ANÁLISIS COMPARATIVO DE UNA ESCALA DE TRABAJO CARTOGRÁFICO 1:25000 FRENTE A UNA 1:1000, PARA LA ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTO EN MASA EN LOS ALREDEDORES DE LA CABECERA DEL MUNICIPIO DE SALAMINA.

DAIHANA QUINTERO BETANCURTH
ADRIANA VELEZ FRANCO

UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES
2016

ANÁLISIS COMPARATIVO DE UNA ESCALA DE TRABAJO CARTOGRÁFICO 1:25000 FRENTE A UNA 1:1000, PARA LA ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTO EN MASA EN LOS ALREDEDORES DE LA CABECERA DEL MUNICIPIO DE SALAMINA

DAIHANA QUINTERO BETANCURTH
ADRIANA VELEZ FRANCO

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar al título de Especialista en Información Geográfica

UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES
2016

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

David Eugenio López, Geólogo de la Universidad de Caldas, por su apoyo en la fase de campo.

Santiago Valencia, estudiante del programa de Geología de la Universidad de Caldas, por su colaboración en el desarrollo del capítulo Geotécnico

Cristian David Salazar Narváez, Geólogo de la Universidad de Caldas, por sus valiosas asesorías.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN 14
1. ÁREA PROBLEMÁTICA 16
2. OBJETIVOS 18
2.1 OBJETIVO GENERAL 18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 18
3. JUSTIFICACIÓN 19
4. MARCO TEÓRICO 21
4.1 CARACTERIZACIÓN HISTORICA DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA EL MUNICIPIO DE SALAMINA. 21
4.2. METODOLOGÍA. 21
4.3. EVALUACIÓN DE AMENAZAS POR PROCESOS EROSIVOS. 22
4.3.1. LA EVALUACIÓN DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS. 23
4.4 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. 24
4.5 ANTECEDENTES 25
4.5.1 Amenaza por Movimientos en Masa. 25
4.5.2 Inventario de Eventos por Remoción en Masa. 27
4.5.3 Identificación, Clasificación y Caracterización del Fenómeno Amenazante y Evaluación de la Amenaza. 28
4.5.4 SIG para determinar la susceptibilidad a movimientos en masa en la cuenca del rio campoalegre, Salazar Tamayo, Julián Andrés; Osorio Betancur, Yuliana y Gómez Chamorro. Colombia, Manizales, 2013. 32
4.5.5 Diseño e Implementación de un SIG Bajo una Plataforma Web Mapping para el Ingenio Mayagüez S.A.Colombia, Manizales, 2015. 33
5. METODOLOGÍA 34
5.1 TIPO DE TRABAJO 34
5.2 PROCEDIMIENTO 34
5.2.1 Fase 1. Revisión Bibliográfica. 34
5.2.2 Fase 2. Recopilación de la Información. 39
5.2.3 Fase 3. Trabajo de campo. 48

5.2.4 Fase 4. Elaboración de la Base de Datos. 55
5.2.5 Fase 5. Análisis de la información. 55
5.2.6 Fase 6. Informe final. 56
6. RESULTADOS 57
6.1. ÁREA DE ESTUDIO E INFORMACIÓN BÁSICA. 57
6.1.1. Análisis de la Amenaza. 58
6.2. PROCESAMIENTO DE LOS MAPAS TEMÁTICOS. 72
6.3. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MAPA DE AMENAZA POR MOVIMIENTO EN MASA A ESCALA 1:25.000 FRENTE AL MAPA 1:1.000. 75
6.3.1. Selección del área para caracterización geotécnica. 76
6.4. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES. 77
6.4.1. Características geotécnicas de los materiales. 78
6.4.2. Propiedades geotécnicas de los materiales. 79
6.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS. 84
7. CONCLUSIONES 85
8. RECOMENDACIONES 87
BIBLIOGRAFÍA 88
ANEXOS 90

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Localización del Municipio de Salamina. 17
Figura 2. Áreas de manifestación de deslizamientos. 24
Figura 3. Mapa de Amenaza por Remoción en Masa, para la cabecera municipal de Salamina. 26
Figura 4. Mapa de registros históricos de movimientos en masa para el Municipio de Salamina. 27
Figura 5. Diagrama Conceptual para la evaluación de la susceptibilidad de movimientos en masa. 29
Figura 6. Mapa de Susceptibilidad a Movimientos en Masa. 31
Figura 7. Mapa de Amenaza por Movimientos en Masa. 32
Figura 8. Marco de referencia para evaluación de riesgo por movimiento en masa y la toma de decisiones. 36
Figura 9. Esquema metodológico para la elaboración de estudios básicos de amenaza y definición de zonas para la elaboración de estudios detallados. 37
Figura 10. Esquema metodológico para la elaboración de estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo. 38
Figura 11. Mapa Geológico del Municipio de Salamina, Caldas en escala 1:25000. 41
Figura 12. Mapa Geomorfológico del municipio de Salamina, Caldas en escala 1:25000. 43
Figura 13. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales del municipio de Salamina, Caldas en escala 1:25000. 44
Figura 14. Mapa de Pendientes del municipio de Salamina, Caldas en escala 1:25000. 46
Figura 15. Mapa de Uso y Cobertura del Suelo del municipio de Salamina, Caldas en escala 1:25000. 48
Figura 16. Punto de muestro Shelby A0, nótese el desplazamiento del gavión y grietas sobre vías. 50
Figura 17. Delimitación de la corona del punto de muestreo A2 y se observa el punto donde se realizó el Shelby A2. 51
Figura 18. Delimitación de la corona de un antiguo deslizamiento, punto de muestreo Shelby A5 y presencia de cárcavas en el terreno. 53
Figura 19. Afloramiento con un tipo de roca denominado basalto el cual se presenta muy fracturado. 55
Figura 20. Insumos cartográficos temáticos. 58
Figura 21. Mapa Geológico del municipio de Salamina, Caldas en escala 1:1000. 60
Figura 22. Mapa Geomorfológico del municipio de Salamina, Caldas en escala 1:1000. 63

Figura 23. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales del municipio de Salamina, Caldas en escala 1:1000. 65
Figura 24. Mapa de Pendientes del municipio de Salamina, Caldas en escala 1:1000. 66
Figura 25. Mapa de Uso y Cobertura del Suelo del municipio de Salamina, Caldas en escala 1:1000. 68
Figura 26. Mapa Hídrico del Municipio de Salamina, Caldas en escala 1:1000. 70
Figura 27. Mapa Estructural del Municipio de Salamina, Caldas en escala 1:1000. 71
Figura 28. Mapas Temáticos rasterizados. 73
Figura 29. Mapa de Amenaza por movimiento en masa a escala 1:1000. 74
Figura 30. Mapas comparativos con la zonificación de amenaza por movimientos en masa, a la izquierda generado a escala 1:25.000 y a la derecha a escala 1:1.000. 76
Figura 31. Visualización global del municipio de Salamina, donde se observan las 3 áreas preliminares para la caracterización geotécnica, de las cuales se seleccionó A1. 77
Figura 32. Área A1, con línea de perfil para el análisis geotécnico. 82
Figura 33. Perfil geológico con análisis del Factor de Seguridad para el área de estudio A1. 83

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Inventario de eventos de afectación por movimientos en masa 28
Tabla 2. Mapas Parámetro para la determinación de remoción en masa. 30
Tabla 3. Descripción del punto de muestreo Shelby A0 49
Tabla 4.Descripción del punto de muestreo Shelby A2. 50
Tabla 5. Descripción del punto de muestreo Shelby A5. 52
Tabla 6. Descripción del punto de muestreo de Roca A1. 54
Tabla 7. Unidades que conforman el mapa Geomorfológico para la zona de estudio. 61
Tabla 8. Orden y peso de los mapas temáticos rasterizados. 74
Tabla 9. Áreas y porcentajes de las amenazas clasificadas a escala 1:25.000 y 1:1.000. 75
Tabla 10. Factores de seguridad básicos mínimos (Tabla H.2.4-1 NSR-10 81

LISTA DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1. Escalas de trabajo de acuerdo a las clases de suelo establecidas. 36

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexos 1. RESULTADOS DE LABORATORIO 90

GLOSARIO

Cartografía Base: Es la fuente de información más importante y necesaria por la cual se pueden obtener productos cartográficos derivados de ella.

Cartografía Temática: Es una cartografía elaborada sobre un mapa base, cuyo propósito es la representación de las características espaciales en variables de cualidad y/o cantidad de fenómenos del globo terrestre.

Escala: Representación real en relación entre la distancia que separa dos puntos en un mapa y la distancia real de esos dos puntos en la superficie.

Movimiento en Masa: Es el desplazamiento de grandes volúmenes de material rocoso o suelo pendiente abajo en forma cóncava e irregular.

SIG: Sistema de información geográfica es un conjunto de herramientas que integran y relacionan diversos componentes en la administración, almacenamiento, edición y manipulación de la información para el análisis de datos espaciales vinculados a aspectos económicos, ambientales y socioculturales con el fin de tomar decisiones de una manera más eficaz.

RESUMEN

El objetivo principal de este estudio es analizar como incide la escala cartográfica en la elaboración de trabajos, donde se identifican y caracterizan fenómenos de amenaza por movimientos en masa y el impacto. Además, las medidas que se adoptan en planes u obras civiles, buscando ser una guía metodológica eficiente para la planificación del territorio. Este ejercicio es aplicado para el área urbana y semi-urbana del municipio de Salamina que está ubicado en el departamento de Caldas.

Inicialmente se cuenta con un estudio a escala 1:25.000, denominado "*POMCA del rio Tapias y otros directos al Cauca*" desarrollado por un grupo multi e inter-disciplinario de profesionales de la empresa LR Ambiental S.A.S. Este trabajo extrae parte de la información para el área del municipio de Salamina, que permitirá dar una visión global del área de estudio.

Posteriormente, una vez identificados los sectores en los que históricamente se han registrado afectaciones por eventos de remoción en masa, se realizan nuevos recorridos de campo que permiten el reconocimiento de litologías, coberturas, características de las rocas, toma de datos estructurales, registros fotográficos, muestreos, entre otros. La información recopilada se procesa en un software SIG, realizando un análisis comparativo con los datos obtenidos para el estudio con una escala 1:25.000 frente a los obtenidos para la escala de mayor detalle 1:1000.

El uso de los SIG ha sido utilizado como herramienta de evaluación y diagnóstico de fenómenos amenazantes. La remoción en masa es una de las amenazas frecuentes que existen en Colombia, por lo tanto, con la ayuda de los SIG se puede realizar evaluaciones de mitigación y dar información actual de cierta zona y determinar posibles soluciones. Finalmente la comparación de estas escalas de trabajo busca mostrar cómo afecta y/o beneficia la toma de decisiones a la hora de desarrollar obras civiles, evacuaciones de asentamientos humanos y la eficiente planificación del territorio.

PALABRAS CLAVES: < Escala cartográfica, amenaza por movimientos en masa, planificación del territorio, caracterización, procesamiento espacial de datos >

ABSTRACT

The main aim of this study to analyze how affects the cartographic scale in the development of work where they identify and characterize phenomena threats by landslides and the impact on the measures taken in plans or civil works, seeking to be a methodological guide efficient land use planning, this exercise is applied to the urban and semi-urban area of Salamina's municipality, Caldas department.

Initially it has a studio at scale 1: 25,000, called "*POMCA del río Tapias y otros directos al Cauca*" developed by a multi and interdisciplinary group of business professionals LR Environmental S.A.S; the work in question is extracted some information for the area of Salamina's municipality - Caldas, which will give an overview of the study area.

Subsequently, once the sectors where historically there have been damages by events landslides, new field trips that allow the recognition of lithologies, hedges, rock characteristics, making structural data, photographic records, samples are taken identified, among others. The information collected is processed in a GIS software, performing a comparative analysis with the data obtained for the study with a scale 1: 25,000 against those obtained for more detailed scale 1: 1000.

The use of GIS has been used as a tool for evaluation and diagnosis of threatening phenomena. The mass removals are one of the frequent threats in Colombia, therefore, with the help of GIS can perform mitigation assessments and provide current information in a certain area and identify possible solutions. Finally, the comparison of the work scales search to show how affects or benefits to make decision to develope civil works, evacuations human settlements and efficient planning.

KEY WORDS: Cartographic scale threat landslides, land use planning, characterization, spatial data processing.

INTRODUCCIÓN

En Colombia los entes encargados de los estudios de zonificación de amenazas se ven muchas veces limitados por la escasez de recursos; Además, los tiempos cortos de ejecución, la exigencia de trabajos detallados que permitan delimitar y caracterizar los fenómenos amenazantes, son factores determinantes a la hora de la ejecución de cualquier propuesta de zonificación. No obstante, con estas limitaciones, el resultado de estos procesos de zonificación son los utilizados para adelantar obras y medidas de control que mitiguen los posibles efectos causados por los diferentes fenómenos naturales que amenazan determinado territorio.

Alrededor de los años 2010 – 2011 con la ocurrencia del fenómeno de La Niña, se reforzó la necesidad de crear políticas de gestión del riesgo que contribuyeran a reducir las afectaciones de la población y el impacto económico de los desastres.
Los esfuerzos desde el campo de la administración pública territorial y sectorial están encaminados hacia la implementación de políticas de desarrollo y de prácticas de gestión territorial y sectorial. Todas estas prácticas conllevan a la potencial reducción de los impactos provocados por los fenómenos naturales (Incendios, movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales, sismos, entre otros), mejorando así las condiciones de uso y ocupación del suelo.

Estudios previos relacionados con la zonificación de fenómenos por movimientos en masa arrojan datos y análisis para escalas cartográficas que se pueden considerar poco detalladas, las cuales proporcionan un bajo nivel de precisión en la delimitación de la amenaza, lo que conlleva a una sobre o sub utilización de los recursos destinados a la mitigación del fenómeno. De allí parte la necesidad de realizar trabajos detallados enfocados en la identificación real de la amenaza y su impacto sobre el territorio, proporcionando el soporte técnico-científico para los entes encargados de la planificación territorial; todos estos resultados permiten el aprovechamiento eficiente de los recursos económicos y ambientales, beneficiando así a la población y contribuyendo a la conservación del medio ambiente.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten el análisis de la amenaza por movimientos en masa, así como la elaboración de mapas de amenaza de manera sistemática, rápida y eficiente. Ello ha ampliado considerablemente la posibilidad de tratar con grandes bases de datos y realizar cálculos para la estimación de la amenaza que eran inviables en grandes áreas. En este sentido, la posibilidad de regionalizar los análisis de amenaza se ha visto enormemente facilitada con el uso de los SIG.

Basados en la información existente, con este trabajo se busca resaltar la necesidad de la implementación de metodologías SIG para la zonificación de amenazas por movimientos en masa y así estas herramientas, se conviertan en

una guía metodológica, que siendo aplicadas con un alto nivel de detalle (escalas cartográficas no mayores de 1:2000) permitan delimitar el riesgo. Además, con los resultados se puede crear estrategias de intervención con criterios de seguridad sólidos que propicien una toma de decisiones acertada.

1. ÁREA PROBLEMÁTICA

Este estudio se enmarca dentro del municipio de Salamina (Figura 1), el cual está ubicado en la región centro norte del departamento de Caldas a 75 km de Manizales, sobre la vertiente occidental de la cordillera Central, a una altura de 1.775 metros sobre el nivel del mar. Limita por el norte con los municipios de Pácora y Aguadas, por el sur con Aránzazu, Marulanda y Neira, por el oriente con Pensilvania y Marulanda y por el occidente con La Merced. Administrativamente se encuentra dividido en una cabecera municipal con 30 barrios, 46 veredas y el corregimiento de San Félix.

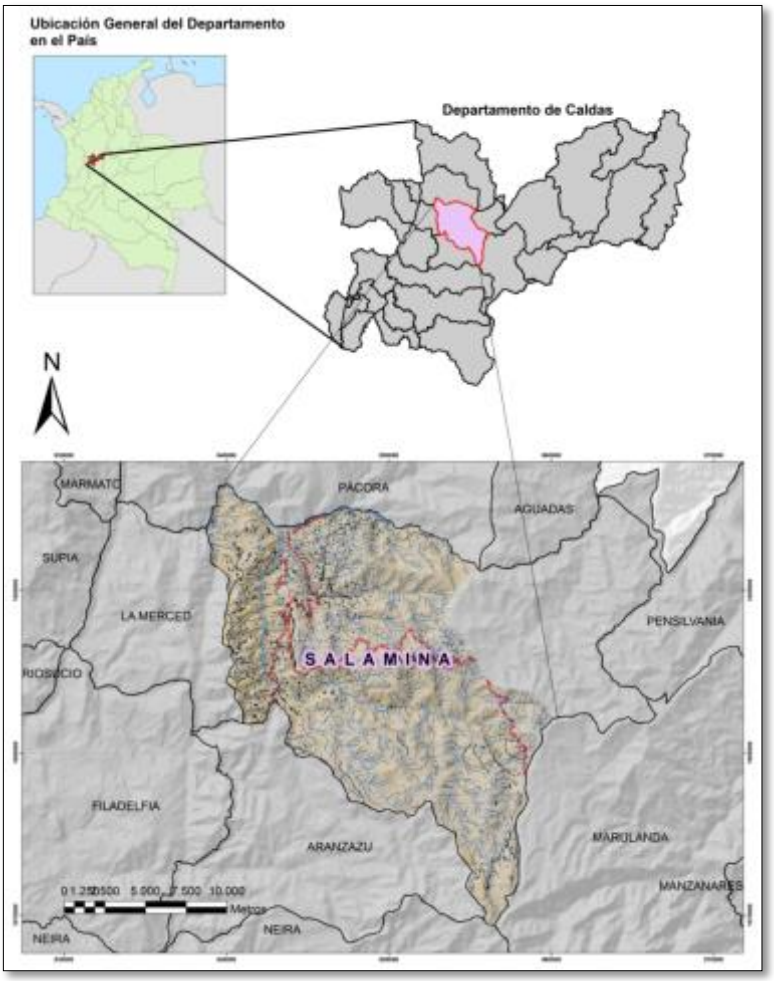
El territorio de Salamina se encuentra surcado principalmente por los ríos Arma, San Félix, San Lorenzo, Chambery, Pozo, Pocito y las quebradas San Antonio y Curubital. Además de múltiples corrientes menores como las quebradas El Consuelo, Guayaquil, San Rafael, La Calera; San Pablo y San Diego, entre otras. Todas estas aguas son destinadas en su mayor parte al consumo humano doméstico, al agrícola, pecuario y comercial. Este municipio se encuentra asentado en territorios quebrados que van desde las riberas del río Cauca, pasando por montañas de clima medio y frío, hasta los páramos en las cumbres de la cordillera central.

Como bien es sabido, la zonificación de los territorios por amenaza a fenómeno de remoción en masa es una labor de vital importancia para lograr una planificación eficaz de los recursos y un adecuado uso del suelo. Conocer el nivel de amenaza que presenta una zona determinada, permite una mejor planificación de los proyectos ingenieriles que se deseen ejecutar a mediano y largo plazo. En función de evitar un nivel de afectación elevado al momento de la ocurrencia de un movimiento del terreno, es primordial para las zonas pobladas determinar los puntos amenazados por el fenómeno de remoción en masa y así poder condicionar el uso de estos sectores e incluso desarrollar medidas de prevención para contrarrestar parcial o totalmente los efectos de la dinámica del suelo.

La determinación del grado de amenaza que presentan los territorios al fenómeno de remoción en masa se refleja en mapas que, dependiendo del tamaño de la zona estudiada y de los recursos utilizados en su desarrollo, involucran distintos aspectos relacionados con el fenómeno. Según Hartlen y Viberg (en Soeters y Van Westen, 1996), "*un mapa ideal de amenaza por inestabilidad de laderas debería suministrar información sobre la probabilidad espacial y temporal de la ocurrencia, el tipo, la magnitud, la velocidad, la distancia de viaje y el límite de avance retrogresivo de los movimientos en masa*"; sin embargo, en la práctica todos estos aspectos muy difícilmente se cumplen bien sea por falta de recursos en el estudio o por el tiempo que consume el realizar una caracterización detallada en cada una de las laderas.

Teniendo en cuenta la importancia del uso de una escala adecuada, la caracterización de eventos y de fenómenos amenazantes, surge la necesidad de investigar la identificación de escalas apropiadas de trabajo, que permitirán definir un nivel de amenaza más detallado. Además realizar y crear la necesidad a los entes administrativos y de control territorial de la implementación adecuada de escalas detalladas de estudio de las anomalías, que se refleja en decisiones favorables para la comunidad.

Figura 1. Localización del Municipio de Salamina.



Fuente. Elaboración Propia.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis comparativo de una escala de trabajo cartográfico 1:25000 frente a una 1:1000, para identificar y zonificar la amenaza por movimiento en masa en los alrededores de la cabecera del municipio de Salamina, utilizando los SIG.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los trabajos y escalas cartográficas, donde se caracterizan los fenómenos por movimientos en masa del municipio de Salamina, Caldas.

- Caracterizar los movimientos en masa a escala 1:1000, en los alrededores de la cabecera del municipio de Salamina, que afectan a la comunidad.

- Establecer la relación de variación del fenómeno en las escalas de trabajo comparadas.

3. JUSTIFICACIÓN

A medida que el mundo ha ido tomando conciencia del cambio climático y de lo que implican estos cambios en la sociedad y en la adaptación de los asentamientos humanos, los gobernantes y los organismos planificadores han visto la necesidad de adoptar políticas de desarrollo y prácticas apropiadas de gestión territorial y sectorial, que contribuyan a la mejora del uso y ocupación del territorio. Nuestro país no ha sido ajeno a estos cambios y fue para el año 2011 con el fenómeno de La Niña que Colombia solicitó a través del Departamento de Planeación Nacional la intervención del Banco Mundial, buscando elevar la gestión del riesgo a nivel de política de estado, para lo cual se creó la Ley 1523 del 24 de Abril de 2012 "*Por el 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*".

