

**IDENTIFICACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO EN LA VEREDA EL TAMBOR
DEL MUNICIPIO LA MERCED, CALDAS**

ANDREA CAROLINA CASTAÑO QUINTERO

UNIVERSIDAD DE CALDAS

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

PROGRAMA DE GEOLOGÍA

MANIZALES

2019

**INFORME PRÁCTICA ACADÉMICA REALIZADA EN LA JEFATURA DE GESTIÓN
DE RIESGO, MEDIO AMBIENTE Y CAMBIO CLIMÁTICO, DE LA GOBERNACIÓN
DE CALDAS**

ANDREA CAROLINA CASTAÑO QUINTERO

**Trabajo de grado modalidad pasantía presentado como prerrequisito para optar al título
de Geóloga**

ASESOR ACADÉMICO:

Mgr. CARLOS EDUARDO GARCÍA LÓPEZ

Geólogo

UNIVERSIDAD DE CALDAS

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

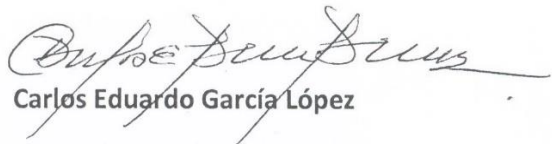
PROGRAMA DE GEOLOGÍA

MANIZALES

2019

NOTA DE ACEPTACIÓN

Aprobado.


Carlos Eduardo García López

DIRECTOR ACADÉMICO

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, quienes me han apoyado y acompañado en este proceso.

A la Universidad de Caldas por abrirme las puertas al conocimiento, y a los maestros por ser los forjadores de sabiduría.

A mi tutor Carlos Eduardo García por ser más que un guía en este proyecto, por compartirme su conocimiento y sus aportes para llegar al resultado.

Al profesor Santiago Cano por sus grandes aportes y asesorías.

Al geólogo Ruben García por su acompañamiento en la entidad y sus constantes enseñanzas, las cuales fueron vitales para el desarrollo de este trabajo.

A la Jefatura de Gestión del Riesgo, Medioambiente y Cambio Climático y al jefe Félix Ricardo, por darme la oportunidad de pertenecer a este gran equipo y poder desarrollar este proyecto que me abre paso a un ámbito profesional.

A mis amigos, por acompañarme en esta gran aventura y por el apoyo incondicional.

CONTENIDO

CONTENIDO	5
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	13
LOCALIZACIÓN.....	14
OBJETIVOS	15
OBJETIVO GENERAL.....	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
METODOLOGÍA	17
☐ Revisión bibliográfica:	17
☐ Sistemas de Información Geográfica:.....	17
☐ Salida de campo:	17
☐ Análisis multitemporal:	17
ANTECEDENTES.....	18
MARCO GEOLÓGICO	19
GEOLOGÍA LOCAL	20
Formación Combia (Tmc).....	20
1. Miembro Volcánico (Inferior):	20
2. Miembro Sedimentario (Superior):.....	21
Formación Amagá (Tos).....	23
1. Miembro Inferior:	24
2. Miembro Medio	24
3. Miembro Superior:	24
Depósitos Coluviales.	24
GEOMORFOLOGÍA.....	26
☐ Unidad de montañas denudacionales en rocas sedimentarias (D1).....	26
☐ Geoformas de origen denudativo y/o estructural (S5).....	27
COBERTURA Y USO DEL SUELO	28
GENERALIDADES	32
☐ Clima.	32
☐ Vías.....	34
ESCENARIOS DE RIESGO.....	36

☐ Riesgo:	36
☐ Amenaza:	36
☐ Vulnerabilidad:	36
EROSIÓN	38
☐ Erosión laminar.	38
☐ Erosión en surcos.....	38
☐ Erosión en cárcavas	39
☐ Erosión interna	40
MOVIMIENTOS EN MASA	41
Deslizamiento.....	41
☐ Deslizamiento Traslacional:	42
☐ Deslizamiento Rotacional:	43
Por caída de roca.	47
Reptación.	49
FACTORES DETONANTES	50
☐ Lluvia:	50
☐ Sismo:	51
FACTORES CONTRIBUYENTES	53
☐ Geología:	53
☐ Geomorfología:	53
☐ Pendientes:	53
☐ Uso del suelo:	53
ANÁLISIS MULTITEMPORAL	54
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	60
Mapa de relieve sombreado.	60
Mapa de Pendientes.	61
Mapa de direcciones de flujo.	63
Clasificación supervisada interactiva.	66
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	68
BIBLIOGRAFÍA.	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización del área de estudio en la vereda El Tambor del municipio La Merced, en el departamento de Caldas, Colombia.	14
Figura 2. Afloramiento altamente meteorizado, nótese el lapicero como escala.	21
Figura 3. Conglomerados clastosoportados de la formación Combia a 160 m aproximadamente de la vía, nótese el lapicero como escala.	22
Figura 4. Afloramiento de areniscas de la formación Combia a 200 m aproximadamente de la vía, nótese la libreta como escala.	23
Figura 5. A) Depósitos coluviales de la formación Combia a lo largo de la colina, el tamaño varía de guijos a bloques. B) Depósito coluvial de la formación Combia conglomerático, nótese el lapicero como escala.	25
Figura 6. Mapa de unidades geológicas. Nótese como la zona de estudio es abarcada en su totalidad por la formación Combia (Tmc), la formación Amagá (Tos) alrededor. Fuente Servicio Geológico Colombiano (SGC).	25
Figura 7. Mapa de unidades Geomorfológicas. Nótese como la zona de estudio es abarcada en su totalidad por la unidad de montañas denudacionales en rocas sedimentarias (D1), y en sus alrededores por la unidad de geoformas de origen denudativo y/o estructural (S5).	27
Figura 8. Actividades económicas del municipio La Merced, la agricultura y ganadería son las principales. Fuente Plan de Desarrollo (2012-2015).	28
Figura 9. Mapa de capacidad de uso del suelo para el departamento de Caldas, para el municipio de La Merced tres clases: IV, VI, VII, para la zona de estudio clase VII. Fuente Diagnóstico Ambiental de Caldas Plan de Acción (2013-2015).	29
Figura 10. Ganadería como actividad económica. A) Se observa el impacto a gran escala que ha ocasionado el sobrepastoreo. B) Actividad ganadera reciente, refleja la degradación del suelo.	30
Figura 11. Mapa de cobertura y uso del suelo, nótese como la mayoría de la zona de estudio corresponde a pastos limpios. Fuente Corpocaldas escala 1:25.000.	31
Figura 12. Mapa de cobertura y uso del suelo en una escala más detallada 1:5.000. Fuente propia.	31
Figura 13. Mapa de clasificación climática del departamento de Caldas, el municipio de La Merced muestra tendencia hacia los climas templados semihúmedos y húmedos, y frío húmedo. Fuente Atlas Climatológico de Colombia (IDEAM, 2005).	32
Figura 14. Zoom del municipio de La Merced en el mapa de clasificación climática del departamento de Caldas, nótese la tendencia hacia los climas templados semihúmedos y húmedos, y frío húmedo. Fuente Atlas Climatológico de Colombia (IDEAM, 2005).	33
Figura 15. Mapa de clasificación de la temperatura media anual (°C) del departamento de Caldas, para el municipio de La Merced la temperatura promedio es 22°C. Fuente Atlas Climatológico de Colombia (IDEAM, 2005).	33
Figura 16. Zoom del municipio de La Merced en el mapa de la clasificación de la temperatura media anual (°C) del departamento de Caldas, nótese que el municipio tiene una máxima de 26°C y una mínima de 16°C. Fuente Atlas Climatológico de Colombia (IDEAM, 2005).	34

Figura 17. Tramo de la vía La Merced - La Felisa. Nótese que sobre la vía se encuentran algunas medidas para manejar el agua, pero estas no tienen el mantenimiento adecuado.	35
Figura 18. Deslizamiento al borde de la vía, se puede observar erosión en surcos en el movimiento. Fuente: JEDEGER.	39
Figura 19. En la imagen se pueden observar cárcavas sucesivas, las cuales están siguiendo una misma línea de flujo.	40
Figura 20. Esquema de un deslizamiento de tipo traslacional. Fuente: The Landslide Handbook (USGS, 2008).	42
Figura 21. Esquema de un deslizamiento de tipo rotacional. Fuente: The Landslide Handbook (USGS, 2008).	43
Figura 22. Formato para evaluación de deslizamientos, modificado para la zona de estudio. Fuente: Corpocaldas.	44
Figura 23. Movimiento en masa clasificado como un deslizamiento de tipo compuesto, el cual es el principal movimiento que amenaza la vía. Nótese la erosión en surcos dentro del movimiento. Fuente: JEDEGER.	45
Figura 24. Nótese los escalones que se forman por la erosión que produce el sobrepastoreo en la zona de estudio.	46
Figura 25. Esquema de un movimiento por caída de roca. Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales (Suárez, 1998).	47
Figura 26. Nótese las rocas dispuestas a lo largo de la ladera en la zona de estudio, persona como escala.	47
Figura 27. Nótese la roca tamaño bloque sobre el escarpe de un pequeño deslizamiento, el cual está siendo erosionado. Nótese también persona como escala.	48
Figura 28. Nótese cuerpos de roca tamaño bloque dentro del cuerpo de un deslizamiento de tipo traslacional, personas como escala.	48
Figura 29. Esquema de un movimiento de reptación. Fuente: Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales (Suárez, 1998).	49
Figura 30. Nótese la inclinación de los árboles a favor de la pendiente en la zona de estudio. ...	49
Figura 31. 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. Fuente: https://es.climate-data.org , (Merkel, 1982-2012).	51
Figura 32. Gráfica de que representa la amenaza sísmica en Colombia, dividiendo el territorio en zonas de baja, intermedia y alta sismicidad. Nótese que el municipio de La Merced se encuentra en la zona 5 para la cual el $A_a=0.25$. Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (2010).	52
Figura 33. Tabla del Departamento de Caldas en la que se representa la zona de amenaza sísmica de acuerdo al valor A_a . Nótese que para el municipio de La Merced el valor $A_a=0.25$ representa una zona de amenaza sísmica ALTA. Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (2010).	52
Figura 34. Delimitación de los movimientos en masa en la zona de estudio para el año 2009. Nótese que la concentración de los movimientos se da para la zona suroeste. Fuente: Google Earth.	55

Figura 35. Delimitación de los movimientos en masa en la zona de estudio para el año 2014. Nótese que para este año se presentan menos movimientos que para los otros años, de igual manera los que se producen se encuentran en la zona suroeste. Fuente: Google Earth.	56
Figura 36. Delimitación de los movimientos en masa en la zona de estudio para el año 2018. Nótese que para este año los movimientos en masa aumentaron, en comparación con los años anteriores. La concentración de los movimientos se da hacia la parte norte y suroeste de la zona de estudio. Fuente: JEDEGER.	57
Figura 37. Gráfica de precipitaciones en la estación hidrometeorológica Río Pozo para el año 2014. Nótese que las precipitaciones para los meses de junio y julio en el 2014 fueron las menores en comparación con el resto del año, lo que concuerda con los pocos movimientos en masa que se pudieron de limitar para este año. Fuente: CDIAC.	58
Figura 38. Registros sísmicos para el municipio de La Merced. Nótese que se tuvieron registros desde el año 2011 hasta el 2018. Fuente: SGC.	59
Figura 39. Mapa de relieve sombreado de la zona de estudio a partir de un DEM, escala 1:5.000. Fuente propia.	61
Figura 40. Rangos de pendiente utilizados con propósitos de análisis de ingeniería y zonificación de amenazas por movimientos en masa. Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2017.	62
Figura 41. Tabla en la que se especifican las áreas por rango de pendiente, además de la sumatoria y promedio de las áreas.	62
Figura 42. Mapa de pendientes para la zona de estudio. Nótese que la mayoría de la zona de estudio se encuentra entre los rangos de pendiente de 16°-35° clasificado como un terreno abrupto y 35°-55° como un terreno muy abrupto según el SGC. Fuente propia.	63
Figura 43. Modelo de flujo de ocho direcciones de salida válidas que se relacionan con las ocho celdas adyacentes hacia donde puede ir el flujo. Fuente: http://desktop.arcgis.com	64
Figura 44. Mapa de direcciones de flujo. Nótese como la zona de estudio se encuentra principalmente con una tendencia en la dirección de flujo hacia el oeste y noroeste. Fuente: propia.	65
Figura 45. Mapa de direcciones de flujo, el cual fue modificado con una capa de puntos representada por flechas que se encuentran orientadas de acuerdo al valor del pixel. Fuente: propia.	65
Figura 46. Mapa para la cobertura y uso del suelo, más detallado usando la herramienta de clasificación supervisada interactiva. Fuente: propia.	66

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa de puntos de control del área de estudio. Nótese que la mayoría de puntos de control se encuentran ubicados hacia la parte suroeste de la zona. Son 23 puntos en total.	73
Anexo 2. Formato de evaluación para movimiento en masa de tipo deslizamiento, compuesto, el cual afecta la vía directamente.....	74
Anexo 3. Formato de evaluación para movimiento en masa de tipo reptación.....	75
Anexo 4. Formato de evaluación para movimiento en masa de tipo caída de roca.....	76

SIGLAS

- Centro de Datos e Indicadores Ambientales (CDIAC).
- Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS).
- Departamento Administrativo del Sistema de Atención, Prevención y Recuperación de Desastres (DAPARD).
- Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT).
- Jefatura de Gestión del Riesgo, Medioambiente y Cambio Climático (JEDEGER).
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).
- Plan de Desarrollo Territorial (PDT).
- Servicio Geológico Colombiano (SGC).
- Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD).

RESUMEN

La zona de estudio se encuentra localizada en la Cordillera Central y hace parte del departamento de Caldas, en el municipio de La Merced, sobre la vía que comunica con La Felisa en la vereda El Tambor. En su mayoría, el área se encuentra cubierta por grandes espesores de suelo y depósitos coluviales, en algunos sectores afloran rocas volcánicas sedimentarias de la Formación Combia que abarcan una edad Mioceno Superior – Plioceno. Sobre la colina ocurren procesos erosivos y movimientos en masa que fueron necesarios identificar para realizar un análisis multifactor y multitemporal, para ello fue fundamental realizar dos salidas de campo en las que se tomaron 23 puntos de control, efectuar un análisis con base en sistemas de información geográfica, además de revisiones bibliográficas y documentos municipales.

En esta región se desarrollan varios tipos de erosión, tales como erosión laminar, en surcos, en cárcavas e interna, los cuales desencadenan grandes movimientos en masa, entre los que se distinguen, deslizamientos de tipo traslacional, movimientos por caída de roca y reptación. Factores como la geología, geomorfología, la inclinación de las pendientes y el inadecuado uso del suelo, son elementos que contribuyen a la generación de estos procesos, pero los factores más importantes que afectan esta región, son la lluvia y el sismo, estos se consideran factores detonantes de los movimientos en masa.

INTRODUCCIÓN

Los municipios del país deben ejecutar planes de gestión del riesgo, donde se realicen estudios que preparen a la comunidad ante los posibles fenómenos naturales, como parte de la planificación y desarrollo de la ley de gestión del riesgo de desastres (Ley 1523 de 2012).

La Merced, es un municipio que se encuentra ubicado en el noroccidente del departamento de Caldas, en la Cordillera Central de los Andes Colombianos, una de las tres cadenas montañosas que definen gran parte de la geomorfología de Colombia. En este municipio, en la vereda El Tambor, se encuentra localizada el área de estudio en la que se evidencian numerosos movimientos en masa que corresponden a deslizamientos de tipo traslacional, movimientos por caída de rocas y reptación, los cuales son controlados de manera general por las fuertes pendientes, la abundancia de agua en épocas de lluvia y el inadecuado uso del suelo.

Las condiciones geológicas, geomorfológicas, la cobertura y uso del suelo, entre otras características, hacen de este sector objeto de estudio para la prevención, mitigación y recuperación ante los fenómenos naturales.

El presente trabajo, se enfoca en la identificación de escenarios de riesgo, en la elaboración de una cartografía base y de un análisis multitemporal, en el que por medio de sistemas de información geográfica se logran plantear posibles soluciones antes las diferentes problemáticas.

LOCALIZACIÓN.

En el occidente del departamento de Caldas, el municipio de La Merced, limita al norte con el municipio de Pácora, al occidente con Supía y Marmato, al oriente con Salamina y al sur con Filadelfia y Aranzazu.

El área que se procederá a estudiar en este documento, se encuentra ubicada a 2.5 km aproximadamente de La Felisa, ascendiendo por la vía que comunica a la cabecera municipal de La Merced, en la vereda El Tambor. (ver figura 1).

La zona de estudio cuenta con un área aproximada de 407.371 m² y alturas que van desde los 930 m.s.n.m hasta los 1200 m.s.n.m.

