



**Universidad<sup>®</sup>  
Católica**  
de Manizales

*ZONIFICACION DE AMENAZA Y EVALUACIÓN DEL ESCENARIO DE RIESGO POR  
MOVIMIENTOS EN MASA EN LA ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE COPER BOYACÁ.*

**ZONIFICACION DE AMENAZA Y EVALUACIÓN DEL ESCENARIO DE RIESGO  
POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE  
COPER BOYACÁ.**

**FABIAN RICARDO FONSECA VARGAS**  
Ingeniero Geólogo  
**DANIEL ANDRES ALZATE RIOS**  
Geólogo

**Monografía presentada como requisito para optar el título de Especialista en  
Prevención, Reducción y Atención de Desastres**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES  
ESPECIALIZACIÓN EN PREVENCIÓN, ATENCIÓN Y REDUCCIÓN DE  
DESASTRES  
MANIZALES**

**2019**



**Universidad<sup>®</sup>  
Católica**  
de Manizales

*ZONIFICACION DE AMENAZA Y EVALUACIÓN DEL ESCENARIO DE RIESGO POR  
MOVIMIENTOS EN MASA EN LA ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE COPER BOYACÁ.*

**ZONIFICACION DE AMENAZA Y EVALUACIÓN DEL ESCENARIO DE RIESGO  
POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE  
COPER BOYACÁ.**

**FABIAN RICARDO FONSECA VARGAS**  
**Ingeniero Geólogo**  
**DANIEL ANDRES ALZATE RIOS**  
**Geólogo**

**Monografía presentada como requisito para optar el título de Especialista en  
Prevención, Reducción y Atención de Desastres**

**Director**  
**Dr. ROGELIO PINEDA MURILLO**  
**Geólogo**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES**  
**ESPECIALIZACIÓN EN PREVENCIÓN, ATENCIÓN Y REDUCCIÓN DE**  
**DESASTRES**  
**MANIZALES**  
**2019**



## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>9</b>
<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>10</b>
<b>1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>11</b>
<b>2 JUSTIFICACION.....</b>	<b>12</b>
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
3.1.1 Objetivo General .....	13
3.1.2 Objetivos Específicos.....	13
<b>4 MARCO REFERENCIAL .....</b>	<b>14</b>
4.1 Teórico.....	14
4.1.1 Tipos de movimiento en masa.....	14
4.1.2 Deslizamientos .....	16
4.1.3 Flujos.....	18
4.1.4 Caídas .....	19
4.1.5 Propagaciones Laterales .....	20
4.2 Normativo.....	24
<b>5 LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO .....</b>	<b>29</b>
<b>6 METODOLOGIA GENERAL.....</b>	<b>32</b>
6.1 PROCESO 1. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DOCUMENTAL.....	32
6.2 PROCESO 2. ELABORACIÓN DE LOS ESTUDIOS BÁSICOS PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	32
6.2.1 Obtención de la información temática básica: .....	33
6.2.2 Levantamiento de información cartográfica en campo: .....	33
6.2.3 Procesamiento de la información obtenida .....	34
6.2.3.1 Modelo susceptibilidad por geomorfología.....	35
6.2.3.2 Modelo susceptibilidad por geología.....	35
6.2.3.3 Modelo susceptibilidad por cobertura y uso del suelo .....	36
6.2.3.4 Modelo susceptibilidad por suelos .....	36



6.2.3.5	Modelo susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa .....	37
6.2.3.6	Modelo detonantes por precipitación y sismo .....	37
6.2.3.7	Modelo amenaza por movimientos en masa .....	38
<b>6.3</b>	<b>PROCESO 3. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD .....</b>	<b>38</b>
6.3.1	Generación del mapa de vulnerabilidad total a Movimientos en Masa.....	40
<b>6.4</b>	<b>PROCESO 4. CARACTERIZACIÓN DEL ESCENARIO DE RIESGO. ....</b>	<b>42</b>
6.4.1	Mapa final de riesgo: .....	42
<b>7</b>	<b>ANÁLISIS Y RESULTADOS .....</b>	<b>43</b>
<b>7.1</b>	<b>ELABORACIÓN DE LOS ESTUDIOS BÁSICOS PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA.....</b>	<b>43</b>
7.1.1	<b>Geología.....</b>	<b>43</b>
7.1.1.1	Litología.....	44
7.1.1.2	Condición de susceptibilidad del componente geológico .....	46
7.1.2	<b>Geomorfología.....</b>	<b>49</b>
7.1.2.1	Morfometría. ....	50
7.1.2.2	Morfogénesis.....	54
7.1.2.3	Morfodinámica.....	57
7.1.2.4	Condición de susceptibilidad del componente geomorfológico. ....	62
7.1.3	<b>Suelos. ....</b>	<b>64</b>
7.1.3.1	Información de suelos. ....	64
7.1.3.2	Condición de susceptibilidad del componente suelo. ....	70
7.1.4	<b>Cobertura de la tierra.....</b>	<b>73</b>
7.1.4.1	Información de cobertura de la tierra. ....	73
7.1.4.2	Calificación de la Cobertura en Función de la Susceptibilidad. ....	76
7.1.4.3	Condición de susceptibilidad por el componente de cobertura de la tierra. ....	80
7.1.5	<b>Susceptibilidad por movimientos en masa.....</b>	<b>83</b>
7.1.5.1	Susceptibilidad Baja. ....	83
7.1.5.2	Susceptibilidad Moderada.....	84
7.1.5.3	Susceptibilidad Alta. ....	84
7.1.6	<b>Factores detonantes.....</b>	<b>85</b>
7.1.6.1	Factor detonante lluvia.....	85
7.1.6.2	Factor detonante sismo.....	86
7.1.7	<b>Amenaza por movimientos en masa.....</b>	<b>87</b>
7.1.7.1	Amenaza Baja. ....	90
7.1.7.2	Amenaza Moderada.....	90
7.1.7.3	Amenaza Alta.....	90
<b>7.2</b>	<b>AREAS CON CONDICION .....</b>	<b>91</b>
7.2.1	Áreas con condición de amenaza .....	91
7.2.2	Áreas con condición de riesgo.....	92
7.2.3	Áreas sin condición.....	94
<b>7.3</b>	<b>ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD .....</b>	<b>97</b>



7.3.1	Vulnerabilidad Poblacional.....	97
7.3.2	Vulnerabilidad Económica.....	99
7.3.3	Vulnerabilidad de la Infraestructura .....	100
7.3.4	Vulnerabilidad Total.....	102
7.4	CARACTERIZACION DEL ESCENARIO DE RIESGO .....	104
7.4.1	Riesgo Bajo .....	107
7.4.2	Riesgo Medio.....	107
7.4.3	Riesgo Alto .....	107
8	RECOMENDACIONES.....	108
9	CONCLUSIONES .....	109
10	BIBLIOGRAFÍA .....	111



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Clasificación de los movimientos en masa (modificado de varnes, 1978).....	15
<b>Figura 2.</b> Deslizamiento traslacional, (usgs, 2004).....	16
<b>Figura 3.</b> Deslizamiento traslacional a lo largo de planos de estratificación (skinner & porter, 1992).....	17
<b>Figura 4.</b> Deslizamiento rotacional, (tomado de usgs, 2004). ....	17
<b>Figura 5.</b> Flujo de lodos, (tomado de usgs, 2004). ....	18
<b>Figura 6.</b> Flujo de detritos (tomados de usgs, 2004). ....	19
<b>Figura 7.</b> Caídas de roca, (usgs, 2004). ....	19
<b>Figura 8.</b> Esquema de propagaciones laterales, (varnes, 1978).....	20
<b>Figura 9.</b> Localización municipio de Coper, boyacá. ....	30
<b>Figura 10.</b> Vía de acceso Coper - tunja. ....	31
<b>Figura 11.</b> Vía de acceso Coper - chiquinquirá. ....	31
<b>Figura 12.</b> Diagrama metodológico para zonificación de la amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:25000. ....	33
<b>Figura 13.</b> Jerarquía para la elaboración del mapa de susceptibilidad escala 1:25.000.....	34
<b>Figura 14.</b> Modelo susceptibilidad por geomorfología.....	35
<b>Figura 15.</b> Modelo susceptibilidad por geología.....	35
<b>Figura 16.</b> Modelo susceptibilidad por cobertura y uso del suelo.....	36
<b>Figura 17.</b> Modelo susceptibilidad por suelos.....	36
<b>Figura 18.</b> Modelo susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa.....	37
<b>Figura 19.</b> Modelo detonantes por precipitación y sismo.....	37
<b>Figura 20.</b> Modelo amenaza por movimientos en masa.....	38
<b>Figura 21.</b> Procedimiento general para análisis de vulnerabilidad por movimientos en masa. Estudios detallados, a escala 1:2000. ....	41
<b>Figura 22.</b> Mapa geológico del municipio de Coper. ....	43
<b>Figura 23.</b> Diagrama de variables dentro de la temática unidad geológica, con sus respectivos pesos. ....	44
<b>Figura 24.</b> Mapa de susceptibilidad por la variable geología. ....	47
<b>Figura 25.</b> Mapa geomorfológico del municipio de Coper. ....	49
<b>Figura 26.</b> Diagrama de atributos dentro de la variable geomorfología, con sus respectivos porcentajes. ....	50
<b>Figura 27.</b> Diagrama de atributos dentro de la variable morfometría, con sus respectivos porcentajes. ....	50
<b>Figura 28.</b> Mapa de pendientes del municipio de Coper. ....	51
<b>Figura 29.</b> Mapa de rugosidad del municipio de Coper.....	52
<b>Figura 30.</b> Mapa de acuenca del municipio de Coper. ....	54
<b>Figura 31.</b> Rangos de calificación morfogenética.....	57
<b>Figura 32.</b> Proceso metodológico en la construcción del atributo morfodinámico. ....	58
<b>Figura 33.</b> Distribución espacial de los movimientos inventariados en la zona rural. ....	62
<b>Figura 34.</b> Mapa de susceptibilidad por geomorfología.....	63



<b>Figura 35.</b>	Diagrama de atributos de calificación de la variable suelo, con sus respectivos porcentajes. ....	64
<b>Figura 36.</b>	Mapa de suelos del municipio de Coper. ....	65
<b>Figura 37.</b>	Mapa de susceptibilidad por suelos edáficos. ....	71
<b>Figura 38.</b>	Mapa de cobertura y uso actual. ....	74
<b>Figura 39.</b>	Atributos de la variable cobertura de la tierra, con sus respectivos porcentajes. ....	77
<b>Figura 40.</b>	Mapa de susceptibilidad por cobertura. ....	81
<b>Figura 41.</b>	Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa. ....	83
<b>Figura 42.</b>	Mapa factor detonante lluvia. ....	86
<b>Figura 43.</b>	Mapa factor detonante de sismicidad. ....	87
<b>Figura 44.</b>	Mapa de amenaza por movimientos en masa. ....	88
<b>Figura 45.</b>	Distribución en porcentajes de amenaza total. ....	88
<b>Figura 46.</b>	Mapa áreas en condición de amenaza. ....	91
<b>Figura 47.</b>	Mapa vías en condición de riesgo. ....	92
<b>Figura 48.</b>	Mapa de viviendas en condición de riesgo. ....	93
<b>Figura 49.</b>	Coberturas de la tierra en condición de riesgo. ....	94
<b>Figura 50.</b>	Mapa áreas sin condición de riesgo. ....	95
<b>Figura 51.</b>	Vulnerabilidad poblacional. ....	98
<b>Figura 52.</b>	Mapa de vulnerabilidad económica. ....	100
<b>Figura 53.</b>	Mapa de vulnerabilidad de la infraestructura. ....	101
<b>Figura 54.</b>	Rangos vulnerabilidad. ....	102
<b>Figura 55.</b>	Mapa de vulnerabilidad total. ....	103
<b>Figura 56.</b>	Relación porcentual áreas vulnerabilidad total. ....	104
<b>Figura 57.</b>	Distribución porcentual de las categorías de riesgo. ....	105
<b>Figura 58.</b>	Mapa de riesgo por movimientos en masa. ....	106



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Propuesta de calificación de las rocas dependiendo su fábrica y estructura.....	45
<b>Tabla 2.</b> Calificación propuesta tipo de fábrica.....	46
<b>Tabla 3.</b> Valoración parámetros geológicos.....	48
<b>Tabla 4.</b> Calificación de susceptibilidad de la pendiente. Tomado ingeominas 2011. ....	51
<b>Tabla 5.</b> Valores de calificación susceptibilidad de la rugosidad.....	53
<b>Tabla 6.</b> Clasificación de la susceptibilidad del atributo acuenca.....	53
<b>Tabla 7.</b> Atributos para la calificación de las unidades geomorfológicas. ....	55
<b>Tabla 8.</b> Calificación morfogenética del área de estudio.....	55
<b>Tabla 9.</b> Calificación del relieve relativo.....	59
<b>Tabla 10.</b> Calificación de la inclinación de la ladera.....	60
<b>Tabla 11.</b> Calificación de la textura de suelos.....	66
<b>Tabla 12.</b> Calificación de la taxonomía de suelos a nivel de orden.....	66
<b>Tabla 13.</b> Calificación de la taxonomía de suelos a nivel de orden.....	67
<b>Tabla 14.</b> Calificación de profundidad total.....	69
<b>Tabla 15.</b> Calificación del tipo de arcilla.....	70
<b>Tabla 16.</b> Valoración de parámetros del componente suelo.....	71
<b>Tabla 17.</b> Categorización y calificación de la profundidad efectiva.....	78
<b>Tabla 18.</b> Categorización y calificación de la variable drenaje profundo.....	78
<b>Tabla 19.</b> Categorización y calificación de la variable número de estratos.....	79
<b>Tabla 20.</b> Categorización y calificación de la variable evapotranspiración.....	80
<b>Tabla 21.</b> Valoración parámetros cobertura del suelo.....	81
<b>Tabla 22.</b> Parámetros de calificación y área de amenaza.....	89
<b>Tabla 23.</b> Distribución porcentual de la amenaza en el municipio de Coper.....	89
<b>Tabla 24.</b> Condición de áreas en la zona rural del municipio de Coper.....	96
<b>Tabla 25.</b> Relación porcentual condición de áreas.....	96
<b>Tabla 26.</b> Vulnerabilidad poblacional.....	98
<b>Tabla 27.</b> Vulnerabilidad económica.....	99
<b>Tabla 28.</b> Vulnerabilidad de la infraestructura.....	101
<b>Tabla 29.</b> Ponderación de las vulnerabilidades.....	102
<b>Tabla 30.</b> Vulnerabilidad total a movimientos en masa - municipio de Coper.....	104
<b>Tabla 31.</b> Parámetros de calificación y área de riesgo.....	106





## RESUMEN

La zonificación de amenazas y evaluación del escenario de riesgo por movimientos en masa en la zona rural del Municipio de Coper, Departamento de Boyacá, tiene como propósito elaborar un insumo técnico de relevancia que sirva como soporte en la toma de decisiones por parte de los entes territoriales.

Para la elaboración del estudio se han realizado una serie de actividades encaminadas a la recopilación, ajuste y procesamiento de información. En este sentido, se han consultado fuentes confiables de información como trabajos de grado referentes al tema, estudios previos realizados por el municipio, normatividad vigente, la ley 1523 de 2012 en lo concerniente a la inclusión de gestión del riesgo en los instrumentos de planificación territorial, metodologías como: el protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - escala 1:100.000, realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales "IDEAM" y la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa a escala detallada del Servicio Geológico Colombiano en concordancia con los decretos 1807 de 2014 y 1077 de 2015, además del levantamiento y corroboración de información temática en campo, de tal manera que se logre evaluar de forma precisa cada una de las variables involucradas en el cruce temático necesario para consolidar el modelo final.

Con la determinación del conjunto de datos geométricos como pendientes (PEND), acumulación de cuenca (ACUENCA), orientación (ORIEN) y densidad de drenaje (DENS), en concordancia con el conjunto de datos temáticos como litología (LITO), competencia (COMPE), uso y conflictos del suelo (USO), erosión y geomorfología, se realiza la evaluación de la susceptibilidad por geología, geomorfología, suelos edáficos y cobertura de la tierra, que arroja como resultado el mapa de susceptibilidad total, dicha susceptibilidad se procesa en conjunto con los factores detonantes sismo y lluvia, para definir el mapa de amenaza por movimientos en masa, insumo necesario para realizar el cruce temático con los diferentes tipos de vulnerabilidad evaluados en la zona rural y obtener como resultado final el mapa de riesgo por movimientos en masa a escala 1:25000.



## INTRODUCCION

Durante las últimas tres décadas, a raíz de la ocurrencia de desastres de origen socio-natural, se han expedido en Colombia reglamentaciones relacionadas con la administración y desarrollo físico del territorio, la utilización del suelo y la gestión del riesgo de desastres, cuya adopción ha requerido de la elaboración de estudios técnicos que permitan tomar decisiones efectivas de planificación y al mismo tiempo incorporar la gestión del riesgo en el ordenamiento territorial de los municipios. Dentro de la normatividad de ordenamiento territorial resalta la Ley 388 de 1997 y los Decretos 879 de 1998, 3600 de 2007, 1807 de 2014, 1077 de 2015, o de gestión del riesgo de desastres como la Ley 1523 de 2012, entre otras, que han sido iniciativas lideradas desde el gobierno nacional, en cuya reglamentación se ha dado relevancia al conocimiento del territorio como una premisa para contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y el desarrollo sostenible.<sup>1</sup>

En el municipio de Coper se logró identificar que la problemática principal en cuanto a fenómenos naturales está asociada a la ocurrencia de movimientos en masa, dichos fenómenos están generando hundimientos y posterior daño estructural de las viviendas y bienes públicos, además del deterioro, obstrucción y pérdida de la banca vial del casco urbano y zona rural del Municipio, dicha problemática tiene afectación directa en los medios de vida de los habitantes, ya que este municipio basa su economía en la agricultura, ganadería y turismo, esta situación es desfavorable si le comparamos con los municipio colindantes como Muzo y Quípama, que basan su economía principalmente en la minería y tienen como actividades secundarias la agricultura y la ganadería.

Teniendo en cuenta la ocurrencia de movimientos en masa en el municipio, se elaboró la zonificación por movimientos en masa a escalas rural, donde se realiza la evaluación de la susceptibilidad total, la zonificación de amenaza por movimientos en masa, la evaluación de los diferentes tipos de vulnerabilidad y finalmente la caracterización del riesgo a nivel rural, dichos insumos aportan argumentos técnicos en la toma de decisiones por parte de los entes territoriales.

---

<sup>1</sup> Guía Metodológica para la zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa Escala 1.25000, 2017.



## 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El conocimiento en la gestión del riesgo de desastres es un componente de vital importancia para el desarrollo integral de todos los municipios en el territorio colombiano, por ende se necesita el desarrollo de estrategias y políticas que inculquen el crecimiento en los estudios e investigaciones, esta es una de las problemáticas a la que se ve enfrentada el país, el desarrollo de estudios básicos y de detalle especificados en el decreto 1807 de 2014 son los cimientos para conocer en detalle los fenómenos y escenarios de las zonas del país.

Los movimientos en masa son un fenómeno muy recurrente debido a nuestra geografía y el municipio de Coper no es ajeno a esto, la necesidad de realizar estudios donde se identifiquen y caractericen todas las condiciones geológicas, geomorfológicas, morfométricas y de suelos radica en conocer a fondo el territorio y que se identifiquen zonas susceptibles, vulnerables y con amenazas altas frente a este fenómeno.

La gestión del riesgo es un proceso social que su fin principal es preservar la vida de la población y por esta razón estos estudios técnicos darán una visión a los actores y tomadores de decisiones para establecer acciones prioritarias y futuras para la mitigación de dicho fenómeno.

Con el análisis efectuado en este estudio se pretende enriquecer el conocimiento de los fenómenos socio-naturales en el país, y así hacer un aporte a la problemática de la región.



## 2 JUSTIFICACION

El municipio de Coper presenta afectación por movimientos en masa, tanto en su casco urbano como en el rural, este estudio se centrará en el componente rural, análisis realizado a una escala de 1:25000.

De acuerdo al decreto 1807 de 2014 se requiere realizar por parte de los municipios un estudio de detalle que esclarezca con precisión las zonas de mayor afectación, con esto se fortalece el conocimiento y se obtienen bases para la formulación de estrategias y políticas que ayuden a la mitigación de este fenómeno.

El municipio no cuenta con una base de datos y de información grande que sirva para ordenar adecuadamente el territorio, frente a este escenario de carencias y debilidades para la gestión del riesgo de desastres, este documento provee un mayor espectro de lo que es el territorio rural de la zona.

El aumento de este fenómeno es producido por una combinación de factores que desencadenan eventos que ponen en riesgo la vida de la población y causan afectaciones a los bienes y al ecosistema, en este estudio se evalúan las diferentes capas temáticas para así obtener la caracterización del escenario de riesgo, además de efectuarse un análisis de susceptibilidad, vulnerabilidad y riesgo coherente.

El resultado de este trabajo es de utilidad para los líderes municipales que tengan injerencia en la toma de decisiones, pues fortalece el conocimiento y con los resultados obtenidos, como la caracterización de las zonas susceptibles, áreas con condición de riesgo, amenaza y vulnerabilidad sirven para ser tenidas en cuenta en el ordenamiento del territorio.



### 3 OBJETIVOS

#### 3.1.1 Objetivo General

Evaluar los escenarios de riesgo por movimientos en masa en la zona rural del municipio de Coper Boyacá a escala 1:25000.

#### 3.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar el nivel de amenaza por movimientos en masa en la zona rural del municipio.
- Establecer las áreas en condición de amenaza, riesgo, e identificar los elementos expuestos a escala 1:25000.
- Analizar los tipos de vulnerabilidad y el escenario de riesgo a nivel rural.



## 4 MARCO REFERENCIAL

### 4.1 TEÓRICO

Para un mejor entendimiento en cuanto a la terminología empleada en el presente trabajo se procede a dar una definición de las terminologías más representativas que han sido utilizadas.
















Los movimientos en masa hacen referencia a la modelación del territorio mediante la ocurrencia de geodinámica externa, en el cual se involucran factores intrínsecos del terreno como su composición física, química y mecánica, y a su vez factores morfométricos del terreno como la pendiente y forma de las laderas, delimitando así los el comportamiento del terreno, los cuales a su vez son detonados por agentes externos a los materiales, como los producidos naturalmente (sismos y las lluvias) y antrópicos como la actividad humana.

Para comprender la recurrencia por movimientos en masa en el municipio de Coper, se realiza una consulta en las diferentes fuentes, de las cuales se tienen registrados 6 informes en Desinventar y en el CDGRD antiguo Crepad un informe. A nivel del Departamento de Boyacá el municipio de Coper en función de la tendencia por ocurrencia de movimientos en masa y basados en el concepto estadístico de moda, el cual indica la frecuencia absoluta con la que se repite un valor, se le fue asignado en una escala de punto intermedio 2, ya sea porque sus deslizamientos presentan un ciclo de tiempo mayor en ocurrencia o porque no se ha documentado de manera óptima los movimientos en masa ocurridos. Cuy J. (2009) Revisión histórica de movimientos en masa en el Departamento de Boyacá, “dentro del marco del proyecto de “investigación aplicada a la modelación del territorio a partir del análisis geomorfológico del Departamento de Boyacá” Tesis de pregrado Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

#### 4.1.1 Tipos de movimiento en masa

Los movimientos en masa a modo general se dividen en deslizamientos, flujos, caídas, propagaciones laterales, y movimientos complejos los cuales componen dos o más de los anteriormente mencionados (Figura 1).

Figura 1. Clasificación de los movimientos en masa (modificado de Varnes, 1978).

TIPO DE MOVIMIENTO	VARIANTES	ROCAS	DERRUBIOS	SUELOS
Caidas	Desprendimientos			
	Vuelcos			
Deslizamientos	Rotacionales (slump)			
	Traslacionales			
Expansión lateral				
Flujos	Corriente de derrubios (debris flow)			
	Colada fangosa (earthflow)			
	Reptación (creep)			
Complejos		Combinación de dos o más tipos de movimientos.		

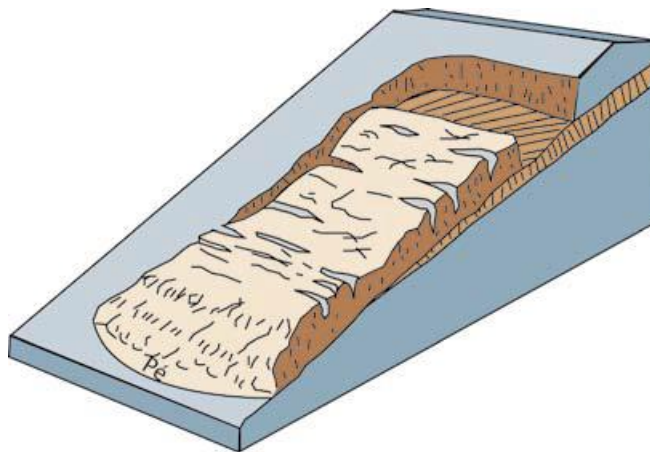
**Fuente:** Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000, Servicio Geológico Colombiano SGC, 2012.

