



DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA EN
PUNTOS CRÍTICOS EN EL OCCIDENTE Y NORTE DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS

LAURA SOFIA AGUIRRE NARANJO

UNIVERSIDAD DE CALDAS



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

PROGRAMA GEOLOGÍA

MANIZALES

2022

LAURA SOFIA AGUIRRE NARANJO

Informe Práctica Académica realizada en la Secretaria de Planeación de la Gobernación
de Caldas

Grupo Estructurador de Proyectos

Trabajo de grado modalidad pasantía presentado como prerrequisito para optar

por el título de Geóloga

Asesor Universidad de Caldas

JOHN JAIRO CARDONA RIOS



UNIVERSIDAD DE CALDAS

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

PROGRAMA DE GEOLOGÍA

MANIZALES

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Aprobado



John Jairo Cardona Ríos

Director de trabajo de grado

DEDICATORIA

A mis abuelos Antonio Naranjo y Dolly Cardona, el pilar fundamental de mi familia y de mi vida. Especial dedicatoria a mi Abuela Dolly que ha partido de esta tierra durante este importante proceso de culminación de carrera profesional. Provengo de unas raíces de mujeres fuertes, valientes, soy y llevo en mí, esa mujer llena de virtudes que fue mi amada abuela.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por darme salud para hacer y disfrutar de las grandes oportunidades que me ha brindado a lo largo de mi vida.

Agradecimientos especiales a mi mamá, mi papá, mis hermanas, tíos y a mis adorados abuelos por su incondicional acompañamiento en este proceso universitario.

A la Universidad de Caldas, profesores y compañeros por las enseñanzas y experiencias vividas durante estos años

A mi asesor John Jairo Cardona por su dedicación y acompañamiento durante este trabajo de grado.

A el profesor Santiago Cano por su asesoría durante el desarrollo de este trabajo.

A todo el equipo estructurador de proyectos de la secretaría de planeación y de infraestructura de la Gobernación de Caldas por la oportunidad de pertenecer y desempeñar mi labor como geóloga.

A todos los compañeros y amigos que hicieron parte y me acompañaron en este proceso tan importante para mi vida.

RESUMEN

El presente trabajo académico tiene como finalidad brindar apoyo al equipo estructurador de proyectos de la Secretaría de Infraestructura y Planeación evaluando las necesidades en materia vial para el estudio y diseño de proyectos, obras o consultorías, cuyo objetivo es actualizar y formular los estudios técnicos para dar cumplimiento al plan de desarrollo del departamento de Caldas.

Las obras de infraestructura identificadas y priorizadas en las zonas occidente y norte del departamento son los puntos críticos El Tambor. K 2+000 de la vía La merced - La Felisa; La Unión K 14+600 de la vía Aránzazu - Salamina, y el Sector el Bosque K 8+500 de la vía Asia - El Crucero - Las Margaritas.

Los resultados obtenidos evidencian la relación de las unidades geológicas superficiales y otros factores condicionantes tales como el uso del suelo, las características geomorfológicas en conjunto con los factores detonantes en los cuales el común denominador en los tres puntos es el inadecuado manejo de agua superficiales y de carácter antrópico, el cual a su vez actúa y detona los procesos de los movimientos en masa, mismos que han tenido recurrencia durante los últimos años, provocando afectaciones como el colapso parcial del suelo y las estructuras viales.

Este trabajo concluye con el planteamiento de las alternativas, las obras de mitigación y posibles medidas correctivas definitivas. A estas medidas se llegó a través de los resultados identificados y analizados durante el desarrollo de este.

CONTENIDO

LISTA DE ANEXOS	18
1. INTRODUCCIÓN	19
2. CAPÍTULO I: Objetivos y Alcance	22
2.1 Objetivos	22
<i>2.1.1 Objetivo General</i>	22
<i>2.1.2 Objetivos Específicos:</i>	22
2.2 Alcances y Limitaciones	23
3. CAPÍTULO II: Marco Referencial	24
3.1 Marco Contextual	24
<i>3.1.1 Localización</i>	24
<i>3.1.2. Descripción actual del área de influencia</i>	25
<i>3.1.3 Geología regional</i>	27
3.2 Marco Teórico	29
<i>3.2.1. Definición de términos básicos</i>	29
3.2.2 Bases Teóricas	43
4. CAPÍTULO III: Metodología	45
4.1 Enfoque del trabajo	45
4.2 Fases de trabajo	45

5. CAPÍTULO IV: Resultados	49
5.1 Punto crítico El Tambor K 2+000 de la vía La Merced – La Felisa	50
5.1.1 <i>Inventario de procesos morfodinámicos</i>	50
5.1.2 <i>Factores condicionantes</i>	53
5.1.2.1 Unidades geológicas superficiales	53
5.1.2.1 Geología estructural	57
5.1.2.3 Uso del suelo:	61
5.1.2.4 Hidrogeología	63
5.1.3. <i>Factores detonantes</i>	64
5.1.3.1 Lluvia:	64
5.1.3.2 Sismo	65
5.2 Punto crítico La Unión K 14+600 de la vía Aranzazu - Salamina	67
5.2.1 <i>Inventario de procesos morfodinámicos</i>	67
5.2.2. <i>Factores Condicionantes</i>	68
5.2.2.1 Unidades geológicas superficiales	68
5.2.2.2 Uso del suelo	71
5.2.2.3 Geología estructural	72
5.2.2.3 Geomorfología	74
5.2.2.4 Hidrogeología	76
5.2.3 <i>Factores detonantes</i>	77

5.2.3.1 Lluvia	77
5.2.3.2 Sismo	78
5.3 Punto crítico Sector el bosque K 8+500 de la vía Asia - El cruceo - Las Margaritas	79
5.3.1 <i>Inventario de procesos morfodinámicos</i>	79
5.3.2 <i>Factores condicionantes</i>	81
5.3.2.1 Unidades geológicas superficiales	81
5.3.2.2 Uso del suelo	84
5.3.2.3 Geología estructural	84
5.3.2.4 Geomorfología	85
5.3.2.5 Hidrogeología	88
5.3.3 <i>Factores Detonantes</i>	89
5.3.3.1 Lluvia	89
5.3.4 Sismo	91
6. ESCENARIO Y CARACTERIZACIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS	93
6.1 Punto crítico El Tambor K 2+000 de la vía La Merced – La Felisa	93
6.2 Punto crítico La Unión K 14+600 de la vía Aranzazu – Salamina	100
6.3 Punto crítico Sector el bosque K 8+500 de la vía Asia - El cruceo - Las Margaritas	107
7. DISCUSIÓN	112
7.1 Punto crítico El Tambor K 2+000 de la vía La Merced – La Felisa	112
7.2 Punto crítico La Unión K 14+600 de la vía Aranzazu - Salamina	113

7.3 Punto crítico Las Margaritas- Asia en el sector el Bosque K8+500	114
8. CAPÍTULO V: ALTERNATIVAS Y RECOMENDACIONES	116
8.1 Punto crítico El Tambor K 2+000 de la vía La Merced – La Felisa	116
8.1.1 <i>Medidas de mitigación a corto plazo</i>	116
8.1.2 <i>Medidas Correctivas (Mediano Y Largo Plazo)</i>	120
8.2 Punto crítico La Unión K 14+600 de la vía Aranzazu – Salamina	122
8.2.1 <i>Medidas de mitigación (corto plazo):</i>	122
8.2.2 <i>Medidas Correctivas (mediano plazo):</i>	123
8.3 Punto crítico Sector el bosque K 8+500 de la vía Asia - El cruce - Las Margaritas	124
8.3.1 <i>Medidas de mitigación (corto plazo):</i>	124
8.3.2 <i>Medidas correctivas (mediano y largo plazo):</i>	128
9. CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	129
10. REFERENCIAS	132

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Localización de los tres puntos críticos.	25
Figura 2 Mapa de precipitación del departamento de Caldas. Fuente: Atlas Climatológico de Colombia (IDEAM)	26
Figura 3 Caída de suelo, rocas y detritos. Fuente: Montero (2017)	31
Figura 4 Deslizamiento rotacional típico. Fuente: Suarez (2009).	32
Figura 5 Deslizamientos sucesivos en un movimiento general rotacional. Fuente: Suarez (2009)=	33
Figura 6 Deslizamiento traslacional en cuña. Fuente: Cruden & Varnes, 1996.	35
Figura 7 Descripción de las fases de trabajo. Fuente: Elaboración propia.	48
Figura 8 Mapa geológico del punto crítico La Merced - La Felisa, sector el Tambor	53
Figura 9 Materiales producto de meteorización A) Serpentinita alterada, que aflora en la parte intermedia- baja del talud, B) Suelo residual a partir de la alteración física y química de la roca original	54
Figura 10 Rocas aflorantes en el punto crítico A) Serpentinita con estructura esquistosa. no “in situ” B)=Serpentinita de color verde con abundante presencia de óxidos de hierro y leve estructura esquistosa	55
Figura 11 Contacto entre el suelo residual (parte inferior) capa de ceniza (parte superior	56
Figura 12 Coluvión clastosoportado, en contacto con un macizo rocoso de serpentinita	56
Figura 13 Mapa Geomorfológico del punto crítico la Merced – La Felisa.	58
Figura 14 Mapa de pendientes del punto crítico la Merced – La Felisa.	59
Figura 15 Terraza producto de flujo volcánico	61

Figura 16 Actividades económicas del municipio La Merced, la agricultura y ganadería son las principales. Fuente: PDT La Merced (2020-2023).	62
Figura 17 Cultivos de café y plátano en la parte superior del talud	63
Figura 18 Climograma de La Merced. Fuente: CLIMATE-DATA.ORG	65
Figura 19 Mapa geológico del punto crítico Aranzazu - Salamina, sector la Unión.	69
Figura 20 Intercalación de arenitas lodolitas carbonosas (negras) con lodolitas feldespáticas (grises).	70
Figura 21 Roca expuesta en el talud.	70
Figura 22 Árbol de aguacate sobre el coluvión, perteneciente al deslizamiento.	71
Figura 23 Mapa Estructural. Tomada y editada de Google Earth	72
Figura 24 Evidencia de facetas triangulares. frente al punto crítico.	73
Figura 25 Deflexión del cauce del Río Chamberí.	73
Figura 26 Mapa Geomorfológico del punto crítico Aranzazu - Salamina, Sector La Unión.	74
Figura 27 Mapa de pendientes el punto crítico Aranzazu - Salamina, Sector La Unión.	76
Figura 28 Climograma de Aranzazu. Fuente: CLIMATE-DATA.ORG.	77
Figura 29 Mapa geológico del punto crítico Asia - El Crucero - Las Margaritas, sector el bosque.	81
Figura 30 Roca aflorantes, basáltica, masiva, de color gris verdoso	82
Figura 31 Macizo rocoso cubierto por la roca moderadamente meteorizada y suelos residuales	83
Figura 32 Meteorización de la roca basáltica en el sector El Bosque	83
Figura 33 Mapa geomorfológico del punto crítico Asia- El crucero- Las Margaritas, el sector El Bosque	86

Figura 34 Mapa de pendientes del punto crítico Asia- El crucero- Las Margaritas, el sector El Bosque	88
Figura 35 Coronas en la parte superior.	90
Figura 36 Implementación de barreras en costal en la corona superior.	91
Figura 37 Grietas de tensión que se observan en la parte superior del talud.	94
Figura 38 Escarpes múltiples que varían de longitud en la parte intermedia-superior del talud	94
Figura 39 Escarpe de la corona superior del talud que va desde los 50 cm hasta los 4 mts de longitud	95
Figura 40 Árboles inclinados, evidencia de la reptación.	96
Figura 41 Canales en geotextiles impermeables alrededor de la corona y en la parte intermedia del deslizamiento.	96
Figura 42 Obra hidráulica (rápida escalonada) que sufrió un levantamiento	97
Figura 43 A) Árboles con la raíz levantada, localizados en la parte inferior del talud; B) Obra hidráulica (rápida escalonada) localizados en la parte inferior del talud que sufrió levantamiento	97
Figura 44 Esquema de deslizamiento de tipo rotacional. Línea roja que indica el trazo de la vía actual. Fuente: The landslide handbook (USGS,2008)	98
Figura 45 aprovechamiento de las condiciones de la ladera.	99
Figura 46 Erosión hídrica alrededor de los drenajes	100
Figura 47 Vuelo de dron febrero 2022 punto crítico Aranzazu- Salamina K14 + 600, Perímetro:319 m, Área: 6,12 m ²	101
Figura 48 A) roca del talud expuesta a la intemperie, con altas pendientes, B) Verticalidad del talud de roca.	101

Figura 49 A) Pérdida de la banca y material dispuesto inadecuada en el talud inferior de la vía B) abertura en el material dispuesto a un costado y a la parte inferior del talud	102
Figura 50 Surcos, producto de los procesos erosivos en el talud	103
Figura 51 A) Cultivos limpios; B) Viviendas en la parte superior del talud	104
Figura 52 Procesos de deterioro en macizos rocosos Fuente: (Suárez, 1998)	107
Figura 53 aérea del punto crítico y la afectación actual del talud inferior derecho (en sentido hacia Asia, Realizada el 1 de marzo de 2022, Fuente: Luis Carlos Cardona.	108
Figura 54 Agrietamientos en la corona superior del talud, carcavas y surcos	109
Figura 55 Vías colindantes al punto crítico	110
Figura 56 Transporte de agua captada en mangueras para uso doméstico (Con evidencia de fugas)	110
Figura 57 Esquema de deslizamiento de tipo traslacional. Línea roja que indica el trazo de la vía actual. Fuente: The landslide handbook (USGS,2008)	111
Figura 58 Mala disposición de escombros y residuos que sobrecargan la parte media de la masa deslizante.	117
Figura 59 A) Alcantarilla colmatada sin funcionamiento; B) Box Culvert con poco o nulo funcionamiento	117
Figura 60 Esquema de canal triangular provisional para conducción de aguas de esorrentía, propuesto en el Anexo de mitigación punto crítico La Merced - La Felisa (El Tambor), Fuente: Carlos Enrique Escobar Potes	119
Figura 61 Sección transversal trincho escalonado con vertedero	120
Figura 62 Esquema sección transversal del muro de contención con cimentaciones profundas y anclajes, Fuente: Edgar Anturi, geotecnista gobernación de Caldas.	121

Figura 63 Esquema idealizado de protección de talud con lodo fertilizado, geotextil manto y malla. Fuente: Solución verde para estabilización y control de erosión en taludes, WAVIN. 124

Figura 64 Ortofoto del punto crítico, con ubicación de puntos de obras hidráulicas relevantes, Fuente: Andrés Mauricio Zapata Ocampo 126

Figura 65 Plano en planta con obras e intervenciones propuestas, Fuente: Andrés Mauricio Zapata Ocampo 127

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Atributos mínimos que debe contener el inventario de movimientos en masa para el punto crítico El Tambor K 2+000 de la vía La Merced – La Felisa	52
Tabla 2 Inclinación (°), procesos característicos y condiciones del terreno.Fuente: SGC, 2016.	60
Tabla 3 Tabla de Amenaza sísmica del departamento de Caldas respecto a la relación de valores entre Aa, Av. Amenaza sísmica de La Merced alta. Fuente: Reglamento de Construcción Sismo Resistente, 2010	66
Tabla 4 Nivel de Amenaza sísmica según valores de Aa, y de Av. Fuente: Reglamento de Construcción Sismo Resistente, 2010	66
Tabla 5 Atributos mínimos que debe contener el inventario de movimientos en masa para el Punto crítico La Unión K 14+600 de la vía Aranzazu - Salamina	68
Tabla 6 Amenaza sísmica del departamento de Caldas respecto a la relación de valores entre Aa, Av. Amenaza sísmica Aránzazu es alta. Fuente: Reglamento de Construcción Sismo Resistente, 2010	78
Tabla 7 Tabla de nivel de Amenaza sísmica según valores de Aa, y de Av. Fuente: Reglamento de Construcción Sismo Resistente, 2010	79
Tabla 8 Atributos mínimos que debe contener el inventario de movimientos en masa para Punto crítico Sector el bosque K 8+500 de la vía Asia - El cruceo - Las Margaritas	80
Tabla 9 Tabla de Amenaza sísmica del departamento de Caldas respecto a la relación de valores entre Aa, Av. Amenaza sísmica San Jose, Caldas es alta Fuente: Reglamento de Construcción Sismo Resistente, 2010	92
Tabla 10 Nivel de Amenaza sísmica según valores de Aa, y de Av. Fuente: Reglamento de Construcción Sismo Resistente, 2010	92

Tabla 11 Prospección geotécnica para Punto crítico El Tambor K 2+000 de la vía La Merced – La Felisa, Fuente: Componente Geotécnico, Gobernación de Caldas	121
Tabla 12 Prospección geotécnica para Punto crítico La Unión K 14+600 de la vía Aránzazu – Salamina, Fuente: Componente Geotécnico, Gobernación de Caldas	123

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Cuadro de clasificación movimiento en masa del punto crítico La Merced - La Felisa
(El Tambor)

Anexo 2 Cuadro de clasificación movimiento en masa del punto crítico

Anexo 3 Cuadro de clasificación movimiento en masa del punto crítico

Anexo 4: Mitigación punto crítico La Merced - La Felisa (El Tambor)

Anexo 5: Mitigación punto crítico Crucero - Asia – Las Margaritas.

1. INTRODUCCIÓN

La Secretaría de Planeación del departamento de Caldas, constituyó un grupo de profesionales con el fin de estructurar los proyectos más importantes para el desarrollo de este territorio y el bienestar de los caldenses. Este grupo estructurador de proyectos que apoya tanto a la Secretaría de Infraestructura como a la Secretaria de Planeación tiene como misión realizar los estudios y diseños para el mejoramiento de la infraestructura vial del departamento en lo que corresponde al mejoramiento y pavimentación de vías, apertura de nuevas vías de desarrollo y diseño de soluciones para las afectaciones puntuales de las vías que la gobernación denomina puntos críticos, estos son los sitios donde han ocurrido deslizamientos, taponamientos, pérdida de banca, socavaciones, caída de rocas y otros eventos naturales que impiden el normal desplazamiento por las vías del territorio.

En el territorio del departamento de Caldas que se caracteriza por su topografía montañosa, afectada por numerosas fallas, con un régimen de pluviosidad alto, donde se han desarrollado suelos residuales de espesores importantes, es común la ocurrencia de eventos naturales a veces potenciados por la acción antrópica los cuales han afectado la infraestructura de los municipios y en muchas ocasiones han cobrado vidas humanas. Por su parte, la Secretaría de Infraestructura ha detectado más de 600 puntos críticos en las vías de Caldas, pero ante la imposibilidad técnica y económica de realizar un tratamiento adecuado a todos, ha optado por tratar de mantener las vías en condiciones aceptables y en los sitios más relevantes se intervienen con soluciones adecuadas para mitigar, corregir y resolver los inconvenientes presentados.

En las zonas norte y occidente del departamento, la secretaría de planeación escogió tres puntos críticos que afectan vías que conectan importantes polos de desarrollo del departamento.

Los sitios son los siguientes:

Punto crítico El Tambor K 2+000 de la vía La Merced – La Felisa, que comunica al municipio de La Merced con el corregimiento de La Felisa y conecta al municipio con el resto del país.

Punto crítico La Unión K 14+600 de la vía Aranzazu – Salamina, que comunica los municipios del norte caldense con Manizales.

Punto crítico de la vía Asia – El crucero – Las Margaritas, Sector el bosque K 8+500, que comunica el municipio de Viterbo con Manizales y con los demás municipios del bajo occidente.

En este sentido el presente estudio es una herramienta en la identificación y caracterización de estos puntos críticos, abordando el tema desde el punto de vista de la geología, con la cual se muestran las condiciones de estos puntos y se plantean posibles alternativas de intervención y mitigación, esto a partir del trabajo de campo, la recolección de información y actualización de insumos, que permiten crear planes estratégicos para abordar el problema y poder reducir las afectaciones sociales y económicas.

Este trabajo se divide en seis capítulos, el primero corresponde al planteamiento de la problemática y los objetivos del estudio, el segundo capítulo contiene el marco referencial, la localización y una contextualización general de los puntos críticos, definición de términos básicos y bases teóricas en las cuales se basó la caracterización de los puntos; el capítulo III contiene la metodología de trabajo, el capítulo IV muestra los resultados, la descripción de los escenarios de

los puntos críticos,. Por otro lado, el capítulo V habla de las alternativas y recomendaciones planteadas como medidas de mitigación a corto plazo y medidas correctivas a largo plazo y se finaliza con el capítulo VI que presenta las conclusiones de este trabajo.

2. CAPÍTULO I: Objetivos y Alcance

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo General

Proporcionar apoyo y acompañamiento al grupo de estudios y diseños de la oficina de planeación de la gobernación del departamento de Caldas, en temas relacionados a la descripción y definición de características geológicas, la caracterización de suelos y estructuras, así como en el análisis de estabilidad de laderas en áreas específicas del departamento de Caldas

2.1.2 Objetivos Específicos:

- Realizar visitas de campo para la identificación de los puntos La merced- La Felisa, el tambor. K2+000, Aránzazu - Salamina, la unión K14+600 y El crucero-las margaritas, sector el bosque K8+500.
- Analizar y hacer una evaluación descriptiva de los factores geológicos, geomorfológicos, estructurales e hidrogeológicos, que afectan dichos puntos. Así como de los tipos de suelos involucrados en los mismos.
- Elaborar una representación cartográfica a escala 1:1000 de cada uno de los puntos de interés a partir de SIG.
- Proponer medidas correctivas y de mitigación que reduzcan el riesgo y de control de erosión que puedan ser una posible solución para la reducción de afectaciones de tipo social y económico.

2.2 Alcances y Limitaciones

El presente trabajo de grado brinda una caracterización y planteamiento de alternativas de mitigación y posibles obras de contención definitivas a tres puntos críticos de vías terciarias del departamento de Caldas que presentan dificultades de carácter urgente.

Debido a la duración de la práctica académica que es de seis (6) meses, es posible que no se pueda tener conocimiento posterior sobre nuevos cambios, modificaciones respecto a la ejecución de obras de contención planteadas a futuro

Se realizaron solicitudes a la entidad Gobernación de Caldas a cerca de análisis de perforaciones geotécnicas, líneas sísmicas y demás insumos para un análisis a nivel geológico-geotécnico de mayor detalle que no se pudieron conseguir por partidas presupuestales, lo que no permitió la obtención de resultados más concluyentes.

3. CAPÍTULO II: Marco Referencial

3.1 Marco Contextual

3.1.1 Localización

Punto crítico La Merced – La Felisa, sector El Tambor K2+000. Este punto está localizado en el K2+000 iniciando el K0+000 de la cabecera municipal del municipio de la Merced, en la vía que comunica con el corregimiento de la Felisa y sobre la vía Pacífico 3, al noroccidente del departamento de Caldas, sector que hace parte de la vertiente occidental de la Cordillera Central y de la margen derecha del cañón del río Cauca, más exactamente en las coordenadas 05°24'21.8''N, 75°33'27.73''W (Figura 1).

Punto crítico Aránzazu – Salamina, sector La Unión K14+600. Este punto está localizado en el K14+600 iniciando el K0+000 de la cabecera municipal del municipio de la Aránzazu, en la vía que comunica con el municipio de Salamina sobre la vertiente occidental de la Cordillera Central, en el sector norte del departamento de Caldas, en las coordenadas 05°34'57.15''N, 75°32'32.15''W (Figura 1).

Punto crítico Las Margaritas- Asia-El crucero, en el sector el Bosque K8+500. El K0+000 de esta vía está localizado en el sector denominado Asia, que se localiza sobre la vía troncal de occidente. Este punto crítico se encuentra en el K8+500 sector el Bosque en la ruta Asia – El Crucero–Las Margaritas en el sur- occidente del departamento de Caldas y más precisamente en las coordenadas 05°03'51.44''N, 75°48'42.02''W y a una altura de 1498 m, en la vía que comunica con los municipios de Belalcázar, San José, Anserma y Risaralda denominado el Bajo occidente caldense (Figura 1).

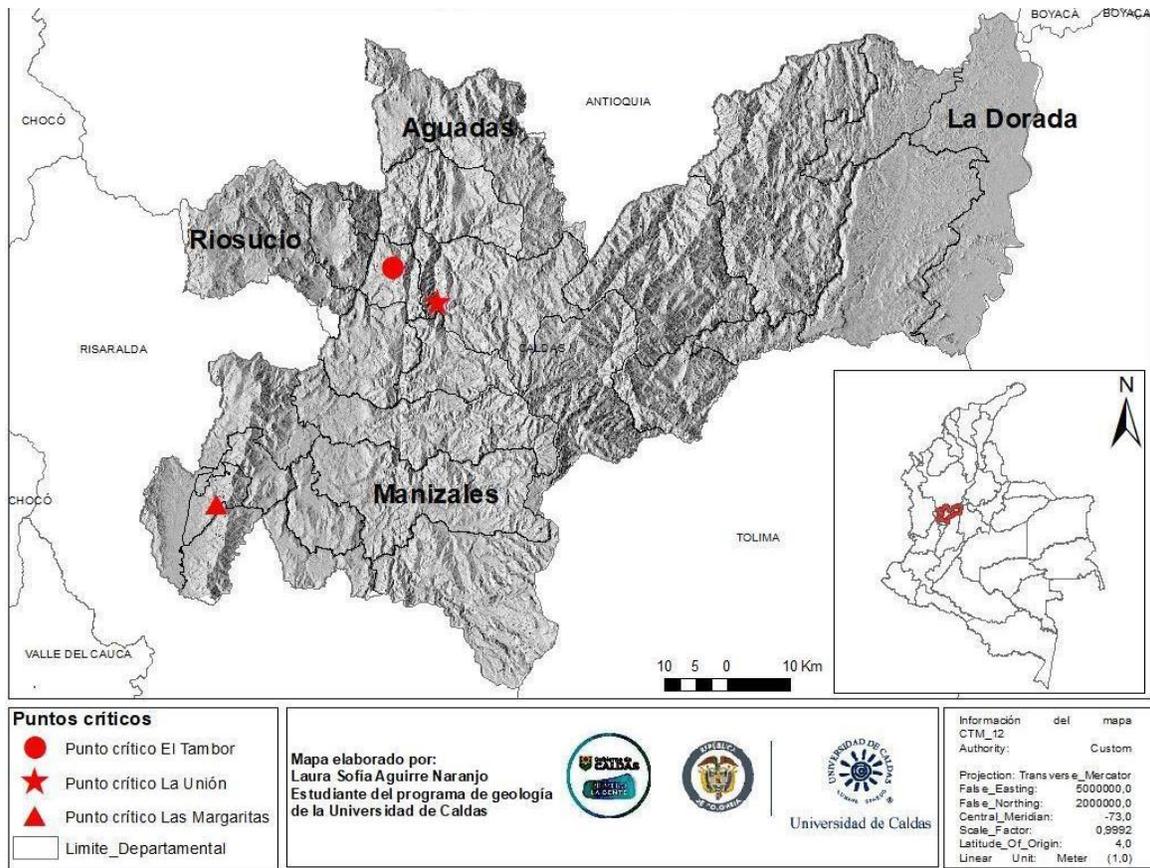


Figura 1 Localización los tres puntos críticos. La Merced – La Felisa, sector El Tambor K2+000; punto crítico Aránzazu – Salamina, sector La Unión K14+600; punto crítico Las Margaritas- Asia-El crucero, en el sector el Bosque K8+500

3.1.2. Descripción actual del área de influencia

La infraestructura vial es de las más afectadas en nuestro departamento por estos fenómenos naturales; la afectación a la red vial es tan fuerte que la secretaría de Infraestructura tiene referenciados más de 600 puntos que requieren intervención para mitigar el riesgo. Estos sectores se han denominado puntos críticos de la red vial y de acuerdo a su gravedad se intervienen directamente por la secretaría

Los tres puntos críticos a tratar en este trabajo se ubican en el bajo occidente y norte del departamento de Caldas, las precipitaciones en estos puntos según el IDEAM en el Atlas Climatológico de Colombia, van desde los 2000 mm hasta los 2500 mm anuales (Figura 2) y una temperatura entre los 20° - 24 °C lo que representa una tendencia a los climas templados semihúmedos y húmedos, y frío húmedo. Factores que favorecen los procesos de movimientos en masa

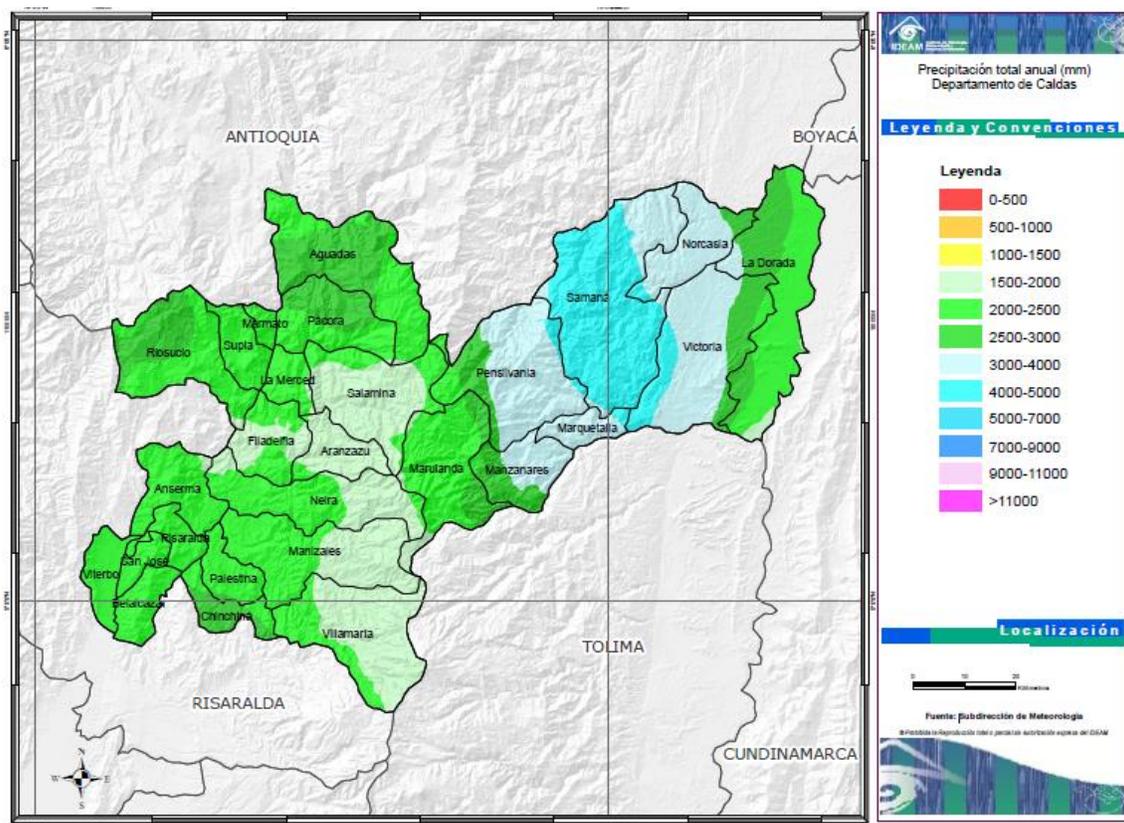


Figura 2 Mapa de precipitación del departamento de Caldas. **Fuente:** Atlas Climatológico de Colombia (IDEAM)

Punto crítico La Merced – La Felisa, sector El Tambor K2+000. En cercanías con el municipio de la Merced, municipio que limita al norte con el municipio de Pácora, al oriente con Salamina, al occidente con Supía y Marmato, y al sur con Aránzazu y Filadelfia. Esta zona presenta

clima templado con un promedio de temperatura de 22°C, con una máxima de 27,9°C y una mínima de 17,4°C. Esta es una de las dos vías de acceso al municipio de La Merced y la única vía que conecta hacia la Felisa, por ello es tan importante para el transporte y comercio de los bienes básicos y productos agropecuarios de la región.

