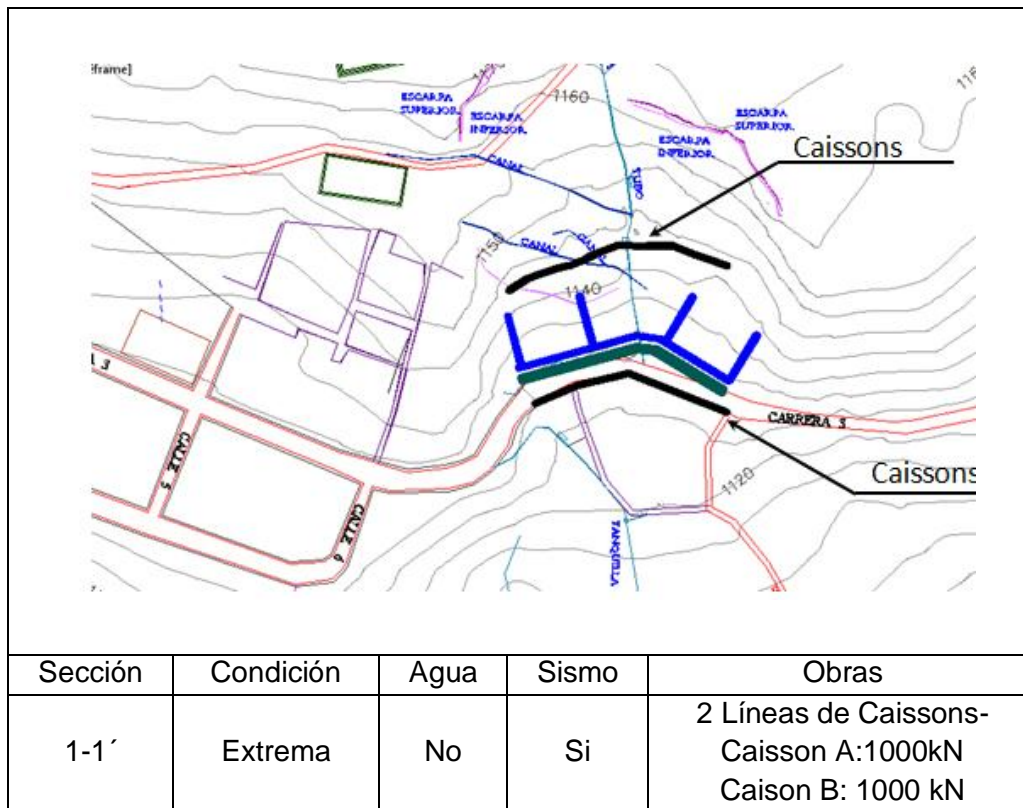


Figura 11.13 Evaluación de alternativas en la zona inestable - Fase II

11.7.2 Zona de expansión.

Fase I

La Fase I consiste en adelantar trabajos de reconfiguración de la ladera y de control y manejo de aguas de escorrentía, de manera similar a las contempladas para el sitio inestable.

Para esta zona los trabajos de reconfiguración consisten en la construcción de terrazas auxiliares que generen cortes de tal manera que el espesor de los suelos residuales sea mínimo dejando la roca a menor profundidad.