#### 4.1.2 Deslizamientos

Consiste en movimientos de desplazamiento generados en laderas (Ladera Abajo), sobre una o más superficies planas o curvas, denominadas superficies o planos de falla, generalmente son movimientos detonados por sismos, periodos de lluvias intensas o la acción del hombre mediante la desestabilización del terreno mediante cortes de diferentes tipos, deforestación o cargas ubicadas sobre el terreno. Los deslizamientos generados sobre planos de falla de geometría plana se denominan deslizamientos traslacionales, mientras que los generados a partir de planos de falla curvos se denominan rotacionales.

- **Deslizamiento Traslacional:** Por lo general consisten en movimientos importantes del cuerpo del talud sobre superficies de falla básicamente planas, asociadas a la presencia de estratos poco resistentes localizados a poca profundidad del talud. Los estratos débiles que favorecen estas fallas son comúnmente arcillas blandas o de arenas finas o limos no plásticos sueltos. Con mucha frecuencia, la debilidad del estrato está ligada a la capacidad de infiltración en los materiales o a fenómenos de elevación de presión de agua en estratos de arena (Acuíferos), ver Figura 2 y 3.

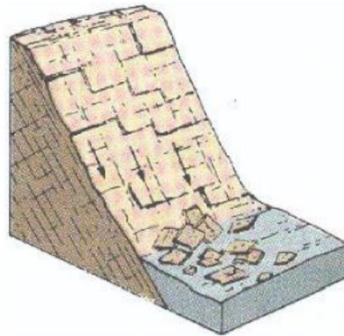
**Figura 2.** Deslizamiento Traslacional, (USGS, 2004).



**Fuente:** Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000, Servicio Geológico Colombiano SGC, 2012



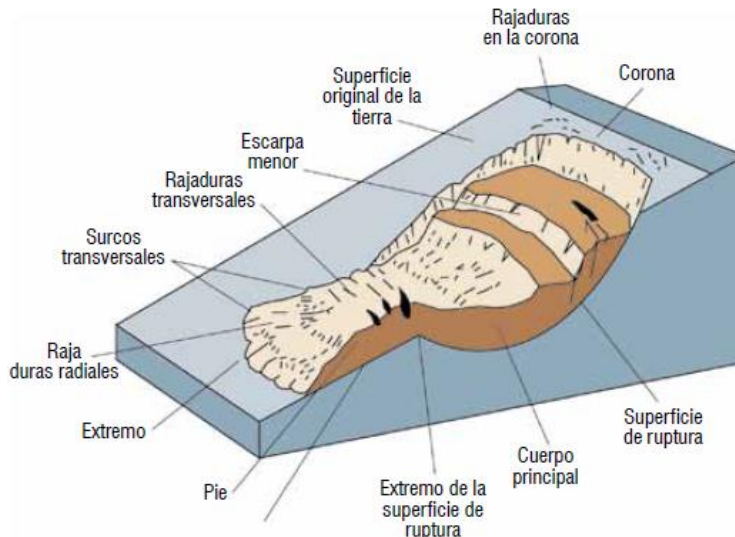
**Figura 3.** Deslizamiento traslacional a lo largo de planos de estratificación (Skinner & Porter, 1992).



**Fuente:** Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000, Servicio Geológico Colombiano SGC, 2012.

- **Deslizamiento Rotacional:** En primer lugar, se define una superficie de falla curva, a lo largo de la cual ocurre el movimiento del talud, en la que por general influye la secuencia geológica local, el perfil estratigráfico y la naturaleza de los minerales. Este tipo de fallas ocurren por lo común en materiales arcillosos homogéneos o suelos cuyo comportamiento mecánico este regido básicamente por su fracción arcillosa, ver Figura 4.

**Figura 4.** Deslizamiento Rotacional, (tomado de USGS, 2004).



**Fuente:** Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000, Servicio Geológico Colombiano SGC, 2012.

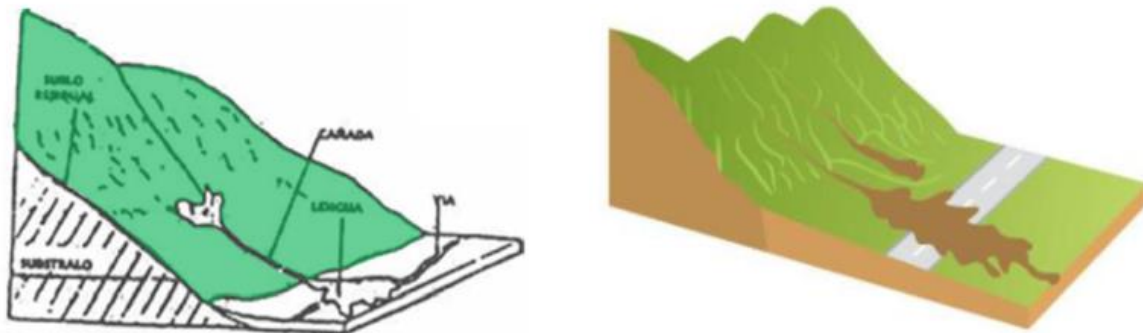
### 4.1.3 Flujos

Son movimientos espacialmente continuos en los que las superficies de cizalla tienen corta vida, se encuentran muy próximas y generalmente no se conservan. La distribución de velocidades en la masa desplazada se parece a la que se presenta en un fluido viscoso. Por este motivo, la masa movida no conserva la forma en su movimiento descendente, adoptando a menudo, formas lobuladas cuando interesan a materiales cohesivos y desparramándose por la ladera o formando conos de deyección cuando afectan a materiales granulares.<sup>2</sup>

Dependiendo de su composición, los flujos se clasifican en:

- **Flujos de Lodos:** Se conocen como flujos de lodos cuando los materiales térreos que lo componen se encuentran en saturación total, superando el límite plástico de dicho material, es así, que asume un comportamiento líquido – plástico, ver Figura 5.

**Figura 5.** Flujo de Lodos, (tomado de USGS, 2004).

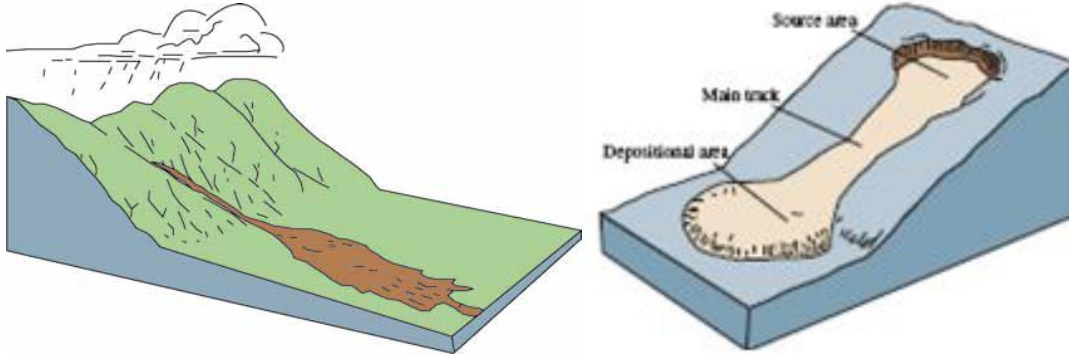


**Fuente:** Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000, Servicio Geológico Colombiano SGC, 2012.

- **Flujo de Tierra:** Se componen por suelos en estado seco o de humedad baja, generalmente son movimientos detonados por las altas pendientes de las laderas, generalmente son movimientos pequeños, pero de alta velocidad.
- **Flujos de Detritos:** Hace referencia a los flujos que se componen de rocas de pequeño tamaño o detritos, cuya cohesión es más baja que los movimientos del material, generalmente se encuentran en condiciones de saturación parcial o total, ver Figura 6.

<sup>2</sup> TIPOS DE ROTURA EN LADERAS Y TALUDES, J. Corominas, Artículo Universidad Politécnica de Cataluña. Pág. 9.

Figura 6. Flujo de detritos (Tomados de USGS, 2004).

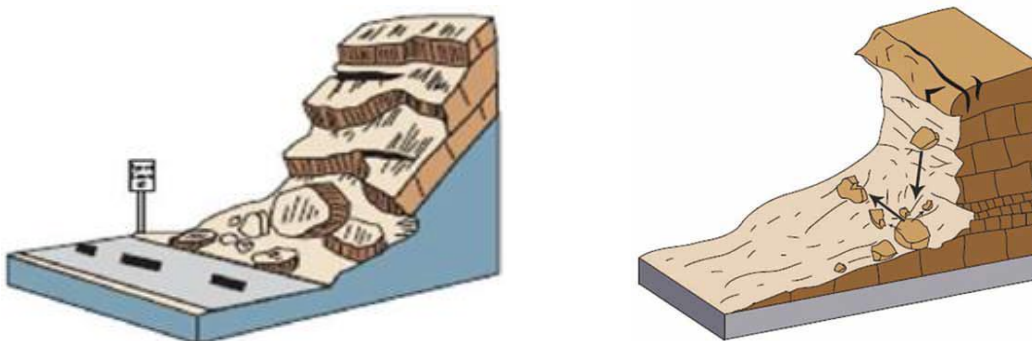


**Fuente:** Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000, Servicio Geológico Colombiano SGC, 2012.

#### 4.1.4 Caídas

Todas las caídas se inician con un desprendimiento de suelo o roca de una ladera muy empinada, a lo largo de una superficie en la que poco o ningún desplazamiento cortante se desarrolla (Cruden & Varnes, 1996). El material desciende en caída libre, saltando o rodando. Solo cuando la masa desplazada es socavada, las caídas son precedidas por pequeños deslizamientos o movimientos de basculamiento que separan el material de la masa no perturbada (Cruden & Varnes, 1996). El socavamiento ocurre típicamente en suelos cohesivos o rocas al pie de escarpes que sufren el ataque de las olas o debido a la erosión de márgenes de ríos.<sup>3</sup>

Figura 7. Caídas de roca, (USGS, 2004).



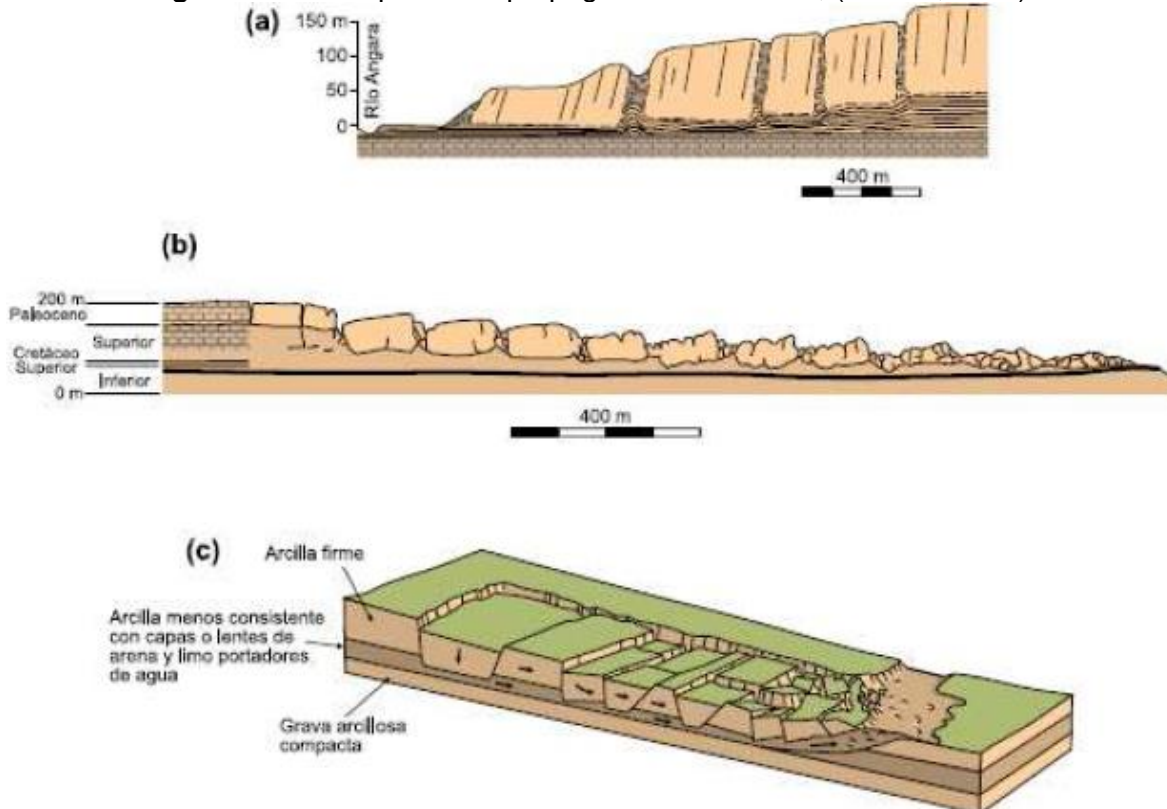
**Fuente:** Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000, Servicio Geológico Colombiano SGC, 2012.

<sup>3</sup> Propuesta Metodológica Sistemática Para La Generación De Mapas Geomorfológicos Analíticos Aplicados A La Zonificación De Amenaza Por Movimientos En Masa Escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá D.C. febrero de 2012. Pág. 73,74.

#### 4.1.5 Propagaciones Laterales

Se define como una extensión de una masa cohesiva de suelo o roca, combinada con la subsidencia del material fracturado en un material subyacente más blando (Cruden & Varnes, 1996)<sup>4</sup>, Ver Figura 8.

Figura 8. Esquema de propagaciones laterales, (Varnes, 1978).



**Fuente:** Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000, Servicio Geológico Colombiano SGC, 2012.

<sup>4</sup> PROPUESTA METODOLÓGICA SISTEMÁTICA PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS GEOMORFOLÓGICOS ANALÍTICOS APLICADOS A LA ZONIFICACION DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá D.C. febrero de 2012. Pág. 80.



**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL RIESGO:** implica la consideración de las causas y fuente del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es el modelo, mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar posibles efectos sociales, económicos, ambientales y sus probabilidades. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y la recuperación.

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

**CONOCIMIENTO DEL RIESGO:** Es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo, el monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre.

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

**MANEJO DE DESASTRES:** Es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la preparación para la respuesta a emergencias, la preparación para la recuperación post desastre, la ejecución de dicha respuesta y la ejecución de la respectiva recuperación, entiéndase: rehabilitación y recuperación.

**REDUCCIÓN DEL RIESGO:** Es el proceso de la gestión del riesgo, está compuesto por la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes, entiéndase: mitigación del riesgo y a evitar nuevo riesgo en el territorio, entiéndase: prevención del riesgo. Son medidas de mitigación y prevención que se adoptan con antelación para reducir la amenaza, la exposición y disminuir la



vulnerabilidad de las personas, los medios de subsistencia, los bienes, la infraestructura y los recursos ambientales, para evitar o minimizar los daños y pérdidas en caso de producirse los eventos físicos peligrosos. La reducción del riesgo la componen la intervención correctiva del riesgo existente, la intervención prospectiva de nuevo riesgo y la protección financiera.

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

### **VULNERABILIDAD:**

“La vulnerabilidad da una idea de la sensibilidad de las personas, de los sistemas económicos y de los ecosistemas, de ser potencialmente afectados”<sup>5</sup>, según diversos autores la vulnerabilidad es:<sup>6</sup>

- La Real Academia de la Lengua Española (RAE, 2012), se refiere la cualidad de vulnerable, es decir a la posibilidad de ser herido o de recibir alguna lesión física o moral.
- La estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (ONU/EIRD, 2004), indica que la vulnerabilidad es una “condición determinada por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales, que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto por amenazas”.
- El IPCC (2007; 2012), “la vulnerabilidad es el grado al cual un sistema es susceptible e incapaz de hacer frente a los efectos adversos al cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los extremos”.
- El IPCC, 2012 “la vulnerabilidad es el conjunto de condiciones físicas, sociales y económicas que inciden en la posibilidad de afectación de las personas, de un sistema social y/o natural, debido a la ocurrencia de

---

<sup>5</sup> Guía Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad ante Cambio Climático, realizado en el marco del Proyecto de la Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC), México, 2012, pág. 13.

<sup>6</sup> Zonificación del riesgo, propuesta metodológica de evaluación de la vulnerabilidad por movimientos en masa, área urbana del municipio de Tenza Boyacá.



fenómenos naturales, y que están en relación con su exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa”.

- **La Ley 1523 del 2012**, “Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos.
- Según el (SGC, 2016<sup>7</sup>. Pág. 85) y “de acuerdo con el Decreto 1807 de 2014, promulgado por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, las etapas generales que se deben seguir para evaluar la vulnerabilidad son: a) Identificación y localización de los elementos expuestos; b) Caracterización de los elementos expuestos: tipología, exposición y resistencia; c) Tipos de daño o efectos esperados como resultado de los escenarios de vulnerabilidad; d) Zonificación de la vulnerabilidad”.
- “la vulnerabilidad corresponde a la probabilidad de que una comunidad, expuesta a una amenaza natural, tecnológica o antrópica más generalmente, según el grado de fragilidad de sus elementos (infraestructura, vivienda, actividades productivas, grado de organización, sistemas de alerta, desarrollo político institucional entre otros), pueda sufrir daños humanos y materiales en el momento del impacto del fenómeno. La magnitud de estos daños estará asociada con el grado de vulnerabilidad. Una forma resumida de definir la vulnerabilidad puede ser la probabilidad de que, debido a la intensidad del evento y a la fragilidad de los elementos expuestos, ocurran daños en la economía, la vida humana y el ambiente. Este enfoque hacia la vulnerabilidad contempla factores físicos, sociales, políticos, tecnológicos, ideológicos, institucionales, culturales y educativos que, a su vez, se relacionan dentro de la realidad de la vulnerabilidad”.<sup>8</sup>

---

<sup>7</sup> Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa del año 2016, MINMINAS – Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2016).

<sup>8</sup> Indicadores para la Gestión de Riesgos. Operation ATN/JF-7907-RG. Amenaza, vulnerabilidad, riesgo, desastre, mitigación, prevención...Anne-Catherine Chardon & Juan Leonardo González. 38 pág. 2016.



- (Davidson, 2000 y Michellier, 1999) consideran que, en el campo de la vulnerabilidad, es necesario contemplar, por un lado, los elementos vulnerables (es decir expuestos: población, obras ingenieriles, bienes, actividades, líneas vitales, elementos sociales, económicos, culturales, ambientales) y por el otro, la vulnerabilidad como tal.
- Cardona y Sarmiento escriben que es el nivel o grado al cual un sujeto o elemento expuesto puede verse afectado cuando está sometido a una amenaza, donde el sujeto amenazado es aquel que compone el contexto social o material de una comunidad, como los habitantes y sus propiedades, una actividad económica, los servicios públicos.
- Cardona (2001a) expresa parte de las ideas anteriores, cuando escribe que la vulnerabilidad es la predisposición, susceptibilidad o factibilidad física, económica, política o social que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir daños en caso de que un fenómeno desestabilizador de origen natural o antrópico se manifieste. Dicha comunidad carece entonces de la capacidad para adaptarse o ajustarse a determinadas circunstancias.
- La CEPAL y el BID (2000) tienen una visión un poco distinta de las anteriores, puesto que introducen el aspecto probabilístico en el concepto, diciendo que la vulnerabilidad es la probabilidad de que una comunidad expuesta a una amenaza natural, según el grado de fragilidad de sus elementos (infraestructura, vivienda, actividades productivas, grado de organización, sistemas de alerta, desarrollo político-institucional...), pueda sufrir daños humanos y materiales.

## 4.2 NORMATIVO

Se referencian las leyes que tienen relación con la temática desarrollada. Teniendo en cuenta el Decreto 1077 de 2015 que compila el decreto 1807 de 2014, que orienta a las administraciones municipales sobre la incorporación de la GR en los procesos de ordenamiento territorial y las consideraciones de estudios básicos y detallados para procesos de remoción en masa, inundaciones y avenidas torrenciales se tiene:

**Artículo 2.** De acuerdo con el decreto 1807 del 2014.” Teniendo en cuenta el principio de gradualidad de que trata la Ley 1523 de 2012, se deben realizar los estudios básicos para la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los





planes de ordenamiento territorial o la expedición de nuevos planes y en su ejecución se deben realizar los estudios detallados”.

**Artículo 3.** Estudios básicos para la revisión o expedición de Planes de Ordenamiento Territorial (POT). De conformidad con lo dispuesto en el artículo anterior para la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial o la expedición de nuevos planes, se deben elaborar estudios en los suelos urbanos, de expansión urbana y rural para los fenómenos de inundación, avenidas torrenciales y movimientos en masa, que contienen:<sup>9</sup>

1. La delimitación y zonificación de las áreas de amenaza;
2. La delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza en las que se requiere adelantar los estudios detallados.
3. La delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo en las que se requiere adelantar los estudios detallados.
4. La determinación de las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas (Según escala).

**Parágrafo 1º.** Para efectos de la aplicación de lo dispuesto en el presente decreto, se adoptan las siguientes definiciones:

**Áreas con condición de amenaza**, son las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo.

**Áreas con condición de riesgo**, corresponden a las zonas o áreas del territorio municipal clasificadas como de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas, así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos (salud, educación, otros) e infraestructura de servicios públicos.

---

<sup>9</sup> Decreto número 1807 de 2014, por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto-ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial.



**Delimitación**, consiste en la identificación del límite de un área determinada, mediante un polígono. Debe realizarse bajo el sistema de coordenadas oficial definido por la autoridad cartográfica nacional y su precisión estará dada en función de la escala de trabajo.

**Zonificación**, es la representación cartográfica de áreas con características homogéneas. Debe realizarse bajo el sistema de coordenadas oficial definido por la autoridad cartográfica nacional y su precisión estará dada en función de la escala de trabajo.

### **Ley 1523 de 2012**

**Artículo 1.** Política nacional de gestión del riesgo de desastres, de acuerdo con la Ley 1523 de 2012 ésta se define como un proceso social enfatizado a la: “formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, 41 NORMA JURÍDICA ARTÍCULOS APLICABLES medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres”, todo esto con el objeto de garantizar la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas así como propender por el desarrollo sostenible.

**Artículo 3.** Principios generales que orientan a una gestión del riesgo, siendo estos los principios de igualdad, protección, autoconservación, sostenibilidad ambiental, principio de precaución, entre otras.

**Artículo 4.** Definición de la gestión del riesgo, según la Ley 1523 de 2012 es: “un proceso social de planeación, ejecución y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo” con el objeto de evitarlo, reducirlo o controlarlo cuando éste ya existe.

**Artículo 5.** Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, de acuerdo a la Ley 1523 de 2012 se define como: “un conjunto integrado de entidades públicas, privadas y comunitarias, así como de políticas, normas, procesos, recursos, planes, estrategias, instrumentos y mecanismos que se aplican de manera organizada para garantizar la gestión del riesgo en el país.”

**Artículo 32.** Instrumentos de planificación: Planes de Gestión del Riesgo, los cuales serán formulados e implementados por parte del gobierno, la Ley 1523 de 2012 determina que el fin de éstos son: “priorizar, programas y ejecutar acciones por parte



de las entidades del sistema nacional, en el marco de los procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y de manejo de desastres.”

**Artículo 37.** Planes departamentales, distritales y municipales de gestión del riesgo y estrategias de respuesta, donde la Ley 1523 de 2012 establece que: “se formulará un plan de gestión del riesgo de desastres y una estrategia para la respuesta a emergencias de su respectiva jurisdicción.”

**Artículo 39.** Incorporación de la gestión del riesgo dentro del marco de la planificación territorial y del desarrollo.

**Artículos 47 y 48.** Mecanismos de financiación para la gestión del riesgo de desastres siendo el más importante el Fondo Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres.

### **Ley 388 de 1997**

**Artículo 5. CONCEPTO.** El ordenamiento del territorio municipal y distrital comprende un conjunto de acciones político-administrativas y de planificación física concertadas, emprendidas por los municipios o distritos y áreas metropolitanas, en ejercicio de la función pública que les compete, dentro de los límites fijados por la Constitución y las leyes, en orden a disponer de instrumentos eficientes para orientar el desarrollo del territorio bajo su jurisdicción y regular la utilización, transformación y ocupación del espacio, de acuerdo con las estrategias de desarrollo socioeconómico y en armonía con el medio ambiente y las tradiciones históricas y culturales.