Punto crítico vía Aránzazu – Salamina, sector La Unión K14+600. Como punto de referencia y más cercano al punto crítico se tomó el municipio de Aránzazu, limita al norte con los municipios de Salamina y La Merced, al sur con el municipio de Neira, al oriente con el municipio de Marulanda y al occidente con el municipio de Filadelfia. Esta zona presenta clima predominantemente frío con una temperatura promedio de 18°C -20°C.

Punto crítico Las Margaritas- Asia en el sector el Bosque K8+500. Como punto de referencia y más cercano al punto crítico se encuentra el municipio de San José, perteneciente a la subregión del bajo occidente de Caldas junto a Risaralda, Belalcázar, Viterbo y Anserma.

Esta zona presenta clima predominantemente frío con una temperatura promedio de 18°C

3.1.3 Geología regional

El norte de los Andes colombianos ha registrado múltiples eventos de subducción/acreción, con una tectónica predominantemente transpresiva, producto de la subducción oblicua bajo la margen occidental de la placa suramericana. (Villagómez & Spikings, 2013; Spikings *et al.*, 2014).

Estos eventos resultan en un complejo escenario tectónico que se refleja de forma consistente en las unidades aflorantes al noroccidente de Caldas, zona de interés para este trabajo.

Complejo Quebradagrande. El Complejo Quebradagrande (Maya & González, 1995) corresponde a un conjunto de rocas volcano-sedimentarias altamente deformadas y aflorantes en el margen occidental de la Cordillera Central de Colombia (Nivia *et al.*, 2006; Moreno-Sánchez *et al.*, 2007; Avellaneda-Jiménez *et al.*, 2019), se encuentra limitando al occidente con las rocas metamórficas del Complejo Arquía por medio de la falla Silvia- Pijao y al oriente con las rocas del Complejo Cajamarca por medio de la Falla San Jerónimo.

La edad asignada para esta unidad según su registro fósil abarca un rango entre el Berriasiano y el Albiano (Gómez-Cruz *et al.*, 1995; Moreno-Sánchez *et al.*, 2018; Avellaneda-Jiménez *et al.*, 2019).

El Complejo Ofiolítico del Cauca. Corresponde al conjunto de rocas máficas y ultramáficas parcialmente serpentinizadas aflorantes a manera de escamas tectónicas a lo largo del sistema de Fallas Cauca-Romeral (Restrepo & Touissant, 1973).

Álvarez (1985) incluye estas rocas dentro del denominado Cinturón Ofiolítico de Romeral de edad Cretácica, asociado a la historia acrecional al margen occidental de la Cordillera Central.

Formación Barroso. Definida por Álvarez & González (1978) corresponde a un conjunto de rocas volcánicas y sedimentarias aflorantes en el margen oriental de la cordillera occidental, las

cuales limitan al este con las metamorfitas del Complejo Arquía por medio de la Falla Cauca-Almaguer.

Esta unidad se encuentra constituida por flujos de lava de composición basáltica a andesítica, tobas, y paquetes sedimentarios de espesores variables (Rodríguez & Arango, 2013). La génesis de estas rocas se asocia a la acreción de la Gran Provincia Ígnea Del Caribe

3.2 Marco Teórico

3.2.1. Definición de términos básicos

Movimientos en masa.

Son fenómenos geológicos que en su mecanismo implican desplazamiento de volúmenes de materiales (roca, suelo y detritos) hacia niveles inferiores bajo la acción de la gravedad, la presencia de agua influye en el desarrollo de estos fenómenos con más frecuencia en los terrenos de altas pendientes y en áreas geológicamente jóvenes en el que los procesos de erosión de taludes, tectónica y de sismicidad son altos (Medina, 1991).

Los factores causales en la generación de un movimiento en masa se dividen en condicionantes y detonantes, cuya importancia de cada factor obedece a condiciones geoambientales. El origen de estos fenómenos se liga a los procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que suceden en la corteza terrestre como consecuencia de la interacción entre hidrósfera, atmósfera y corteza (PMA: GCA, 2007).

Clasificación de los movimientos en masa.

Se tienen diferentes clasificaciones de movimientos en masa, en las que se toman criterios según el tipo de material, mecanismo de movimiento y el nivel de deformación y saturación; una de las de clasificaciones más aceptada es la de Varnes (1996), pero en el año de 1978 este autor estableció cinco tipos de categorías de movimientos: caída, volcamiento, deslizamiento, propagación lateral y flujo, teniendo en cuenta las propiedades cinemáticas de los procesos, agregando facultades para su trato o prevención.

Por último, Cruden en 1996, acepta en su mayor parte la clasificación propuesta por Varnes en 1978, y la perfecciona incluyéndole términos a su consideración, factores como la actividad (estado, estilo, distribución), contenido de agua y tasa del movimiento; también plantea la composición según el orden en que se den los movimientos (Montero, 2017).

Se describirán los movimientos definidos en el sistema de clasificación Cruden & Varnes (1996), así como su terminología y características.

Caída

Separación de una masa de roca o suelo desde un talud de pendiente fuerte, a lo largo de una superficie en la que se presenta o no desplazamiento de corte (figura 3). Después de haber ocurrido el desprendimiento, el material desciende mediante el aire, principalmente en caída libre, rebotando o rodando (Cruden & Varnes 1996, 53).

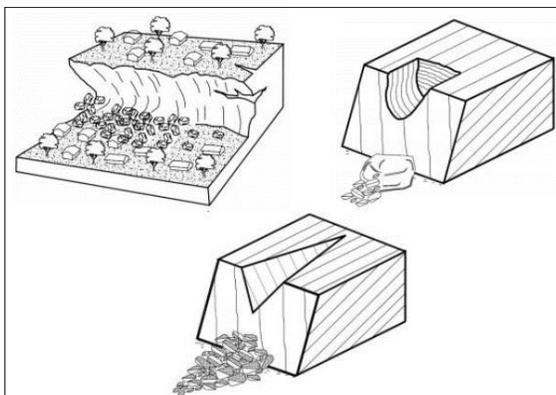


Figura 3 Caída de suelo, rocas y detritos. **Fuente:** Montero (2017)

La caída es un movimiento que ocurre de forma rápida, excluyendo el caso de que la masa haya sido perturbada por eliminación de soporte inferior, ya sea por socavación o erosión. El retiro del soporte se da en su mayoría en suelos cohesivos o rocas al pie de laderas de alta pendiente, o por erosión de corrientes entre otras. Los elementos que conducen hacia este tipo de movimiento son la pendiente del talud (su geometría) y la rugosidad (relacionado al patrón de discontinuidades y cobertura vegetal), también por vibraciones de equipos, maquinarias, sismos, meteorización o erosión por corrientes (Montero, 2017).

Deslizamiento

Este desplazamiento es explicado como un movimiento de ladera abajo de una masa de suelo o roca, este sucede a través de una superficie de falla, o de una zona estrecha que está sujeta a fuertes esfuerzos de deformación cortante (Montero, 2017). Los autores explican que la superficie de ruptura no evoluciona de forma simultánea a lo largo del talud, pero sí por agrietamiento en el sector superior de esta ladera, en el que posteriormente se constituye la corona

del deslizamiento, y al pie del volumen de material desplazado se constituye la pata del deslizamiento. Varnes (1978), cataloga los deslizamientos, con base en la forma de la superficie de falla por la que se traslada el material, de forma rotacional, traslacional y compuesta.

Deslizamiento rotacional

En este movimiento la superficie de rotura es curvada y cóncava hacia arriba y la falla no está controlada estructuralmente, el movimiento es rotacional en relación al eje paralelo de la superficie y transversal al deslizamiento (figura 4). Este deslizamiento adquiere una sucesión de agrietamientos concéntricos y cóncavos en el sentido del movimiento. La cabecera del movimiento oscila hacia atrás, los árboles se inclinan de forma opuesta, en la cabeza y en el pie del deslizamiento (Suarez, 2009).

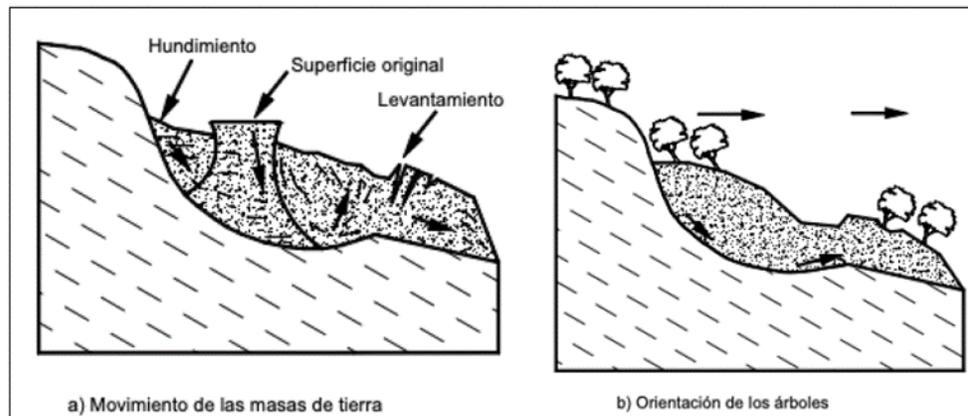


Figura 4 Deslizamiento rotacional típico. **Fuente:** Suarez (2009).

Curvatura de la superficie de falla

Los deslizamientos rotacionales (círculos de falla) suceden normalmente en suelos homogéneos. En la cabeza del movimiento el desplazamiento es semi-vertical y de pequeña rotación, pero el área original se desplaza en la dirección de la corona del talud pese a que otros bloques giren en la dirección contraria. La configuración de escarpes semi-verticales en los deslizamientos de tipo rotacional permite la presencia de los deslizamientos retrogresivos o progresivos hacia arriba; en estos deslizamientos ocurren otros movimientos curvos que generan escarpes secundarios y algunas veces se dan desplazamientos sucesivos en su origen pero que crean una región de desplazamientos rotacionales autónomos (Figura 5), normalmente la forma y ubicación de la superficie de falla está afectada por las discontinuidades y niveles de estratificación (Suarez, 2009).

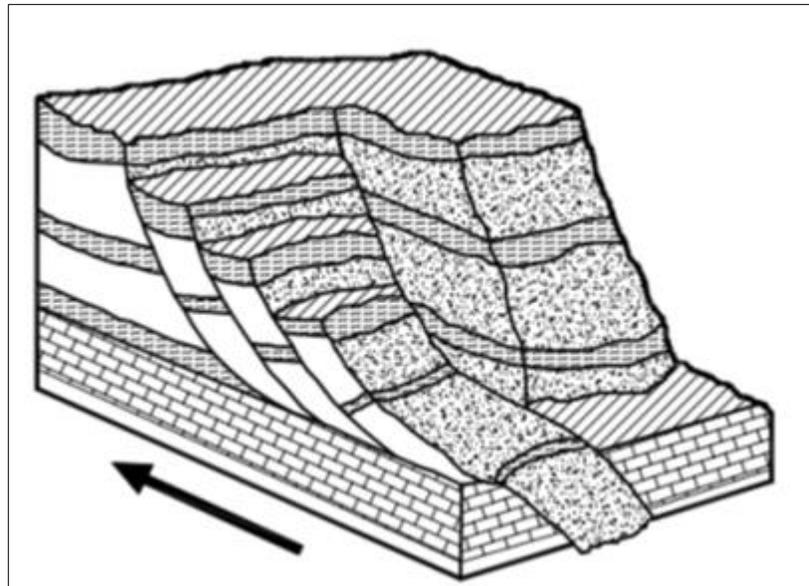


Figura 5 Deslizamientos sucesivos en un movimiento general rotacional. **Fuente:** Suarez (2009)

Deslizamiento traslacional planar y de cuña.

En el deslizamiento traslacional planar el volumen de material transita a lo largo de una superficie de ruptura planar o ligeramente ondulada, este deslizamiento en roca es estructuralmente más controlado; en la corona el material puede estar desunido del terreno estable por una grieta de tensión grande, además en este movimiento la deformación interna es muy pequeña (Montero, 2017). Según el tipo de material se tiene:

- Deslizamiento traslacional en roca: en fracción superior se da un deslizamiento de bloques de roca
- Deslizamiento traslacional de detritos
- Deslizamiento traslacional de bloques de tierra

Este tipo de deslizamiento no es autoestabilizante debido a que ocurre de forma muy rápida, incluso el material desplazado se puede fragmentar y puede pasar a un movimiento más fuerte como lo es un flujo de detritos.

El deslizamiento traslacional de cuña consiste en que la masa que transita a través de la unión de nos discontinuidades estructurales (figura 6).

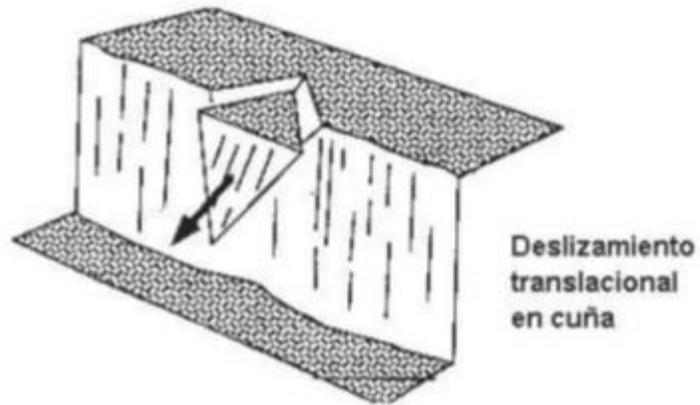


Figura 6 Deslizamiento traslacional en cuña. **Fuente:** Cruden & Varnes, 1996.

Deslizamiento compuesto.

Se caracteriza por una superficie de falla marcadamente no circular, en la cual se combina un escarpe superior pronunciado, curvado o planar, seguido de una superficie relativamente plana. A veces la superficie de falla tiene también una terminación ascendente en el pie. En contraste con la falla circular o planar en las cuales el movimiento, al menos en principio, puede iniciarse sin distorsión de la masa deslizante, el deslizamiento compuesto está bloqueado en el sitio debido a la geometría de la superficie de falla, de tal manera que la masa se mueve solo cuando se desarrolla un mecanismo cinemáticamente admisible, que permita desplazamientos internos y cizallamiento (Montero, 2017).

Creep o Reptación:

La descripción de Creep o reptación de la clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos del Servicio Geológico Colombiano:

El creep superficial o creep de suelos, que se observa principalmente en las laderas coluviales de la Cordillera Oriental, o en laderas de suelos volcánicos, suelos residuales de rocas graníticas y de rocas metamórficas de la zona cafetera en el centro-occidente y que involucra la capa superior del terreno poco consolidada, afectada. Se le atribuye a las alteraciones climáticas relacionadas con los procesos de humedecimiento y secado en suelos, usualmente, muy blandos o alterados. Consiste en movimientos muy lentos o extremadamente lentos del suelo sin una superficie de falla definida (Montero, 2017).

Flujo

Según Cruden & Varnes (1996), esta expresión da a conocer a los movimientos espacialmente continuos parecidos a los de un fluido, a través de una superficie estrecha y extensa. Los flujos se clasifican conforme las características del material que es desplazado.

Flujos de bloques de roca

Estos flujos están constituidos por bloques y cantos de roca, pueden tener materiales de tamaño de grano fino; este tipo de flujo tienen laderas muy empinadas. En las rocas ígneas o metamórficas

Los flujos pueden estar predeterminados por fenómenos de pendientes y en las rocas metamórficas por movimientos de traslación a través de los planos de foliación, en las rocas sedimentarias se dan los flujos de roca de mayor magnitud (Greertesa et al., 2006)

Flujos de residuos (Detritos)

Los flujos de residuos o detritos son movimientos que ocurren de forma rápida, están conformados en su mayoría por materiales gruesos y menos del 50% de tamaños de grano fino, pero este también contiene otro tipo de partículas como material vegetal y diferentes objetos halados por el flujo.

Los flujos de detritos se activan por las lluvias, en vista a la disminución de la resistencia por la reducción de la succión al saturarse el material o por el incremento de fuerzas debidas al movimiento del agua subterránea (Collins y Znidarcic, 1997).

Flujo de suelo o tierra

Este tipo de flujo contiene más del 50% de materiales finos y es de consistencia líquida, este se forma como un desplazamiento de rotación o traslación y al apilarse los suelos sueltos bajo del pie del deslizamiento, estos circulan sobre la ladera. Su velocidad varía conforme a la humedad y la pendiente del lugar.

Flujo de lodo

En los flujos de lodo se habla de viscosidad específicamente, a tal grado que se les conoce como suelos suspendidos en agua, estos consiguen velocidades muy altas y su fuerza de destrucción depende del caudal y velocidad que presenten. Este se conforma de una sucesión de escarpes de falla o desplazamientos de traslación o rotación (Suarez, 2009).

Propagación lateral

Para Cruden & Varnes (1996), el movimiento de propagación lateral consiste en una extensión o dilatación lateral de un suelo cohesivo o masa de roca blanda, unida con subsidencia del material fragmentado en medio del material blando, sin que se cree una superficie de falla determinada, esta también se presenta como la separación del material sujeto a licuefacción o flujo plástico.

Propagación lateral en bloque

El material blando es tapado por una masa de roca, la cual es fragmentada en bloques grandes, generando la extrusión del material blando en medio de las fracturas, las cuales pueden sufrir relleno (Montero, 2017).

Propagación lateral por licuefacción

Un suelo que es blando y que se encuentra húmedo como lo puede ser la arcilla sensitiva o limo cubierto por suelo firme, sufre licuefacción o fluye plásticamente cuando pierde su resistencia debido a alguna perturbación que rompe su estructura (Montero, 2017).

Hidrogeología

De acuerdo a Rebollo (1979) en la clasificación hidrogeológica de las formaciones rocosas las diferentes formaciones y unidades geológicas, se pueden clasificar en función de su capacidad de almacenar y transmitir agua; de esta forma se pueden clasificar cómo:

Acuíferos: son aquellas formaciones geológicas capaces de almacenar y transmitir agua.

Acuitardos: son aquellas formaciones semipermeables que, conteniendo agua incluso en grandes cantidades, la transmiten muy lentamente.

Acuicludos: consiste en aquellos estratos o formaciones porosas, pero de baja o muy baja permeabilidad, que pueden almacenar agua, pero no la transmiten a través de ellos.

Acuifugos: Son rocas con porosidad nula de baja o muy baja permeabilidad, incapaces de almacenar y transmitir agua.

Erosión:

Es un proceso de pérdida continua y selectiva de materiales ocasionada por agentes naturales o antrópicos. Cuando la erosión se produce sin intervención antrópica, se denomina erosión geológica o natural, debido a la acción de agentes como el agua (hídrica), viento (eólica), deshielo (glaciar), entre otros, sobre los materiales de las capas superficiales roca o suelo; de lo contrario se considera erosión antrópica o acelerada, en la que el hombre altera los procesos naturales principalmente con prácticas como el laboreo en el sentido de la pendiente, cultivos, compactación del terreno, deforestación, quemas, minería, entre otras actividades. En el caso de zonificación de amenazas por movimientos en masa, es importante caracterizar la erosión

superficial que puede dar origen a movimientos en masa, principalmente la relacionada con el agente agua en forma de erosión pluvial o hídrica y erosión fluvial; la primera se puede clasificar en surcos, cárcavas y hondonadas o tierras malas y la segunda, en socavación lateral (Rodríguez, et al., 2017)

Erosión en Cárcavas: Son el estado más avanzado de erosión y se caracterizan por su profundidad, que facilita el avance lateral y frontal por medio de desprendimientos de masas de material en los taludes de pendiente alta (Suárez, 1998).

Erosión Laminar: Se inicia por el impacto de las gotas de lluvia contra la superficie del suelo, complementada por la fuerza de la escorrentía produciendo un lavado de la superficie del terreno, sin formar canales definidos, y levantando partículas del suelo (Suárez, 1998).

Factores Detonantes

Los factores detonantes se refieren a estímulos externos sobre el terreno que modifican sus condiciones de estabilidad tales como lluvias intensas, sismos, erupciones volcánicas o erosión de cauces cuya respuesta casi inmediata es un movimiento en masa como consecuencia del rápido cambio en los esfuerzos o en la resistencia del material que conforma la ladera (Wieczorek, 1996).

Unidades geológicas superficiales: De acuerdo con Hermelin (1987), se denomina formación superficial o unidad geológica superficial al conjunto de materiales que conforman la superficie del terreno hasta profundidades del orden de decenas de metros. Estas formaciones superficiales incluyen rocas con diferentes grados de meteorización, suelos y depósitos inconsolidados según su origen.

El mapa de formaciones superficiales representa los materiales que se encuentran sobre la superficie del territorio y no forman roca consolidada. Fundamentalmente estas formaciones están integradas por los depósitos cuaternarios y los suelos edáficos que se desarrollan sobre las formaciones geológicas.

Meteorización: Es la descomposición física y química de los materiales por procesos naturales como oxidación, reducción, hidrólisis, carbonatación, tectónica, cambios de temperatura (gelifracción). La meteorización tiene un efecto sobre la resistencia y el comportamiento deformativo de los macizos rocosos y suelos. Es muy importante para la clasificación de la condición de un material. Para definir el grado de meteorización de la rocas se utiliza los perfiles generalizados de Deere y Patton (1971) y Dearman (1974; 1991)

Rasgos Estructurales: Representa la serie de procesos geodinámicos endógenos que han sufrido los materiales y son propios de la evolución de la corteza terrestre. En consideración a que la deformación de la corteza es proporcional a la cantidad de pliegues y fracturas (fallas, lineamientos y diaclasas) en un área determinada se debe evaluar la densidad de estos rasgos estructurales (Ingeominas, 2012).

Residuos: Se denomina con el nombre de residuos o “detritos” al suelo que contiene una significativa proporción de material grueso. Se considera que, si más del 20% del material en peso es mayor de 2 milímetros de diámetro equivalente, debe llamarse como residuos. Por lo general, deben existir partículas mucho mayores de 2 milímetros para que pueda considerarse de este modo (Suárez, 1998).

Gestión del riesgo: “Es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.” (Ley 1523, 2012).

Riesgo: Corresponde a daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad (Ley 1523 de 2012).

Amenaza: Es el peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales. (Ley 1523, 2012)

Vulnerabilidad: “Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños

de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos.” (Ley 1523, 2012)

Análisis y evaluación del riesgo: “Implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y recuperación.” (Decreto 1807, 2014).

3.2.2 Bases Teóricas

Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa

1:25:000. Elaborado por el Servicio Geológico Colombiano

Ante la necesidad de generar guías o lineamientos metodológicos que permitan establecer algunas condiciones básicas de calidad, rigurosidad y uniformidad a la terminología relacionada con el tema de los estudios técnicos; como apoyo para la adecuada aplicación de la normatividad vigente. El Servicio Geológico Colombiano (SGC) realizó este aporte a los procesos de conocimiento del territorio colombiano

Esto no indica que los comportamientos de los movimientos en masa sean de tal manera inamovibles, sino que es una herramienta que unifica los conceptos para la elaboración de estudios e informes en general.

Clasificación de movimientos en masa y su distribución en los terrenos geológicos de Colombia

Contiene la clasificación de movimientos en masa por diferentes autores y Montero (2017) a partir de su experiencia, presenta cinco tipos de movimientos en masa más frecuentes en nuestro país, sus características y ejemplos representativos en nuestra geografía.

4. CAPÍTULO III: Metodología

4.1 Enfoque del trabajo

El presente trabajo tiene un enfoque de carácter descriptivo que busca dar y especificar las propiedades y rasgos importantes de los procesos de ocurrencia en el punto crítico de las vías del departamento y de carácter explicativo que pretende establecer las causas detonantes que provocan estos fenómenos.

Y los resultados son una visión aproximada que permite generar posibles alternativas y pueden ser utilizados como base para medidas correctivas a futuro.

4.2 Fases de trabajo

En el trabajo de campo se obtuvieron datos primarios durante las visitas de campo y secundarios provenientes informe geotécnico, informe hidráulico, además de fuentes bibliográficas para dar cumplimiento a los objetivos planteados.

El trabajo se realizó en tres (3) fases, identificando en cada una las actividades principales:

Fase I Revisión de Literatura:

Se realizó revisión de los informes de visitas técnicas hechas en años anteriores, antecedentes de los puntos afectados, obras ya realizadas y trabajos de investigación realizados en los mismos para la obtención de datos y complementación de la información.

Fase II Trabajo de campo

Se realizaron visitas de campo en compañía de los componentes de geotecnia e hidráulica con el fin de describir las unidades geológicas y su respectivo comportamiento hidrogeológico dependiendo de la clasificación del material, con el fin de tener una relación coherente de los elementos encontrados en campo. Se recolectó la información correspondiente a la descripción de características litológicas, la delimitación de formaciones superficiales, se determinaron los aspectos geomorfológicos relevantes y se identificaron los sectores potencialmente inestables, haciendo a la vez un inventario de los movimientos en masa y coluviones presentes en el sector.

En cada movimiento en masa, se determinaron los parámetros básicos de la geometría del talud, como la altura vertical (V) y la longitud horizontal (H), pendiente del plano del talud. También se describió el talud en cuanto a la posible cubierta de suelos, vegetación, grado de meteorización, posibles factores contribuyentes y detonantes, con el fin de hacer el mejor análisis del problema, su posible afectación a la nueva vía y se tomen las mejores decisiones sobre acciones y obras a ejecutar.

Fase III. Análisis de resultados

Procesamiento de datos

Se procedió a la digitalización y generación de mapas de geología, geomorfología y pendientes.

En esta etapa se trabajó bajo la guía metodológica para la zonificación de amenazas por movimientos en masa del Servicio Geológico Colombiano SGC que considera:

Caracterización Geoambiental

Inventario de procesos morfodinámicos

- Inventario de los movimientos en masa y sus atributos
- La representación cartográfica
- las consideraciones finales

Factores Condicionantes

- Geomorfología
- Unidades Geológicas superficiales (UGS)
- Cobertura de la tierra y uso del suelo

Factores Detonantes

- lluvia
- sismo

Análisis información:

Realizadas las actividades anteriores el análisis de la información permitió determinar los factores condicionantes y detonantes para los procesos de movimientos en masa. Se combinaron los registros efectuados en campo de las unidades geológicas y geomorfológicas, la interpretación y delimitación de las unidades en imágenes satelitales e imágenes de elevación del terreno, con estos insumos se generaron los respectivos mapas geológicos, geomorfológicos y mapa de pendiente de cada uno de los puntos a tratar, para proceder a proponer alternativas, recomendaciones de obras de mitigación para la solución de dichas afectaciones. A continuación se presenta un diagrama descriptivo de las fases de trabajo (figura 7).



Figura 7 Descripción de las fases de trabajo. **Fuente:** Elaboración propia.

5. CAPÍTULO IV: Resultados

En el presente trabajo se realizó la caracterización de tres puntos críticos de acuerdo a la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa del Servicio Geológico Colombiano, en la que se encuentra descrito un catálogo y un inventario de los movimientos en masa en Colombia que permiten identificar las características de los eventos, su distribución espacial y temporal y su relación con los factores detonantes.

Todos los movimientos se deben caracterizar con el respectivo formato, para lo cual se deben cumplir los siguientes requerimientos: completitud del formato, fotos del movimiento caracterizado, esquemas en planta y en perfil que indiquen los elementos expuestos, la localización geográfica y el norte, la influencia de la cobertura y el uso, la pendiente del terreno y las demás causas que puedan estar asociadas a la inestabilidad de las laderas en el área de estudio, además de las afectaciones y daños causados. Toda esta información, es un insumo importante en la caracterización del movimiento en masa.

Estudios básicos de amenaza por movimientos en masa

La guía metodológica del SGC considera los agentes detonantes agua y sismo, mientras que los factores antrópicos se incluyen en forma implícita o condicionante en la topografía y en la cobertura y uso del suelo

Factores condicionantes / Contribuyentes

Estos factores comprenden geología para ingeniería, geomorfología de elementos geomorfológicos y cobertura y uso del suelo.

Factores detonantes

Los factores detonantes considerados para los análisis de amenaza son la lluvia y el sismo. A continuación, se presenta la metodología para la determinación de los factores detonantes en estudios básicos.

5.1 Punto crítico El Tambor K 2+000 de la vía La Merced – La Felisa

5.1.1 Inventario de procesos morfodinámicos

Para este inventario se usó el sistema de clasificación del SGC de la Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa, que consiste en una elaboración de un inventario de procesos morfodinámicos en el que se destacan las características importantes de dichos eventos, como los rasgos o características geomorfológicas indicativas de inestabilidad. A continuación se presenta un cuadro de atributos que contiene el inventario de movimientos en masa para este punto crítico (tabla 1).