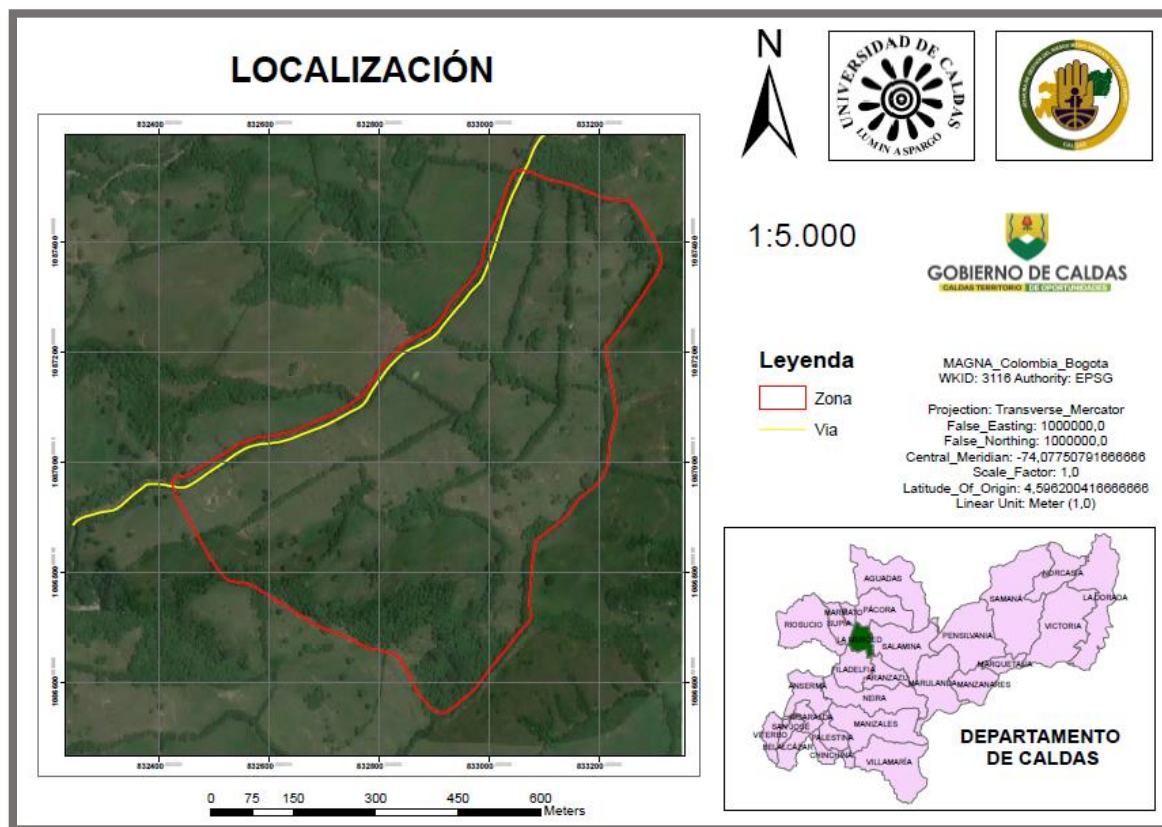


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio en la vereda El Tambor del municipio La Merced, en el departamento de Caldas, Colombia.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Identificar los escenarios de riesgo que limitan la zona de estudio ubicada en la vereda El Tambor, sobre la vía principal del municipio La Merced – La Felisa, a 8 km de la cabecera municipal.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reconocer los tipos de movimientos en masa que se desarrollan en la región, teniendo en cuenta los factores que los pueden desencadenar.
- Realizar un análisis multitemporal y multifactor, basado en sistemas de información geográfica e imágenes satelitales.
- Elaborar cartografía temática de la zona de estudio con base en sistemas de información geográfica.
- Plantear posibles soluciones para prevenir o mitigar el riesgo en este sector.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las líneas vitales de los seres humanos, a través del tiempo se han visto amenazadas y modificadas por la presencia de diferentes fenómenos naturales, los cuales pueden ocurrir de manera inusual y con un alto potencial de afectación a los territorios. Es el caso, de las amenazas por movimientos en masa que se pueden generar a partir de la erosión causada por factores naturales como las grandes precipitaciones, las cuales transforman las propiedades físicas de las laderas, además, de las altas pendientes. Estas condiciones se ven representadas en la zona que se ha delimitado en el municipio de La Merced en la vereda El Tambor, en la que también influyen factores como el uso inadecuado del suelo, reflejado en el sobrepastoreo.

Por lo tanto, en este proyecto, se pretende analizar e identificar los movimientos en masa que se han estado presentado en la zona ya mencionada, los cuales representan un gran riesgo para la vía La Felisa - La Merced, una vía de comunicación de vital importancia para el desarrollo económico de los municipios de Filadelfia y La Merced.

Con el fin de plantear posibles soluciones y reducir las condiciones de vulnerabilidad, se procederá a utilizar un software ArcGIS, en el cual se recopilarán una serie de datos que, por medio de mapas, podrán evidenciar las zonas de alto riesgo más propensas a presentar movimientos en masa que puedan afectar la vía de interés.

METODOLOGÍA

Para lograr satisfactoriamente los objetivos del proyecto y la realización del presente trabajo, se llevaron a cabo una serie de etapas que tuvieron lugar desde el 1 de octubre del 2018 hasta el 1 de marzo del 2019 a continuación, se mencionan:

- **Revisión bibliográfica:** En esta etapa se recopiló información secundaria acerca de la zona de estudio, teniendo en cuenta documentos técnicos del municipio La Merced como el EOT, PDT, oficios departamentales y de la corporación autónoma, al igual que trabajos de investigación realizados en el mismo.
- **Sistemas de Información Geográfica:** Se crearon diferentes tipos de mapas utilizando el software ArcGIS, el cual permite recopilar, organizar, examinar y distribuir información geográfica, mediante herramientas proporcionadas por este programa, generando así una cartografía temática del sector.
- **Salida de campo:** Se realizaron dos visitas a la zona de estudio con el fin de limitarla e identificar los procesos naturales que allí ocurren, y que representan un riesgo para la vía trazada por este sector.
- **Análisis multitemporal:** Con ayuda de un drone y del programa Google Earth, se obtuvieron imágenes satelitales de varios años (2009, 2014 y 2018), las cuales permitieron realizar comparaciones detalladas en esta línea de tiempo, principalmente en los factores que contribuyen y detonan los procesos erosivos.

Una vez realizados estos pasos, se procedió a proponer factibles soluciones que ayuden a prevenir o mitigar posibles amenazas en el área estudiada.

ANTECEDENTES

- Dávila y López (2001), realizaron un estudio geotécnico que permitiera identificar las posibles causas de las amenazas naturales por erosión superficial y profunda, y que proporcionara información sobre las características que presentan los materiales sobre los que se encuentra asentado el casco urbano y de esta manera optimizar el aprovechamiento del suelo en términos de expansión urbana.
- Moreno (2006), elaboró una revisión y actualización de mapas de amenaza por movimientos en masa e inundación existentes para el municipio de La Merced en el Esquema de Ordenamiento Territorial.
- Suárez (1998), plantea un texto guía para el estudio y la práctica de ingeniería y geotécnica, incluyendo análisis, diseño y construcción de taludes con énfasis en los problemas de deslizamientos de tierra.
- Alcaldía Municipal de La Merced (2000-2009); (2012-2015;2016-2019), desarrolló para estos periodos el “Esquema de Ordenamiento Territorial” y el “Plan de Desarrollo Territorial” del municipio de La Merced respectivamente, en los cuales se sientan las bases para atender las necesidades de la población y mejorar la calidad de vida de todos los ciudadanos.

MARCO GEOLÓGICO

La Cordillera de los Andes, se divide al sur de Colombia en tres importantes ramales, Cordillera Occidental, Central y Oriental. La Cordillera Central se extiende desde el Macizo Colombiano, en el departamento del Cauca al sur de Colombia, hasta la Serranía de San Lucas, en el departamento de Bolívar. El municipio de La Merced se encuentra localizado en esta cordillera, donde según Etayo et al. (1986), corresponde al Terreno Cauca-Romeral.

Para la descripción de la geología regional, se tuvo en cuenta el “*Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Caldas*” propuesto por González (1990). En el municipio de La Merced se encuentran aflorando rocas de ambiente marino como el Complejo Quebradagrande, (Botero y González, 1983 en Naranjo y Ríos, 1989), de edad Aptiano-Albiano, diferenciado en un miembro sedimentario, al cual corresponden pizarras arcillosas y silíceas, limolitas, liditas y bancos de caliza, en gran parte muestran efectos de metamorfismo dinámico; y un miembro volcánico, compuesto por rocas ultramáficas serpentinizadas, diabasas, basaltos, andesitas. También afloran secuencias Terciarias, como las areniscas de la formación Amagá y los conglomerados y tobas de la formación Combia, en los que figuran cuerpos hipoabisales intruyendo estas formaciones. Como depósitos Cuaternarios, se tienen aluviones y coluviones.

En el departamento de Caldas, la Cordillera Central, está limitada por dos sistemas de fallas casi que perpendiculares entre sí, el primer sistema está representado por las fallas Romeral-Cauca al oeste y Palestina y Mulato al este; el segundo sistema corresponde a la falla de Salamina-Marulanda y el alineamiento del Río Arma, (González, 1990). Entre estos grandes sistemas de falla existen otros de menor dimensión, pero con una clara expresión geomorfológica.

GEOLOGÍA LOCAL

La unidad litológica que comprende principalmente el área de estudio es la Formación Combia, acompañada en sus alrededores por la Formación Amagá (ver figura 6). Estas unidades afloran secuencias terciarias para los departamentos de Antioquia y Caldas.

Formación Combia (Tmc).

La Formación Combia se extiende a lo largo del Valle del Río Cauca entre los departamentos de Antioquia, Risaralda y Caldas. Fue denominada como “Estratos de Combia” por Grosse (1926), quién la definió como rocas volcanoclásticas que suprayacen discordantemente a la Formación Amagá.

Estudios petrográficos y de paleocorrientes, sugieren que ésta se formó a partir de flujos volcánicos y volcanoclasticos que se originaron hacia el oeste y este del Valle del Río Cauca (Ramírez et al., 2006).

La unidad fue redefinida y dividida como Miembro Volcánico y Miembro Sedimentario (González, 1980).

- 1. Miembro Volcánico (Inferior):** Se compone fundamentalmente por conglomerados con matriz tobácea, areniscas tobáceas, tobas, aglomerados, brechas volcánicas y efusiones de basaltos. Las brechas y aglomerados están compuestos por rocas volcánicas con una matriz hipocristalina de composición andesítica, se diferencian por el tamaño menor de las brechas. Las tobas están compuestas por cristales de augita, hornblenda, biotita, cuarzo y feldespatos, con porción de vidrio volcánico. Para los conglomerados la matriz está compuesta por cuarzo con feldespato caolinizado, hornblenda y biotita, similar a las areniscas

tobáceas de la secuencia. La mayor parte de las efusiones corresponden a basaltos feldespáticos masivos (González, 1980).

- 2. Miembro Sedimentario (Superior):** La secuencia está constituida por interestratificaciones de conglomerados, brechas sedimentarias, areniscas de grano fino a medio y arcillolitas de color rojizo (González, 1976 en Gonzáles, 1980).

En la zona de estudio, sobre la colina, no se encuentran afloramientos significativos de roca fresca, los pocos que se pueden observar están altamente meteorizados (ver figura 2), y por lo general, se encuentran perfiles de suelos que han sido expuestos por causa de los movimientos en masa y grandes cuerpos de roca que no están “in situ”.



Figura 2. Afloramiento altamente meteorizado, nótese el lapicero como escala.

De acuerdo a lo anterior, las muestras de roca que se pudieron obtener y observar en campo son, conglomerados clastosoportados con una matriz arenosa de color gris con abundante contenido de cuarzo (ver figura 3), también se observan en menor proporción plagioclasas, hornblenda y líticos, se encuentran mal seleccionados, con un tamaño que varía de guijos a bloques, su forma va de subredondeada a angulosa, presentan baja esfericidad. En la composición se destacan, clastos oscuros de color negro que corresponden a basaltos y clastos más claros de color gris que pertenecen a andesitas.



Figura 3. Conglomerados clastosoportados de la formación Combia a 160 m aproximadamente de la vía, nótese el lapicero como escala.

En el sector también se encuentran areniscas de color amarillo a pardo (ver figura 4), con un tamaño de grano fino a medio, se pueden diferenciar en la composición granos de cuarzo, plagioclasa y muscovita.



Figura 4. Afloramiento de areniscas de la formación Combia a 200 m aproximadamente de la vía, nótese la libreta como escala.

La edad de la Formación Combia fue dada por relaciones de campo y correlaciones con otras formaciones, determinada por métodos palinológicos y paleozoológicos realizados en la cuenca del Cauca (Van Der Hammen, 1960 en González, 1980), y las dataciones realizadas por otros autores en los cuerpos sub-volcánicos que la intruyen e indican una edad Mioceno Superior-Plioceno (Ramírez et al., 2006).

Formación Amagá (Tos).

Descrita por Grosse (1926) como Terciario Carbonífero de Antioquia, el cual hace referencia al conjunto sedimentario continental compuesto principalmente por, conglomerados, areniscas, arcillas pizarrosas y bituminosas, y mantos de carbón de diferentes espesores. Esta unidad se divide en tres miembros: inferior, medio y superior.

- 1. Miembro Inferior:** Conglomerados polimícticos con cantos de rocas metamórficas, dioritas, chert, areniscas conglomeráticas de color crema, y capas de arcillolita arenosa intercaladas con bancos de arenisca (González,1980).
- 2. Miembro Medio:** Compuesto por areniscas de tamaño de grano grueso a fino y arcillolitas con estratificación fina, en estas se encuentran restos de plantas fósiles, (González,1980).
- 3. Miembro Superior:** Se caracteriza por el predominio de areniscas de color oscuro, de grano fino a medio, que ocasionalmente contienen concreciones calcáreas, y la presencia de arcillolitas de color ocre, además, por la ausencia de mantos de carbón y conglomerados. Este miembro está cubierto discordantemente por la Formación Combia, (González,1980).

La edad de esta unidad fue establecida como del Oligoceno Superior, correspondiendo el miembro superior al Mioceno Inferior (Van Der Hammen, 1960 en González,1980).

Depósitos Coluviales.

Un coluvión es una masa incoherente de materiales sueltos y heterogéneos, de suelo o fragmentos de roca despositados por lavado de la lluvia, reptación o deslizamientos, que se depositan en la base de las laderas, (Bates y Jackson, 1980 en Suárez, 1998). Para la zona de estudio son depósitos de ladera derivados de la Formación Combia (ver figura 5), son de color gris a amarillo pardo, varían de tamaño de guijos a bloques, clastosoportados, subredondeados a redondeados.

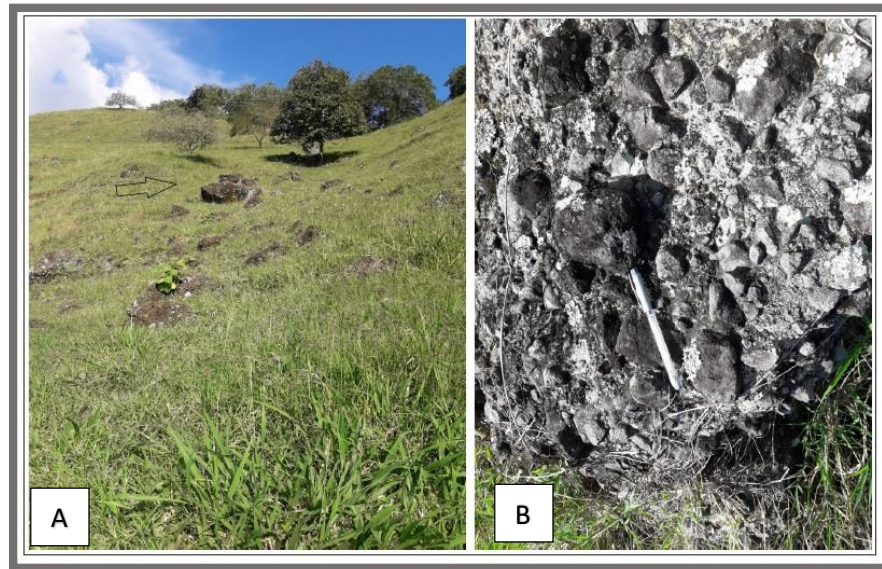


Figura 5. A) Depósitos coluviales de la formación Combia a lo largo de la colina, el tamaño varía de guijos a bloques. B) Depósito coluvial de la formación Combia conglomerático, nótese el lapicero como escala.

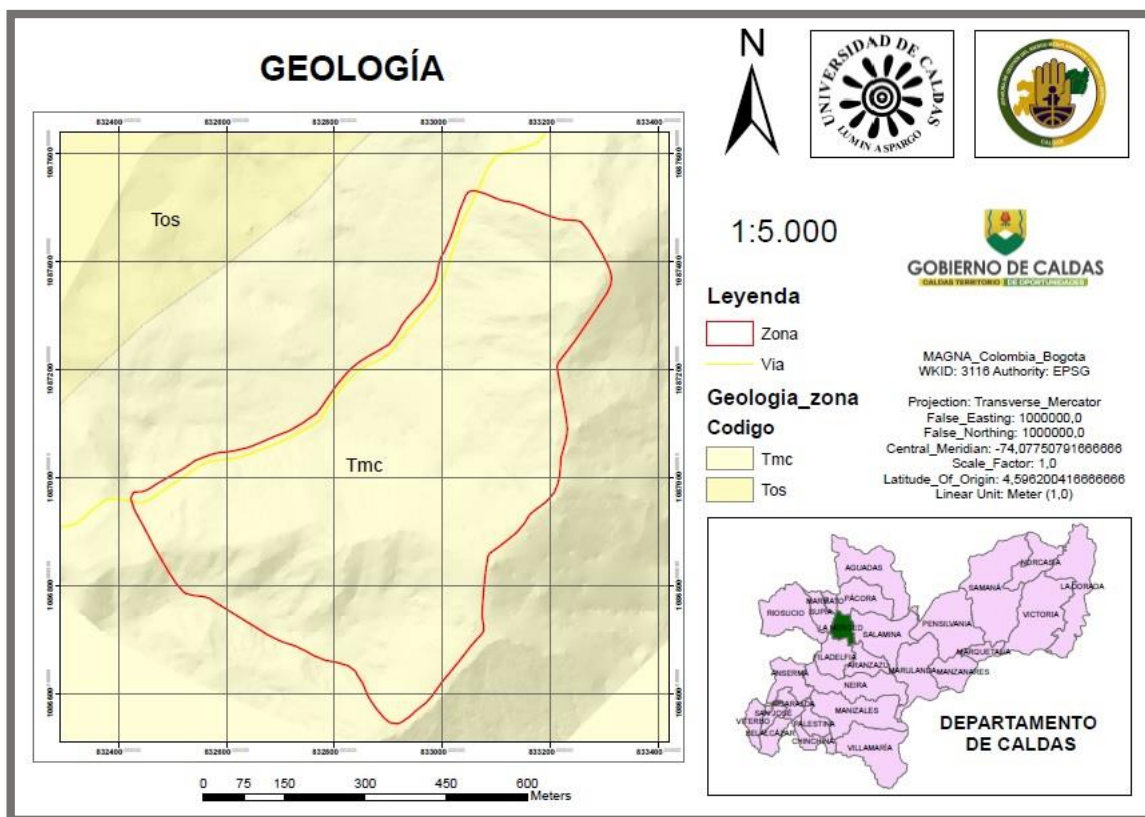


Figura 6. Mapa de unidades geológicas. Nótese como la zona de estudio es abarcada en su totalidad por la formación Combia (Tmc), la formación Amagá (Tos) alrededor. Fuente: SGC.

GEOMORFOLOGÍA

Topográficamente el área de estudio presenta un relieve montañoso, con laderas largas e irregulares de pendientes suavemente inclinadas a muy abruptas. Estos factores inciden en fenómenos erosivos como cárcavamientos y deslizamientos; los suelos son muy susceptibles a la erosión.

Para determinar las unidades geomorfológicas de este sector, se tuvo en cuenta la clasificación definida por Dávila y López en el año 2002, basada principalmente en la forma de los valles y colinas, el grado de erosión, la pendiente y algunas características en los drenajes.

De acuerdo con lo anterior, se determina que el área de estudio solo es abarcada por una unidad geomorfológica, que corresponde a la “Unidad de montañas denudacionales en rocas sedimentarias”, y en sus alrededores por “Geoformas de origen denudativo y/o estructural”, según la clasificación de Dávila y López en el año 2002 (ver figura 7).