**Artículo 6. OBJETO.** El ordenamiento del territorio municipal y distrital tiene por objeto complementar la planificación económica y social con la dimensión territorial, racionalizar las intervenciones sobre el territorio y orientar su desarrollo y aprovechamiento sostenible, mediante:

1. La definición de las estrategias territoriales de uso, ocupación y manejo del suelo, en función de los objetivos económicos, sociales, urbanísticos y ambientales.
2. El diseño y adopción de los instrumentos y procedimientos de gestión y actuación que permitan ejecutar actuaciones urbanas integrales y articular las actuaciones sectoriales que afectan la estructura del territorio municipal o distrital.
3. La definición de los programas y proyectos que concretan estos propósitos.



El ordenamiento del territorio municipal y distrital se hará tomando en consideración las relaciones intermunicipales, metropolitanas y regionales; deberá atender las condiciones de diversidad étnica y cultural, reconociendo el pluralismo y el respeto a la diferencia; e incorporará instrumentos que permitan regular las dinámicas de transformación territorial de manera que se optimice la utilización de los recursos naturales y humanos para el logro de condiciones de vida dignas para la población actual y las generaciones futuras.

**Artículo 9.** Plan de Ordenamiento Territorial (POT), la Ley 388 de 1997 lo define “como un conjunto de objetivos, directrices, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas”, las cuales están enfocadas a una adecuada administración del desarrollo físico del territorio así como de la utilización del suelo [63], clasificados así: “Planes de ordenamiento territorial (Distritos y municipios con población mayor a 100.000 habitantes), Planes básicos de ordenamiento territorial (Municipios con población entre 30.000 y 100.000 habitantes) y Esquemas de ordenamiento territorial (Municipios con población inferior a 30.000 habitantes).”



## 5 LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO

Coper pertenece a la provincia de occidente del Departamento de Boyacá, dista de la capital del Departamento 142 Kms. Su cabecera está localizada a los 05° 28' 40" de latitud Norte y 74° 02' 55" de longitud Oeste. Sus altitudes oscilan entre las cotas de 600 y 2600 m.s.n.m. Las condiciones climáticas nos presentan una Temperatura media de 23°C y una Precipitación media anual de 3.152 mm; lo cual permite que en el mismo territorio confluyan tres pisos climáticos y por ende diversidad de productos. El casco urbano se encuentra ubicado a 950 m.s.n.m.

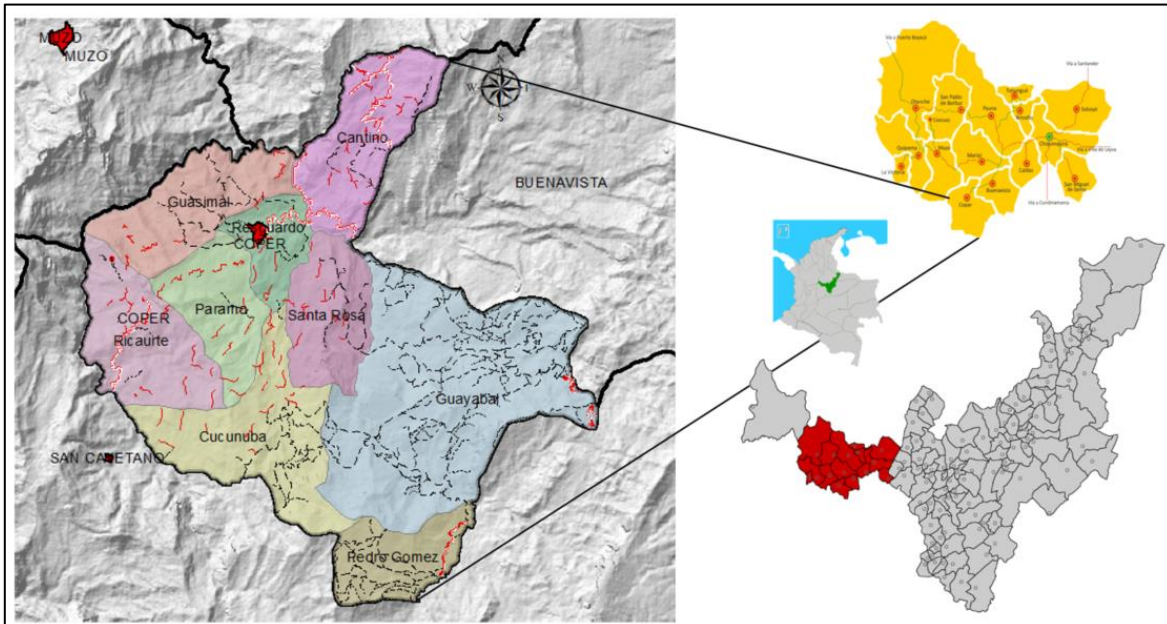
Limita por el Norte con el Municipio de Maripí (Boyacá), por el Sur con los municipios de Paimé y San Cayetano (Cundinamarca), por el Occidente con el Municipio de Muzo (Boyacá) y por el Oriente con los Municipios de Buenavista (Boyacá) y Carmen de Carupa (Cundinamarca), Ver Figura 9.

Coper tiene una extensión de 202 Kms<sup>2</sup> y por su topografía presenta tres pisos térmicos así: Caliente 171 Kms<sup>2</sup>, Templado 17 Kms<sup>2</sup> y Frío 14 Kms<sup>2</sup>.

Administrativamente está dividido en 10 veredas: Cantino, Resguardo, Guasimal, Santa Rosa, Turtur, Guayabal, Pedro Gómez, Cucunubá, Páramo y Ricaurte. Los límites veredales se demarcan en general por divisorias de aguas o ríos importantes, por lo cual existe coincidencia con las cuencas hidrográficas. El casco urbano municipal se encuentra en la vereda resguardo la cual debe su nombre al resguardo indígena existente en la zona a finales del siglo XVI. Las veredas más cercanas al casco Urbano son Guasimal, Páramo, Santa Rosa, y Cantino, mientras que Turtur, Guayabal, Cucunubá, Pedro Gómez y Ricaurte son las más alejadas.

Coper pertenece a la Hoya del río Minero y tiene varios afluentes. En su jurisdicción se encuentran los siguientes ríos: Villamizar, Guazo o Cantino, Palenque y Turtur. Además, es regado por las quebradas de: Santa rosa, Gasparón, Colorada, Palmichal, Arenal, La Loja y de los Monos, San Rafael, Negra, San Pedro, Chorrera, Cangrejera, Chorrerón, Ramal, Agua Azul, La Salina, el Salto, Sororí, Zapotal, Carbonera, Subicha, Chiripí y Agua Fría. El río Villamizar sirve de límites con los municipios de San Cayetano, Paimé y Muzo. El promedio de lluvias anual es de 1662 m.m.

Figura 9. Localización Municipio de Coper, Boyacá.



Fuente: Los Autores, 2019 y Fondo mixto de cultura de Boyacá, Gobernación de Boyaca,2017.

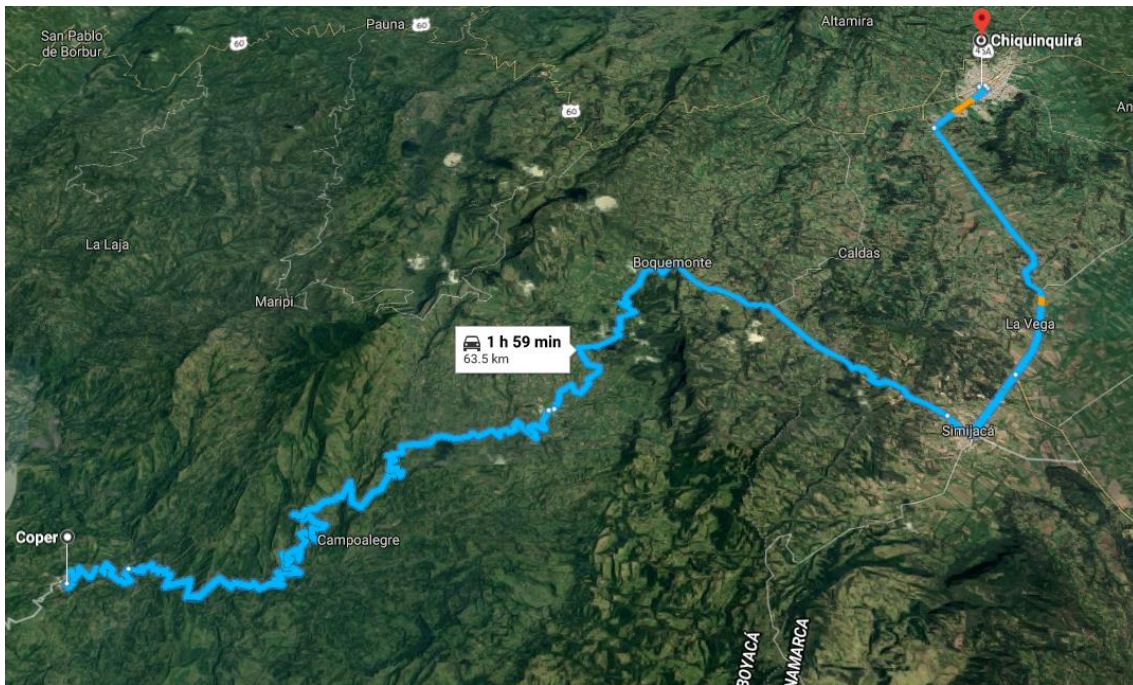
El municipio de Coper, en el Departamento de Boyacá, dista de la Ciudad de Tunja, Capital del Departamento aproximadamente de 142 Km – 3:34 horas promedio y desde Chiquinquirá capital provincial dista a 63 Km – 2:00 horas aproximadamente, en vías intermunicipales que se encuentran en regular estado, (**Ver Figuras 10 y 11**).

Figura 10. Vía de acceso Coper - Tunja.



Fuente: Google Earth, 2019.

Figura 11. Vía de acceso Coper - Chiquinquirá.



Fuente: Google Earth, 2019.



## 6 METODOLOGIA GENERAL

Para la evaluación del escenario de Riesgo en la zona rural del Municipio de Coper, Departamento de Boyacá, se contemplaron cuatro procesos, cuyo objetivo es generar un insumo técnico – científico de gran relevancia para los tomadores de decisiones a nivel municipal en cuanto a gestión del riesgo respecta. A continuación de describe cada uno de los procesos metodológicos:

### 6.1 PROCESO 1. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DOCUMENTAL

Para la generación de mapas temáticos que describan las condiciones de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo de estudios básicos para la zonificación del territorio, se han realizado una serie de actividades encaminadas a la recopilación, ajuste y procesamiento de información secundaria disponible. En este sentido, se han consultado fuentes confiables de información como trabajos de grado referentes al tema, estudios previos realizados por el municipio, normatividad vigente, la ley 1523 de 2012 en lo concerniente a la inclusión de gestión del riesgo en los instrumentos de planificación territorial y las diferentes cartografías generadas por el Servicio Geológico Colombiano “SGC” e Instituto Geográfico Agustín Codazzi “IGAC”, además de lo consignado en las memorias descriptivas de dicha cartografía.

### 6.2 PROCESO 2. ELABORACIÓN DE LOS ESTUDIOS BÁSICOS PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA

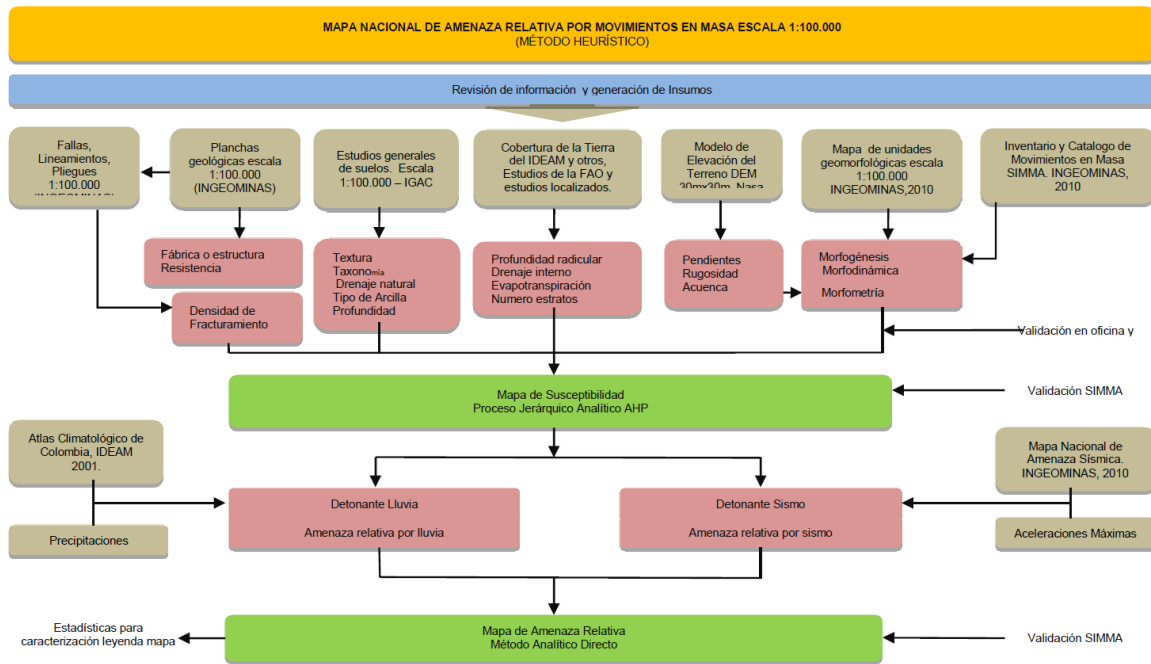
En la Figura 12, se ilustra el proceso metodológico heurístico (10) desarrollado por el SGC, en el cual, se evalúan variables cualitativas como lo son el inventario de procesos morfodinámicos (Movimientos en masa), la geología, geomorfología, suelos y cobertura de la tierra, y variables cuantitativas, generadas a partir de la interpretación de un modelo digital de elevación, para llegar inicialmente al Mapa de Susceptibilidad, mediante un proceso jerárquico analítico. Con la incorporación de los detonantes (lluvia y sismo), se llega finalmente, al Mapa de Amenaza Relativa.

---

<sup>10</sup> “SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Documento Metodológico de la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza Relativa por Movimientos en Masa, Escala 1:100.000, 2013, p. 25.



Figura 12. Diagrama metodológico para zonificación de la amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:25000.



Fuente: Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2013.

A continuación, se realiza una breve descripción de las etapas para consolidar un modelo de amenazas por movimientos en masa:

### 6.2.1 Obtención de la información temática básica:

Recopilación de información cartográfica previa a escala 1:25.000, de acuerdo en lo establecido en la guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000 del Servicio Geológico Colombiano, decreto 1807 de septiembre de 2014, específicamente cartas topográficas y modelos digitales de elevación (DEM) existentes en el área de estudio y ley 1523 de 2012.

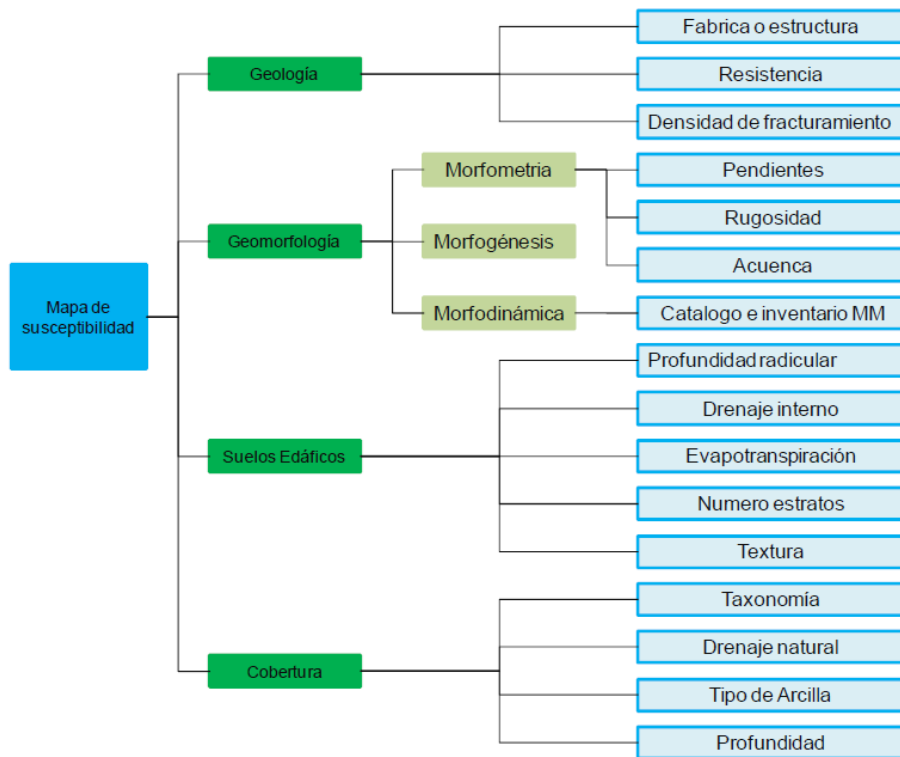
### 6.2.2 Levantamiento de información cartográfica en campo:

Se han realizado una serie de actividades encaminadas al reconocimiento, verificación y ajuste de la información temática en campo, de tal manera que se logre evaluar de forma precisa cada una de las variables involucradas en el cruce temático necesario para consolidar el modelo de amenaza por movimientos en masa.

### 6.2.3 Procesamiento de la información obtenida

Las actividades que se llevaron a cabo para el procesamiento de dicha información, comprendió actividades como: interpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas, captura de datos en campo, construcción de modelos digitales de elevación “DEM” y modelación a partir de cálculos probabilísticos, de acuerdo con lo anterior se realiza el cruce temático para la elaboración del mapa de susceptibilidad a movimientos en masa según el diagrama de jerarquía para la elaboración del mapa de susceptibilidad escala 1:25.000 propuesto por el Servicio Geológico Colombiano “SGC” (ver Figura 13).

**Figura 13.** Jerarquía para la elaboración del mapa de susceptibilidad escala 1:25.000.

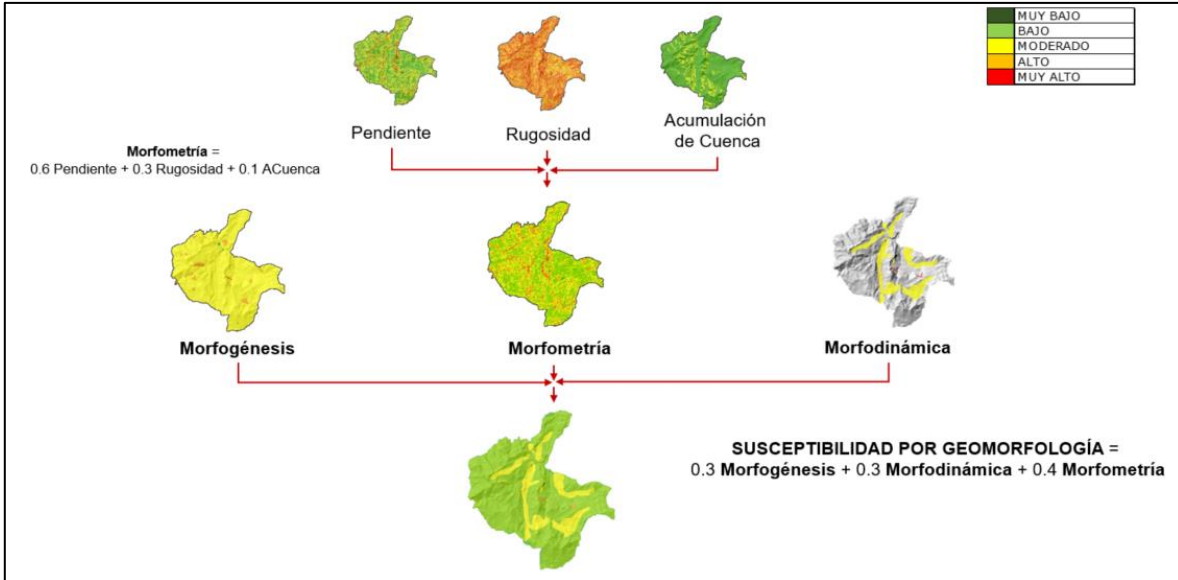


**Fuente:** Servicio Geológico Colombiano “SGC”, 2013

El modelo cartográfico utilizado en el procesamiento de la zonificación de amenazas por movimientos en masa (Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, Servicio Geológico Colombiano, 2013) (Figura 13), evalúa los diferentes niveles de susceptibilidad en todas las variables (Figuras 14,15,16,17,18 y 19), y el posterior cruce temático para determinar la amenaza (Figura 20). A continuación, se representa gráficamente dicho modelo:

### 6.2.3.1 Modelo susceptibilidad por geomorfología

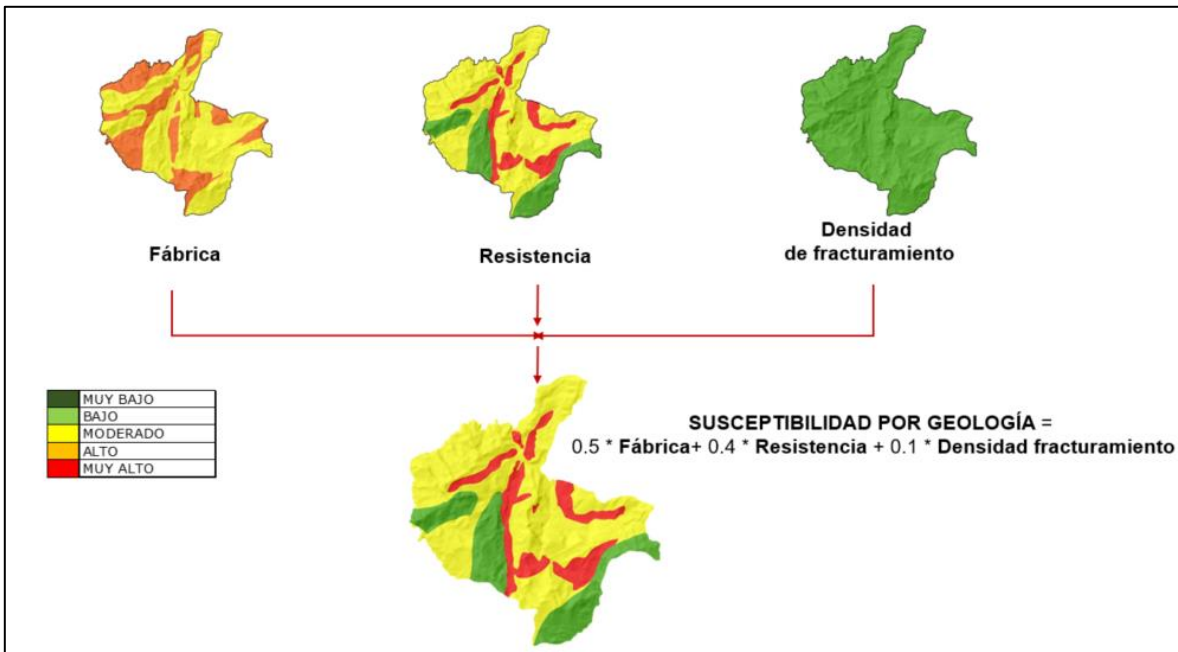
Figura 14. Modelo susceptibilidad por geomorfología, elaborado en ArcGis 10.5.



Fuente: Los Autores, 2019.

### 6.2.3.2 Modelo susceptibilidad por geología

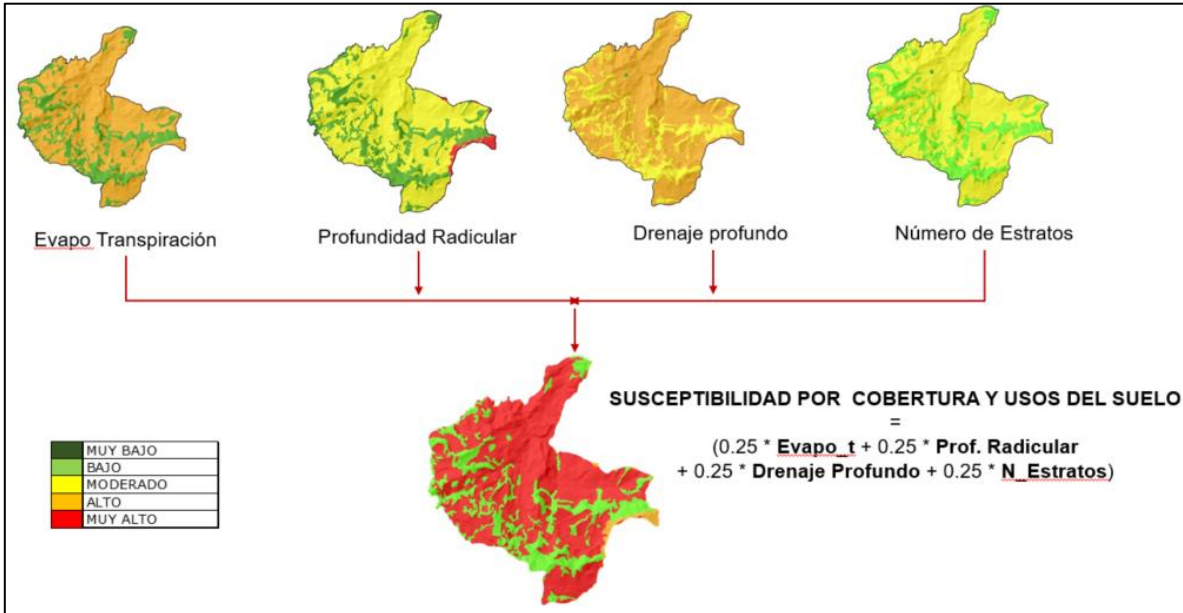
Figura 15. Modelo susceptibilidad por geología, elaborado en ArcGis 10.5.