En el inventario se registra:

- La ubicación del movimiento como punto, si se tiene conocimiento de su fecha de ocurrencia y el tipo de deslizamiento que se generó

- Tipo de movimiento según la clasificación de los movimientos en masa como: deslizamiento traslacional, deslizamiento rotacional, caídas, volcamientos, flujos.
- Actividad: Indica el estado actual del movimiento si se encuentra activo o inactivo.
- Partes del movimiento en masa
- Rasgos geomorfológicos indicativos

Atributos mínimos que debe contener el inventario de movimientos en masa		
ENCUEST	Nombre del encuestador	LAURA SOFIA AGUIRRE NARANJO
ID_MOVI	Identificador del movimiento en masa	LS221
FECHA_REP	Fecha en que se inventarió el movimiento en masa	18 de febrero de 2022
FECHA_MOV	Fecha de ocurrencia del movimiento en masa	-
DPTO	Departamento donde se localiza el movimiento	CALDAS
PLANCHA	Número de la plancha escala 1:25.000	187
MUNICIPIO	Municipio donde se localiza el movimiento.	LA MERCED
REF_GEOGRF	Debe indicar algún accidente geográfico cercano o del mismo lugar de ocurrencia del movimiento en masa, que permita establecer su localización.	SECTOR EL TAMBOR
VEREDA	Vereda en la que se localiza el movimiento	Km 2+00 vía Merced - La Felisa
PARTE	Corresponde a la parte del movimiento identificada. Para el escarpe principal o zona de inicio se utiliza la letra (e) y para la zona de depósito o cuerpo del movimiento la letra (d)	d

Atributos mínimos que debe contener el inventario de movimientos en masa		
ID_PARTE	Corresponde al identificador del polígono de cada una de las partes que conforman el movimiento en masa	Polígono MER001
ETIQUETA	Letras que indican el tipo y subtipo de movimiento	drp /rs - Deslizamiento rotacional profundo- Reptación superficial
OESTE	Coordenada Este del centroide del movimiento (Magna Sirgas origen Bogotá). Este campo se diligencia en el caso que no sea posible diferenciar las partes de un movimiento en masa.	75°33'27.73''W
NORTE	Coordenada Norte del centroide del movimiento (Magna Sirgas origen Bogotá). Este campo se diligencia en el caso que no sea posible diferenciar las partes de un movimiento en masa.	05°24'21.8''N
ALTITUD	Valor de altitud del movimiento en metros sobre el nivel del mar (msnm).	1623 m
TIPO_MOV1	Tipo del primer movimiento en masa (caída, volcamiento, deslizamiento traslacional y rotacional, propagación lateral, reptación, flujo, deformaciones gravitacionales y sin clasificar).	ROTACIONAL
ACTIVIDAD	Define si el movimiento se encuentra activo o inactivo.	ACTIVO
AREA	Área del movimiento en masa en m ²	20 m ²
LONG_HORZ	Longitud horizontal	220 m
ALTUR_CORONA_PUNTA	Diferencia de altura de la corona a la punta	200
FOTOGRAFIA		

Tabla 1 Atributos mínimos que debe contener el inventario de movimientos en masa para el punto crítico El Tambor K 2+000 de la vía La Merced – La Felisa

5.1.2 Factores condicionantes

5.1.2.1 Unidades geológicas superficiales

El área de este punto crítico está localizada en la vertiente occidental de la Cordillera Central y en la margen derecha del cañón del río Cauca.

La geología de esta área fue revisada durante la visita de campo y apoyada en trabajos previos como el de González et al., (1980), en el cual se describen rocas ultramáficas, serpentinitas con estructura esquistosa producida por efectos dinámicos y contactos fallados con otras unidades como la Formación Amagá y el Complejo Quebradagrande (Figura 8).

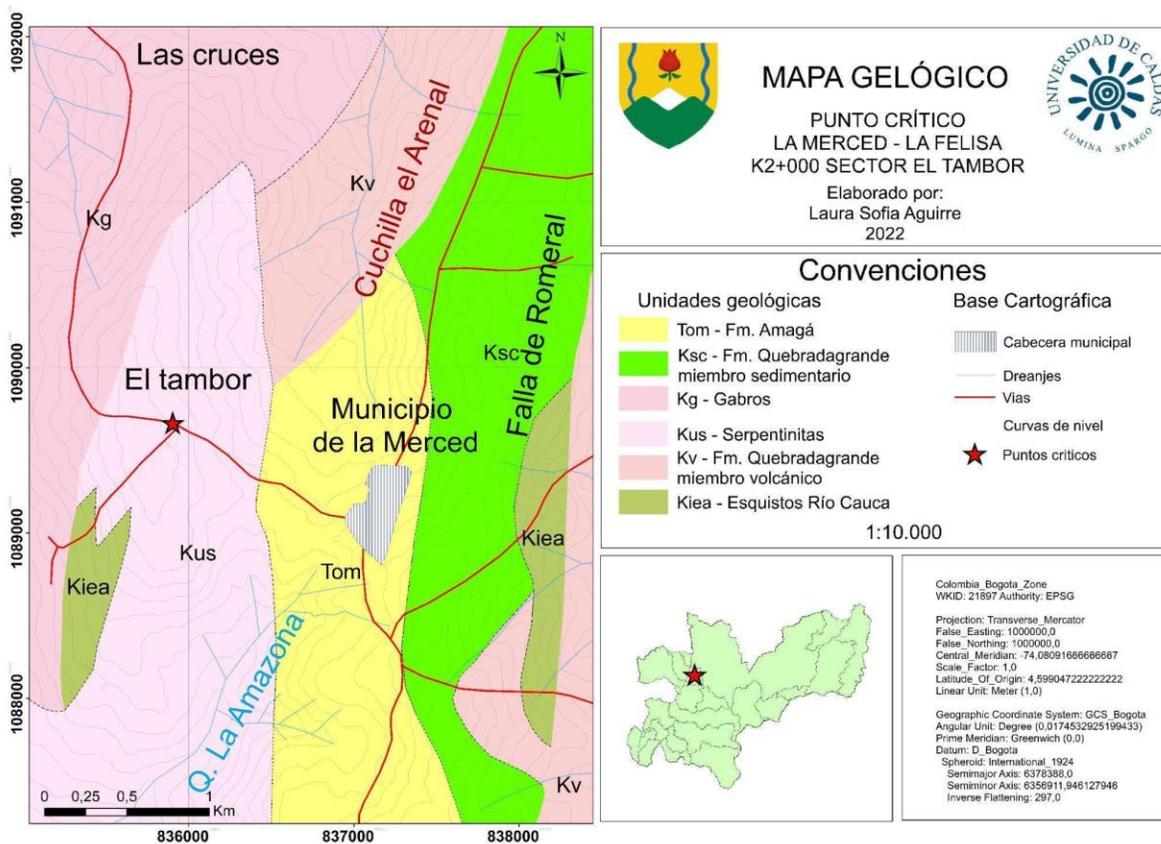


Figura 8 Mapa geológico del punto crítico La Merced - La Felisa, sector el Tambor

Descripción de La unidad en campo

En la zona de este punto crítico y sobre el deslizamiento, no se encuentran afloramientos significativos de roca fresca, lo pocos que se pueden observar están altamente meteorizados (Figura 9) y por causa del movimiento en masa, algunos bloques de roca que no están “in situ” han sido expuestos (Figura 10).

De acuerdo a lo anterior, las muestras de roca que se pudieron obtener y observar en campo son serpentinitas, localmente con estructura esquistosa por efectos dinámicos. Estas se asocian a los cuerpos de rocas ultramáficas que Restrepo y Toussaint (1974) han denominado Complejo Ofiolítico del Cauca, refiriéndose a cuerpos de rocas ultramáficas (serpentinitas, peridotitas) y gabros de edad Triásica (Vinasco, 2001 en Tassinari et al., 2007). Estas rocas han sufrido cataclasis y efectos dinámicos, presentan una tendencia N-S y que se encuentran generalmente en contacto fallado con las unidades adyacentes a través de fallas del Sistema de Fallas Romeral (Calle y González, 1982).



Figura 9 *Materiales producto de meteorización A) Serpentinita alterada, que aflora en la parte intermedia- baja del talud, B) Suelo residual a partir de la alteración física y química de la roca original*



Figura 10 Rocas aflorantes en el punto crítico *A) Serpentinita con estructura esquistosa. no “in situ” B) Serpentinita de color verde con abundante presencia de óxidos de hierro y leve estructura esquistosa*

Unidades de suelo residual

Hacia la parte superior del movimiento se observaron grandes espesores de suelo residual de textura arcillosa - arenosa que en general, son moderadamente plásticos, de consistencia poco firme, humedad media y permeabilidad moderada a baja. Presentan coloración parda a rojiza, estos son producto de la meteorización de las rocas existentes, meteorización influenciada por las altas precipitaciones que se dan en la zona de estudio, que han dado lugar a la formación de suelos residuales que infrayacen capas de ceniza volcánica (Figura 11).



Figura 11 Contacto entre el suelo residual (parte inferior) capa de ceniza (parte superior)

Depósitos Coluviales:

Para este punto crítico se localizan en la parte intermedia del talud, al borde de la vía. Allí se observaron depósitos clastosoportados, de color gris a amarillo pardo, con tamaños que varían desde guijos a bloques (Figura12).



Figura 12 Coluvión clastosoportado, en contacto con un macizo rocoso de serpentinita

5.1.2.1 Geología estructural

El punto crítico El Tambor K 2+000 de la vía La Merced – La Felisa, se encuentra localizado en el flanco occidental de la Cordillera Central en una zona con alta complejidad geológica y estructural. Esta zona, se encuentra atravesada por fallas regionales pertenecientes al Sistema de Fallas de Romeral (Silvia - Pijao y San Jerónimo) y algunas más locales como Falla Samaná Sur, Falla Río Verde de los Henaos y Falla Río Perillo.

Estas fallas presentan cientos de kilómetros de longitud y sus trazos se ven reflejados en superficie en forma de cañones profundos y/o alineados, cambios litológicos separados por las fallas, rocas altamente trituradas, y también, por la presencia de brechas y harina de falla (González, 1980).

La dirección predominante del Sistema de Fallas de Romeral es N-S y a lo largo de su trazo se encuentran lineamientos topográficos, y lineamientos a lo largo de contactos geológicos, zonas con alta inestabilidad con ocurrencia de deslizamientos, rocas con evidencia de metamorfismo dinámico (González, 1980).

En el trabajo de campo en los alrededores de este punto crítico, no se logró identificar la roca *in situ*, debido a que hay abundante vegetación, una cubierta de ceniza de espesor considerable, además de la actividad constante del movimiento en masa que imposibilitaron el reconocimiento de la roca *in situ*. Sin embargo, las rocas que se encuentran en los movimientos en masa como rodados, se observan altamente diaclasadas y meteorizadas.

5.1.2.2 Geomorfología

Las unidades geomorfológicas representativas en esta área son laderas estructurales de pendiente media y lomas denudadas que topográficamente representan un relieve: montañoso con laderas largas, cóncavas e irregulares, pendientes ligeramente escarpadas, factores que favorecen a procesos erosivos, deslizamientos y movimientos en masa (Figura 13).

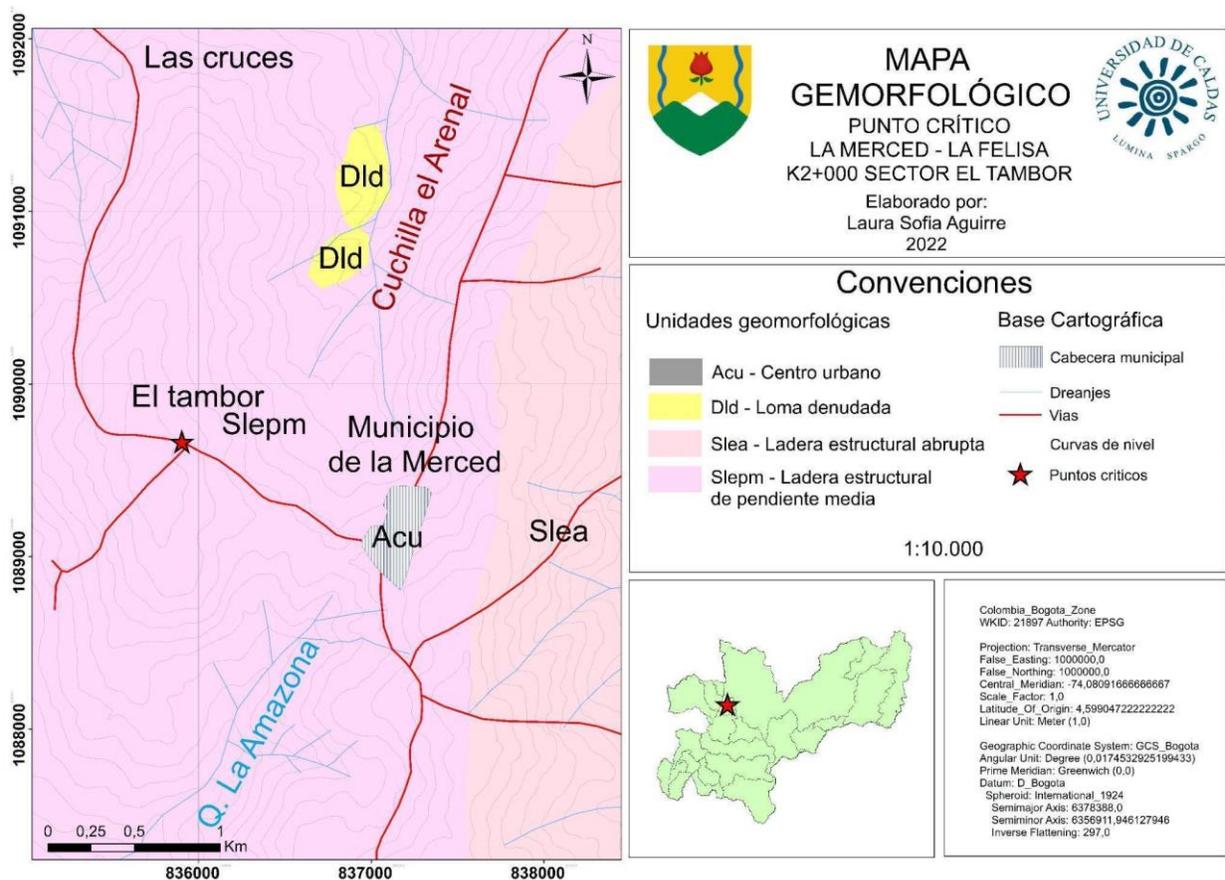


Figura 13 Mapa Geomorfológico del punto crítico la Merced – La Felisa.

Estas unidades de montaña denudacional dependen de procesos exógenos degradacionales, y se representan en formas de terreno de cimas y laderas.

El mapa de pendientes para la zona de estudio muestra rangos de pendiente que van desde fuertemente inclinadas (12-25%), hasta fuertemente escarpadas (>75%) y el punto crítico se

encuentra localizado sobre un terreno con pendiente (25% - 50%) Ligeramente escarpado (Figura 14).

Usando la clasificación del SGC (2016) de *Inclinación* ($^{\circ}$), *procesos característicos* y *condiciones del terreno* (Tabla 2). Las pendientes del 25 - 50% equivalente a inclinación en ($^{\circ}$) $\sim 14^{\circ}$ y 26.5° , corresponde a unas condiciones del terreno moderadamente abrupto a abrupto: “*Procesos denudacionales intensos de diferentes tipos (erosión bajo cubierta forestal, reptación, deslizamientos). Alta propensión al desarrollo de procesos erosivos*” SGC (2016).

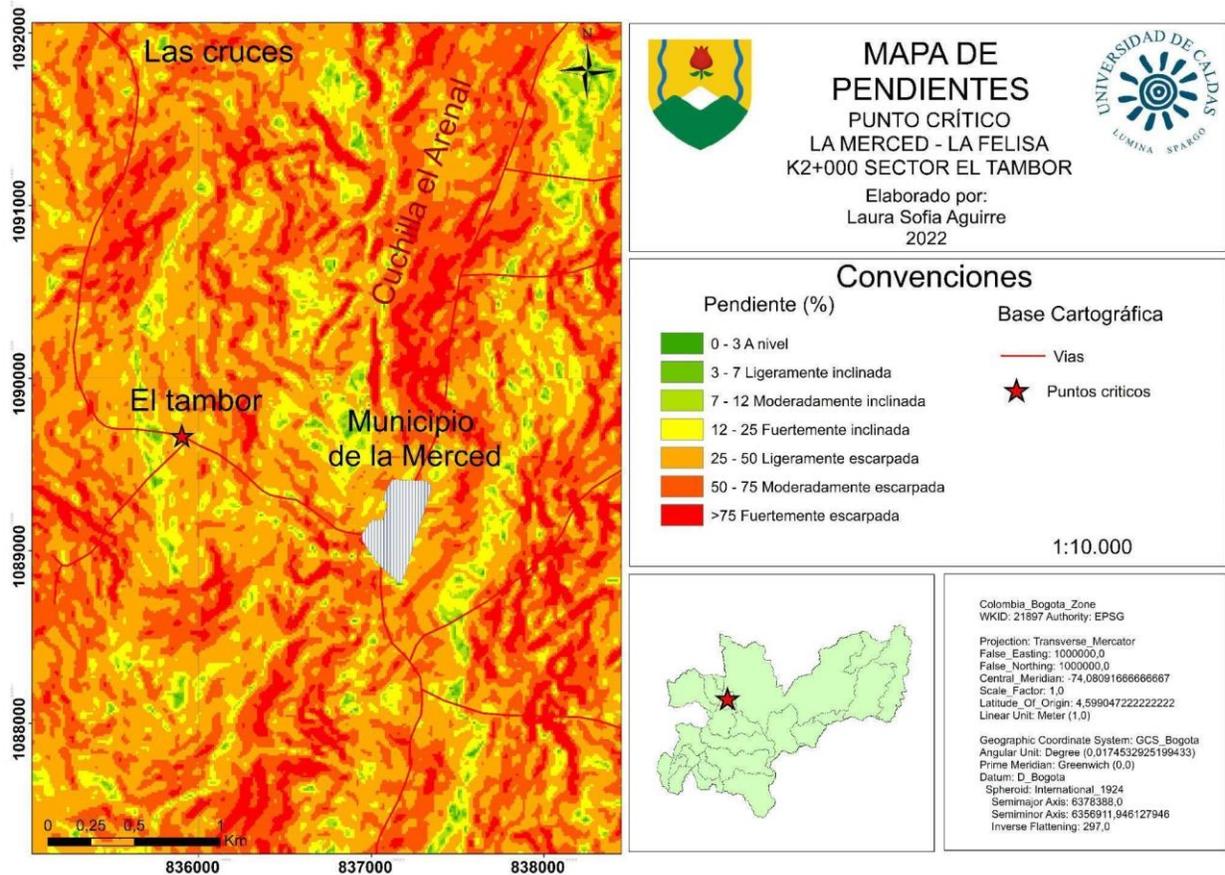


Figura 14 Mapa de pendientes del punto crítico la Merced – La Felisa.

<i>Inclinación</i>	<i>Condiciones del terreno</i>
0-6°	<i>Plano a casi plano. No hay denudación apreciable. Suavemente inclinado. Movimientos en masa de baja velocidad y procesos erosivos de diferentes tipos, especialmente bajo condiciones periglaciares (solifluxión) y fluviales (erosión laminar y en surcos). Susceptible a desarrollar procesos erosivos.</i>
6-12°	<i>Inclinado. Condiciones similares a las anteriores. Alta susceptibilidad a desarrollar procesos erosivos.</i>
12° - 18°	<i>Moderadamente abrupto. Movimientos en masa de todos los tipos, especialmente solifluxión periglaciares, reptación y ocasionalmente deslizamientos, también erosión de tipo laminar y en surcos. Susceptible a erosión y deslizamientos.</i>
18° - 24°	<i>Abrupto. Procesos denudacionales intensos de diferentes tipos (erosión bajo cubierta forestal, reptación, deslizamientos). Alta propensión al desarrollo de procesos erosivos.</i>
24° - 36°	<i>Muy abrupto. Afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, depósitos granulares caóticos de poco espesor.</i>
>36°	<i>Extremadamente abrupto. Afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, depósitos granulares caóticos de poco espesor. Afloramientos rocosos. Procesos denudacionales muy fuertes, especialmente “denudación de escarpe”; susceptible a rodamiento de rocas.</i>

Tabla 2 *Inclinación (°), procesos característicos y condiciones del terreno.* **Fuente:** SGC (2016).

Los procesos morfogenéticos dominantes son: La erosión hídrica superficial ligera, y de moderada a severa, como escurrimiento generalizado, así como diferentes fenómenos de remoción en masa, lo cuales se producen debido a las pendientes, a la inestabilidad en sectores donde la ceniza volcánica se deposita sobre roca dura (Figura 15).



Figura 15 Terraza producto de flujo volcánico

5.1.2.3 Uso del suelo:

Según el Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) La Merced (2020-2023), el uso del suelo en el municipio, se caracteriza por tener una propensión al sector agrícola y ganadero (Figura 16). En el sector agrícola, el café es la principal actividad económica, seguida de la producción de plátano, café y aguacate. en el cuerpo del deslizamiento se ha logrado formar un pequeño bosque secundario porque por algún motivo los propietarios no volvieron a cultivar en él. Para el sector ganadero, las principales especies de pastos que sustentan el alimento de las cabezas de ganado bovino son, pastos naturales, entre otros que se desarrollan en altas pendientes, haciendo que los suelos sean altamente erosionables. Más abajo del talud inferior hay potreros que evidencian surcos por el sobrepastoreo del ganado.

Actividades económicas del municipio La Merced según el plan de desarrollo municipal del municipio de la Merced.

La mano de obra ocupada en el municipio se encuentra distribuida de la siguiente manera: Agricultura 67,27%, industria manufacturera 4,48%, comercio 4,01%, enseñanza 2%, administración pública 1,81% y construcción 1,42%, así.

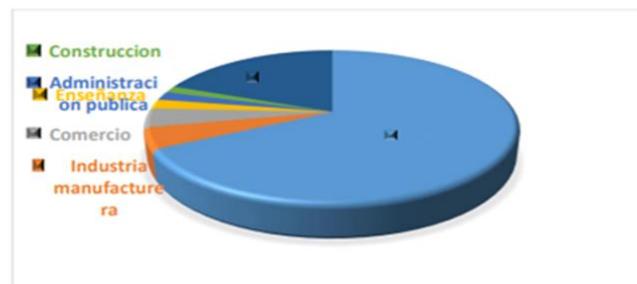


Figura 16 Actividades económicas del municipio La Merced, la agricultura y ganadería son las principales. **Fuente:** PDT La Merced (2020-2023).

La actividad agrícola que se identifica en este sector son los cultivos de café y plátano en la parte superior de la vía; aunque en el cuerpo del deslizamiento y el talud inferior de la vía se ha permitido el crecimiento de la vegetación natural de la zona (Figura 17), La presencia de cultivos limpios en los costados y en la corona del deslizamiento plantea un panorama en el que en un enfoque de bioingeniería, la reforestación y/o prácticas de cultivo para retener(amarrar el suelo) no calificaría como una posible alternativa; teniendo en cuenta además que la vegetación que se ha desarrollado en el cuerpo del deslizamiento no ha sido suficiente para proteger y cohesionar los suelos.



Figura 17 Cultivos de café y plátano en la parte superior del talud

5.1.2.4 Hidrogeología

Análisis Hidrogeológico de las rocas ultramáficas del Complejo Ofiolítico Del Cauca.

Las diferentes formaciones y unidades geológicas, se pueden clasificar en función de su capacidad de almacenar y transmitir agua. Este punto crítico está constituido por rocas ultramáficas, serpentinitas con esquistosidad, de una muy baja permeabilidad y espesores de suelo residual de textura arcillosa - arenosa que en general, son moderadamente plásticos, de

consistencia poco firme, humedad media y permeabilidad moderada a baja, que lo definen como acuitardo:

En este punto crítico la mayor parte del deslizamiento se encuentra en suelo residual, poco firme, que a pesar de tener una permeabilidad baja a moderada el agua de escorrentía filtra al interior del talud al no tener una canalización que permita desviar el agua, aumentando la inestabilidad del talud.

5.1.3. Factores detonantes

Son muchas las causas que pueden contribuir a la inestabilidad del terreno (geológicas, físicas, antrópicas) pero hay factores determinantes para la ocurrencia de un evento como estos

5.1.3.1 Lluvia:

La lluvia es uno de los principales factores que afecta la estabilidad de laderas, muchos deslizamientos ocurren durante o después de los períodos de lluvia debido a que pueden generar caudales de flujo superficial y subterráneo, que conllevan a la erosión e inestabilidad del terreno. La Merced tiene una cantidad significativa de lluvia durante todo el año, alcanzando una precipitación promedio anual de 2267 mm.

La Figura 18, representa la precipitación de lluvia en La Merced, en la abscisa se simbolizan los meses del año con números, siendo 01 el mes de enero y 12 diciembre; en la ordenada se encuentran los valores de la precipitación en mm.

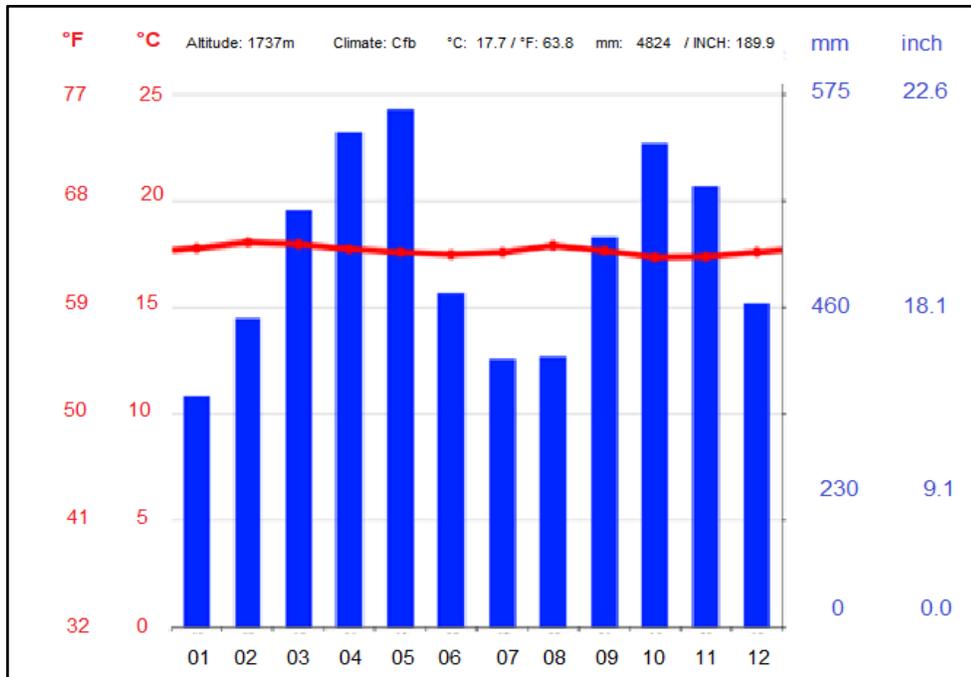


Figura 18 Climograma de La Merced. *Fuente: CLIMATE-DATA.ORG*

De acuerdo al climograma la menor cantidad de lluvia ocurre en enero. El promedio de este mes es 248 mm. Con un promedio de 558 mm, la mayor precipitación cae en mayo.

5.1.3.2 Sismo

Cuando se produce un sismo se pueden generar fuerzas ajenas en las laderas provocando que los esfuerzos presentes en la superficie aumenten y ocasionen movimientos en masa.

El departamento de Caldas está situado en una zona de alto riesgo sísmico que se asocia principalmente con el Sistema de Fallas Romeral el cual afecta gran parte del departamento. Para conocer la zona de amenaza sísmica en la que se encuentra el municipio de La Merced, se consultó el NSR-10 “Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente”, en el que se encuentra

el territorio colombiano dividido por zonas de baja, intermedia y alta sismicidad, de acuerdo con esto, el punto crítico en cercanías con el municipio en cuestión de la Merced corresponde a un valor $A_a=0.25$ (coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva), y para el cual la zona de amenaza sísmica es ALTA (Tablas 3 y 4).

Departamento de Caldas						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Manizales	17001	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Aguadas	17013	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Anserma	17042	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Aranzazu	17050	0.25	0.25	Alta	0.19	0.09
Belalcázar	17088	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Chinchiná	17174	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Filadelfia	17272	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
La Dorada	17380	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.06
La Merced	17388	0.25	0.25	Alta	0.21	0.10
Manzanares	17433	0.20	0.20	Intermedia	0.20	0.10
Marmato	17442	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Marquetalia	17444	0.20	0.20	Intermedia	0.17	0.08
Marulanda	17446	0.20	0.25	Alta	0.18	0.09
Neira	17486	0.25	0.25	Alta	0.19	0.10
Norcasia	17495	0.15	0.20	Intermedia	0.15	0.07
Pácora	17513	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Palestina	17524	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Pensilvania	17541	0.20	0.20	Intermedia	0.18	0.09
Riosucio	17614	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Risaralda	17616	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Salamina	17653	0.25	0.25	Alta	0.18	0.09
Samaná	17662	0.20	0.20	Intermedia	0.19	0.09
San José	17665	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Supía	17777	0.15	0.30	Alta	0.20	0.10
Victoria	17867	0.25	0.20	Alta	0.13	0.06
Villamaría	17873	0.25	0.25	Alta	0.18	0.09
Viterbo	17877	0.25	0.30	Alta	0.23	0.10

Tabla 3. Tabla de Amenaza sísmica del departamento de Caldas respecto a la relación de valores entre A_a , A_v . Amenaza sísmica de La Merced alta. Fuente: Reglamento de Construcción Sismo Resistente, 2010

Nivel de amenaza sísmica según valores de A_a y de A_v

Mayor valor entre A_a y A_v	Asociado en mapas de las figuras A.2.3-2 y A.2.3-3 a Región N°	Amenaza Sísmica
0.50	10	Alta
0.45	9	Alta
0.40	8	Alta
0.35	7	Alta
0.30	6	Alta
0.25	5	Alta
0.20	4	Intermedia
0.15	3	Intermedia
0.10	2	Baja
0.05	1	Baja

Tabla 4 Nivel de Amenaza sísmica según valores de A_a , y de A_v . Fuente: Reglamento de Construcción Sismo Resistente, 2010

5.2 Punto crítico La Unión K 14+600 de la vía Aranzazu - Salamina

5.2.1 Inventario de procesos morfodinámicos

Atributos mínimos que debe contener el inventario de movimientos en masa		
ENCUEST	Nombre del encuestador	LAURA SOFIA AGUIRRE NARANJO
ID_MOVI	Identificador del movimiento en masa	LS222
FECHA_REP	Fecha en que se inventarió el movimiento en masa	28 de Febrero de 2022
FECHA_MOV	Fecha de ocurrencia del movimiento en masa	-
DPTO	Departamento donde se localiza el movimiento	CALDAS
PLANCHA	Número de la plancha escala 1:25.000	206
MUNICIPIO	Municipio donde se localiza el movimiento.	ARANZAZU
REF_GEOGRF	Debe indicar algún accidente geográfico cercano o del mismo lugar de ocurrencia del movimiento en masa, que permita establecer su localización.	SECTOR LA UNIÓN
VEREDA	Vereda en la que se localiza el movimiento	K 14+600 de la vía Aranzazu - Salamina
PARTE	Corresponde a la parte del movimiento identificada. Para el escarpe principal o zona de inicio se utiliza la letra (e) y para la zona de depósito o cuerpo del movimiento la letra (d)	d
ID_PARTE	Corresponde al identificador del polígono de cada una de las partes que conforman el movimiento en masa	Polígono ARZ002
ETIQUETA	Letras que indican el tipo y subtipo de movimiento	cs-e / cs-d - Movimiento en masa de tipo Caída. Identificado Inicio y zona de deposito
OESTE	Coordenada Este del centroide del movimiento (Magna Sirgas origen Bogotá). Este campo se diligencia en el caso que no sea posible diferenciar las partes de un movimiento en masa.	75°32'32.15''W

Atributos mínimos que debe contener el inventario de movimientos en masa		
NORTE	Coordenada Norte del centroide del movimiento (Magna Sirgas origen Bogotá). Este campo se diligencia en el caso que no sea posible diferenciar las partes de un movimiento en masa.	05°34'57.15''N
ALTITUD	Valor de altitud del movimiento en metros sobre el nivel del mar (msnm).	1503 m
TIPO_MOV1	Tipo del primer movimiento en masa (caída, volcamiento, deslizamiento traslacional y rotacional, propagación lateral, reptación, flujo, deformaciones gravitacionales y sin clasificar).	CAÍDA
ACTIVIDAD	Define si el movimiento se encuentra activo o inactivo.	ACTIVO
AREA	Área del movimiento en masa en m ²	-
LONG_HORZ	Longitud horizontal	20 m
ALTUR_CORONA_PUNTA	Diferencia de altura de la corona a la punta	35

Tabla 5 Atributos mínimos que debe contener el inventario de movimientos en masa para el Punto crítico La Unión K 14+600 de la vía Aranzazu - Salamina

5.2.2. Factores Condicionantes

5.2.2.1 Unidades geológicas superficiales

La geología de esta área fue revisada durante la visita de campo y apoyada en trabajos previos como el de Mosquera et al. (1998), en el que se describe el miembro sedimentario Quebradagrande (Figura 19).