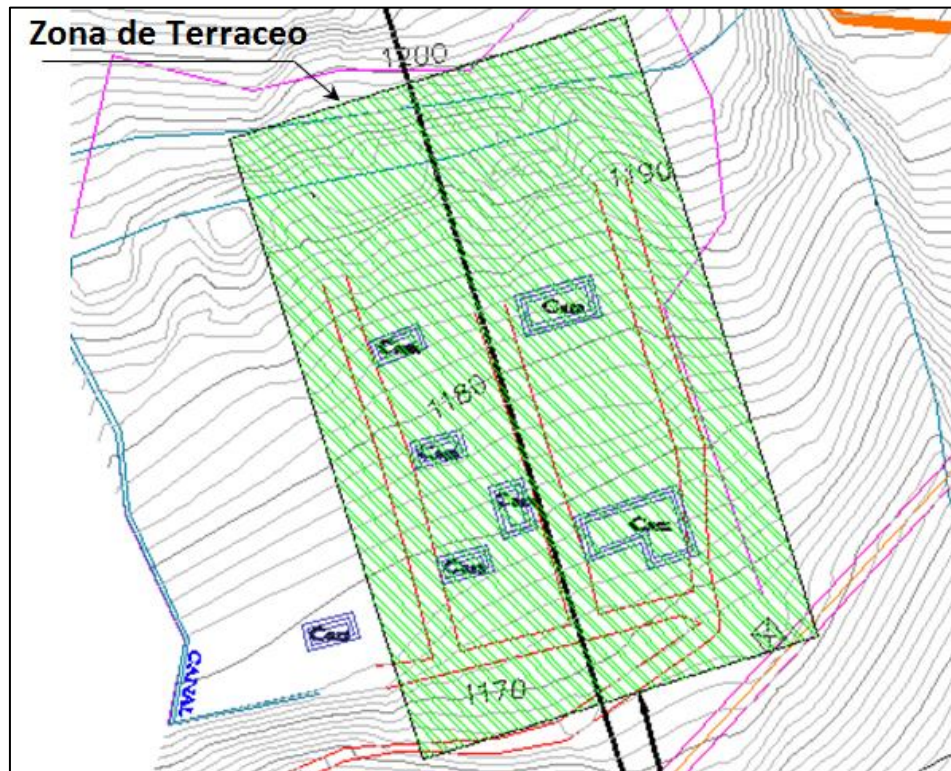


Figura 11.14 Evaluación de alternativas en la zona expansión - Fase I

La actividad anteriormente descrita se complementa con la construcción de trincheras drenantes con pendiente de 2% y profundidad mínima de 2.0 m. La disposición en planta se presenta en la Figura 11.15.