- **Unidad de montañas denudacionales en rocas sedimentarias (D1).**

Se ubica hacia el sector occidental del municipio, con alturas entre los 900 m.s.n.m y 1600 m.s.n.m. y pendientes que van desde los 6° hasta los 28° donde afloran rocas de la Formación Combia. Se caracteriza por presentar drenajes de tipo erosional, paralelo, con moderada disección. El modelado de las rocas sedimentarias se debe a la concentración de procesos morfodinámicos y a su grado de inclinación (Dávila y López, 2002). Cabe anotar que localmente en el área de estudio las pendientes van de 0° a 55°.

- **Geoformas de origen denudativo y/o estructural (S5).**

Se caracterizan por presentar drenajes paralelos de primeros, segundo y tercer orden, de baja a media disección, con valles asimétricos, colinas subangulares de pendientes bajas y erosión moderada.

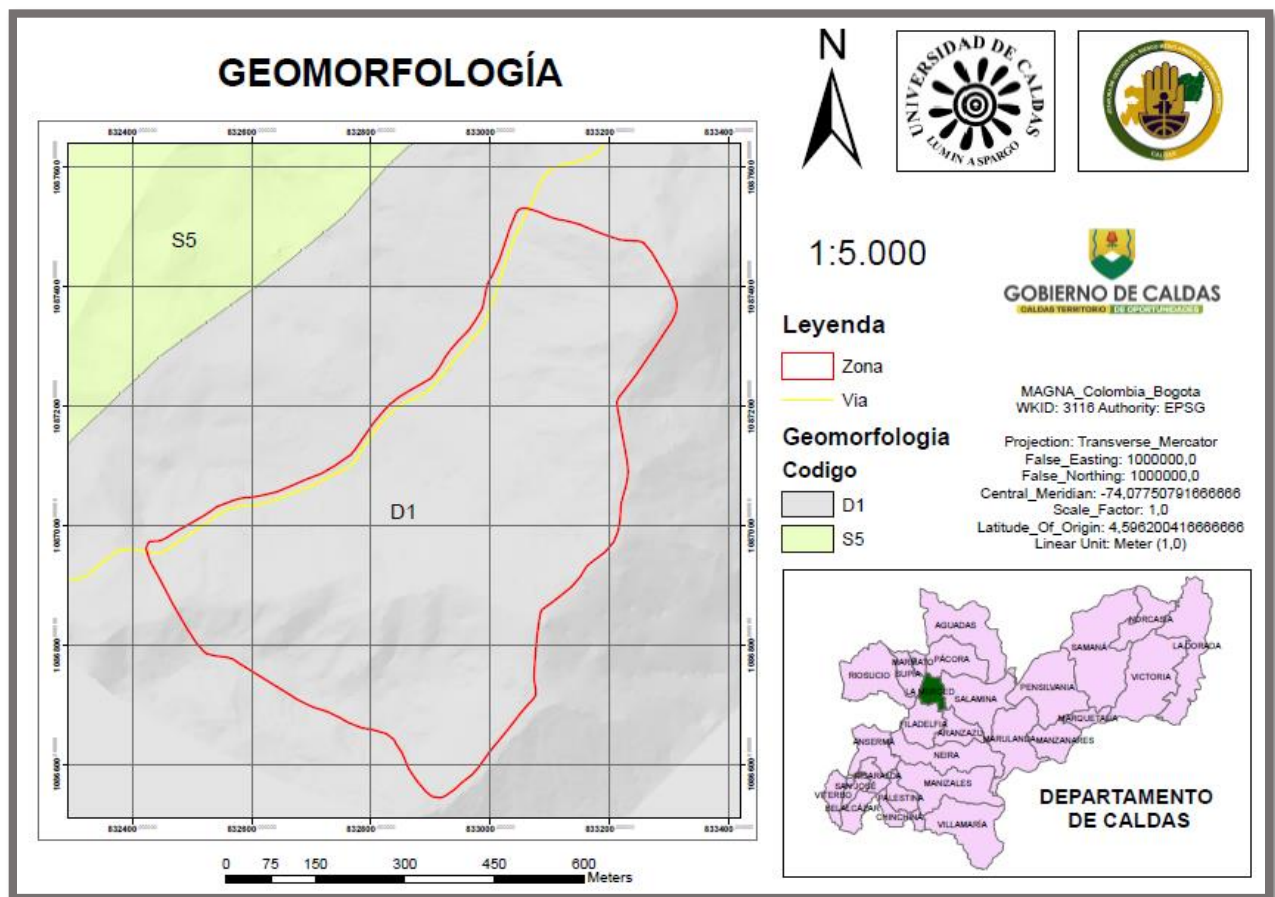


Figura 7. Mapa de unidades Geomorfológicas. Nótese como la zona de estudio es abarcada en su totalidad por la unidad de montañas denudacionales en rocas sedimentarias (D1), y en sus alrededores por la unidad de geoformas de origen denudativo y/o estructural (S5). Fuente: Dávila y López (2002).

COBERTURA Y USO DEL SUELO

Según el PDT La Merced (2016-2019), el uso del suelo en el municipio, se caracteriza por tener una propensión al sector agricultor y ganadero (ver figura 8). En el sector agrícola, el café es la principal actividad económica, seguida de la producción de plátano y aguacate. Para el sector ganadero, las principales especies de pastos que sustentan el alimento de las cabezas de ganado bovino son, pastos naturales, brachiaria decumbes, estrella, kikuyo, King grass, entre otros; este sistema productivo representa un alto riesgo ambiental, ya que se desarrolla en altas pendientes, convirtiendo los suelos altamente erosionables.

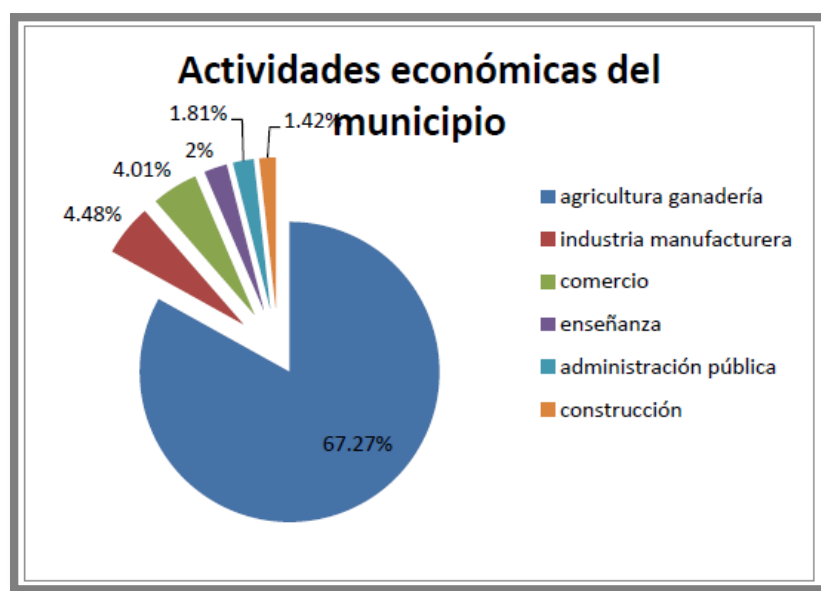


Figura 8. Actividades económicas del municipio La Merced, la agricultura y ganadería son las principales. Fuente PDT La Merced (2012-2015).

En el departamento de Caldas se encuentran 6 clases agrológicas de suelo de las 8 existentes. Cada clase incorpora los suelos que tienen el mismo grado de daños o limitaciones en su uso, las cuales acrecientan de la clase I a la VII, (CORPOCALDAS, 2013-2015).

Según el mapa de capacidad de uso del suelo (ver figura 9) en el Diagnóstico Ambiental de Caldas (CORPOCALDAS, 2013-2015), el municipio de La Merced cuenta con tres clases agrológicas de suelo: la clase IV es apta para cultivos con prácticas adecuadas. Clase VI, debe emplearse para el pastoreo o silvicultura y su uso conlleva riesgos moderados. Por último y más importante, la clase VII, la cual corresponde a el área de estudio, se caracteriza por ser suelos en pendientes mayores del 25%, erosionados, muy superficiales, de baja fertilidad, áridos o inundados, se deben manejar con mucho cuidado y su uso debe ser preferentemente la reforestación y la conservación de la vegetación natural o el pastoreo extensivo con grandes limitaciones.

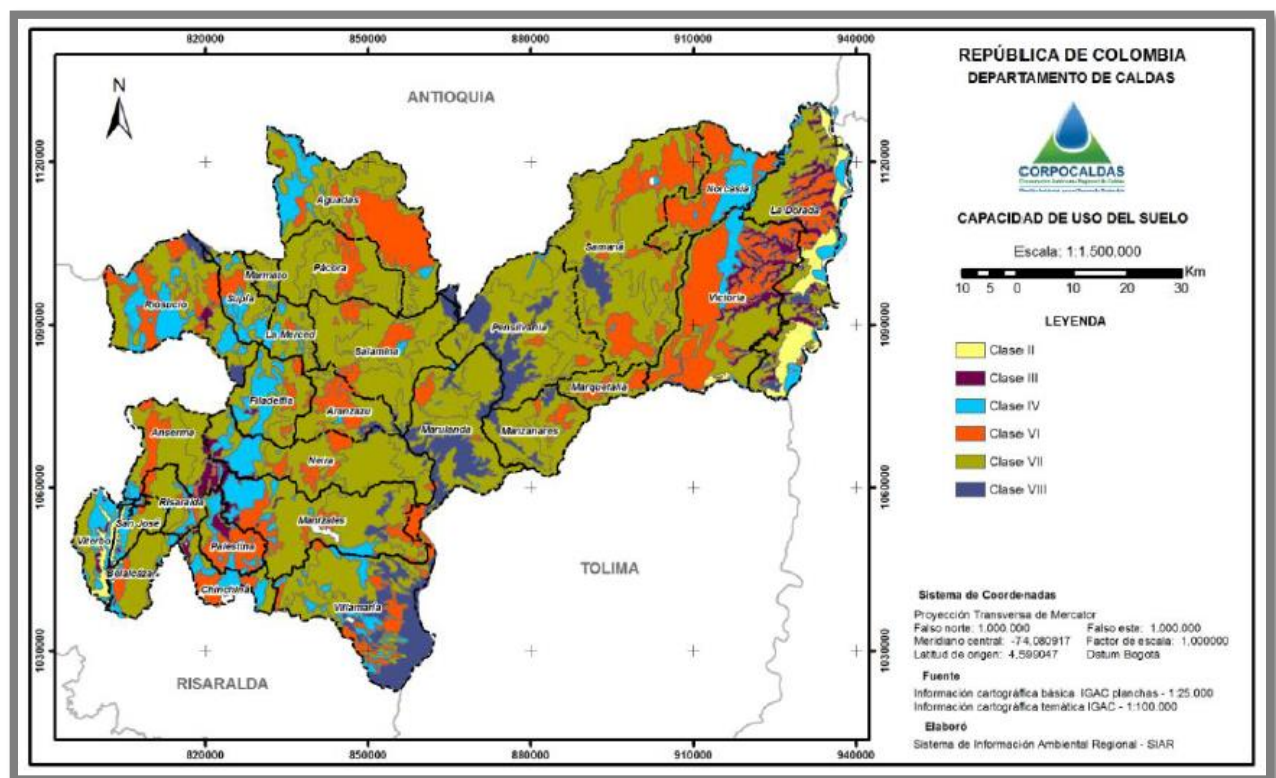


Figura 9. Mapa de capacidad de uso del suelo para el departamento de Caldas, para el municipio de La Merced tres clases: IV, VI, VII, para la zona de estudio clase VII. Fuente CORPOCALDAS (2013-2015).

El área de interés, es una colina desnuda, en la que no se encuentra ningún tipo de cultivo como actividad económica, es una zona de pastos naturales con bosques pequeños en ciertos sectores, entre estos bosques se diferencian tallos arbóreos de guadua. La colina, en su extensión, está limitada por cercas vivas y por grandes rocas que se encuentran distribuidas en las laderas.

La actividad económica que se identifica en este sector es la ganadería (ver figura 10), la cual se evidencia en toda la zona y, por lo tanto, ha generado un impacto desfavorable en el suelo, ocasionando deslizamientos y colocando en riesgo la vía que yace en la parte inferior de la montaña, que es de gran importancia para el municipio, pues comunica con La Felisa.



Figura 10. Ganadería como actividad económica. A) Se observa el impacto a gran escala que ha ocasionado el sobrepastoreo. B) Actividad ganadera reciente, refleja la degradación del suelo.

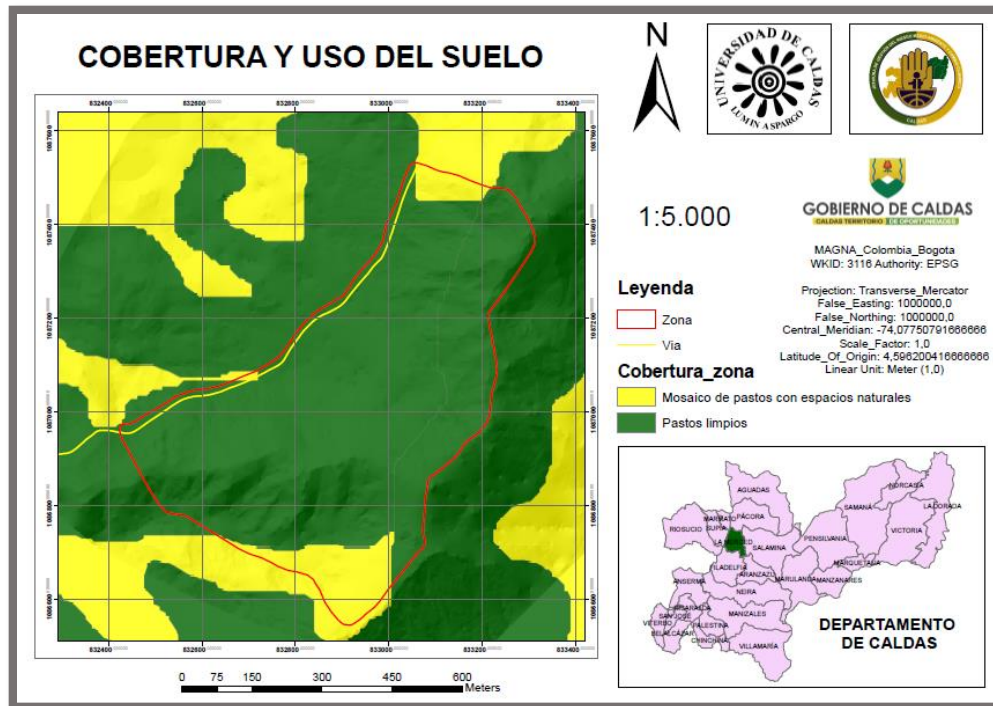


Figura 11. Mapa de cobertura y uso del suelo, nótese como la mayoría de la zona de estudio corresponde a pastos limpios. Fuente Corpocaldas escala 1:25.000.

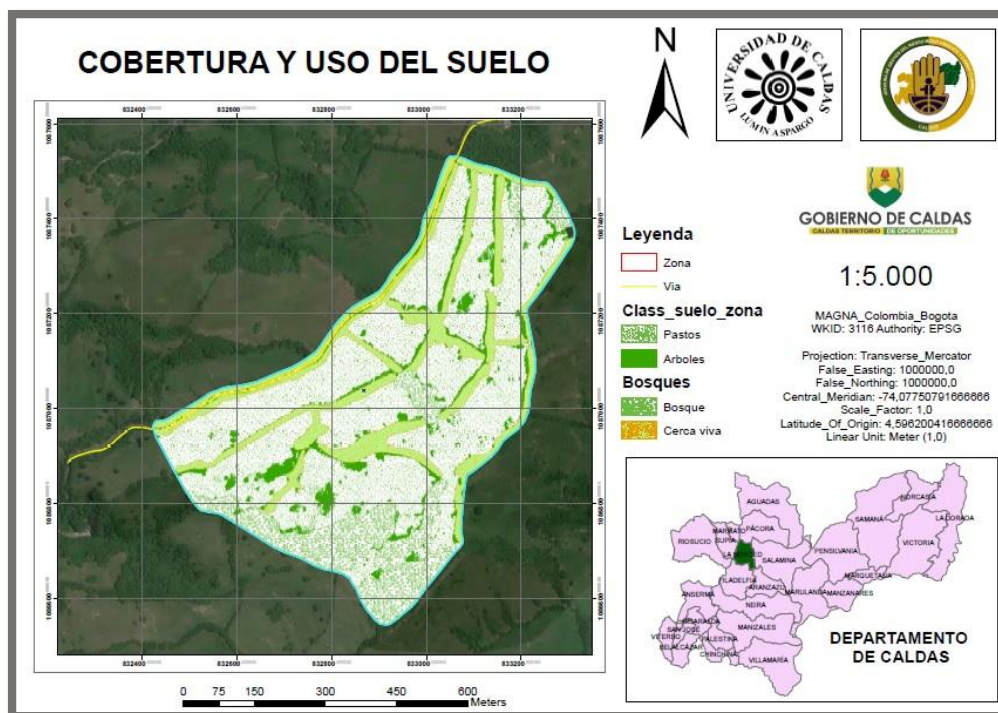


Figura 12. Mapa de cobertura y uso del suelo en una escala más detallada 1:5.000. Fuente propia.

GENERALIDADES

- **Clima.**

La variada condición climática en este municipio se debe a que su territorio comprende alturas desde los 700 m.s.n.m. (rivera del Río Cauca al occidente del municipio) hasta los 2300 m.s.n.m. (hacia el suroriente del municipio), lo que permite una diversidad de especies en flora y fauna local, al igual que una ventaja en la productividad agrícola, (PDT La Merced, 2016-2019).

Según el IDEAM (2005) en el Atlas Climatológico de Colombia, el municipio de La Merced presenta una tendencia a los climas templados semihúmedos y húmedos, y frío húmedo, (ver figura 13 y 14).