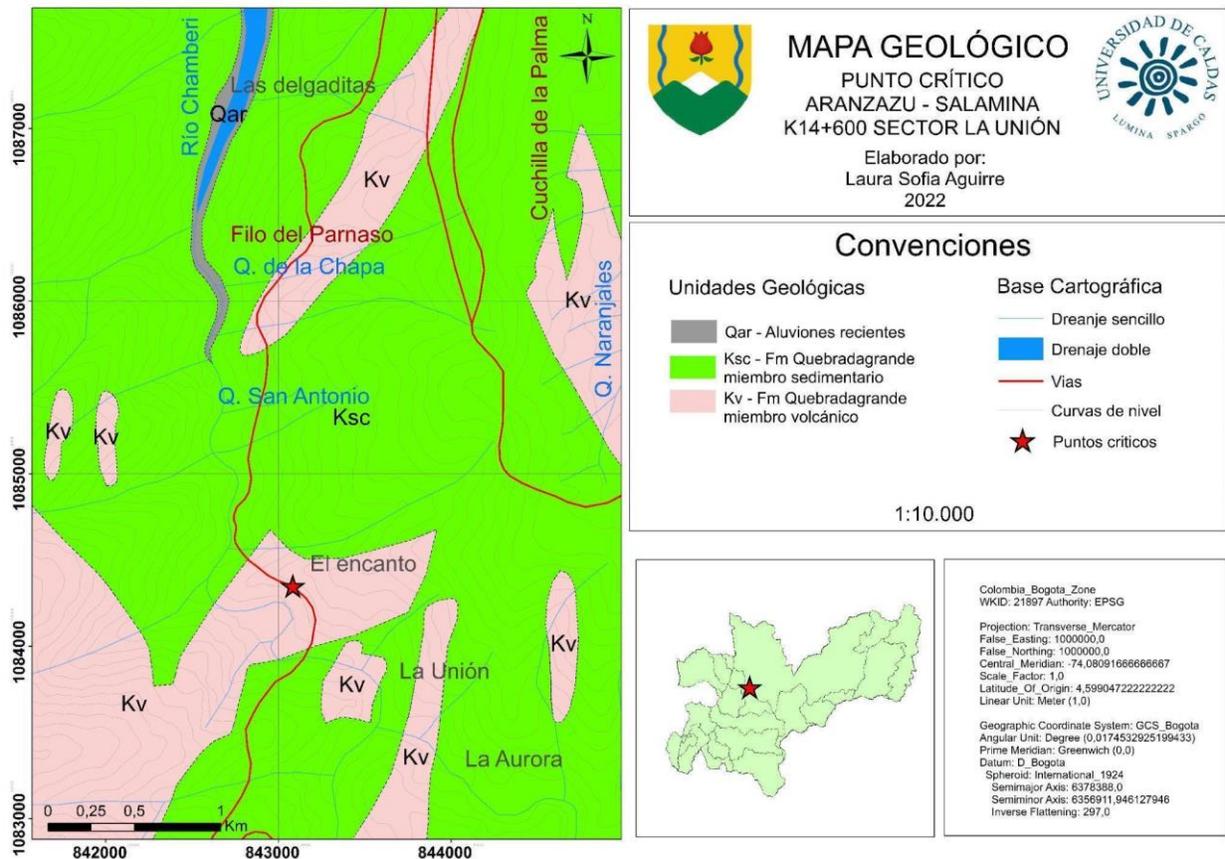


Figura 19 Mapa geológico del punto crítico Aranzazu - Salamina, sector la Unión.

Descripción de la unidad en campo

En la zona de este punto crítico afloran arenitas lodolitas carbonosas (negras) intercalada con lodolitas feldespáticas (grises), fisiles altamente fracturadas y plegadas (Figuras 20, 21), las cuales se asocian a lo que ha sido cartografiado como el Complejo Quebradagrande, que es un conjunto de rocas volcánicas y sedimentarias que constituyen gran parte del flanco occidental de la Cordillera Central, al occidente de la Falla San Jerónimo (Grosse, 1926; Botero, 1963; González, 1980; 1993; Álvarez, 1987; Etayo et al., 1983); aunque el nombre más empleado ha sido el de

Formación Quebradagrande. Aquí se utiliza el de Complejo Quebradagrande, propuesta por Maya y González (1995).



Figura 20 Intercalación de arenitas lodolitas carbonosas (negras) con lodolitas feldespáticas (grises).



Figura 21 Roca expuesta en el talud.

Sobre la vía, se presenta un coluvión en forma de cono de deyección, sobre este reposa capa vegetal y un árbol de aguacate (Figura 22).



Figura 22 Árbol de aguacate sobre el coluvión, perteneciente al deslizamiento.

5.2.2.2 Uso del suelo

Los usos del suelo corresponden a cultivos de café, pastos y relictos de bosques secundarios, la alta incidencia de los derrumbes resulta del uso del suelo que en el presente o en el pasado inmediato haya tenido el área de ladera en su parte alta. Las labores de pastoreo, inciden de manera negativa debido al fomento de zonas de recarga de aguas, mientras los cultivos limpios por las raíces poco profundas no generan soporte o compactación del suelo.

Los cultivos limpios y la carencia de manejo de aguas en el talud alteran el equilibrio natural de los suelos y rocas, ocasionando problemas de erosión.

5.2.2.3 Geología estructural

El punto crítico en la vía Aránzazu – Salamina se encuentra localizado en flanco occidental de la Cordillera Central, y así como los otros puntos analizados, presenta una alta complejidad geológica y estructural. Dentro de las estructuras más representativas en el área de estudio, se encuentran fallas asociadas al Sistema de Fallas de Romeral, tales como: Falla Silvia – Pijao, Falla Manizales – Aranzazu, La Merced, Neira y Salamina, las cuales presentan entre unos pocos hasta 50Km de longitud en dirección predominante N-S (González, 2001)

El punto crítico se encuentra tectónicamente controlado por la falla regional Silvia Pijao, la cual se comporta, asimismo, como una línea de sutura entre el Complejo Arquía al occidente con el Complejo Quebradagrande al oriente (Figura 23)



Figura 23 Mapa Estructural, Estrella roja localización del punto crítico. Tomada y editada de Google Earth

La presencia de estas fallas se hace notoria gracias a los rasgos geomorfológicos encontrados en el área, rasgos como facetas triangulares (Figura 24), hombreras de falla y cauces controlados por las mismas (Figura 25).



*Figura 24 Evidencia de facetas triangulares. frente al punto crítico.
Rojo: alineación de facetas triangulares.*



Figura 25 Deflexión del cauce del Río Chamberí en sentido NW

5.2.2.3 Geomorfología

Las características geomorfológicas representativas para este punto crítico son: laderas estructurales de pendiente media, laderas denudativas, ladera denudativa cóncavas que representa topográficamente un relieve de pendientes fuertes y valles en V profundos, tipo de relieve montañoso > 500 m de elevación, laderas escarpadas, lo que favorece procesos erosivos, deslizamientos y movimientos en masa. (ver figura 26).

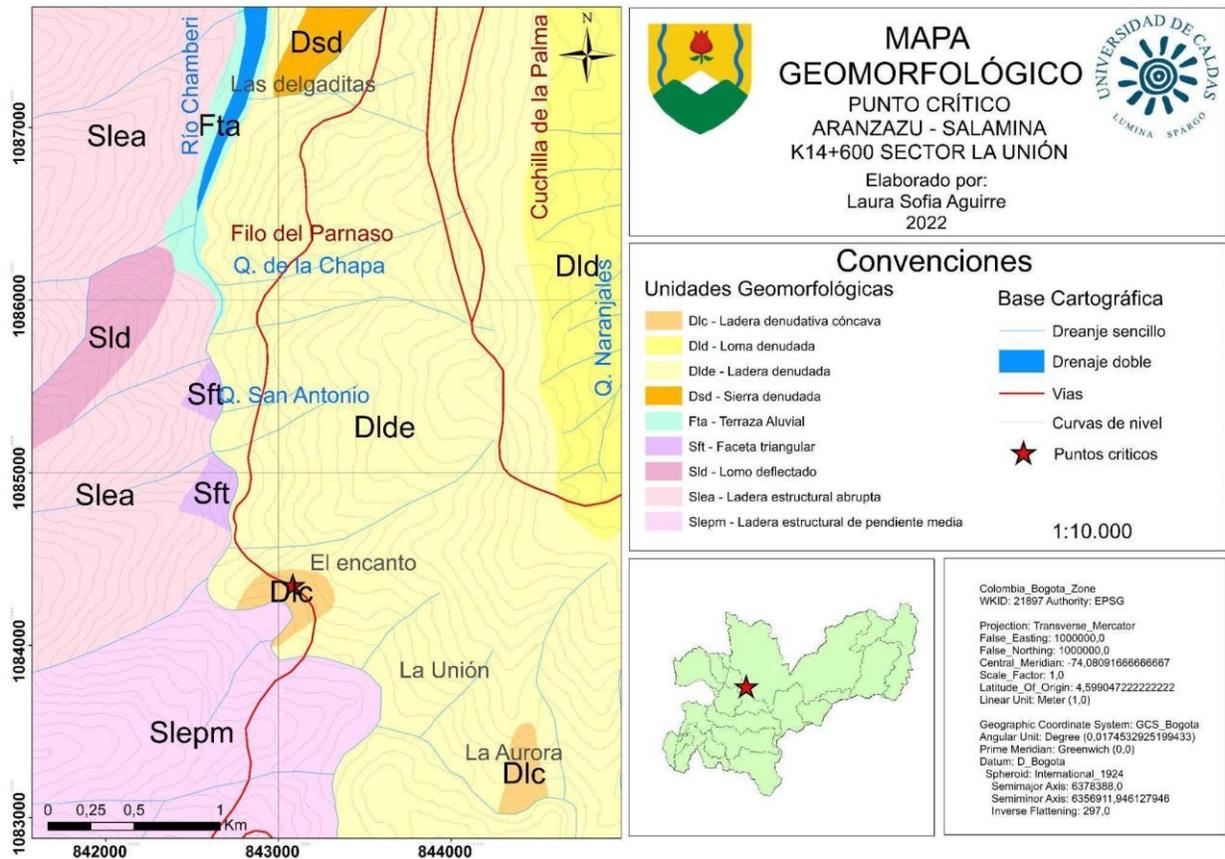


Figura 26 Mapa Geomorfológico del punto crítico Aranzazu - Salamina, Sector La Unión.

De acuerdo a la Guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000 propuesta por el IDEAM (2013) las unidades geomorfológicas representativas del sector

corresponden a ambientes denudacionales y estructurales que representan en forma de cimas, laderas, escarpes activos;

los cuales abarcan no solo la erosión sino también los procesos que contribuyen a la degradación como la meteorización y los movimientos en masa en materiales heterométricos de tipo areniscas y conglomerados.

La pendiente se puede considerar como un factor importante en la ocurrencia de movimientos en masa en la medida en que se relaciona directamente con las tensiones de corte tangencial y normal en los materiales superficiales, e influye también en la distribución de agua en las laderas, (Santacana 2001). El mapa de pendientes para la zona de estudio muestra rangos de pendiente en su mayoría entre los 25% - 75% y mayores de 75%. El punto crítico se encuentra localizado sobre un terreno con pendiente >75% (Fuertemente escarpado) (Figura 27). Usando la clasificación del SGC (2016) de *Inclinación (°)* (tabla 2), *procesos característicos y condiciones del terreno*. Las pendientes del 75% equivalen a 36.8° de inclinación, corresponde a unas condiciones del terreno muy abrupto: *“Afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos de diferentes tipos (erosión bajo cubierta forestal, reptación, deslizamientos). Alta propensión al desarrollo de procesos erosivos, depósitos granulares caóticos de poco espesor”*.

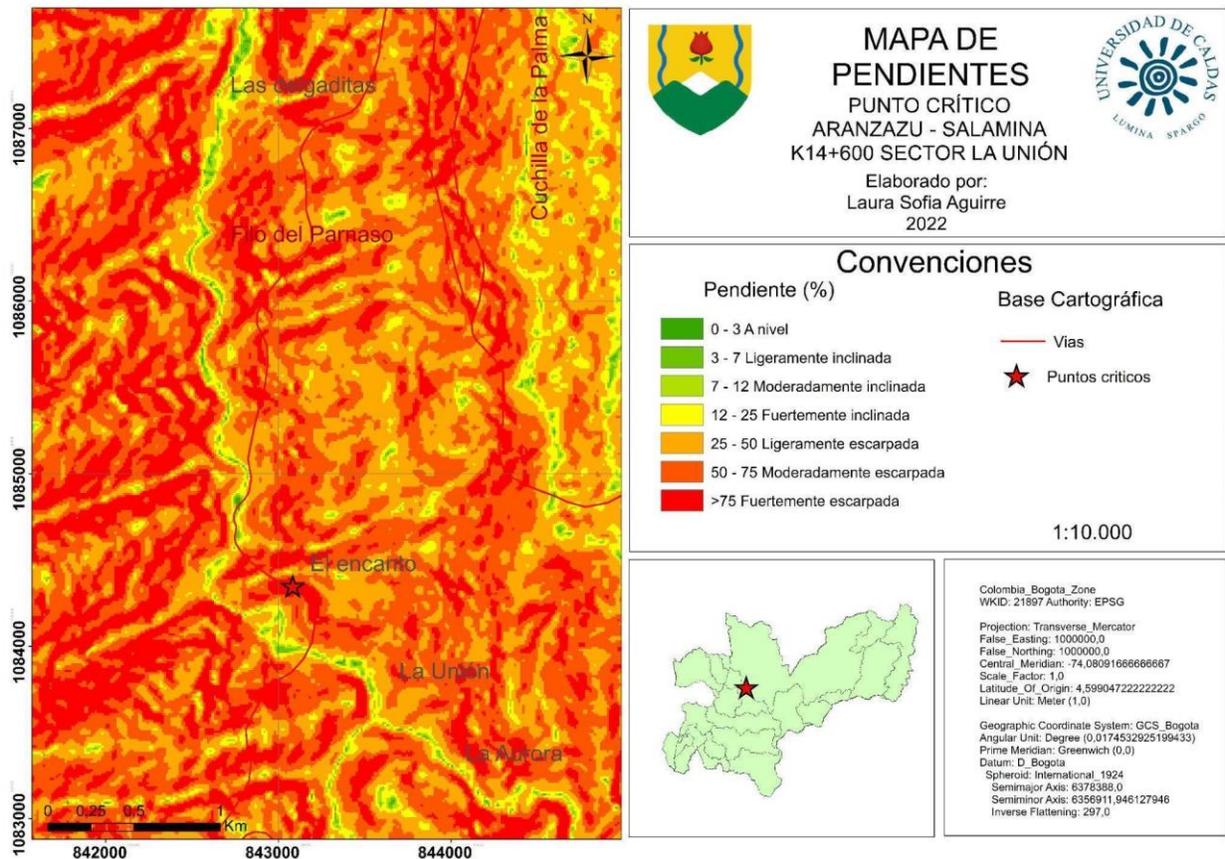


Figura 27 Mapa de pendientes el punto crítico Aranzazu - Salamina, Sector La Unión.

5.2.2.4 Hidrogeología

Análisis hidrogeológico del Comepejo Quebradagrande, miembro sedimentario.

La zona está constituida principalmente por arenitas y lodolitas carbonosas, intercaladas con lodolitas feldespáticas fisiles, altamente fracturadas, plegadas y de una muy baja permeabilidad que permiten caracterizar estas rocas como un acuitardo.

A pesar del alto fracturamiento que presenta la roca en este deslizamiento el agua en su mayoría no filtra al interior del talud, sino que transcurre por la superficie erosionando.

5.2.3 Factores detonantes

5.2.3.1 Lluvia

Este es el principal detonante para la ocurrencia e inestabilidad de la ladera en este punto crítico, el cual cuenta con una cantidad significativa de lluvia durante todo el año y durante los periodos de mayor precipitación, dando lugar a los deslizamientos, debido a que pueden generar caudales de flujo superficial y subterráneo, que conllevan a la erosión e inestabilidad del terreno.

De acuerdo al climograma, la menor cantidad de lluvia ocurre en enero con un promedio de 248 mm por mes y 22 días y la mayor precipitación cae en mayo con un promedio de 558 mm y un promedio de 28 días (Figura 28).

En la siguiente gráfica, se representa la precipitación de lluvia en Aranzazu -Salamina en la abscisa se simbolizan los meses del año con números, siendo 01 el mes de enero y 12 diciembre; en la ordenada se encuentran los valores de la precipitación en mm.

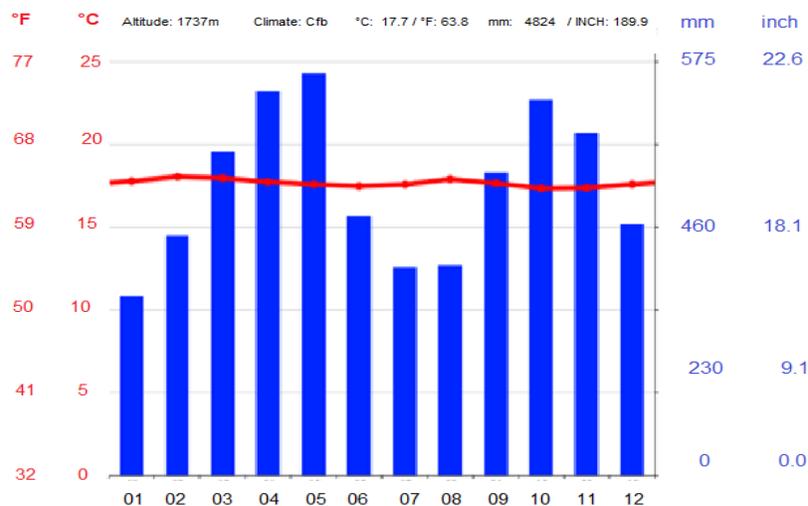


Figura 28 Climograma de Aranzazu. Fuente: CLIMATE-DATA.ORG. Precipitación de lluvia en Aranzazu. Relación de meses del año (01/enero- 12 diciembre) y la precipitación en su respectivo mes en valores de mm.

5.2.3.2 Sismo

Para conocer la zona de amenaza sísmica en la que se encuentra el municipio de Aránzazu, se consultó el NSR-10 “Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente”, en el que se encuentra el territorio colombiano dividido por zonas de baja, intermedia y alta sismicidad, de acuerdo con esto, el punto crítico en cercanías con el municipio en cuestión de Aránzazu corresponde a un valor $A_a=0.25$ (coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva), y para el cual la zona de amenaza sísmica es ALTA (Tablas 6 y 7).

Departamento de Caldas						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Manizales	17001	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Aguadas	17013	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Anserma	17042	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Aránzazu	17050	0.25	0.25	Alta	0.19	0.09
Belalcázar	17088	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Chinchiná	17174	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Filadelfia	17272	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
La Dorada	17380	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.06
La Merced	17388	0.25	0.25	Alta	0.21	0.10
Manzanares	17433	0.20	0.20	Intermedia	0.20	0.10
Marmato	17442	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Marquetalia	17444	0.20	0.20	Intermedia	0.17	0.08
Marulanda	17446	0.20	0.25	Alta	0.18	0.09
Neira	17486	0.25	0.25	Alta	0.19	0.10
Norcasia	17495	0.15	0.20	Intermedia	0.15	0.07
Pácora	17513	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Palestina	17524	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Pensilvania	17541	0.20	0.20	Intermedia	0.18	0.09
Riosucio	17614	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Risaralda	17616	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Salamina	17653	0.25	0.25	Alta	0.18	0.09
Samaná	17662	0.20	0.20	Intermedia	0.19	0.09
San José	17665	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Supía	17777	0.15	0.30	Alta	0.20	0.10
Victoria	17867	0.25	0.20	Alta	0.13	0.06
Villamaría	17873	0.25	0.25	Alta	0.18	0.09
Viterbo	17877	0.25	0.30	Alta	0.23	0.10

Tabla 6 Amenaza sísmica del departamento de Caldas respecto a la relación de valores entre A_a , A_v . Amenaza sísmica Aránzazu es alta. **Fuente:** Reglamento de Construcción Sismo Resistente, 2010

Nivel de amenaza sísmica según valores de Λ_a y de Λ_v

Mayor valor entre Λ_a y Λ_v	Asociado en mapas de las figuras A.2.3-2 y A.2.3-3 a Región N°	Amenaza Sísmica
0.50	10	Alta
0.45	9	Alta
0.40	8	Alta
0.35	7	Alta
0.30	6	Alta
0.25	5	Alta
0.20	4	Intermedia
0.15	3	Intermedia
0.10	2	Baja
0.05	1	Baja

Tabla 7 Tabla de nivel de Amenaza sísmica según valores de Λ_a , y de Λ_v . **Fuente:** Reglamento de Construcción Sismo Resistente, 2010

5.3 Punto crítico Sector el bosque K 8+500 de la vía Asia - El cruce - Las

Margaritas

5.3.1 Inventario de procesos morfodinámicos

Atributos mínimos que debe contener el inventario de movimientos en masa		
ENCUEST	Nombre del encuestador	LAURA SOFIA AGUIRRE NARANJO
ID_MOVI	Identificador del movimiento en masa	LS223
FECHA_REP	Fecha en que se inventarió el movimiento en masa	01 de Marzo de 2022
FECHA_MOV	Fecha de ocurrencia del movimiento en masa	-
DPTO	Departamento donde se localiza el movimiento	CALDAS
PLANCHA	Número de la plancha escala 1:25.000	205
MUNICIPIO	Municipio donde se localiza el movimiento.	SAN JOSÉ
REF_GEOGRF	Debe indicar algún accidente geográfico cercano o del mismo lugar de ocurrencia del movimiento en masa, que permita establecer su localización.	SECTOR EL BOSQUE

Atributos mínimos que debe contener el inventario de movimientos en masa		
VEREDA	Vereda en la que se localiza el movimiento	Sector el bosque K 8+500 de la vía Asia - El cruceiro - Las Margaritas
PARTE	Corresponde a la parte del movimiento identificada. Para el escarpe principal o zona de inicio se utiliza la letra (e) y para la zona de depósito o cuerpo del movimiento la letra (d)	d
ID_PARTE	Corresponde al identificador del polígono de cada una de las partes que conforman el movimiento en masa	Polígono MARG003
ETIQUETA	Letras que indican el tipo y subtipo de movimiento	-
OESTE	Coordenada Este del centroide del movimiento (Magna Sirgas origen Bogotá). Este campo se diligencia en el caso que no sea posible diferenciar las partes de un movimiento en masa.	75°48'42.02''W
NORTE	Coordenada Norte del centroide del movimiento (Magna Sirgas origen Bogotá). Este campo se diligencia en el caso que no sea posible diferenciar las partes de un movimiento en masa.	05°03'51.44''N
ALTITUD	Valor de altitud del movimiento en metros sobre el nivel del mar (msnm).	1498 m
TIPO_MOV1	Tipo del primer movimiento en masa (caída, volcamiento, deslizamiento traslacional y rotacional, propagación lateral, reptación, flujo, deformaciones gravitacionales y sin clasificar).	SOCAVACIÓN
ACTIVIDAD	Define si el movimiento se encuentra activo o inactivo.	ACTIVO
AREA	Área del movimiento en masa en m ²	-
LONG_HORZ	Longitud horizontal	20 m
ALTUR_CORONA_PUNTA	Diferencia de altura de la corona a la punta	80

Tabla 8 Atributos mínimos que debe contener el inventario de movimientos en masa para Punto crítico Sector el bosque K 8+500 de la vía Asia - El cruceiro - Las Margaritas

5.3.2 Factores condicionantes

5.3.2.1 Unidades geológicas superficiales

La geología de esta área fue revisada durante la visita de campo y apoyada en trabajos previos como el de Estrada y Viana (1998), en el que se describe la Formación Barroso que constituye dos franjas con características litológicas diferentes (Figura 29).

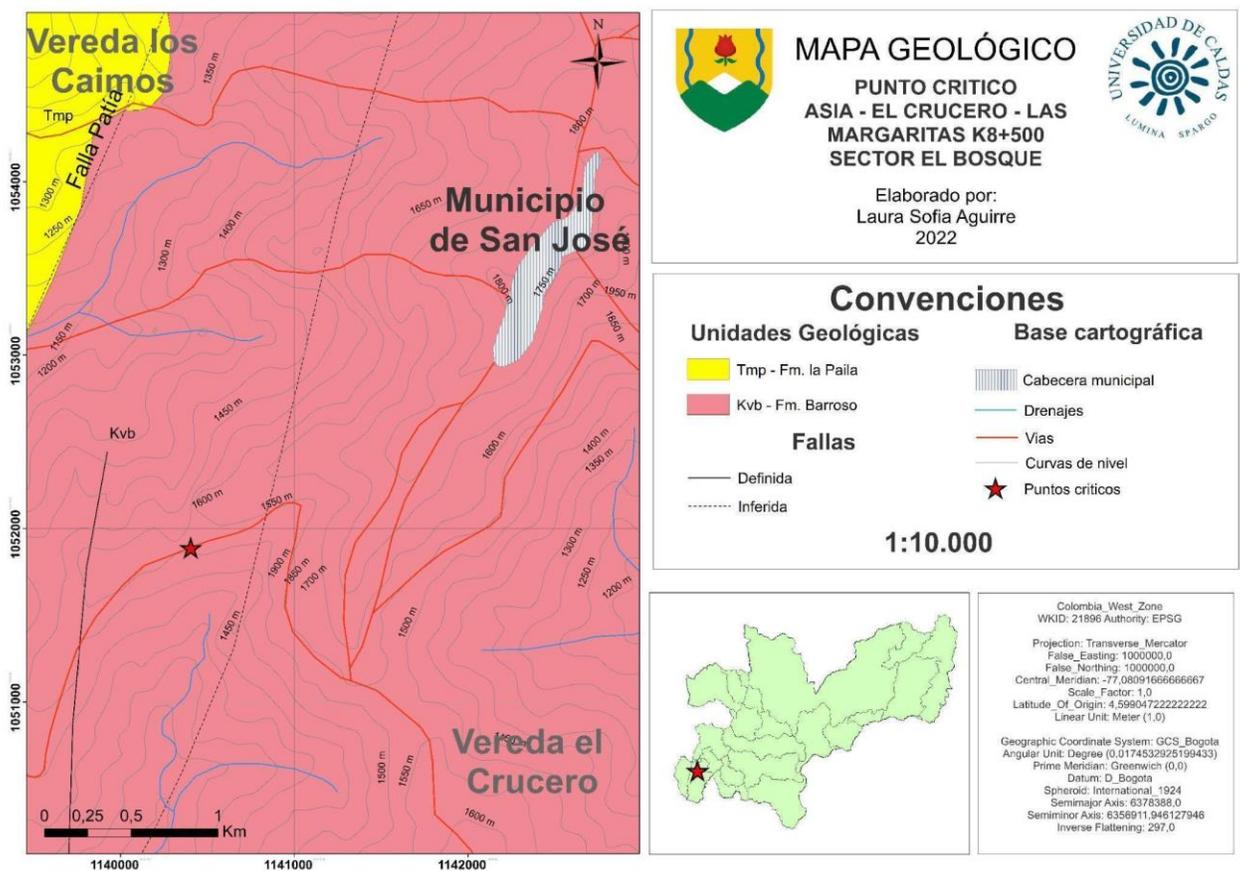


Figura 29 Mapa geológico del punto crítico Asia - El Crucero - Las Margaritas, sector el bosque.

Descripción de la unidad en campo

En la zona de este punto crítico afloran rocas de composición basáltica, son masivas, de color gris verdoso, extremadamente duras, con alta humedad superficial, de muy baja permeabilidad y moderadamente fracturadas (Figura 30). Su patrón de diaclasamiento, es principalmente N60W y N20E, influenciado posiblemente por la falla Sevilla, cuyo trazo ha sido cartografiado en las cercanías del punto.



Figura 30 Roca aflorantes, basáltica, masiva, de color gris verdoso

Las rocas aflorantes se encuentran asociadas al conjunto de rocas denominado como Formación Barroso y en las cercanías no se encontró evidencia de fallamiento, la única evidencia de deformación es el diaclasamiento de la roca. (Figura 31).

Unidades de Suelo Residual

Se encuentra un perfil de meteorización, desde un suelo arcilloso en la parte superior, hasta encontrar el macizo rocoso débilmente meteorizado a una profundidad de 4 a 6 m. Son suelos de textura arcillosa que en general, son moderadamente plásticos, de consistencia poco firme,

humedad media y permeabilidad moderada a baja. Presentan coloración parda a rojiza, producto de la meteorización de las rocas existentes, influenciado por las altas precipitaciones que se dan en la zona de estudio, que ha dado lugar a la formación de suelos residuales, con espesores variables que van desde 2 m hasta 4 m de espesor aproximadamente. Estos, corresponden a los estados III, IV, V y VI del perfil de meteorización (Dearman, 1974), en algunos sectores se observa claramente una gradación hasta el macizo rocoso original (Figura 32).



Figura 31 Macizo rocoso cubierto por la roca moderadamente meteorizada y suelos residuales



Figura 32 Meteorización de la roca basáltica en el sector El Bosque

5.3.2.2 Uso del suelo

Los sitios carentes de vegetación tienen una mayor probabilidad de ser arrastrados por las corrientes hídricas, y este es el caso del sitio crítico de El Bosque, debido a que en este sitio fue construido un carretable de acceso a un predio ubicado en la parte inferior. Esta vía fue construida con una alta pendiente longitudinal, sin un control de aguas adecuado, sin obras de protección de los taludes. Este carretable desapareció debido a la erosión hídrica tan agresiva en el sitio, ocasionada por el taponamiento de las estructuras de drenaje que existen en el sitio.

5.3.2.3 Geología estructural

El punto crítico en *Asia -El Crucero- Las margaritas, Sector el Bosque* se encuentra tectónicamente controlado por la falla regional Cauca Almaguer y aunque la cartografía indicada en el mapa muestra unidades homogéneas, internamente están afectadas por fallas menores que modifican las características estructurales de cada una de ellas.