La gestión del riesgo se ha ido posicionando cada vez más y se puede decir que hoy día en temas de ordenamiento territorial (POT, PMA, POMCA) es clave y casi que indispensable la zonificación detallada del fenómeno o fenómenos amenazantes (Incendios Forestales, Inundaciones, Avenidas Torrenciales, Erupciones Volcánicas, Movimientos en masa, entre otros). Estas precisiones aumentan el conocimiento de dicho fenómeno y sus factores detonantes, los cuales proporcionan las herramientas de análisis que permiten determinar un mejor uso y ocupación del territorio, ejecutando obras pensadas para el mejoramiento de las comunidades. De forma general se pueden encontrar trabajos muy buenos apoyados en los Sistemas de Información Geográfica, en los que las escalas de trabajo son 1:50000 y 1:25000 principalmente, en muy pocos se pueden encontrar detalles de 1:10000, y que aún resultan siendo muy altas para el nivel de detalle que requiere la identificación y zonificación de un fenómeno amenazante, para lo cual se propone utilizar escalas entre 1:2000 a 1:500.

Con base en los factores que influyen la generación de movimientos en masa (uso del suelo, precipitación, pendientes, zonas de influencia de fallas y geología, entre otros) se debe tener en cuenta la inestabilidad que presentan las diferentes variables. Es por ello que se requiere el estudio detallado de cada uno de los factores que generan la inestabilidad de las laderas y conllevan a la generación de grandes movimientos en masa. Esto permitirá establecer relaciones de cómo cada uno de ellos repercute en la generación de dicho fenómeno; por lo tanto se implementará un Sistema de Información Geográfica que permita determinar las zonas de mayor probabilidad de presentar movimientos en masa, según sus características evaluadas y así emitir una alerta temprana que ayudará a la toma de decisiones principalmente en temporadas de lluvias.

Con lo anterior se pretende proporcionar argumentos que permitan a los organismos de control (Corporaciones Autónomas, Secretarias de Planeación,

Organismos de prevención, entre otros) llegar a tomar decisiones con respecto a la amenaza por fenómeno de remoción en masa mucho más realistas y así evitar altos impactos económicos y sociales. Cabe resaltar que a mayor nivel de detalle de trabajo, mayor será el nivel de conocimiento del fenómeno y a medida que se obtiene información puntual de un lugar específico es reflejada en mapas de zonificación del riesgo, donde se puedan generar alarmas efectivas frente a la posible ocurrencia del desastre. Además, generar conciencia a estos organismos de la importancia de implementar escalas cartográficas detalladas para la correcta delimitación de los diferentes fenómenos que implican una amenaza para la población.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 CARACTERIZACIÓN HISTORICA DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA EL MUNICIPIO DE SALAMINA.

Cada día se hace imperativo el conocimiento de los fenómenos naturales y sus factores detonantes. Un primer elemento a tener en cuenta es la limitante de información técnica disponible para la zona, pocos estudios han sido enfocados al conocimiento de la ocurrencia del fenómeno por movimiento en masa y su impacto en los alrededores del Municipio de Salamina.

La importancia de caracterizar un fenómeno amenazante a partir de herramientas de análisis de Sistemas de Información Geográfica (SIG), radica en generar argumentos sólidos que permitan un mejor uso y ocupación del territorio, ejecutando obras pensadas para el mejoramiento de las comunidades. Los órganos territoriales (Alcaldía, CORPOCALDAS, entre otros) realizan estudios con poco alcance, donde se realiza el compendio de datos relacionados con la probabilidad de ocurrencia del fenómeno de movimiento en masa y su impacto en la población del municipio de Salamina, generando resultados de baja eficacia.

El referente principal para el análisis comparativo que se pretende efectuar en este trabajo, es la “Fase de diagnóstico del plan de ordenamiento y manejo de la Subzona Hidrográfica del rio Tapias y otros directos al Cauca” (2015) a escala 1:25.000. En su componente de Gestión del Riesgo, realiza el compendio de los fenómenos naturales que amenazan comúnmente esa parte del territorio de Caldas. La metodología utilizada se basa en el “Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas”, la cual permite la zonificación del fenómeno a partir del conocimiento previo de los diferentes factores detonantes que actúan en la zona.

Aunque los trabajo que existen, identifican y caracterizan el fenómeno de movimiento en masa en el municipio de Salamina son un buen principio, los esfuerzos de este trabajo se concentran en crear una metodología SIG a partir de la cual se zonifique con mayor detalle el riesgo que causa este fenómeno y comparar como la escala con la que se delimita la información afecta la toma de decisiones.

4.2. METODOLOGÍA.

Para la identificación de los principales eventos por remoción en masa que han afectado la parte urbana y semi-urbana del municipio de Salamina, su frecuencia y

posibles daños, y para tener un planteamiento real del análisis situacional se proponen las siguientes actividades:

- Revisión de documentos históricos, trabajos realizados en el municipio, documentación municipal y entrevistas con la comunidad. Con esta información se elabora un inventario de eventos históricos recopilados como un catálogo de eventos los cuales se sistematizan e incorporan para el análisis de la amenaza de la zona.

- Con base en el *Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas,* se efectúa la distribución de los eventos registrados y discriminados por el tipo de evento, de lo cual se genera una salida gráfica, incluyendo todos los eventos del catálogo así:

- **Rojo:** Eventos más recurrentes, es decir, más de un evento en los últimos quince años.

- **Naranja:** Un evento en los últimos quince años o los ocurridos en un período de tiempo comprendido entre los 15 a 50 años.

- **Amarillo:** Para los eventos pasados, es decir para los ocurridos hace más de 50 años.[1]

4.3. EVALUACIÓN DE AMENAZAS POR PROCESOS EROSIVOS.

En la evaluación de la amenaza se identifican, analizan y documentan las amenazas naturales (movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios forestales) así como sus causas y las cadenas de efecto que provocan. Por lo tanto, para poder analizar y evaluar los riesgos, es indispensable tener conocimientos sobre los tipos de amenaza.

El alcance y el nivel de los análisis dependen de la situación, en algunos casos son suficientes unos análisis sencillos que no requieren muchos datos; en otros, en cambio, es necesario realizar estudios muy amplios para poder determinar el potencial de amenaza. Asimismo, poder estimar y evaluar el grado de riesgo y las características y magnitud de los posibles daños de un determinado fenómeno extremo, puesto que no basta con estimar la probabilidad de ocurrencia, sino que también es necesario analizar la probable duración e intensidad del evento. No obstante, antes de pasar a estos estudios detallados, hay que aclarar en qué medida las poblaciones, sus actividades productivas, la infraestructura estratégica,

[1]LR ambiental S.A.S, Corpocaldas, (2014) Fase de Diagnóstico del plan de ordenación y manejo ambiental de la Subzona- Hidrográfica del río Tapias y otros directos al Cauca.

la sostenibilidad ambiental del territorio y de los servicios ecosistémicos corren un riesgo, es decir, en qué medida se encuentran expuestos al fenómeno en cuestión y hasta qué punto son vulnerables al mismo.

Esta evaluación se realiza a través de inventarios de fenómenos, ejecutados de forma participativa con las entidades territoriales, los líderes comunales y la población que habita allí. Toda esta información se extrae a través de observaciones y mediciones de campo, análisis y revisión de información técnico-científica disponible (mapas, fotos aéreas, informes), con el fin de conocer la probable ubicación y severidad de los fenómenos naturales peligrosos, así como la probabilidad que ocurran en un tiempo y área específicos. Finalmente se da como resultado la elaboración de un mapa de amenazas, el cual representa un elemento clave para la planificación del uso del territorio y constituye un insumo importante para la evaluación de los riesgos actuales y potenciales.

4.3.1. LA EVALUACIÓN DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS.

Es definida como un movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla. Se caracterizan por desplazamientos de masas de tierra o rocas por una pendiente en forma súbita o lenta. El deslizamiento, es un fenómeno de la naturaleza que se define como: “el movimiento pendiente abajo de una ladera, lento o súbito, formado por materiales naturales – roca – suelo, vegetación o bien de rellenos artificiales". Se presentan sobre todo en la época lluviosa.

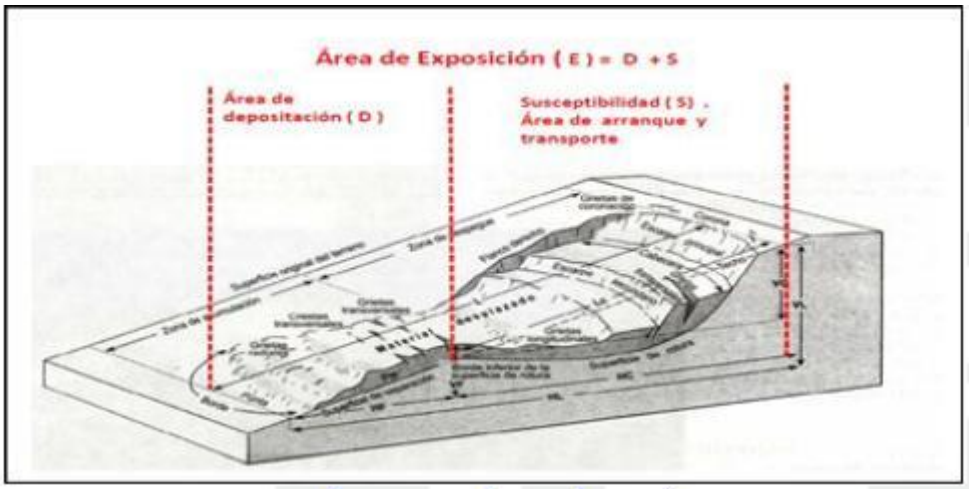
Son objeto de estudio, las áreas montañosas o de ladera con pendientes que oscilan entre los 5 a 30 grados, con materiales de baja a mediana resistencia y de gran espesor o materiales rocosos, buzando en la misma dirección de la pendiente. Por lo tanto, las categorías de susceptibilidad se deben establecer de acuerdo con las siguientes características:

- Presencia o ausencia de procesos (antiguos o activos) y la posibilidad de ampliarse.
- Perfil de la ladera.
- Tipo de material superficial.
- Patrón de drenaje.
- Geoformas existentes y su condición morfo dinámica.
- Cobertura del suelo.

El ***Área de deposición (D*)** corresponde a una franja en la parte inferior de las áreas montañosas, caracterizadas por pendientes menores a los 5 grados; cuyo ancho será definido con criterios técnicos, corroborados, si es posible, con el comportamiento de los eventos cercanos a la zona plana. Finalmente su ***Área de***

afectación (A) que corresponde a las áreas delimitadas de susceptibilidad (S) más las áreas de recepción de materiales (D) (Figura 2). [2]

Figura 2. Áreas de manifestación de deslizamientos.



Fuente. Adaptado de **http://www.ige.csic.es/imagenes/georutas/B7.JPG**

4.4 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

Hoy en día son varios los sistemas de información que nos rodean. La primordial función es el proveernos de herramientas que nos brinden soporte para la toma de decisiones. Especialmente, los SIG son un tipo especializado de sistema que se conocen por su capacidad de tratar información espacialmente referenciada. Indicamos que son herramientas porque nos ayudan a tener fundamentos para la toma de decisiones, posteriormente que se han aprovechado sus funciones de captura, almacenamiento, análisis y visualización de la información.

Los SIG incorporan operaciones comunes de bases de datos, tales como consultas y análisis estadísticos. Igualmente de la visualización y los beneficios geográficos que son dados por los mapas. Estas características son las que diferencian a los SIG de los demás sistemas de información, las cuales extienden su uso en empresas públicas y privadas, para dar explicación a acontecimientos, pronosticar resultados y planear estrategias que se relacionen con un tema específico. Los SIG pueden organizar y procesar datos que provienen de un gran conjunto de fuentes para su uso. Por ejemplo, pueden procesar datos que se obtienen de fotografías, mapas, imágenes, datos estadísticos, datos provenientes de sistemas CAD (computer-assisted design) y de bases de datos.

[2]Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS, (2014) Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS - Anexo B. Gestión del Riesgo.

Por lo tanto, los SIG son herramientas de gran importancia y sirven de apoyo en la toma de decisiones en diferentes escenarios de la sociedad. Permiten estructurar y visualizar la información ubicada espacialmente dentro de un territorio. Además, proporcionan información como características topográficas, uso del suelo, redes de servicios públicos, demografía, entre otras. Es posible ubicarla y visualizarla de una manera fácil y rápida mediante la utilización de los SIG.[3]

4.5 ANTECEDENTES

4.5.1 Amenaza por Movimientos en Masa.

- **Plan Básico de Ordenamiento Territorial del municipio de Salamina, Alcaldía Municipal, 2001.**

El objetivo de este documento es categorizar y zonificar los movimientos en masa del municipio de Salamina, Caldas.

Los resultados alcanzados permitieron establecer 4 categorías para la amenaza por movimientos en masa en el área rural. Las zonas con amenaza baja son en las que se observan pocos movimientos en masa y de baja magnitud; para el municipio de Salamina corresponde al Páramo de San Félix. Como amenaza media, se delimitan las áreas con mediana pendiente y deslizamientos con mediano tamaño. Finalmente, a las zonas de altas pendientes, cultivos y deslizamientos de gran magnitud, el plan las define como zonas bajo amenaza alta correspondiendo a esta zona las cuencas de los ríos Pocito, Chambery, Nudillales y San Lorenzo. Algunos de los procesos son referidos como la Chapa, la Quiebra, vía Pácora, Ladera la Amoladora-Los Limones, los Mangos y vía la Unión.

- **"Identificar y caracterizar la Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo para las cabeceras municipales y las áreas de desarrollo rural restringido". Corpocaldas & Geosub (2013 - 2014).**

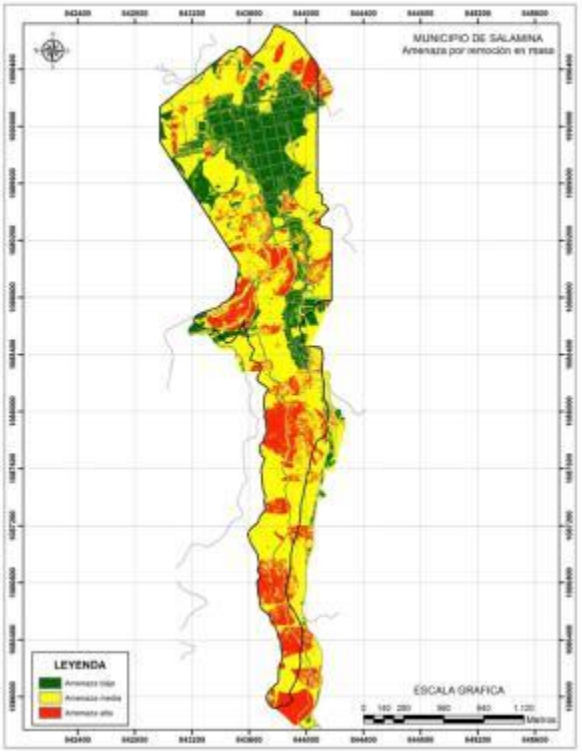
El objetivo del estudio fue determinar la amenaza, vulnerabilidad y riesgo para las cabeceras municipales.

Los resultados alcanzados lograron identificar zonas de amenaza alta en el casco urbano y los lugares que deben ser intervenidos para prevenir el riesgo que

[3] Arroyo Pérez, Andrés Augusto; Mantilla Mazo, Wilmerth Alexander y Pérez Pineda, Oscar Alexander (2015) Diseño e Implementación de un SIG Bajo una Plataforma Web Mapping para el Ingenio Mayagüez S.A. Tesis postgrado, Universidad de Manizales.

representan (Figura 3); los cuales se ubican al Noreste en los sectores de los Barrios El Bosque, Galán, Playón, Fundadores, Cramsa, Sector del ICBF. Al Noroeste los sectores del Barrio Los Obreros y la ladera inferior del Cementerio. En la zona central los sectores del Barrio Palenque, Estación Los Alpes, Calle Caliente, Pinares del Tachuelo, ladera occidental del sector La Cuchilla, sector la Cárcel y hacia el suroccidente de la cabecera.

Figura 3. Mapa de Amenaza por Remoción en Masa, para la cabecera municipal de Salamina.



Fuente. GEOSUB (2013-2014)

- **Diseño de un instrumento indicativo en áreas de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo de los municipios de Aránzazu, La Merced, Salamina y Samaná (Fundación Pangea, Marzo de 2008).**

El objetivo era identificar las áreas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de los municipios de Aránzazu, la Merced, Salamina y Samaná.

Los resultados alcanzados permitieron caracterizar y delimitar las zonas de alto riesgo del municipio de Aránzazu, la Merced, Salamina, y Samaná.

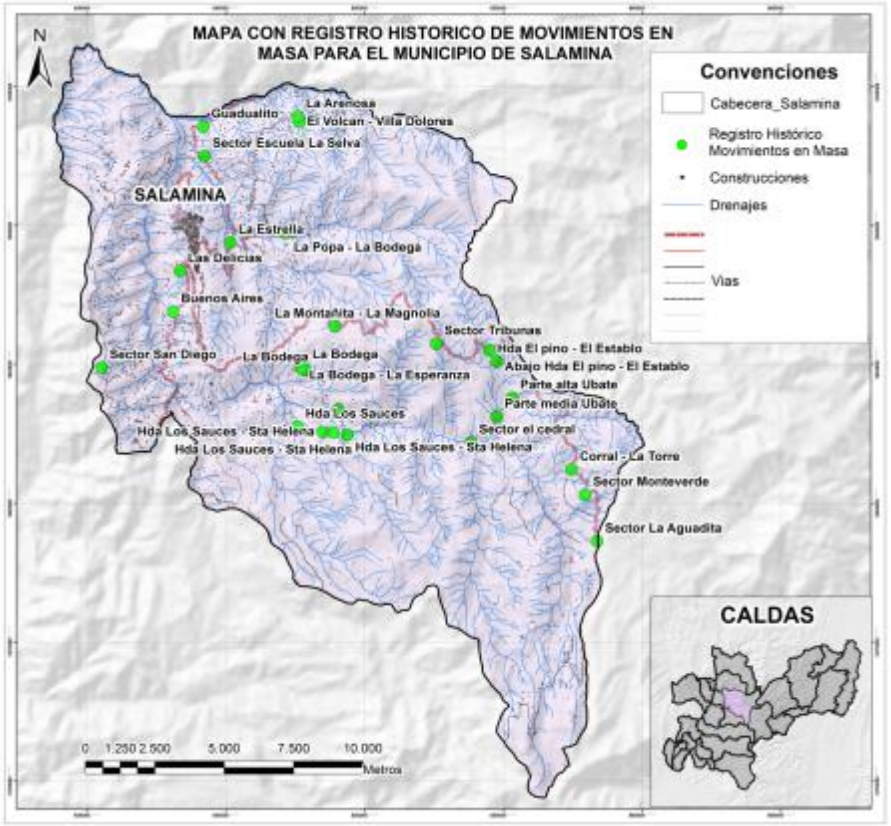
4.5.2 Inventario de Eventos por Remoción en Masa.

- **Página WEB del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres – SIGPAD, El Servicio Geológico Colombiano, Cuerpo de Bomberos del municipio, entidades locales, periódicos, consejeros de cuenca y la comunidad.**

El objetivo del estudio fue registrar en una base de datos los fenómenos y las características del mismo para generar un mapa y registro de eventos históricos.

Los resultados alcanzados permitieron establecer datos más precisos en cuanto a la ocurrencia, el tiempo y la frecuencia con que estos eventos suceden (Tabla 1) y elaborar un mapa y registro de eventos por remoción en masa. (Figura 4).

Figura 4. Mapa de registros históricos de movimientos en masa para el Municipio de Salamina.



Fuente. Guía Técnica para la Formulación de los planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS – Anexo B. Gestión del Riesgo. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS (2014)

Tabla 1. Inventario de eventos de afectación por movimientos en masa

	# DE EVENTOS	EVENTOS IMPORTANTES EN AFECTACIÓN				
		FECHAS			PERDIDAS Y DAÑOS	OBSERVACIONES
		DÍA	MES	AÑO		
MOVIMIENTOS EN MASA	85	23	5	2012	Damnificados y edificaciones	En el sitio Buenos aires
		26	6	2012	Damnificados y edificaciones	
		29	5	2013	Damnificados y edificaciones	
		1	11	2014	Damnificados, vías, edificaciones, cultivos	En el sitio La Frisolera
				1966	Vidas, damnificados y vías	En el sitio Zacatín, Barrio los Alpes
				2010	Damnificados y edificaciones	En el sitio Barrio el Bosque
		19	4	2012	Damnificados y edificaciones	En el sitio Broalin
		19	4	2012	Damnificados y edificaciones	
		19	4	2012	Damnificados y edificaciones	Barrio el Bosque
		19	4	2012	Damnificados y edificaciones	Barrio el Bosque
		23	5	2012	Damnificados y cultivos	Los Chorros

Fuente. LR Ambiental S.A.S (2015).