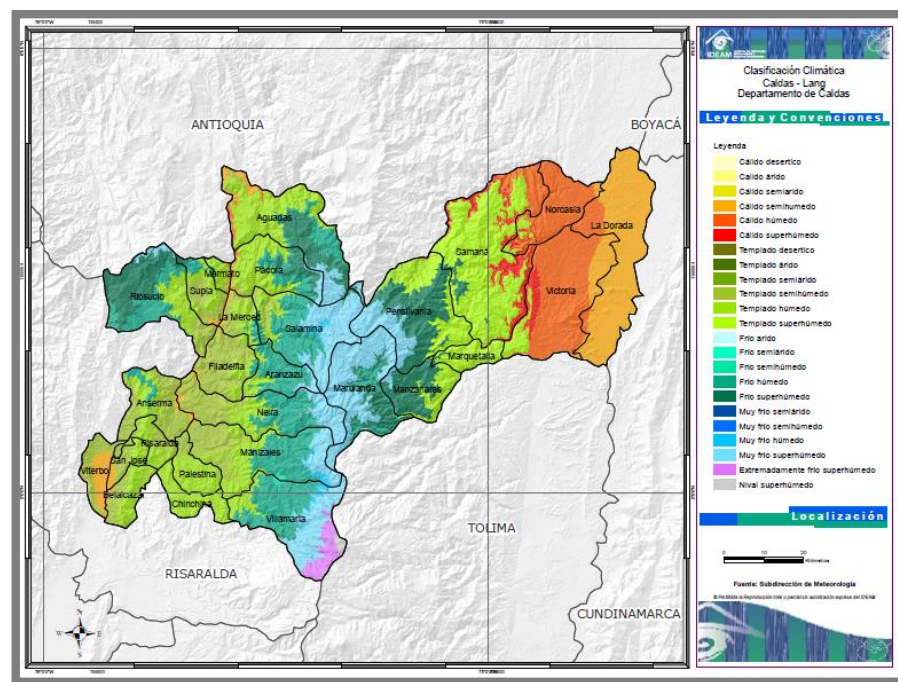


Figura 13. Mapa de clasificación climática del departamento de Caldas, el municipio de La Merced muestra tendencia hacia los climas templados semihúmedos y húmedos, y frío húmedo. Fuente Atlas Climatológico de Colombia (IDEAM, 2005).

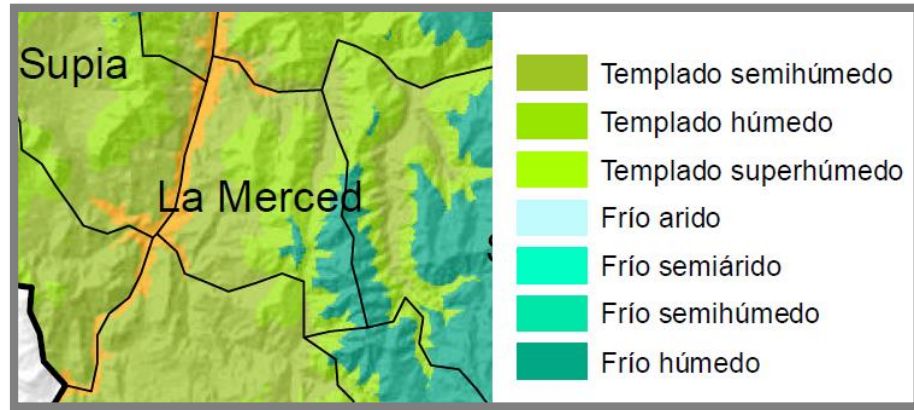


Figura 14. Zoom del municipio de La Merced en el mapa de clasificación climática del departamento de Caldas, nótese la tendencia hacia los climas templados semihúmedos y húmedos, y frío húmedo. Fuente Atlas Climatológico de Colombia (IDEAM, 2005).

La temperatura en el municipio en promedio es de 22°C, (PDT La Merced, 2012-2015), con una máxima de 26°C y una mínima de 16°C, (IDEAM, 2005), (ver figura 15 y 16).

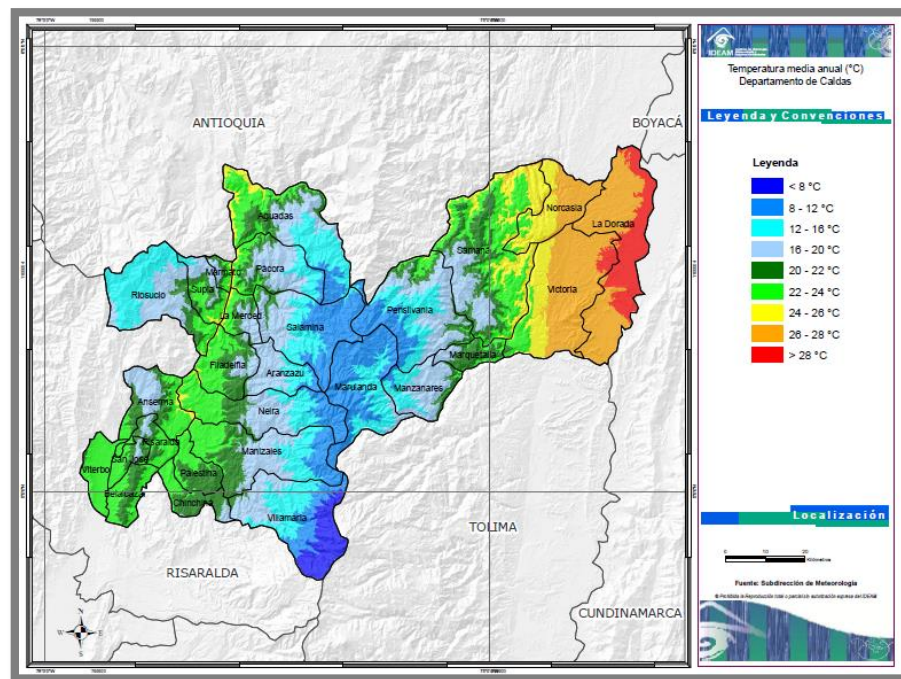


Figura 15. Mapa de clasificación de la temperatura media anual (°C) del departamento de Caldas, para el municipio de La Merced la temperatura promedio es 22°C. Fuente Atlas Climatológico de Colombia (IDEAM, 2005).

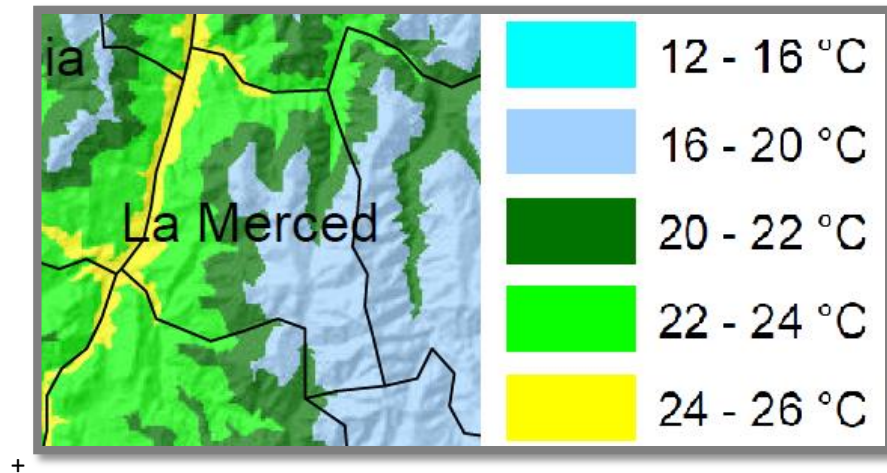


Figura 16. Zoom del municipio de La Merced en el mapa de la clasificación de la temperatura media anual (°C) del departamento de Caldas, nótese que el municipio tiene una máxima de 26°C y una mínima de 16°C. Fuente Atlas Climatológico de Colombia (IDEAM, 2005).

La máxima temperatura es alcanzada en los primeros meses del año, principalmente en marzo, y la mínima en los meses de octubre y noviembre, (Merkel, 1982-2012).

Según el IDEAM (2005), el régimen de lluvias es de tipo bimodal, con una temporada seca a mitad de año y otra en enero o febrero, las mayores cantidades de lluvia se presentan entre marzo y mayo, y de septiembre a noviembre.

- **Vías.**

Esta región se encuentra ubicada en un punto estratégico y equidistante entre tres ciudades importantes a nivel nacional, Manizales, Pereira y Medellín. La red vial interna que conecta las diferentes cabeceras municipales es buena, lo anterior manifiesta su excelente conectividad con el resto del país y la importancia de una buena infraestructura vial, (PDT La Merced, 2016-2019).

La vía de interés en este proyecto es la vía que comunica al municipio de La Merced con La Felisa, esta vía es de gran valor para la región ya que representa una ruta de vital

importancia para mantener la economía del municipio. Esta vía actualmente se encuentra pavimentada (ver figura 17), aunque se ha visto fuertemente afectada por la ola invernal, la cual ha ocasionado agrietamientos y hundimientos en algunos sectores de la vía, además de los movimientos en masa que se han estado presentado en las laderas y que han afectado la vía por caída de material, perjudicando el tránsito vehicular por cierre de la misma.



Figura 17. Tramo de la vía La Merced - La Felisa. Nótese que sobre la vía se encuentran algunas medidas para manejar el agua, pero estas no tienen el mantenimiento adecuado.

ESCENARIOS DE RIESGO

Un escenario de riesgo se plantea como fragmentos o campos delimitados de las condiciones de riesgo del municipio, que facilitan tanto la comprensión de los problemas como la priorización y formulación de las acciones de intervención, así como el seguimiento y la evaluación de las mismas, (UNGRD, 2012).

Es oportuno dar claridad sobre algunas definiciones para una mejor comprensión. Según la Ley 1523 del 2012, se definen:

- **Riesgo:** 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.
- **Amenaza:** 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.
- **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 de sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de

sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos.

En la vereda El Tambor del Municipio La Merced, se procedió a delimitar un área que representa condiciones de riesgo para el municipio, la cual corresponde a la zona de estudio del presente trabajo. Los escenarios de riesgo identificados en este sector obedecen a diferentes tipos de erosión, de movimientos en masa como deslizamientos, movimientos por caída de roca y reptación, estos son los causantes de las amenazas que se producen sobre la vía La Merced – La Felisa, a continuación, se desarrollan.

EROSIÓN

La erosión es el desprendimiento, transporte y deposición de partículas o masas pequeñas de suelo o roca, por acción de las fuerzas generadas por el movimiento del agua, Suárez (1998). Son muchos los procesos denudativos que actúan en la zona de estudio, y que dependen de aspectos inherentes de los materiales como: la composición, el grado de meteorización, el uso inadecuado del suelo, la deforestación, y aspectos circunstanciales como el clima, la cobertura del suelo y la humedad. Todos estos factores son los responsables del modelamiento de la corteza terrestre, operando en un mismo espacio de tiempo.

Los procesos de erosión son comunes en suelos residuales poco compactos, en los que priman limos y arenas muy finas, y especialmente si la cobertura vegetal es escasa. En la zona de estudio se identificaron algunos tipos de erosión:

- **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.**

Se forman por la concentración del flujo de agua en caminos preferenciales, arrastrando las partículas y dejando canales de poca profundidad. El agua de escorrentía fluye sobre la superficie de un talud y a su paso va levantando y arrastrando partículas de suelo, formando surcos, Suárez (1998).

En la zona se puede observar una serie de surcos (ver figura 17), los cuales se consideraron como posibles canales de agua que pueden incrementar su tamaño en épocas de fuertes precipitaciones, ocasionando erosión superficial del suelo.

Los surcos que se presentan en la zona varían en tamaño, los más grandes han ganado profundidad formando cárcavas, y en algunas ocasiones se muestran con avance de material.



Figura 18. Deslizamiento al borde de la vía, se puede observar erosión en surcos en el movimiento. Fuente: JEDEGER.

- **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).

La erosión en cárcavas es la más común en la zona de estudio (ver figura 18), se encuentra presente a lo largo y ancho de la montaña.



Figura 19. En la imagen se pueden observar cárcavas sucesivas, las cuales están siguiendo una misma línea de flujo.

- **Erosión interna.**

Se produce cuando el agua fluye por ductos concentrados dentro del suelo, la cual da origen a derrumbamientos o colapsos que pueden generar hundimientos o cárcavas, Suárez (1998).

MOVIMIENTOS EN MASA

El término movimientos en masa equivale a definiciones como procesos de remoción en masa, fenómenos de remoción en masa, deslizamientos o fallas de taludes y laderas. El término movimiento en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de masas de roca, detritos o tierras por efecto de la gravedad, (Cruden, 1991 en SGC, 2016).

Los movimientos en masa representan procesos geológicos destructivos que afectan a los seres humanos de forma directa e indirecta, logrando ocasionar pérdidas humanas, pérdidas de bienes, lesiones, daños en infraestructura, servicios, entre otros. Las zonas montañosas que tanto caracterizan al municipio de La Merced son muy susceptibles a este tipo de procesos, esto se debe esencialmente a su condición topográfica, la meteorización de los suelos y las altas precipitaciones que juegan un papel importante en climas tropicales.

Para la clasificación de los movimientos en masa se tiene en cuenta el sistema propuesto por Varnes (1978), y las observaciones en dicho texto hechas por Suárez (1998), en *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. De acuerdo a lo anterior, se distinguen diferentes tipos de movimientos en masa: por caída de roca, volcamiento, reptación, deslizamiento, esparcimiento lateral, flujo, avalanchas y movimientos complejos. A continuación, se definen los tipos de movimientos en masa que ocurren en la zona de estudio, según estos autores:

Deslizamiento.

Es un desplazamiento de tierra, rocas y vegetación por una pendiente en forma rápida o lenta, generando emergencias en las poblaciones o infraestructuras cercanas, (DAPARD, 2017).

Consiste en una tensión de cizallamiento y un desplazamiento a lo largo de una o varias superficies que son visibles o pueden ser detectadas fácilmente, o dentro de una zona relativamente estrecha. El movimiento puede ser progresivo, y comprender una o más unidades de masa moviéndose. Los deslizamientos pueden ocurrir por factores naturales o antrópicos, y se pueden dividir en:

- **Deslizamiento Traslacional:** En este movimiento el cuerpo de masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, sobre una superficie más o menos plana, y con muy poco o nada de movimiento rotacional. Este movimiento puede progresar indefinidamente sobre la ladera (ver figura 19).

Los movimientos de traslación son comúnmente controlados por superficies de falla, fracturas, planos de estratificación y en zonas donde se dan cambios en la resistencia al corte de los materiales o por el contacto entre la roca y materiales blandos o coluvión.

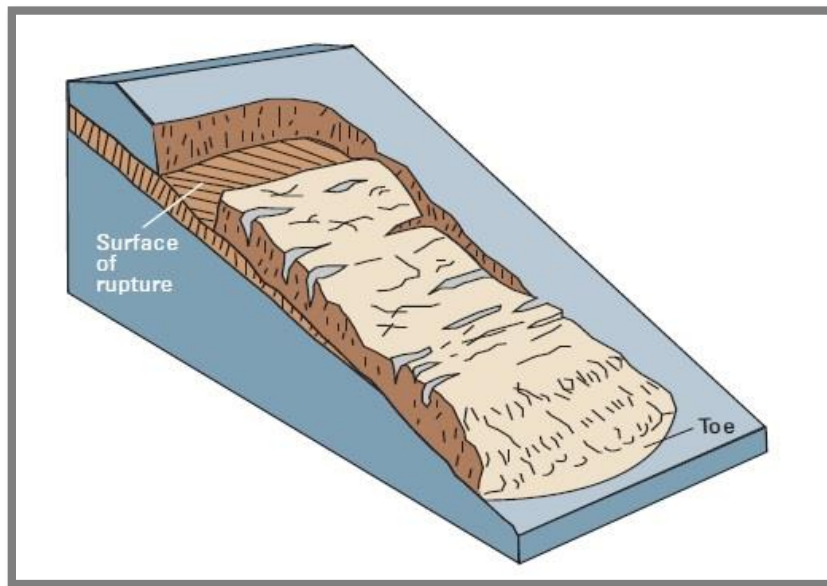


Figura 20. Esquema de un deslizamiento de tipo traslacional. Fuente: *The Landslide Handbook* (USGS, 2008).

- **Deslizamiento Rotacional:** En un deslizamiento rotacional la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo de masa (ver figura 20). Este tipo de deslizamiento posee agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento, también se forma una superficie cóncava en forma de “cuchara”. El movimiento produce un área superior de hundimiento en el que el deslizamiento es aparentemente semi-vertical con poca rotación, y un área inferior de deslizamiento que genera en ocasiones, flujos de materiales por debajo del pie de deslizamiento.

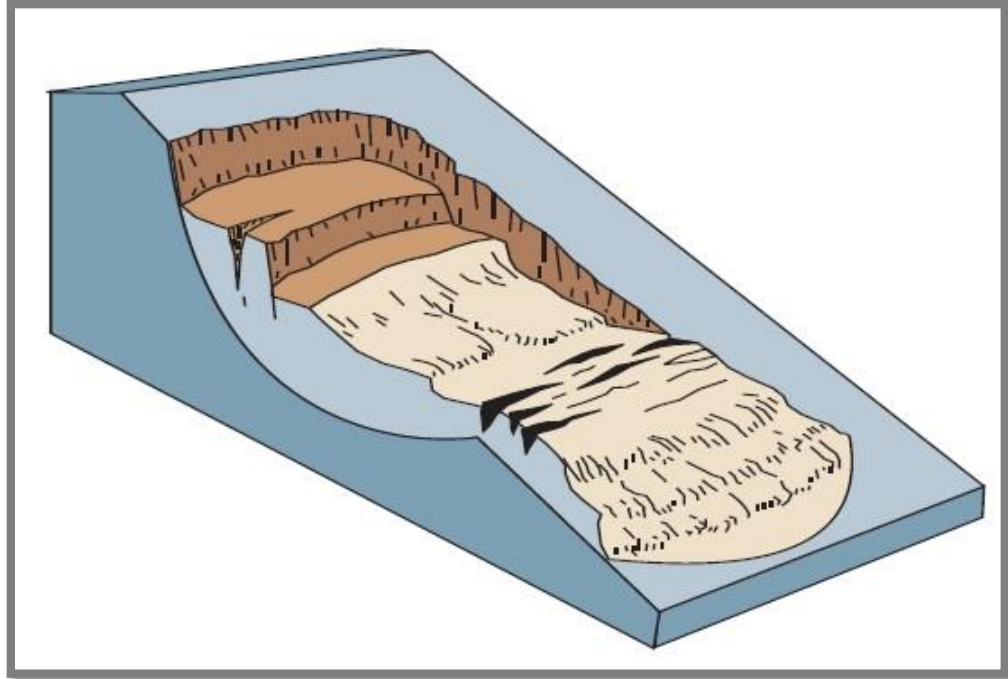


Figura 21. Esquema de un deslizamiento de tipo rotacional. Fuente: *The Landslide Handbook* (USGS, 2008).

A lo largo de la zona de estudio se pueden observar numerosos deslizamientos que han sido clasificados como deslizamientos de tipo traslacional, y solo un deslizamiento se ha considerado de tipo compuesto, es decir, posee componentes traslacionales y rotacionales.

Para determinar los tipos de deslizamientos que actúan en la zona, se elaboró una guía basada en el “Formato para evaluación de deslizamientos de Corpocaldas (ver figura 21), la cual se modificó para que se ajustara a las necesidades de la zona de estudio.