Fuente: Los Autores, 2019.

### 6.2.3.3 Modelo susceptibilidad por cobertura y uso del suelo

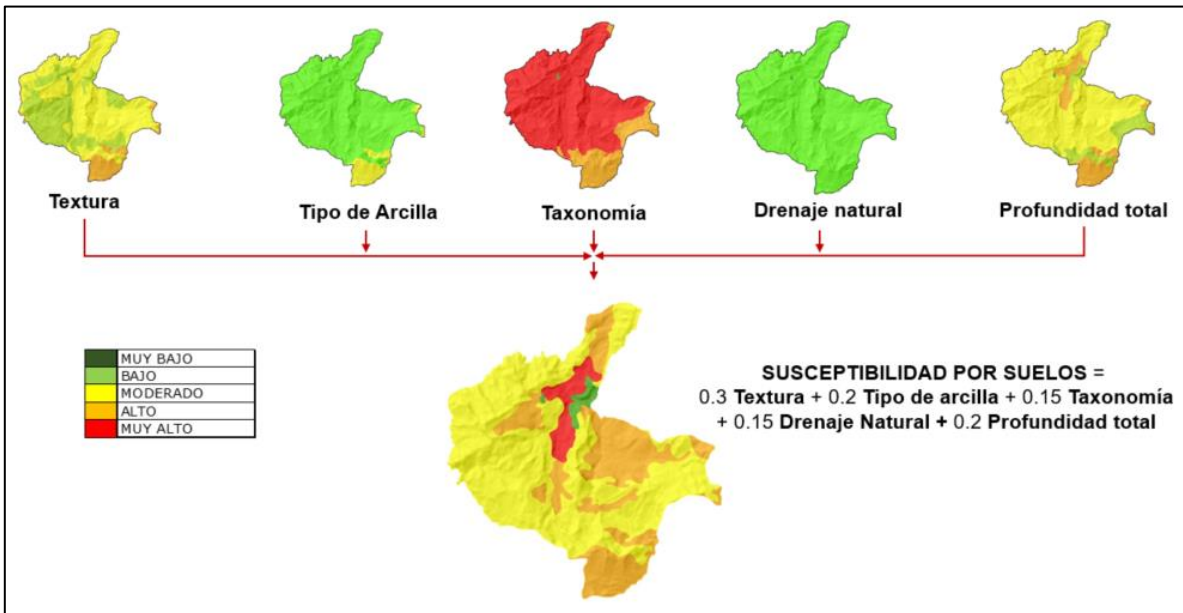
Figura 16. Modelo susceptibilidad por cobertura y uso del suelo, elaborado en ArcGis 10.5.



Fuente: Los Autores, 2019.

### 6.2.3.4 Modelo susceptibilidad por suelos

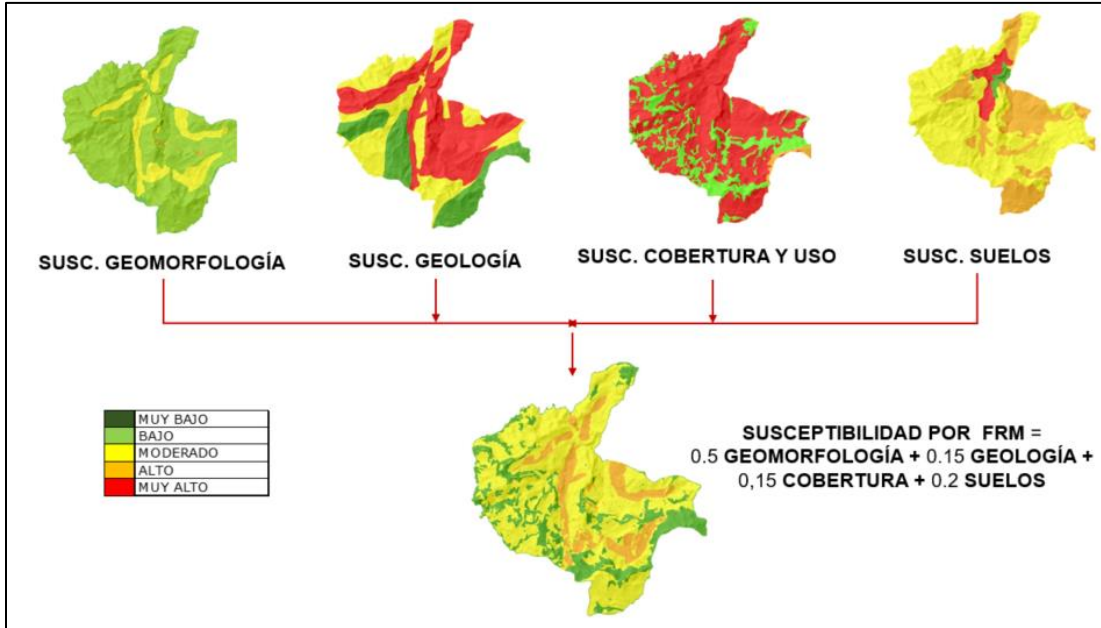
Figura 17. Modelo susceptibilidad por suelos, elaborado en ArcGis 10.5.



Fuente: Los Autores, 2019.

### 6.2.3.5 Modelo susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa

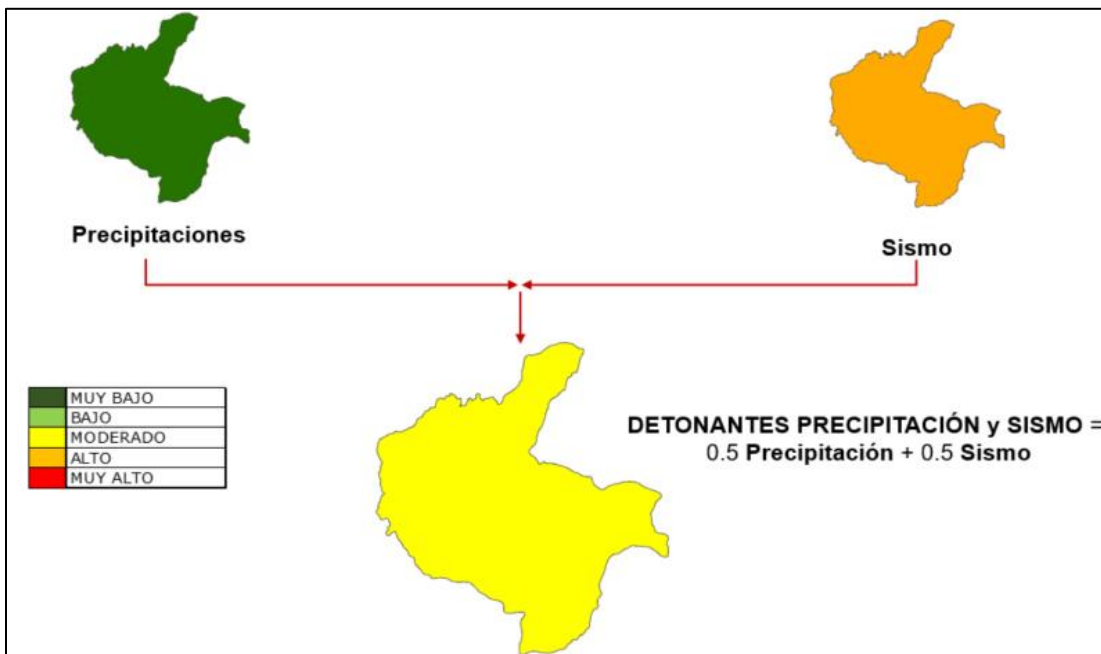
Figura 18. Modelo susceptibilidad, elaborado en ArcGis 10.5.



Fuente: Los Autores, 2019.

### 6.2.3.6 Modelo detonantes por precipitación y sismo

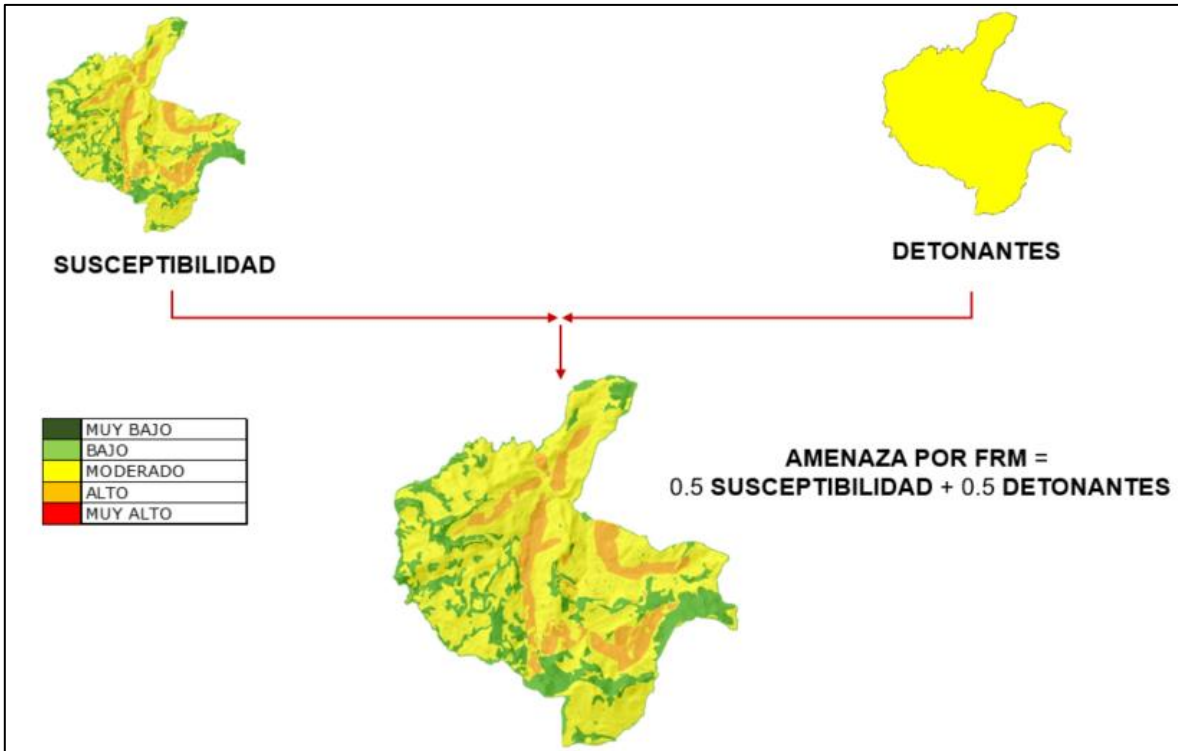
Figura 19. Modelo detonantes por precipitación y sismo, elaborado en ArcGis 10.5.



Fuente: Los Autores, 2019.

### 6.2.3.7 Modelo amenaza por movimientos en masa

Figura 20. Modelo amenaza por movimientos en masa, elaborado en ArcGis 10.5.



Fuente: Los Autores, 2019.

## 6.3 PROCESO 3. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

El análisis de vulnerabilidad a escala 1:25000 para estudios básicos no está contemplado en las guías comúnmente utilizadas para realizar la evaluación de la vulnerabilidad por movimientos en masa, por tal motivo se utilizó el protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - escala 1:100.000, realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales "IDEAM" y la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa a escala detallada del Servicio Geológico Colombiano, que aunque no contempla estudios de vulnerabilidad y riesgo a escalas rurales (1:25000), maneja criterios de gran relevancia en el análisis de vulnerabilidad.



De acuerdo con el decreto 1807 de 2014, promulgado por el Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio, las etapas generales que se deben seguir para evaluar la vulnerabilidad son:<sup>11</sup>

- **Identificación y localización de los elementos expuestos.**  
Los elementos expuestos en consideración corresponden con la totalidad de la malla vial rural del municipio, las coberturas de la tierra y las edificaciones del área rural, estas edificaciones son consideradas a modo general, ya que su caracterización física es imposible por la escala de trabajo.
- **Caracterización de los elementos expuestos: tipología, exposición y resistencia:**  
Dicha etapa no será considerada en este estudio de vulnerabilidad, ya que la escala de trabajo no lo permite, puesto que la unidad mínima cartografial para la caracterización de elementos expuestos es 1:5000 y la escala del presente trabajo es 1:25000, teniendo en cuenta que la unidad de análisis es toda la zona rural del Municipio de Coper.
- **Tipos de daño o efectos esperados como resultado de los escenarios de vulnerabilidad.**
- **Zonificación de la vulnerabilidad.**

Con el fin de cumplir con los lineamientos del Decreto 1807 de 2014 y con las necesidades de evaluación cuantitativa, se requiere definir, en primer lugar, el área de estudio con base en la zonificación de amenaza realizada previamente a escala 1:25000. Las áreas sujetas a estudios de vulnerabilidad y de riesgo son aquellas zonas ya ocupadas que se identificaron en la categoría de amenaza alta y aquellas identificadas en amenaza media, pero que requieren un cambio de densidad o de uso. Luego de definidas las áreas de estudio, se debe aplicar el procedimiento general de evaluación de vulnerabilidad (Figura 21).<sup>12</sup>

---

<sup>11,12</sup> Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa a escala detallada, Servicio Geológico Colombiano, 2016.



### 6.3.1 Generación del mapa de vulnerabilidad total a Movimientos en Masa

Para la generación del mapa de vulnerabilidad total se realizan los siguientes subprocesos:<sup>13</sup>

**Estandarización de los valores de variables:** dado que los valores de representación de cada variable, varían en su definición por el tipo de unidad de medida y para cada unidad espacial de análisis (Paisajes y unidades político administrativas), ya que los umbrales en los cuales se miden son muy variados, bajo procesos de lógica difusa (Fussy), se generan unos criterios de calificación para hacerlos comparables en términos de unidades de análisis, de esta manera, se generan tres rangos de calificación (Baja, moderada y alta), los cuales corresponden a valores numéricos de 1 a 3 respectivamente.

Para efectos del presente protocolo se propone la normalización o estandarización mediante el empleo de la siguiente ecuación:

$$\text{Variable normalizada} = (x - \text{Min}) / (\text{Max} - \text{Min})$$

Donde:

X: Valor de la variable

Min: Mínimo valor de la variable dentro del rango contenido en el mapa

Max: Máximo valor de la variable dentro del rango contenido en el mapa

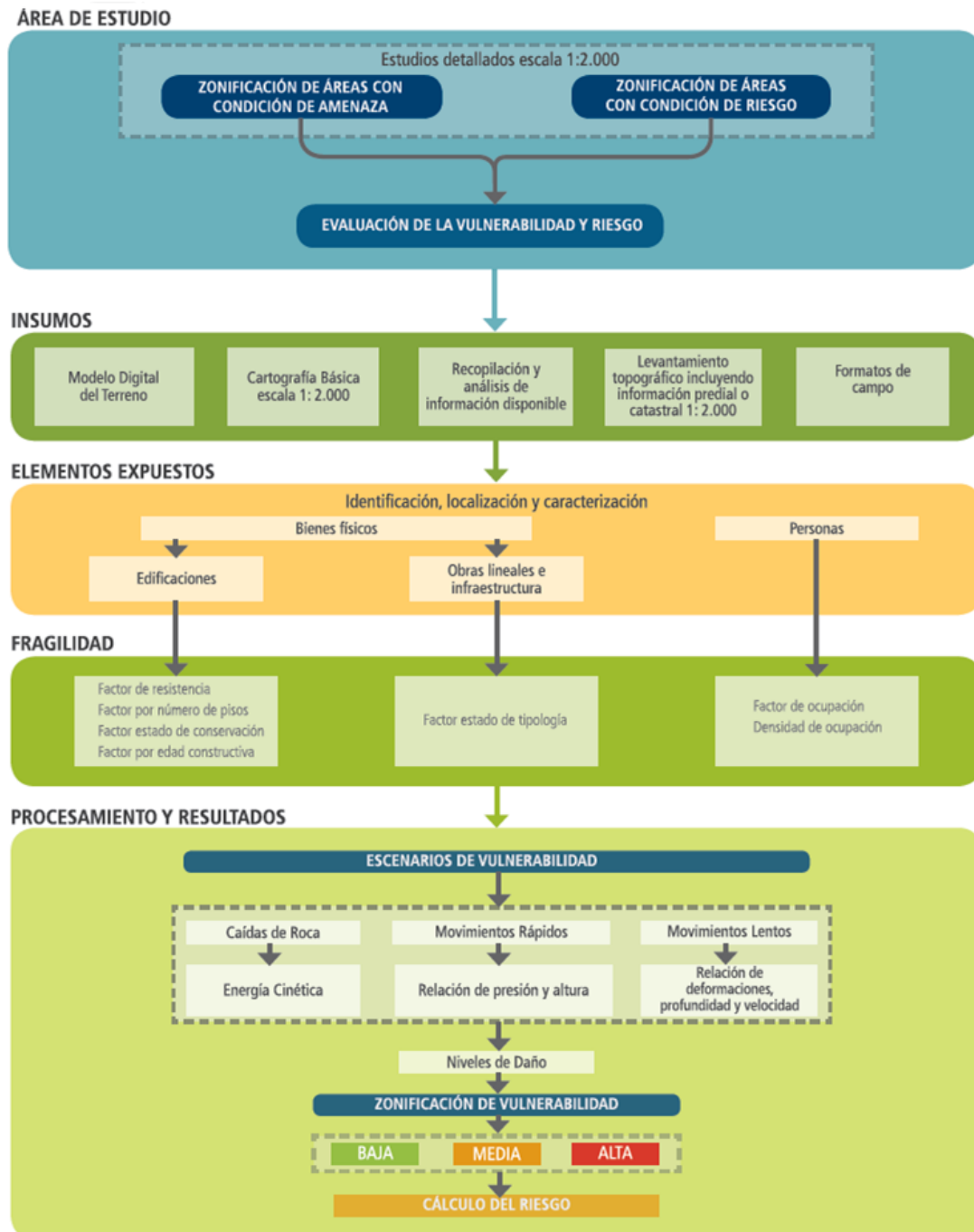
**Definición de valores de ponderación por categoría:** uno de los objetos de realizar el análisis mediante categorías integrales, es el de poder obtener una visión holística y no paramétrica o sectorial del territorio, por esta razón, se plantea como mecanismo de integración darle a cada variable un valor de ponderación según sea la participación de cada uno de ellos a la vulnerabilidad. Es decir, qué aporte tiene cada tipo de vulnerabilidad, a la vulnerabilidad total. Con el propósito de disminuir el grado de subjetividad en esta ponderación, bajo las técnicas del análisis multicriterio, se define el grado de consistencia matemática del valor adjudicado para ponderar cada indicador.

---

<sup>13</sup> Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - escala 1:100.000, realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales "IDEAM"



Figura 21. Procedimiento general para análisis de vulnerabilidad por movimientos en masa. Estudios detallados, a escala 1:2000.



Fuente: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa a escala detallada, Servicio Geológico Colombiano, 2016.



## 6.4 PROCESO 4. CARACTERIZACIÓN DEL ESCENARIO DE RIESGO.

Una vez se obtienen los resultados asociados a los factores de riesgo en este caso la zonificación de amenaza y vulnerabilidad se procede a realizar el cruce de información que arroja campos delimitados de las condiciones de riesgo del área y que facilitan tanto la comprensión de los problemas, como la priorización y formulación de las acciones de intervención, así como el seguimiento y evaluación de las mismas.

Un escenario de riesgo se representa por medio de la caracterización de los factores de riesgo, sus causas, la relación entre causas, los actores causales, el tipo y nivel de daños que se pueden presentar, más la identificación de los principales factores que requieren intervención, así como las medidas posibles a aplicar y los actores públicos y privados que deben intervenir.

Para el área de análisis la revisión documental está orientada en la evaluación de información asociada a la posible ocurrencia de movimientos en masa y elementos expuestos o condiciones de riesgo asociados, bajo el marco de la implementación de los procesos de la gestión del riesgo conocimiento y reducción del riesgo.<sup>14</sup>

### 6.4.1 Mapa final de riesgo:

El insumo final, se logró realizando el cruce temático de los mapas de Vulnerabilidad Total y Amenaza por Movimientos en Masa resultantes con los insumos asociados, posteriormente se reclasifico el riesgo total en tres categorías:

- Riesgo Bajo
- Riesgo Moderado
- Riesgo Alto

De esta manera, el riesgo se define como<sup>15</sup>:

Riesgo = (Amenaza\* Vulnerabilidad)

---

<sup>14</sup> COLOMBIA. Congreso de la República. Ley 1523 de 2012 (abril 24), por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.

<sup>15</sup> Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - escala 1:100.000, realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales "IDEAM" Bogotá, D. C., 2011.

## 7 ANÁLISIS Y RESULTADOS

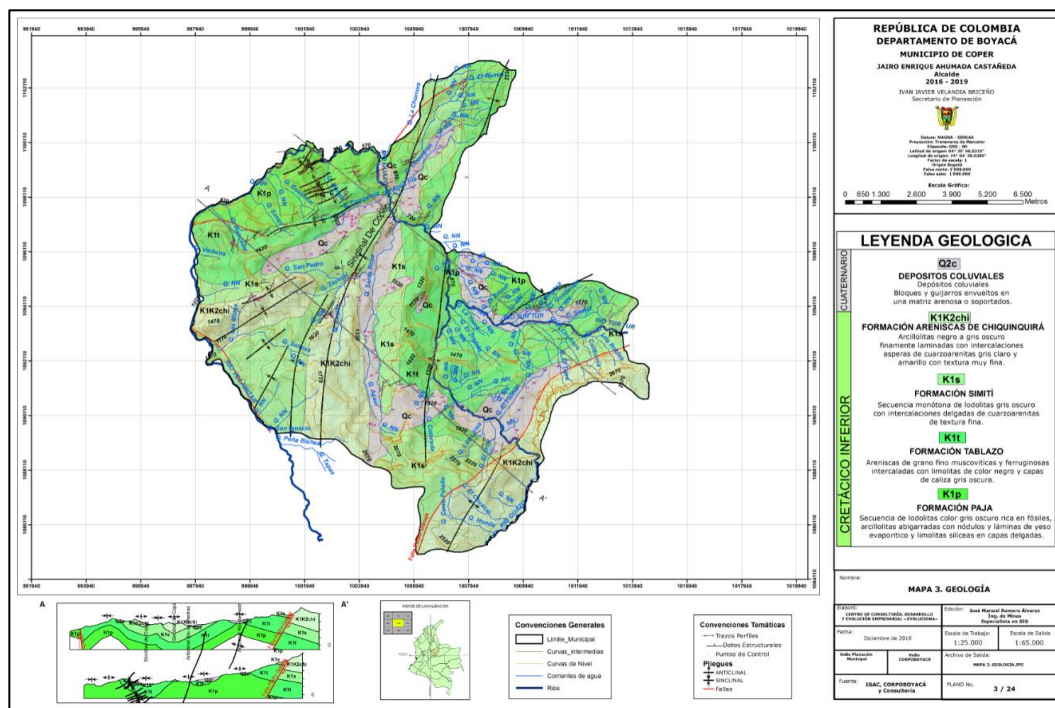
### 7.1 ELABORACIÓN DE LOS ESTUDIOS BÁSICOS PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA

A continuación, se describen los aspectos representativos que influyen a nivel de la susceptibilidad y amenazas por movimientos en masa, haciendo relación a la interacción entre los diferentes componentes físicos y los diversos tipos de movimientos en masa que se presentan para esta zona.

#### 7.1.1 Geología

Para el proceso de zonificación se utilizaron la geología levantada en campo a escala 1:25.000, la cual contiene información litológica a nivel de formación y estructural convencional, que permiten la caracterización litoestratigráfica de las unidades cartografiadas (Figura 22). Dentro de una Formación la distribución espacial de los tipos litológicos es uniforme y generalizada y no muestran necesariamente el estado o condición física de los materiales. En ese sentido se hace necesaria la discriminación litológica (tipos de roca o sedimentos del área).

Figura 22. Mapa Geológico del Municipio de Coper.