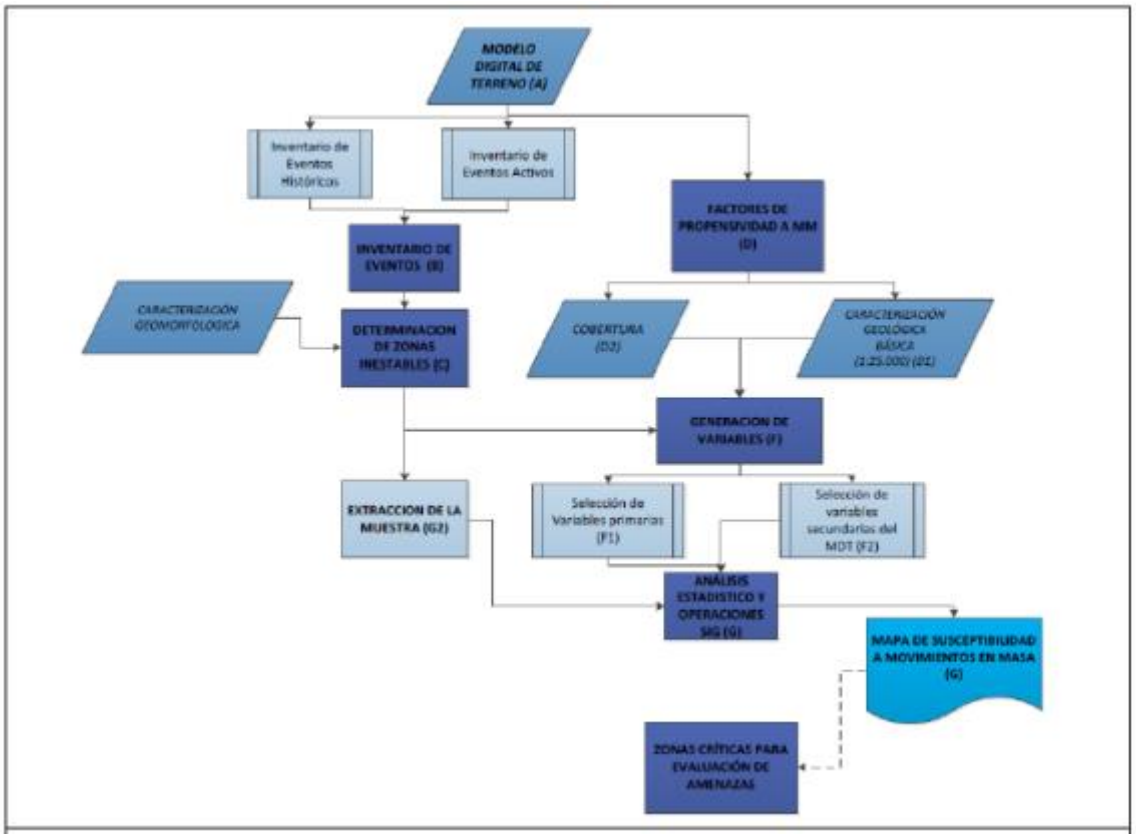
4.5.3 Identificación, Clasificación y Caracterización del Fenómeno Amenazante y Evaluación de la Amenaza.

- **Fase de Diagnóstico para la Subzona- Hidrográfica del río Tapias y otros directos al Cauca (LR ambiental, 2014).**

Este estudio está encaminado a un análisis detallado de los factores que conforman la amenaza por remoción en masa, al igual que la evaluación de la vulnerabilidad, componentes que evaluados conjuntamente permiten la delimitación de zonas de riesgo.
Los resultados alcanzados permitieron identificar las zonas bajo amenaza por movimientos en masa correspondientes a los sectores Guadualito, Palermo, Villa Dolores–el Volcán, las Delicias, la Estrella, la Bodega, entrada a Salamina y parte de la cabecera municipal, Vía Salamina–Pácora, la Montañita, entre otros. Además, para el análisis de la susceptibilidad a movimientos en masa (Figura 5) se tuvieron en cuenta parámetros tales como la caracterización geomorfológica, identificando las geoformas con mayor tendencia a movimientos en masa, al igual que se tuvieron en cuenta elementos tales como el análisis de la cobertura, el uso

del suelo y las características geológicas como factores importantes para este fenómeno amenazante; teniendo como resultado de este análisis la zonificación de zonas críticas que se enmarcan con los factores de susceptibilidad y los eventos históricos relacionados con fenómenos de remoción en masa.

Figura 5. Diagrama Conceptual para la evaluación de la susceptibilidad de movimientos en masa.



Fuente. Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (2014).

- **Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (2014).**

Para el análisis de la susceptibilidad por remoción en masa se tomó y adaptó la metodología planteada en el documento anteriormente referido, que tuvo como fin establecer un esquema de procesos para efectuar el análisis basado en mapas. Estos análisis se fundamentaron en métodos heurísticos que determinan cada variable como un mapa parámetro y que según el fenómeno son calificados para establecer la relación con cada uno. Los pasos para efectuar el mapa de susceptibilidad son los siguientes:

- ✓ Se seleccionaron las variables a utilizar (según el tipo de análisis, los mecanismos que se presentan, la disponibilidad de información digital y de campo, entre otros.).
- ✓ Generación del modelo digital de terreno.
- ✓ Se usan las variables derivadas del MDT.
- ✓ Se rasterizan las variables vectoriales (SIG).
- ✓ Se ajustan / categorizan las variables (SIG).
- ✓ Se obtienen y detallan las zonas de presencia o ausencia de inestabilidad.
- ✓ Se depuran de los datos mediante el uso de análisis estadísticos (análisis de errores).
- ✓ Definición de la susceptibilidad y del mapa de susceptibilidad mediante el uso de herramientas SIG.
- ✓ Se realiza una validación de la función y el mapa de susceptibilidad (SIG).

La selección de variables y mapas temáticos fueron realizados mediante la evaluación de expertos en los diferentes temas correspondientes a la evaluación de la susceptibilidad por remoción en masa (Tabla 2).

Tabla 2. Mapas Parámetro para la determinación de remoción en masa.

MAPA TEMÁTICO	VALOR %	ORIGEN CARTOGRAFÍA
Pendientes	30	LR ambiental S.A.S.
Cobertura	25	LR ambiental S.A.S.
Material Superficial	20	LR ambiental S.A.S.
Geomorfología	15	LR ambiental S.A.S.
Geología	10	LR ambiental S.A.S.

Fuente. LR Ambiental S.A.S (2015).

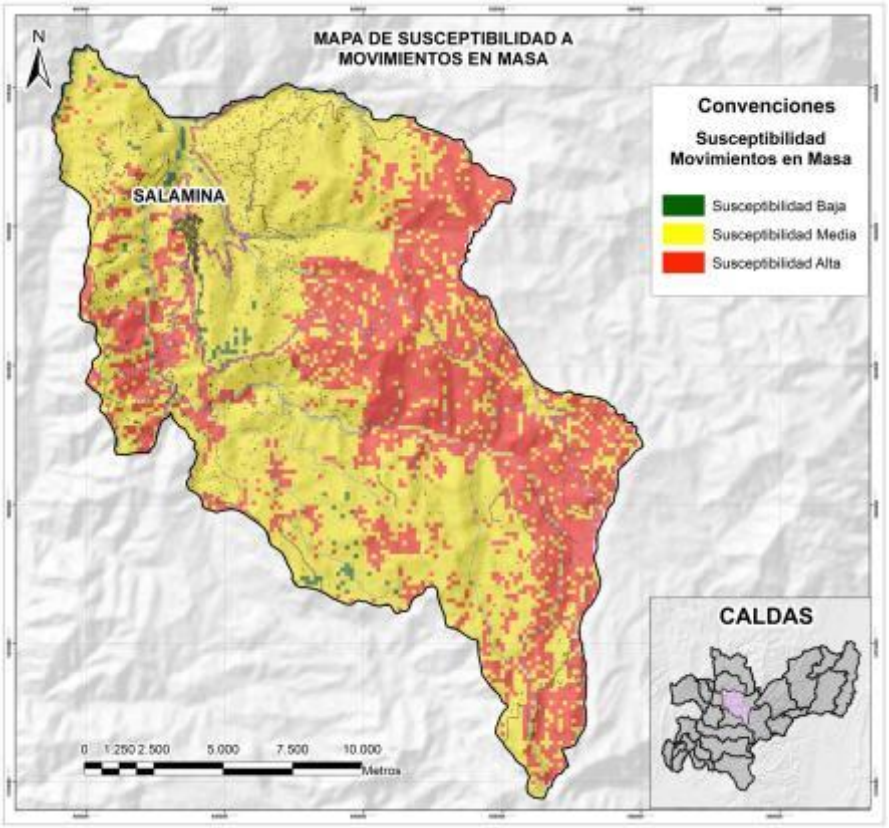
Con base en la construcción del mapa de susceptibilidad a movimientos en masa y los eventos reportados en el municipio de Salamina, se hace una zonificación de áreas inestables, evaluando los factores de estabilidad y los puntos que son amenaza ya reportados en la cartografía de procesos erosivos. Posteriormente, se establece la evaluación de la amenaza por movimiento en masa la cual es desarrollada a través de los siguientes pasos:

- ✓ Determinación de los parámetros geológico – geotécnicos de las áreas en estudio.
- ✓ Determinación de los detonantes a aplicar para diferentes escenarios: niveles freáticos.
- ✓ Generación del mapa de amenaza en función de probabilidades, teniendo en cuenta la afectación del material debido a la ocurrencia de sismos y al cambio del volumen de infiltración de aguas en los taludes (agentes detonantes).

- ✓ Validación y calibración de la amenaza con las áreas dinámicas por procesos naturales y antrópicos existentes.
- ✓ Determinación de incertidumbres en la producción del mapa de amenaza.

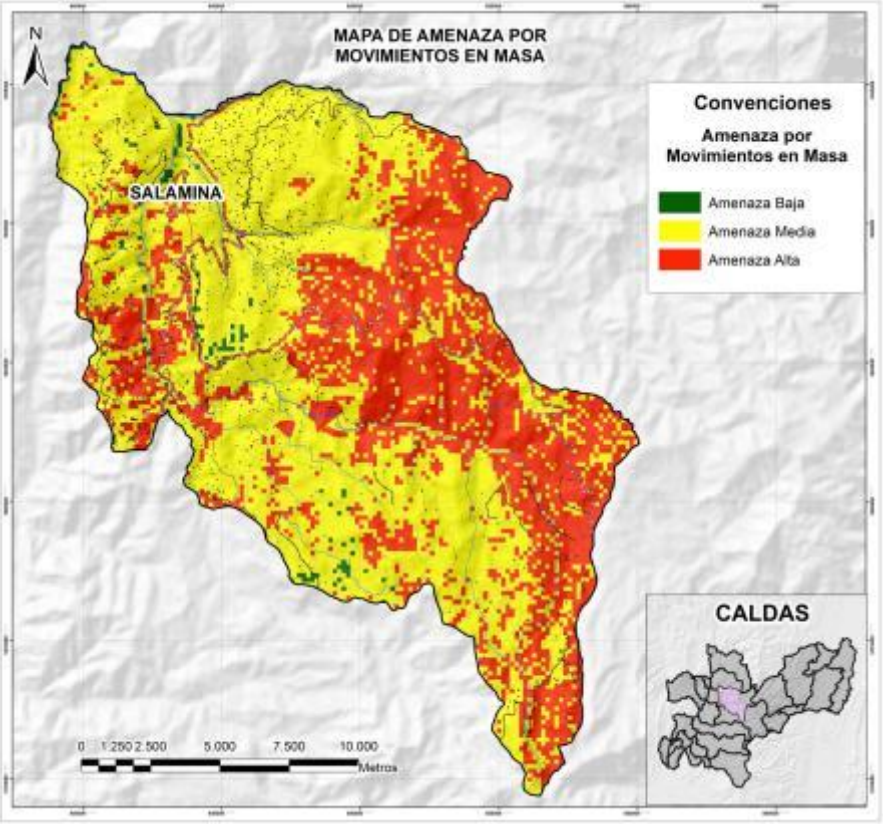
El Resultado de estos análisis es la generación del mapa de susceptibilidad (Figura 6) y del mapa de amenaza (Figura 7) por movimientos en masa donde se identifica y se categorizan en color rojo las zonas altas, medias en color amarillo y bajas en color verde.

Figura 6. Mapa de Susceptibilidad a Movimientos en Masa.



Fuente. LR Ambiental S.A.S (2015).

Figura 7. Mapa de Amenaza por Movimientos en Masa.



Fuente. LR Ambiental S.A.S (2015).

4.5.4 SIG para determinar la susceptibilidad a movimientos en masa en la cuenca del rio campoalegre, Salazar Tamayo, Julián Andrés; Osorio Betancur, Yuliana y Gómez Chamorro. Colombia, Manizales, 2013.

El objetivo de este documento era desarrollar un Sistema de Información Geográfica (SIG) que permitiera evaluar la susceptibilidad por movimientos en masa para la prevención del riesgo en la cuenca del río Campoalegre.

Los resultados presentados en el texto demuestran que a partir de los análisis de la información del proyecto y tomando en cuenta las variables de precipitación, pendientes, zona de influencia de fallas, usos de suelo y geología se formuló un informe del comportamiento de la cuenca que permitió determinar las posibles zonas susceptibles a los movimientos en masa a través de la aplicación del modelo cartográfico, lo cual pudo dar un diagnóstico de los lugares donde podrían ocurrir los posibles eventos que afectarían la cuenca.

4.5.5 Diseño e Implementación de un SIG Bajo una Plataforma Web Mapping para el Ingenio Mayagüez S.A.Colombia, Manizales, 2015.

El objetivo del estudio fue Implementar y desarrollar una aplicación Web geográfica que integre y relacione la información espacial y alfanumérica, de la siembra de cultivo de caña de azúcar en haciendas de administración directa del ingenio Mayagüez.

los resultados alcanzados permitieron el adecuado manejo de la información espacial y alfanumérica mediante un sistema de información geográfico (SIG) que se implementó en el ingenio azucarero Mayagüez , el cual, generaría una solución en los procesos de gestión catastral agraria y eficiente mediante el análisis de datos espaciales, además produjo una visión global a los diferentes sectores que se encargan de manejar los cultivos de la misma forma, mediante el SIG se logra consultar de manera rápida y ordenada la información espacial, agrícola, estadística e informativa, cumpliendo así de manera acertada los requerimientos de una industria que viene creciendo y demanda mayor precisión, integración y rapidez en todos sus procesos.

5. METODOLOGÍA

5.1 TIPO DE TRABAJO

Este estudio corresponde a una investigación donde se realizan diferentes fases, trabajo de campo, observación, descripción del fenómeno de movimiento en masa, identificación de los materiales que conforman el suelo y su comportamiento; además, del procesamiento de los datos obtenidos en campo y resultados proporcionados por el laboratorio. De la observación se pasa a la fase descriptiva donde a partir de recopilación de antecedentes y procesamiento de datos nuevos, se permite realizar un análisis comparativo de una escala 1:25000 frente a una escala 1:1000 para el fenómeno de movimiento en masa e interpretar a partir de los resultados la importancia en la elección de las metodologías y escalas de trabajo, que se deben implementar en la identificación y ejecución de obras para mitigar un fenómeno amenazante dado.

5.2 PROCEDIMIENTO

5.2.1 Fase 1. Revisión Bibliográfica.

- **Actividad 1.** Recopilar y revisar la información bibliográfica histórica geológica - geomorfológica existente del área de estudio, además de los registros históricos de la ocurrencia de fenómenos detonantes de amenaza por movimientos en masa.

En esta fase se tiene en cuenta toda la información relacionada con los registros históricos en los que se reportan ocurrencias del fenómeno por movimiento en masa en los alrededores del municipio de Salamina, Caldas; como también, los datos proporcionados por los habitantes y entidades territoriales, además de las metodologías adoptadas por los diferentes organismos como el Servicio Geológico Colombiano y Corporaciones autónomas regionales.

Para la zonificación del riesgo, el Servicio Geológico Colombiano, consciente de la necesidad que tienen los municipios de contar con herramientas técnicas para la toma de decisiones en relación con el ordenamiento territorial y la gestión del riesgo, generó, con la Universidad Nacional de Colombia,el Convenio Especial de Cooperación 020 de 2013, con base en el cual se desarrollo una guía metodológica para la elaboración de estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa a escala detallada o local, dirigida principalmente a las cabeceras municipales y centros poblados pequeños y medianos de Colombia, de acuerdo con las leyes 136 de 1994 y 1551 de 2012.

La guía se hizo en armonía con la normativa vigente, en especial con el Decreto 1807 del 19 de Septiembre de 2014, expedido por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, y con la Resolución 1907 de 2013, promulgada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, para incorporar la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, respectivamente. En ella se indican los pasos que hay que seguir, así como los resultados que se obtienen para cada una de las etapas definidas. Se empieza por los estudios básicos y detallados de amenaza, se continúa con la evaluación de la fragilidad de los bienes y personas expuestos a los eventos amenazantes o vulnerabilidad, y finalmente se llega a la evaluación del riesgo, donde se definen los criterios de seguridad, aceptabilidad y tolerancia, al igual que la zonificación de las áreas en condición de riesgo que permiten definir, a su vez, los tipos de intervención y el alcance de la reducción del riesgo.

El proceso planteado en esta guía comprende tres grandes etapas: 1) análisis del riesgo, 2) evaluación del riesgo, y 3) mitigación y prevención del riesgo (Figura 8). Cada una de ellas consta, a su vez, de una serie de elementos y procesos que, de acuerdo con el tipo de evaluación que se realice, pueden ser de mayor o menor grado de detalle y complejidad.

En síntesis, es un instrumento útil para las autoridades municipales y departamentales, las cuales podrán generar de manera estandarizada este tipo de estudios en el país, dado que se establecen las condiciones básicas para la evaluación y zonificación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo físico por movimientos en masa a escalas detalladas. A este respecto cabe anotar que, según la Ley 1523 de 2012, la gestión del riesgo es un proceso social que enmarca tres componentes principales: el conocimiento del riesgo, la reducción del riesgo y el manejo de desastres. Por tal razón, la guía es un apoyo primordial para la generación de conocimiento de las áreas de amenaza y la determinación de aquellas que presentan condición de riesgo por movimientos en masa. Este conocimiento se podrá incluir en los Planes de Ordenamiento Territorial y será la base para la generación de los Planes Municipales de Gestión de Riesgo, lo cual permitirá que los municipios puedan tomar decisiones en relación con su reducción.

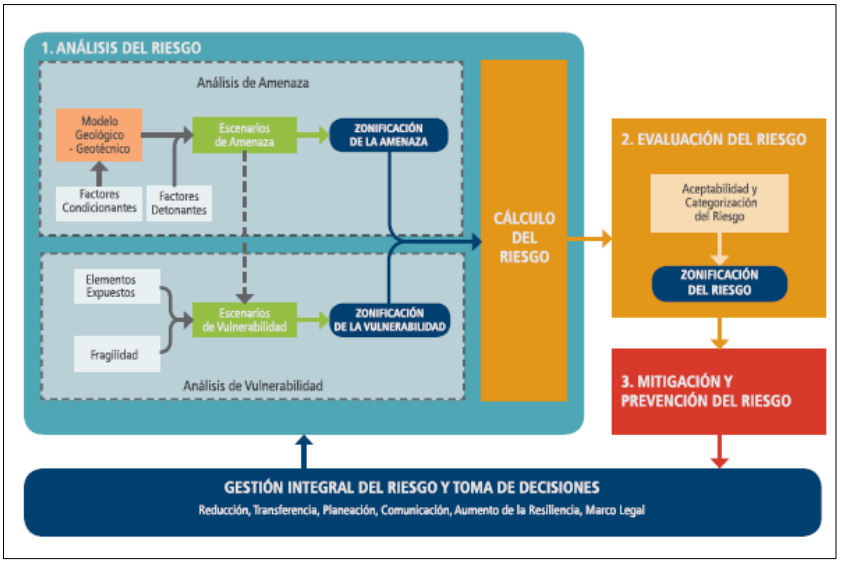
En esta guía se presentan los procedimientos que a la luz del estado actual del conocimiento y de las capacidades técnicas y económicas del país resultan convenientes para la ejecución de estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo a escalas detalladas, siguiendo la normatividad presentada en el Decreto 1807 de 2014 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Por ende, el Artículo 4, hace énfasis en los estudios detallados que están orientados a determinar la categorización del riesgo y establecer las medidas de mitigación correspondientes; así mismo, en el Artículo 5 se establece la *escala de trabajo,* de conformidad con las clases de suelo establecidas en la Ley 388 de 1997, donde los estudios se elaboran, como mínimo, en las siguientes escalas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Escalas de trabajo de acuerdo a las clases de suelo establecidas.

TIPO DE ESTUDIO	CLASE DE SU ELO	ESCALA
Estudio Básico	Urbano	1 :5.000
	Expansión Urbana	1 :5.000
	Rural	1 :25.000
Estudio Detallado	Urbano	.. 1 :2.000
	-Expansión Urbana	1 :2.000
	Rural Suburbano	1 :5,000

Fuente. Decreto 1807 de 2014.

Figura 8. Marco de referencia para evaluación de riesgo por movimiento en masa y la toma de decisiones.

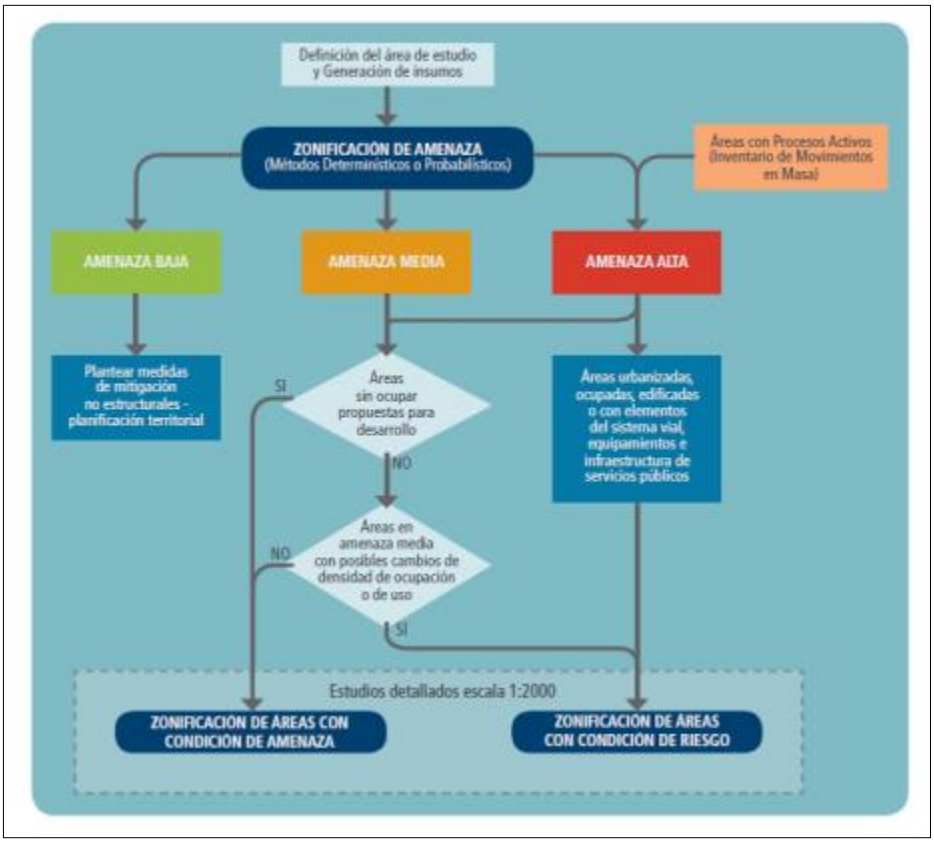


Fuente. Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.