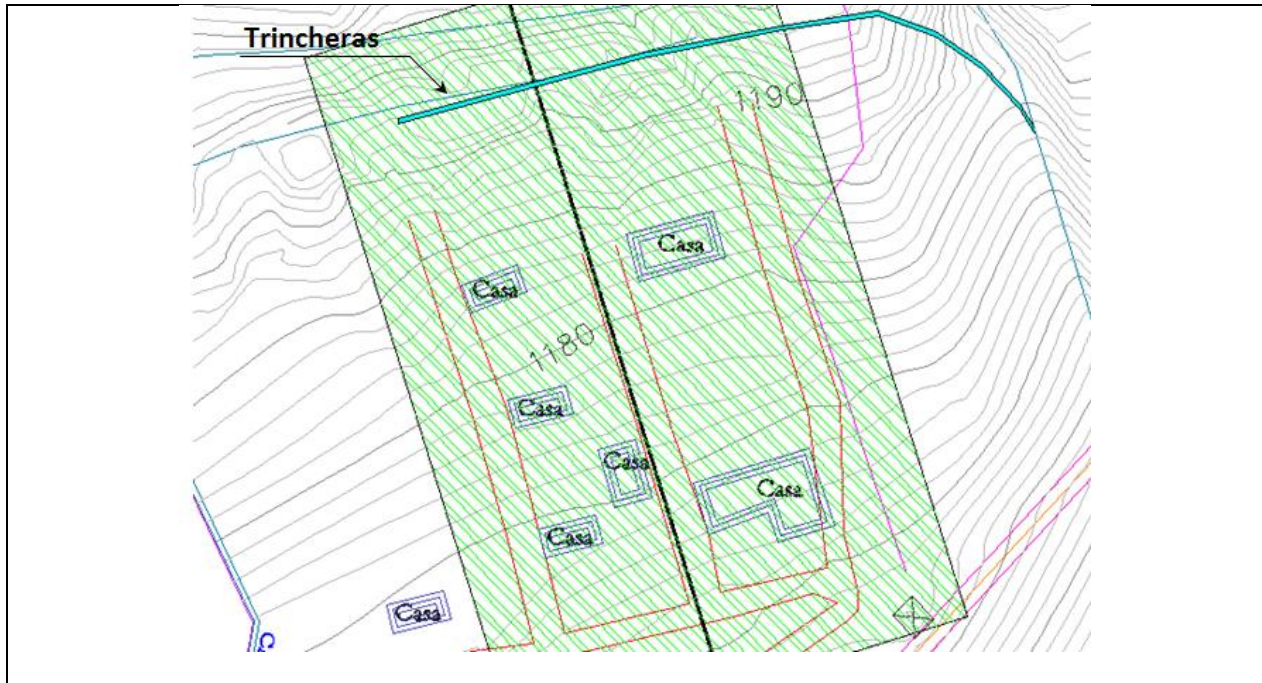


Figura 11.15: Estructuras Drenantes

11.7.3 Zona Central.

Los niveles de amenaza en esta zona no son altos, así mismo los niveles de riesgo en las condiciones normales y extremas no presentan condiciones altas. Por esta razón no se plantean obras de reducción de los niveles de riesgo, no obstante a continuación se presentan recomendaciones generales para que estas condiciones no lleguen a ser desfavorables.

- En la zona central, las construcciones futuras deben estar limitadas entre las cotas 1150 msnm y 1110 msnm, esto con el objetivo de que las mismas se sitúen en la zona predominante plana.
- Las zonas fuera de estas cotas, es decir los taludes sobre los 1150 msnm y bajo los 1110 msnm no deben ser intervenidas ni deforestadas.
- Se deben disponer de obras hidráulicas en la parte alta con el objetivo que no se generen flujos de agua superficial, esto permite reducir los procesos erosivos en las laderas. La pendiente de las obras hidráulicas debe estar dispuesta de tal forma que el agua sea conducida hacia la quebrada del costado sur de la zona central.
- En la parte baja, es decir bajo la cota 1110 msnm, se debe asegurar que no se realicen descargas de agua sobre los taludes de esta zona. Hacer la revisión y reparaciones necesarias para que no se presenten fugas de los sistemas de acueducto y alcantarillado que puedan afectar esta zona.

11.8 Medidas no estructurales.

Es importante tener en cuenta que dentro del territorio de estudio existen actores que afectaron directamente o indirectamente la estabilidad. Debido a que el deslizamiento es antiguo o al menos no reciente es conducente resolver las condiciones a las cuales estuvo expuesta el área:

- La vía efectúa un corte en cajón previo a la zona de deslizamiento y para lograr cota en su desarrollo geométrico corta una zona de la parte superior del depósito coluvial inestable.
- La vía condiciona el desarrollo progresivo de la zona con la ubicación de viviendas a lado y lado. Estas efectúan hacia la parte interna de la vía un corte de no menos de 4 m de altura. Estos cortes y las aguas servidas sobre la ladera inducen mayor aporte de agua y degradación de los materiales existentes.
- Posteriormente la ubicación de la tubería de gas y oleoducto hacia la parte superior condiciona la generación del cambio de formas con el paso de maquinaria, personal y la zanja para el tubo. Esta intervención genera cambios del nivel de agua y su facilidad de infiltración hacia la superficie de falla o contacto. El cambio es mínimo teniendo en

cuenta la zona amplia de infiltración pero facilita su drenaje si se consideran los tiempos parciales de intervención y/o pérdida de cobertura vegetal durante la obra y la colocación de rellenos en la zanja los cuales pueden afectar los drenajes naturales.

- Posteriormente la pérdida de los drenajes naturales genera cambios en el régimen de agua lo cual favorece la saturación de materiales. En la zona central debido a la permeabilidad del material la estabilidad actual de la ladera es favorable pero si no es controlado puede reducirse a niveles críticos.
- Intervenciones adicionales asociadas a las redes de energía eléctrica, redes domiciliarias generan cambios locales de uso los cuales pueden favorecer una condición de estabilidad menor.