Fuente: EVOLUCIONA, 2016, Informe general de amenaza en el municipio de Coper, Departamento de Boyacá.

### 7.1.1.1 Litología

La caracterización geológica con fines de aplicación en los estudios de ingeniería debe contemplar los elementos básicos de las propiedades y características de los materiales rocosos. Para esto se recomienda describir y clasificar las rocas de acuerdo con las clasificaciones propuestas por la Comisión de Cartografía de la International Association of Engineering Geology (IAEG) en 1981. Así mismo, anotar todas las discontinuidades estructurales de los “macizos de roca dura”, es decir, aquellas fallas de origen geológico que controlan estructuralmente el comportamiento de los macizos.

En la ponderación de la calidad de las rocas se consideran atributos de textura/fábrica, densidad de fracturamiento y dureza (Figura 23), como atributos a calificar a partir del mapa geológico a escala 1:25.000.

**Figura 23.** Diagrama de variables dentro de la temática Unidad geológica, con sus respectivos pesos.



**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2013.

#### 7.1.1.1.1 Resistencia

Tomando como base la plancha a escala 1:25.000, se enlistan los diferentes tipos de rocas que afloran en el área de estudio y se le empiezan a asignar rangos de resistencia. Las propiedades mecánicas incluyen la resistencia a la compresión, impacto y penetración por otro cuerpo estas propiedades, que en última instancia resultan de la composición química y mineralógica de los materiales, de su textura y de su estructura, permiten caracterizar la resistencia de los materiales a los agentes de deterioro. Esto última gobierna la vida útil del material, los rangos de referencia que se adoptan son los de Hoke 1996, y se basan en información documentada y datos de resistencia a nivel nacional e internacional. En la Tabla 1, se presenta la calificación propuesta para los diferentes tipos de rocas dependiendo de su fábrica y estructura.



**Tabla 1.** Propuesta de calificación de las rocas dependiendo su fábrica y estructura.

Grado	Termino	Propuesta de calificación
R6	Extremadamente dura	1
R5	Muy dura	1
R4	Dura	2
R3	Moderadamente dura	3
R2	Blanda	4
R1	Muy blanda	5
R0	Extremadamente blanda	5

**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2013.

#### 7.1.1.1.2 Densidad de Fracturamiento.

La variable densidad de fracturamiento se generó a partir de las fallas en el área en estudio. Se asume que a mayor tasa de desplazamiento hay un mayor grado de fracturamiento.

El método utilizado para calcular la densidad de fracturamiento es el algoritmo line Density de ArcInfo, el cual es expresado en metros por kilómetro cuadrado, este método calcula la densidad de líneas en la vecindad de cada pixel definida por un radio de búsqueda, para esto a partir de cada centro se dibuja un círculo de radio R, se toma la longitud de la línea de falla que cae dentro de este círculo y se multiplica por el peso de la actividad, la suma total se divide entre el área del círculo. Para esta clasificación se excluyó el valor 0 Densidad y se clasificó en 5 rangos:

- 1 el valor Muy Baja Densidad.
- 2 el valor Baja Densidad.
- 3 el valor Media Densidad.
- 4 el valor Alta Densidad.
- 5 el valor de Muy alta densidad.

#### 7.1.1.1.3 Fábrica y/o Estructura.

Según Mitchel el término “fábrica” se refiere al arreglo de partículas, grupos de partículas y espacios vacíos en un suelo. El término “estructura” es utilizado por algunos como sinónimo de fábrica, sin embargo, la estructura tiene un significado más amplio, que integra los efectos combinados de la fábrica, composición y fuerzas entre partículas.



La fábrica tiene gran influencia en el comportamiento de los suelos y rocas, en especial en lo referente a la anisotropía que genera debido a la orientación de las partículas, la cual así mismo gobierna anisotropía en las propiedades geomecánicas, la clasificación de las rocas según su fábrica/estructura, puede servir para establecer diferencias de las rocas en cuanto a su resistencia y direccionalidad de las propiedades mecánicas. En la Tabla 2, se presenta la calificación propuesta para los diferentes tipos de rocas según su textura/fabrica.

**Tabla 2.** Calificación propuesta tipo de fábrica.

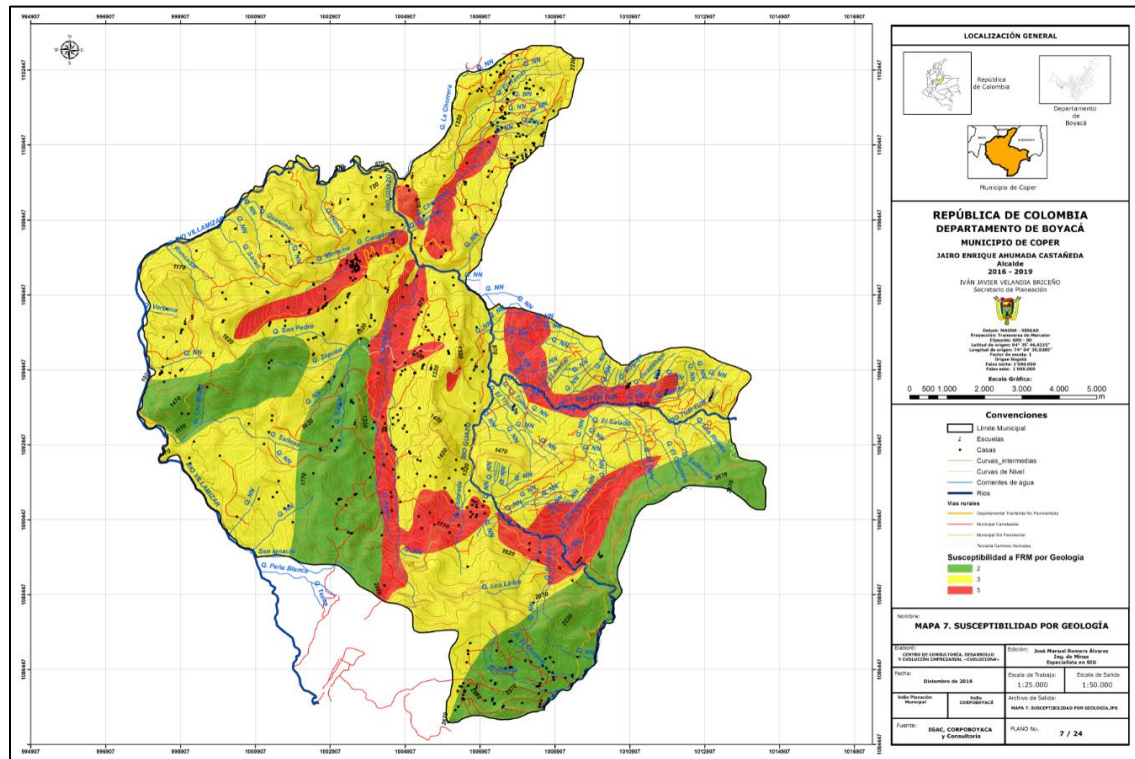
Fabrica/estructura	
Atributo	Propuesta de calificación
N/A	0
Cristalina masiva	1
Cristalinas bandeadas	2
Clásticas cementadas	3
Clásticas Consolidadas	4
Cristalina foliada y rocas de falla	5

**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2013.

### 7.1.1.2 Condición de susceptibilidad del componente geológico

El componente Geología determinó una condición de susceptibilidad (Figura 24), con diferentes categorías distribuidas de forma condicionada con las unidades estratigráficas aflorantes y relacionado con cada una de las variables temáticas procesadas (Anexo A, Geología).

Figura 24. Mapa de susceptibilidad por la variable geología.



**Fuente:** EVOLUCIONA, 2016, Informe general de amenaza en el municipio de Coper, Departamento de Boyacá.

Dentro del área de estudio se destacan principalmente cuatro categorías de susceptibilidad, que son las más representativas debido al área y extensión que representan en relación a este componente, de tal forma que la susceptibilidad baja por geología a los movimientos en masa, corresponde a una extensión dentro del municipio donde se presentan rocas sedimentarias competentes y resistentes a la erosión; susceptibilidad moderada por geología a los movimientos en masa, se presentan en rocas sedimentarias competentes y resistentes susceptibles a la erosión como consecuencia de algún tipo de afectación secundaria (pliegues y fallas) y actividad antrópica; susceptibilidad alta por geología a los movimientos en masa, se presentan en rocas sedimentarias donde predominan los estratos arcillosos con comportamientos dúctiles y expansivos, susceptibles a la erosión como consecuencia de afectación secundaria (pliegues y fallas) y actividad antrópica y susceptibilidad muy alta por geología a los movimientos en masa, se presentan en rocas sedimentarias recientes producto de eventos geológicos anteriores que corresponden a depósitos no consolidados como cuaternarios aluviales y coluviales, susceptibles a la erosión y algún tipo de afectación secundaria



(fallas) y actividad antrópica. En la Tabla 3, se observa la valoración de los parámetros.

**Tabla 3.** Valoración parámetros geológicos.

Simbología	Unidad Geológica	Fabrica	Resistencia
K1K2chi	Areniscas Chiquinquirá	3	2
K1p	Paja	4	3
K1s	Simití	4	3
K1t	Tablazo	3	3
Qc	Cuaternario Coluvial	3	5

**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2013.

### **Susceptibilidad Baja.**

Corresponde a una extensión dentro del municipio donde se presentan rocas sedimentarias competentes y resistentes a la erosión como en el caso de la Formación Areniscas Chiquinquirá (K1K2chi) al suroriente, centro y occidente, abarcando parte de las veredas Pedro Gómez, Guayabal, Turtur, Cucunubá, Ricaute y Páramo.

### **Susceptibilidad Moderada**

Se presenta en rocas sedimentarias competentes y resistentes en zonas de cizallamiento que han sido sometidas a grandes esfuerzos produciéndose diaclasamiento, fracturamiento, rotura y desplazamiento de estratos rocosos, estos, susceptibles a la erosión por afectación secundaria (pliegues y fallas) y actividad antrópica. Las unidades geológicas que componen la susceptibilidad moderada son la Formación Simití, Formación Tablazo y Formación Paja. Corresponde al mayor porcentaje de área dentro del Municipio, localizándose por sectores en todas las veredas.

### **Susceptibilidad Muy Alta.**

Se presentan en rocas sedimentarias que corresponden a depósitos no consolidados recientes, como cuaternarios aluviales y coluviales, susceptibles a la

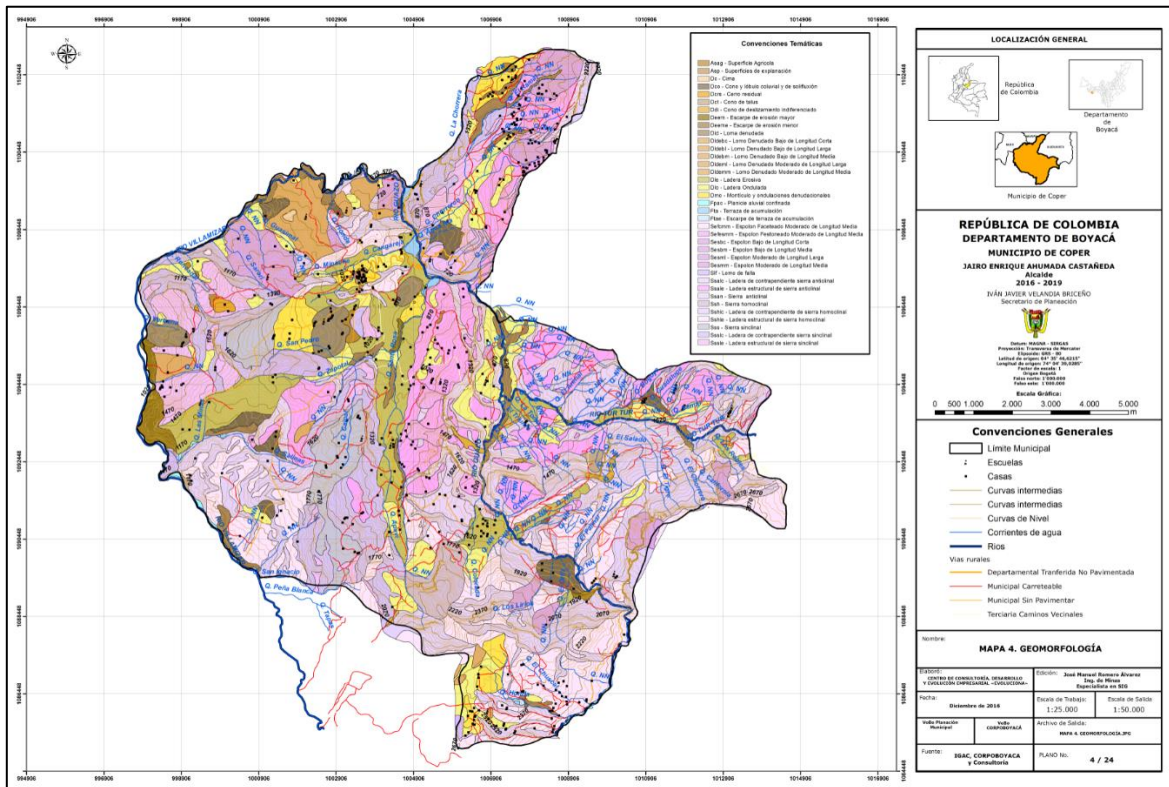


erosión y algún tipo de afectación secundaria (fallas) y actividad antrópica, localizada sobre los márgenes de los ríos y quebradas y en la pata de sectores de alta pendiente, abarcando parte de las veredas Cantino, Resguardo, Páramo, Cucunubá, Guayabal, Turtur y en el sector del casco urbano del Municipio de Coper.

### 7.1.2 Geomorfología

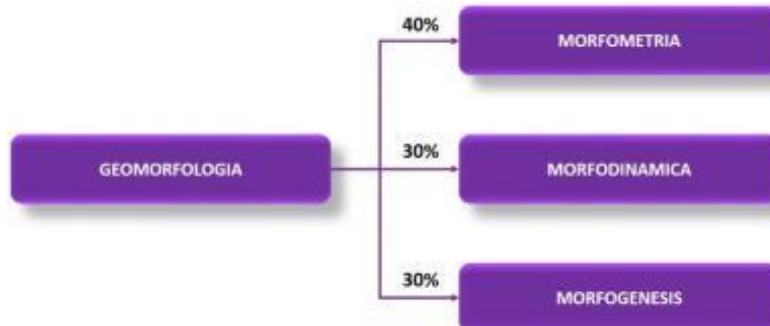
A partir de planchas geomorfológicas a escala 1:25.000 (Figura 25), se definen los atributos de morfometría, morfodinámica y morfogénesis, con las cuales se calificaron las unidades geomorfológicas, en la Figura 26 se muestra el diagrama de los atributos de la variable geomorfología.

**Figura 25.** Mapa geomorfológico del Municipio de Coper, elaborado en ArcGis 10.5.



Fuente: Los Autores, 2019.

**Figura 26.** Diagrama de atributos dentro de la variable Geomorfología, con sus respectivos porcentajes.

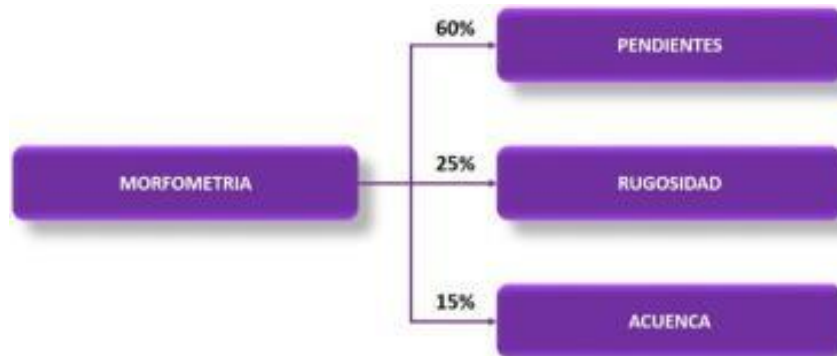


**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2013.

### 7.1.2.1 Morfometría.

Trata de aspectos cuantitativos en términos de pendientes, Rugosidad y Acuenca. También se incluye la comparación según la relación geométrica entre las diferentes posiciones espaciales. Para las variables de morfometría se empleó el modelo digital de elevaciones (DEM), el cual sirvió como insumo para la calificación de cada una de las unidades geomorfológicas, en la Figura 27 se muestran los atributos de la variable morfometría con sus respectivos porcentajes.

**Figura 27.** Diagrama de atributos dentro de la variable morfometría, con sus respectivos porcentajes.



**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2013.

### Mapa de Pendientes.

La pendiente se define como el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal. Su valor se expresa en grados de 0° a 90° o en porcentaje, se relaciona

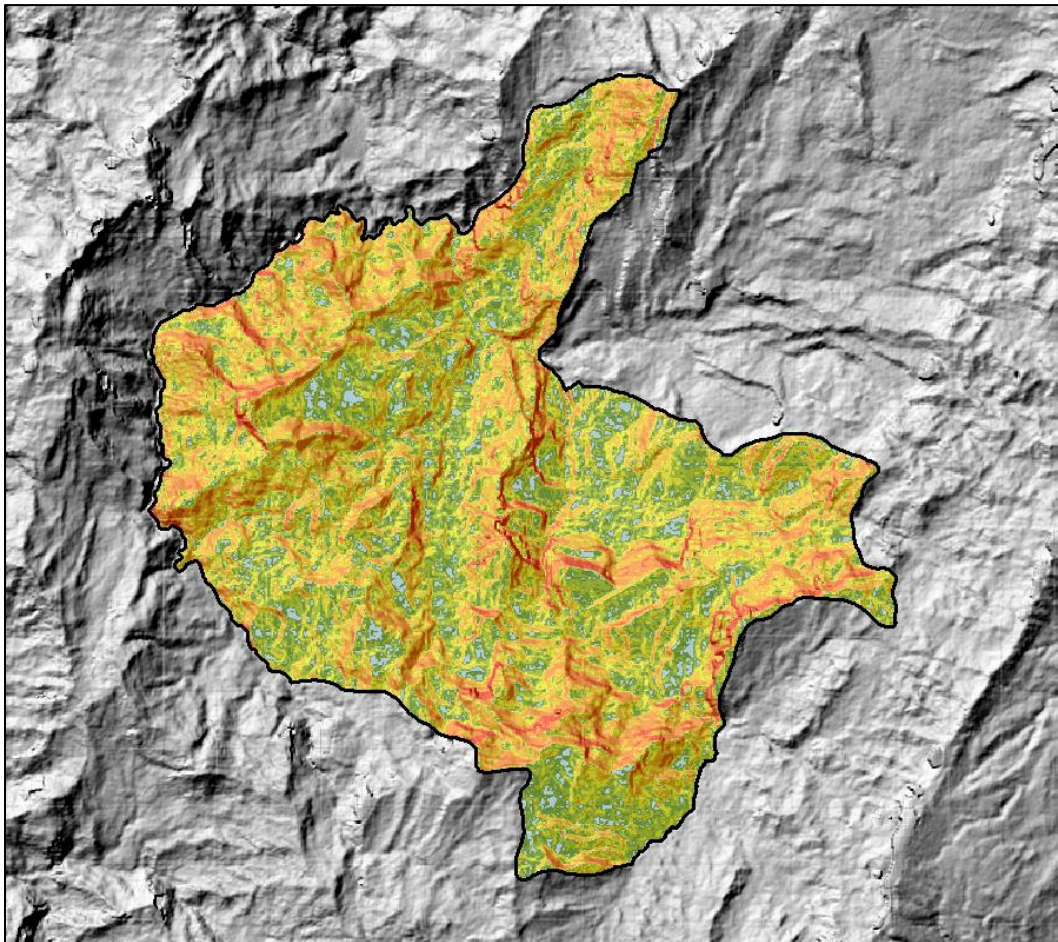
con los movimientos en masa de manera que; a mayor el grado de pendiente aumenta la susceptibilidad a los movimientos en masa (Figura 28). En la Tabla 4 se presenta el atributo pendiente clasificado de acuerdo a la pendiente.

**Tabla 4.** Calificación de Susceptibilidad de la pendiente. Tomado INGEOMINAS 2011.

CLASIFICACION	PENDIENTE EN GRADOS	DESCRIPCION	SUSCEPTIBILIDAD
1	0 - 7°	Plana a suavemente inclinada	Muy Baja
2	7° - 11°	Inclinada	Baja
3	11° - 19°	Muy Inclinada	Media
4	19° - 40°	Abrupta	Alta
5	40° - 90°	Escarpada	Muy Alta

**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2013.

**Figura 28.** Mapa de pendientes del Municipio de Coper, elaborado en ArcGis 10.5.



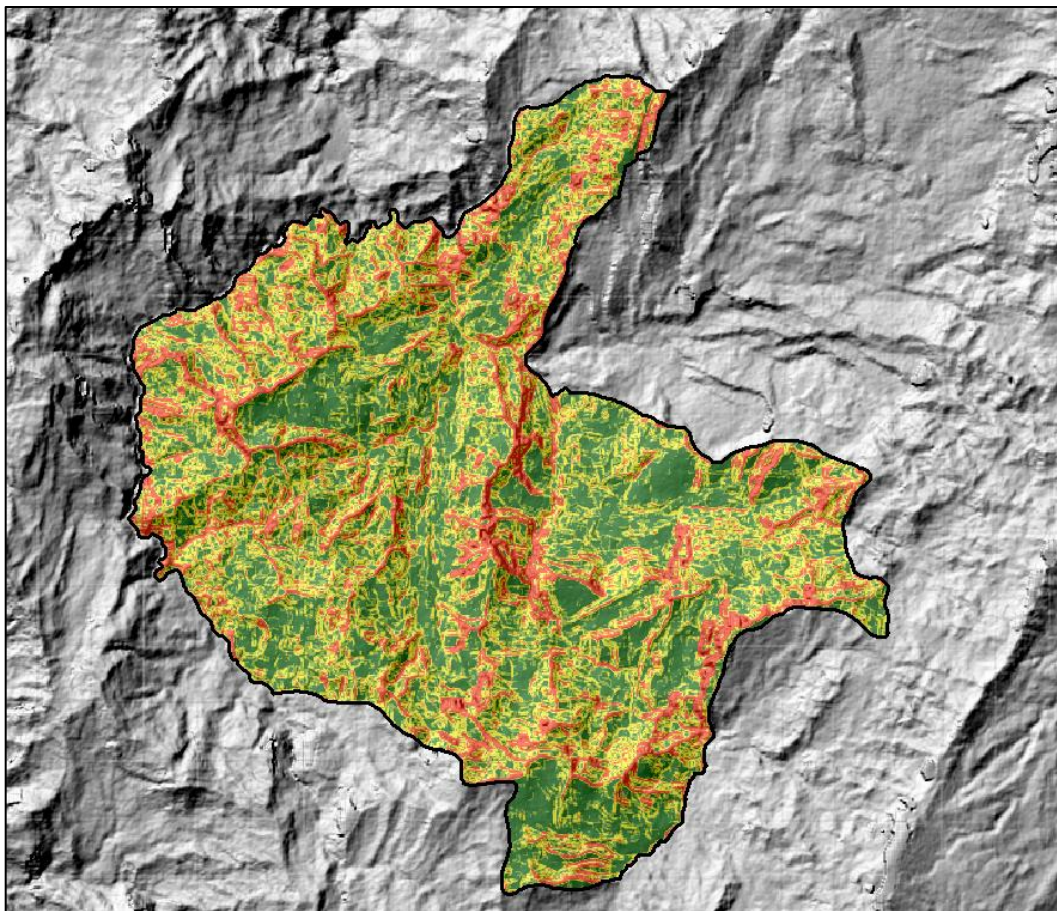
**Fuente:** Los Autores, 2019.

## Mapa de Rugosidad.

La rugosidad del terreno se define como la variación de la pendiente en un área y representa la desviación del vector normal a la superficie en cada celda. El valor 1 corresponde a rugosidad nula y los valores se hacen menores al aumentar la dispersión de los vectores (alta rugosidad). La rugosidad define bien las formas como los límites de taludes y laderas tanto en los valles como en las crestas (Felicísimo, 1992). Se relaciona con los movimientos en masa de manera que las laderas de rugosidad alta son más propensas a presentar movimientos en masa debido a que los cambios sucesivos de pendientes favorecen una mayor infiltración del agua en el terreno y, por ende, aumenta la inestabilidad del mismo (Figura 29).

En la Tabla 5 se presentan los valores de clasificación en función de la susceptibilidad a los movimientos en masa del atributo Rugosidad.