Además se promulga que los municipios o distritos que cuenten con información a una escala de mayor detalle deben emplearla para el desarrollo de los respectivos estudios. Así mismo, aquellos municipios o distritos con centros poblados rurales que por su alto grado de exposición a la ocurrencia de fenómenos naturales han sido afectados o tienen la posibilidad de ser afectados, deben adelantar los estudios básicos como mínimo a escala 1:5.000. De conformidad con las disposiciones contenidas en el Decreto 1807 de 2014, del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, para la revisión de los contenidos a mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial o la expedición de nuevos planes, los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa deben efectuarse según el principio de gradualidad de que trata la Ley 1523 de 2012, de acuerdo con dos escalas de trabajo y condiciones técnicas específicas en los

denominados estudios básicos a escala 1:5000 y estudios detallados a escala 1:2000. La elaboración de estudios básicos (1:5000) permite la definición de zonas con condición de amenaza y zonas con condición de riesgo de acuerdo con el esquema metodológico presentado en la Figura 9, en las cuales será necesario realizar estudios detallados a escala 1:2000.

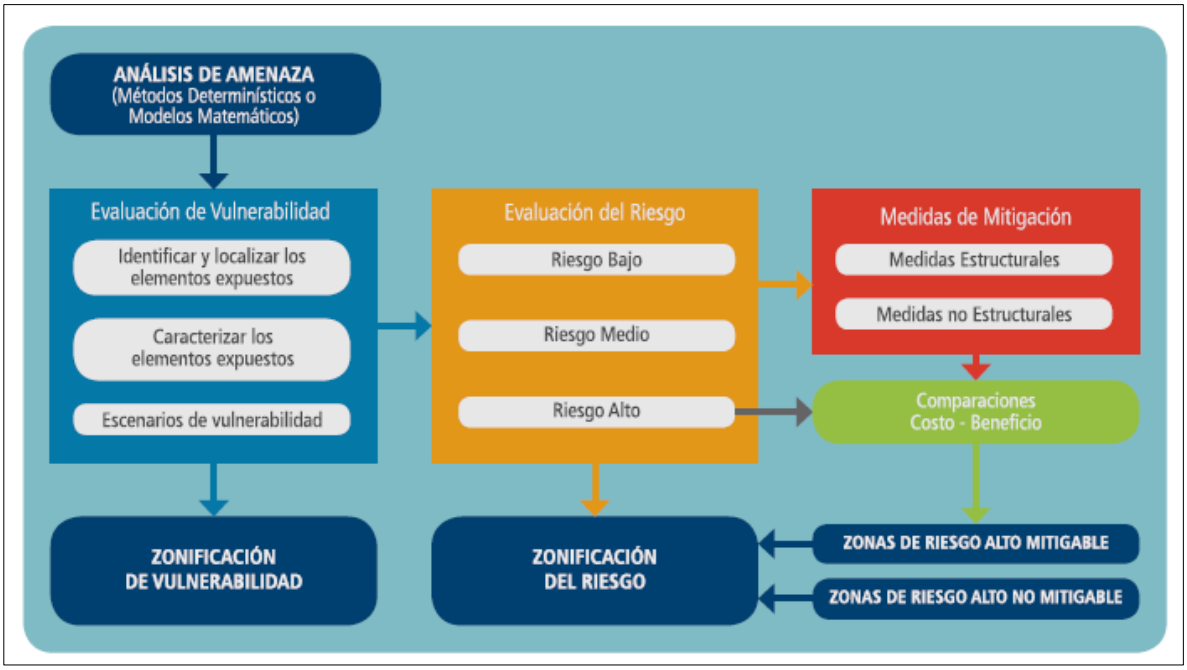
Figura 9. Esquema metodológico para la elaboración de estudios básicos de amenaza y definición de zonas para la elaboración de estudios detallados.



Fuente. Decreto 1807 de 2014.

La elaboración de los estudios detallados comprende las etapas que se presentan en el siguiente esquema metodológico (Figura 10).

Figura 10. Esquema metodológico para la elaboración de estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.



Fuente. Decreto 1807 de 2014.

En el Análisis de amenaza se describen los aspectos metodológicos propuestos para elaborar la zonificación de amenaza por movimientos en masa, según lo dispuesto en el Decreto 1807 de 2014; la zonificación de amenaza en los estudios básicos se realiza a escala 1:5000 con base en análisis determinísticos, mientras que para los estudios de detalle se realiza a escala 1:2000, aplicando análisis probabilísticos. Para efectuar los estudios de amenaza se requiere la cartografía básica del área de análisis a escala 1:5000 y a partir de ella se genera la cartografía temática, correspondiente a cartografía geológica en unidades de geología para ingeniería, la cartografía geomorfológica en cuanto a elementos geomorfológicos y la cartografía de cobertura y uso del suelo. Además, se debe hacer un inventario de movimientos en masa y un registro histórico de estos.

Para la elaboración de los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo a escalas 1:5000 y 1:2000, se plantean algunas consideraciones necesarias para la elaboración de tales estudios. Para los estudios básicos de amenaza por movimientos en masa a escala 1:5000 se deben realizar en zona urbana, suburbana, periurbana, de expansión y centros poblados, según lo definido por el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), la Secretaria u Oficina de Planeación municipal y la de gestión del riesgo de la alcaldía municipal, de tal modo que respondan a la necesidad de gestión del municipio en aquellas zonas identificadas como de presión urbanística. Deben tenerse en cuenta las áreas de relieve

escarpado, montañoso y ondulado, con pendientes iguales o superiores a cinco grados, más los taludes marginales de cauces, así como las zonas planas que puedan recibir los efectos de los movimientos en masa. Adicionalmente, se deben considerar aquellas zonas urbanas y de expansión urbana que, con una pendiente inferior a cinco grados hayan presentado problemas de inestabilidad y subsidencia debido a problemas geotécnicos o al desarrollo de actividades antrópicas.

En aquellos sitios clasificados con condición de amenaza que estén urbanizados, ocupados o edificados o en los que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos como salud, educación, entre otros e infraestructura de servicios públicos, se evaluara la condición de riesgo a escala 1:2000 y se deberá disponer de perfiles topográficos detallados en los cuales se identifiquen características físicas propias en la evaluación de estabilidad de taludes como modelo geológico-geotécnico, agrietamientos, escalonamientos, agua superficial, entre otros.

La metodología propuesta para la evaluación de la amenaza que aquí se plantea es de tipo cuantitativo, considerando análisis probabilísticos. En relación con la vulnerabilidad, las metodologías planteadas se refieren fundamentalmente a la vulnerabilidad física de los elementos expuestos. La valoración del riesgo se hace en función de las pérdidas anuales esperadas, separando las pérdidas de vidas humanas y las pérdidas económicas. Finalmente, la definición respecto a la condición de riesgo mitigable o no mitigable se presenta en función de un análisis de costo-beneficio al comparar las alternativas de no intervención, adoptar acciones de mitigación directa o realizar reasentamiento de viviendas. No está entre los objetivos de esta guía definir los tipos y características de las medidas de mitigación y prevención del riesgo que se deben adoptar en cada caso.

Finalmente el Servicio Geológico Colombiano hace este aporte a las regiones con el fin de facilitar el proceso de incorporación del conocimiento en los planes de ordenamiento territorial y los planes de gestión de riesgo a escala municipal, para que los municipios cuenten con conocimiento que les permita generar acciones de reducción del riesgo y, si es el caso, el manejo de desastres, y para apoyar la toma de decisiones en cuanto al uso y la ocupación del territorio, con el propósito de contribuir a la seguridad, el bienestar y la calidad de vida de los colombianos.[4]

5.2.2 Fase 2. Recopilación de la Información.

- **Actividad 1.** Integrar la cartografía base, donde se incluye topografía a escala 1:25.000, drenajes, red vial y toponimia, la cual permitirá generar una

[4] Convenio especial de cooperación Universidad Nacional de Colombia y Servicio Geológico Colombiano, Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, escala detallada.

visualización física del terreno, esto acompañado del MED (Modelo de Elevación Digital), el cual favorece la identificación de rasgos morfológicos.

En esta fase se ingresa la información cartográfica temática a escala 1:25.000 de los diferentes componentes que permitirán realizar el análisis comparativo de escalas, dentro de los cuales se tiene:

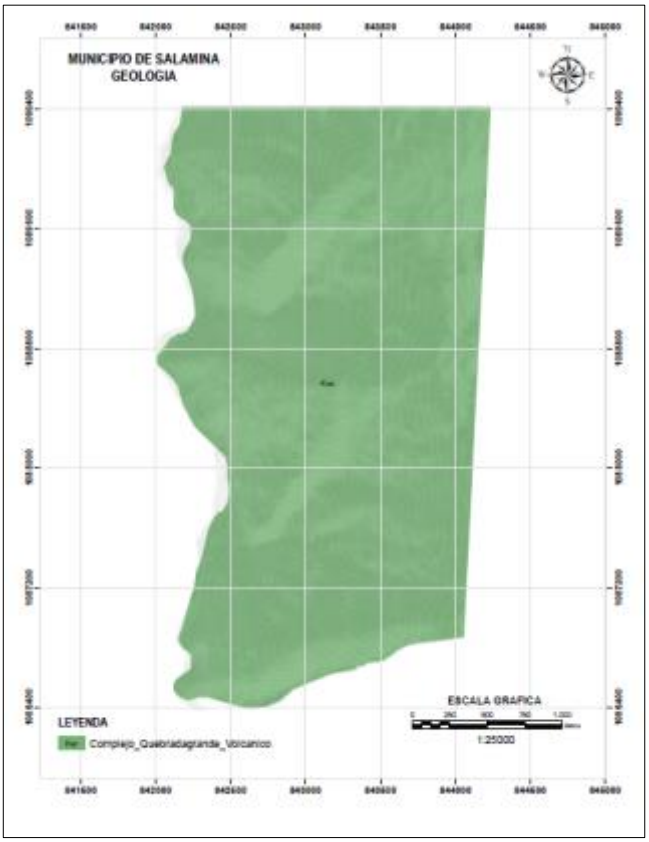
- **Mapa Geológico del área preliminar, alrededores municipio de Salamina.**

Para el municipio de Salamina, Caldas; se desarrolló el mapa geológico (Figura 11), que permite mostrar la distribución, relación y composición de los materiales de la tierra tales como rocas y depósitos superficiales, entre ellos deslizamientos de tierra. Para su elaboración, en primera instacia, se realiza una revisión bibliográfica, posteriormente se elaboraron salidas de campo, con el fin de hacer un reconocimiento detallado de la zona, donde se busca identificar parámetros como tipo de rocas, definición de estructuras, entre otras; además, se identifican e ubican estaciones de campo, esta información se recopila con una buena ubicación espacial (coordenadas geografías).

De acuerdo a la información recopilada en campo y la fotointerpretación, se inicia la digitalización del mapa geológico del municipio de Salamina, utilizando el software ArcGis 10, 2, 2. Finalmente con base en el tipo de roca encontrado en el municipio, se procede a definir las unidades litológicas, definiendo para la zona de estudio una sola unidad conocida como el Complejo Quebradagrande Volcánico, el cual está constituido por basaltos, observándose en algunos sectores altamente fracturados y levemente alterados. Esta unidad rocosa se encuentra afectada por una alta actividad tectónica la cual es evidenciada en el grado de cizalladura y diaclasamiento de estas rocas.

Por consiguiente, el mapa geologico es una base para identificar y determinar cuales son las áreas aptas para la agricultura, el desarrollo urbano e identificar los posibles sectores a amenaza por movimiento en masa y áreas susceptibles a licuefacción.

Figura 11. Mapa Geológico del Municipio de Salamina, Caldas en escala 1:25000.



Fuente. Elaboración Propia.

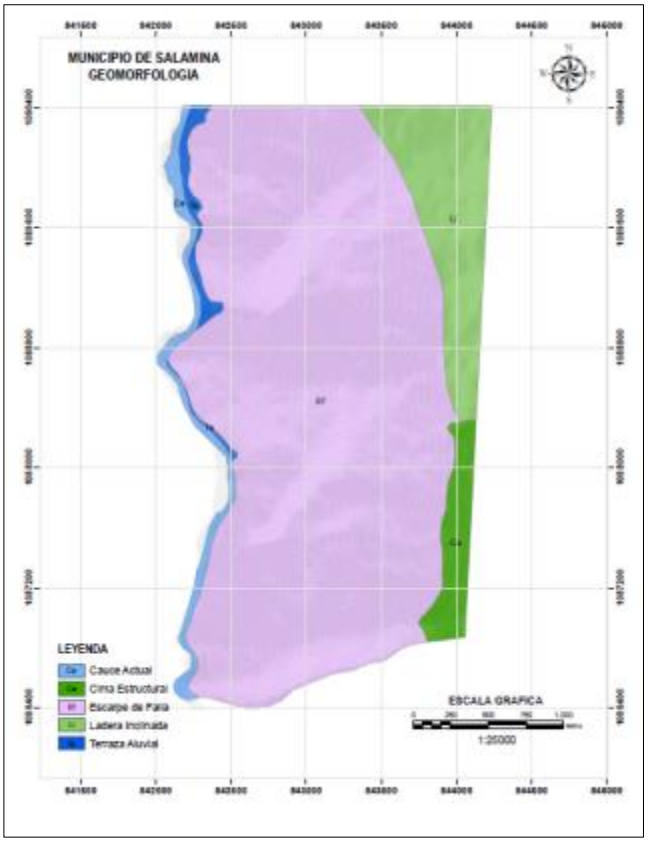
- **Mapa Geomorfológico del área preliminar, alrededores municipio de Salamina.**

El relieve del municipio de Salamina, está caracterizado por ser una zona montañosa, sus geoformas corresponden a cañones profundos, cimas onduladas, laderas de gran pendiente, entre otros. Para la elaboración del mapa se parte de una consulta bibliográfica previa; se procede con el análisis de imágenes satelitales de la zona, donde se busca hacer una separación de unidades morfológicas homogéneas, identificación de procesos en la zona e identificar la geometría de los drenajes, entre otros. A partir de estos análisis y la bibliografía previa, se estipulan entonces las unidades que se van a cartografiar en el mapa. Luego se realiza una visita a la zona de campo donde se busca una identificación e inventario de las unidades geomorfológicas que se presentan en la zona; Posteriormente, se inicia la digitalización de las unidades geomorfológicas que previamente se identificaron en campo utilizando el software ArcGis 10, 2, 2. (Figura 12).

En síntesis, las unidades geomorfológicas que se identificaron en campo y en las imágenes de satélite son definidas como cauce actual, al área que abarca el río Chambery; las terrazas aluviales, propias de los sedimentos del río que se depositan a los lados del cauce; continuando con la cima estructural, definida así a la parte más alta de la montaña; seguidamente las laderas inclinadas, que son caracterizadas por ser laderas alargadas algunas con alta pendiente asociados a procesos tectónicos y erosivos y finalmente se encuentra el escarpe de falla con más predominancia en el municipio de Salamina, Caldas , asociado a factores estructurales como la falla Salamina E, Salamina W y San jerónimo, las cuales controlan los cauces de los ríos y quebradas; por otra parte la actividad antrópica de la zona favorece también a la actividad erosiva de la región influyendo en la inestabilidad de taludes.

Para Salamina, el análisis de las unidades son muy importantes para la planificación territorial ya que contienen información esencial de las geoformas que busca identificar como ha sido el desarrollo del relieve en la zona y como evolucionara este en el futuro. Por lo tanto, se trata de identificar la relación de los procesos morfo dinámicos en las unidades y así poder encontrar las geoformas que presentan mayor o menor susceptibilidad a la remoción en masa.

Figura 12. Mapa Geomorfológico del municipio de Salamina, Caldas en escala 1:25000.



Fuente. Elaboración Propia.

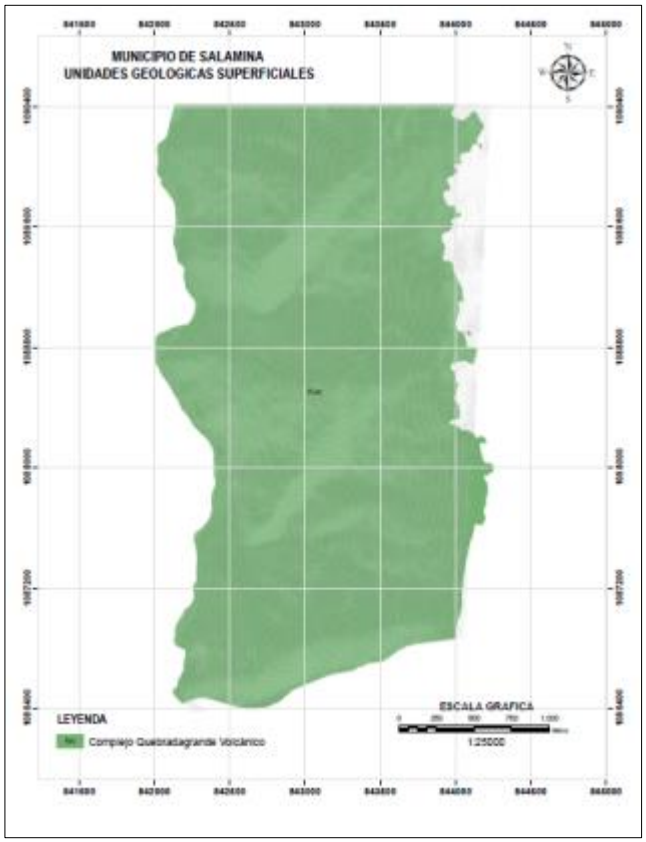
- **Mapa de Unidades Geológicas Superficiales del área preliminar, alrededores municipio de Salamina.**

Las formaciones superficiales son los materiales que se exponen en la superficie terrestre y no forman roca consolidada. Para su elaboración se realiza una revisión bibliográfica previa, se procede a la observación de imágenes satelitales del área de estudio, realizándose una interpretación preliminar para determinar las formaciones geológicas, unidades de roca, tipos de suelo, procesos morfo dinámicos y rasgos estructurales, entre otros.; seguidamente, se realiza el reconocimiento, verificación, ajuste y complementación de la información geológica mediante trabajo de campo en donde se realizaron descripciones de las unidades geológicas superficiales, teniendo en cuenta elementos estructurales y la definición de parámetros tales como litología, dureza, porosidad, permeabilidad, humedad, meteorización y la toma de las muestras requeridas para los análisis de laboratorio, entre otros; finalmente se evalúa y procesa la información de campo para continuar con la digitalización del mapa temático de unidades geológicas superficiales en escala 1:1000 para la cual se empleó el software ArcGis 10.2.2

(Figura 13). Por lo tanto, en el municipio de Salamina; se puede diferenciar una sola unidad denominada Complejo Quebradagrande Volcánico, el cual está compuesto por basaltos afaníticos con variaciones porfiríticas de origen ígneo volcánico con presencia de fenocristales de piroxenos bien formados y venas de cuarzo.

En síntesis, el mapa temático de unidades geológicas superficiales permite inferir la susceptibilidad del suelo a los diferentes cambios que operen; además, constituyen la base de apoyo de las obras civiles, por lo que el conocimiento de su naturaleza, características y fenómenos a los que están sometidas es básico para la planeación del uso del territorio (HERMELIN, 1996).

Figura 13. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales del municipio de Salamina, Caldas en escala 1:25000.



Fuente. Elaboración Propia.

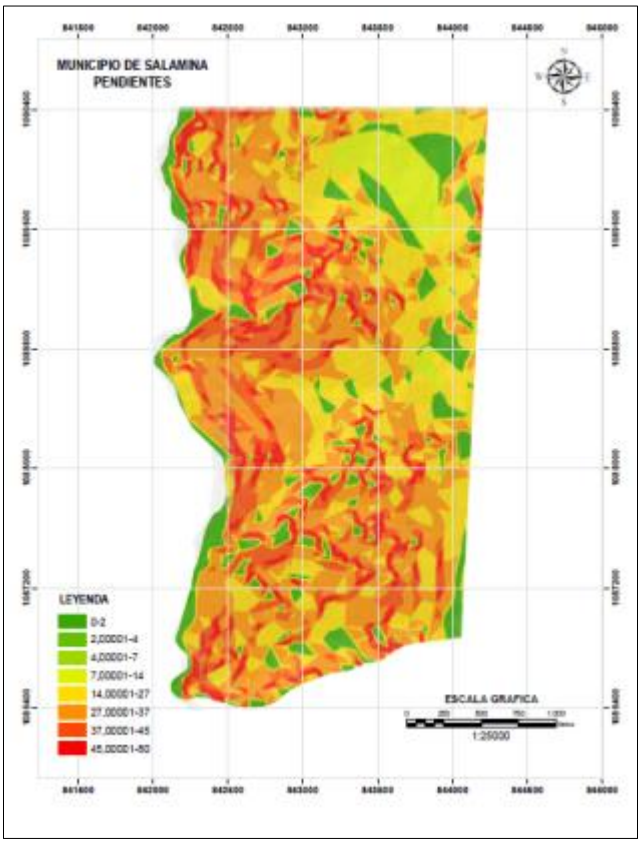
- **Mapa de Pendientes del área preliminar, alrededores municipio de Salamina.**

El mapa de pendientes (Figura 14) para el municipio de Salamina, nos muestra la variación del relieve permitiendo distinguir las partes planas, empinadas e inclinadas del municipio. Para su ejecución se utilizó el software ArcGis 10. 2. 2 y el DEM de 30m, en el cual se cargaron las curvas de nivel a 50 m, se procedió a crear el TIN y a partir de este se generó el mapa temático de pendientes en grados enfatizando el tipo de relieve con un color específico.