EVALUACIÓN DESLIZAMIENTOS		FECHA: _____ COORDENADAS: X: _____	
AÑO: _____		RESPONSABLE: _____ LOCALIZACIÓN: _____	
CLASIFICACIÓN		CONDICIONES GEOTÉCNICAS	
Tipo		Suelos fallados	Suelos expuestos
☐ Deslizamiento	☐ Rellenos de Ladera	☐ Rellenos de Ladera	
☐ Deslizamiento - flujo	☐ Rellenos de Cauce	☐ Rellenos de Cauce	
☐ "Derrumbes" o caídas	☐ Suelo Orgánico	☐ Suelo Orgánico	
☐ Movimientos lentos	☐ Cenizas Volcánicas	☐ Cenizas Volcánicas	
☐ Flujo	☐ Formación Combia	☐ Formación Combia	
Subtipo			
☐ Traslacional	☐	☐	
☐ Rotacional	☐	☐	
☐ Compuesto	☐	☐	
MORFOLOGÍA Y MORFOMETRÍA			
Cicatrices		Escarpe	Forma Ladera (planta)
☐ Si ☐ No	☐ Recto	☐ Cóncava	
CARACTERÍSTICA GEOMÉTRICA		☐ Curvilíneo	☐ Convexa
Ancho promedio:	☐ Irregular	☐ Recta	
Longitud:	☐ Múltiple		
Longitud recorrida:	☐ No Existe		
Espeor promedio:	FACTORES ANTRÓPICOS		
Espeor máximo:	☐ Sobrecargas		
CONDICIÓN HIDROLÓGICA		☐ Excavaciones en la base	
Suelos Fallados		☐ Áreas sin pavimentar	
☐ Fluidos	☐ Falta de canales y bajantes		
☐ Muy húmedos	☐ Deforestación		
☐ Poco húmedos	☐ Cultivos limpios		
☐ Secos	☐ Cambios en el uso del suelo		
Afloramientos		☐ Sobrepastoreo	
☐ Encima deslizamiento	☐ Arrojo de basuras, residuos, escombros		
☐ En el cuerpo	☐ Daño alcantarillado		
☐ Bajo el deslizamiento	☐ Daño acueducto		
☐ En áreas adyacentes	☐ Daños obras control de erosión		
☐ No presenta	☐ Falta mantenimiento obras control erosión		
USO DEL SUELO		☐ Construcción en área no apta	
☐ Desnudo	☐ Mala calidad construcciones existentes		
☐ Pastos	☐ Vibraciones		
☐ Rastrojo	☐ Movimientos de tierra sin especificaciones técnicas		
☐ Árboles	☐ Interferencia de cauces		
☐ Mezcla rastrojo/pasto/árboles	☐ Árboles inclinados o muy pesados		
☐ Cultivos Limpios	☐ Otros		
☐ Cultivo Limpio/rastrojo/pasto			
☐ Área urbanizada o construida			
REGISTRO FOTOGRÁFICO: Camara: _____		Foto #: _____	

Figura 22. Formato para evaluación de deslizamientos, modificado para la zona de estudio. Fuente: Corpocaldas.

Son muchos los procesos que ocurren a lo largo de este sector, pero hay uno en específico, que compromete la vía La Merced-La Felisa, y por el cual fue pertinente realizar este estudio.

Según en el Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio La Merced, 2000-2009, cerca del cruce de la vía La Merced- La Felisa, con la vereda Alto Tambor, hay un gran movimiento de masa de tipo flowslide de subtipo traslacional activo, de superficial a profundo, con grietas en la parte superior, longitud aproximada 200m, de material conformado por rocas Cretácicas de la formación Quebradagrande y la secuencia piroclástica, tiene un escarpe principal. Se observan empozamientos y aguas de escorrentía. Siendo este movimiento el más importante para la región por afectar la vía de acceso al municipio.



Figura 23. Movimiento en masa clasificado como un deslizamiento de tipo compuesto, el cual es el principal movimiento que amenaza la vía. Nótese la erosión en surcos dentro del movimiento. Fuente: JEDEGER.

El movimiento de masa que se aprecia en la imagen (ver figura 22), fue clasificado en campo como un deslizamiento de tipo compuesto, presenta cicatrices a lo largo del terreno, tiene un ancho promedio de 25 metros por 50 de largo, se puede observar un escarpe irregular; este deslizamiento se encuentra sobre la Formación Combia, aunque el suelo que deja expuesto es suelo orgánico. El uso del suelo en este sector son pastos y como factor antrópico, sobrepastoreo.

El movimiento tiene afectación directa sobre la vía, pues en diferentes ocasiones esta ha sido afectada por caída de material, principalmente en temporada de fuertes lluvias, perjudicando el tránsito vehicular por cierre de la misma.

En la parte superior de algunos movimientos se tienen grietas de tensión como indicador de movimiento, producto de la misma inestabilidad del terreno, también se observan escalonamientos por pastoreo (ver figura 23), los cuales ayudan a la infiltración del agua en el suelo.



Figura 24. Nótese los escalones que se forman por la erosión que produce el sobrepastoreo en la zona de estudio.

Por caída de roca.

En los movimientos por caída de roca, una masa de cualquier tamaño se desprende de un talud de pendiente fuerte, a lo largo de una superficie, en la cual puede ocurrir o no desplazamiento de corte y desciende principalmente, por efectos de gravedad, a través del aire por caída libre, a saltos o rodando (ver figura 24). El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido y puede o no, ser precedido por movimientos menores.

Para este sector (ver figura 25), las causas de los caídos de roca se les atribuyen a factores como la lluvia, el agua de escorrentía, la actividad de los animales, los diferentes tipos de erosión y la descomposición del suelo.

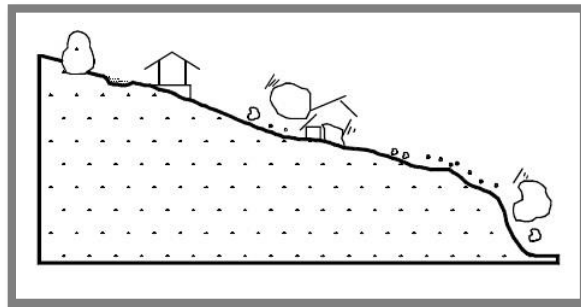


Figura 25. Esquema de un movimiento por caída de roca. Fuente: *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales* (Suárez, 1998).

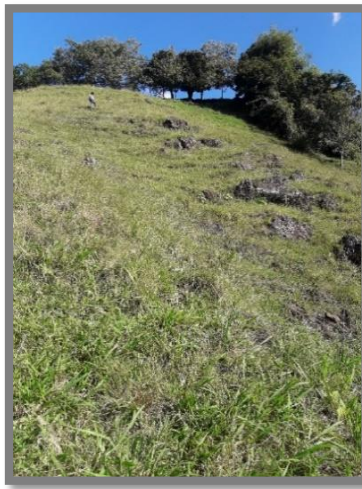


Figura 26. Nótese las rocas dispuestas a lo largo de la ladera en la zona de estudio, persona como escala.



Figura 27. Nótese la roca tamaño bloque sobre el escarpe de un pequeño deslizamiento, el cual está siendo erosionado. Nótese también persona como escala.

Estos tipos de procesos se presentan a lo largo de toda la zona de estudio, acompañados también de procesos erosivos más pequeños, pero no de menor importancia, tales como: cárcavas, surcos, asentamientos y desprendimientos de material superficial, (ver figura 26 y 27).



Figura 28. Nótese cuerpos de roca tamaño bloque dentro del cuerpo de un deslizamiento de tipo traslacional, personas como escala.

Reptación.

La reptación (ver figura 28) consiste en movimientos muy lentos o extremadamente lentos del suelo sin una superficie de falla definida.

En la parte superior de la colina se observan como los árboles que están delimitando el área, tienen un alto grado de inclinación, evidenciando el movimiento del terreno en sentido de la pendiente (ver figura 29).

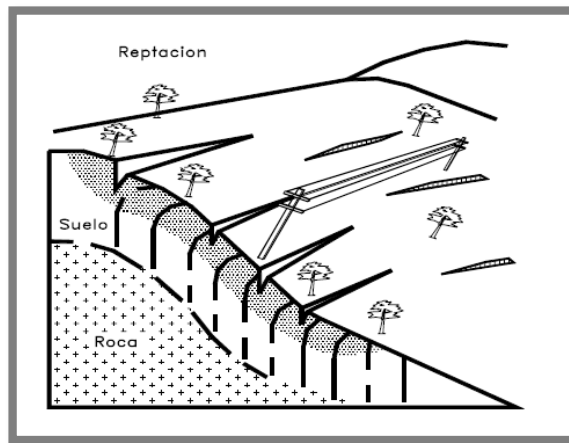


Figura 29. Esquema de un movimiento de reptación. Fuente: Fuente: Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales (Suárez, 1998).

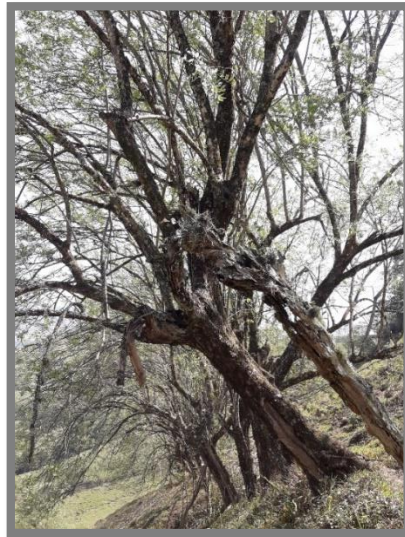


Figura 30. Nótese la inclinación de los árboles a favor de la pendiente en la zona de estudio.

FACTORES DETONANTES

Un detonante es un estímulo externo como la lluvia intensa, un sismo, erupciones volcánicas, tormentas, etc., 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 (SGC, 2017).

Son muchas las causas que pueden contribuir a la inestabilidad del terreno (geológicas, físicas, antrópicas) pero solo un detonante, el Servicio Geológico Colombiano considera dos:

- **Lluvia:** El agua es el elemento más común involucrado en deslizamientos, ya que muchos de estos ocurren durante o después de épocas de lluvia, debido a que pueden generar caudales de flujo superficial y subterráneo, que conllevan a la erosión e inestabilidad del terreno.

La precipitación es el volumen de agua lluvia que cae sobre un área en un período de tiempo, la cual tiene una influencia directa en la infiltración (Suárez, 1998).

Según el IDEAM (2005), las mayores precipitaciones se registran en la Cordillera Central, a la altura del municipio de Samaná y sus vecindades, en los que se alcanzan los 5000 mm anuales.

La Merced tiene una cantidad significativa de lluvia durante todo el año, la menor cantidad de lluvia ocurre en enero con aproximadamente 110 mm, y la mayor cantidad cae en octubre con un promedio de 298 mm, alcanzando una precipitación promedio anual de 2267 mm. La variación en la precipitación entre los meses más secos y más húmedos es de 188 mm, (Merkel, 1982-2012).

En la siguiente gráfica (Merkel, 1982-2012), se 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.

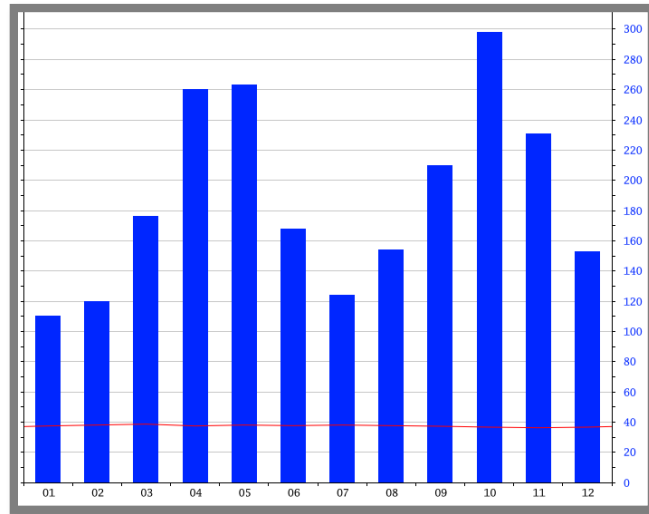


Figura 31. Precipitación de lluvia en La Merced, en la abscisa se simbolizan los meses del año con números, siendo 01 el mes de enero y 12 diciembre; en la ordenada se encuentran los valores de la precipitación en mm. Fuente: <https://es.climate-data.org>, (Merkel, 1982-2012).

- **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.

Para conocer la zona de amenaza sísmica en la que se encuentra el municipio de La Merced, se consultó el “*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 municipio en cuestión se localiza en la zona 5 (ver figura 31), que 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 (ver figura 32).

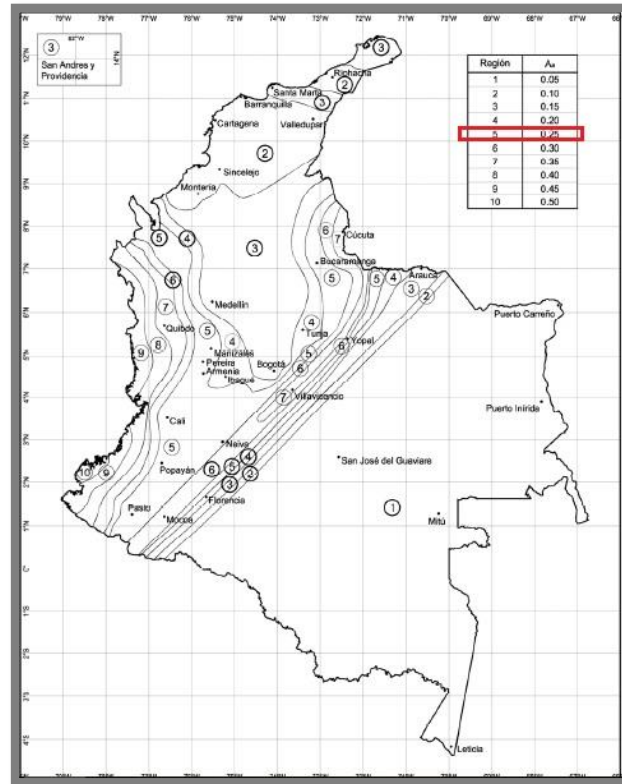


Figura 32. Gráfica de que representa la amenaza sísmica en Colombia, dividiendo el territorio en zonas de baja, intermedia y alta sismicidad. Nótese que el municipio de La Merced se encuentra en la zona 5 para la cual el $A_a=0.25$. Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (2010).

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

Figura 33. Tabla del Departamento de Caldas en la que se representa la zona de amenaza sísmica de acuerdo al valor A_a . Nótese que para el municipio de La Merced el valor $A_a=0.25$ representa una zona de amenaza sísmica ALTA. Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (2010).

FACTORES CONTRIBUYENTES

- **Geología:** La geología para esta zona consta de grandes conglomerados que forman los depósitos coluviales y de grandes espesores de suelo residual, gran porcentaje de los movimientos de las laderas se les encuentra acompañados por coluviones y gran parte de los movimientos están relacionados a la inestabilidad de estos. Es muy frecuente que los coluviones generen deslizamientos en las vías al ser cortados por ellas, o que el alineamiento de la vía pase sobre un coluvión en movimiento, Suárez (1998).
- **Geomorfología:** La geoforma principal en la zona de estudio, es una colina denudada con pendientes abruptas a muy abruptas, con abundantes depósitos coluviales formando sectores de topografía ondulada.
- **Pendientes:** Se consideran como un factor contribuyente ya que gran parte de la zona se clasificó como de pendiente abrupta (16° a 35° de inclinación), el cual se refiere a procesos denudacionales intensos de diferentes tipos (erosión bajo cubierta forestal, reptación y deslizamientos), y también como de pendiente muy abrupta (35° a 55° de inclinación), que hace referencia a afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos y depósitos granulares caóticos de gran espesor, según la clasificación del SGC (2017).
- **Uso del suelo:** La actividad económica que se desarrolla en la zona de estudio es la ganadería, la cual tiene gran influencia en la erosión de la ladera, debido a que los caminos y huecos que los animales van dejando sobre la superficie facilitan la infiltración del agua en el terreno. También se considera la construcción de la vía como un contribuyente, además de la vibración que los vehículos generan al pasar por esta.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL

El siguiente análisis multitemporal se basa en la revisión de tres fotografías satelitales de diferentes años, de las cuales dos (2009, 2014) se obtuvieron del programa Google Earth y la más reciente de un drone (2018). A partir de estas imágenes se lograron delimitar los movimientos en masa que tuvieron lugar en cada período de tiempo, y con los cuales se logró hacer una comparación acerca de si persistían o no, además de la influencia de lluvia sobre estos.

Teniendo en cuenta que los meses de más lluvia en el municipio de La Merced están entre marzo-mayo y septiembre-noviembre, se puede deducir una relación directa entre la lluvia y los movimientos en masa delimitados para el 01-06-2009 (ver figura 33), y para el 22-10-2018 (ver figura 35), ya que en estos años se representan el mayor número de movimientos en masa ocurridos en comparación con los movimientos delimitados para el año 2014 (ver figura 34), además de que se encuentran dentro del intervalo de tiempo de mayores lluvias.

Para analizar el factor lluvia en la zona de estudio, fue necesario además recopilar información de las precipitaciones diarias, mensuales y anuales, de las cuales solo se pudo obtener un registro en la estación Río Pozo para el año 2014 (ver figura).



Figura 34. Delimitación de los movimientos en masa en la zona de estudio para el año 2009. Nótese que la concentración de los movimientos se da para la zona suroeste. Fuente: Google Earth.