**Figura 29.** Mapa de Rugosidad del Municipio de Coper, elaborado en ArcGis 10.5.



**Fuente:** Los Autores, 2019.



**Tabla 5.** Valores de calificación Susceptibilidad de la rugosidad.

CALIFICACION	DESCRIPCION	SUSCEPTIBILIDAD
1	Rugosidad muy baja o nula	Muy baja
2	Rugosidad baja	Baja
3	Rugosidad media	Media
4	Rugosidad alta	Alta
5	Rugosidad muy alta	Muy alta

**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, SGC, 2013.

### Mapa Acuenca.

El atributo ACUENCA corresponde a la superficie de la cuenca aguas arriba de la celda cuya sumatoria de la superficie vierten a una celda determinada (cuenca acumulada). La variable se deriva del Modelo Digital de Elevación MDE y se expresa en m<sup>2</sup>. Si bien es una variable cuantitativa, los valores de superficie son múltiplo del área de una celda, no tratándose de una variable continua (Figura 30).

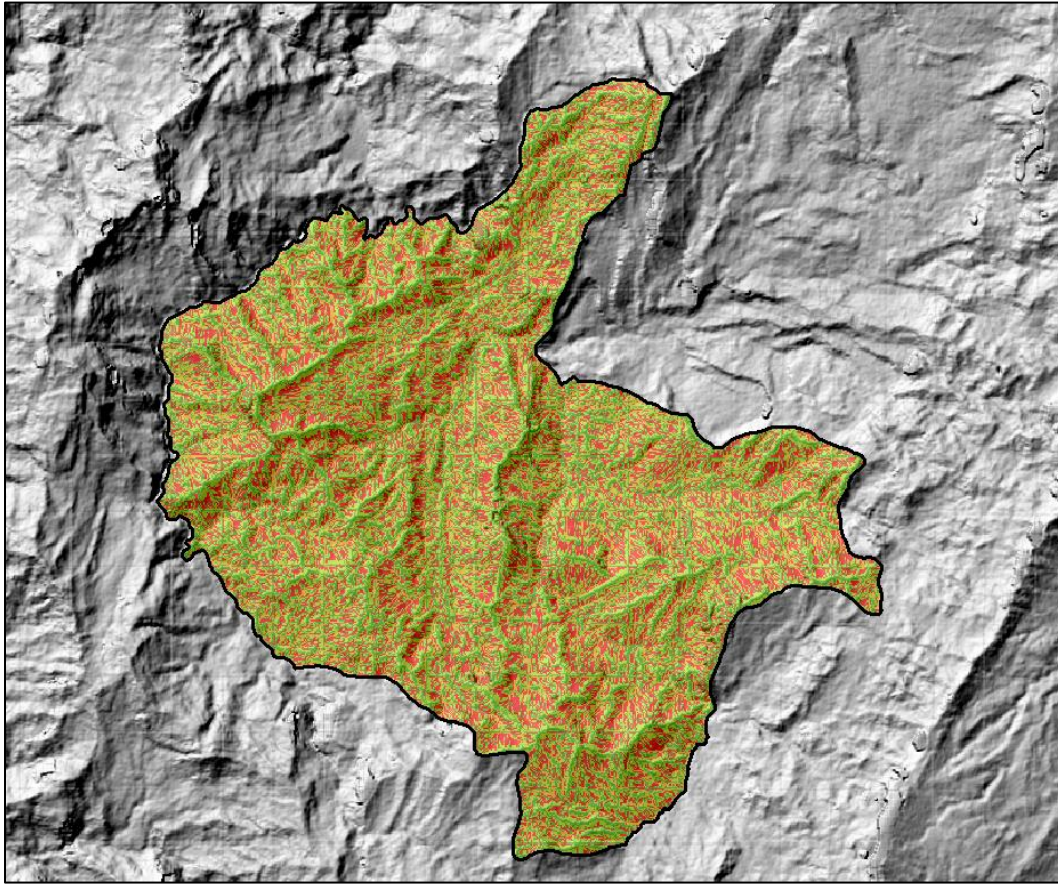
El área de la cuenca se relaciona con la cantidad de agua que es capaz de recoger e infiltrar en un terreno, a mayor superficie más agua infiltrada y más posibilidades de desarrollar inestabilidad en el terreno (Neuland, 1976, Hatano 1976, Okimura 1983, Oyagi 1984). En la Tabla 6, se presentan los valores de clasificación en función de la susceptibilidad a los movimientos en masa de la variable Acuenca.

**Tabla 6.** Clasificación de la Susceptibilidad del atributo Acuenca.

CALIFICACION	DESCRIPCION	SUSCEPTIBILIDAD
1	Divisoria de Aguas o Lomos	MUY BAJA
2	Escorrentía Lenta	BAJA
5	Flujo Acumulado	MUY ALTA
3	Drenaje no permanente	MEDIA
1	Quebradas, Ríos	MUY BAJA

**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2013.

**Figura 30.** Mapa de Acuencia del Municipio de Coper, elaborado en ArcGis 10.5.



**Fuente:** Los Autores, 2019.

### 7.1.2.2 Morfogénesis.

La morfogénesis corresponde al origen de las formas del terreno, es decir, las causas y procesos que dieron la forma al paisaje. El origen del paisaje depende de los procesos endogenéticos y la modificación de los agentes exogenéticos (agua, viento, hielo), que actúan sobre la superficie terrestre en diferentes proporciones e intensidades, y durante intervalos de tiempos geológicos, modelando el terreno. La información morfogénética es representada en forma de unidades geomorfológicas; los parámetros de evaluación morfométrica se presentan en la Tabla 7 y 8 y Figura 31.



**Tabla 7.** Atributos para la calificación de las unidades geomorfológicas.

Ambiente	Origen	Proceso Genético	Modelado		Rango de Calificación	
			Agradación	Degradación	Agradación	Degradación
Costero	0	1	1	0	2	1
Fluvial	0	1	1	0	2	1
Eólico	1	1	1	0	3	2
Kárstico	1	1	1	0	3	2
Volcánico	2	0	1	0	3	2
Antrópico	2	1	1	0	4	3
Denudacional	2	1	1	0	4	3
Glacial	2	1	1	0	4	3
Estructural	3	0	1	0	4	3

Exógeno	1	Agradacional	1
Endógeno	0	Degradacional	0

**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2013.

**Tabla 8.** Calificación morfogenética del área de estudio.

Ambiente	Código	Subunidad	Modelado	Calificación Geomorfológica
<b>Antropogénico</b>	Asag	Superficie Agrícola	Degradacional	3
	Asp	Superficies de explanación	Degradacional	3
<b>Denudacional</b>	Dc	Cima	Degradacional	3
	Dco	Cono y lóbulo coluvial y de soliflucción	Agradacional	4
	Dcrs	Cerro residual	Agradacional	4
	Dct	Cono de talus	Agradacional	4
	Ddi	Cono de deslizamiento indiferenciado	Agradacional	4
	Deem	Escarpe de erosión mayor	Degradacional	3
	Deeme	Escarpe de erosión menor	Degradacional	3
	Dld	Loma denudada	Degradacional	3
	Dldebc	Lomo Denudado Bajo de Longitud Corta	Degradacional	3
	Dldebl	Lomo Denudado Bajo de Longitud Larga	Degradacional	3
	Dldebm	Lomo Denudado Bajo de Longitud Media	Degradacional	3

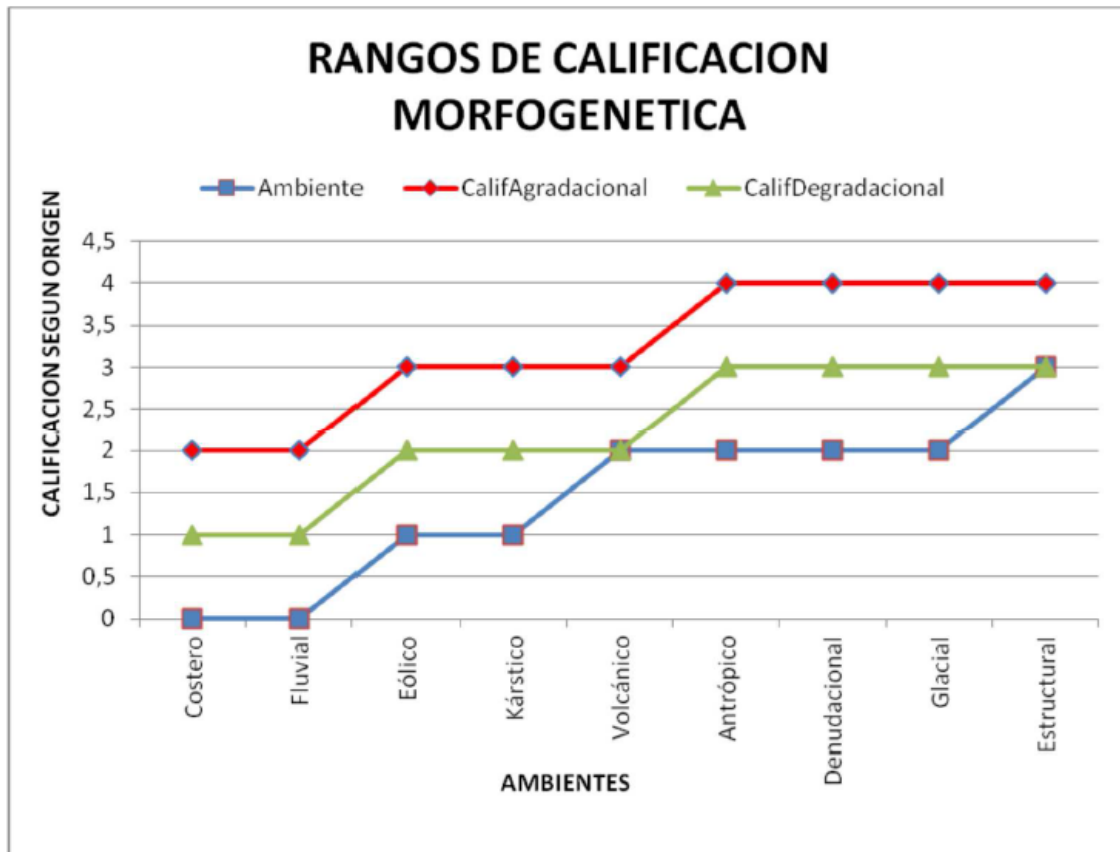


Ambiente	Código	Subunidad	Modelado	Calificación Geomorfológica
	Dldeml	Lomo Denudado Moderado de Longitud Larga	Degradacional	3
	Dldemm	Lomo Denudado Moderado de Longitud Media	Degradacional	3
	Dle	Ladera Erosiva	Degradacional	3
	Dlo	Ladera Ondulada	Degradacional	3
	Dmo	Montículo y ondulaciones denudacionales	Degradacional	3
<b>Estructural</b>	Sefcmm	Espolón Faceteado Moderado de Longitud Media	Degradacional	3
	Sefesmm	Espolón Festoneado Moderado de Longitud Media	Degradacional	3
	Sesbc	Espolón Bajo de Longitud Corta	Degradacional	3
	Sesbm	Espolón Bajo de Longitud Media	Degradacional	3
	Sesml	Espolón Moderado de Longitud Larga	Degradacional	3
	Sesmm	Espolón Moderado de Longitud Media	Degradacional	3
	Slf	Lomo de falla	Agradacional	4
	Ssalc	Ladera de contrapendiente sierra anticlinal	Degradacional	3
	Ssale	Ladera estructural de sierra anticlinal	Degradacional	3
	Ssan	Sierra anticlinal	Degradacional	3
	Ssh	Sierra homoclinal	Degradacional	3
	Sshlc	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	Degradacional	3
	Sshle	Ladera estructural de sierra homoclinal	Degradacional	3
	Sss	Sierra sinclinal	Degradacional	3
	Ssslc	Ladera de contrapendiente sierra sinclinal	Degradacional	3
Sssle	Ladera estructural de sierra sinclinal	Degradacional	3	
<b>Fluvial y Lagunar</b>	Fpac	Planicie aluvial confinada	Agradacional	2
	Fta	Terraza de acumulación	Agradacional	2
	Ftae	Escarpe de terraza de acumulación	Agradacional	2

Fuente: Los Autores, 2019.



Figura 31. Rangos de calificación morfogenética.

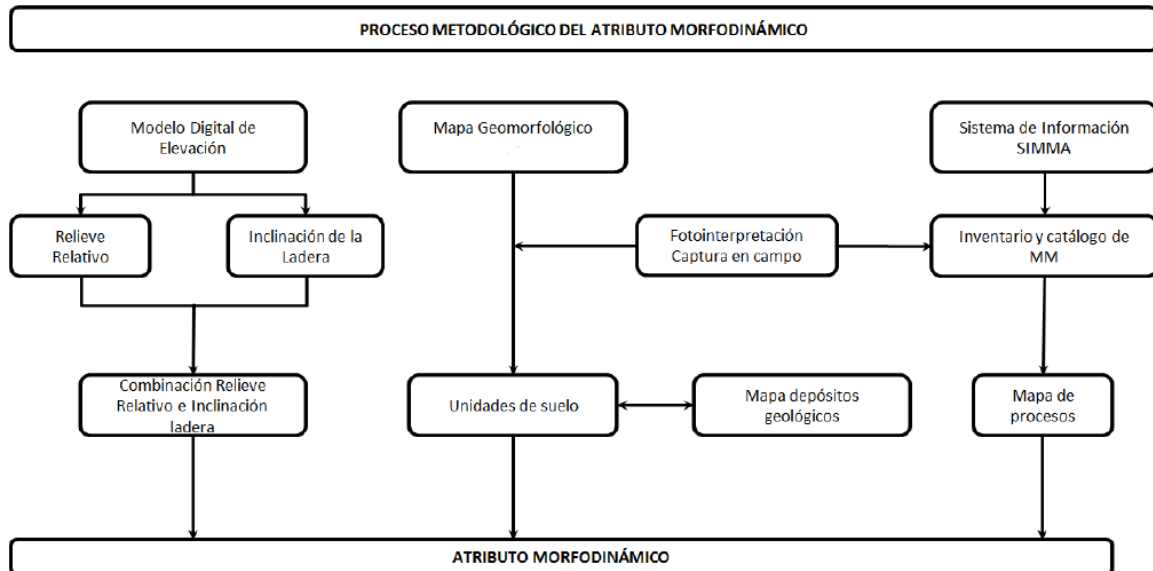


**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2013.

### 7.1.2.3 Morfodinámica.

La generación del atributo morfodinámico se ha hecho a través de un proceso de agrupamiento (Figura 32), el cual se construye a partir de la representación cartográfica de los suelos transportados vistos como geoforma, del inventario de procesos a partir del sistema de información SIMMA, de la fotointerpretación, del inventario de campo y las variables geométricas derivadas del modelo DEM. Es través de este agrupamiento que obtenemos una distribución espacial de los movimientos y el comportamiento del relieve asociado a las características del material.

Figura 32. Proceso metodológico en la construcción del atributo morfodinámico.



Fuente: Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2013.

### Índice de Relieve Relativo (Rr).

Se hace referencia a que el relieve relativo representa la diferencia de altitud de la geoforma, independientemente de su altura absoluta o nivel del mar. Ella se mide por la diferencia de alturas entre la parte más baja y alta, llámese colina, montaña, meseta, terraza y otros (INGEOMINAS, 2004), cuando el análisis de la geoforma lo hace un intérprete (que sería lo ideal), pero en el uso de algoritmos que permitan hacer esta evaluación tendremos que recurrir a la siguiente definición: el índice de relieve relativo se define como la diferencia entre la mayor elevación y la menor elevación por unidad de área (Chacón, T., 1993) y se expresa como la máxima diferencia de altura del terreno por Km<sup>2</sup>.

En la Tabla 9, se muestran los intervalos de altura del relieve relativo, tomados de Van Zuidam (1986) y su relación con la resistencia de los materiales asociados. La calificación (**CalRelie**) se hace sobre la base que el relieve es un factor determinante para el desarrollo de procesos de movimientos en masa, a pesar de ser un factor pasivo, pues favorece la acción de la gravedad y desfavorece la resistencia del medio en un momento determinado, cuando se ve influenciado por otros factores, como en el caso de un sismo o de lluvias intensas.



**Tabla 9.** Calificación del relieve relativo

INTERVALOS DE ALTURA	DESCRIPCION DEL RELIEVE	RESISTENCIA RELATIVA DEL MATERIAL	CALRELIE
< 50m	Muy bajo.	Materiales muy blandos y erosionables.	1
50 – 200 m	Bajo.	Blando erosionable.	1
200 – 400 m	Moderado.	Moderadamente blando y erosión alta.	2
400 – 1000 m	Alto.	Resistente y erosión moderada.	3
1000 – 2500 m	Muy alto.	Muy resistente y erosión baja.	3
> 2500 m	Extremadamente alto.	Extremadamente resistente y erosión muy baja.	3

**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2013.

### **Inclinación de la Ladera (IL).**

Se hace referencia a la inclinación de la ladera porque generalmente está relacionada con el tipo de material que conforma la unidad morfológica y con la susceptibilidad de dicha unidad a la formación de los movimientos en masa. En general se puede afirmar que existe una relación directa y proporcional. Aunque si es un factor dinámico importante, esta relación no siempre es correlacionable y depende principalmente del tipo de material (Vargas, 2001 en INGEOMINAS 2004).

En la Tabla 10, se muestran los grados de inclinación de la ladera, tomado y modificado de Vargas (2001, en INGEOMINAS 2004) y su relación con la resistencia del material. La calificación (**CalIncli**) se hace sobre la base que el proceso de degradación a que se ve sometida una cuenca hidrográfica, al igual que el caudal máximo, están muy influenciados por la configuración topográfica, que está directamente relacionada con la inclinación de la ladera, debido a que el poder erosivo se manifiesta en mayor o menor grado de acuerdo a los distintos grados de pendiente.



**Tabla 10.** Calificación de la inclinación de la ladera.

INCLINACION (Grados)	DESCRIPCION	CARACTERISTICAS DEL MATERIAL	CALINCLI
< 5	Plana a Suavemente	Muy blanda y Muy baja susceptibilidad a MM.	1
5 – 10	Inclinada.	Blanda y Baja MM.	1
10 – 15	Muy Inclinada.	Moderadamente Blanda y Moderada susceptibilidad a MM.	2
15 – 20	Abrupta.	Moderadamente Resistente y Moderada susceptibilidad a MM.	2
20 – 30	Muy abrupta.	Resistente y Alta susceptibilidad a MM.	3
30 - 45	Escarpada.	Muy Resistente y Alta susceptibilidad a MM.	3
> 45	Muy Escarpada.	Extremadamente Resistente y Alta susceptibilidad a MM.	3

**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2013.

### **Combinación del Relieve Relativo y la Inclinación de la Ladera (RelIncli).**

La combinación de los elementos fisiográficos, relieve relativo e inclinación de la ladera mediante el modelo RelIncli, permite la agrupación en un mismo escenario de los elementos geomorfológicos con mayor tendencia a los movimientos en masa tanto por evidencias antecedentes como por los eventos registrados en un catálogo e inventario de dichos movimientos. De esta manera se considera que la inclinación de la ladera que constituye una geoforma, no atributo suficiente para determinar la ocurrencia de un movimiento, en tanto no exista la contribución de la posición geográfica de dicha ladera a la ocurrencia o amplificación del evento. En el mismo sentido puede considerarse que una geoforma puede ubicarse a una cota respecto al nivel del mar que propicie la ocurrencia de un movimiento en masa por factores climáticos y erosivos, sin embargo, si las laderas que constituyen dicha geoforma no tienen una inclinación significativa, la posibilidad que se modifiquen las



condiciones de estabilidad es mínima, siempre y cuando no se modifique el equilibrio natural de la geoforma.

El modelo de relieve RelIncli seleccionado se muestra en la función, el cual permite que sobre las zonas de relieve relativo se caractericen grados de inclinaciones de ladera:

$$\text{RelIncli} = 0.60 * \text{RR} + 0.40 \text{ IL}$$

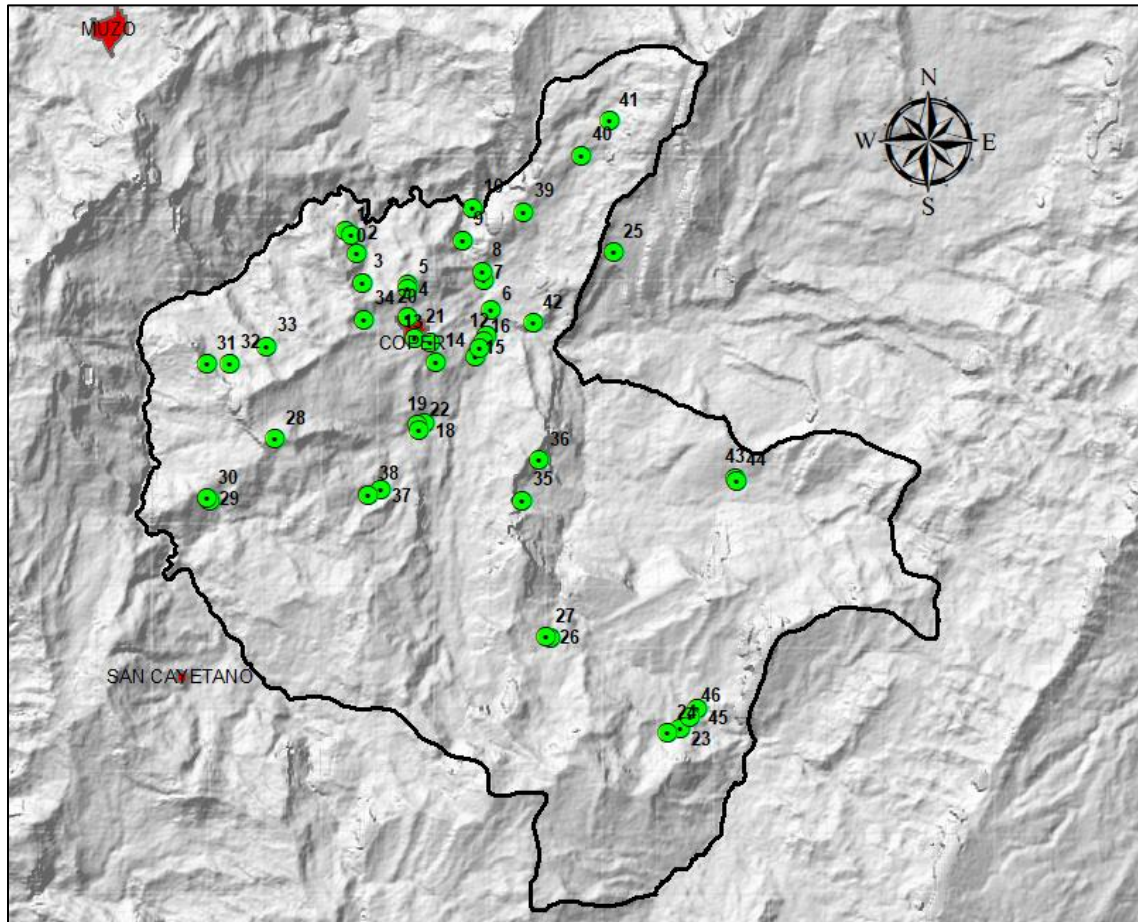
Los límites de calificación de este modelo de relieve se determinan sobre la base que es en este en donde se colocaran los elementos geomorfológicos más susceptibles, como son los suelos transportados y los procesos derivados del inventario.

### **Inventario y catálogo de procesos en área rural.**

Mediante el trabajo de campo se identificaron 48 movimientos en el sector rural, cuya geometría aproximada abarca un área alrededor de las 20.8 hectáreas en su totalidad, correspondiente al 0.14% de la totalidad del área del Municipio, aunque debido a la afectación directa e indirecta de la población, se reconocen dichas zonas como prioridad de análisis geodinámico, la ocurrencia de dichos fenómenos se debe principalmente a factores exógenos y endógenos que los reactivan y/o detonan, además de algunos contribuyentes como la resistencia de los materiales, la inclinación del talud o ladera, la escasa cobertura vegetal, el mantenimiento deficiente de los sistemas de drenaje, lo cual origina infiltración y sobresaturación del subsuelo y roca, acelerando el continuo crecimiento de los movimientos en masa y las actividades antrópicas evidenciadas en prácticas agrícolas y de ganadería sobre zonas susceptibles al deterioro de la cobertura vegetal y la capa orgánica en laderas de moderada a gran inclinación.

A continuación, se presenta la distribución espacial de los movimientos en masa inventariados en el Municipio (Figura 33).