El municipio se caracteriza por ser una zona de pendientes fuertes con sectores en los cuales se suaviza el relieve, las áreas de mayor pendiente se asocian principalmente con algunos escarpes de falla y vestigios de antiguos deslizamientos, además abarca los sectores asociados a zonas de inestabilidad, estos sectores no son utilizados con fines urbanísticos; los cuales son asociados con un rango de 27°a 80°; por otra parte, las pendientes moderadas, las conforman las áreas que presentan una dinámica dominante representada en caminos de ganado y movimientos en masa; los cuales corresponden a un rango de 7° a 27° ; finalmente, las pendientes bajas corresponden a un rango de 0° a 7°, que son en parte los sectores donde se ubica el área urbana.

En síntesis, el mapa temático de pendientes proporciona una gran cantidad de información que es de gran ayuda para múltiples trabajos que se quieran realizar en el municipio ya que determina el tipo de pendiente y además representa los diferentes grados de pendiente que se presenta en el área de estudio.

Figura 14. Mapa de Pendientes del municipio de Salamina, Caldas en escala 1:25000.



Fuente. Elaboración Propia.

- **Mapa de Uso del Suelo del área preliminar, alrededores municipio de Salamina.**

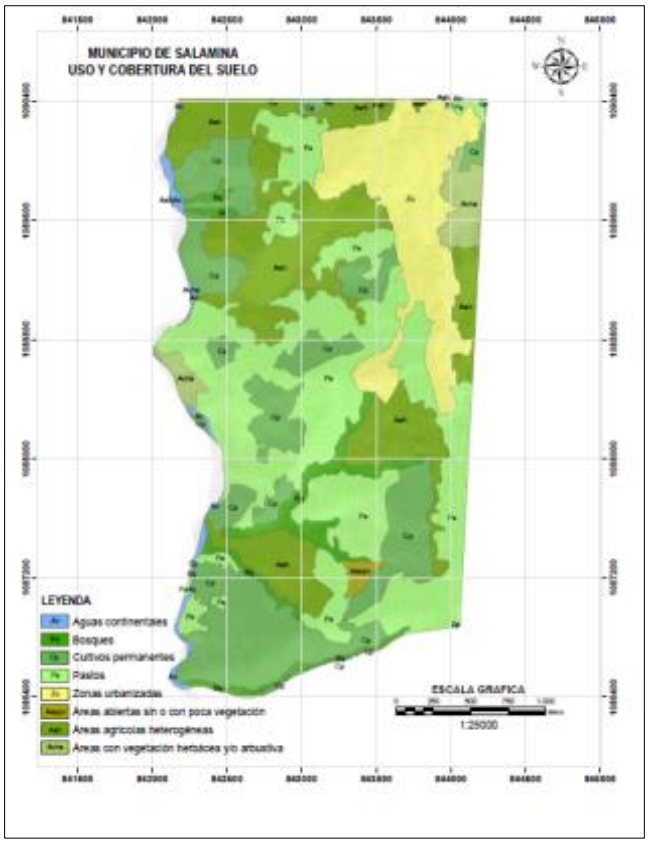
El mapa de cobertura y uso de suelo para el municipio de Salamina, Caldas (Figura 15); muestra las diferentes formas de ocupación que se le da al territorio. La cartografía elaborada se efectuó a través de la interpretación de imágenes de satélite; teniendo en cuenta también, las normas de la metodología Corine Land Cover; además, se realizó el trabajo de campo, en el cual se efectúa un recorrido general del área de estudio, estableciendo patrones en diferentes lugares; como último paso se procede a la digitalización a través del software ArcGis 10.2. 2. para la obtención del mapa temático del municipio a escala 1:25000 identificando las áreas de cada unidad con su respectiva leyenda y atributos.

Por consiguiente, en el municipio de Salamina se encontró que predominan las áreas de pastos, donde se evidencian prácticas agronómicas y dedicadas en gran medida al pastoreo; Seguidamente, encontramos los cultivos permanentes, los cuales presentan un ciclo de vida mayor, por lo tanto, requieren un manejo

especial debido a que traen consecuencias tanto positivas como negativas de tipo social, ambiental y económico; en tercer lugar se encuentra las áreas agrícolas heterogéneas, que comprenden la asociación de diversos cultivos que permiten el autoabastecimiento y generan pequeños ingresos a los pequeños productores; posteriormente se encuentra las zonas urbanizadas, con fines de prestaciones de servicio; por otra parte, los bosques, los cuales agrupa en gran medida a las zonas que no han sido afectados por causas naturales o actividades antrópicas, además, las aguas continentales, cuyo uso está enfocado a la conservación, recreación, consumo doméstico, entre otros, también, se encuentran las áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, que son protectores del suelo, forman pequeñas áreas de protección y conservación. Finalmente, las áreas abiertas sin o con poca vegetación, la cual hace referencia a los suelos que están desprovistos de vegetación, asociados a intensos procesos de erosión.

Con base en el análisis de los datos se pudo observar que la mayor cobertura y uso de suelo presente en el municipio se encuentra en la cobertura y uso de los pastos, debido a gran medida al pastoreo y a las actividades antrópicas que se realizan en el municipio, logrando inestabilidad y procesos de remoción en masa en el terreno, por lo tanto, este mapa permitirá el análisis sobre la dinámica de utilización del suelo y determinar si la utilización de este es adecuada o conflictiva de acuerdo a su capacidad productiva.

Figura 15. Mapa de Uso y Cobertura del Suelo del municipio de Salamina, Caldas en escala 1:25000.



Fuente. Elaboración Propia.

5.2.3 Fase 3. Trabajo de campo.

- **Actividad 1.** Realizar una salida de campo que permita caracterizar la zona de estudio, identificando las zonas más propensas a la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, donde se tomaran datos estructurales, levantamiento de deslizamientos, registros fotográficos, descripción de unidades geológicas y Unidades Geológicas Superficiales, delimitación y descripción de unidades geomorfológicas, identificación de suelos, usos y cobertura, entre otras actividades. Este reconocimiento de campo permitirá cerrar el área de estudio, permitiendo seleccionar la zona más propensa a los movimientos en masa en donde se aplicara un trabajo cartográfico más detallado en escala 1:1000.

Tabla 3. Descripción del punto de muestreo Shelby A0

SHELBY A0	
COORDENADAS	**X:** 843108
	Y: 1089914
LOCALIZACIÓN	Casas de interés social ubicadas 500 metros hacia abajo del Hospital de Salamina, parte alta de la ladera derecha aguas abajo del rio Chambery.
CARACTERISTICAS	Se observan que la corona del deslizamiento está dentro de un área residencial. El cuerpo del deslizamiento está afectando varias estructuras como viviendas y deformando la estructura de contención construida para su mitigación. Se nota grietas sobre vías y viviendas.
COMPOSICIÓN	Materiales arcillosos intercalados con fragmentos tamaño arena media de cuarzo, lodolitas y rocas volcánicas.

Fuente. Elaboración Propia

Figura 16. Punto de muestreo Shelby A0, nótese el desplazamiento del gavión y grietas sobre vías.

Fuente. Elaboración Propia.

Tabla 4. Descripción del punto de muestreo Shelby A2.

SHELBY A2	
COORDENADAS	**X:** 843385
	Y: 1088834
LOCALIZACIÓN	Ladera izquierda vía Aránzazu-Salamina
CARACTERISTICAS	Se observa antiguas evidencias de deslizamiento, actividad antrópica, una ladera con pendiente moderada, además, se presenta reptación, los cuales ayudan a que la ladera sea inestable.
COMPOSICIÓN	Materiales arcillosos intercalados con fragmentos tamaño arena media de cuarzo, lodolitas y rocas volcánicas.

Figura 17. Delimitación de la corona del punto de muestreo A2 y se observa el punto donde se realizó el Shelby A2.

.

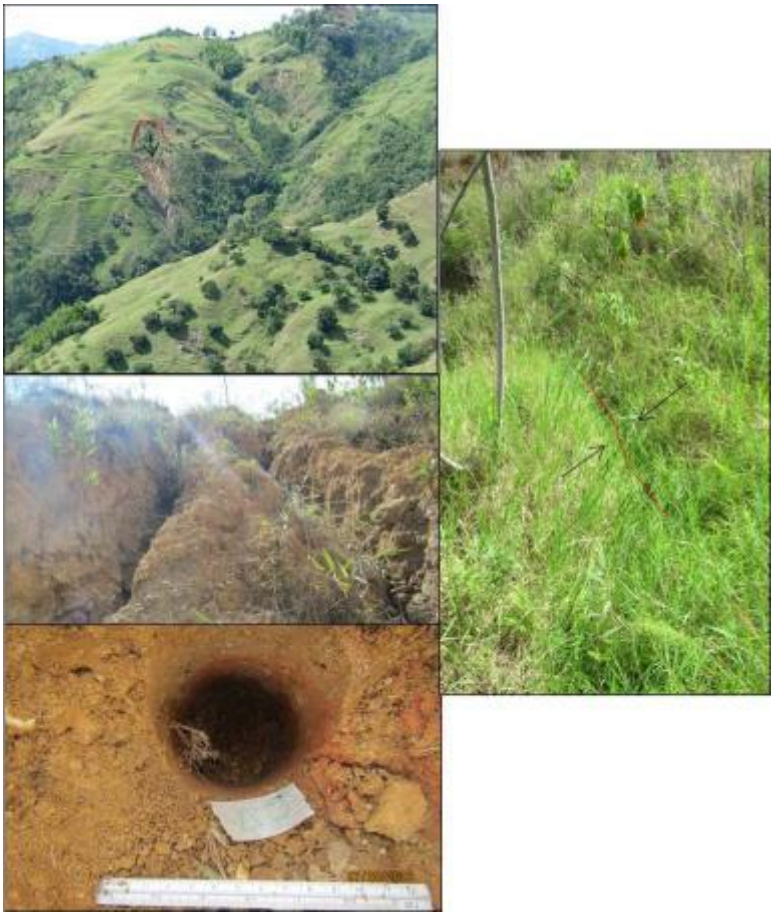
Fuente. Elaboración Propia.

Tabla 5. Descripción del punto de muestreo Shelby A5.

SHELBY A5	
COORDENADAS	**X:** 843163
	Y: 1088105
LOCALIZACIÓN	Deslizamiento ladera izquierda vía Salamina
CARACTERISTICAS	Se observa actividad antrópica como cultivos, ganadería, entre otros, además, es una ladera con alta pendiente con presencia de cárcavas, también se observa antiguas evidencias de deslizamientos, lo que indica que es una zona propensa a movimientos en masa.
COMPOSICIÓN	Materiales arcillosos intercalados con fragmentos tamaño arena media de cuarzo, lodolitas y rocas volcánicas.

Fuente. Elaboración Propia.

Figura 18. Delimitación de la corona de un antiguo deslizamiento, punto de muestreo Shelby A5 y presencia de cárcavas en el terreno.



Fuente. Elaboración Propia.

Tabla 6. Descripción del punto de muestreo de Roca A1.

ROCA A1	
COORDENADAS	**X:** 843163
	Y: 1088105
LOCALIZACIÓN	Deslizamiento ladera izquierda vía Salamina
CARACTERISTICAS	Se observa una ladera con fuerte pendiente, un afloramiento levemente alterado y altamente fracturado donde las superficies de rotura corresponden a discontinuidades en las rocas cuya inclinación es superior a su ángulo de fricción interna.
COMPOSICIÓN	Constituido de basaltos altamente diaclasado en algunas áreas.

Fuente. Elaboración Propia.

Figura 19. Afloramiento con un tipo de roca denominado basalto el cual se presenta muy fracturado.

Fuente. Elaboración Propia.

5.2.4 Fase 4. Elaboración de la Base de Datos.

- **Actividad 1.** Diseñar y diligenciar bases de datos para el SIG, las cuales serán trabajadas desde el Software ArcGis 10, 2, 2. donde se almacenará toda la información recopilada en campo.

5.2.5 Fase 5. Análisis de la información.

- **Actividad 1.** Efectuar el análisis comparativo de este estudio con una escala 1:25.000 respecto a una escala de menor detalle 1:1000, donde se puedan reconocer las afectaciones que causa la delimitación de la amenaza entre una y otra escala.

- **Actividad 2.** Analizar como impactaría la diferencia en el detalle de la zonificación a los planes de ordenamiento territorial y a las obras de manejo.

5.2.6 Fase 6. Informe final.

- **Actividad 1.** Se presentará los objetivos alcanzados al desarrollar el análisis de datos, también se mostrará las conclusiones, las recomendaciones y anexos obtenidos durante el desarrollo del proyecto con el fin de que esta información sea viable para reducir los efectos ocasionados por los movimientos en masa en el municipio de Salamina, Caldas.

6. RESULTADOS

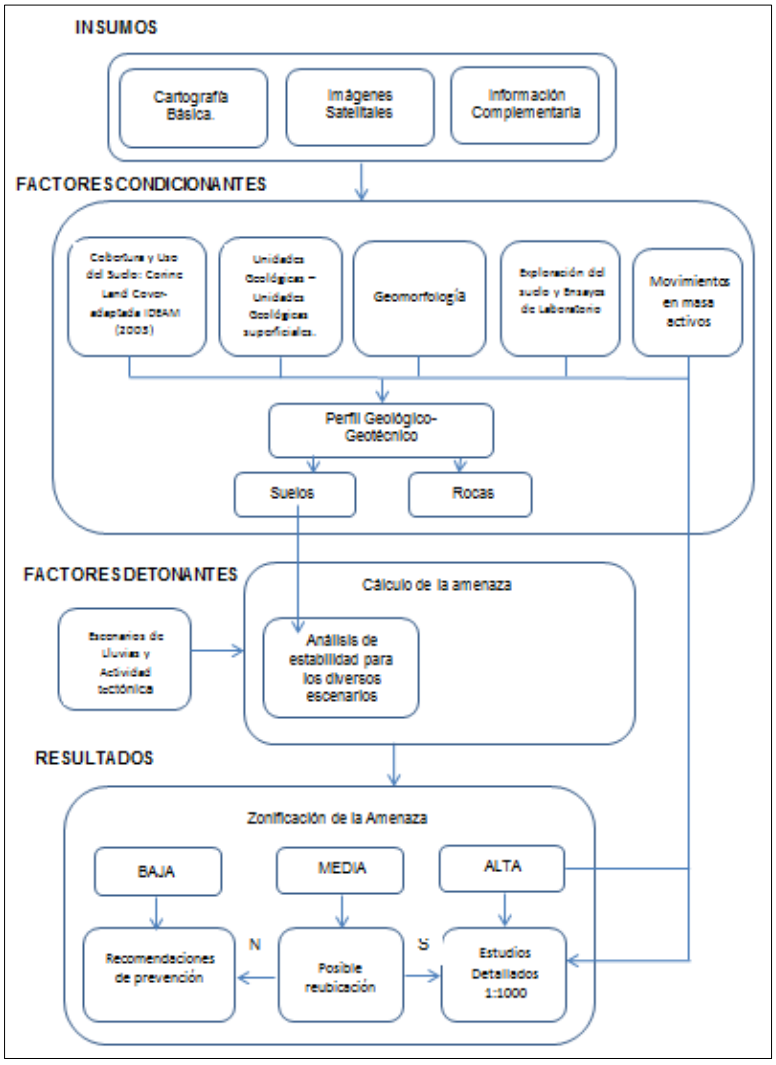
6.1. ÁREA DE ESTUDIO E INFORMACIÓN BÁSICA.

A continuación se plantean algunas consideraciones para la definición del área de estudio y los insumos básicos tanto cartográficos como digitales (por ejemplo, Modelo Digital del Terreno, MDT), necesarios para la elaboración de este estudio.

Considerando lo sugerido en la Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano que hace referencia a dónde y que áreas deben tenerse en cuenta para realizar los estudios básicos de amenaza por movimientos en masa a escala 1:5000. De acuerdo a lo anterior y a partir de los estudios básicos que se tienen en los alrededores del municipio de Salamina (GEOSUB, POMCA Tapias, POT), se identificaron las áreas zonificadas con amenaza alta, siendo éste el punto de partida para identificar la existencia de elementos expuestos, de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas, así como de aquellas en las que se encuentran edificaciones indispensables y líneas vitales.

Con esta información se elaboró el mapa con la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza por movimiento en masa. Además, se establecieron los criterios para la caracterización y delimitación de las unidades de análisis que dependen del fenómeno. Conjuntamente se estableció la priorización para la realización de los estudios detallados a escala 1:1000 que permitirán categorizar la amenaza. Dicha información se obtuvo a partir de levantamientos topográficos detallados, modelos digitales del terreno y productos de sensores remotos de adecuada resolución espacial y temporal. A continuación, se presentan brevemente los insumos cartográficos temáticos, dentro del análisis de la amenaza. (Figura 20).

Figura 20. Insumos cartográficos temáticos.



Fuente. Elaboración Propia.

6.1.1. Análisis de la Amenaza.

A lo largo del presente capitulo se describirá la metodología para zonificar la amenaza por movimiento en masa. Para el desarrollo de la zonificación de la amenaza se requirió la cartografía básica del área de estudio a escala 1:1000 y a partir de ella se generó la cartografía temática, correspondiente a Unidades Geológicas, Geomorfología, Unidades Geológicas Superficiales para ingeniería, pendientes en grados y coberturas y usos del suelo.

A partir de los temas descritos se estableció un modelo geológico-geotécnico en el que se requiere, como actividad adicional, efectuar una exploración geotécnica básica que permita caracterizar geomecánicamente los materiales del subsuelo. Así mismo, efectuar un análisis de estabilidad basado en la elaboración de un perfil geológico donde se identifiquen las unidades de roca y suelo, con este procedimiento, hallar el factor de seguridad basado en el método de estabilidad de dovelas de Janbú, lo que permitirá definir las condiciones críticas del perfil de acuerdo a la topografía del sector y al comportamiento de los materiales.

- **MAPAS TEMÁTICOS ESCALA 1:1000.**

- **Mapa geológico del área preliminar, alrededores municipio de Salamina.**

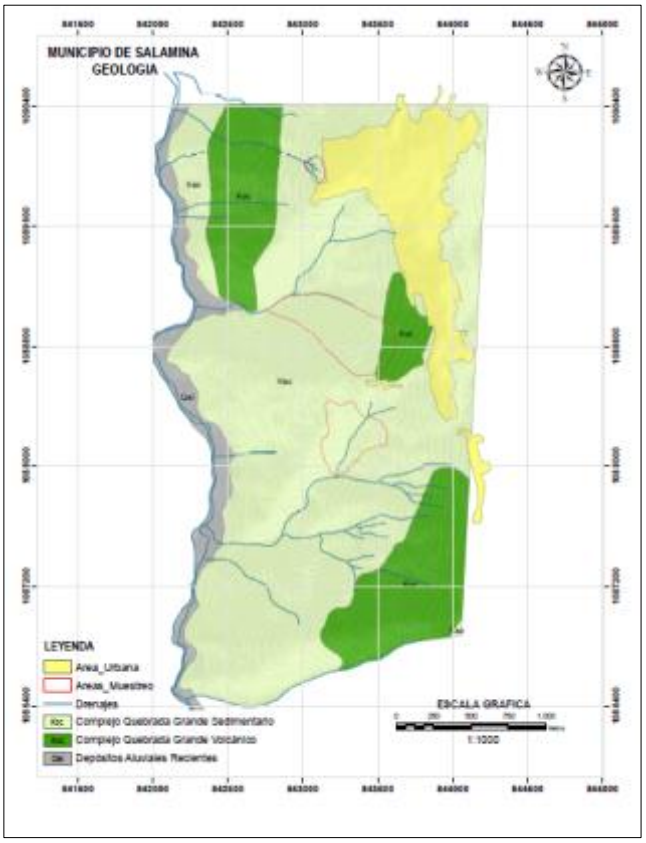
"La conformación del área urbana del municipio coincide con la composición del Complejo Quebradagrande constituido por un miembro Sedimentario que contiene lodolitas, arenitas, limolitas, conglomerados piroclásticos y chert. Y un miembro volcánico compuesto por basaltos.
Los conglomerados presentan variaciones en los cantos de base a techo desde tamaños de guijarro hasta tamaño arena. Compuestos generalmente de chert (Lidita), sub-redondeados de alta esfericidad con matriz lodo arenosa, compuesta de cuarzo, minerales micáceos, minerales arcillosos, feldespatos y algunas lodolitas carbonosas. No se observan estructuras internas. Presentan una madurez textural moderada y madurez composicional baja, esfericidad y redondez moderada. Las Limolitas se presentan con estratificación e internamente con laminación plana paralela. En algunos sectores se observan estructuras de tipo sedimentario como molde de carga y estructuras Flaser. De igual forma existen afloramientos en los que se observa la presencia de Chert negro altamente fracturado, interestratificado con paquetes de lodolitas y limolitas. Es muy común observar la presencia de venas cuarzo, emplazadas en direcciones aleatorias.

Sobre la vía Aránzazu en el sector de Ventiaderos, se observa afloramientos de rocas basálticas altamente fracturadas y levemente alteradas. En cuanto a los depósitos de caída piroclástica se definen dos paquetes de lápilli observables únicamente en las partes altas, aflorando en el sector del barrio La Paz, inicialmente y elongándose hacia el sur por esta Cuchilla. En general no se conservan estos depósitos en la zona perimetral debido a la acción constante de factores erosivos e hidrogravitatorios, que actúan fuertemente en las laderas del Municipio.

La geología urbana del municipio de Salamina (Figura 21) al ser cartografiada utilizando los límites del perímetro urbano se convierte prácticamente en una sola unidad, debido a que la gran mayoría de los terrenos suavizados están cubiertos

de cenizas volcánicas con espesores que van desde varios centímetros hasta varios metros.” [5].

Figura 21. Mapa Geológico del municipio de Salamina, Caldas en escala 1:1000.