Es necesario tener en cuenta que:

- Se debe controlar y definir adecuadamente el manejo del uso de suelo.
- Se debe efectuar protección del suelo en la zona del deslizamiento.
- Se debe efectuar la actualización del EOTB.
- La zona de expansión debe ser limitada por susceptibilidad de procesos hacia su área específica.
- Deben efectuarse obras de control de drenaje sobre la zona del deslizamiento y en la parte superior de la zona de expansión.
- En el desarrollo del estudio es muy conveniente contemplar la instalación y puesta en marcha de un sistema sencillo de monitoreo que permita hacer seguimiento del comportamiento de la masa inestable y verificar la efectividad de las medidas de control. Esto se puede lograr mediante (i) la ejecución de dos o tres perforaciones en la zona del deslizamiento: dos por encima y una por debajo del nivel de la carretera con profundidad de 20 m; (ii) instalación de dos hileras de mojoneros, (iii) instalación de piezómetros abiertos en los sitios de las perforaciones donde se instala tubería PVC ranurada y rodeada de gravilla, que permite verificar el nivel del agua a la vez que comprobar su verticalidad e integridad si hay un desplazamiento de la masa inestable, esto se puede detectar por la verificación del desplazamiento del tubo. Estos sistemas se instalan 2 a 3 meses antes de la construcción de las obras y se pueden hacer mediciones periódicas que permitirán verificar además de los desplazamientos, el comportamiento del nivel freático frente a los drenajes que se instalen. *(este tipo de monitoreo es lo más sencillo dentro de lo que vale la pena hacer y es parte de las acciones que la comunidad debe aprender a realizar como parte de la cultura de la prevención).*

- Se recomienda que las autoridades gestionen con quienes corresponda, la revisión del comportamiento de las alcantarillas de la carretera de la Soberanía (estructuras de cruce, encoles, descoles y entregas) y de las tuberías de Ecopetrol, en prevención de que el manejo de aguas no esté provocando erosión al costado occidental de la población y en el nivel de la vía.

11.9 Presupuesto General Intervenciones Modeladas.

Teniendo en cuenta los escenarios evaluados anteriormente se efectuó la evaluación de costos generales de obras y/o ítems asociados a las obras en la Figura 11.16:

Sector	FASE	Medida de mitigación	Item	Sub - ítem	Zona de intervención	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total/Item	
Zona Deslizamiento	I	Viviendas a reubicar	Compra de Predios y Casa			Un	25	\$ 70,000,000	\$ 1,750,000,000	
			Mantenimiento Vía			Gb	1	\$ 100,000,000	\$ 100,000,000	
		Monitoreo	Perforación + Tubería			Un	3	\$ 300,000.00	\$ 900,000	
			Mojones			Un	30	\$ 22,000.00	\$ 660,000	
			Piezómetros			Un	10	\$ 80,000.00	\$ 800,000	
			Inclinómetros			Un	10	\$ 196,000.00	\$ 1,960,000	
		Drenaje y adecuación de la ladera	Drenaje	Drenes			ml	4800	\$ 180,000	\$ 864,000,000
				Trincheras drenantes			ml	500	\$ 800,000	\$ 400,000,000
				Limpieza de cauces			ha	2	\$ 735,000.00	\$ 1,470,000
			Reconformación de la ladera	Relleno			m3	500	\$ 72,000.00	\$ 36,000,000
	Descapote				m2	400	\$ 26,000.00	\$ 10,400,000		
	Afinamiento de taludes				m2	300	\$ 3,500.00	\$ 1,050,000		
	Protección del talud con bloques de césped				m2	300	\$ 15,000.00	\$ 4,500,000		
	Reja de cerramiento M-70				ml	100	\$ 310,000.00	\$ 31,000,000		
	Claveteado				m2	150	\$ 80,000.00	\$ 12,000,000		
	Trinchos				m2	40	\$ 65,000.00	\$ 2,600,000		
	II	Empradización			m2	400	\$ 3,000.00	\$ 1,200,000		
		Sello de grietas			ml	45	\$ 5,500.00	\$ 247,500		
		Sello de fisuras			ml	45	\$ 4,000.00	\$ 180,000		
	Caisson		Caissons -Pilotes			ml	1200	\$ 3,500,000	\$ 4,200,000,000	
Diseños		Estudios y diseño de obras Fase II			Gb	1	\$ 120,000,000	\$ 120,000,000		
Zona de Reubicación	I	Adecuación de predios			Un	25	\$ 25,000,000	\$ 625,000,000		
		Movimiento de Tierra			m3	23800	\$ 25,000	\$ 595,000,000		
	Drenaje		Trincheras Drenantes			ml	140	\$ 800,000	\$ 112,000,000	
								Costo Total	\$ 8,893,967,500	