**Figura 33.** Distribución espacial de los movimientos inventariados en la zona Rural, elaborado en ArcGis 10.5.



**Fuente.** El Estudio.

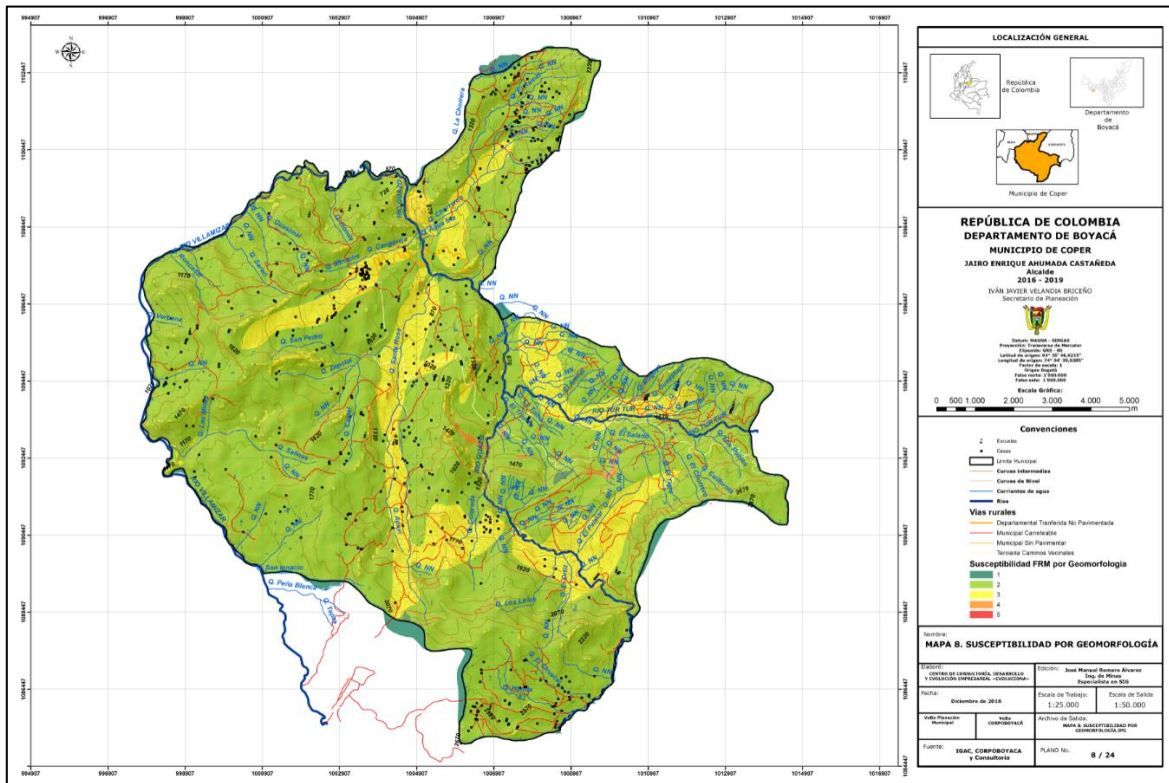
El inventario y descripción de los movimientos en masa se puede evidenciar en el anexo de Movimientos en masa.

#### **7.1.2.4 Condición de susceptibilidad del componente geomorfológico.**

La susceptibilidad a los movimientos en masa por Geomorfología, representa uno de los componentes de mayor importancia puesto que define aspectos relacionados con la génesis, litología y procesos de evolución. Estas características permiten conocer el sistema de relaciones espaciales que relacionan a las formas del terreno, y que se presenta en el Anexo, Geomorfología.

En la Figura 34, se ilustra el Mapa de Susceptibilidad por Geomorfología, en donde prevalece la susceptibilidad baja, seguida de la susceptibilidad media.

Figura 34. Mapa de susceptibilidad por geomorfología, elaborado en ArcGis 10.5.



Fuente: Los Autores, 2019.

A continuación, se describen los niveles de susceptibilidad por geomorfología presentes en la zona de estudio:

### Susceptibilidad Baja.

Esta se encuentra concentrada y localizada a lo largo de la totalidad de las veredas del Municipio, correspondiente al mayor porcentaje de área.

### Susceptibilidad Moderada.

Esta se encuentra concentrada y localizada en 4 zonas dentro del municipio de Coper: (1) zona Norte, hace parte de la vereda Cantino; (2) zona centro, hace parte de las veredas Páramo, Resguardo, Cucunubá y la zona occidental de la vereda Guayabal; (3) zona oriental, hace parte de la vereda Guayabal en su zona centro y oriental principalmente; (4) zona nororiental, hace parte de la Vereda Turtur en su zona centro y norte principalmente.



## Susceptibilidad Alta.

Comprende aquellos polígonos delimitados como zonas de afectación de los diferentes tipos de movimientos en masa, cuyos movimientos más importantes debido a su magnitud, se localizan en las veredas Turtur, Cucunubá, Resguardo, Guasimal, Ricaute y Cantino respectivamente.

### 7.1.3 Suelos.

#### 7.1.3.1 Información de suelos.

El suelo, al igual que las coberturas de la tierra son la entrada y el regulador inicial de la precipitación pluvial en el ecosistema. El movimiento del agua (escurrimiento o flujo superficial, infiltración, capilaridad, percolación, entre otros), tiende a modificar el estado de la materia y la energía del suelo, afectando sus propiedades y esfuerzos, pero sin alterar su naturaleza. IDEAM, 2009.

La determinación de las variables físicas de suelos, muestran el comportamiento a lo largo del perfil de éstos; donde, cada uno de ellos presenta diferentes características y cualidades que lo hacen complejo, en la determinación del comportamiento de la estabilidad. IDEAM, 2009. Expuestas las razones y criterios generales para el análisis de los suelos edafológicos en la susceptibilidad, se describen otros criterios cuya misión es sustentar los pasos dados, la selección y valoración de las variables que contengan los estudios generales de suelos a escala 1:25.000 para la zona de estudio (Figura 35 y 36).

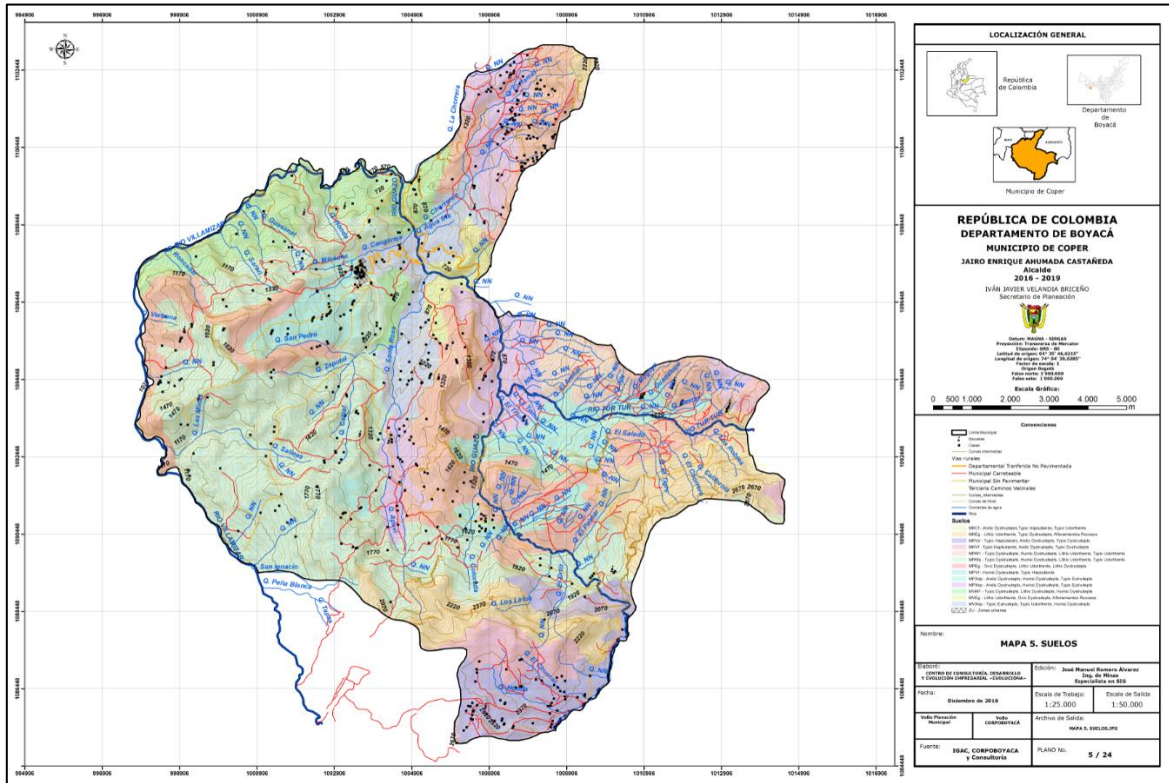
**Figura 35.** Diagrama de atributos de calificación de la variable suelo, con sus respectivos porcentajes.



**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2013.



Figura 36. Mapa de suelos del Municipio de Coper, elaborado en ArcGis 10.5.



Fuente: EVOLUCIONA, 2016, Informe general de amenaza en el municipio de Coper, Departamento de Boyacá.

## Textura.

Puede pensarse en varias alternativas de análisis y uso de la variable según criterio del experto:

- Estableciendo la discontinuidad textural en el perfil. Análisis entre horizontes y su ubicación dentro del perfil.
- El análisis textural de los suelos edáficos aproximarlos a un sistema unificado de uso en ingeniería geotécnica.
- Utilizar una textura ponderada en el perfil de los suelos y calificarla de acuerdo con valoración de susceptibilidad. Después del análisis se escogió esta última alternativa para el propósito del proyecto.



La clase textural se obtiene en forma directa consultando los perfiles modales y las tablas que contienen resultados de laboratorio físico y químico. Para cada unidad de suelos se sugiere obtener una textura ponderada a partir del espesor de la textura de cada horizonte y la profundidad total del perfil. En la Tabla 11, está la calificación de la textura de suelos.

**Tabla 11.** Calificación de la textura de suelos.

Clase Textural	Calificación
Gr, A, FAGrP, AGr, AFP	1
AF, FAGr, FArAGr, FArGr, FGr, FGrP	2
ArA, ArGr, FA, FArLGr, ArLGr, FLGr, ArAGr	3
F, F-Org, FAr, FArA, FArL,FL, FLOrg,	4
Ar, ArL,	5

**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2013.

### Taxonomía.

La taxonomía de suelos, corresponde a un sistema básico de clasificación para hacer e interpretar los levantamientos de suelos. En la Tabla 12, se presenta la calificación de la taxonomía de suelos a nivel de Orden.

**Tabla 12.** Calificación de la taxonomía de suelos a nivel de Orden.

Orden de suelos	Calificación
Oxisol, Ultisol.	1
Alfisol.	2
Mollisol, Andisol, Espodosol.	3
Vertisol, Aridisol.	4
Inceptisol, Entisol, Histosol.	5

**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2013.

### Drenaje Natural

La importancia del drenaje natural, radica en conocer la frecuencia y duración de los períodos húmedos bajo condiciones similares, a aquellas en las cuales se han desarrollado los suelos, o sea, en condiciones naturales. IDEAM, 2009.



El drenaje interno contribuye a la estabilización de masas de tierra, ya que logra controlar el flujo de agua subterránea, al mismo tiempo que reduce las presiones de poros y se aumenta por tanto la resistencia al corte del material (Fajardo Puerta, 2005). En la Tabla 13, se presenta la calificación de la taxonomía de suelos a nivel de Orden.

**Tabla 13.** Calificación de la taxonomía de suelos a nivel de orden

Clase	Características	Categoría de susceptibilidad
Excesivo	No retienen agua después de las lluvias.	1
Moderado excesivo	No retienen agua para las plantas después de las lluvias. El nivel freático nunca sube por encima de 2 metros.	
Bueno (Bien)	Suelos óptimos para el abastecimiento de agua y aire a los cultivos. Nivel freático siempre por debajo de 80 cm.	2
Moderado	El agua es removida lentamente hasta el nivel freático (40-80 cm. en época de lluvias). Requiere drenaje para cultivos permanentes.	3
Imperfecto	Suelos con capas impermeables que impiden percolación en época de lluvias.	4
Pobre	Agua removida lentamente y los perfiles están mojados en la época de lluvias. Se requiere drenaje.	
Muy pobre	Agua freática cerca o sobre la superficie. Encharcamientos permanentes. Se requiere drenaje.	5



Clase	Características	Categoría de susceptibilidad
Pantanosos	Agua freática sobre la superficie. Encharcamientos permanentes. Se requiere drenaje.	

**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2013.

### Profundidad

Aquí la profundidad de los suelos está definida por el espesor de los horizontes y se puede definir hasta donde se encuentra el contacto con el material parental o litológico y puede tenerse también como referencia la profundidad efectiva (hasta donde pueden penetrar las raíces de las plantas).

La importancia de la profundidad total del perfil de suelos, radica en que nos determina hasta donde pueden penetrar las raíces de las plantas, hasta donde puede moverse el agua, a que profundidad se encuentran las limitantes o impedimentos tanto de tipo físico como químico, tales como densidad, material litológico, toxicidades por elementos, entre otros. Igualmente, permite establecer características o aspectos importantes en los procesos de formación del suelo o relevancias en cuanto a acontecimientos naturales que se han presentado a lo largo del tiempo. De otro lado, permite determinar, de manera estimada y Se puede consultar de los perfiles modales y de los resultados de laboratorio. La Tabla 14, presenta la guía de calificación de la profundidad de los suelos relacionada con la susceptibilidad de los mismos.



Tabla 14. Calificación de profundidad total.

Profundidad (cm)	Categoría	Calificación
0-25	Muy baja o muy superficial	1
25-50	Baja o superficial	2
50-100	Media o moderadamente profunda	3
100-150	Alta o profunda	4
mayor a 150	Muy alta o muy profunda	5

**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2013.

### Tipo de Arcilla.

Es evidente como las características del tipo de suelo o roca determinan el tipo de fenómeno de remoción en masa. En particular, el suelo volcánico, por su reducido espesor y bajo contenido en fracción arcillosa, da origen a flujos de lodo de limitado espesor y alcance, cuya localización, en correspondencia con lluvia abundante, depende casi exclusivamente de la pendiente de la ladera.

Suárez (1.998), señala que las arcillas son esencialmente hidróxidos de aluminio microcristalinos formando capas de silicatos, los cuales tienen una estructura en capas o partículas laminares. De las propiedades de las arcillas, la capacidad de intercambio catiónico generalmente controla su comportamiento frente al agua y su inestabilidad. A mayor capacidad de intercambio catiónico la arcilla es más inestable.

En general, el tipo de mineral de arcilla presente y el porcentaje, en proporción con el total de minerales afecta en forma considerable el comportamiento del suelo. Las otras propiedades de las arcillas, como son sus características de expansión y contracción siguen un mismo patrón antelas propiedades de plasticidad, entre más plástico el material mayor su potencial de expansión y menor su resistencia al esfuerzo cortante. En la Tabla 15, se presenta la calificación propuesta en orden de aparición para la calificación del tipo de arcilla.



**Tabla 15.** Calificación del tipo de arcilla.

Grupos de tipo de arcilla	Calificación
Caolinita Caolinita, Biotita	1
Halloisita	2
Caolinita, Montmorillonita, Vermiculita Caolinita, Muscovita, Montmorillonita	3
Montmorillonita, Clorita, Caolinita Montmorillonita, Vermiculita, Caolinita	4
Alófana, Gipsita, Montmorillonita, Vermiculita Muscovita, Illita, Vermiculita, Montmorillonita Muscovita, Montmorillonita, Vermiculita Talco, Muscovita, Vermiculita, Montmorillonita	5

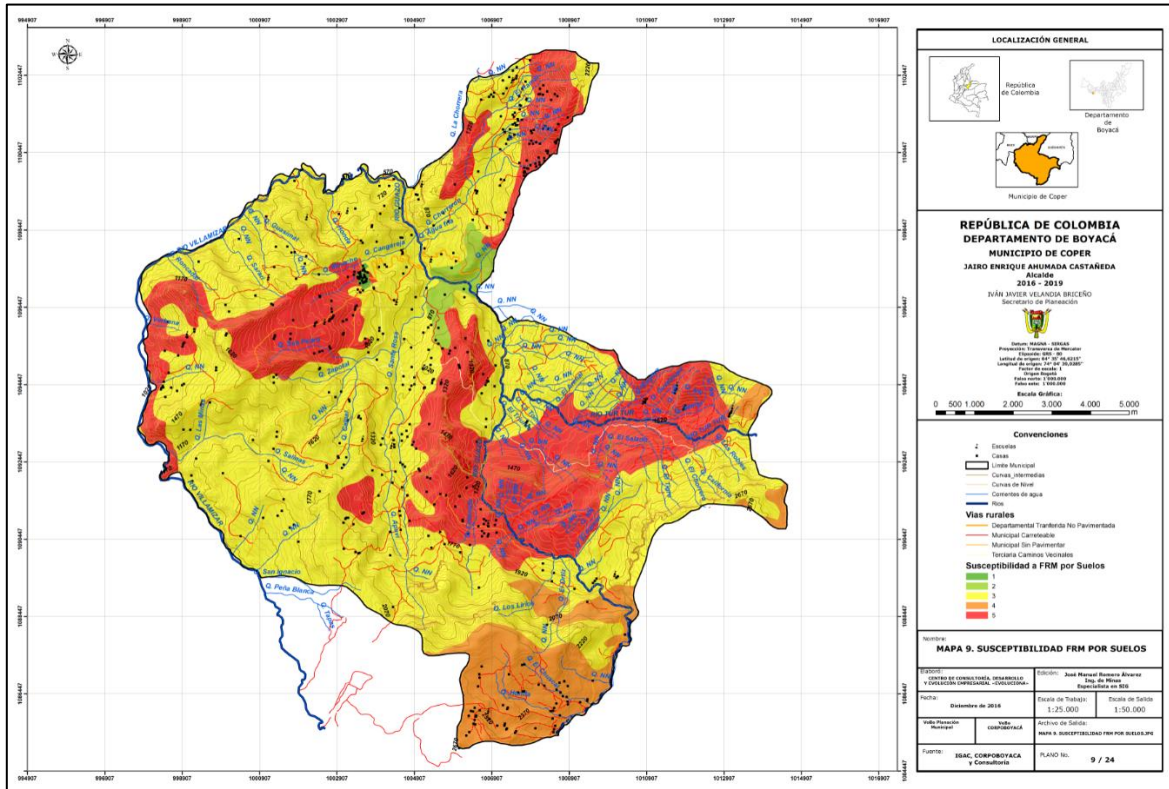
**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2013.

#### 7.1.3.2 Condición de susceptibilidad del componente suelo.

El suelo visto como la parte superficial de la superficie terrestre que soporta vida, cobra gran importancia en los parámetros a evaluar en la susceptibilidad a los movimientos en masa, debido a que constituye el amarre o estabilizador de la superficie de la tierra, a la vez que constituye la mayor parte del material que se desplaza en movimientos en masa.

Una vez el suelo se descubre cortando la vegetación, cuyas raíces forman una red dentro del suelo que lo protegen de los desplazamientos, o se somete a la sobreexplotación, queda vulnerable a los eventos atmosféricos y gravitacionales para ser desplazado en favor de la pendiente. La evaluación de las características de los suelos da lugar al mapa de susceptibilidad para esta variable (Figura 37), el cual se obtuvo a partir del Mapa de Suelos Edáficos. En la Tabla 16, se observa la valoración de los parámetros.

Figura 37. Mapa de susceptibilidad por suelos edáficos, elaborado en ArcGis 10.5.



**Fuente:** EVOLUCIONA, 2016, Informe general de amenaza en el municipio de Coper, Departamento de Boyacá.

Tabla 16. Valoración de parámetros del componente suelo.

UCSuelo	CalText	CalTaxom	CalDren	CalProf	CalArcilla	CalSusSuel
MK Cf	3.9565	4	1.9	3.65	3.15	3.43195
MKEg	2.899	4	1.8	1.85	2.1	2.5297
MKEg	2.899	4	1.8	1.85	2.1	2.5297
MKEg	2.899	4	1.8	1.85	2.1	2.5297
MKVd	3.566	4.2	2.2	3.8	3.2	3.4298
MKVd	3.566	4.2	2.2	3.8	3.2	3.4298
MKVf	3.566	4.2	2.2	3.8	3.2	3.4298
MKVf	3.566	4.2	2.2	3.8	3.2	3.4298
MPAf1	2.198	5	2	2.7	2	2.6494
MPAfp	2.198	5	2	2.7	2	2.6494
MPAfp	2.198	5	2	2.7	2	2.6494
MPEg	2.7005	4.8	1.9	2.7	1.95	2.74515
MPEg	2.7005	4.8	1.9	2.7	1.95	2.74515
MPEg	2.7005	4.8	1.9	2.7	1.95	2.74515



UCSuelo	CalText	CalTaxom	CalDren	CalProf	CalArcilla	CalSusSuel
MPEg	2.7005	4.8	1.9	2.7	1.95	2.74515
MPXdp	2.842	4.9	2.1	3.3	2.15	2.9926
MPXdp	2.842	4.9	2.1	3.3	2.15	2.9926
MPXdp	2.842	4.9	2.1	3.3	2.15	2.9926
MPXdp	2.842	4.9	2.1	3.3	2.15	2.9926
MPXdp	2.842	4.9	2.1	3.3	2.15	2.9926
MPXdp	2.842	4.9	2.1	3.3	2.15	2.9926
MPXep	2.842	4.9	2.1	3.3	2.15	2.9926
MPXep	2.842	4.9	2.1	3.3	2.15	2.9926
MPXep	2.842	4.9	2.1	3.3	2.15	2.9926
MPXep	2.842	4.9	2.1	3.3	2.15	2.9926
MVAf1	3.093	4.8	2	2.6	2.3	2.9279
MVAf1	3.093	4.8	2	2.6	2.3	2.9279
MVEg	2.079	4.6	2	1.8	1.9	2.3537
MVXep	3.4745	5	2	3.55	2	3.20235
ZU	2	2	2	2	2	2
MPVf	3.0065	4.1	2	3.55	3.35	3.19695

**Fuente:** EVOLUCIONA, 2016, Informe general de amenaza en el municipio de Coper, Departamento de Boyacá.

### **Susceptibilidad Muy Baja.**

Corresponde al menor porcentaje de área en el municipio, identificándose un único polígono, en el área correspondiente al casco urbano del Municipio de Coper.

### **Susceptibilidad Baja.**

Corresponde a la segunda calificación más baja, se representa mediante un único polígono localizado en el sector nororiental del Municipio entre las veredas Cantino y Cucunubá.

### **Susceptibilidad Moderada.**

Abarca la mayor extensión superficial del municipio concentrándose y distribuyéndose en dos zonas, sobre todo hacia el Norte del casco urbano del municipio así: (1) Zona Norte del casco urbano y sector occidental, se localiza en parte de las veredas Cantino y Guasimal, Ricaute, Cucunuba, Paramo y en menor porcentaje en la vereda Resguardo; (2) Zona oriental del Municipio, se localiza en





parte de las veredas, principalmente Turtur, la zona norte de la Vereda Guayabal y Cucunubá en menores porcentajes.

### **Susceptibilidad Alta.**

Corresponde al tercer menor porcentaje de área en el municipio, cuyo polígono más representativo se localiza en el extremo sur del mismo, siendo el mayor porcentaje de susceptibilidad en la vereda Pedro Gómez.

### **Susceptibilidad Muy Alta.**

Corresponde al segundo mayor porcentaje dentro del atributo de suelos, cuyos polígonos más representativos (3) se localizan de la siguiente manera: (1) Zona centro, se localiza al oriente de la cabecera municipal, en las veredas Páramo y Resguardo principalmente; (2) Zona oriental, es el polígono de mayor extensión dentro de la calificación, se localiza en el sector oriental de la vereda Turtur, centro y occidente de la vereda Guayabal y nororiente de la vereda Cucunubá; y (3) Zona norte, se localizan dos polígonos en el extremo norte del Municipio, hacia el oriente y occidente de la vereda Cantino.

## **7.1.4 Cobertura de la tierra.**

### **7.1.4.1 Información de cobertura de la tierra.**

La cobertura de la tierra es un resultado de la interacción de la dinámica natural geológica, geomorfológica, los suelos, el clima y sistemas de comunidades bióticas, interrumpida por el hombre para su supervivencia y desarrollo. Dicha interrupción genera o contribuye a la aparición de diferentes procesos como afectación en la evolución de las especies, deterioro de ecosistemas, cambios en el patrón de ciclos hidrológicos, cambios en las formas del relieve (en gran número de casos en forma negativa produciendo movimientos en masa, flujos, avalanchas, erosión).<sup>16</sup>

La visión enunciada configura la relación e interdependencia de los recursos evaluados (incluyendo la cobertura y uso del suelo) para estimar una susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa en cuya expresión se manifieste el efecto del hombre. Una evidencia permanente, tangible y evaluable es la ocurrencia de movimientos en masa donde la cobertura de la tierra siempre ha estado implicada.