Fuente**. .Elaboración Propia**

- **Mapa geomorfológico del área preliminar, alrededores municipio de Salamina.**

El relieve de la zona (Figura 22) está caracterizado por ser una zona montañosa, con alturas que varían entre 1.200 m.s.n.m. en el Río Chambery y 2000 m.s.n.m. en el sector de Puerto Arturo, conformada por rocas metasedimentarias que forman el sustrato y los diversos efectos dinámicos que los mismos han sufrido, mostrando pendiente que varían principalmente desde los 10º grados hasta más de 60º grados, las partes planas aunque muy pocas están restringidas a la parte alta de la colina y a los valles fluviales del río Chambery, la quebrada La Frisolera, las cuales muestran pendientes que oscilan entre 0 grados y 15º grados.

[5] Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Salamina, 2001.

Las principales geoformas identificadas en la zona de estudio corresponden a laderas denudacionales, alargadas y de gran pendiente, cauces semirectos y laderas con procesos morfo dinámicos activos, siendo los elementos anteriores, producto de la actividad tectónica de la región y a la erosión. Los depósitos de caída piroclástica están restringidos a las partes altas y suavizan moderadamente el paisaje.

A continuación, se describen brevemente las unidades Geomorfológicas que constituyen el área de estudio (Tabla 7)

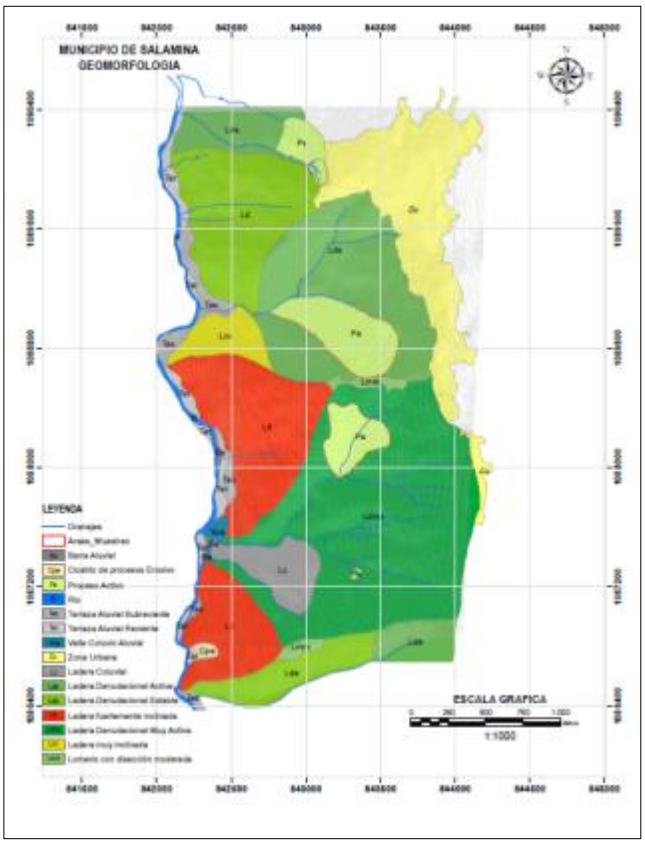
Tabla 7. Unidades que conforman el mapa Geomorfológico para la zona de estudio.

Tipo Unidad	Sigla	Descripción
Barra Aluvial	Ba	Formación alargada y lineal desarrollada donde se depositan grava y arena en las aguas poco profundas del río Chambery.
Cicatriz de procesos Erosivo	Cpe	Secuela que queda marcada en el terreno después de un proceso de remoción en masa.
Ladera Coluvial	Lc	Laderas afectadas por erosión y coluviación, pendiente moderada, depósitos superficiales variables con coluviones, patrón de drenaje detrítico a paralelo, disección moderada, procesos actuales de remoción en masa.
Ladera Denudacional Activa	Lda	Laderas afectadas por erosión y coluviación, pendiente moderada a fuerte, depósitos superficiales variables con coluviones, patrón de drenaje detrítico a paralelo, disección leve, procesos actuales de remoción en masa.
Ladera Denudacional Estable	Lde	Laderas afectadas por erosión y coluviación, pendiente moderada a fuerte, depósitos superficiales variables con coluviones, patrón de drenaje detrítico a paralelo, disección moderada, procesos actuales de remoción en masa.
Ladera Denudacional Muy Activa	Ldma	Laderas afectadas por erosión y coluviación.
Ladera fuertemente inclinada	Lfi	Laderas con pendientes abruptas asociadas a zonas inestables.
Ladera muy inclinada	Lmi	Laderas con pendientes largas, presentan una dinámica dominante representada en terracetas, camino de ganado y movimientos en masa
Lomerío con disección moderada	Lmm	Laderas simétricas en rocas sedimentarias disectadas con pendientes largas, pendiente moderada, roca in situ a coluvial, composición de rocas sedimentarias variables, formación de depósitos inestables.

Tipo Unidad	Sigla	Descripción
Proceso Activo	Pa	Áreas con presencia de enjambres de procesos de remoción en masa recientes y activos.
Río	R	Cuerpo de agua asociado a los sistemas fluviales activos. Depósito superficial lacustre a aluvio lacustre, compuesto por sedimentos finos con procesos actuales de inundación y sedimentación.
Terraza Aluvial Reciente	Tar	Niveles aluviales escalonados y disectados relacionados con antiguas llanuras aluviales. Pendiente moderada a baja, depósito superficial aluvial medio a fino, litología variable, disección leve, procesos actuales de erosión variable.
Terraza Aluvial Subreciente	Tas	Niveles aluviales escalonados y disectados relacionados con antiguas llanuras aluviales. Pendiente moderada a baja, depósito superficial aluvial medio a fino, litología variable, disección leve, procesos actuales de erosión variable.
Valle Coluvio Aluvial	Vca	Acumulaciones aluvio-torrenciales, formadas por flujo de sedimentos heretométricos. Pendiente moderada, depósito superficial torrencial, litología variable, disección leve, procesos actuales de disección y avalanchas.
Zona Urbana	Zu	Zona Urbana

Fuente. Elaboración Propia.

Figura 22. Mapa Geomorfológico del municipio de Salamina, Caldas en escala 1:1000.



Fuente. Elaboración Propia.

- **Mapa unidades geológicas superficiales del área preliminar, alrededores municipio de Salamina.**

Según Hermelin (1985, en Cubillos y Salazar, 1992), las formaciones superficiales (Figura 23) corresponden a las capas de materiales sueltos o rocosos no consolidados, o fragmentos residuales y /o transportados de carácter variado que cubren las rocas de todo tipo y conforman la superficie de la tierra.

Para el área de estudio en los alrededores del municipio de Salamina se reconocieron las siguientes formaciones superficiales.

- **IN SITU**

Roca desnuda (Rd). Se considera la roca como formación superficial cuando no presenta ni saprolito ni suelo. Aparece en algunos sectores aislados principalmente en los lechos de algunas quebradas y algunos escarpes.

Saprolito (S). Ocurre cuando aflora roca aparentemente meteorizada, son poco frecuentes, pero aparecen en algunos sitios, muy localizados no cartografiables
.
Suelo (Su). Esta formación superficial es el suelo residual, producto de la alteración y meteorización de la roca subyacente. Esta es la formación superficial más generalizada y cubre gran parte del área urbana de Salamina.

Suelo con reptación (Sr). Constituido por suelo blando coluvial que sufre procesos morfodinámicos de reptación.

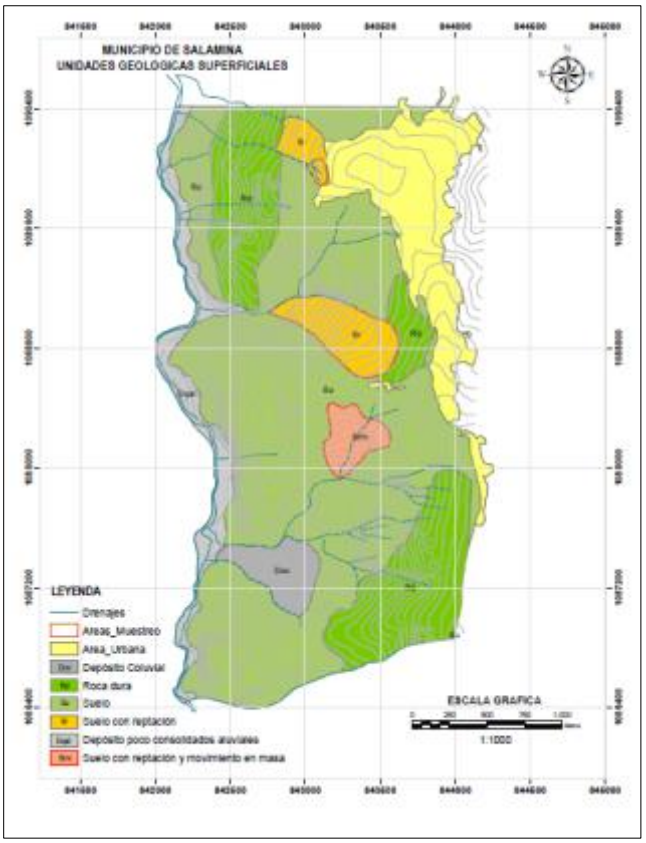
Suelo con reptación y movimiento en masa (Srm). Constituido por suelo blando coluvial que sufre procesos morfodinámicos de reptación y movimientos en masa.

- **DEPOSITO DE LADERA O DE VERTIENTE.**

Depósitos poco consolidados aluviales (Dqal). Constituido por materiales transportados por el río Chambery y depositados a lo largo de la llanura de inundación, son poco consolidados compuestos por arenas y gravas.

Depósito Coluvial (Dco). Depósitos de materiales trasportados por gravedad sobre las laderas y vertientes, matriz soportados.

Figura 23. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales del municipio de Salamina, Caldas en escala 1:1000.



Fuente. Elaboración Propia.

- **Mapa de pendientes del área preliminar, alrededores municipio de Salamina.**

El área urbana se caracteriza por ser una zona de pendientes fuertes (Figura 24) con algunos sectores en los cuales se suavizan el relieve por diversos factores.

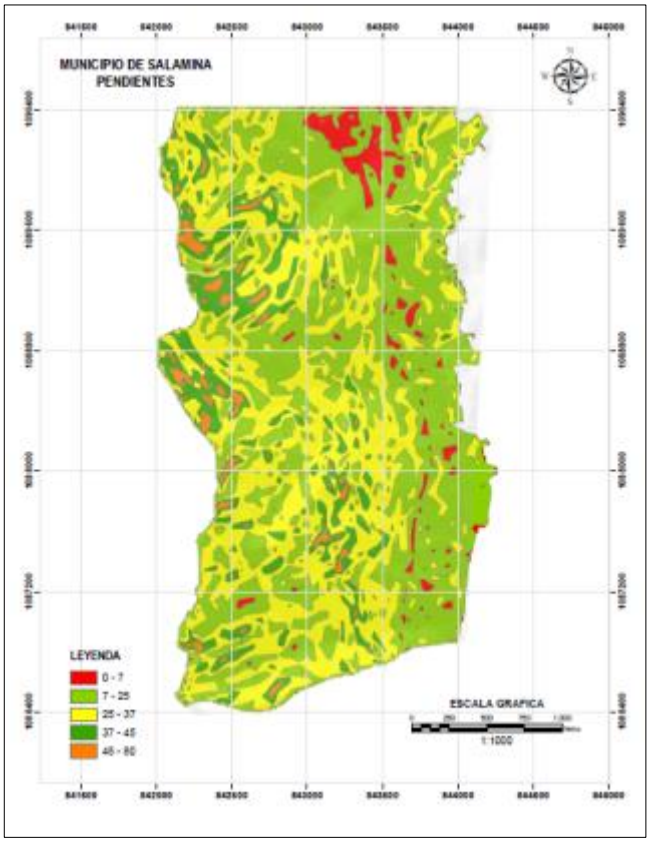
PENDIENTES ESCARPADAS. Corresponde con los rangos entre 45° Y 80°, se asocian principalmente con algunos escarpes, ubicados aisladamente en las laderas de la zona, son vestigios de antiguos deslizamientos y escarpes de la falla, corresponde a zonas de pendientes rectilínea y corta, totalmente inutilizables con fines urbanísticos y en algunos casos inaccesibles.

PENDIENTES FUERTES. Corresponde con los rangos entre 37° a 45° y abarca numerosos sectores asociados principalmente a zonas de inestabilidad. Presentan un modelo de pendientes rectilíneas y cortas.

PENDIENTES MODERADAS. Asociadas con el rango de 25° a 37° conforman gran parte de la zona presentan una distribución espacial aleatoria, con pendientes cóncavas y rectas de moderada longitud, presentan una dinámica dominante representada en terracetas, caminos de ganado y movimientos de masa.

BAJAS PENDIENTES. Son pendientes menores de 25° y corresponde a los terrenos más abundantes principalmente en la parte donde se ubica el casco urbano.

Figura 24. Mapa de Pendientes del municipio de Salamina, Caldas en escala 1:1000.



Fuente. Elaboración Propia.

- **Mapa de uso y cobertura del suelo del área preliminar, alrededores municipio de Salamina.**

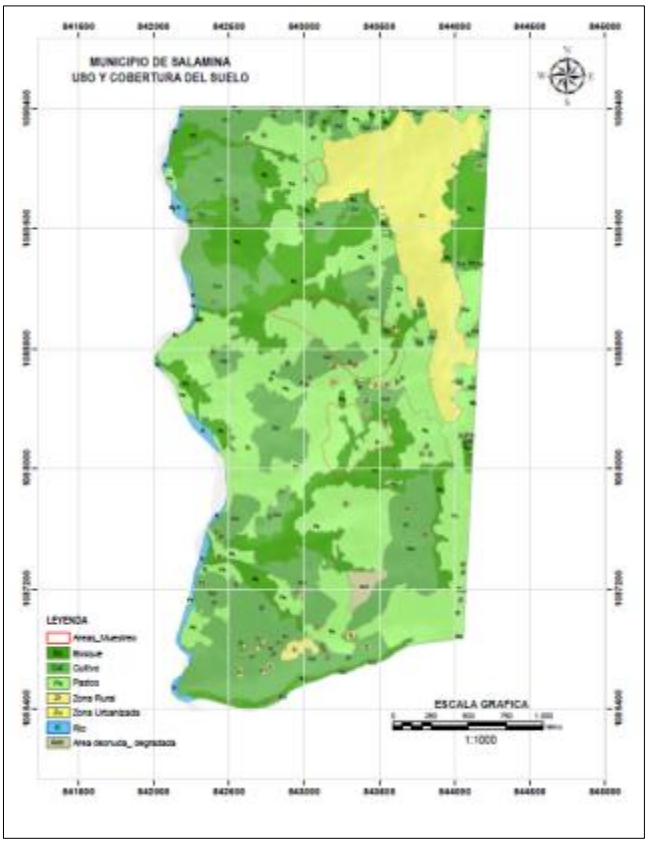
El estudio de cobertura y uso del suelo para el municipio de Salamina, Caldas (Figura 25); permite conocer el uso que actualmente el hombre está dando al suelo y a la cobertura que éste presenta. Para la espacialización cartográfica de las diferentes unidades de cobertura y uso de la tierra en el municipio, se realizaron las siguientes actividades:

- Consecución de la imagen satelital del Municipio de Salamina, la cual fue tomada de SAS PLANNET.
- Trabajo de campo para observar, verificar y complementar la información recolectada.
- Elaboración de la digitalización, la cual fue realizada con la comparación de imágenes de Google Earth con el fin de identificar y clasificar las diferentes coberturas de la tierra presentes en el municipio.
- Espacialización de las unidades de cobertura y uso de la tierra, y la determinación de la clase y el tipo de cobertura, teniendo en cuenta las normas de la metodología Corine Land Cover; así como su uso actual predominante para conformar el Mapa temático de este estudio en escala 1:1000.

En síntesis, la cobertura y uso de suelo que predomina son los pastos, que se encuentran localizados homogéneamente en los alrededores del área urbana del municipio de Salamina. En segunda instancia los cultivos entre los que se destaca el café; seguidamente, los bosques que son protectores del suelo, purificadores de aire, refugio de fauna silvestre y reguladores de régimen hídrico. Posteriormente el área rural, donde se identifican construcciones con fines residenciales, viviendas aisladas en fincas y predios y el área urbana que corresponde a la cabecera municipal con fines residenciales, institucionales y comerciales, se caracteriza por cumplir una función urbana y de prestación de servicios. Finalmente, el área desnuda o degradada se relaciona con aquellos suelos que han experimentado procesos de degradación y/o deterioro, bien sea de origen natural o antrópico que en conjunto conforman las denominadas tierras eriales.

De esta manera, es un poco preocupante que la mayor cobertura y uso de suelo se encuentra ocupado por pastos, ya que en su mayoría son dedicados al pastoreo en forma intensiva, lo que hace que el suelo se comporte como una superficie impermeable dificultando la infiltración y aumentando la erosión. Por otra parte, la influencia de las actividades humanas, han ocasionado incremento de los procesos naturales de erosión y modelado del terreno, en especial en la zona media y baja del sector montañoso; por lo que se presentan taludes inestables, procesos de remoción en masa y suelo con alto desgaste por la erosión; aspectos que afectan la seguridad de los habitantes de estas áreas, como de sus cultivos. Los problemas de deslizamientos se identifican en la mayor parte del sector montañoso, y son muy representativos en la vereda el chamizo.

Figura 25. Mapa de Uso y Cobertura del Suelo del municipio de Salamina, Caldas en escala 1:1000.



Fuente. Elaboración Propia.

- **Mapa Hídrico del área preliminar, alrededores municipio de Salamina.**

"El Municipio de Salamina cuenta con dos tipos diferentes de patrones de drenaje influenciados por las características topográficas predominantes en la zona. El primero es de tipo recto a paralelo con cambios bruscos en la dirección de los drenajes y valles en V muy profundos. Esto es debido al fuerte control estructural presente en el sector occidental del Municipio. El Segundo es de tipo subdendrítico de valles poco profundos, localizado en el sector oriental del Municipio. No se observa control estructural. El Municipio de Salamina presenta gran cantidad de afluentes superficiales de los cuales se destacan el Río Arma, Río Chambery, Río Pozo, San Lorenzo, Pocito y San Félix, y las Quebradas Nudillales, San Antonio y Curubital.

El clima que presenta la zona es clasificado como templado húmedo, con rangos de temperatura que oscilan entre los 18° y 20° centígrados. Las precipitaciones medias anuales varían entre los 1800 y 2000 mm. Lo cual implica una tendencia torrencial y de permanente humedad. Favoreciendo así los procesos gravitatorios

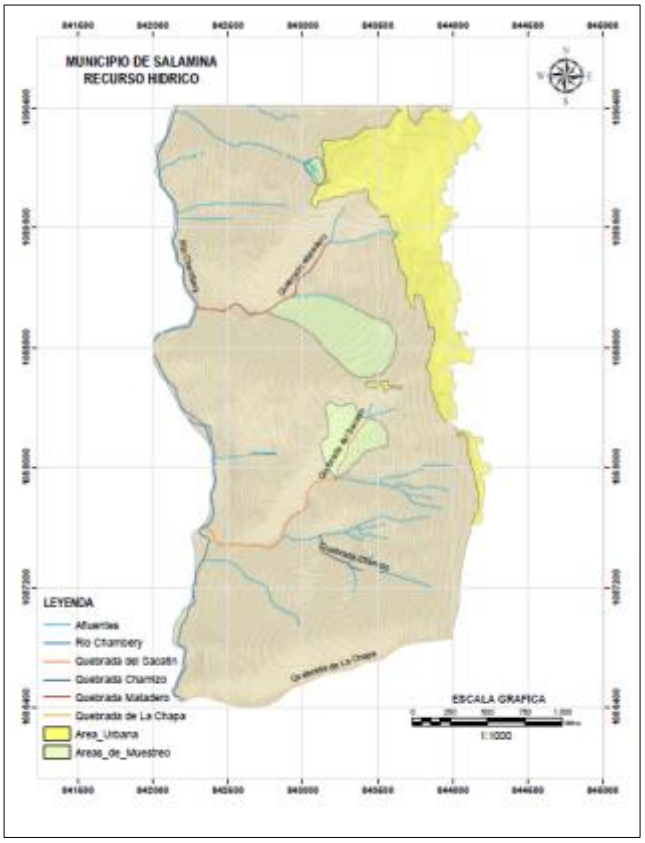
que aprovechan la porosidad y permeabilidad del suelo, a esto se une las debilidades estructurales para moldear el paisaje.

Los máximos registros de precipitaciones se presentan entre Octubre - noviembre y marzo - mayo; mientras que los mínimos se presentan en los meses de enero - febrero y julio – agosto, respectivamente. Por lo tanto, debido a las condiciones globales en la variación de la temperatura y clima, no existe en la actualidad una regularidad en las precipitaciones."[6]

Por ende, el mapa hídrico (Figura 26) que se elaboró para el municipio de Salamina, representa el curso del río y sus afluentes. Para su ejecución se utilizó el software ArcGis 10.2.2. Este mapa permite determinar la dirección y calcular la acumulación de flujo, entre otros; además, define la distribución y los efectos en la superficie de la tierra y los suelos, debido a que los parámetros de uso y tipo de suelos pueden alterar la hidrología natural a través del incremento en la cubierta impermeable y pendientes alteradas; también, ayudan en el estudio y análisis de las obras para mitigar el impacto que puedan causar al medio ambiente. Así mismo, sirve como la base que proporciona contexto para datos de observaciones, incluidas mediciones de la cantidad y calidad del agua, información sobre hábitats acuáticos, como estudios de vegetación y peces, entre otros.

[6] Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Salamina,2001

Figura 26. Mapa Hídrico del Municipio de Salamina, Caldas en escala 1:1000.



Fuente. Elaboración Propia.