	Ladera media y superior (Zona del deslizamiento)
	Vía y ladera inferior (Zona deslizamiento y zona central)
	Ladera superior (Zona de expansión)

Figura 11.16 Presupuesto general - Obras propuestas

Justificación general de las obras de mitigación del riesgo por PRM:

- Zona del deslizamiento: las obras propuestas garantizan la estabilidad general del sector con énfasis particular en el tramo conformado por la vía nacional y su área de influencia; aquí se prevén obras de manejo y control de aguas subterráneas y subsuperficiales, como estructuras de contención y trabajos de adecuación y mejoramiento de las condiciones morfológicas de la ladera, en sus partes superior, media e inferior. Una vez planeadas, diseñadas, construidas, monitoreadas y mantenidas las obras e intervenciones propuestas, se garantizaría la estabilidad tanto de la vía, las viviendas y la infraestructura de conducción de crudo y gas, en el área de influencia.
- Zona de expansión: se prevén obras de adecuación de terrenos y estabilización mediante terraceo, como estructuras de captación, conducción y entrega de aguas de escorrentía y subsuperficiales, de modo que una vez implementadas garantizarían la estabilidad de la ladera de interés como de la infraestructura de servicios y demás que se encuentra en su área de influencia.

El presupuesto presentado no está basado en un estudio de mercado y no presenta la validación de los intangibles como la pérdida de vidas humanas.

12. CONCLUSIONES TRABAJO DE SAN BERNARDO DE BATA

Se recopilan aquí los propósitos y alcances del estudio, según el compromiso adquirido con la UNGRD, de investigar las causas del deslizamiento que destruyó algunas viviendas en el mes de Diciembre de 2011 en el corregimiento San Bernardo de Bata-Municipio de Toledo, y conceptualizar sobre la confiabilidad de la zona escogida por las autoridades para reubicar a las personas afectadas por ese movimiento.

A continuación se describen brevemente las actividades realizadas en cumplimiento de los objetivos del estudio, la manera como se desarrollaron las tareas, y las conclusiones y recomendaciones de mayor interés.

12.1 El sitio.

El corregimiento de SBB está ubicado en la margen derecha del río Margua en una ladera con pendiente media de 20% a 30% que expone en la parte superior, cerca de la divisoria, areniscas muy fracturadas de la formación Barco del Terciario Inferior con buzamiento muy suave en el mismo sentido que desciende la ladera, en contacto con lodolitas de la formación Cuervo del Paleógeno Superior. En la parte inferior, donde se ubica el corregimiento, se presentan rocas arcillosas con intercalaciones arenosas y calcáreas de la formación Mitó-Juan del Cretaceo Superior la cual se extiende hasta la margen derecha del río Margua, donde se pone en contacto fallado (Falla de Valegrá) con lodolitas y cherts de la formación La Luna que conforma el lecho del río. Las capas de la secuencia descrita se inclinan favorablemente hacia el interior de la ladera y están cubiertas en su parte media y baja por una masa de coluvión arcilloso de espesor variable que alcanza 6-7 m en la parte media, algo más grueso en proximidad del río, donde se entrelaza con un depósito aluvial areno-limoso, que identifica el sitio que ocupó el río en el pasado geológico y sobre el cual está fundado parte del corregimiento, precisamente el afectado por el deslizamiento. Toda la ladera, está cubierta por un depósito de bloques de arenisca, provenientes de la parte superior, los cuales han sido expuestos por erosión en el pasado. Al parecer el corregimiento se construyó en su parte norte, sobre un antiguo deslizamiento que se reactivó algunas veces en el pasado, la última en Diciembre de 2011, cuando destruyó las viviendas, objeto principal del estudio.