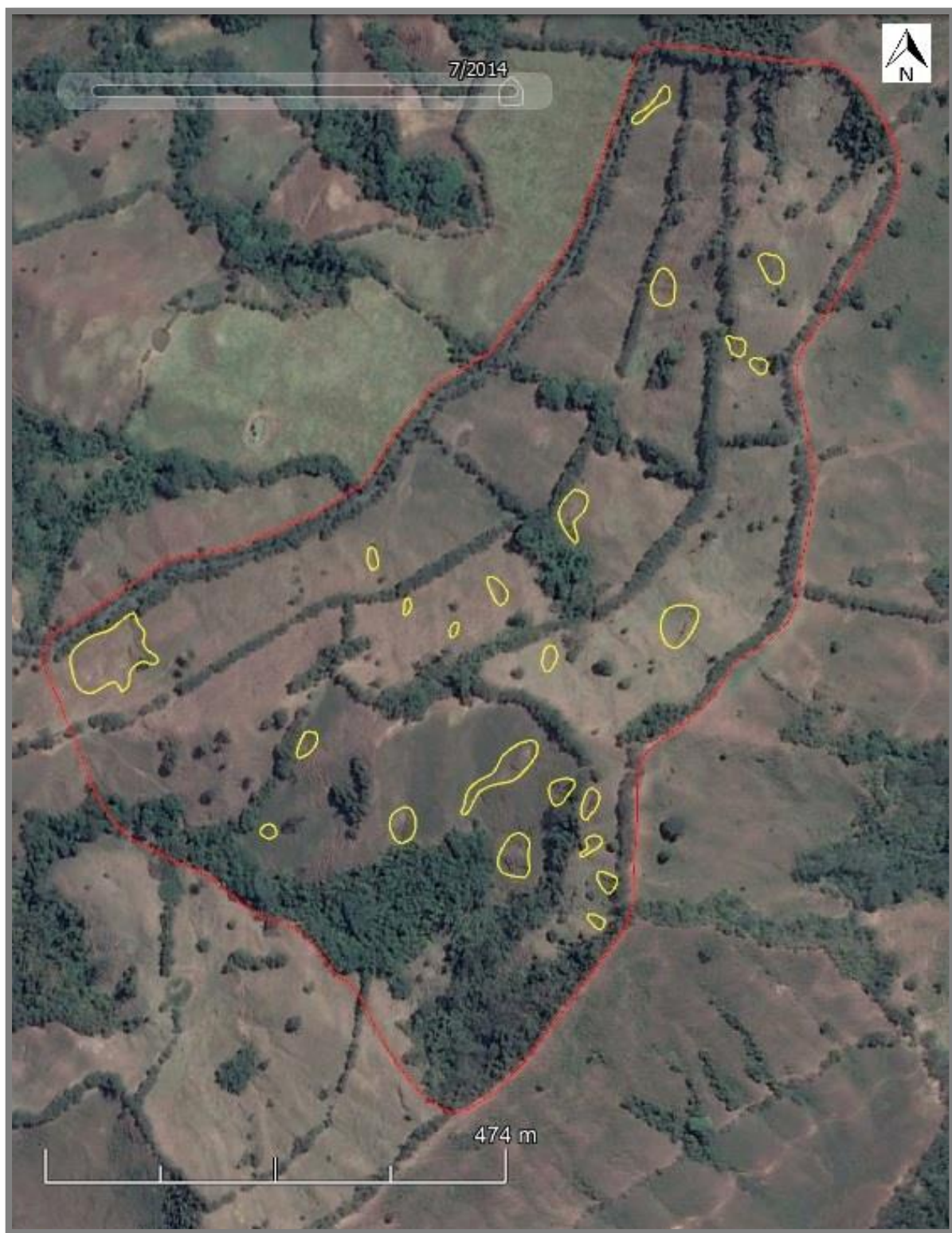


Figura 35. Delimitación de los movimientos en masa en la zona de estudio para el año 2014. Nótese que para este año se presentan menos movimientos que para los otros años, de igual manera los que se producen se encuentran en la zona suroeste.
Fuente: Google Earth.

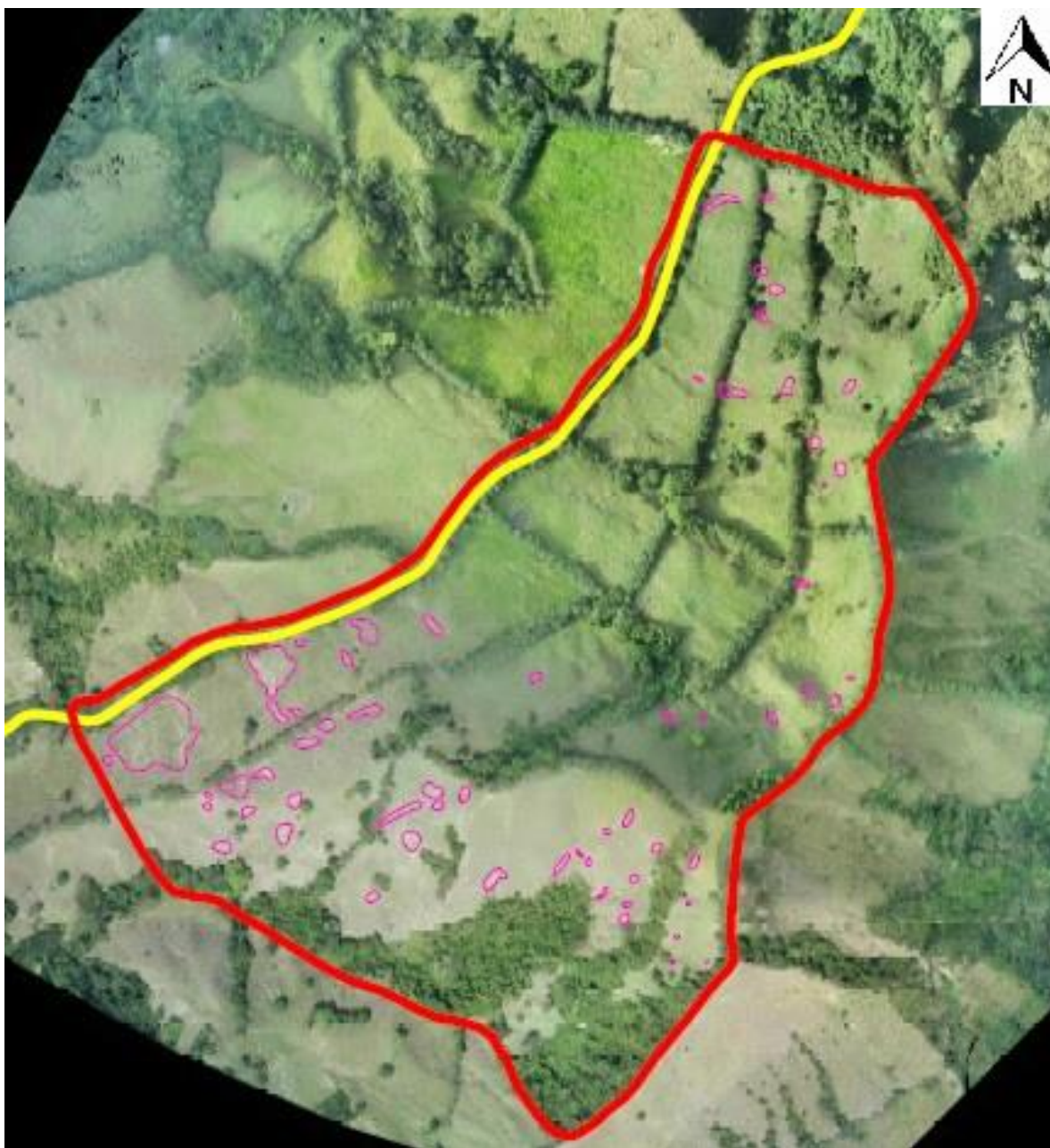


Figura 36. Delimitación de los movimientos en masa en la zona de estudio para el año 2018. Nótese que para este año los movimientos en masa aumentaron, en comparación con los años anteriores. La concentración de los movimientos se da hacia la parte norte y suroeste de la zona de estudio. Fuente: propia.

Partiendo de lo anterior, se puede constatar que para el 29-07-2014 se tuvieron períodos más secos en comparación con los años 2009 y 2018, lo cual se evidencia también en la poca cantidad de movimientos en masa que se delimitaron para el 2014, además de que en algunas áreas se observa recuperación de vegetación en sitios afectados anteriormente por movimientos en masa.

Para los tres años que se pudieron delimitar los diferentes movimientos en masa, se puede observar como en la parte suroeste de la zona de estudio hay mayor concentración de movimientos, es allí también donde se encuentran los mayores rangos de pendiente favoreciéndolos.

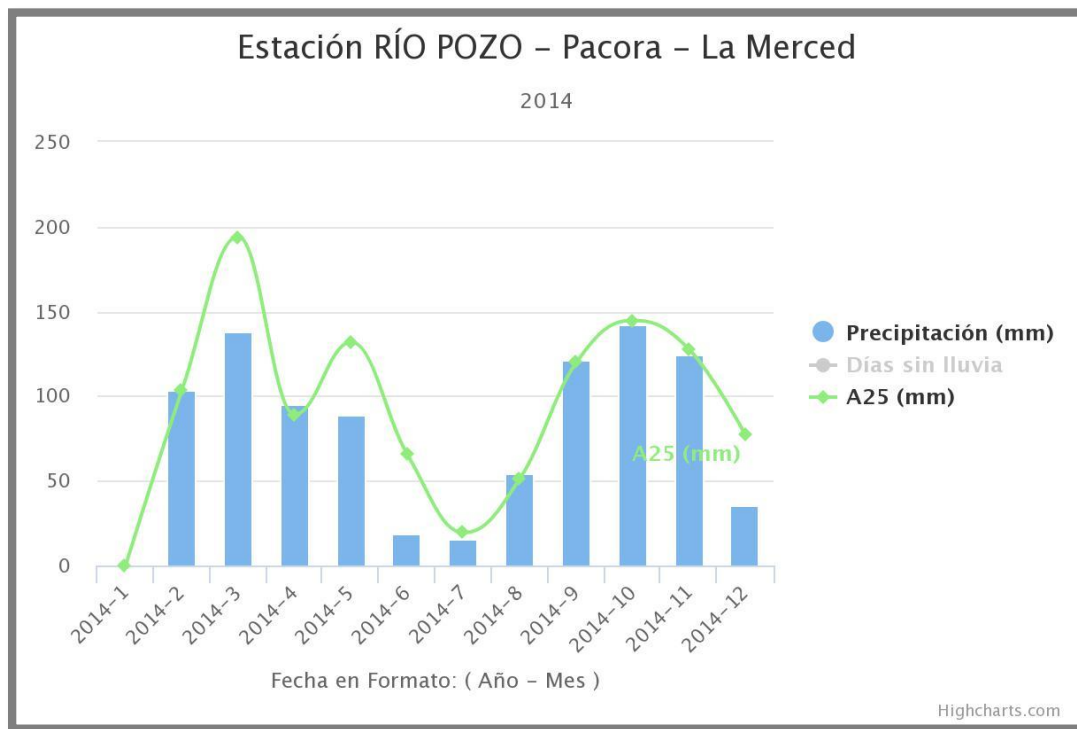


Figura 37. Gráfica de precipitaciones en la estación hidrometeorológica Río Pozo para el año 2014. Nótese que las precipitaciones para los meses de junio y julio en el 2014 fueron las menores en comparación con el resto del año, lo que concuerda con los pocos movimientos en masa que se pudieron de limitar para este año. Fuente: CDIAC.

En el lado oeste de la zona, hacia la parte más próxima a la vía, se han presentado movimientos en masa en esta línea de tiempo, algunos son recurrentes, otros han sido cubiertos en periodos más secos, y otros han ido apareciendo. Estos movimientos son los que tienen incidencia directa sobre la vía y son los que primero deben ser intervenidos.

Cabe resaltar que la cobertura y uso del suelo se ha mantenido igual desde el año 2009 hasta el año 2018. De igual forma es importante mencionar que la vía se ha mantenido en esta línea de tiempo.

Para el caso de sismos, se encontraron 9 registros en la base de datos del Servicio Geológico Colombiano (ver figura 38), los cuales tuvieron lugar desde el 2011 hasta el 2018. Aunque no se tiene registro de que alguno de estos sismos haya ocasionado algún movimiento en masa en esta zona, se debe considerar como factor detonante de los mismos.

Fecha	Hora (UTC)	Lat (°)	Long (°)	Prof (Km)	Magnitud MI	Magnitud Mw	Fases	Rms (Seg)	Gap (°)	Error Lat (Km)	Error Long (Km)	Error Prof (Km)	Departamento	Municipio	Sfile	Forma de onda	Mapa	Estado
2011-12-26	00:04:37	5.352	-75.532	7.5	1.5		5	0.40	202	3.2	4.9	9.2	CALDAS	LA_MERCED				Revisado
2013-11-03	01:57:10	5.411	-75.582	102	1.6		7	0.40	108	3	3.9	5.6	CALDAS	LA_MERCED				Revisado
2014-02-24	01:10:15	5.359	-75.524	100.8	1		4	0.10	130	1.9	3.5	3.1	CALDAS	LA_MERCED				Revisado
2014-07-22	23:25:56	5.419	-75.544	5.8	2.4		13	0.50	78	2	2.6	6.2	CALDAS	LA_MERCED				Revisado
2014-12-10	13:46:19	5.374	-75.564	4	1.3		6	0.40	162	2.5	3.1	6.1	CALDAS	LA_MERCED				Revisado
2015-03-29	00:12:34	5.417	-75.56	4	.9		4	0.60	180	5.5	5.4	10.9	CALDAS	LA_MERCED				Revisado
2016-04-19	16:00:58	5.361	-75.538	106.5	2.4		11	0.40	78	2.6	3.2	5.1	CALDAS	LA_MERCED				Revisado
2017-01-28	18:53:32	5.363	-75.586	105.8	1.7		7	0.40	85	3.9	3.9	7.6	CALDAS	LA_MERCED				Revisado
2018-02-01	20:49:16	5.45	-75.55	4	1.2		4	0.30	146	2	2	4.6	CALDAS	LA_MERCED				Revisado

Figura 38. Registros sísmicos para el municipio de La Merced. Nótese que se tuvieron registros desde el año 2011 hasta el 2018.
Fuente: SGC.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Un sistema de información geográfica (SIG), es un conjunto de herramientas que sirve para recopilar, gestionar, organizar y analizar gran cantidad de datos procedentes del mundo real vinculados a una referencia espacial. Un SIG también consiste en crear y modelar mapas que permitan relacionar la información recopilada por medio de capas temáticas y escenas en 3D.

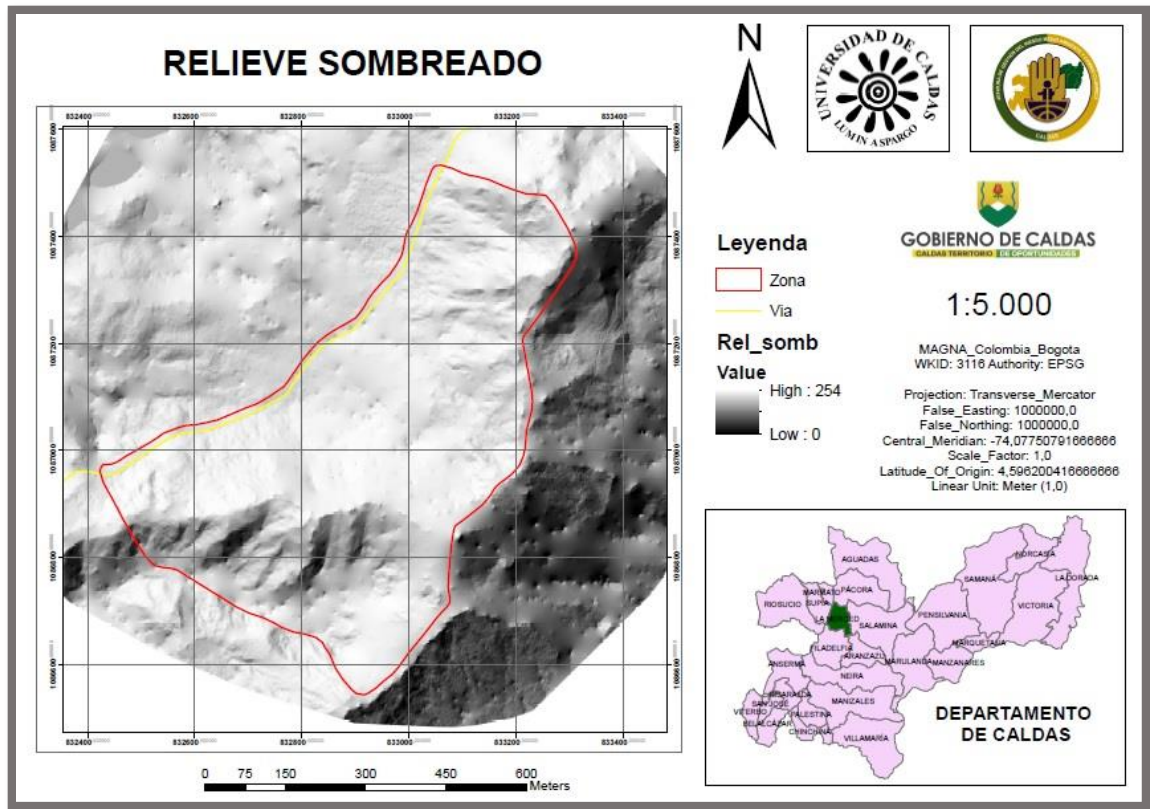
Los análisis en sistemas de información geográfica realizados para el presente trabajo se llevaron a cabo en el software ArcGIS, el cual permitió realizar una cartografía temática y elaborar una serie de mapas que llevaron a la interpretación de las condiciones del riesgo en el sector.

Para representar la superficie del área de estudio se utilizó un modelo digital de elevación (DEM) con un tamaño de celda (x,y) de 0,35358 cm. A partir del DEM se elaboraron los siguientes mapas:

Mapa de relieve sombreado.

Este mapa se realizó con la intención de tener una mejor visualización del relieve, ya que con las curvas de nivel no es suficiente dimensionarlo. Los valores que presenta el relieve sombreado no corresponden a alturas, si no al índice de reflexión de la luz en cada pixel, el cual depende de la posición asignada al sol al momento de ser generado.

Para este mapa se utilizó la herramienta arctoolbox, 3D analyst tools, raster surface, hillshade, con azimut 315°, (ver figura 37).



Mapa de Pendientes.

El mapa de pendientes es un mapa temático que representa los diferentes grados de inclinación de una superficie con respecto a la horizontal. Con este mapa se busca representar mediante colores, zonas del área de estudio con valores de pendientes semejantes.

Este mapa se creó con la herramienta arctoolbox, 3D analyst tools, raster surface, slope, en grados; posteriormente se clasificó el raster generado distribuyendo los píxeles por categorías, para esta clasificación se recurrió a los rangos de pendientes que propone el SGC (2017), (ver figura 38).

INCLINACIÓN (°)	PROCESOS CARACTERÍSTICOS Y CONDICIONES DEL TERRENO
0-2	Plano a casi plano. No hay denudación apreciable.
2-4	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.
4-8	Inclinado. Condiciones similares a las anteriores. Alta susceptibilidad a desarrollar procesos erosivos.
8-16	Moderadamente abrupto. Movimientos en masa de todos los tipos, especialmente solifluxión periglacial, reptación y ocasionalmente deslizamientos, también erosión de tipo laminar y en surcos. Susceptible a erosión y deslizamientos.
16-35	Abrupto. Procesos denudacionales intensos de diferentes tipos (erosión bajo cubierta forestal, reptación, deslizamientos). Alta propensión al desarrollo de procesos erosivos.
35-55	Muy abrupto. Afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, depósitos granulares caóticos de poco espesor.
> 55	Extremadamente abrupto. Afloramientos rocosos. Procesos denudacionales muy fuertes, especialmente "denudación de escarpe"; susceptible a rodamiento de rocas.

Figura 40. Rangos de pendiente utilizados con propósitos de análisis de ingeniería y zonificación de amenazas por movimientos en masa. Fuente: SGC, 2017.