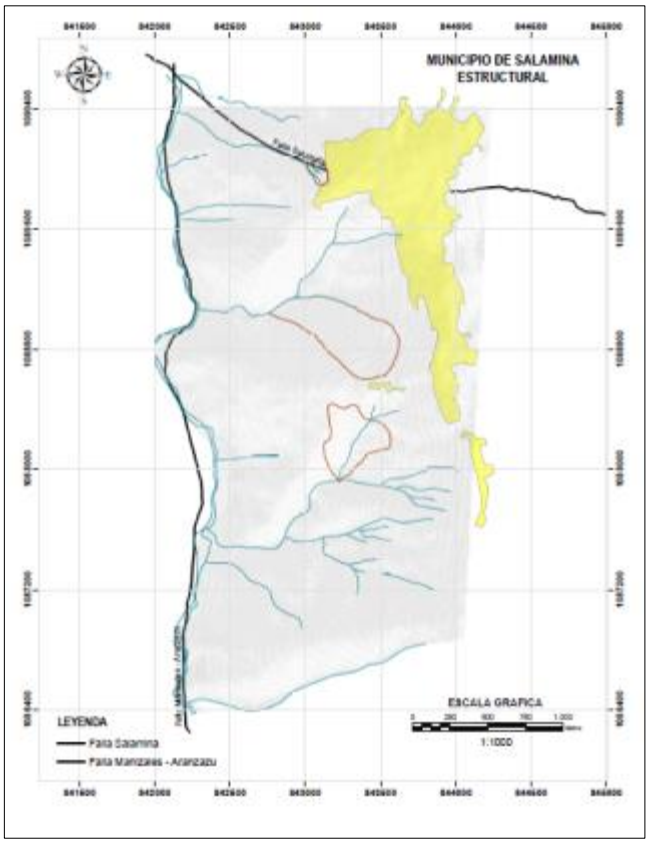
- **Mapa estructural del área preliminar, alrededores municipio de Salamina.**

"Desde el punto de vista estructural, la zona es muy compleja, ya que ha estado sometida a varios eventos tectónicos, los cuales han variado las estructuras de las rocas, presentando como principales rasgos fallamiento y fracturamiento. El Municipio se encuentra dentro de la parte oriental del sistema de mega fallas Cauca Romeral, cruzando importantes fallas regionales muy cerca del casco urbano, como son las fallas de Salamina Este, Salamina W y San Jerónimo, todas con direcciones predominantes NE y NW. Además se encuentran acompañados de una serie de fallas y lineamientos con sentido EW que convierten a Salamina en un bloque tectónico. Al oeste del municipio de Salamina existe un grupo de lineamientos con dirección noreste, que asociados con factores geomorfológicos permiten definir el trazo de la falla Salamina W que controla el cauce del Río Chambery. Hacia el este de la población, cruza la falla Salamina E la cual controla el cauce de la quebrada la Frisolera, en sentido NE y posteriormente cambia su rumbo hacia el norte, contra esta falla se acuña la falla de San Jerónimo, la cual posee dirección Noreste y controla el cauce de la quebrada Nudillales. (Figura 27)

Los mayores rasgos estructurales en el oeste de Cordillera Central son la Falla de Romeral y La Falla de San Jerónimo, las cuales afectan diversas unidades rocosas.

El área rural del Municipio de Salamina está afectado por estas fallas y otras satélites dentro de las que se cuentan la Falla Salamina Este, Falla Salamina Oeste, Falla El Perro, Falla Samaná Sur y otras menores las cuales convierten dicha zona en un bloque tectónico el cual afecta las rocas aflorantes y determina procesos erosivos en roca debido al grado de trituración de la misma. Además de las diferentes fallas se presentan pliegues y diaclasamientos los cuales evidencian una tectónica compresiva."[7]

Figura 27. Mapa Estructural del Municipio de Salamina, Caldas en escala 1:1000.



Fuente. Elaboración Propia.

[7] Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Salamina,2001

6.2. PROCESAMIENTO DE LOS MAPAS TEMÁTICOS.

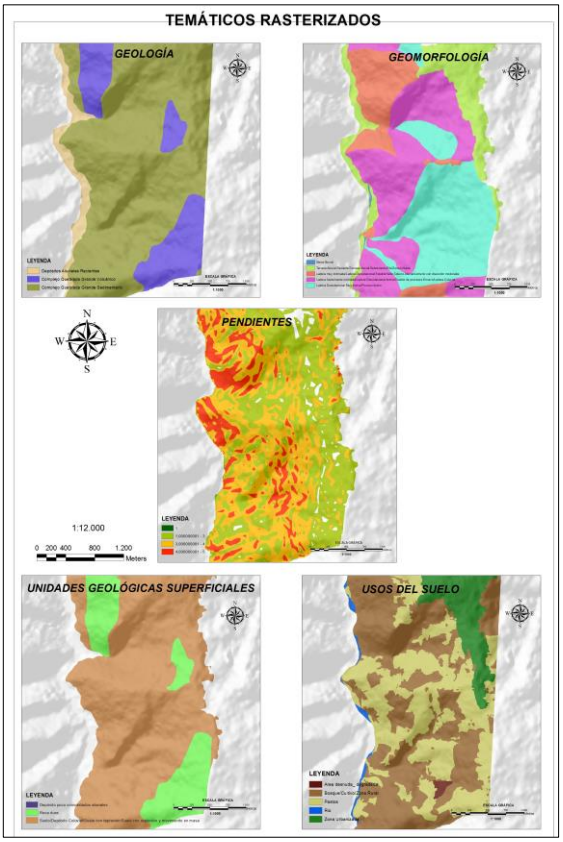
El grado de amenaza a un movimiento en masa en un área dada es determinado por la conjunción de diferentes factores, los cuales pueden ser analizados de forma separada en función de las características que inciden de forma directa en la inestabilidad de los taludes. Se utilizaron como información base los siguientes mapas temáticos:

- Geología.
- Geomorfología.
- Pendientes.
- Unidades geológicas superficiales.
- Usos del suelo.

Los mapas que sirvieron de base para el análisis fueron elaborados con el software ArcGis 10.2.2, así mismo, se utilizó para la integración y el análisis de los datos.

Cada una de las unidades contenidas en los mapas se analizó de forma independiente en función de su influencia en la generación al movimiento en masa; de esta forma se analiza la interrelación entre las características y condiciones en que se encuentra el terreno y la potencialidad de ocurrencia de los deslizamientos. Una vez se han obtenido los mapas temáticos se realiza el procesamiento en el software ArcGis 10.2.2 donde se rasterizan los mapas (Figura 28) clasificando los atributos de cada capa para poder realizar la sumatoria de los mapas parámetros para hallar la amenaza.

Figura 28. Mapas Temáticos rasterizados.



Fuente. Elaboración Propia.

Para esto, se procedió a la asignación de valores de peso a cada una de las unidades contenidas en los diferentes mapas temáticos utilizados, transformando mediante un proceso de reclasificación los mapas de clases en mapas de valores, considerando las características del mapa y el nivel de influencia como factor detonante para el evento por movimiento en masa. Posteriormente estos mapas fueron integrados mediante un proceso de adición dando como resultado final el mapa de amenazas a movimiento en masa clasificado en 3 categorías: Alta, Baja y Media.

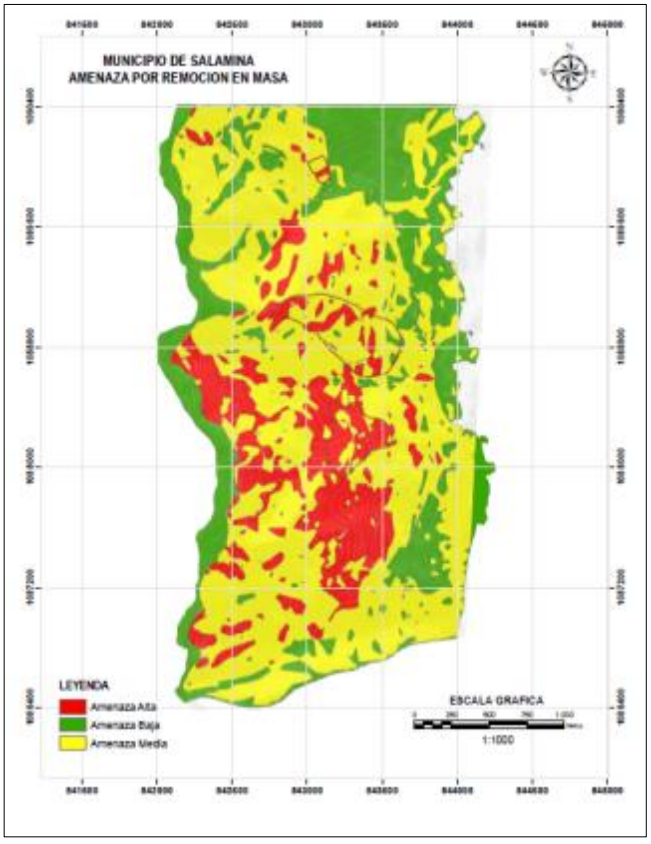
La Tabla 8 muestra el orden y peso en porcentaje que se le asignó a cada mapa rasterizado para la ponderación y obtención final del mapa de amenaza por movimiento en masa a escala 1:1000 para el presente estudio (
Figura 29).
En cuanto a los valores de pesos asignados a los mapas, los valores más altos corresponden a la mayor influencia que puedan ejercer en la ocurrencia del fenómeno amenazante.

Tabla 8. Orden y peso de los mapas temáticos rasterizados.

Orden	Mapa	Peso %
1	Pendientes	30
2	Unidades Geológicas Superficiales	25
3	Uso del Suelo	20
4	Geomorfología	15
5	Geología	10

Fuente. Elaboración Propia.

Figura 29. Mapa de Amenaza por movimiento en masa a escala 1:1000.



Fuente. Elaboración Propia

6.3. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MAPA DE AMENAZA POR MOVIMIENTO EN MASA A ESCALA 1:25.000 FRENTE AL MAPA 1:1.000.

Los mapas generados en las escalas cartográficas realizadas con poco detalle se pueden considerar eficientes, siempre y cuando se tenga claro el alcance de los objetivos propuestos en el proyecto que pretenda determinar la zonificación de la amenaza por movimiento en masa.

Las escalas amplias o de menor detalle ofrecen una visión global del área estudiada, reflejan a groso modo las características de dicha zona, ofreciendo un panorama general de los componentes temáticos, esta primera fase permite identificar aquellas áreas con mayor susceptibilidad a la ocurrencia de un fenómeno por movimiento en masa, pero no es una herramienta confiable para tomar acción frente a dicho fenómeno identificado.

A continuación, se muestran dos tablas con las áreas en hectáreas con la clasificación de la amenaza por movimiento en masa. Tabla 9

Tabla 9. Áreas y porcentajes de las amenazas clasificadas a escala 1:25.000 y 1:1.000.

MAPA 1:25.000

Clasificación Amenaza	Área Ha	%
Alta	231,858	32,60595339
Media	474,17	66,6820421
Baja	5,063	0,712004511
Total	711,091	100

MAPA 1:1.000

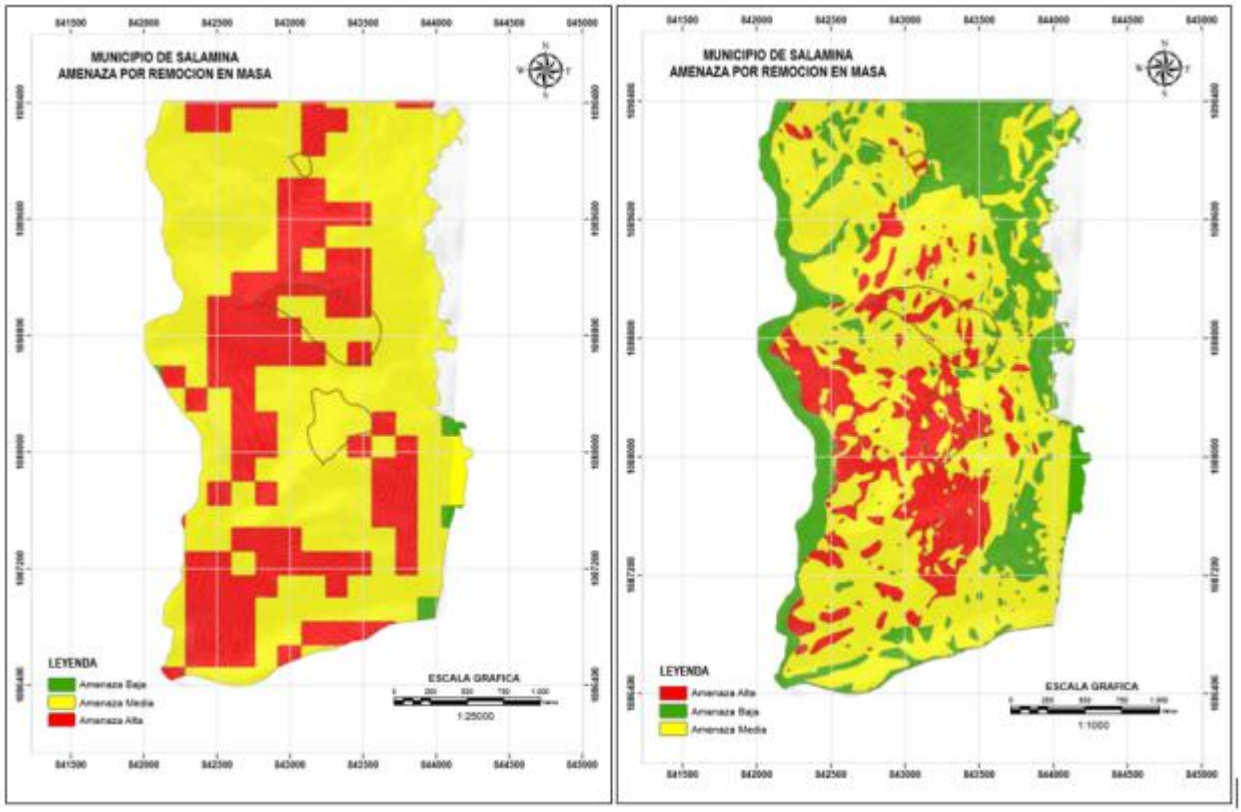
Clasificación Amenaza	Área Ha	%
Alta	120,911	17,0035903
Media	415,021	58,3639787
Baja	175,159	24,632431
Total	711,091	100

Fuente. Elaboración Propia.

El porcentaje para el rango alto de amenaza en el mapa 1:1000 disminuyó aproximadamente en un 15%, acercándose con mayor detalle a la delimitación de las áreas que requieren la implementación de más estudios y adoptar mejores metodologías que permitan tomar acción frente a la misma. Las áreas ocupadas con amenaza baja son mucho mayores para el mapa 1:1.000 (24%) ayudando así a descartar sectores susceptibles a la amenaza por movimientos en masa. La amenaza media sigue siendo muy balanceada para ambos mapas, diferenciándose solo en un 8% aproximadamente, debido a las condiciones morfológicas y dinámicas que la zona presenta, viéndose controlada la amenaza media por las altas y largas pendientes de las laderas que, aunque sean estables representan un grado de amenaza con la posibilidad de aumentar si los factores

detonantes se activan (Temporada lluvias, eventos sísmicos, intervenciones antrópicas). (Figura 30).

Figura 30. Mapas comparativos con la zonificación de amenaza por movimientos en masa, a la izquierda generado a escala 1:25.000 y a la derecha a escala 1:1.000.



Fuente. Elaboración Propia.

6.3.1. Selección del área para caracterización geotécnica.

Considerando el mapa obtenido en el paso anterior y teniendo en cuenta el reconocimiento de campo, se identificaron 3 posibles áreas con características de inestabilidad alta, en las que se consideró:

- Elementos expuestos: afectación a la infraestructura (viviendas, instalaciones comunitarias, vías, entre otros).
- Unidades Geológicas Superficiales.
- Procesos Morfo dinámicos: identificando los procesos con actividad evidente.
- Pendientes.
- Usos del suelo.

Para efectos del presente estudio se definió aplicar la metodología al área denominada A1. (Figura 31)

Figura 31. Visualización global del municipio de Salamina, donde se observan las 4 áreas preliminares para la caracterización geotécnica, de las cuales se seleccionó A1.

Fuente. Elaboración Propia.

En A1 se observan diferentes procesos con movimiento de masas de suelo y roca, los principales planos de deslizamiento son N40W/70SW y E-W/30S, las unidades superficiales corresponden a suelo con reptación, afectado también por surcos, cárcavas y patas de ganado, hacia la parte alta de la corona, en la parte superior derecha, se observa un caserío y la vía principal que comunica el municipio de Aránzazu con Salamina. Las pendientes dominantes están entre los 37° y 70°. El uso principal de los suelos está restringido a la ganadería y la vegetación es baja y poco espesa.

6.4. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES.

De las perforaciones se extrajeron muestras en tubos de pared delgada y bolsa de los estratos significativos para ser ensayadas en laboratorio.

Los ensayos realizados fueron los siguientes:
Clasificación:

- Granulometría por lavado (pasante Tamiz # 200)

- Límites de Atterberg:

    - Límite líquido
    - Límite plástico

Propiedades físicas:

- Humedad Natural
- Peso Unitario:

    - Húmedo
    - Seco

Propiedades Mecánicas:

- Compresión Inconfinada.
- Corte Directo.
- Resistencia al corte no drenado

El material predominante en la zona de estudio corresponde a suelos correlacionables con rocas sedimentarias. En el Anexo "Resultados de Laboratorio"**,** se presentan cada uno de los ensayos realizados a los diferentes tipos de materiales encontrados.

A continuación, se hace una descripción detallada de cada uno de los materiales encontrados.

6.4.1. Características geotécnicas de los materiales.

Las características físicas y mecánicas de los materiales extraídos se presentan a continuación.

- **Límite Líquido:**

La variación de éste límite para las muestras ensayadas presenta un valor entre 36,22% y 45,03% para los suelos naturales. Estos valores nos indican que la plasticidad de los materiales es media a alta.

- **Resistencia a la Compresión Inconfinada:**

El valor promedio de la resistencia a la compresión inconfinada del depósito varía entre 13,82 y 24,88 ton/m², indicando una resistencia media a alta del material extraído.

- **Peso Unitario del Suelo:**

El valor promedio es de 580,4 gr/cm³ para pesos unitarios húmedos y 492,3 gr/cm³ para los pesos unitarios secos en lo que tiene que ver con los depósitos de suelo natural, los resultados de los cortes presentan valores más bajos (101,5 gr/cm³), debido a que la toma de las muestras se realizó en los depósitos más superficiales.

- **Índice de Plasticidad:**

Presenta valores entre el 8,58% y el 7,65 %, indicando una plasticidad media a alta del depósito.

- **Cohesión:**

De acuerdo al ensayo de corte directo se tiene un valor para esta propiedad de 1,0544 Kg/cm² para los depósitos de suelo residual.

- **Ángulo de Fricción:**

De acuerdo al ensayo de corte directo se tiene un valor para esta propiedad de 23,717 grados, para los depósitos de suelo residual.

6.4.2. Propiedades geotécnicas de los materiales.

Las propiedades geotécnicas de los materiales involucrados se obtuvieron con datos de la prospección geotécnica del sector y del análisis de la roca. Una vez identificados cada uno de los datos de entrada se procede a realizar el análisis de estabilidad. El método de estabilidad que fue empleado es el de dovelas de Janbú, es un método riguroso de análisis de estabilidad, el cual se puede utilizar para estimar el factor de seguridad de superficies de falla de cualquier forma y a taludes con perfiles de suelo heterogéneo. La solución simplificada es la más conocida. Esta solución emplea la siguiente ecuación:

$$Fs = \frac{\Sigma(C^{''}_i + (\frac{W_i}{b_i} - U_i) * Tan\phi_i^{'}) * \frac{b_i}{n_\alpha}}{\Sigma(W_i * Tan\alpha_i + W_i * \frac{a\max}{g})}$$

Dónde:

C	cohesión
W	Peso de la dovela
b	ancho de la dovela
u	presión de poros en la dovela
$n\alpha$	Factor n alfa
α	Angulo de inclinación medido en la base de la dovela
ϕ	Angulo de fricción del terreno
a_{max}	Aceleración sísmica
g	Gravedad

Por medio de una gráficas se obtiene el valor de n_α en función del ángulo α_i y del valor de la Tan $\phi^{'}_i$/Fs.

Janbú utiliza además un factor de corrección, fo, para considerar de alguna manera la existencia de las fuerzas entre tajadas. Este factor se estima con base en la relación d/l del deslizamiento y el tipo de parámetros de resistencia al corte que se usan en el análisis.

Los factores de seguridad recomendados en la literatura para el análisis son los propuestos en el “Código Colombiano Sismo Resistente NSR-10”, los cuales se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 10. Factores de seguridad básicos mínimos (Tabla H.2.4-1 NSR-10

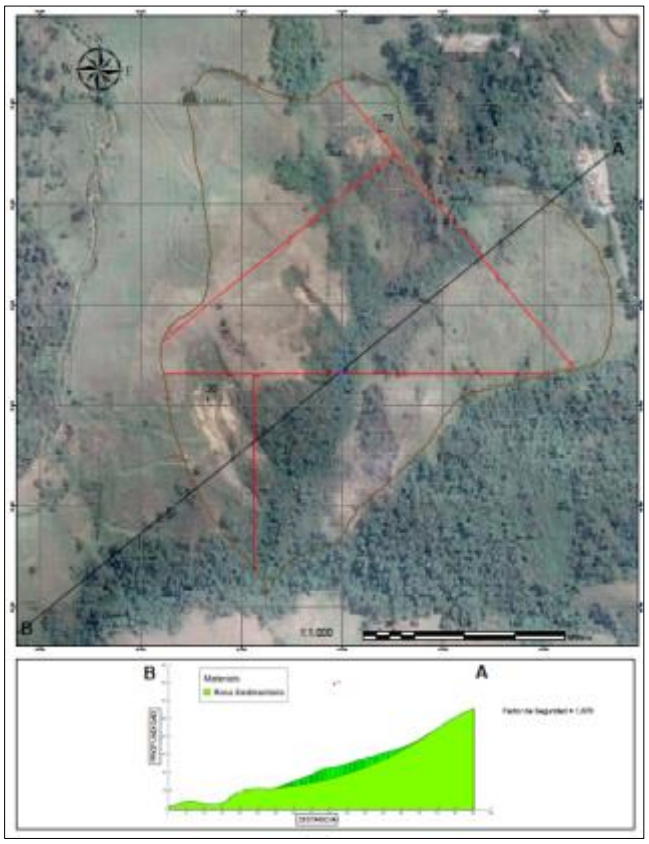
Condición	F_{SBM}		F_{SBUM}	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.10	1.40	1.15
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1.10	1.00 (*)	No se permite	No se permite
Taludes – Condición Estática y Agua Subterránea Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Taludes – Condición Seudo-estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño	1.05	1.00 (*)	No se permite	No se permite

(*) Nota: Los parámetros sísmicos seudo estáticos de Construcción serán el 50% de los de Diseño

Fuente. Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Para obtener los valores de factor de seguridad se empleó el programa GEOESTUDIO 2012 y se hizo el análisis en condiciones críticas del perfil (Figura 32) más representativo de acuerdo a la topografía del sector.