12.2 Propósito del estudio.

El objeto del estudio fue investigar las causas del deslizamiento ocurrido en el corregimiento de San Bernardo de Bata en Diciembre de 2011, a causa del cual se destruyeron 20 viviendas, se produjeron daños en la carretera de La Soberanía y se involucró en principio 4 Ha, con una afectación que podría extenderse a 20-30 Ha. La investigación se concentró en los siguientes propósitos: (1) establecer las causas y el área real de afectación por el movimiento, junto con la posibilidad de que ésta se pueda extender al futuro; (2) definir la justificación y viabilidad de que

los habitantes damnificados por el movimiento, puedan reubicarse de manera confiable en un lote propuesto por las autoridades, para tal efecto; (3) proponer medidas de mitigación que sirvan de base al diseño de obras y adopción de medidas de control del deslizamiento en toda la zona de influencia de este proceso.

El estudio se inició con una reunión con la comunidad de SBB en el mes de Noviembre de 2013, conjunta con representantes de la UNGRD y de las autoridades municipales, en desarrollo de la cual se expuso el propósito, plazo y alcances del estudio y se logró establecer el compromiso de la comunidad de cooperar.

12.3 Las actividades.

El estudio se cumplió en el período Noviembre de 2013 a Junio de 2014 y cubrió las siguientes etapas:

- Recopilación y análisis de la información disponible
- Fotointerpretación
- Exploración geológica, hidrogeológica y geotécnica de la zona de influencia en campo
- Realización de ensayos de laboratorio y análisis geotécnicos
- Evaluación de resultados de estudio que cubrió los aspectos de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo.
- Definición de las alternativas de mitigación que involucran en conjunto la zona afectada por el deslizamiento y la de expansión sugerida.

12.4 Desarrollo del estudio.

- La fotointerpretación permitió establecer que el corregimiento de SBB se ubica en un terreno geológico muy sensible a los deslizamientos, con procesos de transformación en el uso del suelo que han contribuido a la evolución de estos procesos, como consecuencia de la deforestación y cambios de uso del suelo inconvenientes
- Previamente a la exploración del terreno por parte de los especialistas geólogo e ingeniero designados para realizar el estudio, a finales de Diciembre de 2013 e inicios de Enero de 2014, se adelantó el levantamiento topográfico de más de 50 Ha, que abarca la zona de influencia del movimiento y zona de expansión.
- Simultáneamente con la actividad anterior se realizó una cuidadosa evaluación de la información secundaria disponible.

- En la primera semana de Febrero 2014 se adelantó el reconocimiento geológico, hidrogeológico y geotécnico del terreno y la exploración directa e indirecta, en forma simultánea con el estudio de vulnerabilidad física e impacto social.
- Posteriormente, entre el 10 de febrero y los primeros días del mes de Junio se llevaron a cabo los estudios de exploración, se realizaron los ensayos de laboratorio (clasificación, humedad y resistencia) que culminaron con los análisis de estabilidad. Estos estudios se complementaron en este período con las evaluaciones de amenaza y riesgo y el estudio de las medidas de mitigación.
- En Mayo 31 de 2014, previamente a la entrega formal de los estudios, se llevó a cabo una presentación inicial de resultados ante las autoridades del Municipio de Toledo y la comunidad de San Bernardo de Bata, con participación de funcionarios de la UNGRD. Cabe destacar la realización, en desarrollo de la investigación, de varias reuniones periódicas entre representantes de la SCG y la UNGRD.

12.5 Resultados.

El resultado del estudio comprende la tarea de recopilación y análisis de información sobre estudios y conceptos anteriores, que incluyen estudios topográficos, un concepto del Ingeominas de Octubre de 2012, información sobre la construcción de los sistemas de drenaje para mitigación, documento del EOT y estudios del clima, suelos y uso del suelo de IDEAM e IGAC.