Una vez clasificado el raster, se procedió a reclasificarlo, siendo este el primer paso esencial y obligatorio para vectorizar la capa raster; para este proceso se utiliza la herramienta arctoolbox, 3D analyst tools, raster reclass, reclassify. Para convertir la capa raster a vectorial, se usó la herramienta arctoolbox, conversión tools, from raster, raster to polygon. Finalmente se sacó una tabla con el área de los polígonos para cada rango de pendiente, además de la sumatoria y promedio de las áreas, (ver figura 39); con lo anterior se obtuvo el mapa de pendientes para la zona de estudio, (ver figura 40).

OID	Rango	Cnt_Rango	Area_m	Sum_Area_m
0	>55	249	3,534004403	879,9670962
1	0-2	2952	9,114623433	26906,36837
2	16-35	8176	100,2134756	819345,3764
3	2-4	10215	1,061078099	10838,91278
4	35-55	8067	38,22786111	308384,1556
5	4-8	12982	3,602708752	46770,36501
6	8-16	14009	15,28787326	214167,8165

Figura 41. Tabla en la que se especifican las áreas por rango de pendiente, además de la sumatoria y promedio de las áreas.

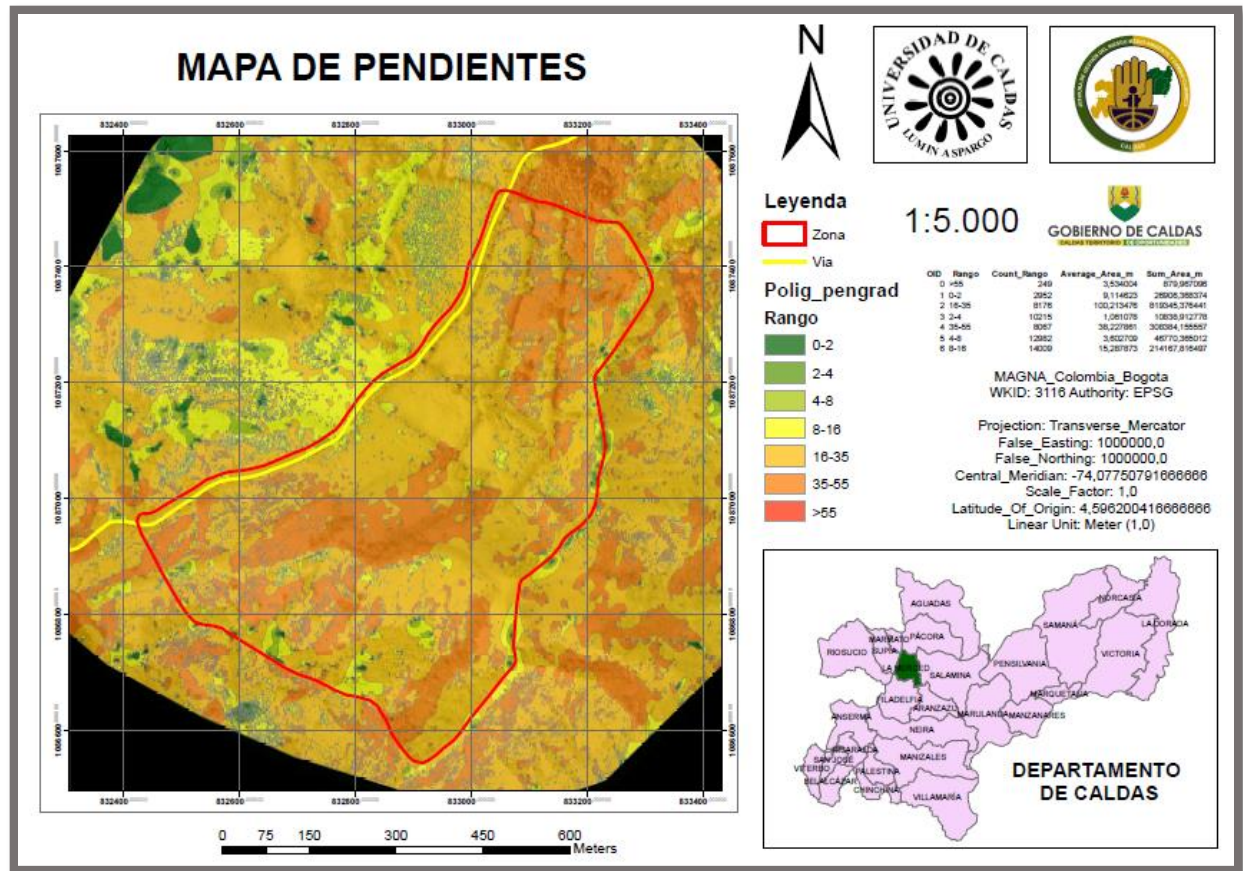


Figura 42. Mapa de pendientes para la zona de estudio. Nótese que la mayoría de la zona de estudio se encuentra entre los rangos de pendiente de 16°-35° clasificado como un terreno abrupto y 35°-55° como un terreno muy abrupto según el SGC. Fuente propia.

Mapa de direcciones de flujo.

El mapa de direcciones de flujo, es un mapa que consiste en determinar la dirección de desplazamiento del agua que cae sobre una superficie, asumiendo que no existe una zona completamente plana.

Existen ocho direcciones de salida válidas que se relacionan con las ocho celdas adyacentes hacia donde puede ir el flujo. Este enfoque comúnmente se denomina el

modelo de flujo de ocho direcciones (D8) y sigue un acercamiento presentado en Jenson y Domingue (1988) en <http://desktop.arcgis.com>, (ver figura 41).

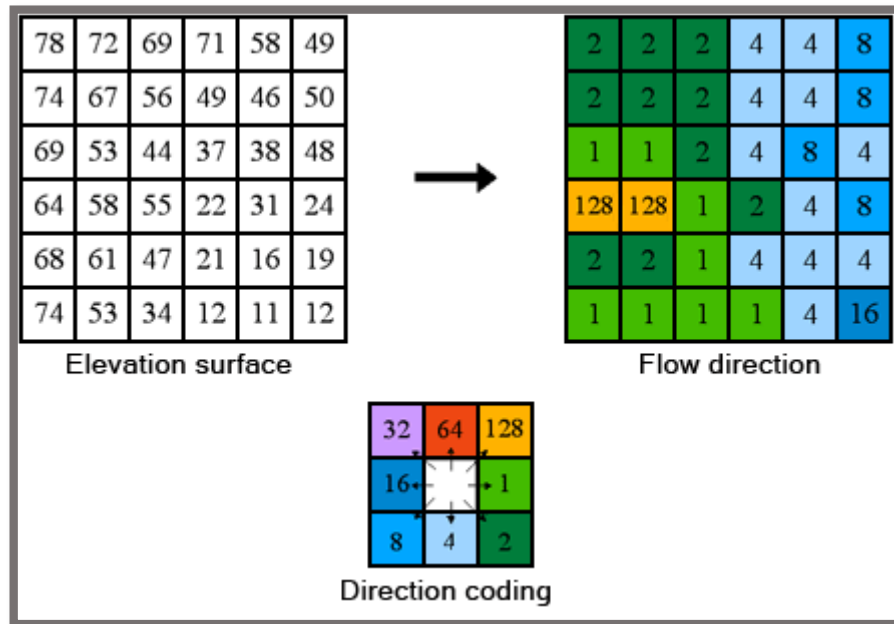


Figura 43. Modelo de flujo de ocho direcciones de salida válidas que se relacionan con las ocho celdas adyacentes hacia donde puede ir el flujo. Fuente: <http://desktop.arcgis.com>.

En un mapa de dirección de flujo los valores de los píxeles corresponden a potencias de 2 cuyos exponentes están entre 1 y 7, es decir, los valores de los píxeles solo pueden asumir valores de 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 y 128 como se muestra en la figura anterior.

Este mapa se creó con la herramienta arctoolbox, spatial analyst tools, hidrology, flow direction, (ver figura 42 y 43).

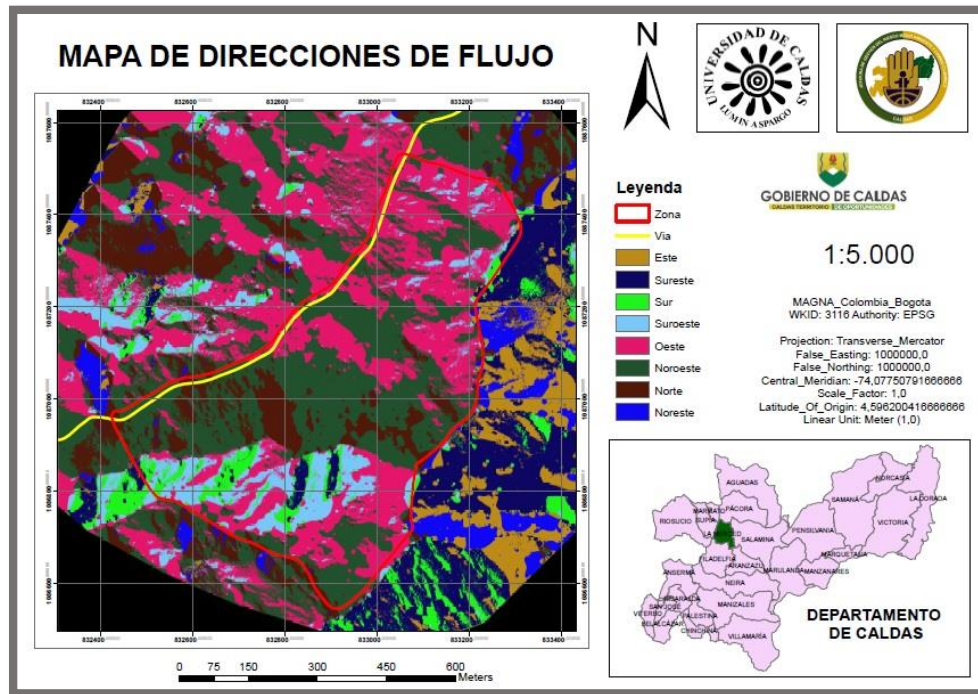


Figura 44. Mapa de direcciones de flujo. Nótese como la zona de estudio se encuentra principalmente con una tendencia en la dirección de flujo hacia el oeste y noroeste. Fuente: propia.

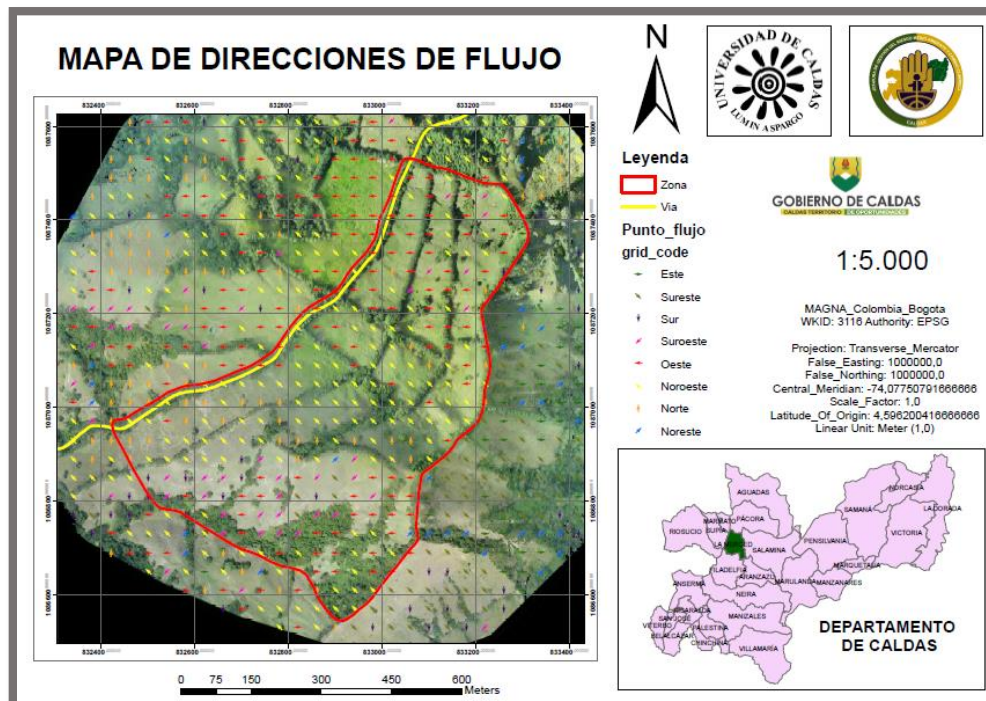


Figura 45. Mapa de direcciones de flujo, el cual fue modificado con una capa de puntos representada por flechas que se encuentran orientadas de acuerdo al valor del pixel. Fuente: Propia.

Clasificación supervisada interactiva.

Esta es una herramienta que ayuda a hacer una clasificación rápida de un conjunto de muestras por medio de los píxeles en la extensión de visualización, es necesario hacer polígonos marcando la muestra que se quiera clasificar.

Por medio de esta herramienta se hizo una delimitación más detallada de la cobertura del suelo para la zona de estudio, en la que se pudieron separar pastos, bosques, cercas vivas y árboles, como se observa a continuación, (ver figura 44).

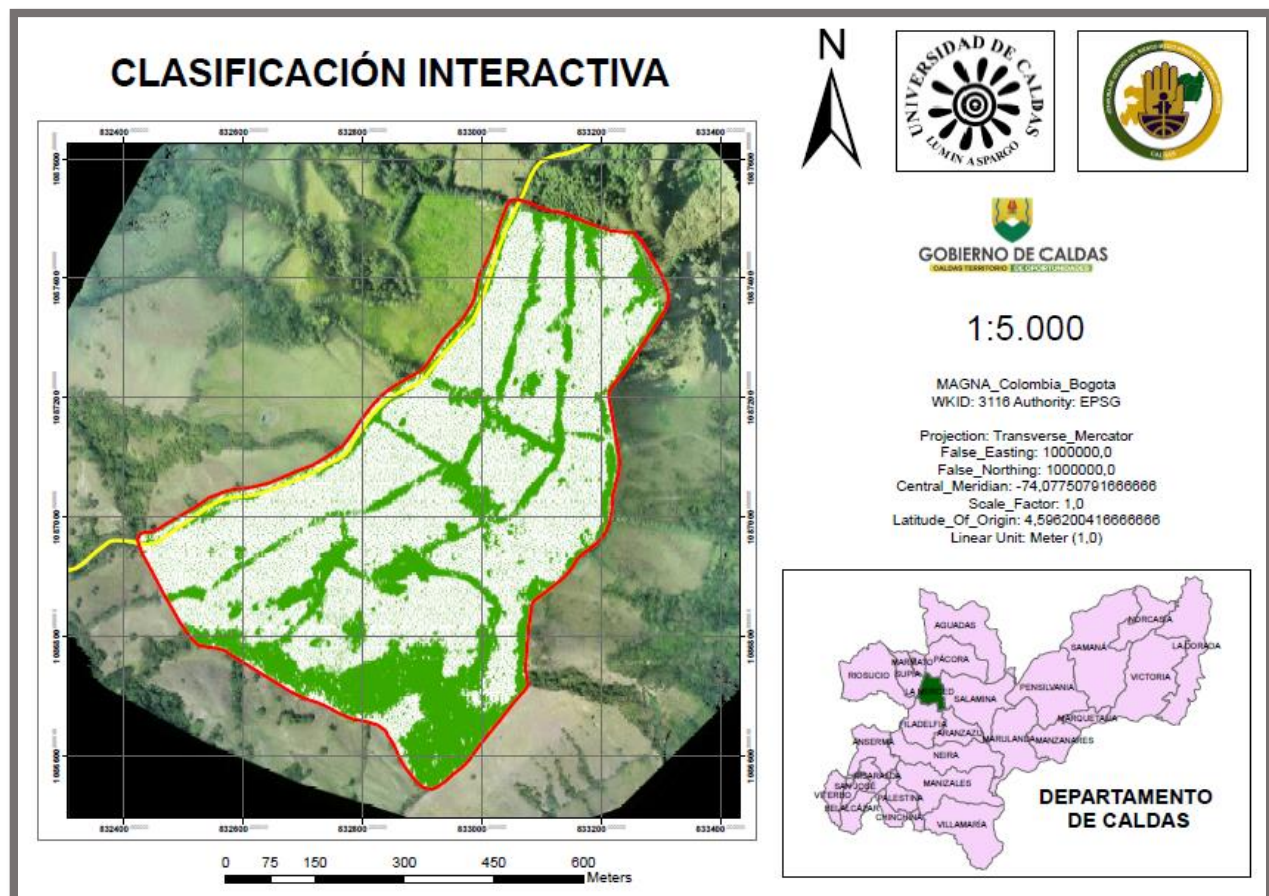


Figura 46. Mapa para la cobertura y uso del suelo, más detallado usando la herramienta de clasificación supervisada interactiva. Fuente: Propia.

CONCLUSIONES

- Se determina la lluvia como factor detonante de los movimientos en masa en la zona de estudio, partiendo de que la precipitación promedio anual es aproximadamente de 2.267 mm/año. Teniendo en cuenta también que el sismo puede ser un factor detonante, ya que La Merced se encuentra en una zona sísmica alta.
- Los factores que contribuyen a que el terreno sea susceptible a movimientos en masa son, la geología, las geoformas denudativas, las pendientes abruptas a muy abruptas, la ganadería como uso del suelo y la vibración y desestabilización que se da como consecuencia del corte vial.
- Los escenarios de riesgo identificados en este sector obedecen a diferentes tipos de erosión, de movimientos en masa como deslizamientos de tipo traslacional principalmente, también de movimientos por caída de roca y de reptación, estos son los causantes de las amenazas que se producen sobre la vía La Merced – La Felisa.
- En la zona de estudio no se cuenta con obras para un adecuado manejo de agua, tampoco ha tenido un adecuado uso del uso y la cobertura vegetal es pobre, además, a pesar de los repetidos eventos que se han presentado en la ladera, no se cuenta con una señalización pertinente de las condiciones que allí se exhiben.
- La vía La Merced-La Felisa, es de gran valor para la región ya que representa una ruta de vital importancia para mantener la economía del municipio. Aunque la vía se encuentra pavimentada, se ha visto afectada por las fuertes lluvias, lo cual ha ocasionado movimientos en masa laderas que han afectado la vía por caída de material, perjudicando el tránsito vehicular por cierre de la misma.