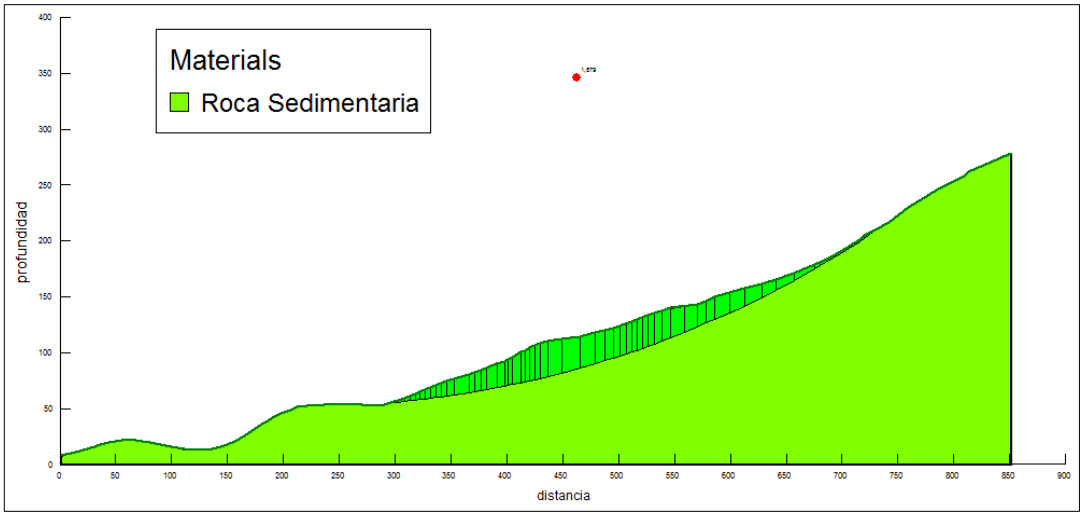
Figura 32. Área A1, con línea de perfil para el análisis geotécnico**.**



Fuente. Elaboración Propia.

FACTOR DE SEGURIDAD 1,878

Figura 33. Perfil geológico con análisis del Factor de Seguridad para el área de estudio A1.



Obras y Recomendaciones.

- Si por alguna razón, se encuentra agua durante la realización del movimiento de tierras, deberán proyectarse e implementarse sistemas de drenaje y bombeo, así como todos los sistemas de filtros necesarios para abatir los niveles freáticos y manejarlo frente a la obra propuesta.

- Para el manejo de las aguas superficiales, se recomienda construir acequias o cunetas. Las aguas captadas y conducidas por las estructuras indicadas, deben ser entregadas a líneas de drenaje bien protegidas.

- Las excavaciones temporales para alturas superiores a 2.0 m deberán contar con una inclinación 1H: 1V. En ningún caso deben permitirse excavaciones verticales y menos en “negativo”.

- En ningún caso se permite la presencia de sobre carga temporal o permanente en la corona en caso de trabajos, para prevenir deslizamiento hasta que se adecuen obras de estabilización.

- Conformación de terrazas de máximo 70 grados o menores, con cortes de máximo 10.0 m con obras de control de agua subterránea y escorrentía.

- Si el perfilado se realiza sobre saprolito o suelo residual, la altura máxima de corte será de 5.0 m y la inclinación de los taludes de máximo 60 grados.
- Se deberá implementar un programa de monitoreo, con el fin de detectar cambios en la masa de suelo, este puede ser de tipo topográfico con la instalación de mojones.

6.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

De acuerdo a los objetivos presentados se logró el análisis de muestras que dieron a conocer algunas propiedades del suelo, proporcionando las bases para evaluar el comportamiento del suelo y prever los problemas geológicos o geotécnicos y se determinaron las zonas potencialmente inestables, con estos resultados se llega a una planificación de futuras obras de mitigación que eviten y prevengan significativamente los efectos que pueden causar los movimientos en masa.

El empleo de los SIG para el análisis sistemático de información tuvo como finalidad la identificación, zonificación y caracterización del área de estudio para el posterior análisis comparativo de dos escalas cartográficas 1:25000 y 1:000. De esta manera, los Sistemas de Información Geográfica permite la obtención de mapas de elementos temáticos, almacenamiento de importantes bases de datos, la evaluación del tipo de suelo y finalmente la recopilación de los datos, el respectivo análisis comparativo de las escalas cartográficas el cual era el objetivo principal que se esperaba alcanzar.

7. CONCLUSIONES

- Se logró identificar, caracterizar y categorizar los puntos más vulnerables ante los movimientos en masa analizados a una escala detallada (1:1000) en las áreas identificadas como de amenaza alta.

- La litología existente en la zona de estudio corresponde al Complejo Quebradagrande sedimentario que corresponde a materiales arcillosos y limosos lo que hace posible la erosión e inestabilidad del terreno y al miembro volcánico constituido de basaltos que en algunas áreas se encuentran altamente diaclasado, las cuales generan un ambiente propicio para la alta meteorización que contribuyen de una forma u otra a la activación y generación de movimientos en masa.

- Como resultado del uso de Sistema de Información Geográfica (SIG) se logró mostrar por medio de un mapa de zonificación de amenaza la distribución espacial del fenómeno de movimiento en masa y el respectivo análisis comparativo realizado de los dos mapas de amenaza por remoción en masa generados en escala 1:25000 frente a una escala 1:1000. se pudo observar que las áreas analizadas y en especial la área en la que enfocamos los análisis de la metodología, en una escala 1:25000 categoriza la amenaza en estos sectores como media, mientras en la escala 1:1000 se observa que la amenaza se categoriza como alta. Por ende, se puede inferir que la escala detallada me genera más precisión a la hora de categorizar un movimiento en masa ya que se hace posible evaluar de una manera eficaz los escenarios de amenaza.

- Con los datos recopilados y analizados se hizo énfasis en el punto *A5* localizado en el sector de la vereda el Chamizo con el fin de aplicar la metodología de análisis, debido a que es un área con un proceso activo, con pendientes altas, donde se observa además procesos erosivos debido a la acción de los diferentes agentes atmosféricos y geológicos que provoca el desgaste natural de la superficie del suelo, la modelación del relieve y la meteorización de las rocas.

- Los movimientos en masa encontrados en el área analizada fue asociada en su mayoría a intervenciones del hombre sobre el terreno para adecuarlo a las diferentes actividades relacionadas con la agricultura y ganadería, las avenidas torrenciales, los cortes a las vertientes para la construcción de viviendas, sumado al inadecuado manejo de aguas de riego, entre otros, generan susceptibilidad a la remoción en masa y aceleran los procesos de transformación natural, los cuales a su vez se vieron afectados por el

incremento de las precipitaciones en un período extenso, que contribuyeron al incremento de la humedad del suelo y al arrastre del mismo.

- Los resultados obtenidos en el análisis de las muestras son un componente importante a tener en cuenta ya que con estos resultados se conoce el tipo de suelo y su comportamiento, por medio de estos se pueden desarrollar obras de mitigación eficientes.

- Los Sistemas de Información geográfica son una buena herramienta y alternativa en la generación de soluciones a alguna situación en particular.

- Un Sistema de Información Geográfico permite el almacenamiento simultáneo, recuperación, superposición y exhibición de muchos conjuntos de datos diferentes espacialmente relacionados, por lo tanto, son importantes en la planeación, diseño y evaluación de impacto.

8. RECOMENDACIONES

- Desarrollar metodologías rápidas y fiables que permitan una primera aproximación y delimitación de las áreas más susceptibles.

- Antes de realizar una obra de mitigación se debe realizar un estudio que integre la litología, el tipo de suelo y sus propiedades, entre otras características, para obtener los parámetros de diseño e implementar obras de control y protección, evaluando que las obras propuestas no generen alteraciones desfavorables en la zona estudiada.

- Hacer uso de una escala cartográfica más detallada en la caracterización de los movimientos en masa debido a que proporciona mayor información que puede ser útil a la hora de elegir las obras a implementar.

- Construir obras de mitigación eficientes teniendo en cuenta el resultado de este trabajo, con el fin de prevenir los efectos que pueden causar el fenómeno de movimiento en masa.

- Tener en cuenta como base para el estudio de amenaza por movimiento en masa a la guía metodología del Servicio Geológico Colombiano, ya que es una herramienta que brinda algunos lineamientos generales y viene estructurada de tal forma que puede aportar a la hora de evaluar alguna situación similar.

- Incorporar los Sistemas de Información Geográfica (SIG) a los respectivos estudios, ya que permiten trabajar e integrar información de distintas fuentes y escalas; y datos tanto espaciales como no-espaciales. Además, todos estos datos pueden ser analizados a la vez, incluso repetidamente, y de una forma rápida, racional y fácilmente inteligible para el usuario, permitiendo así una evaluación ágil y sencilla.

- Utilizar los SIG para caracterizar los movimientos en masa ya que se utilizan datos georeferenciados, además, la rapidez de obtención de factores derivados del DEM, la rapidez de análisis y el cálculo y la obtención de los mapas finales, son una ventaja de estos Sistemas de Información Geográfica para la evaluación de diferentes situaciones.

BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía Municipal de Salamina. Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Salamina. Salamina, Caldas, 2001.

Arroyo Pérez, Andrés Augusto; Mantilla Mazo, Wilmerth Alexander y Pérez Pineda, Oscar Alexander (2015) Diseño e Implementación de un SIG Bajo una Plataforma Web Mapping para el Ingenio Mayagüez S.A. Tesis postgrado, Universidad de Manizales.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente NRS-10, Titulo H-Estudios Geotécnicos.

Carvajal, C., C. Ospina, y E. Ruiz. Amenazas Naturales Identificadas en el Departamento de Caldas - Informe Interno. Manizales, Caldas: Gobernación de Caldas, 1992.

Chardón, Anne-Catherine, y Juan Leonardo González. Amenaza, vulnerabilidad, riesgo, desastre, mitigación, prevención. Primer acercamiento a conceptos, características y metodologías de análisis y evaluación. Ejecución del componente II. Indicadores para la Gestión de Riesgos. Manizales: OPERATION ATN/JF-7907-RG. Programa de información e indicadores de gestión de riesgos BID - CEPAL – IDEA, Diciembre de 2002.

Frontera Informativa. "Por derrumbe Salamina queda incomunicada con Manizales y el Norte de Caldas". 27 de Mayo de 2011. http://fronterainformativa.es.tl/Regional.htm (último acceso: 23 de Agosto de 2015).

Fundación Pangea, Gobernación de Caldas – Unidad de Atención y Prevención de Desastres del Departamento de Caldas & Corporación Autónoma Regional de Caldas – CORPOCALDAS. Diseño de un instrumento indicativo en áreas de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo de los municipios de Aránzazu, La Merced, Salamina y Samaná. Marzo de 2008.

GEOSUB S.A.S. Contrato 292 de 2012 CORPOCALDAS - GEOSUB S.A.S. Identificar y Caracterizar la Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo para las Cabeceras Municipales y las áreas de Desarrollo Rural Restringido. Municipio de Neira, 2013 - 2014.

González, H. «Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina).» Boletín Geológico, 1980: Vol. 23 (1): pp. 1-174, Bogotá: Ingeominas.

IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi -. Monografías del Departamento de Caldas. Andes, 1974.

LR ambiental S.A.S, Corpocaldas, (2014) Fase de Diagnóstico del plan de ordenación y manejo ambiental de la Subzona- Hidrográfica del río Tapias y otros directos al Cauca.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS. Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS - Anexo B. Gestión del Riesgo. 2014.
Mosquera, D. Geología del cuadrángulo K-8. Informe preliminar. 63p. Ibagué: Ingeominas, 1978. Mosquera, D., P. Marín, J.C. Vesga, y H González. Geología de la Plancha 206 (Manizales). Ingeominas, 1998.

Salazar Tamayo, Julián Andrés; Osorio Betancur, Yuliana y Gómez Chamorro, Nathalia (2013) SIG para determinar la susceptibilidad a movimientos en masa en la cuenca del rio campoalegre. Tesis postgrado, Universidad de Manizales.

Servicio Geológico Colombiano. Convenio 020 de 2013 con la Universidad Nacional de Colombia. Guía Metodología para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, 2015.

Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres - SNPAD. Cómo vivir aquí. Quinta Edición, Junio de 2000.

ANEXOS

Anexos 1. RESULTADOS DE LABORATORIO

En este anexo se encuentran cada uno de los ensayos realizados a las diferentes muestras seleccionadas para el análisis.

Proyecto: SALAMINA
Localización: SALAMINA A2
Descripción: LIMOARENOSO CAFÉ AMARILLENTO (RELLENO)
Sondeo Nº 1
Profundidad
F. de Campo: JULIO 22/2016
Ensayo: AGOSTO 08/2016

LÍMITES DE CONSISTENCIA LÍMITE LÍQUIDO			
No. de Golpes	34	22	13
Recipiente No.	20V	17Y	15F
P1	33,6	41,2	38,65
P2	26,68	31,7	29,96
P3	6,8	5,9	7,8
% Humedad	34,81	36,82	39,21

LÍMITE PLÁSTICO		
2P	47B	52A
P1	31,25	29,6
P2	25,97	24,51
P3	6,2	6,7
% Humedad	26,71	28,58

HUMEDAD NATURAL			
Recipiente No.	P1	P2	P3
5X	622,1	552,8	84,8
Humedad Natural (%)			14,81

GRADACIÓN				
P1 g	552,8	**% Retenido**	**% Acumulado**	**% Pasa**
Tamiz	**Peso Retenido**			
2,1/2"				100
2"				100
1,1/2"				100
1"				100
3/4"				100
1/2"				100
3/8"				100
No. 4	12,9	2,33	2,33	97,67
10	23,4	4,23	6,57	93,43
40	123,4	22,32	28,89	71,11
200	231,7	41,91	70,8	29,2
FONDO	161,4	29,2	100	

RESULTADOS		
Límite Líquido	36,22	%
Límite Plástico	27,64	%
Índice Plástico	8,58	%
A.A.S.H.T.O	A-2-4	
Índice de Grupo	0	
S.U.C.S	SC	
Cu=	5,12	
Cc=	1,73	

Proyecto: SALAMINA
Localización: SALAMINA A5 TECHO
Descripción: LIMOARENOSO CAFÉ AMARILLENTO
Sondeo Nº 2
Profundidad
F. de Campo: JULIO 22/2016
Ensayo: AGOSTO 08/2016

LÍMITES DE CONSISTENCIA LÍMITE LÍQUIDO			
No. de Golpes	32	23	13
Recipiente No.	19B	17F	5Q
P1	46,32	50,27	53,26
P2	37,52	39,24	41,34
P3	17,2	15,32	16,7
% Humedad	43,31	46,11	48,38

LÍMITE PLÁSTICO		
2P	10K	12T
P1	32,5	34,61
P2	26,2	27,64
P3	9,6	8,7
% Humedad	37,95	36,8

HUMEDAD NATURAL			
Recipiente No.	P1	P2	P3
5X	580,4	492,3	101,5
Humedad Natural (%)			22,54

GRADACIÓN				
P1 g	552,8			
Tamiz	**Peso Retenido**	**% Retenido**	**% Acumulado**	**% Pasa**
2,1/2"				100
2"				100
1,1/2"				100
1"				100
3/4"				100
1/2"				100
3/8"				100
No. 4	12,3	2,5	2,5	97,5
10	46,8	9,51	12	88
40	102,4	20,8	32,81	67,19
200	174,2	35,38	68,19	31,81
FONDO	156,6	31,81	100	

RESULTADOS		
Límite Líquido	45,03	%
Límite Plástico	37,38	%
Índice Plástico	7,65	%
A.A.S.H.T.O	A-2-5	
Índice de Grupo	0	
S.U.C.S	SC	
Cu=	5,78	
Cc=	1,56	

La tabla 1 muestra los rangos y puntajes de la resistencia a compresión de las muestras analizadas.

Tabla 1. Resistencia a compresión simple de la roca intacta

Índice del ensayo de carga puntual (MPa)	Resistencia a Compresión Simple RCS (MPa)	Puntaje
>10	> 250	15
4-10 Mpa	100 - 250	12
2 - 4 Mpa	50 - 100	7
1 - 2 Mpa	25 - 50	4
__	5 - 25	2
__	1 - 5	1
__	< 1	0

Se relaciona en la tabla 2 los ensayos de la resistencia de los núcleos de roca de los diferentes tipos de materiales encontrados.

Tabla 2. Ensayo de la resistencia de compresión de los núcleos de roca 1

NÚCLEOS No.	FECHA DE TOMA DE NUCLEO DIA / MES / AÑO	FECHA ENSAYO DIA / MES / AÑO	UBICACIÓN DEL NUCLEO	PESO DEL NÚCLEO g	PESO UNITARIO g/cm³	DIÁMETRO cm	ALTURA cm	ÁREA cm²	RELACIÓN DE ESBELTEZ	FACTOR DE CORRECCIÓN	CARGA KN	RESISTENCIA ACTUAL Kg/cm2	MPa	P.S.I.
1	17/05/2016	24/05/2016	Muestra a 2,2m de altura del talud	165,70	2,932	3,30	6,60	8,57	1,998	1,006	25,62	306,5	30,1	4379
2	17/05/2016	24/05/2016		166,10	2,921	3,30	6,64	8,57	2,009	1,007	24,39	292,2	28,7	4174
3	17/05/2016	24/05/2016	Muestra a 1,5m de altura de talud	163,80	2,900	3,30	6,59	8,57	1,995	1,005	28,73	343,7	33,7	4910
4	17/05/2016	24/05/2016		164,90	2,924	3,30	6,58	8,57	1,992	1,005	28,12	336,2	33,0	4804

Fuente. Laboratorio

En la tabla 3 se muestran los rangos y puntajes específicos del RQD.

Tabla 3. RQD

R.Q.D. %	Puntaje
90 - 100	20
75 - 90	17
50 -75	13
25 - 50	8
< 25	3

Para las muestras analizadas se encontró un RQD de 97,55%.

Las descripciones con su respectivo puntaje para evaluar las condiciones de las discontinuidades se observan en la tabla 4.

Tabla 4. Condición de las discontinuidades

Descripción	Puntaje
muy rugosas, de poca extensión, paredes de roca resistente	30
Superficies poco rugosas, apertura menor a 1 mm, paredes de roca resistente	25
Ítem anterior, pero con paredes de roca blanda.	20
Superficies suaves o relleno de falla de 1 a 5 mm de espesor o apertura de 1 a 5 mm, las discontinuidades se extienden por varios metros.	10
Discontinuidades abiertas, con relleno de falla de más de 5 mm de espesor o apertura de más de 5 mm, las discontinuidades se extienden por varios metros	0

La tabla 5 relaciona los parámetros a considerar en la tabla anterior.

Tabla 5. Parámetros a tener en cuenta en la tabla 4

Long. Discontinuidad (persistencia)	< 1m 6	1 - 3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0
Abertura [mm]	Nada 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0
Rugosidad	Muy rugosa 6	Rugosa 5	Levemente 3	rug. Lisa 1	"pulida" 0
Tipo de relleno	Nada 6	Resistente >5mm 4	Resistente<5mm 2	Blando >5mm 2	Blando <5mm 0
Intemperización (alteración)	Inalterada 6	Levemente alt. 5	Moderada alt. 3	Muy alterada 1	descompuesta 0

En la tabla 6 se observan los rangos, descripciones y puntajes de las condiciones de agua subterránea.

Tabla 6. Condiciones de agua subterránea.

Filtración por cada 10 m de longitud del túnel (L/min)	Presión del agua en la discontinuidad dividido la tensión Principal Mayor	Descripción de las condiciones generales	Puntaje
Nada	0	Completamente seco	15
< 10	0,0 – 0,1	Apenas húmedo	12
10 - 25	0,1 – 0,2	Húmedo	7
25 – 125	0,2 – 0,5	Goteo	4
> 125	> 0,5	Flujo continuo	0

Se valora una serie de parámetros para la resistencia del macizo rocoso:

1. Resistencia del material intacto — Valor máximo: 15
2. RQD — Valor máximo: 20
3. Distancia de discontinuidades — Valor máximo: 20
4. Condición de las discontinuidades — Valor máximo: 30
5. Aguas subterránea — Valor máximo: 15

De acuerdo a los análisis del laboratorio se encontró para los diferentes tipos de materiales una resistencia del macizo rocoso de 64.

RMR: 1+2+3+4+5: 64

En la tabla 7 se observa las características, rangos y clases de la resistencia del macizo rocoso.

Tabla 7. Características de la Resistencia del Macizo Rocoso (RMR)

Clase (R.M.R.)	c [Kpa]	φ °	Calidad de la roca	RMR
I (81 - 100)	> 400	> 45	Muy buena	81- 100
II (61 - 80)	300 - 400	35 - 45	Buena	61-80
III (41 - 60)	200 - 300	25 - 35	Regular	41-60
IV (21 - 40)	100 - 200	15 - 25	mala	21-40
V (0 - 20)	< 100	< 15	Muy mala	0-20