En forma resumida los resultados relacionados con la investigación del sitio inestable, zona intermedia y zona de expansión, así como de la investigación de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo, y de las medidas de prevención y mitigación, son como sigue:

El deslizamiento.

- El reconocimiento de campo complementado con el estudio topográfico y la exploración mediante 4 perforaciones, 3 apiques, 2 trincheras y 4 líneas sísmicas, permitió reconocer que el movimiento que destruyó las viviendas involucró una masa de 7 a 10 m de espesor, 300 m de largo y 100 m de ancho medio, que comprometió un coluvión arcilloso saturado junto con material aluvial en la parte baja de la ladera y parte de la roca lodosa infrayacente, en proximidad a la orilla derecha del río Margua sobre el cual está fundado parte del corregimiento. Esto corresponde a un volumen aproximado de 250.000 a 300.000 m³.

- El deslizamiento se localiza dentro de la zona de influencia de un drenaje natural (cañada), muy intervenido por la expansión urbana del corregimiento, con vertimientos de agua que son captados por los depósitos aluviales de alta permeabilidad.
- Teniendo en cuenta las evidencias morfológicas del sitio el movimiento se clasifica, respecto de su mecanismo, como un deslizamiento rotacional múltiple que presenta dos o más unidades deslizantes que en conjunto interceptan una superficie de falla basal común (Hutchinson 1988, en Dikau et al 1996).
- Respecto de su edad, el deslizamiento que destruyó las viviendas se puede considerar como un movimiento antiguo, muy posiblemente generado por la dinámica del río Margua en el pasado geológico, reactivado en más de una ocasión, y recientemente por un alzamiento del nivel freático generado por los eventos extremos de lluvias del año 2011. En efecto el deslizamiento estuvo precedido en los meses de Mayo y Junio de valores históricos máximos de precipitación mensual (225.3 mm y 220 mm respectivamente). En la actualidad el río Margua no ejerce socavación en la pata del deslizamiento.
- En realidad las viviendas y la vía se ubicaron dentro del cuerpo del deslizamiento antiguo que hace varios años afecta la ladera y que se ha reactivado varias veces por los cambios de uso del terreno entre otros la construcción de las viviendas, la construcción de la vía, la deforestación, las deficiencias de drenaje y de manejo de aguas.
- Desde el punto de vista de su actividad en el sitio del deslizamiento se observan muchas evidencias de que el movimiento se mantiene activo, tales como escarpes frescos, agrietamientos y zonas de concentración de humedad.
- Muchas de las causas del movimiento se mantienen vigentes: entre otras los excesos de agua de escorrentía provenientes de manantiales identificados en el estudio geológico en la parte alta de la ladera, el descuido en manejo de aguas, la deforestación, la transformación de uso del suelo hacia prácticas inconvenientes de cultivos y ganadería, que se consideran inconvenientes según el estudio de antecedentes sobre el uso del suelo, de IGAC e IDEAM.

La zona de expansión.

- Como complemento del estudio topográfico y de la exploración del terreno por parte de los especialistas, en el sitio seleccionado para reubicar las personas afectadas por el deslizamiento se llevaron a cabo dos sondeos, 4 apiques, 2 trincheras y 3 líneas sísmicas.
- Los análisis geotécnicos y de estabilidad así como la evaluación de amenaza y riesgo permiten concluir que este sitio puede ser ocupado por los habitantes que deben ser reubicados, con algunas restricciones que se comentan más adelante.

La zona intermedia.

Esta zona de estabilidad aceptable, se exploró mediante un sondeo y una trinchera.

12.6 Medidas de mitigación recomendadas.

12.6.1 Medidas generales de reducción del riesgo por movimientos en masa.

Una vez identificadas las zonas de riesgo alto por remoción en masa, en las tres zonas de interés: deslizamiento, central y expansión, se procedió a establecer, mediante un árbol de decisiones, las medidas de reducción del riesgo en orden al control de los efectos relacionados con la amenaza y la vulnerabilidad física del sitio de estudio.