Las fallas subparalelas con dirección N-S a NE-SW, pertenecen en conjunto, al Sistema de Fallas Cauca- Almaguer. Adicionalmente a estas, hay estructuras con dirección NW-SE posteriores al sistema de fallas del Cauca, pues desplazan fallas de este sistema con un movimiento aparente lateral izquierdo (Autor, año). La principal falla que afecta la zona de estudio es:

Falla de Sevilla

Definida por McCourt et al. (1984) en la Plancha 223 Armenia. Esta falla coincide con un notorio alineamiento en dirección NE al este de las poblaciones de Belalcázar, Risaralda y Anserma, que está definido por quebradas y silletas alineadas, a lo largo del cual se presentan

pequeños cuerpos alargados de gabbro. Sobre su trazo, los basaltos de la Formación Barroso están intensamente cizallados y desarrollan una foliación de dirección predominante N10°E/45°W con estrías de fallas que indican, al menos para el último movimiento, una componente principal paralela al rumbo.

Esta es tal vez la falla más cercana al punto crítico de El bosque y de seguro, la causante, junto con sus fallas satélites, de la gran cantidad de puntos críticos de las vías del occidente bajo.

5.3.2.4 Geomorfología

El área de este punto crítico, presenta características geológicas y estructurales dominadas por la presencia de rocas volcánicas meteorizadas, que se manifiesta en unidades geomorfológicas de ladera estructural de pendiente media y ladera estructural abrupta, evidenciado en montañas con pendientes abruptas a muy abruptas, suavizadas en parte por meteorización de las mismas. En la zona de estudio, se manifiestan laderas rectas y largas, características que son favorables para la ocurrencia de movimientos en masa (Figura 33).

De acuerdo con González (1980), las expresiones geomorfológicas y genéticas de dicha zona están definida fundamentalmente por dos ambientes geomorfológicos básicos: ambiente morfoestructural y ambiente denudacional (Estos ambientes han ido modificándose conforme su relación con agentes externos tales como: agentes climáticos, biológicos y antrópicos, los cuales generan un impacto en los ambientes primarios, en los materiales, en las propiedades químicas o físicas y en los procesos que actuaron inicialmente; transformándolos o llevándolos a nuevos estados de equilibrio).

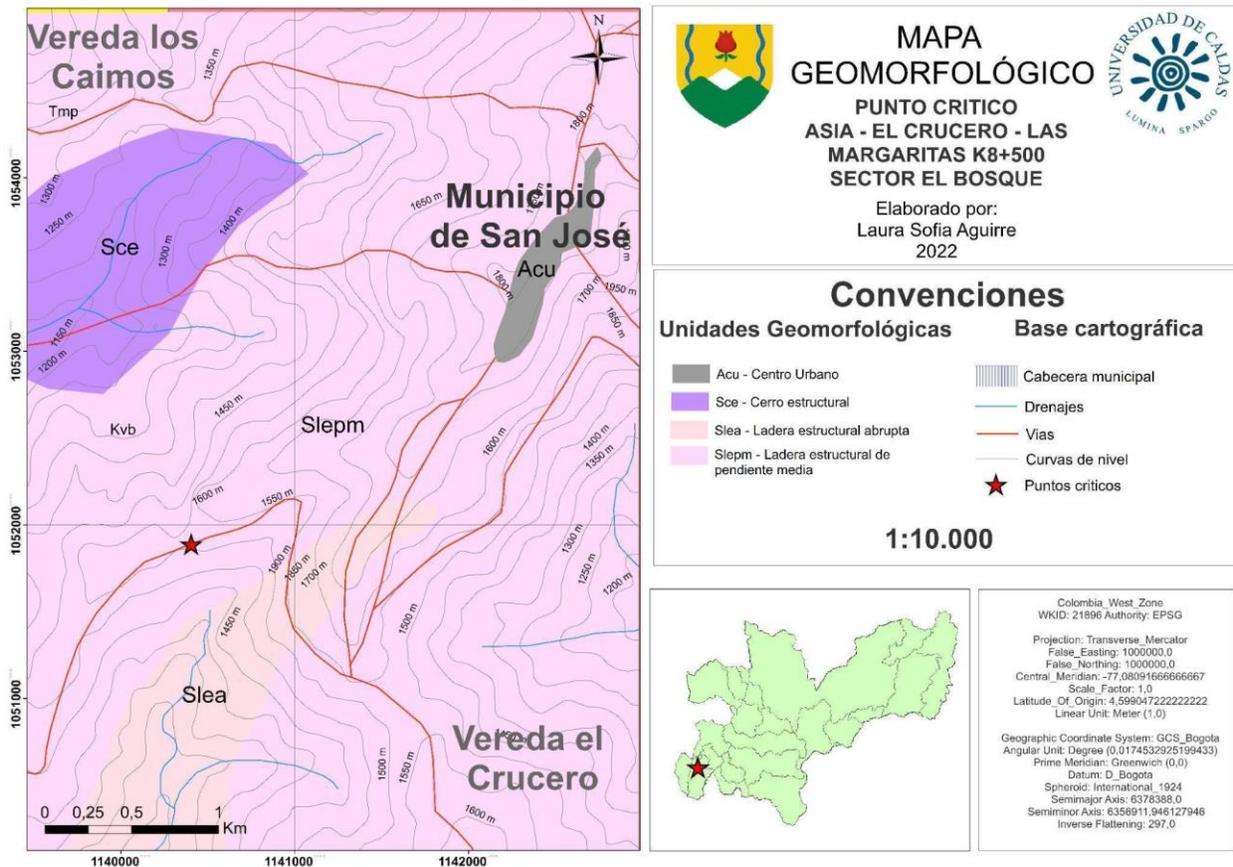


Figura 33 Mapa geomorfológico del punto crítico Asia- El crucero- Las Margaritas, el sector El Bosque

La zona presenta un marcado predominio de unidades de relieve montañoso y colinado estructural erosional, las cuales se detallan a continuación:

Lomerío : Forma de relieve producido por la erosión en aquellas partes donde los terrenos producto de derrames lávicos de la Formación Barroso que han sido moldeados por la acción de la meteorización superficial. Es de tener en cuenta, que el sitio crítico se encuentra sobre toda la cresta de la montaña, es decir sobre la divisoria de aguas.

Esta unidad geomorfológica está caracterizada por morfologías con cimas sub agudas y estrechas, y laderas rectas con longitud moderada (100 – 200m) y pendientes que varían entre 12° - 36° grados. Los procesos morfogenéticos dominantes son la erosión hídrica superficial moderada y severa con procesos puntuales de remoción en masa.

Escarpe estructural y/o Deslizamiento mayor activo: Vertiente de roca asociada principalmente a la erosión laminar que socava el talud inferior occidental de la vía.

Esta unidad está caracterizada por morfologías con laderas rectas a cóncavas con longitud media (60 – 100 m) y con pendientes superiores a 36° grados. Está genéticamente relacionada con las rocas volcánicas meteorizadas de la Formación Barroso.

El mapa de pendientes define con claridad que en la zona existe un control de las pendientes entre ligera y moderadamente escarpado, principalmente asociado a la litología y que es debido principalmente a la diferente susceptibilidad de las rocas a la erosión y a la meteorización (Figura 34).

Usando la clasificación del SGC (2016) de *Inclinación (°), procesos característicos y condiciones del terreno* (Tabla 2). Las pendientes del 25 - 50 y 75 % equivalente a inclinación en (°) ~11°, 23° y 3°, corresponde a unas condiciones del terreno moderadamente abrupto a muy abrupto: *Movimientos en masa de todos los tipos, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, depósitos granulares caóticos de poco espesor.*

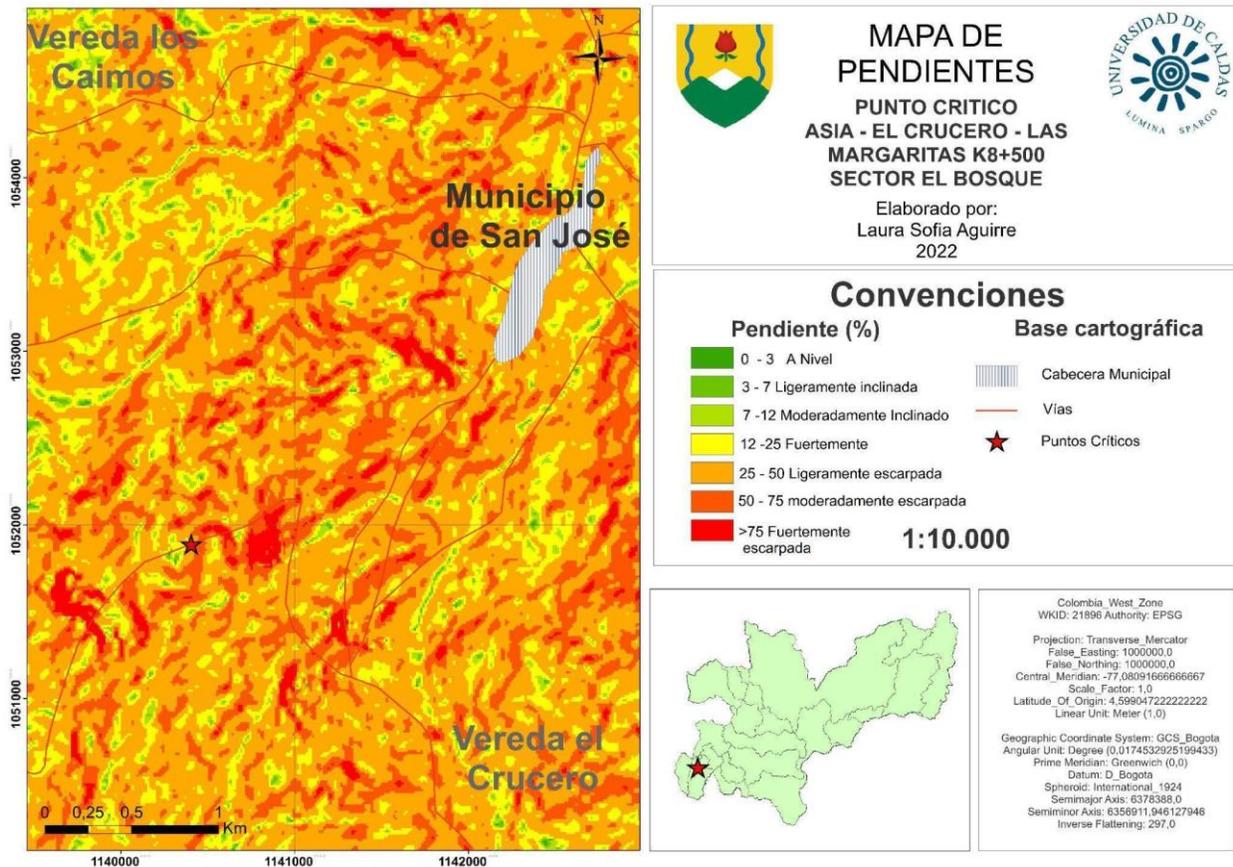


Figura 34 Mapa de pendientes del punto crítico Asia- El crucero- Las Margaritas, el sector El Bosque

5.3.2.5 Hidrogeología

Análisis Hidrogeológico De La Formación Barroso

La zona está constituida por derrames lávicos tipo basalto, de una muy baja permeabilidad que lo definen como acuífugos lo que indica que son rocas con porosidad nula de baja o muy baja permeabilidad, y por lo tanto es incapaz de almacenar y transmitir agua.

A pesar del fracturamiento y diaclasamiento del macizo rocoso, no llega a configurarse como acuífero porque las fracturas son cerradas y muy cortas.

5.3.3 Factores Detonantes

5.3.3.1 Lluvia

La lluvia es uno de los principales factores que afecta la estabilidad de una ladera, el bajo occidente de Caldas tiene una cantidad significativa de lluvia durante todo el año, lo que influye en la estabilidad de los taludes durante y después de estos periodos de lluvia.

En esta zona, predomina el clima templado muy húmedo- cálido y la precipitación anual en el municipio de San Jose Caldas, se calcula en 1850 mm, presentando un régimen de distribución bimodal, con dos periodos máximos, uno en abril- mayo, Octubre –Noviembre y dos periodos secos en los meses de Julio – Agosto y otro en los meses de Enero – Febrero.

Las condiciones hídricas de la zona se encuentran caracterizadas por el alto aporte de aguas en las pendientes más pronunciadas por valles en forma de “V” con flancos empinados y presentando drenajes dendríticos y de tipo subdendrítico.

En este punto crítico el agua lluvia no constituye el detonante principal y por otra parte actúa como un potencializador del proceso activo que, sumado a las aguas de escorrentía, las aguas captadas que transitan por mangueras de abastecimiento doméstico, las filtraciones y el inadecuado manejo que se hace de las mismas constituye el principal factor detonante.

Factores antrópicos:

A pesar de no estar incluido en la metodología, ni en los otros puntos críticos mencionados en el trabajo; en el punto crítico Asia - El Crucero- Las Margaritas, Sector el Bosque las dinámicas naturales del agua y los recursos hídricos superficiales (factor antrópico), resultado del inadecuado

manejo de las mangueras artesanales de abastecimiento de agua, han generado el incremento en la socavación y pérdida de la banca de la vía (figura 35). Llevando a que la causa principal del deslizamiento en este sector, sea la presencia de abundantes aguas de escorrentía, provenientes de la vía y que circulan por la cuneta izquierda de la misma, donde se instalaron barreras en costal para disminuir el flujo de agua (figura 36). Dicha cantidad de aguas de escorrentía, ha sido también incrementada por el taponamiento de las transversales de la vía que llegan al sitio sin ninguna canalización y corren ladera abajo lavando y transportando las partículas de suelo residual, provocando canales y surcos que terminan por desestabilizar la banca. Este fenómeno es favorecido por la alta pendiente del talud y la poca cohesión del suelo.



Figura 35 Pérdida de la banca de la vía - Coronas en la parte superior.



Figura 36 Implementación de barreras en costal en la corona superior.

5.3.4 Sismo

Debido a que el municipio de San José se encuentra ubicado en una zona geológicamente activa, todo su territorio incluido el punto crítico, se considera vulnerable a movimientos telúricos, que lo pueden afectar dependiendo de las condiciones de intensidad, profundidad y ubicación de este.

Teniendo en cuenta la guía metodológica para la zonificación de amenazas por movimientos en masa del Servicio Geológico Colombiano SGC que considera el sismo como un factor detonante se consultó la amenaza sísmica para el municipio de San José, Caldas por ser un municipio de referencia cercana a este punto crítico se consultó el NSR-10 “Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente”, y de acuerdo con esto, el punto crítico en cercanías con el municipio en cuestión de San José, Caldas corresponde a un valor $A_a=0.25$

(coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva), y para el cual la zona de amenaza sísmica es ALTA (Tabla 9,10)

Departamento de Caldas						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Manizales	17001	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Aguadas	17013	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Anserma	17042	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Aranzazu	17050	0.25	0.25	Alta	0.19	0.09
Belalcázar	17088	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Chinchiná	17174	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Filadelfia	17272	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
La Dorada	17380	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.06
La Merced	17388	0.25	0.25	Alta	0.21	0.10
Manzanares	17433	0.20	0.20	Intermedia	0.20	0.10
Marmato	17442	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Marquetalia	17444	0.20	0.20	Intermedia	0.17	0.08
Marulanda	17446	0.20	0.25	Alta	0.18	0.09
Neira	17486	0.25	0.25	Alta	0.19	0.10
Norcasia	17495	0.15	0.20	Intermedia	0.15	0.07
Pácora	17513	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Palestina	17524	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Pensilvania	17541	0.20	0.20	Intermedia	0.18	0.09
Riosucio	17614	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Risaralda	17616	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Salamina	17653	0.25	0.25	Alta	0.18	0.09
Samaná	17662	0.20	0.20	Intermedia	0.19	0.09
San José	17665	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Supía	17777	0.15	0.30	Alta	0.20	0.10
Victoria	17867	0.25	0.20	Alta	0.13	0.06
Villamaría	17873	0.25	0.25	Alta	0.18	0.09
Viterbo	17877	0.25	0.30	Alta	0.23	0.10

Tabla 9 Tabla de Amenaza sísmica del departamento de Caldas respecto a la relación de valores entre A_a , A_v . Amenaza sísmica San José, Caldas es alta **Fuente:** Reglamento de Construcción Sismo Resistente, 2010

Nivel de amenaza sísmica según valores de A_a y de A_v

Mayor valor entre A_a y A_v	Asociado en mapas de las figuras A.2.3-2 y A.2.3-3 a Región N°	Amenaza Sísmica
0.50	10	Alta
0.45	9	Alta
0.40	8	Alta
0.35	7	Alta
0.30	6	Alta
0.25	5	Alta
0.20	4	Intermedia
0.15	3	Intermedia
0.10	2	Baja
0.05	1	Baja

Tabla 10 Nivel de Amenaza sísmica según valores de A_a , y de A_v . Fuente: Reglamento de Construcción Sismo Resistente, 2010

6. ESCENARIO Y CARACTERIZACIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS

A continuación, se realiza una descripción de los movimientos con sus respectivos datos de campo y segmentos representativos que permitieron caracterizar los procesos que actúan en cada punto crítico.

6.1 Punto crítico El Tambor K 2+000 de la vía La Merced – La Felisa

Este punto crítico se localiza en inmediaciones con el municipio de La Merced que se sitúa en una zona montañosa, en el que factores como la meteorización de los suelos y las altas precipitaciones hacen que sea un área susceptible a procesos de movimientos en masa. De acuerdo a Krynine & Judd (1980), los factores inherentes al terreno afectado constituyen la causa real de los movimientos. Se refieren a los factores condicionantes, los cuales intervienen de manera progresiva en el tiempo, como el aumento de la saturación, las sobrecargas o la eliminación del soporte, los cuales aumentan la inestabilidad y consideran el factor detonante a la causa inmediata que desencadena el movimiento.

En ascenso hacia la parte superior del talud se observan grietas de tensión con variaciones de su ancho hasta los 5 cm, estas grietas de tensión son indicativas del movimiento y son producto de la inestabilidad del terreno (Figura 37). También se hallan escarpes múltiples que varían desde los 50 cm hasta los casi 4 m de altura, estos escarpes múltiples están en la dirección del movimiento que van produciendo un área superior de hundimiento (Figuras 38 y 39)



Figura 37 Grietas de tensión que se observan en la parte superior de talud.



Figura 38 Escarpes múltiples que varían de longitud en la parte intermedia-superior del talud



Figura 39 Escarpe de la corona superior del talud que va desde los 50 cm hasta los 4 mts de longitud

En la corona superior del deslizamiento la vegetación en general tiene un moderado grado de inclinación, evidenciando el movimiento del terreno en sentido de la pendiente, de igual forma se manifiesta en la parte intermedia por donde se encuentra el trazo de la vía que se asocia a un movimiento en masa de *creep* o reptación, que involucra la capa más superficial, en este caso la inclinación de la vegetación se le atribuye al proceso de hundimiento del suelo (Figura 40). Al rededor de la corona superior y parte intermedia del talud se evidencian tratamientos previos en la zona, que en su momento fueron abordados con labores de bioingeniería, específicamente canales en geotextil impermeable, con el fin de encauzar la escorrentía superficial del talud de una manera controlada. Además, en algunos sitios se evidencia el desplazamiento de los canales, como consecuencia de la reptación del terreno. El incorrecto funcionamiento de estas obras es evidenciado en los canales que se observan completamente afectados, desapareciendo en muchos puntos su línea de flujo, generando de esta manera un vertimiento directo e indiscriminado sobre el talud (Figura 41)



Figura 40 Árboles inclinados, evidencia de la reptación.



Figura 41 Canales en geotextiles impermeable alrededor de la corona y en la parte intermedia del deslizamiento.

En la parte inferior del movimiento (debajo del trazo de la vía) existe un levantamiento de la vegetación y obras hidráulicas preexistentes destruidas. Se estima que esta destrucción del canal

escalonado en concreto se debe a la actividad del movimiento en masa, en el que la parte superior se hundió y la parte inferior se levantó desplazando la obra hidráulica de su ubicación inicial (Figuras 42 y 43)



Figura 42 *Obra hidráulica (rápida escalonada) que sufrió un levantamiento*



Figura 43 *A) Árboles con la raíz levantada, localizados en la parte inferior del talud; B) Obra hidráulica (rápida escalonada) localizada en la parte inferior del talud que sufrió levantamiento*

Factores que llevaron a caracterizar y catalogar este movimiento como tipo rotacional en el que la vía pasa por la parte intermedia del movimiento, distinguido por formar una superficie cóncava en forma de “cuchara”, poseer agrietamientos en dirección del movimiento, hundimiento en el área superior en el que el deslizamiento es aparentemente semi-vertical y levantamiento en la parte inferior (Figura 44)

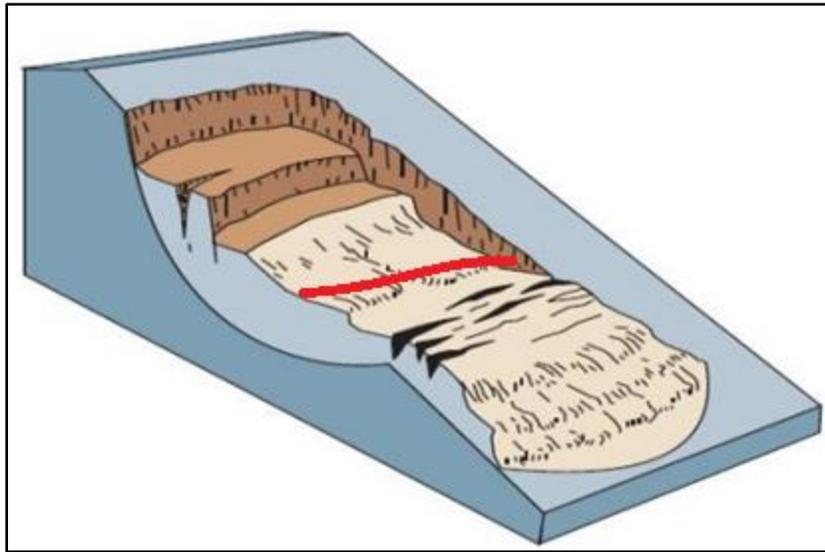


Figura 44 Esquema de deslizamiento de tipo rotacional. Línea roja que indica el trazado de la vía actual. Fuente: *The landslide handbook* (USGS,2008)

Otro de los aspectos a considerar sobre el punto, es el hecho de que la ladera superior tiene un componente hídrico superficial bastante importante, la cual ha generado un aprovechamiento como abastecimiento en las vecindades por medio de sistemas artesanales compuesto de tanques y mangueras (Figura 45).



Figura 45 aprovechamiento de las condiciones de la ladera.

Para determinar los diferentes procesos que actúan en la zona, se completó el formato de clasificación del Servicio Geológico Colombiano (Anexo 1)

EROSIÓN

A continuación, se mencionan los tipos de erosión presentes y causantes del movimiento en masa y deslizamientos que se produce sobre este punto de la vía La Merced – La Felisa

Erosión en cárcavas: Generando el avance frontal y lateral del deslizamiento por medio del desprendimiento de material, favorecido por la pendiente alta en la parte superior del talud. Debido a las grietas que se han generado en el suelo, se infiltra gran cantidad de agua, por lo que el talud superior permanece saturado y es más susceptible a deslizarse. El nivel freático aflora al nivel de la vía por lo que se han formado depósitos de agua en la cuneta de la vía.

Erosión laminar: Generada por el impacto de las gotas de lluvia contra la superficie del suelo, sumada a la fuerza del agua de escorrentía. El material alrededor del drenaje se encuentra

húmedo, pero no propiamente a causa del flujo de agua que viene del drenaje, sino de la saturación de agua filtrada que trae desde la parte superior del talud (figura 46).



Figura 46 Erosión hídrica alrededor de los drenajes

6.2 Punto crítico La Unión K 14+600 de la vía Aranzazu – Salamina

Este movimiento en masa está expuesto en rocas sedimentarias, arenitas y lodolitas carbonosas, intercalada con lodolitas feldespáticas, fisiles, altamente fracturadas y plegadas, expuestas en un talud de pendiente alta, que afecta desde la parte superior del talud hasta el nivel de la vía y mide aproximadamente 20 m de ancho y 35 m desde la vía hasta la corona superior del talud (Figura 47, 48).



Figura 47. Vuelo de dron febrero 2022 punto crítico Aranzazu- Salamina K14 + 600, Perímetro:319 m, Área: 6,12 m²



Figura 48 A) roca del talud expuesta a la intemperie, con altas pendientes, **B)** Verticalidad del talud de roca.

En el recorrido de campo no se observaron grietas en parte alta, lo que facilita la realización de cualquier tratamiento que se emplee para mejorar la estabilidad del sector. Igualmente, la pendiente se suaviza por lo que la parte alta tiende a ser más estable.

Es importante denotar la existencia de un flujo de agua que transita sobre el punto crítico, este se vierte sobre la vía y genera socavamiento en el material dispuesto a un costado de la carretera, al igual que, sobre la parte inferior del talud. Este flujo corre libremente sobre la ladera y hacia el río sin ningún manejo hidráulico. Otro aspecto de importancia encontrado en la visita, corresponde al mal manejo dado al material que se desprende del talud y bloquea la vía, este es arrojado hacia la banca con el fin de despejar la carretera, el material desprendido es arrastrado hacia la ladera sin medidas preventivas algunas, aumentando la inestabilidad en la zona, ya que al verter estos materiales se elimina la cobertura vegetal y se generan una superficie rocosa inestable (Figura 49).



Figura 49 A) Pérdida de la banca y material dispuesto inadecuado en el talud inferior de la vía B) abertura en el material dispuesto a un costado y a la parte inferior del talud

Debido a estos procesos erosivos, favorecidos por la pendiente de la ladera, se generan surcos que van desplazando material de diferentes tamaños (Figura 50).



Figura 50 Surcos, producto de los procesos erosivos en el talud

Este punto es catalogado como caída de rocas y de suelo que se genera en la ladera superior de la vía. El movimiento se encuentra a lo largo de una superficie de ruptura de roca con alto grado de fracturamiento y detritos que conforman la ladera sobre pendientes muy abruptas, lo que genera mayor susceptibilidad al desprendimiento y remoción en masa principalmente en periodos de lluvia, uno de los factores detonantes para este punto.

De acuerdo a la clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia. Los factores relacionados a la caída de roca se relacionan con las características estructurales en las que: la alternancia de areniscas y rocas lodosas (lodolitas, arcillolitas) favorecen la erosión diferencial y desprendimientos de roca. En este punto las causas contribuyentes obedecen a varios factores, tales como, el incremento en la meteorización de las rocas o los suelos, presiones intersticiales de agua que reducen gradualmente la estabilidad del terreno.

La alta incidencia, resulta también del uso del suelo que en el presente o en el pasado inmediato haya tenido el área de ladera en su parte alta. Por ejemplo, las labores de pastoreo y los cultivos limpios, los primeros aportan de manera negativa debido al fomento de zonas de recarga de aguas, y los segundos el problema de las raíces poco profundas en el suelo que no absorben el exceso de agua que al acumularse debilita el terreno haciendo que se desprenda, como en el caso de las pendientes inclinadas en las que el suelo y las rocas que se hallan detenidas por ellas se desprenden cuesta abajo (Figura 51).



Figura 51 A) Cultivos limpios; B) Viviendas en la parte superior del talud

Para determinar los diferentes procesos que actúan en la zona, se completó un formato de clasificación del Servicio Geológico Colombiano (Anexo 2)

A continuación, se definen y describen los tipos de movimientos en masa que ocurren en la zona de estudio:

Caídas, rodamientos y bloques erodados

Caída

Las caídas se deben al desprendimiento súbito de masas de roca o suelo desde la cara de laderas empinadas, precedido o no por volcamiento y seguido por lo general de rebote y rodamiento (Varner, 1978; Hutchinson 1988). Son comunes en laderas de roca dura y fuerte relieve, expuestas a meteorización y erosión. Los bloques de roca desprendidos se acumulan al pie de las laderas o los taludes, mezclados con pequeños detritos y tierras provenientes de rocas meteorizadas o de roca lodosa. En otros casos se fragmentan por impacto, y luego rebotan o ruedan ladera abajo.

La caída es un tipo de movimiento muy rápido a extremadamente rápido, exceptuando el caso de que la masa haya sido desestabilizada por eliminación de soporte inferior por excavación o erosión.

La eliminación de soporte se presenta principalmente en suelos cohesivos o rocas en la pata de laderas con fuerte pendiente, por erosión de corrientes o alguna acción semejante. El rango de velocidad de desplazamiento de los materiales desprendidos en las caídas varía de rápido a extremadamente rápido (3 m/min y a 5 m/s). Estos movimientos están controlados por la geometría y patrón de las discontinuidades y se deben por lo general a cortes en el pie de las laderas, vibraciones por equipos, maquinaria y sismos, meteorización o erosión por corrientes

Hay procesos erosivos que actúan y aumentan el deterioro de estos deslizamientos y que dependen de aspectos inherentes como: la litología, el grado de fracturamiento, meteorización,

altas pendientes y otros aspectos circunstanciales como el clima y el uso del suelo. A continuación, se mencionan los tipos de erosión que actúan en este punto

Erosión Hídrica: es la pérdida o remoción de materiales de suelo o roca ocasionada por el agua que se precipita y luego se infiltra o fluye por la superficie terrestre. El flujo de agua es el principal agente, pero también la humedad de suelo juega un papel muy importante

Erosión laminar: se inicia por el impacto de las gotas de lluvia contra la superficie del suelo, complementada por la fuerza de la escorrentía produciendo un lavado de la superficie del terreno, sin formar canales definidos, y levantando partículas del suelo (Suárez,1998).

Erosión en surcos. Los surcos de erosión se forman por la concentración del flujo del agua en caminos preferenciales, arrastrando las partículas y dejando canales de poca profundidad generalmente, paralelos. El agua de escorrentía fluye sobre la superficie de un talud y a su paso va levantando y arrastrando partículas de suelo, formando surcos. Los surcos forman una compleja micro red de drenaje donde un surco al profundizarse va capturando los vecinos, formando surcos de mayor tamaño, los cuales a su vez se profundizan o amplían formando cárcavas en forma de V que pueden transformarse a forma de U (Suárez,1998)

Erosión por flujo y roce de detrito: Hace parte el proceso de deterioro del movimiento, en la que el desprendimiento y transporte de partículas gruesas y finas en una matriz de agua y granos en forma de flujo seco o saturado (figura 52). Estos flujos mueven grandes volúmenes de material que al rodar pendiente abajo crean erosionan y cambian la topografía y forma del deslizamiento y a su vez pueden crear una amenaza moderada a alta (Suárez, 1998).



Figura 52 Procesos de deterioro en macizos rocosos Fuente: (Suárez, 1998)

6.3 Punto crítico Sector el bosque K 8+500 de la vía Asia - El cruce - Las Margaritas

Este punto crítico se encuentra sobre rocas de composición basáltica que involucra suelos provenientes de la meteorización de la misma roca, perteneciente a la Formación Barroso. En este punto se observa una socavación de la vía, esta socavación tiene un ancho de 20 m horizontal y una longitud desde la vía hasta el sitio más bajo de 80 m, así mismo, cuenta con una pendiente que supera los 40°. En la parte superior, se observa la pérdida del 50% del ancho de la banca en una longitud aproximada de 15 metros y a lo largo de la misma, también se observan múltiples surcos que se profundizan continuamente de acuerdo al incremento de las lluvias (Figura 53).