RECOMENDACIONES

- Realizar un monitoreo permanente de las condiciones de estabilidad de la zona, e informar a las autoridades pertinentes ante cualquier cambio o eventualidad que se presente en el área, con el fin de tomar medidas preventivas.
- Hacer la señalización pertinente en la vía, con el fin de mantener informada a la población sobre el riesgo que representa la zona, y así poder tomar precauciones.
- Elaborar un estudio detallado siguiendo los lineamientos estipulados por el decreto 1807 del 2014, con el fin de obtener una zonificación de la susceptibilidad, la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo que se tiene en el sector.
- Diseñar un sistema de recolección de aguas de escorrentía de las laderas, con el fin de darle un adecuado manejo y control, para evitar la concentración y acumulación de aguas sobre los procesos erosivos. Esta medida se puede tratar desde la construcción de filtros en espina de pescado que cumplan con las siguientes especificaciones: espina principal 0.5*0.5m más un tubo de 4", espinas secundarias 0.3*0.3 más un tubo de 4", adicionalmente un geotextil no tejido 2400 o similar, el material debe ser filtrante libre de talcos o sustancias solubles con el agua, $1'' < \text{diámetro} < 4''$.
- Cambiar el uso del suelo reduciendo la actividad de pastoreo en las laderas, esto para evitar la formación de caminos de ganado que generan exposición al suelo, erosionándolo y degradándolo, además de favorecer la infiltración y saturación del terreno.
- Establecer coberturas vegetales permanentes, con el fin de proteger la superficie del terreno mediante la siembra de arbustos y árboles nativos adaptados al lugar. Para ello, se recomienda utilizar especies que desarrollen un sistema denso de raíces, con el fin de

brindarle soporte al terreno, y dado que los deslizamientos suelen ser de tipo traslacional se puede plantear la siembra de Inga o en su defecto Vetiver.

- Se propone considerar la opción de implementar trinchos vivos escalonados para mejorar la geometría de las laderas involucradas. No está por demás implementar un sistema de drenaje compuesto por drenes subhorizontales.
- El diseño y la implementación de las medidas correctivas de bioingeniería y de tratamiento de aguas deben obedecer a un estudio geotécnico e hidrológico mas detallado.

BIBLIOGRAFÍA.

Alcaldía Municipal de La Merced. (2000;2009). *Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio La Merced 2000-20009*. Caldas, Colombia. Recuperado de:
<http://cdim.esap.edu.co>.

Alcaldía Municipal de La Merced. (2012;2015). *Plan de Desarrollo La Merced 2012-2015*. Caldas, Colombia. Recuperado de: <http://www.lamerced-caldas.gov.co>.

Alcaldía Municipal de La Merced. (2016;2019). *Plan de Desarrollo La Merced 2016-2019*. Caldas, Colombia. Recuperado de: <http://www.lamerced-caldas.gov.co>.

Congreso de la República de Colombia. (2012). *Ley 1523 de 2012 por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones*. Congreso de la República de Colombia. Bogotá, Colombia.

Corporación Autónoma Regional de Caldas. (2013;2015). *Diagnóstico Ambiental de Caldas Plan de Acción 2013-2015*. Caldas, Colombia.

Dávila, J.C., López, C. (2002). *Zonificación geotécnica para el casco urbano del municipio La Merced* (tesis de pregrado). Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

Departamento Administrativo del Sistema de Atención, Prevención y Recuperación de Desastres. (2017). *Cátedra de Gestión del Riesgo*. Gobernación de Antioquia. Medellín, Colombia.

Environmental Systems Research Institute. (2018). *ArcGIS Desktop*. California, Estados Unidos. Recuperado de: <https://desktop.arcgis.com>.

Etayo, F. (1986). *Mapa de terrenos geológicos de Colombia*. Instituto Colombiano de Geología y Minería. Colombia.

González, H. (1980). *Geología de la plancha 167 (Sonson) y 187 (Salamina). Escala 1: 100,000*. Instituto Colombiano de Geología y Minería. Colombia.

González, H. (1990). *Mapa geológico del departamento de Caldas. Geología y recursos mineros. Escala 1:25.000. Memoria explicativa*. Instituto Colombiano de Geología y Minería. Colombia.

Grosse, E. (1926). *Estudio geológico del terciario carbonífero de Antioquia en la parte occidental de la Cordillera Central de Colombia: entre el Río Arma y Sacaojal, ejecutado en los años de 1920-1923*. Reimer/Vohsen.

Jefatura de Gestión del Riesgo, Medioambiente y Cambio Climático. (2017). *Informe de visita técnica*. Gobernación de Caldas. Manizales, Colombia.

Servicio Geológico de los Estados Unidos. (2008). *The landslide handbook: a guide to understanding landslides* (p. 129). Servicio Geológico de los Estados Unidos. Virginia, Estados Unidos.

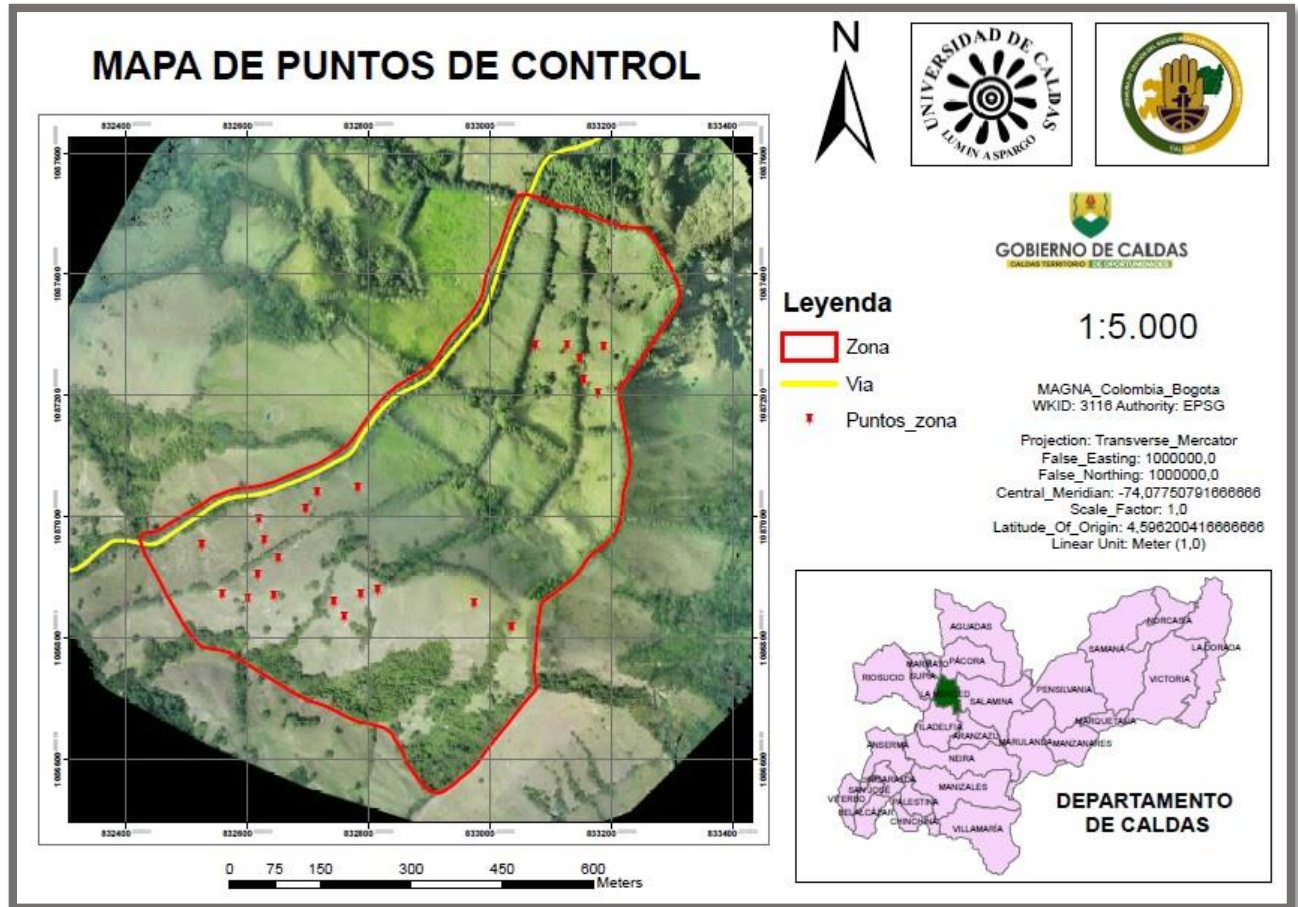
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2005). *Atlas climatológico de Colombia*. Bogotá, Colombia.

Merkel, A. (1982;2012). *Climate-Data.Org*. Baden-Wurttemberg, Alemania. Recuperado de <https://es.climate-data.org>.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Bogotá, Colombia.

- Naranjo, J., Rios, P. (1989). *Geología de Manizales y sus alrededores y su influencia en los riesgos geológicos*. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.
- Ramírez, D. A., Cuevas, A. L., Lopera, G. M. S., & Villegas, G. E. T. (2006). *Edad y proveniencia de las rocas volcánico sedimentarias de la Formación Combia en el suroccidente antioqueño Colombia*. Boletín de Ciencias de la Tierra, (19), 9-26.
- Servicio Geológico Colombiano. (2016). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. Colombia.
- Servicio Geológico Colombiano. (2017). *Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa. Escala 1:25.000*. Colombia.
- Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia. Ingeniería de suelos Ltda.
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2012). *Formulación del Plan Municipal de Gestión del Riesgo*. Bogotá, Colombia.
- Universidad Nacional de Colombia y Corporación Autónoma Regional de Caldas. *Centro de datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC)*. Caldas, Colombia. Recuperado de: <http://cdiac.manizales.unal.edu.co>.
- Universidad Nacional de Colombia y Corporación Autónoma Regional de Caldas. *Inventario de Movimientos en Masa de Manizales*. Caldas, Colombia. Recuperado de: <http://cdiac.manizales.unal.edu.co>.
- Varnes, D. J. (1978). *Slope movement types and processes*. Special report, 176, 11-33.

ANEXOS



Anexo 1. Mapa de puntos de control del área de estudio. Nótese que la mayoría de puntos de control se encuentran ubicados hacia la parte suroeste de la zona. Son 23 puntos en total.

EVALUACIÓN DESLIZAMIENTOS		FECHA: 15/02/2019		COORDENADAS: X: 35° 35.250' O Y: 5° 22.8490' N	
AÑO: 2019		RESPONSABLE: Carolina Castaño LOCALIZACIÓN: El Tambor, La Marced			
CLASIFICACIÓN		CONDICIONES GEOTÉCNICAS			
Tipo	Suelos fallados	Suelos expuestos			
☒ Deslizamiento	☒ Rellenos de Ladera	☒ Rellenos de Ladera			
☐ Deslizamiento - flujo	☐ Rellenos de Cauce	☐ Rellenos de Cauce			
☐ "Derrumbes" o caídas	☒ Suelo Orgánico	☒ Suelo Orgánico			
☐ Movimientos lentos	☐ Cenizas Volcánicas	☐ Cenizas Volcánicas			
☐ Flujo	☒ Formación Combia	☐ Formación Combia			
Subtipo					
☐ Traslacional					
☐ Rotacional					
☒ Compuesto					
MORFOLOGÍA Y MORFOMETRÍA					
Cicatrices	Escarpe	Forma Ladera (planta)			
☒ Si ☐ No	☐ Recto	☒ Cóncava			
CARACTERÍSTICA GEOMÉTRICA	☐ Curvilíneo	☐ Convexa			
	☒ Irregular	☒ Recta			
	☐ Múltiple				
	☐ No Existe				
Ancho promedio: 25 m					
Longitud: 50 m					
Longitud recorrida: 47 m					
Espesor promedio:					
Espesor máximo:					
FACTORES ANTRÓPICOS					
CONDICIÓN HIDROLÓGICA					
Suelos Fallados					
☐ Fluídos	☒ Sobrecargas				
☐ Muy húmedos	☐ Excavaciones en la base				
☒ Poco húmedos	☐ Áreas sin pavimentar				
☐ Secos	☐ Falta de canales y bajantes				
Afloramientos	☐ Deforestación				
☐ Encima deslizamiento	☐ Cultivos limpios				
☒ En el cuerpo	☐ Cambios en el uso del suelo				
☐ Bajo el deslizamiento	☒ Sobrepastoreo				
☐ En áreas adyacentes	☐ Arrojo de basuras, residuos, escombros				
☐ No presenta	☐ Daño alcantarillado				
USO DEL SUELO	☐ Daño acueducto				
☐ Desnudo	☐ Daños obras control de erosión				
☒ Pastos	☐ Falta mantenimiento obras control erosión				
☐ Rastrojo	☐ Construcción en área no apta				
☐ Árboles	☐ Mala calidad construcciones existentes				
☐ Mezcla rastrojo/pasto/árboles	☒ Vibraciones				
☐ Cultivos Limpios	☐ Movimientos de tierra sin especificaciones técnicas				
☐ Cultivo Limpio/rastrojo/pasto	☐ Interferencia de cauces				
☐ Área urbanizada o construida	☐ Árboles inclinados o muy pesados				
	☐ Otros				

REGISTRO FOTOGRÁFICO: Cámara: celular JA

Foto #: 4415

Deslizamiento compuesto.

Anexo 2. Formato de evaluación para movimiento en masa de tipo deslizamiento, compuesto, el cual afecta la vía directamente.

Y: 5° 22' 38.90" N

EVALUACIÓN DESLIZAMIENTOS		FECHA: 15/02/19		COORDENADAS: X: 75° 35' 26.00" O	
AÑO: 2019		RESPONSABLE: Carolina Castaño		LOCALIZACIÓN: El Tambor, La Merced	
CLASIFICACIÓN		CONDICIONES GEOTÉCNICAS			
Tipo		Suelos fallados		Suelos expuestos	
☐ Deslizamiento ☐ Deslizamiento - flujo ☐ "Derumbes" o caídas ☒ Movimientos lentos ☐ Flujo		☒ Rellenos de Ladera ☐ Rellenos de Cauce ☒ Suelo Orgánico ☐ Cenizas Volcánicas ☐ Formación Combia		☐ Rellenos de Ladera ☐ Rellenos de Cauce ☒ Suelo Orgánico ☐ Cenizas Volcánicas ☐ Formación Combia	
Subtipo					
☐ Traslacional ☐ Rotacional ☐ Compuesto					
Cicatrices		MORFOLOGÍA Y MORFOMETRÍA			
☐ Si ☒ No		Escarpe		Forma Ladera (planta)	
CHARACTERÍSTICA GEOMÉTRICA		☐ Recto ☐ Curvilíneo ☐ Irregular ☐ Múltiple ☒ No Existe		☐ Cóncava ☒ Convexa ☒ Recta	
Ancho promedio: Longitud: Longitud recorrida: Espesor promedio: Espesor máximo:		FACTORES ANTRÓPICOS			
CONDICIÓN HIDROLÓGICA		☐ Sobrecargas ☐ Excavaciones en la base ☐ Áreas sin pavimentar ☒ Falta de canales y bajantes ☐ Deforestación ☐ Cultivos limpios ☐ Cambios en el uso del suelo ☒ Sobrepastoreo ☐ Arrojo de basuras, residuos, escombros ☐ Daño alcantarillado ☐ Daño acueducto ☐ Daños obras control de erosión ☐ Falta mantenimiento obras control erosión			
Suelos Fallados					
☐ Flúidos ☒ Muy húmedos ☐ Poco húmedos ☐ Secos					
Afloramientos					
☐ Encima deslizamiento ☐ En el cuerpo ☐ Bajo el deslizamiento ☐ En áreas adyacentes ☒ No presenta					
USO DEL SUELO		☐ Construcción en área no apta ☐ Mala calidad construcciones existentes ☒ Vibraciones ☒ Movimientos de tierra sin especificaciones técnicas ☐ Interferencia de cauces ☒ Árboles inclinados o muy pesados ☐ Otros			
☐ Desnudo ☒ Pastos ☐ Rastrojo ☒ Árboles ☒ Mezcla rastrojo/pasto/árboles ☐ Cultivos Limpios ☐ Cultivo Limpio/rastrojo/pasto ☐ Área urbanizada o construida					

REGISTRO FOTOGRÁFICO: Cámara: celular J7 Foto #: 1215

Reptación.

Anexo 3. Formato de evaluación para movimiento en masa de tipo reptación.

EVALUACIÓN DESLIZAMIENTOS		Y: 5° 23.016' N	
AÑO: 2018		FECHA: 22/11/18	COORDENADAS: X: 75° 35' 00" O
		RESPONSABLE: Carolina Casaña	LOCALIZACIÓN: El Tambor, La Merced.
CLASIFICACIÓN		CONDICIONES GEOTÉCNICAS	
Tipo		Suelos fallados	Suelos expuestos
☐ Deslizamiento		☒ Rellenos de Ladera	☒ Rellenos de Ladera
☐ Deslizamiento - flujo		☐ Rellenos de Cauce	☐ Rellenos de Cauce
☒ "Derumbes" o caídas		☒ Suelo Orgánico	☒ Suelo Orgánico
☐ Movimientos lentos		☐ Cenizas Volcánicas	☐ Cenizas Volcánicas
☐ Flujo		☐ Formación Combia	☐ Formación Combia
Subtipo			
☐ Traslacional			
☐ Rotacional			
☐ Compuesto			
MORFOLOGÍA Y MORFOMETRÍA			
Cicatrices		Escarpe	Forma Ladera (planta)
☐ Si ☒ No		☐ Recto	☐ Cóncava
CARACTERÍSTICA GEOMÉTRICA		☐ Curvilíneo	☐ Convexa
Ancho promedio:		☐ Irregular	☒ Recta
Longitud:		☐ Múltiple	
Longitud recorrida:		☒ No Existe	
Espesor promedio:		FACTORES ANTRÓPICOS	
Espesor máximo:			
CONDICIÓN HIDROLÓGICA			
Suelos Fallados			
☐ Flúidos		☒ Sobrecargas	
☐ Muy húmedos		☐ Excavaciones en la base	
☐ Poco húmedos		☐ Áreas sin pavimentar	
☐ Secos		☒ Falta de canales y bajantes	
Afloramientos		☐ Deforestación	
☐ Encima deslizamiento		☐ Cultivos limpios	
☐ En el cuerpo		☐ Cambios en el uso del suelo	
☐ Bajo el deslizamiento		☒ Sobrepastoreo	
☐ En áreas adyacentes		☐ Arrojo de basuras, residuos, escombros	
☒ No presenta		☐ Daño alcantarillado	
USO DEL SUELO		☐ Daño acueducto	
☐ Desnudo		☐ Daños obras control de erosión	
☒ Pastos		☐ Falta mantenimiento obras control erosión	
☐ Rastrojo		☐ Construcción en área no apta	
☐ Árboles		☐ Mala calidad construcciones existentes	
☐ Mezcla rastrojo/pasto/árboles		☒ Vibraciones	
☐ Cultivos Limpios		☒ Movimientos de tierra sin especificaciones técnicas	
☐ Cultivo Limpio/rastrojo/pasto		☐ Interferencia de cauces	
☐ Área urbanizada o construida		☐ Árboles inclinados o muy pesados	
		☒ Otros → Conglomerados tamaño bloque.	
REGISTRO FOTOGRÁFICO: Cámara: celular J7.		Foto #: 0517	
Caída de roca.			

Anexo 4. Formato de evaluación para movimiento en masa de tipo caída de roca.