En cuanto a la vulnerabilidad física, las medidas consisten en el ordenamiento del territorio mediante la restricción y cambio de uso de la zona del deslizamiento, tratándola de modo que pueda utilizarse para efectos de recreación pasiva; la zona central deberá ser sometida a monitoreo de las variables de estabilidad y la zona de expansión igualmente deberá restringirse en cuanto a su desarrollo urbanístico, dado que reviste serias limitaciones de uso y menos de expansión

En cuanto a la amenaza, dado que los factores que mayor incidencia tienen en la inestabilidad de la ladera son, en su orden: 1. El agua, la cual deberá estudiarse con mayor detalle para proveer los diferentes sectores con obras de captación, interceptación, conducción y entrega, tanto a nivel superficial, subsuperficial como profunda; en este caso se proponen zanjas de coronación, canaletas, drenes de penetración y trincheras drenantes. 2. Los materiales, los cuales pueden ser sometidos a diversos tratamientos como la reconformación de la laderas (perfilado diseñado), claveteado de suelos sueltos, trinchos de contención y estructuras de contención, p.e. tipo caissons semi-profundos.

Algunas de las medidas generales propuestas se analizan desde el punto de vista geotécnico, con el propósito de identificar en forma preliminar las bondades esperadas de su implementación, así como orientar a los diseñadores de las condiciones generales y los trabajos que deberán adelantarse para llevar a diseño las obras de reducción del riesgo.

Se plantean otras medidas consideradas no estructurales, que impactarán positivamente tanto en la estabilidad actual y futura de las laderas involucradas, como en la generación de una cultura del cuidado, la protección y la resiliencia de toda la comunidad.

12.7 Presupuesto General.

El presupuesto presentado no está basado en un estudio de mercado y no presenta la validación de los intangibles como la pérdida de vidas humanas.

13. 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 DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Geotechnical engineering Circular No.4 Ground anchors and anchored systems. Washington D.C, U.S DEPARTMENT 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 snaw 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.

ARNOLD, H.M. 1980. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. En De Boodt. M.and Gabriels, D. (Eds.). Assessment of Erosion. John Wileyand Sons, Inc. Chichester, West Sussex, UK.

SCHWAB, G.O. - Frevert, R.K. - Edminster, T.W.. “Ingeniería de conservación de suelos y aguas”, Ed. Limusa, 570 pp.

“Development of a Methodology For Detection of Trigger – Landslide Rains” IDEAM, Mayorga 2003.

Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, IDEAM 2010.

AIS, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, 2010.

ATC, Applied Technology Council Founded by Federal Emergency Management Agency. Guía ATC-25. Seismic Vulnerability and Impact of Disruption of Lifelines in the Conterminous United States, 1991.

CIFUENTES, D.L. RODRIGUEZ, C.E. (2011). Modelación de Vulnerabilidad física de estructuras de uno y dos pisos, asociada a deslizamientos. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

DPAE-UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, Guía para evaluación Global de Riesgo y criterios de evacuación de viviendas de alto riesgo de deslizamiento, 2002.

FOPAE-AIS, Guía técnica para inspección de edificaciones después de un sismo, Tercera versión, Diciembre de 2009.

FOPAE-AIS, Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales, Tercera edición, 2011.

JIMÉNEZ, D. Y. (2005). Evaluación de la vulnerabilidad de edificaciones de uno y dos pisos ante desplazamientos inducidos por sismo en suelos volcánicos del eje cafetero. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá

LEONE, F. (1996). Concept de vulnerabilite appliqué a L`evaluation des risques generes por les phenomenes de mouvement de terrain, PhD Thesis en Risques Naturales. Universidad de Grenoble

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

Mapa de ecosistemas de Colombia (IDEAM, 2000).

Mapa de uso del suelo (EOT 2001).

DPAE, Resolución 227 de 2006.

14. ANEXOS

14.1 Topografía

14.2 Exploración del subsuelo

14.3 Caracterización Geomecánica

14.4 Hidrología e hidráulica

14.5 Vulnerabilidad

14.6 Planos