Figura 53 Toma aérea del punto crítico y la afectación actual del talud inferior derecho (en sentido hacia Asia, Realizada el 1 de marzo de 2022, **Fuente: Luis Carlos Cardona.**

El factor más relevante observado en la visita, es el manejo inadecuado del agua captada en la zona (mangueras de abastecimiento doméstico), en estas captaciones se observan fugas. Estas aguas de escorrentía por lluvia y de abastecimiento a fincas vecinas se vierten sobre el corredor vial y este no cuenta con un sistema de drenaje adecuado. De esta manera se vierte todo lo que le llega al talud inferior, generando su socavación lateral y de fondo, estas condiciones agravan de manera significativa el problema de este punto (Figura 54).



Figura 54 Agrietamientos en la corona superior del talud, cárcavas y surcos

Adicionalmente en la zona se observa el desarrollo de varias vías colindantes con el punto crítico, las cuales no se les observó ningún tipo de manejo de sus aguas de escorrentía superficial, estimando que las mismas se vierten directamente sobre la ladera, generando circunstancias no deseables para la estabilidad de los taludes (figura 55)



Figura 55 Vías colindantes al punto crítico

En la Figura 56, se evidencia el daño producido por la falta de conducción de aguas a nivel de la banca de la vía, donde las aguas de ambos sentidos de la vía convergen por ser topográficamente un punto más bajo.



Figura 56 Transporte de agua captada en mangueras para uso doméstico (Con evidencia de fugas)

Los procesos erosivos que se presenta en este punto crítico se clasifican como un movimiento en masa de tipo traslacional con una superficie de falla en suelo-roca que se evidencia en una socavación y pérdida de la banca producto de la erosión laminar y en surcos, por la mala canalización de las aguas de esorrentía. Es decir, influye mucho la alta pluviosidad de la zona, la deficiente canalización de las aguas y la diferencia de permeabilidad entre el suelo y la roca subyacente (Figura 57).

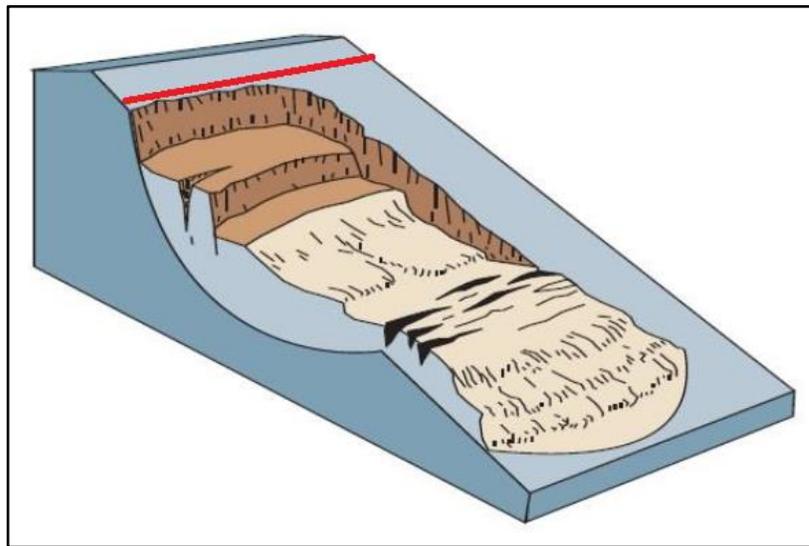


Figura 57 Esquema de deslizamiento de tipo traslacional. Línea roja que indica el trazo de la vía actual. **Fuente:** *The landslide handbook (USGS,2008)*

Para determinar los diferentes procesos que actúan en la zona, se completó el formato de clasificación del Servicio Geológico Colombiano (Anexo 003)

Los principales factores que influyen en el avance de los procesos erosivos son de origen antrópico: El inadecuado manejo de aguas de esorrentía y el inadecuado uso de los suelos, así como la falta de mantenimiento de las alcantarillas.

7. DISCUSIÓN

7.1 Punto crítico El Tambor K 2+000 de la vía La Merced – La Felisa

La vía principal de acceso al municipio de La Merced presenta varias afectaciones como hundimientos de la banca, deslizamientos de talud superior e inferior, socavación hídrica y caída de rocas. Esta situación genera permanentes interrupciones en el tráfico hacia el municipio, afectando a la población rural y urbana que deriva sus ingresos del comercio, la prestación de servicios en el sector oficial, como transporte y comercialización de bienes básicos y productos agropecuarios, además del turismo que se empieza a generar en el municipio. El punto que más interrupciones ha causado es el denominado El Tambor, que está situado en el K2+000 de la vía que de la cabecera urbana de La Merced comunica con el corregimiento de La Felisa.

Este fenómeno tuvo su origen durante la ola invernal de los años 2010-2011 que afectó gran parte del territorio nacional. Se trata de un movimiento de tipo rotacional, el cual está activo y sigue moviéndose muy lentamente, provocado por la saturación de los materiales en los estratos superiores que suprayacen a las rocas inferiores poco permeables. Aquí se involucran principalmente suelos residuales de rocas ultramáficas y cenizas volcánicas, los cuales se desplazaron rápidamente destruyendo la vía por completo. Desde el primer evento de remoción, el punto crítico ha permanecido activo generando hundimientos de la banca y taponamientos parciales de la misma, situación que afecta el tráfico vehicular por el sector.

Se debe impedir que se continúe depositando residuos de materia orgánica o escombros al costado de la vía que va hacia la parte inferior de la ladera, esto con el fin de no seguir cargando la parte media de la ladera y que se presenten problemas de erosión laminar y arrastre de detritos

o deslizamientos secundarios que comprometan la banca. Se debe buscar un sitio adecuado con licencia ambiental para su correcta disposición y en cuanto a las obras hidráulicas existentes deben recuperarse, realizando un mantenimiento, limpieza y destaponamiento, y de ser necesario, reparar la estructura para su correcto funcionamiento. Lo anterior, con el fin de evitar las constantes interrupciones de la vía, que generan retrasos en la prestación de servicios, la comunicación y abastecimiento de víveres y transporte de productos agrícolas a otros municipios.

7.2 Punto crítico La Unión K 14+600 de la vía Aranzazu - Salamina

La vía intermunicipal que comunica el municipio de Aránzazu con el municipio de Salamina en el occidente del departamento de caldas se ve continuamente afectadas debido a las formas del terreno, litología y factores estructurales que hacen que sea muy propenso a la ocurrencia de movimiento en masa provocados por la inestabilidad del terreno.

En el sector de La Unión, se presenta un deslizamiento catalogado como caída de rocas y de suelo que se genera en la ladera superior de la vía, producido por las altas pendientes que van desde abruptas a pendientes muy abruptas en el que los cultivos y la carencia de manejos de aguas en el talud, alteran el equilibrio natural de los suelos y rocas. La meteorización favorece el proceso de erosión y del movimiento en masa, lo que implica que sea un proceso de evolución del relieve en el que se evidencian procesos de erosión asociados al incremento en la dinámica torrencial de los drenajes en el cuerpo del deslizamiento, con la formación de surcos y cárcavas en el suelo desprotegido, que llevan a la incidencia de movimientos en masa, afectando directamente a los municipios implicados en la conexión con la capital del departamento. Esto interrumpe el

desarrollo normal de las actividades comerciales y además compromete la seguridad de aquellos que transitan esta vía.

Un punto a resaltar, corresponde a la solicitud de topografía y prospección realizados por el grupo de estudios y diseños a la Secretaría de Infraestructura Departamental, con el fin de elaborar un mejor análisis del punto crítico. Dentro de los cronogramas establecidos, estos insumos debían ser entregados el 29 de abril del 2022, pero a la fecha de finalización de este documento la información no fue entregada, con lo cual no fue posible profundizar en el análisis de obras correctivas que se puedan incluir en un proyecto de medidas a largo plazo.

7.3 Punto crítico Las Margaritas- Asia en el sector el Bosque K8+500

Este punto hace parte del corredor vial de la ruta Asia- El Crucero-Las Margaritas, que se localiza en la jurisdicción del municipio de San José, ubicado en el sector El Bosque en el K 8+500. Este se caracteriza por un proceso erosivo de socavación que afecta a la vía debido a la mala canalización de las aguas, esta condición produce inestabilidad y pérdida de la banca, generando continuas interrupciones del tráfico vehicular por este sitio. Visualizada y analizada la problemática del sector, se recomienda monitorear la evolución de grietas de tensión o escalonamientos que se puedan presentar en el terreno, ya que estos podrían marcar el desarrollo incipiente de un deslizamiento o la evolución de un proceso preexistente.

Es aconsejable hacer una reconversión de uso de suelo en este sector con cultivos de raíces más profundas que puedan ayudar a la estabilidad del terreno y de no ser posible, tratar de

implementar obras de contención bioingenieriles que permitan minimizar el efecto negativo de esta cobertura sobre la estabilidad del suelo.

Es importante realizar actividades de concientización con la comunidad para permitir el destaponamiento de las obras hidráulicas del corredor, las cuales permiten mantener la dinámica hídrica de la zona de manera adecuada, disminuyendo los riesgos. De igual forma se requiere instruir a la comunidad en el adecuado manejo de la escorrentía superficial para las vías que se han desarrollado evitando así que se generen más problemas a futuro.

Se requiere realizar todos los estudios propuestos desde la parte geotécnica para brindar la estabilidad definitiva en el punto (Perforaciones + líneas sísmicas), donde posteriormente contemplando la propuesta de contención se implementarán las obras hidráulicas necesarias para el adecuado manejo de la escorrentía en el punto y evitar su afectación, tanto en la obra actual como en las vías aledañas

8. CAPÍTULO V: ALTERNATIVAS Y RECOMENDACIONES

8.1 Punto crítico El Tambor K 2+000 de la vía La Merced – La Felisa

8.1.1 Medidas de mitigación a corto plazo

La vía está ubicada en la parte media de la masa del deslizamiento y en esto radica la complejidad de este punto crítico, las medidas y obras de mitigación a corto plazo se deben abordar con el manejo adecuado de aguas de escorrentía y el correcto drenaje de las mismas, esto con el fin de disminuir el agua de infiltración en las grietas y escarpes, ubicados en la cara de la ladera, que generan peso a la masa de suelo fallada, disminuyendo el esfuerzo efectivo del suelo y por ende su resistencia a los esfuerzos cortantes. Algunas medidas a corto plazo son:

- **Disposición de residuos y escombros**

Se debe impedir la depositación de residuos de materia orgánica o escombros al costado de la vía que va hacia la parte inferior de la ladera (Figura 58), esto con el fin de no seguir cargando la parte media de la ladera y evitar así problemas de erosión laminar y arrastre de detritos o deslizamientos secundarios que comprometan la banca de la vía. Se debe buscar un sitio adecuado con licencia ambiental para su correcta disposición.



Figura 58 Mala disposición de escombros y residuos que sobrecargan la parte media de la masa deslizante.

- **Recuperación de obras hidráulicas existentes**

Durante el recorrido en campo se observaron dos obras hidráulicas existentes, un *box culvert* y una alcantarilla transversal a la vía. Se les debe realizar mantenimiento, limpieza y destaponamiento, y de ser necesario reparar la estructura para su correcto funcionamiento ver (Figura 59).



Figura 59 A) Alcantarilla colmatada sin funcionamiento; B) Box Culvert con poco o nulo funcionamiento

- **Sellamiento de grietas de tensión y escarpes**

Las grietas en el terreno, permiten la infiltración de aguas lluvias y de escorrentía, por lo que se deben tapar e impermeabilizar, pero pueden ser utilizadas como canales de recolección para evitar el acceso del agua al escarpe principal. (tomado del “Manual de procedimientos para el manejo de procesos denudativos con obras de bioingeniería”, CAR y Universidad de Caldas)

Para el sellamiento de las grietas, se debe proceder de la siguiente manera:

- Se deben excavar las grietas de tensión a una profundidad mayor que la alcanzada por la misma. Puede involucrar uno o dos de sus lados.
- Posteriormente, se apisona la parte profunda de la excavación, utilizando el material de la excavación o material arcilloso de otro lugar.
- Si el material arcilloso de la zona, está muy húmedo, se puede mezclar con cal y luego apisonar con el pisón de madera.
- Por último, se rellena la excavación, compactando el material, para que desaparezca la grieta.

- **Canales triangulares talud superior**

Para mitigar los efectos que produce la escorrentía superficial no controlada sobre la parte superior de la ladera desde el componente de hidráulica, se propone la construcción de canales

provisionales de sección triangular construidos con lata de guadua, esterilla, geotextil no tejido y plástico tal como se muestra a continuación:

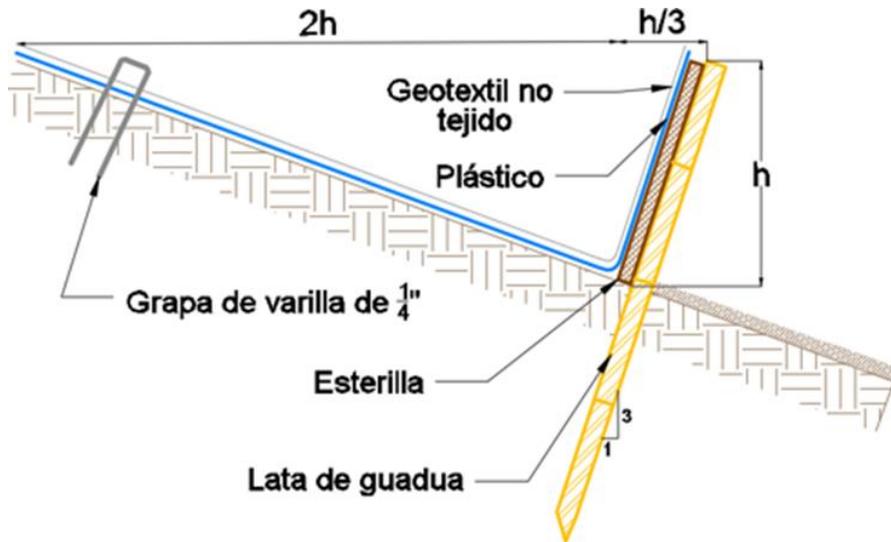


Figura 60 Esquema de canal triangular provisional para conducción de aguas de escorrentía, propuesto en el Anexo de mitigación punto crítico La Merced - La Felisa (El Tambor),
Fuente: Carlos Enrique Escobar Potes

Este modelo de canal triangular se debe construir con el fin de canalizar las aguas de escorrentía que se producen en la corona, parte alta y media alta de la ladera y encausarlas ordenadamente hacia las obras hidráulicas existentes previamente recuperadas (Anexo 4).

- **Trinchos Escalonados con Vertederos.**

Para darle continuidad al manejo de agua de escorrentía en la corona, parte alta y media alta de la ladera, se propone la construcción de un trincho escalonado con vertedero en guadua para disipar la energía con la que va bajando el agua. A continuación, se muestra en detalle la sección transversal del trincho (Anexo 4).

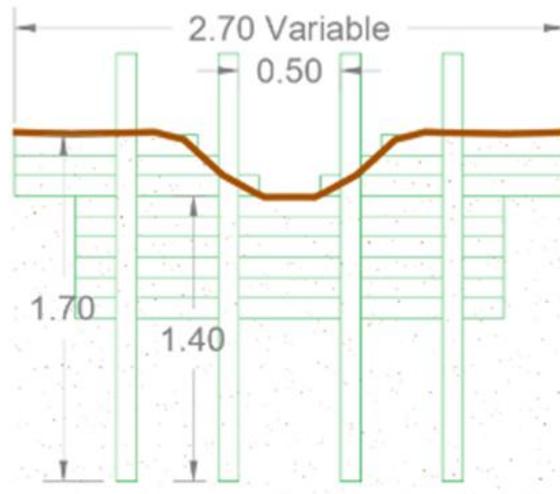


Figura 61 Sección transversal trincho escalonado con vertedero

Detalle del trincho escalonado con vertedero propuesto en el Anexo de mitigación punto crítico La Merced - La Felisa (El Tambor)

8.1.2 Medidas Correctivas (Mediano Y Largo Plazo)

Con el objetivo de plantear obras de estabilidad definitivas se debe proceder inicialmente a realizar una prospección geotécnica lo suficientemente robusta para establecer a detalle el perfil estratigráfico del suelo y obtener los parámetros geomecánicos de diseño, lo anterior por medio de ensayos de laboratorio y sondeos (Tabla 11).

Prospección Geotécnica y Topografía

PRISPECCIÓN PUNTO CRITICO LA MERCED - LA FELISA K2+000		
TIPO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
SONDEOS	Perforación mecánica en suelo (m)	24
	Perforación manual (m)	36
	Perforación mecánica en roca (m)	60
	SPT (u)	25
ENSAYOS DE LABORATORIO	Calsificación del suelo (u)	25
	Granulometría con lavado de finos (u)	25
	Humedades (u)	25
	Limites de consistencia (u)	25
	Compresión inconfiada en suelos (u)	6
	Compresión inconfiada en rocas (u)	3
	Corte Directo (u)	10
GEOFÍSICA	LSR (u)	240
TOPOGRAFÍA	Ancho talud superior (u)	100
	Ancho talud inferior (u)	100
	Longitud Total (u)	200

Tabla 11 *Prospección geotécnica para Punto crítico El Tambor K 2+000 de la vía La Merced – La Felisa, Fuente: Componente Geotécnico, Gobernación de Caldas*

Obras Definitivas A Largo Plazo

Como obra de estabilidad definitiva, se propone un muro de contención, con cimentación profunda y con anclajes activos, que se ubicaría longitudinalmente en la banca inferior de la vía. Esta solución es una alternativa que se adopta inicialmente y que está sujeta a modificarse dependiendo de los resultados de la prospección geotécnica y la topografía.

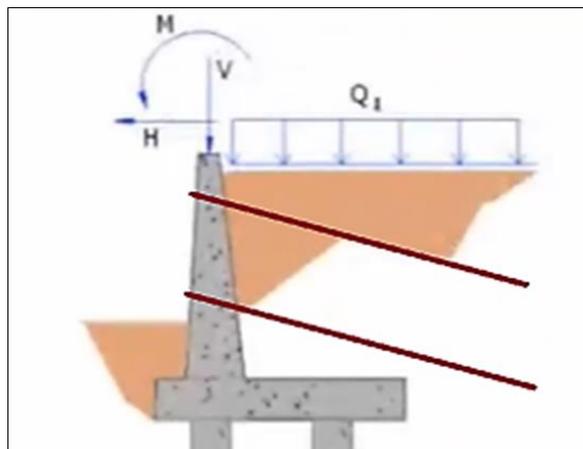


Figura 62 *Esquema sección transversal del muro de contención con cimentaciones profundas y anclajes, Fuente: Edgar Anturi, geotecnista gobernación de Caldas.*

8.2 Punto crítico La Unión K 14+600 de la vía Aranzazu – Salamina

8.2.1 Medidas de mitigación (corto plazo):

Como medidas preventivas de drenaje se deben ejecutar trabajos en la parte alta del talud, que consisten en buscar disminuir e interceptar el agua que ingrese a sitios críticos, con obras superficiales como zanjas que captan y conducen las aguas a sitios más indicados; lo anterior con el fin de mejorar la estabilidad del sector comprometido y así reducir la infiltración. Entendiéndose que uno de los mayores detonantes de la inestabilidad de los materiales expuestos en el sitio crítico, son los procesos asociados a la erosión hídrica, es de suma importancia dar un manejo prudente a las aguas de escorrentía superficial, por lo que se recomienda 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 la parte alta (corona), media y flancos, tales como zanjas de coronación y canaletas; interceptación en contacto suelo –roca, etc.

Se recomienda realizar el adecuado mantenimiento a las obras identificadas en la zona, las condiciones de estas son de gran trascendencia para el adecuado funcionamiento del corredor vial.

Se propone que el manejo de la escorrentía superficial en la corona del movimiento sea realizado mediante la construcción de canales provisionales de sección triangular construidos con lata de guadua, esterilla, geotextil no tejido y plástico, tal como se indicó para el anterior punto crítico.

Recuperar la operabilidad de todas las obras de drenaje cercanas al proceso, y las demás que puedan estar taponadas, y mejorar los sistemas de conducción de estas aguas sobre las laderas, evitando al máximo la erosión hídrica.

También es importante mencionar que deben cambiarse las acciones de intervención en los momentos que hay desplazamiento de material, no se debe disponer el material.

8.2.2 Medidas Correctivas (mediano plazo):

Para brindar una solución correctiva y definitiva se deberían plantear estudios detallados geológicos-geotécnicos, que tengan como finalidad, aportar con el conocimiento necesario para que se plantee a nivel de factibilidad, las alternativas de medidas de mitigación para la gestión integral de los procesos que pueden ocurrir en la zona. Estos estudios serán la base para diseñar a nivel ejecutivo las mejores alternativas en cuanto a obras de ingeniería que permitan remediar los impactos y evitar riesgos en las zonas aledañas. Para estos estudios, se requiere lo siguiente:

- Realizar una campaña de prospección geotécnica y topografía de detalle acorde con la magnitud del deslizamiento y características del proceso de inestabilidad (Tabla 12) realizada por el componente Geotécnico, Gobernación de Caldas

Abscisado P.C		K14+600
Perforación mecánica en suelo (m)		12
Perforación mecánica en roca (m)		18
SPT (u)		20
Clasificaciones (u)		6
Granulometría con lavado de finos (u)		6
Humedades (u)		6
Límites de consistencia (u)		6
Compresión inconfiada en suelos (u)		1
Compresión inconfiada en roca (u)		2
Corte Directo (u)		4
LRS (u)		1 de 100m
Requerimientos en topografía	Ancho talud superior (m)	50
	Ancho talud inferior (m)	50
	Longitud (m)	100

Tabla 12 Prospección geotécnica para Punto crítico La Unión K 14+600 de la vía Aránzazu – Salamina, **Fuente:** Componente Geotécnico, Gobernación de Caldas

Dentro de las soluciones que se están evaluando se encuentra la instalación de mallas de protección contra caídas e intemperismo, ya que dichas mallas combinadas con geomanto y pernos, podrían cubrir la totalidad de la superficie donde se expone la problemática, limitando desprendimientos, impidiendo la salida de cualquier fragmento rocoso o arenoso según sea el tipo al exterior. Esta alternativa, también evita el intemperismo adicional, puesto que el geomanto puede promover el crecimiento de cobertura vegetal.



Figura 63 Esquema idealizado de protección de talud con lodo fertilizado, geotextil manto y malla. **Fuente:** Solución verde para estabilización y control de erosión en taludes, WAVIN.

8.3 Punto crítico Sector el bosque K 8+500 de la vía Asia - El cruce - Las Margaritas

8.3.1 Medidas de mitigación (corto plazo):

- Se recomienda proteger el talud expuesto con material de tipo polietileno negro (plástico negro) impidiendo continuar con la socavación generada por el flujo superficial como la generada por la actividad climática de la zona (precipitaciones).

- Como principal medida para atender la situación en el punto crítico denominado “El Bosque”, se recomienda implementar obras de drenaje, para el manejo de aguas de escorrentía tales como: rondas de coronación, drenes o cualquier otro elemento, que mitiguen el impacto que tiene el tránsito del agua sobre la estabilidad de la ladera. Es necesario que todas las obras transversales aledañas al punto crítico se encuentren limpias y funcionales para la correcta evacuación de aguas hasta la parte inferior del talud y evitar la infiltración en la parte superior, para impedir la saturación de los suelos y el deterioro temprano de las estructuras que se diseñen para dar solución al punto.

Obras de drenaje para control de aguas de escorrentía (Propuesta Ingeniero Hidráulico Andrés Mauricio Zapata Ocampo)

Se hace necesario realizar un ordenamiento de las aguas en el sector para evitar que sigan discurriendo libres por la zona de fallo. Como primera medida, se deben limpiar y habilitar las alcantarillas aledañas que actualmente se encuentran taponadas por material de arrastre e incluso por la comunidad del sector, quienes argumentan que dichas aguas perjudican la integridad de unas placas huellas vecinales. Como se ilustra en la imagen a continuación, la ODT (obra de drenaje transversal) 1 corresponde a una obra de encole taponada y la ODT 2 corresponde a una alcantarilla que podría dar salida al agua que se logre captar en sentido Crucero – Asia y que actualmente se encuentra tapada:



Figura 64 Ortofoto del punto crítico, con ubicación de puntos de obras hidráulicas relevantes, **Fuente:** Andrés Mauricio Zapata Ocampo

En este momento no es claro hacia donde realiza el descole la ODT 1 porque todas las obras alrededor se encuentran taponadas u ocultas, pero es de vital importancia que se corte el flujo de aguas actual en la cuneta del costado derecho y se logre encauzar esas aguas hacia la línea de drenaje que las entrega a la ODT 3.

En la Figura 65 se resumen las obras e intervenciones propuestas para el sitio en un plano en planta. Dadas las condiciones del sitio que corresponde a un punto bajo en la vía, se recomienda construir dos resaltos (en amarillo) que ayuden a desviar el flujo de agua.

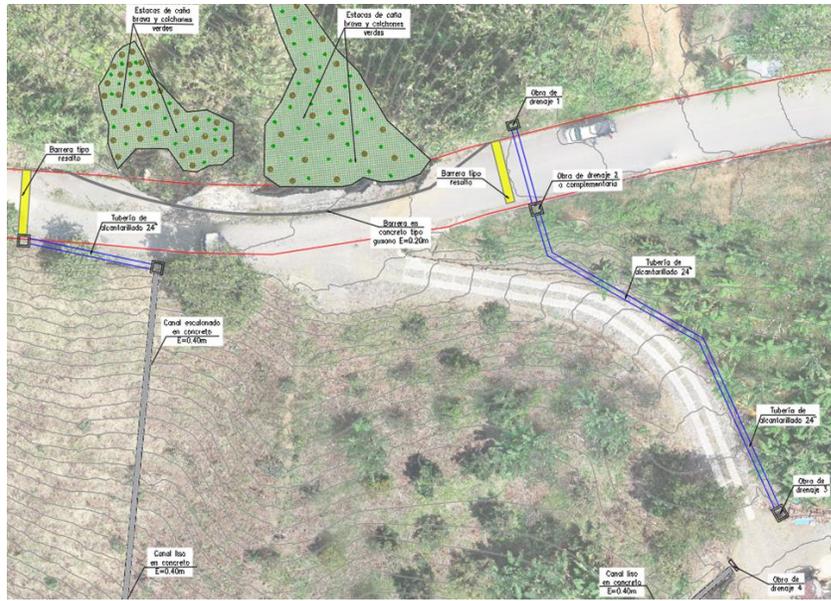


Figura 65 Plano en planta con obras e intervenciones propuestas, **Fuente:** Andrés Mauricio Zapata Ocampo

- Establecimiento de vegetación en la zona afectada

Una vez que se ordenen las aguas de escorrentía, se pueden implementar coberturas vegetales que protejan las zonas afectadas del intemperismo, mientras se acude a una solución definitiva con la cual pueda recuperarse el ancho de la vía.

Siendo una roca de composición basáltica muy alterada la que se encuentra actualmente expuesta en la ladera derecha y con fuertes pendientes, se recomienda la instalación de estacas de caña brava de castilla (*Ginerium sagittatum*) mediante hincado, las cuales se envuelven en papel bond o periódico, con una capa de suelo orgánico al interior recubriendo la estaca. Se propone la instalación de aproximadamente 5 estacas por m², repartidas uniformemente sobre el área a

intervenir. Adicional a esta especie, también se pueden instalar estacas de Nacedero (*Trichanthera gigantea*).

Se recomienda igualmente, además del estacado, extender en toda el área erosionada rastrojo de la misma vegetación pionera que se encuentra en las inmediaciones del punto crítico.

8.3.2 Medidas correctivas (mediano y largo plazo):

Se deben realizar estudios geológicos-geotécnicos que tengan como finalidad, aportar con el conocimiento necesario para que se plantee a nivel de factibilidad, las alternativas de medidas de mitigación para la gestión integral de los procesos que de no ser intervenidos pueden evolucionar de manera desfavorable para la infraestructura vial. Estos estudios serán la base para diseñar a nivel ejecutivo las mejores alternativas en cuanto a obras de ingeniería que permitan remediar los impactos y evitar riesgos en las zonas aledañas

9. CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

- A partir de las visitas de campo que se realizaron se identificaron y caracterizaron los puntos críticos: La merced+ La Felisa, el tambor. K2+000, Aránzazu - Salamina, la unión K14+600 y El crucero-las margaritas, sector el bosque K8+500. Estos fueron obtenidos a partir de la lista de priorización de puntos críticos del departamento de Caldas, elaborada por la secretaría de infraestructura y fueron elegidos para el presente trabajo, puesto que representan los diferentes movimientos en masa con mayor incidencia en nuestro territorio y permiten abordar múltiples perspectivas para lograr el análisis descriptivo del presente trabajo.
- Derivado del análisis y la evaluación descriptiva, pudo establecerse que los componentes que actúan para que se generen los movimientos en masa son los factores contribuyentes y detonantes. Respecto de los factores contribuyentes, se hallan las unidades de suelo superficial, la geología estructural, la geomorfología y la hidrogeología y en los factores detonantes la lluvia y los sismos. Para el caso específico de los factores detonantes, se identificó que son potencializados a su vez por los factores contribuyentes más influyentes entre ellos: i) El agua debido a la mala canalización e inadecuado manejo de aguas, ii) Las unidades de suelo superficial y tipos de suelo involucrados tales como las capas de suelo residual, capas de ceniza no compactados, el grado de meteorización y fracturamiento de la roca y iii) La geomorfología, evidenciado en las geoformas y las pendientes abruptas.
- El desarrollo del presente trabajo permitió la elaboración de una representación cartográfica y a partir de este se construyeron otros mapas (mapas geomorfológicos y de pendientes) lo cuales constituyen insumos de gran utilidad para la contextualización geológica de

cada uno de los puntos tratados y que podrán ser tenido en cuenta como información base para la construcción y diseño de futuras obras de contención para estos puntos críticos.

- A partir del análisis descriptivo obtenido para cada uno de los puntos críticos se verificó la presencia de tres tipos de movimientos (rotacional, caída de rocas y traslacional) Tal y como se describe a continuación:

i) Punto crítico La Merced- La Felisa K 2+ 000, sector el tambor. Presenta un movimiento en masa de tipo rotacional profundo, el cual está activo y sigue moviéndose muy lentamente, este ha sido provocado por la saturación de los materiales en los estratos superiores que suprayacen suelos y saprolitos derivados de rocas poco permeables.

ii) Punto crítico Aránzazu – Salamina Sector L a Unión, k14+600. Existe un movimiento en masa catalogado como caída de rocas y de suelo que se genera en la ladera superior de la vía, a causa de pendientes muy abruptas, donde los cultivos limpios y la carencia de manejo de aguas en el talud alteran el equilibrio natural de los suelos y rocas, ocasionando problemas de erosión.

iii) Punto crítico Crucero- Asia - Las Margaritas, sector el bosque K8+500. Presenta un movimiento en masa de tipo traslacional con una socavación producto de la humedad en el suelo por aguas de escorrentía y sub superficiales, esto ocasiona procesos erosivos, que generan con el aumento de las presiones intersticiales, al saturarse, un decremento de los esfuerzos efectivos, desestabilizando y reduciendo las fuerzas resistentes.

- De acuerdo a la caracterización y denominación de los movimientos en masa identificados para cada punto, se plantean soluciones adecuadas y se proponen medidas de corrección y mitigación las cuales se traducen en alternativas para reducir las afectaciones técnicas, sociales y económicas. Entre las alternativas propuestas se encuentran las obras de mitigación (corto plazo), así: Disposición de residuos y escombros, recuperación de obras hidráulicas existentes, manejo de aguas de escorrentía superficial, sellamiento de grietas de tensión y escarpes, construcción de canales triangulares talud superior, construcción de trinchos escalonados con vertederos, proteger el talud expuesto con material de tipo polietileno negro, entre otras. Y las obras de contención (mediano y largo plazo), así: Realización de campañas de prospección geotécnica y topografía de detalle acorde con la magnitud del deslizamiento y características del proceso de inestabilidad, construcción de obras hidráulicas, establecimiento de vegetación en la zona afectada.

- Finalmente, de no implementarse las alternativas previamente propuestas, es decir, no intervenir los puntos críticos se obtendría como consecuencia **i)** El continuo deterioro de la infraestructura y la posibilidad del colapso de la vía **ii)** La interrupción del tránsito y la comunicación intermunicipal que a su vez se traduce en la interrupción del intercambio y comercialización de materias primas, impactando directamente el componente económico de la región **iii)** Lo anterior conlleva a el deterioro de la calidad de vida de los habitantes e incluso el riesgo de pérdida de vidas humanas.

10. REFERENCIAS

Álvarez, E. & González, H., (1978). Geología y geoquímica del Cuadrángulo I-7 (Urrao). Ingeominas. Informe 1761. Medellín. 347P.

Álvarez, J. (1983). Geología de la Cordillera Central y el Occidente colombiano y petroquímica de los intrusivos granitoides Mesocenozóicos. Boletín Geológico, 26(2), 1-175.

Álvarez, J., (1985). Ofiolitas y Evolución Tectónica del Occidente Colombiano. INGEOMINAS, Inf. 1988, 30 p., Medellín.

Avellaneda-Jiménez, D. S., Cardona, A., Valencia, V., Barbosa, J. S., Jaramillo, J. S., Monsalve, G., & Ramírez-Hoyos, L. (2020). Erosion and regional exhumation of an Early Cretaceous subduction/accretion complex in the Northern Andes. International Geology Review, 62(2), 186-209.

Colombia. Boletín Geológico, 35(2-3), 44-57.

Cruden, D. M. & Varnes D. J. 1996. Landslide Types and Processes. In Special Report 247 Landslides Investigation and Mitigation. Turner, A. K. and Schuster R. L. (eds.) TRBNRC, National Academy Press: Washington, pp. 36-75.

Escobar-Potes, C., & Duque Escobar, G., (2017.) Geotecnia para el Trópico Andino. Universidad Nacional de Colombia.

Gómez-Cruz, A. D. J., Sánchez, M. M., & Pardo-Trujillo, A. (1995). Edad y origen del “complejo metasedimentario Aranzazu-Manizales” en los alrededores de Manizales (departamento de Caldas, Colombia). *Geología Colombiana*, 19, 83-93.

González Iregui, H. (1980). *Geología De Las Planchas 167 (Sonson) Y 187(Salamina) Escala 1:100000*. Bogotá: Boletín de Geología, Ingeominas.

González, H. (1980). "Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina)." Boletín Geológico, Ingeominas

González, H. (2001). *Geologia de las planchas 206 Manizales y 225 Nevado del Ruiz*. Bogotá: Ingeominas.

Maya, M., & González, H. (1995). Unidades litodémicas en la Cordillera Central de

Montero, J., (2017). Clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos Geológicos de Colombia, SGC.

Moreno-Sánchez, M., Gómez-Cruz, R. D. J., & Toro-Toro, L. M. (2007). Proveniencia del material clástico del Complejo Quebradagrande y su relación con los complejos estructurales adyacentes. *boletín de ciencias de la tierra*, 1(22), 27–38.

Moreno-Sánchez, M., Hincapié-Jaramillo, J., Ossa, Meza., Augusto, C., & Toro- Toro, L. M. (2016). Caracterización geológico-estructural de algunas zonas de cizalla en el Complejo Quebradagrande en los alrededores de Manizales y Villamaría. *Boletín de Geología*, 38(4), 15-27.

Nivia, A., Marriner, G. F., Kerr, A. C., & Tarney, J. (2006). The Quebradagrande complex: a lower cretaceous ensialic marginal basin in the Central Cordillera of the Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 21(4), 423-436.

Restrepo, J.J. & Toussaint, J.F. 1973. Obducción cretácea en el occidente colombiano. *Publicación Especial de Geología*, (3): 1–26. Medellín.

RIVERA, J., et al (2013) Manual de procedimientos para el manejo de procesos denudativos con obras de bioingeniería. CAR y Universidad de Caldas. Bogotá.

Rodríguez, G., & Arango, M. I. (2013). Formación Barroso: arco volcanico toleitico y diabasas de San José de Urama: un prisma acrecionario T-MORB en el segmento norte de la Cordillera Occidental de Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (33), 17-38.

Rodríguez, E., et al (2017) Guía Metodológica Para La Zonificación De Amenaza Por Movimiento En Masa Escala 1:25.000. Capitulo uno, definiciones 21.

Servicio Geológico Colombiano (S.G.C). (2013), memoria explicativa geomorfológica plancha 187 departamento de Caldas y Antioquia. Volumen No.1

Servicio Geológico Colombiano (S.G.C). (2017). Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25.000. Bogotá.

Spikings, R., Cochrane, R., Villagomez, D., Van der Lelij, R., Vallejo, C., Winkler, W., & Beate, B. (2015). The geological history of northwestern South America: from Pangaea to the early collision of the Caribbean Large Igneous Province (290–75 Ma). *Gondwana Research*, 27(1), 95-139.

Suarez, J., (1998) Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales, Capítulo 1 Caracterización de movimientos

Suarez, J., (2012) Deslizamientos. Tomo II: Técnicas de Remediación, Capítulo I: Técnicas de Manejo y Estabilización.

Varnes, D. J., (1978). Slope Movement Types and Processes. En Special Report 1976: Landslides Analysis and control (R. L. Schuster and R. J. Krizec, eds). TRB-NRC Washington D. C.

Villagómez, D., & Spikings, R. (2013). Thermochronology and tectonics of the Central and Western Cordilleras of Colombia: Early Cretaceous–Tertiary evolution of the northern Andes. *Lithos*, 160, 228-249.

FORMATO MODIFICADO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA Vs 2012

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas

IMPORTANCIA*

Alta Media Baja

DATOS DE REGISTRO											
ENCUESTADOR* Laura Sofia Aguirre Naranjo	FECHA EVENTO*			FECHA REPORTE*			INSTITUCIÓN*		COD. GRUPO		COD. SIMMA
	DD	MM	AA	DD	MM	AA	Gobernación de Caldas				

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA				DOCUMENTACION											
POR DIVISION POLITICA	COORDENADAS GEOGRAFICAS			REFERENTES GEOGRAFICOS			PLANCHAS			FOTOGRAFIAS AEREAS					
Departamento* Caldas	Sitio* El Tambor						PLANCHAS	AÑO	ESCALA	EDITOR	Nro Vuelo	Nro Foto	Año	Escala	Editor
	Lat (GMS)* 05°24'21.8"N						187								
Municipio* La Merced	Long (GMS)* 75°33'27.73"W						Transformada a Datum MAGNA SIRGAS 2013			04/11/2021					
Vereda* El Tambor	Altura* 1625 msnm						Escala 1:100.000			Mauricio Betancourt					
	Proyeccion: Magna *						Humberto Gonzalez I., Sigifredo Agudelo, y Bernardo Calle Z.								

ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO				LITOLOGIA Y ESTRUCTURA																														
EDAD	ESTADO	ESTILO	DISTRIBUCION	DESCRIPCION						ESTRUCTURA			ORIENTACIÓN			ESPACIAMIENTO (m)																		
< 1 año <input type="checkbox"/>	21-30 años <input type="checkbox"/>	Activo <input type="checkbox"/>	Complejo <input type="checkbox"/>	Retrogresivo <input checked="" type="checkbox"/>							Estructura			DR			BZ			>2			2-0.6			0.6-0.2			0.2-0.06			<0.06		
1-5 años <input type="checkbox"/>	31-40 años <input type="checkbox"/>	Reactivado <input checked="" type="checkbox"/>	Compuesto <input checked="" type="checkbox"/>	Avanzado <input checked="" type="checkbox"/>							Planos de																							
6-10 años <input type="checkbox"/>	41-60 años <input type="checkbox"/>	Suspendido <input type="checkbox"/>	Múltiple <input type="checkbox"/>	Ensanchado <input type="checkbox"/>							Estratificación <input type="checkbox"/>																							
11-15 años <input checked="" type="checkbox"/>	61-80 años <input type="checkbox"/>	INACTIVO <input type="checkbox"/>	Sucesivo <input type="checkbox"/>	Confinado <input type="checkbox"/>							Foliación <input type="checkbox"/>																							
16-20 años <input type="checkbox"/>	> 80 años <input type="checkbox"/>	Latente <input type="checkbox"/>	Único <input type="checkbox"/>	Creciente <input type="checkbox"/>							Diaclasas <input type="checkbox"/>																							
		Abandonado <input type="checkbox"/>		Decreciente <input type="checkbox"/>							Falla <input type="checkbox"/>																							
		Estabilizado <input type="checkbox"/>		Móvil <input type="checkbox"/>							Discordancia <input type="checkbox"/>																							
		Relicto <input type="checkbox"/>									Esquistosidad <input type="checkbox"/>																							

Nota: Incluir minimo origen de la roca, (I, M ó S) Edad, Fm, Litología y estratigrafía, suelos

NOTA: DR: Dirección de buzamiento, BZ: Buzamiento

CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO																							
TIPO MOVIMIENTO			SUBTIPO MOVIMIENTO									TIPO MATERIAL		HUMEDAD		PLASTICIDAD							
Caída <input type="checkbox"/>	1*	2	Caída de roca <input type="checkbox"/>	1*	2	Desliz. traslacional <input type="checkbox"/>	1*	2	Desliz. por flujo <input type="checkbox"/>	1*	2	Desliz. licuación detritos <input type="checkbox"/>	1*	2	Roca <input type="checkbox"/>	1	2	Mojado <input type="checkbox"/>	1	2	Alta <input type="checkbox"/>	1	2
Volcamiento <input type="checkbox"/>			Caída de detritos <input type="checkbox"/>			Desliz. en cuña <input type="checkbox"/>			Avalancha de detritos <input type="checkbox"/>			Desliz. licuación roca fracturada <input type="checkbox"/>			Detritos <input checked="" type="checkbox"/>			Muy Húmedo <input type="checkbox"/>			Media <input type="checkbox"/>		
Deslizamiento <input checked="" type="checkbox"/>	X		Caída de tierras <input type="checkbox"/>			Desliz. traslacional en cuña <input type="checkbox"/>			Flujo de tierra <input type="checkbox"/>			Propag. lateral lenta <input type="checkbox"/>			Tierra <input checked="" type="checkbox"/>			Húmedo <input checked="" type="checkbox"/>			Baja <input checked="" type="checkbox"/>		
Flujo <input type="checkbox"/>			Volcam. flexural de roca <input type="checkbox"/>			Desliz. traslacional planar <input type="checkbox"/>			Crecida de detritos <input type="checkbox"/>			Propag. lateral licuación <input type="checkbox"/>			Lodos <input checked="" type="checkbox"/>			Liger. húmedo <input type="checkbox"/>			No plástico <input type="checkbox"/>		
Propagación Lateral <input type="checkbox"/>			Volcam. de roca <input type="checkbox"/>			Avalancha de rocas <input type="checkbox"/>			Flujo de turba <input type="checkbox"/>			Reptación de suelos <input type="checkbox"/>			Turba <input type="checkbox"/>			Seco <input type="checkbox"/>					
Reptación <input checked="" type="checkbox"/>	X		Volcam. macizo rocoso <input type="checkbox"/>			Flujo de detritos <input type="checkbox"/>			Desliz. licuación de arena <input type="checkbox"/>			Soliflucción <input type="checkbox"/>			NOTA: 1: Primer movimiento, 2:								
Deform. Gravit. Profundas <input type="checkbox"/>			Desliz. rotacional <input checked="" type="checkbox"/>	X		Flujo de lodo <input type="checkbox"/>			Desliz. licuación de limo <input type="checkbox"/>			Geliflucción (en permafrost) <input type="checkbox"/>											

ORIGEN SUELO		TIPO DEPOSITO (Origen suelo sedimentario)				VELOCIDAD			SISTEMA DE CLASIFICACIÓN*		
Residual <input checked="" type="checkbox"/>	Coluvial <input type="checkbox"/>	Aluvial <input type="checkbox"/>	Lacustre <input type="checkbox"/>	Extr. rápido (>5 m/s) <input type="checkbox"/>	Moderado (>13 m/mes) <input type="checkbox"/>	Extr. Lento (<16 mm/año) <input type="checkbox"/>	Hutchinson, 1988 <input type="checkbox"/>			Cruden v Varnes, 1996 <input type="checkbox"/>	
Sedimentario <input type="checkbox"/>	Volcánico <input checked="" type="checkbox"/>	Eolico <input type="checkbox"/>	Marino <input type="checkbox"/>	Muy rápido (>3 m/min) <input type="checkbox"/>	Lento (>1.6 m/año) <input checked="" type="checkbox"/>		Varnes, 1978 <input checked="" type="checkbox"/>			Hungry et al., 2001 <input type="checkbox"/>	
		Glacial <input type="checkbox"/>		Rápido (>1.8 m/hr) <input type="checkbox"/>	Muy lento (>16 mm/año) <input type="checkbox"/>		V _{máx}			V _{mín}	

GENERAL		DIMENSIONES DEL TERRENO				DEFORMACIÓN TERRENO		GEOFORMA	
Diferencia de altura corona a punta (m)	220 m	Ancho de la masa desplazada Wd (m)	100 m	Volumen inicial (m3)	2.3 Ha	MODO			
Longitud horizontal corona a punta (m)	200 m	Ancho de la superficie de ruptura Wr (m)	100 m	Volumen desplazado (m3)	3.5 Hc	Ondulación <input checked="" type="checkbox"/>			
Fahrböschung (grados)		Longitud de la masa desplazada Ld (m)		Área inicial (Km2)		Escalonamiento <input checked="" type="checkbox"/>			
Pendiente de ladera en Post-falla (grados)		Longitud de superficie de ruptura Lr (m)	125 m	Área total afectada (Km2)		SEVERIDAD			
Pendiente de ladera en Pre-falla (grados)		Espesor de la masa desplazada Dd (m)	8 m	Run up (m)		Leve <input type="checkbox"/>			
Dirección del movimiento (grados)	N30E	Profundidad de superficie de ruptura Dr (m)		Distancia de viaje (Km)		Media <input type="checkbox"/>			
Azimut del talud (grados)		Longitud total L (m)				Severa <input checked="" type="checkbox"/>			

INHERENTES			CAUSAS DEL MOVIMIENTO						
Material plástico débil <input type="checkbox"/>	Material fisurado y agrietado <input checked="" type="checkbox"/>		Movimiento tectónico <input type="checkbox"/>	C D		Desembalse rápido de presas <input type="checkbox"/>	C D		
Material sensible <input checked="" type="checkbox"/>	Orientación desfav. de discontinuidades <input type="checkbox"/>		Sismo M ___ E ___ De ___ P ___	C D		Erosión pata del talud por glaciares <input type="checkbox"/>	C D		
Material colapsible <input type="checkbox"/>	Contraste de permeabilidad de materiales <input checked="" type="checkbox"/>		Erupción volcánica <input type="checkbox"/>	C D		Socavación pata del talud por corriente agua <input type="checkbox"/>	C D		
Material meteor. fisicamente <input type="checkbox"/>	Contraste de rigidez de materiales <input type="checkbox"/>		Lluvias (mm) 24h ___ 48h ___ 72h ___ Mes ___	C D		Socavación pata del talud por oleaje <input type="checkbox"/>	C D		
Material meteor. quimicamente <input type="checkbox"/>	Meteoriz. por descongelamiento/deshielo <input type="checkbox"/>		Viento <input type="checkbox"/>	C D		Socavación de margenes de ríos <input type="checkbox"/>	C D		
Material fallado por corte <input type="checkbox"/>	Meteoriz. por expansión/contracción <input type="checkbox"/>		Deshielo <input type="checkbox"/>	C D		Erosión Pluvial <input type="checkbox"/>	C D		
			Avance/Retroceso de glaciares <input type="checkbox"/>	C D		Carga en la corona del talud <input type="checkbox"/>	C D		
			Rompimiento de lagos en cráteres <input type="checkbox"/>	C D		Erosión subterránea (disolución, tubificación) <input type="checkbox"/>	C D		
			Rompimiento de presas <input type="checkbox"/>	C D		Irrigación <input type="checkbox"/>	C D		
				C D		Mantenimiento deficiente sistema de drenaje <input checked="" type="checkbox"/>	C D		
				C D		Escapes de agua de tuberías <input type="checkbox"/>	C D		
				C D		Deforestación o ausencia de vegetación <input checked="" type="checkbox"/>	C D		
				C D		Minería <input type="checkbox"/>	C D		
				C D		Disposición deficiente de estériles/escombros <input checked="" type="checkbox"/>	C D		
				C D		Vibración artificial (trafico, explosiones, hincado pilotes) <input type="checkbox"/>	C D		
				C D		Erosión Fluvial <input type="checkbox"/>	C D		
				C D		NOTAS: C: Condicionante, D: Detonante, I: Inherente			
				C D		24h(mm): Lluvia acumulada antes del movimiento M:			

TIPO DE EROSIÓN															
SUPERFICIAL			SUBSUPERFICIAL		EDAD		ESTADO		FLUVIAL		EOLICA				
Tierras malas	<input type="checkbox"/>	Surcos	<input type="checkbox"/>	Laminar	<input type="checkbox"/>	Cavernas	<input type="checkbox"/>	Baja	<input type="checkbox"/>	Severa	<input type="checkbox"/>	Socav. fondo	<input type="checkbox"/>	Si	<input type="checkbox"/>
Carcavas	<input type="checkbox"/>	Hondonadas	<input type="checkbox"/>			Tubificación	<input type="checkbox"/>	Moderada	<input type="checkbox"/>			Socav. lateral	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>

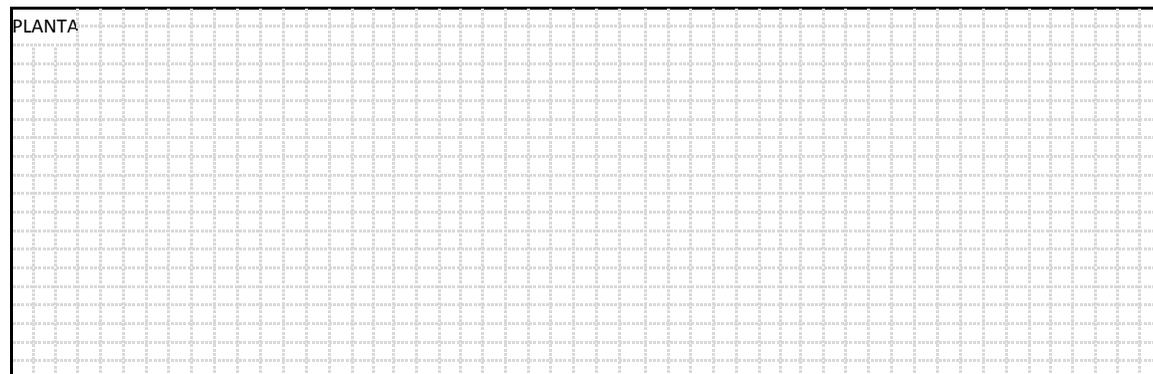
COBERTURA Y USO DEL SUELO				REFERENCIAS						
COBERTURA DEL SUELO		USO DEL SUELO		AUTOR	ANO	TITULO	EDITOR	CIUDAD	PAGINAS	
Veg. Herbácea	___%	Cultivos	___%	Ganadería	___%	Área protegida	___%			
Bosque/Selva	___%	Construcciones	___%	Agrícola	___%	Vías	___%			
Matorrales	___%	Pastos	___%	Recreación	___%	Zona arqueológica	___%			
Cuerpo de agua	___%	Sin cobertura	___%	Vivienda	___%	Zona Industrial	___%			
				Minería	___%	Sin uso	___%			

EFECTOS SECUNDARIOS																			
TIPO (Costa & Schuster, 1988)		MORFOMETRIA DE LA PRESA			MORFOMETRIA DEL EMBALSE			CONDICIONES DE LA PRESA			OTROS EFECTOS								
I	<input type="checkbox"/>	IV	<input type="checkbox"/>	Longitud (m)	_____	Volúmen (m³)	_____	Longitud (m)	<input type="checkbox"/>	Área cuenca (m²)	<input type="checkbox"/>	Obstrucción parcial	<input type="checkbox"/>	Moderadamente socavada	<input type="checkbox"/>	Tsunami (ola)	<input type="checkbox"/>	Inundación	<input type="checkbox"/>
II	<input type="checkbox"/>	V	<input type="checkbox"/>	Altura (m)	_____	Talud arriba (°)	_____	Área (m²)	<input type="checkbox"/>	Caudal entrada	<input type="checkbox"/>	Erosión de la pata	<input type="checkbox"/>	Fuertemente socavada	<input type="checkbox"/>	Empalizada	<input type="checkbox"/>		
III	<input type="checkbox"/>	VI	<input type="checkbox"/>	Ancho (m)	_____	Talud abajo (°)	_____	Volúmen (m³)	<input type="checkbox"/>	Caudal salida	<input type="checkbox"/>	Estabilización artificial	<input type="checkbox"/>	Parcialmente fallada	<input type="checkbox"/>	Sedimentación	<input type="checkbox"/>		
								Nivel agua bajo corona (m)	<input type="checkbox"/>	Tasa de llenado	<input type="checkbox"/>	Ligeramente socavada	<input type="checkbox"/>	Fallada	<input type="checkbox"/>	Sismo	<input type="checkbox"/>		

POBLACION AFECTADA		DANOS				
		INFRAESTRUCTURA, ACTIVIDADES ECONOMICAS, DANOS AMBIENTALES				
		TIPO	CANTIDAD	UNIDAD	TIPO DAÑO	VALOR (US\$)
Heridos	_____	I E A	_____	_____	DL DM DS DT NC	_____
Vidas	_____		_____	_____	DL DM DS DT NC	_____
Desaparecidos	_____		_____	_____	DL DM DS DT NC	_____
Personas	_____		_____	_____	DL DM DS DT NC	_____
Familias	_____		_____	_____	DL DM DS DT NC	_____
TIPO DE DAÑO: Infraestructura: edificios, carreteras, inst. educativa, puentes, servicios publicos, vía ferrea, torre conducción eléctrica, obras lineales, planta eléctrica, torre de energía, capa asfáltica, galpones, tanque almacenamiento, espolones, distrito riego, puentes peatonales, puentes veredales, acueducto. Económicos: agricultura, ganadería, cultivos, semovientes, transporte pasajeros y carga. Ambientales: parques, bosques, planta tratamiento de agua.						

NOTA: I: Infraestructura, E: Económicos, A: Ambientales, DL: Daño leve, DM: Daño moderado, DS: Daño severo, DT: Daño total, NC: No cuantificable

NOTAS		APRECIACION DEL RIESGO		ANEXO FOTOGRAFICO			
				FECHA	FOTOGRAFIA	AUTOR/DERECHOS	OBSERVACIONES

ESQUEMA DEL MOVIMIENTO	
PLANTA	PERFIL
	
FECHA	OBSERVACIONES

LOS CAMPOS MARCADOS CON ASTERISCO (*) SON OBLIGATORIOS

FORMATO MODIFICADO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA Vs 2012

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas

IMPORTANCIA*

Alta Media Baja

DATOS DE REGISTRO										
ENCUESTADOR*	Laura Sofia Aguirre Naranjo			FECHA EVENTO*			FECHA REPORTE*			INSTITUCIÓN*
	DD	MM	AA	DD	MM	AA	28	02	2022	Gobernación de Caldas
							COD. GRUPO			COD. SIMMA

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA			DOCUMENTACION										
POR DIVISION POLITICA	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		REFERENTES GEOGRAFICOS		PLANCHAS		FOTOGRAFIAS AEREAS						
Departamento* CALDAS	Sitio* La Unión	Lat (GMS)* 05°34'57.15"N			PLANCHAS	AÑO	ESCALA	EDITOR	Nro Vuelo	Nro Foto	Año	Escala	Editor
Municipio* Aranzazu - Salamina	Long (GMS)* 75°32'32.15"W	Altura* 1920 msnm											
Vereda* La Unión	Proyeccion: Magna *												

ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO				LITOLOGIA Y ESTRUCTURA														
EDAD	ESTADO	ESTILO	DISTRIBUCION	DESCRIPCION					ESTRUCTURA		ORIENTACIÓN			ESPACIAMIENTO (m)				
< 1 año <input type="checkbox"/>	Activo <input checked="" type="checkbox"/>	Complejo <input type="checkbox"/>	Retrogresivo <input type="checkbox"/>						Estructura		DR			Buzamiento				
1-5 años <input type="checkbox"/>	Reactivado <input type="checkbox"/>	Compuesto <input type="checkbox"/>	Avanzado <input checked="" type="checkbox"/>						Estratificación <input type="checkbox"/>		BZ			>2				
6-10 años <input checked="" type="checkbox"/>	Suspendido <input type="checkbox"/>	Múltiple <input type="checkbox"/>	Ensanchado <input type="checkbox"/>						Foliación <input type="checkbox"/>					2-0.6				
11-15 años <input type="checkbox"/>	INACTIVO <input type="checkbox"/>	Sucesivo <input type="checkbox"/>	Confinado <input type="checkbox"/>						Diaclasas <input type="checkbox"/>					0.6-0.2				
16-20 años <input type="checkbox"/>	Latente <input type="checkbox"/>	Único <input checked="" type="checkbox"/>	Creciente <input type="checkbox"/>						Falla <input type="checkbox"/>					0.2-0.06				
	Abandonado <input type="checkbox"/>		Decreciente <input type="checkbox"/>						Discordancia <input type="checkbox"/>					<0.06				
	Estabilizado <input type="checkbox"/>		Móvil <input type="checkbox"/>						Esquistosidad <input type="checkbox"/>									
	Relicto <input type="checkbox"/>																	

Nota: Incluir minimo origen de la roca, (I, M ó S) Edad, Fm, Litología y estratigrafía, suelos

NOTA: DR: Dirección de buzamiento, BZ: Buzamiento

CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO															
TIPO MOVIMIENTO		SUBTIPO MOVIMIENTO								TIPO MATERIAL		HUMEDAD		PLASTICIDAD	
Caída <input checked="" type="checkbox"/>	Caída de roca <input checked="" type="checkbox"/>	Desliz. traslacional <input checked="" type="checkbox"/>	Desliz. por flujo <input type="checkbox"/>	Desliz. licuación detritos <input type="checkbox"/>	Roca <input checked="" type="checkbox"/>	Mojado <input type="checkbox"/>	Alta <input type="checkbox"/>								
Volcamiento <input type="checkbox"/>	Caída de detritos <input checked="" type="checkbox"/>	Desliz. en cuña <input type="checkbox"/>	Avalancha de detritos <input type="checkbox"/>	Desliz. licuación roca fracturada <input type="checkbox"/>	Detritos <input checked="" type="checkbox"/>	Muy Húmedo <input type="checkbox"/>	Media <input type="checkbox"/>								
Deslizamiento <input type="checkbox"/>	Caída de tierras <input type="checkbox"/>	Desliz. traslacional en cuña <input type="checkbox"/>	Flujo de tierra <input type="checkbox"/>	Propag. lateral lenta <input type="checkbox"/>	Tierra <input type="checkbox"/>	Húmedo <input type="checkbox"/>	Baja <input checked="" type="checkbox"/>								
Flujo <input checked="" type="checkbox"/>	Volcam. flexural de roca <input type="checkbox"/>	Desliz. traslacional planar <input type="checkbox"/>	Crecida de detritos <input type="checkbox"/>	Propag. lateral licuación <input type="checkbox"/>	Lodos <input type="checkbox"/>	Liger. húmedo <input checked="" type="checkbox"/>	No plástico <input type="checkbox"/>								
Propagación Lateral <input type="checkbox"/>	Volcam. de roca <input type="checkbox"/>	Avalancha de rocas <input type="checkbox"/>	Flujo de turba <input type="checkbox"/>	Reptación de suelos <input type="checkbox"/>	Turba <input type="checkbox"/>	Seco <input type="checkbox"/>									
Reptación <input type="checkbox"/>	Volcam. macizo rocoso <input type="checkbox"/>	Flujo de detritos <input type="checkbox"/>	Desliz. licuación de arena <input type="checkbox"/>	Soliflucción <input type="checkbox"/>	NOTA: 1: Primer movimiento, 2: movimiento.										
Deform. Gravit. Profundas <input type="checkbox"/>	Desliz. rotacional <input type="checkbox"/>	Flujo de lodo <input type="checkbox"/>	Desliz. licuación de limo <input type="checkbox"/>	Geliflucción (en permafrost) <input type="checkbox"/>											

ORIGEN SUELO		TIPO DEPOSITO (Origen suelo sedimentario)		VELOCIDAD			SISTEMA DE CLASIFICACIÓN*		
Residual <input checked="" type="checkbox"/>	Coluvial <input type="checkbox"/>	Aluvial <input type="checkbox"/>	Lacustre <input type="checkbox"/>	Extr. rápido (>5 m/s) <input type="checkbox"/>	Moderado (>13 m/mes) <input type="checkbox"/>	Extr. Lento (<16 mm/año) <input type="checkbox"/>	Hutchinson, 1988 <input type="checkbox"/>	Cruden v Varnes, 1996 <input type="checkbox"/>	
Sedimentario <input type="checkbox"/>	Volcánico <input type="checkbox"/>	Eolico <input type="checkbox"/>	Marino <input type="checkbox"/>	Muy rápido (>3 m/min) <input type="checkbox"/>	Lento (>1.6 m/año) <input checked="" type="checkbox"/>		Varnes, 1978 <input checked="" type="checkbox"/>	Hungry et al., 2001 <input type="checkbox"/>	
		Glacial <input type="checkbox"/>		Rápido (>1.8 m/hr) <input type="checkbox"/>	Muy lento (>16 mm/año) <input type="checkbox"/>	V _{máx} _____			
						V _{mín} _____			

GENERAL		DIMENSIONES DEL TERRENO				DEFORMACIÓN TERRENO		GEOFORMA	
Diferencia de altura corona a punta (m)	55m	Ancho de la masa desplazada Wd (m)	_____	Volumen inicial (m3)	_____	MODO			
Longitud horizontal corona a punta (m)	20 m	Ancho de la superficie de ruptura Wr (m)	_____	Volumen desplazado (m3)	_____	Ondulación <input checked="" type="checkbox"/>			
Fahrböschung (grados)	_____	Longitud de la masa desplazada Ld (m)	_____	Área inicial (Km2)	_____	Escalonamiento <input type="checkbox"/>			
Pendiente de ladera en Post-falla (grados)	_____	Longitud de superficie de ruptura Lr (m)	35 m	Área total afectada (Km2)	_____	SEVERIDAD			
Pendiente de ladera en Pre-falla (grados)	_____	Espesor de la masa desplazada Dd (m)	_____	Run up (m)	_____	Leve <input type="checkbox"/>			
Dirección del movimiento (grados)	_____	Profundidad de superficie de ruptura Dr (m)	_____	Distancia de viaje (Km)	_____	Media <input type="checkbox"/>			
Azimut del talud (grados)	_____	Longitud total L (m)	_____			Severa <input type="checkbox"/>			

INHERENTES			CAUSAS DEL MOVIMIENTO					
Material plástico débil <input type="checkbox"/>	Material fisurado y agrietado <input type="checkbox"/>		Movimiento tectónico <input type="checkbox"/>	C D		C D		Mantenimiento deficiente sistema de drenaje <input checked="" type="checkbox"/>
Material sensible <input type="checkbox"/>	Orientación desfav. de discontinuidades <input type="checkbox"/>		Sismo M ____ E ____ De ____ P ____ <input checked="" type="checkbox"/>	X		X		Escapes de agua de tuberías <input type="checkbox"/>
Material colapsible <input type="checkbox"/>	Contraste de permeabilidad de materiales <input type="checkbox"/>		Erupción volcánica <input type="checkbox"/>	X		X		Deforestación o ausencia de vegetación <input checked="" type="checkbox"/>
Material meteor. físicamente <input type="checkbox"/>	Contraste de rigidez de materiales <input type="checkbox"/>		Lluvias (mm) 24h ____ 48h ____ 72h ____ Mes ____ <input checked="" type="checkbox"/>	X		X		Minería <input type="checkbox"/>
Material meteor. químicamente <input type="checkbox"/>	Meteoriz. por descongelamiento/deshielo <input type="checkbox"/>		Viento <input type="checkbox"/>	X		X		Disposición deficiente de estériles/escombros <input checked="" type="checkbox"/>
Material fallado por corte <input type="checkbox"/>	Meteoriz. por expansión/contracción <input type="checkbox"/>		Deshielo <input type="checkbox"/>	X		X		Vibración artificial (trafico, explosiones, hincado pilotes) <input type="checkbox"/>
			Avance/Retroceso de glaciales <input type="checkbox"/>	X		X		Erosión Fluvial <input checked="" type="checkbox"/>
			Rompimiento de lagos en cráteres <input type="checkbox"/>	X		X		NOTAS: C: Condicionante, D: Detonante, I: Inherente
			Rompimiento de presas <input type="checkbox"/>	X		X		24h(mm): Lluvia acumulada antes del movimiento M: _____

TIPO DE EROSIÓN															
SUPERFICIAL			SUBSUPERFICIAL		EDAD		ESTADO		FLUVIAL		EOLICA				
Tierras malas	<input type="checkbox"/>	Surcos	<input type="checkbox"/>	Laminar	<input type="checkbox"/>	Cavernas	<input type="checkbox"/>	Baja	<input type="checkbox"/>	Severa	<input type="checkbox"/>	Socav. fondo	<input type="checkbox"/>	Si	<input type="checkbox"/>
Carcavas	<input type="checkbox"/>	Hondonadas	<input type="checkbox"/>			Reciente	<input type="checkbox"/>	Moderada	<input type="checkbox"/>			Socav. lateral	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>

COBERTURA Y USO DEL SUELO				REFERENCIAS					
COBERTURA DEL SUELO		USO DEL SUELO		AUTOR	ANO	TITULO	EDITOR	CIUDAD	PAGINAS
Veg. Herbácea	___%	Cultivos	___%	Ganadería	___%	Área protegida	___%		
Bosque/Selva	___%	Construcciones	___%	Agrícola	___%	Vías	___%		
Matorrales	___%	Pastos	___%	Recreación	___%	Zona arqueológica	___%		
Cuerpo de agua	___%	Sin cobertura	___%	Vivienda	___%	Zona Industrial	___%		
				Minería	___%	Sin uso	___%		

EFECTOS SECUNDARIOS																			
TIPO (Costa & Schuster, 1988)		MORFOMETRIA DE LA PRESA			MORFOMETRIA DEL EMBALSE			CONDICIONES DE LA PRESA			OTROS EFECTOS								
I	<input type="checkbox"/>	IV	<input type="checkbox"/>	Longitud (m)	_____	Volúmen (m³)	_____	Longitud (m)	<input type="checkbox"/>	Área cuenca (m²)	<input type="checkbox"/>	Obstrucción parcial	<input type="checkbox"/>	Moderadamente socavada	<input type="checkbox"/>	Tsunami (ola)	<input type="checkbox"/>	Inundación	<input type="checkbox"/>
II	<input type="checkbox"/>	V	<input type="checkbox"/>	Altura (m)	_____	Talud arriba (°)	_____	Área (m²)	<input type="checkbox"/>	Caudal entrada	<input type="checkbox"/>	Erosión de la pata	<input type="checkbox"/>	Fuertemente socavada	<input type="checkbox"/>	Empalizada	<input type="checkbox"/>		
III	<input type="checkbox"/>	VI	<input type="checkbox"/>	Ancho (m)	_____	Talud abajo (°)	_____	Volúmen (m³)	<input type="checkbox"/>	Caudal salida	<input type="checkbox"/>	Estabilización artificial	<input type="checkbox"/>	Parcialmente fallada	<input type="checkbox"/>	Sedimentación	<input type="checkbox"/>		
						Nivel agua bajo corona (m)	<input type="checkbox"/>	Tasa de llenado	<input type="checkbox"/>	Ligeramente socavada	<input type="checkbox"/>	Fallada	<input type="checkbox"/>	Sismo	<input type="checkbox"/>				

POBLACION AFECTADA		DANOS				
		INFRAESTRUCTURA, ACTIVIDADES ECONOMICAS, DANOS AMBIENTALES				
		TIPO	CANTIDAD	UNIDAD	TIPO DAÑO	VALOR (US\$)
Heridos	_____	I E A	_____	_____	DL DM DS DT NC	_____
Vidas	_____		_____	_____	DL DM DS DT NC	_____
Desaparecidos	_____		_____	_____	DL DM DS DT NC	_____
Personas	_____		_____	_____	DL DM DS DT NC	_____
Familias	_____		_____	_____	DL DM DS DT NC	_____
TIPO DE DAÑO: Infraestructura: edificios, carreteras, inst. educativa, puentes, servicios publicos, vía ferrea, torre conducción eléctrica, obras lineales, planta eléctrica, torre de energía, capa asfáltica, galpones, tanque almacenamiento, espolones, distrito riego, puentes peatonales, puentes veredales, acueducto. Económicos: agricultura, ganadería, cultivos, semovientes, transporte pasajeros y carga. Ambientales: parques, bosques, planta tratamiento de agua.						

NOTA: I: Infraestructura, E: Económicos, A: Ambientales, DL: Daño leve, DM: Daño moderado, DS: Daño severo, DT: Daño total, NC: No cuantificable

NOTAS		APRECIACION DEL RIESGO		ANEXO FOTOGRAFICO			
				FECHA	FOTOGRAFIA	AUTOR/DERECHOS	OBSERVACIONES

ESQUEMA DEL MOVIMIENTO	
PLANTA	PERFIL
FECHA	OBSERVACIONES

FORMATO MODIFICADO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA Vs 2012

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas

IMPORTANCIA*

Alta Media Baja

DATOS DE REGISTRO										
ENCUESTADOR* Laura Sofia Aguirre Naranjo	FECHA EVENTO*			FECHA REPORTE*			INSTITUCIÓN*		COD. GRUPO	
	DD	MM	AA	DD	MM	AA	Gobernación de Caldas			COD. SIMMA

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA			DOCUMENTACION												
POR DIVISION POLITICA	COORDENADAS GEOGRAFICAS		REFERENTES GEOGRAFICOS				PLANCHAS		FOTOGRAFIAS AEREAS						
Departamento* Caldas	Sitio*						PLANCHAS	AÑO	ESCALA	EDITOR	Nro Vuelo	Nro Foto	Año	Escala	Editor
Municipio* San José	Lat (GMS)*														
Vereda* El Bosque	Long (GMS)*														
	Altura*														
	Proyeccion: Magna *														

ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO				LITOLOGIA Y ESTRUCTURA																										
EDAD	ESTADO	ESTILO	DISTRIBUCION	DESCRIPCION						ESTRUCTURA			ORIENTACIÓN			ESPACIAMIENTO (m)														
< 1 año <input type="checkbox"/>	Activo <input checked="" type="checkbox"/>	Complejo <input type="checkbox"/>	Retrogresivo <input type="checkbox"/>							Nota: Incluir minimo origen de la roca, (I, M ó S) Edad, Fm, Litología y estratigrafía, suelos			Estructura			DR			BZ			>2			2-0.6			0.6-0.2		
1-5 años <input type="checkbox"/>	Reactivado <input type="checkbox"/>	Compuesto <input type="checkbox"/>	Avanzado <input checked="" type="checkbox"/>	Planos de																										
6-10 años <input type="checkbox"/>	Suspendido <input type="checkbox"/>	Múltiple <input type="checkbox"/>	Ensanchado <input type="checkbox"/>	Estratificación <input type="checkbox"/>																										
11-15 años <input type="checkbox"/>	INACTIVO <input type="checkbox"/>	Sucesivo <input type="checkbox"/>	Confinado <input type="checkbox"/>	Foliación <input type="checkbox"/>																										
16-20 años <input type="checkbox"/>	Latente <input type="checkbox"/>	Único <input checked="" type="checkbox"/>	Creciente <input type="checkbox"/>	Diaclasas <input type="checkbox"/>																										
	Abandonado <input type="checkbox"/>		Decreciente <input type="checkbox"/>	Falla <input type="checkbox"/>																										
	Estabilizado <input type="checkbox"/>		Móvil <input type="checkbox"/>	Discordancia <input type="checkbox"/>																										
	Relicto <input type="checkbox"/>			Esquistosidad <input type="checkbox"/>																										

CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO																																															
TIPO MOVIMIENTO		SUBTIPO MOVIMIENTO										TIPO MATERIAL		HUMEDAD		PLASTICIDAD																															
Caída <input type="checkbox"/>	Volcamiento <input type="checkbox"/>	Deslizamiento <input type="checkbox"/>	Flujo <input type="checkbox"/>	Propagación Lateral <input type="checkbox"/>	Reptación <input type="checkbox"/>	Deform. Gravit. Profundas <input type="checkbox"/>	Caída de roca <input type="checkbox"/>	Caída de detritos <input type="checkbox"/>	Caída de tierras <input type="checkbox"/>	Volcam. flexural de roca <input type="checkbox"/>	Volcam. de roca <input type="checkbox"/>	Volcam. macizo rocoso <input type="checkbox"/>	Desliz. traslacional <input checked="" type="checkbox"/>	Desliz. en cuña <input type="checkbox"/>	Desliz. traslacional en cuña <input type="checkbox"/>	Desliz. traslacional planar <input type="checkbox"/>	Avalancha de rocas <input type="checkbox"/>	Flujo de detritos <input type="checkbox"/>	Flujo de lodo <input type="checkbox"/>	Desliz. por flujo <input type="checkbox"/>	Avalancha de detritos <input type="checkbox"/>	Flujo de tierra <input type="checkbox"/>	Crecida de detritos <input type="checkbox"/>	Flujo de turba <input type="checkbox"/>	Desliz. licuación de arena <input checked="" type="checkbox"/>	Desliz. licuación de limo <input type="checkbox"/>	Desliz. licuación detritos <input type="checkbox"/>	Desliz. licuación roca fracturada <input type="checkbox"/>	Propag. lateral lenta <input type="checkbox"/>	Propag. lateral licuación <input type="checkbox"/>	Reptación de suelos <input type="checkbox"/>	Soliflucción <input type="checkbox"/>	Geliflucción (en permafrost) <input type="checkbox"/>	Roca <input checked="" type="checkbox"/>	Detritos <input type="checkbox"/>	Tierra <input type="checkbox"/>	Lodos <input type="checkbox"/>	Turba <input type="checkbox"/>	Mojado <input type="checkbox"/>	Muy Húmedo <input checked="" type="checkbox"/>	Húmedo <input type="checkbox"/>	Liger. húmedo <input type="checkbox"/>	Seco <input type="checkbox"/>	Alta <input type="checkbox"/>	Media <input type="checkbox"/>	Baja <input type="checkbox"/>	No plástico <input checked="" type="checkbox"/>

ORIGEN SUELO				TIPO DEPOSITO (Origen suelo sedimentario)				VELOCIDAD				SISTEMA DE CLASIFICACIÓN*									
Residual <input checked="" type="checkbox"/>	Coluvial <input type="checkbox"/>	Sedimentario <input type="checkbox"/>	Volcánico <input type="checkbox"/>	Aluvial <input type="checkbox"/>	Lacustre <input type="checkbox"/>	Eolico <input type="checkbox"/>	Marino <input type="checkbox"/>	Glacial <input type="checkbox"/>	Extr. rápido (>5 m/s) <input type="checkbox"/>	Muy rápido (>3 m/min) <input type="checkbox"/>	Rápido (>1.8 m/hr) <input type="checkbox"/>	Moderado (>13 m/mes) <input checked="" type="checkbox"/>	Lento (>1.6 m/año) <input type="checkbox"/>	Muy lento (>16 mm/año) <input type="checkbox"/>	Extr. Lento (<16 mm/año) <input type="checkbox"/>	Vmáx _____	Vmín _____	Hutchinson, 1988 <input type="checkbox"/>	Varnes, 1978 <input type="checkbox"/>	Cruden v Varnes, 1996 <input type="checkbox"/>	Hungr et al., 2001 <input type="checkbox"/>

GENERAL		DIMENSIONES DEL TERRENO				DEFORMACIÓN TERRENO		GEOFORMA	
Diferencia de altura corona a punta (m)	80 m	Ancho de la masa desplazada Wd (m)	_____	Volumen inicial (m3)	_____	MODO			
Longitud horizontal corona a punta (m)	20 m	Ancho de la superficie de ruptura Wr (m)	_____	Volumen desplazado (m3)	_____	Ondulación	<input type="checkbox"/>		
Fahrböschung (grados)	_____	Longitud de la masa desplazada Ld (m)	_____	Área inicial (Km2)	_____	Escalonamiento	<input type="checkbox"/>		
Pendiente de ladera en Post-falla (grados)	40°	Longitud de superficie de ruptura Lr (m)	_____	Área total afectada (Km2)	_____	SEVERIDAD			
Pendiente de ladera en Pre-falla (grados)	_____	Espesor de la masa desplazada Dd (m)	_____	Run up (m)	_____	Leve	<input type="checkbox"/>		
Dirección del movimiento (grados)	_____	Profundidad de superficie de ruptura Dr (m)	_____	Distancia de viaje (Km)	_____	Media	<input type="checkbox"/>		
Azimut del talud (grados)	_____	Longitud total L (m)	_____			Severa	<input type="checkbox"/>		

INHERENTES			CAUSAS DEL MOVIMIENTO																																		
Material plástico débil <input type="checkbox"/>	Material sensible <input type="checkbox"/>	Material colapsible <input type="checkbox"/>	Material meteor. físicamente <input type="checkbox"/>	Material meteor. químicamente <input type="checkbox"/>	Material fallado por corte <input type="checkbox"/>	Material fisurado y agrietado <input type="checkbox"/>	Orientación desfav. de discontinuidades <input type="checkbox"/>	Contraste de permeabilidad de materiales <input type="checkbox"/>	Contraste de rigidez de materiales <input type="checkbox"/>	Meteoriz. por descongelamiento/deshielo <input type="checkbox"/>	Meteoriz. por expansión/contracción <input type="checkbox"/>	Movimiento tectónico <input type="checkbox"/>	Sismo M ____ E ____ De ____ P ____ <input type="checkbox"/>	Erupción volcánica <input type="checkbox"/>	Lluvias (mm) 24h ____ 48h ____ 72h ____ Mes ____ <input type="checkbox"/>	Viento <input type="checkbox"/>	Deshielo <input type="checkbox"/>	Avance/Retroceso de glaciales <input type="checkbox"/>	Rompimiento de lagos en cráteres <input type="checkbox"/>	Rompimiento de presas <input type="checkbox"/>	Desembalse rápido de presas <input type="checkbox"/>	Erosión pata del talud por glaciares <input checked="" type="checkbox"/>	Socavación pata del talud por corriente agua <input type="checkbox"/>	Socavación pata del talud por oleaje <input type="checkbox"/>	Erosión Pluvial <input type="checkbox"/>	Carga en la corona del talud <input type="checkbox"/>	Erosión subterránea (disolución, tubificación) <input type="checkbox"/>	Irrigación <input type="checkbox"/>	Mantenimiento deficiente sistema de drenaje <input checked="" type="checkbox"/>	Escapes de agua de tuberías <input checked="" type="checkbox"/>	Deforestación o ausencia de vegetación <input type="checkbox"/>	Minería <input type="checkbox"/>	Disposición deficiente de estériles/escombros <input type="checkbox"/>	Vibración artificial (trafico, explosiones, hincado pilotes) <input type="checkbox"/>	Erosión Fluvial <input type="checkbox"/>	NOTAS: C: Condicionante, D: Detonante, I: Inherente <input type="checkbox"/>	24h(mm): Lluvia acumulada antes del movimiento M: <input type="checkbox"/>

Mitigación punto crítico La Merced - La Felisa (El Tambor)

1. Canales triangulares talud superior

Adicional a la intervención de las obras existentes (Box Culvert y Alcantarilla), se proyecta implementar obras adicionales que permitan mitigar los efectos que produce la escorrentía superficial no controlada sobre el punto crítico donde esta genera un aumento en las presiones internas del talud, lo que encadena un aumento en el peso del mismo, contribuyendo al aumento de esfuerzos internos y posible efecto de fallas adicionales en la zona.

Indicado lo anterior se propone una serie de obras de bioingeniería de rápida ejecución y que permiten salvaguardar esta característica negativa en la zona de una manera temporalmente eficaz, como lo es el canal triangular en esterilla y lata de guadua como se ilustra a continuación:

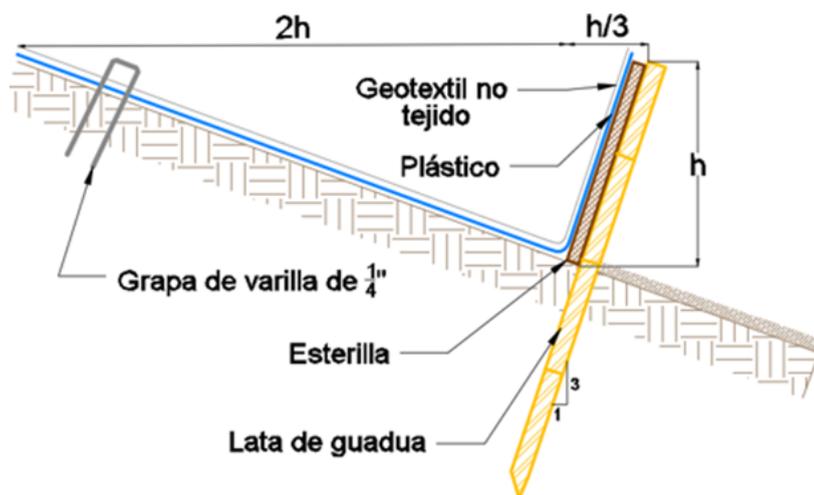


Figura Esquema de canal triangular provisional para conducción de aguas de escorrentía.

Fuente: Ing. Carlos Enrique Escobar Potes

La capacidad hidráulica (Q_c) de los canales provisionales se determinó a partir de la ecuación de Manning:

Ecuación. Cálculo del caudal en sección triangular.

$$Q_c = 1.486 n A_m R^{2/3} S$$

Donde:

Q_c : Capacidad hidráulica, en metros cúbicos por segundo (m^3/s).

n : Coeficiente de rugosidad de Manning. (Madera = 0.012)

A_m : Área mojada, en metros cuadrados (m^2).

R : Radio hidráulico, en metros (m).

S : Pendiente, en metros por metro (m/m). Pendiente de la vía.

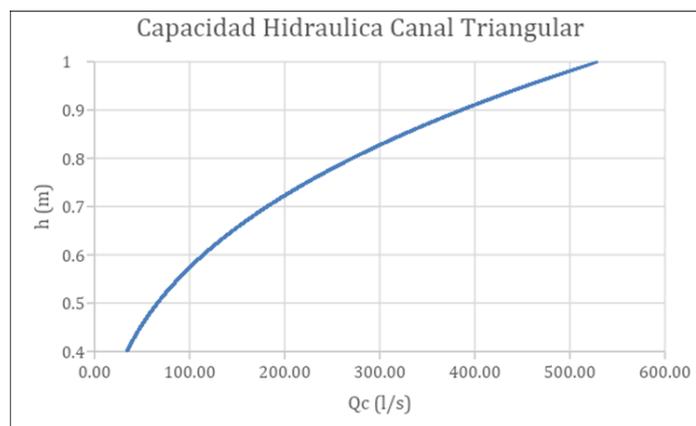


Figura. Capacidad hidráulica canal triangular.

Dado que los canales recolectarán como primera medida parte de la escorrentía del área aferente 2 (Canal 1), como segunda medida la escorrentía del área aferente 2 y 3 por lo que en este punto se generarán 2 canales que conducirán el flujo a la alcantarilla (Canal 2 A y B), distribución que se ilustra a continuación:

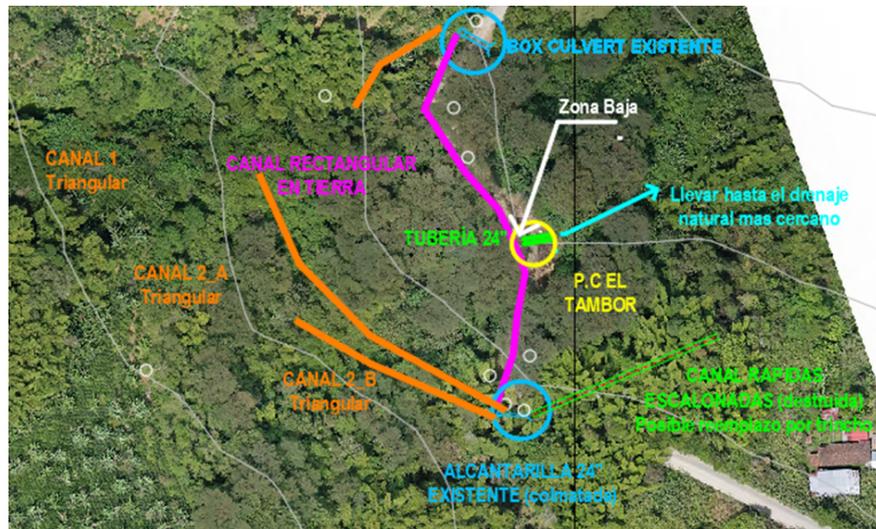


Figura. *Distribución Mitigación*

2. Trinchos escalonados con vertederos.

Dando continuidad al manejo del flujo superficial en la corona del movimiento, se propone implementar el sistema de transporte y manejo del flujo de agua de manera controlada por medio de los sistemas de bioingeniería denominado trinchos escalonados con vertedero. Estos sistemas se proponen debido a su expedita ejecución en obra donde su valor representativo es la mano de obra y la adquisición de la materia prima la cual es la guadua.

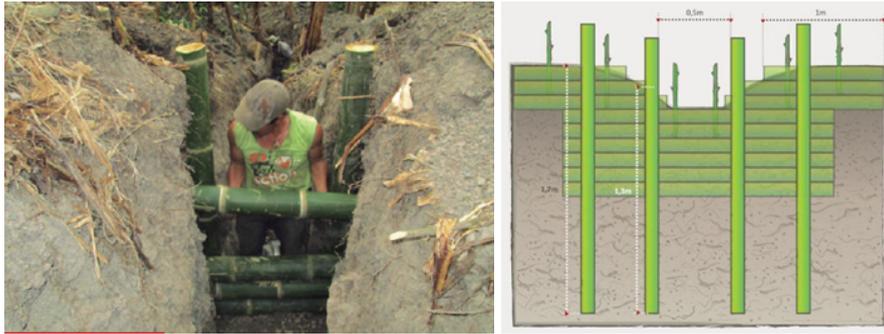


Figura . *Trinchos con Vertedero escalonado.*

La disposición y separación de los trinchos de manera inicial se basa en la recomendación del documento “Manual de procedimientos para el manejo de procesos denudativos con obras de bioingeniería” de la Universidad de Caldas, donde se menciona:

Ecuación. *Separación de los Trinchos.*

$$E=HS*100$$

E: Distancia entre dos trinchos consecutivos (m)

H: Altura efectiva entre trinchos (m)

S: Pendiente del terreno (%)

La metodología para su construcción se desarrolla a continuación:

1. Se inicia con la localización de la red de drenaje propuesta para desaguar el flujo de la corona del canal. Se recomienda que la distancia entre los vertederos (E), no supere los 2 metros, especialmente en zonas de alta pendiente.
2. Se excava una zanja transversal al eje longitudinal del drenaje, en todo su ancho de 0.5 metros de profundidad y empotrado a ambos lados de la línea de flujo, entre 0,5 metros y 0,9 metros. Simultáneamente, se excavan cuatro perforaciones profundas de 1.7 metros, dependiendo de la dureza del material para colocar las guaduas que soportarán y confinarán el trincho.
3. Posteriormente se entierran de seis guaduas en la base del drenaje y sus orillas y tres guaduas por encima del terreno, en las excavaciones laterales en las orillas, dependiendo de la altura del talud (lados) de las laderas afectadas por erosión

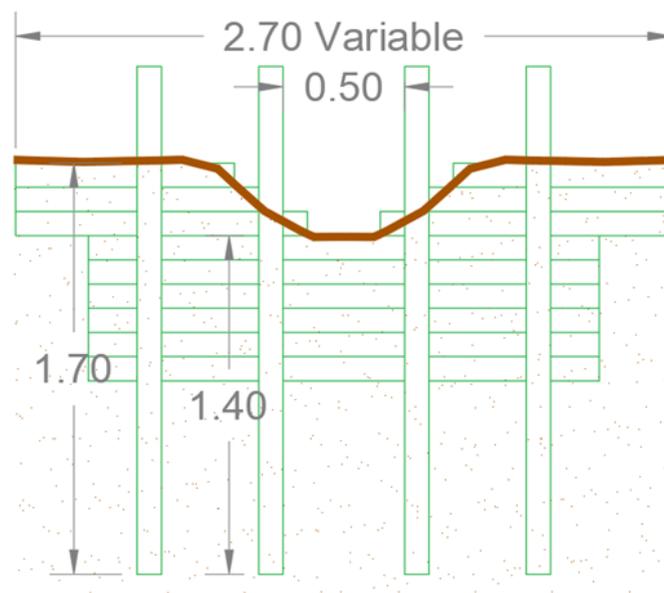


Figura. *Sección transversal trincho escalonado con vertedero.*

Anexo 5: Mitigación punto crítico CURCERO- ASIA – LAS MARGARITAS

En la Figura 2 se resumen las obras e intervenciones propuestas para el sitio en un plano en planta. Dadas las condiciones del sitio que corresponde a un punto bajo en la vía, se recomienda construir dos resaltos (en amarillo) que ayuden a desviar el flujo de agua.



Figura 2. Plano en planta con obras e intervenciones propuestas

Al costado de ambos resaltos, la intención será captar las aguas de escorrentía hacia la ladera izquierda (en sentido Crucero – Asia). Con la construcción de la barrera tipo resalto 1 (a la izquierda del plano) se pretende captar las aguas en una cámara para posteriormente entregarlas mediante conducción de tubería en PVC de 24” a un canal escalonado en concreto en la zona de mayor pendiente de la ladera, que luego pasará a un canal liso en concreto de sección 0.40 m x 0.30 m. Las secciones de los canales fueron definidas en función del caudal estimado para la zona, estudiado en el volumen correspondiente a Hidrología e Hidráulica para el sitio crítico.

En el caso de la barrera tipo resalto 2 (a la derecha del plano) se pretende captar las aguas mediante la construcción de una cámara de la cual saldrá una tubería en PVC de 24" que hará entrega de dichas aguas a la obra de drenaje 3, ubicada a un costado de la vía en placa huellas. Lo anterior para hacer una entrega de estas aguas lo más ordenada posible, que no genere preocupación en los habitantes del sector y no cause erosión en la zona donde se encuentran las placa huellas.

De igual manera, es importante resaltar que debe realizarse un mantenimiento completo a la obra de drenaje 1 y debe asegurarse un correcto descole de la misma, en donde las aguas también deben conducirse a la obra de drenaje 3. Será necesario igualmente mejorar el descole de la obra de drenaje 4 para controlar la erosión que las aguas captadas puedan causar al buscar la quebrada más cercana, de manera que se propone la construcción de un canal liso en concreto. El detalle esquemático de la sección de los canales propuestos se presenta a continuación:

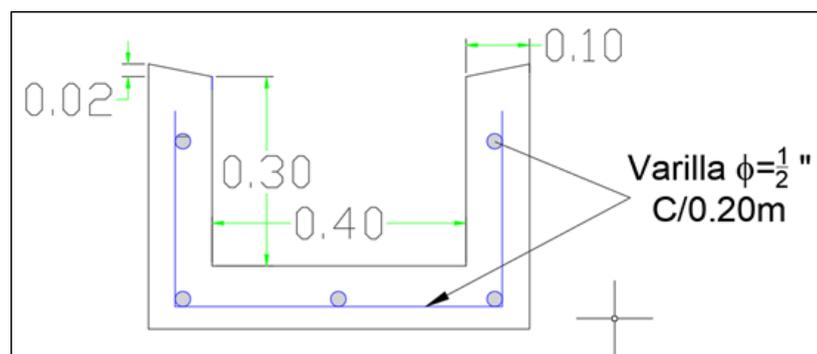


Figura 3. Sección de canales en concreto propuestos

Se propone también recuperar en la zona la barrera tipo “gusano” construida a lo largo de la superficie más afectada del fallo (ladera derecha en sentido Crucero – Asia), con el fin de evitar al máximo que el agua ingrese al fallo continuando con su actividad erosiva.

Es necesario gestionar de manera correcta y ordenada las instalaciones de agua potable vecinales, cuyas conducciones en este momento se realizan a través de mangueras de polipropileno que atraviesan el punto crítico con un riesgo inminente de pérdida o rotura de las mismas. Como ya se mencionó anteriormente, en visita de obra se pudo evidenciar que estas mangueras no solo son muy numerosas, sino que ya se observan “remendadas”, lo cual es indicio que ya han sido factor de aporte constante de agua a un sitio muy vulnerable desde el punto de vista de erosión hídrica.