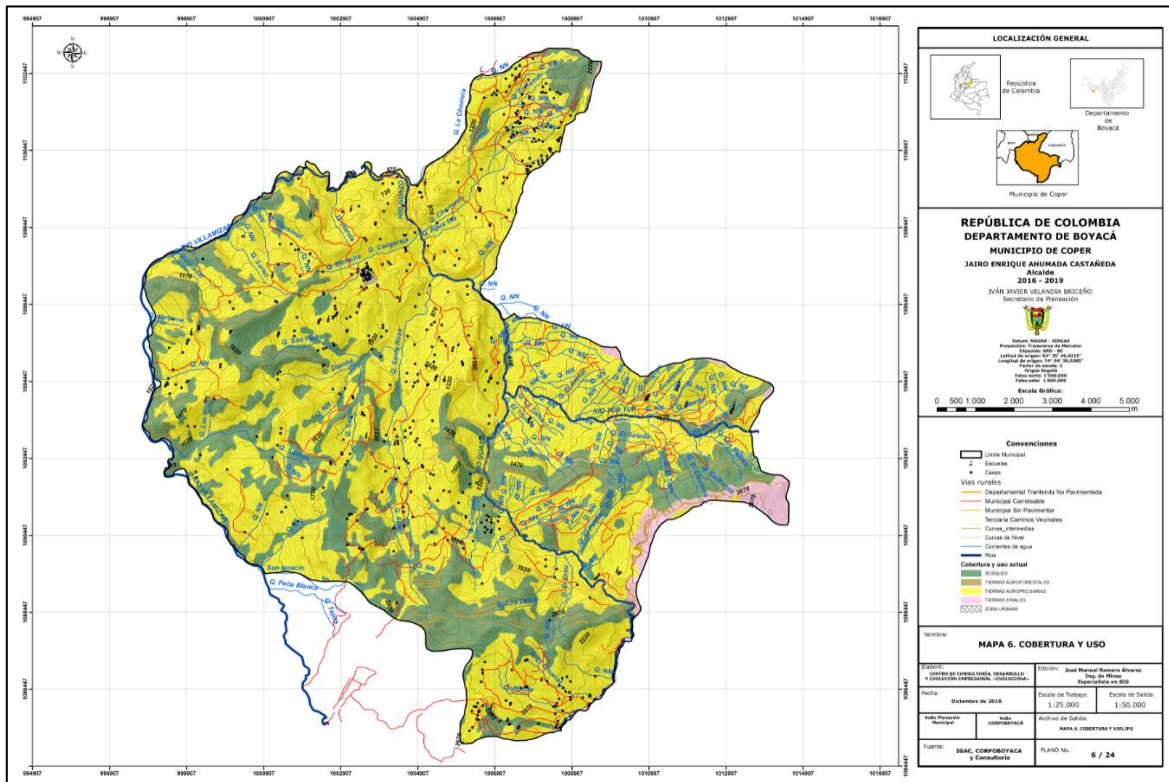
---

<sup>16</sup> Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000.

Esa relación e interdependencia podría aproximarse mediante varias alternativas (metodologías), dependiendo de la información disponible y de la experticia de quien se decida a hacer tal evaluación.<sup>17</sup>

En la Figura 38, se presenta el mapa de cobertura y Uso actual del suelo.

**Figura 38.** Mapa de Cobertura y Uso actual.



**Fuente:** EVOLUCIONA, 2016, Informe general de amenaza en el municipio de Coper, Departamento de Boyacá.

### Calidad de Sitio.

Este concepto evalúa el espacio donde mejor o no se desarrollan los bosques coetáneos o disetáneos, se podría utilizar para referirse a un símil que se pueda construir con características de los suelos, el clima y el relieve del lugar. En los suelos más evolucionados, más profundos y con mejores condiciones de humedad, la vegetación crece más y más vigorosa, el resultado son bosques más densos, con

<sup>17</sup> Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2013.



cierta estratificación que regulan mejor los flujos de agua en el suelo, hacia la roca y los caudales en los cauces, de otro lado debe diferenciarse los diferentes tipos de bosque (de niebla, secos tropicales, bosques bajos, de páramo, de galería, de colinas bajas, entre otros).

Para los cultivos y otro tipo de uso podría pensarse algo similar (con buenas condiciones ecológicas), entonces las coberturas generaran mejores sistemas de raíz, más lignificada con mejor protección hacia los suelos, desde luego el manejo apropiado que se les dé a los cultivos también incidirá.

### **Conflictos de uso – Tipos de Cobertura.**

Cuando se determina que existe un tipo de conflicto de uso por ejemplo, sobreutilización alta del suelo, se podría pensar que el cultivo puede estar mal ubicado (según la capacidad de los suelos de soportar tal cobertura y generar beneficios suficientes) y a partir de dicha certeza, deducir que en ese espacio hay o se pueden presentar procesos como erosión, flujos, deslizamientos, reptación, luego la cobertura podría calificarse como 5 en función de la susceptibilidad a deslizamientos o movimientos en masa.

### **Variables Hidrológicas y el Sistema de Raíz de las Coberturas.**

El fundamento de esta propuesta se encuentra cuando se investiga y analiza las coberturas vegetales relacionadas con un modelo de balance hídrico (modelo conceptual o un balance realizado en una cuenca piloto), aquí es importante por un lado saber cuáles son las interacciones que se dan entre el agua, vegetación, suelos y roca, por otro lado, tener resultados de investigaciones en diferentes lugares ojalá representativos del área andina.

Ejemplo de un modelo es el de Lee (1980), sugerido por Sicard y Suárez (1998) con el propósito de evaluar efectos de plantaciones forestales sobre suelo y agua, sin embargo, queda a criterio del experto escoger otro modelo hidrológico que ilustre las funciones de la cobertura vegetal y las interacciones con otros elementos del ambiente.



Dónde:

Pt = Precipitación total

I = Intercepción

E = Escorrentía

D = Drenaje profundo

ET = Evapotranspiración (también relacionada con el consumo de agua en los cultivos y pastos)

S = Cantidad de agua almacenada en el suelo

Pe = Precipitación efectiva

Fc = Flujo caular

En esta opción, las variables sugeridas son evapotranspiración (referida en la relación evapotranspiración de referencia Eto y la evapotranspiración estándar Etc (Etc/Eto= Kc, coeficiente del cultivo), las fuentes para obtener datos de referencia son los estudios de la FAO y otros en la región andina. Otra variable, drenaje profundo en presencia de diferentes tipos de cobertura, el sistema de raíz, finalmente se puede inferir el número de estratos que tenga la cobertura, los datos y aspectos referentes pueden ser encontrados en los documentos relacionados en la bibliografía y en otros que estén relacionados con el tema.

Esta última alternativa (Variables hidrológicas y del sistema de raíz de las coberturas) es la que se aplicara en la metodología y ejecución de la susceptibilidad del proyecto.

Para el cálculo de los valores de susceptibilidad a los movimientos en masa se empleó siguiente ecuación:

$$Cal = (Evp\_Kc + RD + SR + E) / 4$$

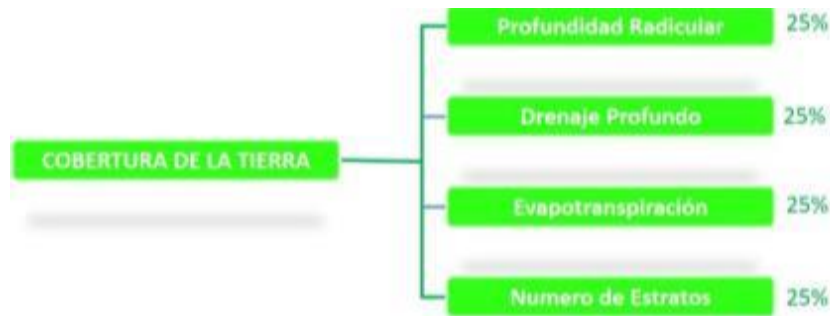
#### **7.1.4.2 Calificación de la Cobertura en Función de la Susceptibilidad.**

Realizada la calificación y zonificación de las coberturas, se considera necesario si es posible hacer alusión y destacar áreas protegidas (zonas de reserva, parques naturales nacionales, reservas municipales o departamentales, entre otras) que se encuentren en el área que se esté evaluando con relación a la susceptibilidad a los movimientos en masa.

Ya se expusieron en forma general enfoques, alternativas, criterios y variables,

ahora se complementará con algunas funciones de las variables y valores referentes. En la Figura 39, se muestra la variable cobertura de la tierra con sus atributos a calificar con sus pesos dentro de la variable de susceptibilidad.

**Figura 39.** Atributos de la variable cobertura de la tierra, con sus respectivos porcentajes.



**Fuente:** Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2013.

### **Sistema Radicular de las Coberturas Vegetales.**

Según Fajardo 2005, “El pasto alto (elefante, gigante o similares), evita completamente la erosión por las gotas de lluvia, retarda el flujo y evita la erosión laminar. Las raíces profundas eliminan las cárcavas y surcos”. “Las raíces actúan como refuerzo y sostén del suelo incrementando la resistencia al cortante y la resistencia a la fuerza tractiva del agua. La forma como las raíces actúan en cada caso está determinad a por el tipo de planta y por las condiciones del suelo del sitio”.

Con la funcionalidad descrita, las coberturas que mejor protegen y son menos susceptibles a movimientos en masa son los bosques, por lo que sugiere dar una calificación entre 1 y 2 según el grado de intervención que haya tenido. Para el caso de cultivos y pastos el experto podrá evaluar el tipo de cobertura (la calificación puede estar alrededor 2 - 3 - 4), otras coberturas como arbustales, vegetación secundaria pueden dárseles calificación intermedia (3-4).

A continuación, se presenta la Tabla 17, de referencia para la calificación del sistema radicular.



**Tabla 17.** Categorización y calificación de la profundidad efectiva

Profundidad Efectiva	Rango (cm)	Susceptibilidad
Muy Superficial	Menos de 25 cm	5
Superficial	25-50 cm	4
Moderadamente Profundo	50-100 cm	3
Profundo	110-150 cm	2
Muy Profundo	Mayor de 150 cm	1

**Fuente.** Manual de suelos de la subdirección de Agrología – IGAC. (USDA-2007).

### Drenaje Profundo.

Significa la facilidad con la cual el flujo de agua se mueve hasta el drenaje profundo en presencia de determinada cobertura vegetal, en un criterio anterior se hizo alusión a esta función.

Con base en los valores de referencia, en algunos estudios se ha calificado a los bosques con valores de 1 y 2 (que favorecen la regulación y estabilidad de los terrenos) y de 4 a 5, en herbazales y de 2 a 3, pastos enmalezados, pastos y cultivos.

A continuación, se presenta la tabla de referencia para la calificación del Drenaje Profundo, que abarca aproximadamente el 20% del 100% del total de la precipitación efectiva que entra al dosel de las coberturas (Tabla 18).

**Tabla 18.** Categorización y calificación de la variable drenaje profundo.

Drenaje profundo	Rango (%)	Susceptibilidad	Categorización	Coberturas Asociadas
Muy Superficial	0 – 10	5	Muy alta	Pastos
Superficial	10,1 – 20	4	Alta	Áreas agrícolas



Drenaje profundo	Rango (%)	Susceptibilidad	Categorización	Coberturas Asociadas
Moderadamente profundo	20,1 – 30	3	Media	Arbustales abiertos
Profundo	30,1 – 40	2	Baja	Arbustales densos
Muy Profundo	Mayor de 40	1	Muy Baja	Zonas boscosas

Fuente. Criterio del Temático. Servicio Geológico Colombiano. 2012

### Número de Estratos.

En esta variable se desea utilizar el número de estratos de una cobertura vegetal para darse una idea por ejemplo del tipo de bosque, de su densidad, estructura, el resultado es que tan buena protección hace en algunos aspectos. Ejemplo para bosques bien evolucionados es posible encontrar hasta 4 estratos, de esta manera se podría calificar entre 1 y 2; para un cultivo limpio que solo tiene un estrato, su susceptibilidad sería de 4 – 5.

A continuación, se presenta la Tabla 19, de referencia para la calificación del número de estratos.

**Tabla 19.** Categorización y calificación de la variable número de estratos.

Estratos de la Cobertura	Rango (No de estratos verticales)	Susceptibilidad
No presenta	0	5
Baja densidad Estructural	1	4
Media densidad estructural	2	3
Moderadamente Alta	3	2
Alta densidad Estructural	4	1

Fuente. Criterio del Temático. Servicio Geológico Colombiano. 2012



### Evapotranspiración.

Una alternativa para la variable es usar el Kc como ya se anotó. Existe información variada sobre el parámetro, aquí se trae unos valores referentes de la FAO. Para valorar las coberturas, Kc más altos (1,1,1,2), tendrá una calificación de 1 – 2, de acuerdo con la Tabla 20.

**Tabla 20.** Categorización y calificación de la variable evapotranspiración.

Evapotranspiración	Rango del coeficiente	Susceptibilidad
Muy Baja	0 - 0,5	5
Baja	0,51 - 0,8	4
Media	0,81-1	3
Alta	1,1-1,5	2
Muy Alta	Mayor de 1,5	1

**Fuente.** Criterio del Temático. Servicio Geológico Colombiano. 2012

#### 7.1.4.3 Condición de susceptibilidad por el componente de cobertura de la tierra.

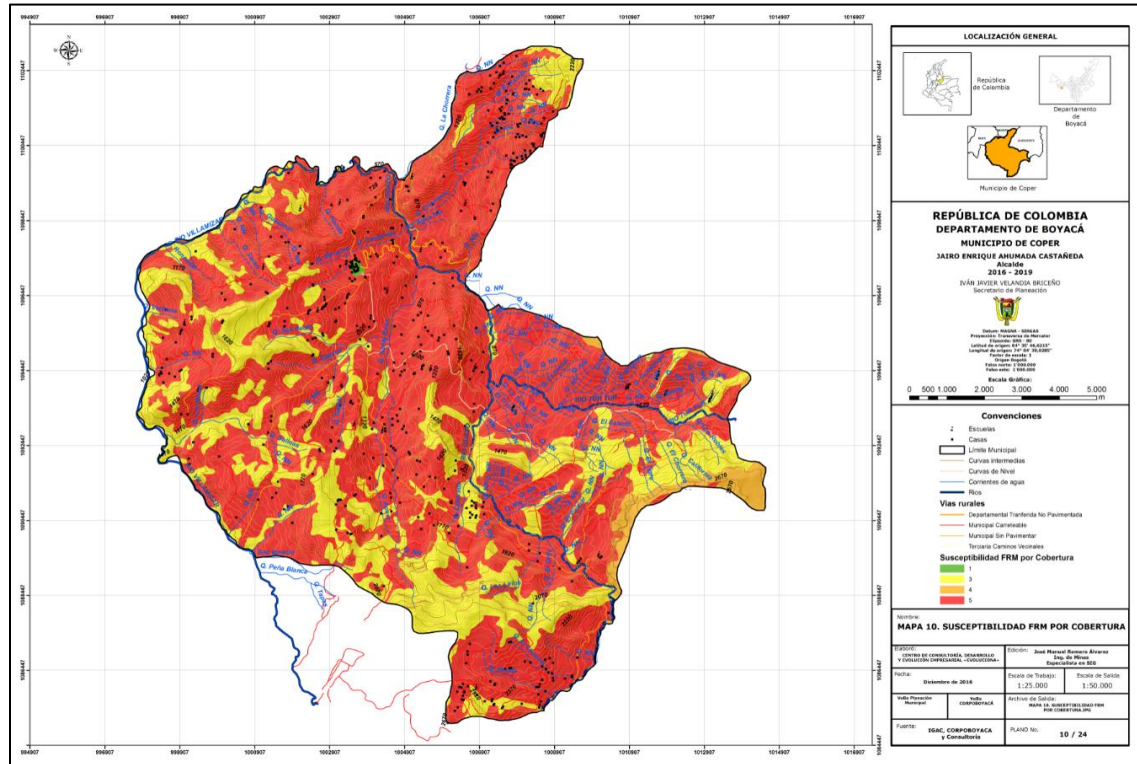
Las coberturas vegetales muestran directamente el cambio de la dinámica natural de la superficie terrestre, ejercen un papel importante en la regulación de procesos erosivos, generan un equilibrio de la humedad del suelo y del ambiente, disminuyen el movimiento del agua por procesos de escorrentía superficial facilitando el drenaje subterráneo; sus sistemas radiculares forman un entretejido amarrando los horizontes superficiales del suelo y reduciendo así la probabilidad de deslizamientos poco profundos.

Para la evaluación del componente cobertura vegetal se tienen en cuenta aspectos que interactúan con el suelo y están en función de la susceptibilidad a movimientos en masa.

Una vez evaluados los atributos del componente de Cobertura Vegetal, se generó el mapa de susceptibilidad (Figura 40), a partir de un proceso de superposición temática, obteniéndose las diferentes categorías descritas. En la Tabla 21, se observa la valoración de los parámetros.



Figura 40. Mapa de susceptibilidad por cobertura, elaborado en ArcGis 10.5.



Fuente: EVOLUCIONA, 2016, Informe general de amenaza en el municipio de Coper, Departamento de Boyacá.

Tabla 21. Valoración parámetros cobertura del suelo.

VALORACIÓN PARÁMETROS COBERTURA DEL SUELO, DEL MUNICIPIO DE COPER				
Tipo de Cobertura y uso Actual	Profundidad Radicular	Drenaje Profundo	Evapotranspiración	Número de estratos
Arbustos y Matorrales	3	2	4	3
Bosque Fragmentado con Pastos y Cultivos	2	1	4	2
Bosque Fragmentado con Vegetación Secundaria	2	1	4	2
Bosque Natural Denso	1	1	4	1
Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales	3	4	4	3



VALORACIÓN PARÁMETROS COBERTURA DEL SUELO, DEL MUNICIPIO DE COPER				
Tipo de Cobertura y uso Actual	Profundidad Radicular	Drenaje Profundo	Evapotranspiración	Número de estratos
Mosaico de Pastos con Espacios Naturales	4	4	3	4
Mosaico de Pastos y Cultivos	3	4	3	3
Pastos Arbolados	4	5	4	3
Pastos Limpios	5	5	3	4
Ríos	NA	NA	NA	NA
Vegetación de Páramo	4	5	3	4
Tejido Urbano Continuo	NA	NA	NA	NA

**Fuente:** EVOLUCIONA, 2016, Informe general de amenaza en el municipio de Coper, Departamento de Boyacá.

### **Susceptibilidad muy Baja.**

Esta se concentra y localiza en una pequeña área correspondiente a la cabecera municipal de Coper.

### **Susceptibilidad Moderada.**

Corresponde al segundo mayor porcentaje de área dentro del municipio, distribuido en diferentes polígonos dispersos preferencialmente hacia el centro y sur del municipio, se encuentran predominantemente en las veredas Guayabal, Cucunubá, Ricaute, Páramo, y Guasimal.

### **Susceptibilidad Alta.**

Esta se encuentra concentrada y localizada en una única zona, bordeando el Municipio por el extremo suroriental, correspondiente a la parte oriental de la vereda Guayabal, siendo esta la segunda menor cobertura en extensión del municipio.

### **Susceptibilidad Muy Alta.**

Corresponde al mayor porcentaje dentro de la calificación de cobertura de la tierra, se identifican grandes polígonos dispersos a lo largo de la totalidad del municipio,

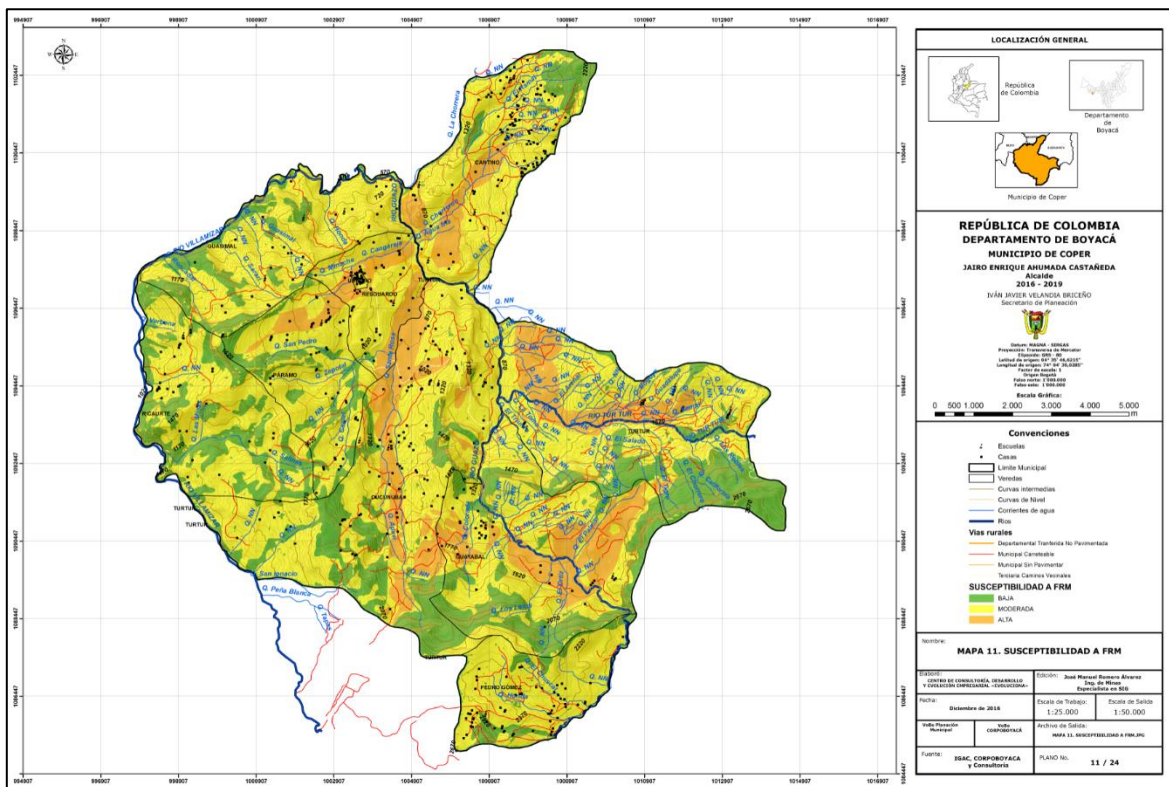


siendo mayor la concentración en el centro y norte del mismo, abarcando gran parte de todas las veredas del Municipio.

### 7.1.5 Susceptibilidad por movimientos en masa

En la Figura 41, se observa el mapa final de susceptibilidad por movimientos en masa, resultado de la suma de las variables (geología, geomorfología, suelos edáficos y cobertura vegetal).

**Figura 41.** Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa, elaborado en ArcGis 10.5.



Fuente: Los Autores, 2019.

#### 7.1.5.1 Susceptibilidad Baja.

Se localizan polígonos independientes en la totalidad de las veredas que componen el Municipio de Coper, principalmente se localizan por orden de porcentajes en las Veredas Ricaurte, Cucunubá, Guayabal, Turtur, Guasimal y Páramo respectivamente.



Esta categoría de susceptibilidad, se desarrolla sobre geoformas con relieve relativo bajo a muy bajo de origen fluvial y antrópico tipo planos de inundación, barras longitudinales, cauces aluviales y embalses lo cual representa poca o nula susceptibilidad al desarrollo de movimientos en masa, pero si representa alta susceptibilidad a otros procesos, tales como inundaciones. Se presentan en depósitos no consolidados, heterogéneos, de material aluvial, compuestos por fragmentos mal seleccionados de diversos tipos de roca, generalmente sin estratificación, arenas, limos y arcillas.

En este tipo de susceptibilidad aparecen suelos profundos y moderadamente profundos de áreas planas, aledañas a los cursos de agua, a suelos con altos contenidos de materia orgánica de sectores depresionales y a los centros poblados. En este tipo de susceptibilidad aparecen suelos profundos y moderadamente profundos de áreas planas, aledañas a los cursos de agua, a suelos con altos contenidos de materia orgánica de sectores depresionales y a los centros poblados.

#### **7.1.5.2 Susceptibilidad Moderada.**

Se evidencia en zonas con laderas inclinadas a abruptas, se desarrolla en ambientes denudacional y estructural, sobre geoformas de superficies de erosión y aplanamiento, sierras residuales, lomeríos muy disectados, sierra y lomos de presión, sierras de barras estructurales, espolones y espolones festoneados, entre otras unidades, que han sido afectadas por la acción erosiva, las cuales en su actuar han eliminado las zonas de acumulación de suelos residuales antiguos, por lo que los suelos presentes son relativamente nuevos y estables.

Esta categoría corresponde al mayor porcentaje de área dentro del Municipio de Coper, encontrándose dispersa en todas las veredas del Municipio, teniendo las mayores concentraciones por Veredas en Pedro Gómez, Guasimal, Páramo, Ricaurte, Cantino, Turtur, Cucunubá, Guayabal y Resguardo en menor porcentaje. Se desarrolla sobre unidades litoestratigráficas sedimentarias, de edades cretácicas principalmente como la Formación Areniscas de Chiquinquirá, Formación Simití, Formación Tablazo y Formación Paja, y algunas zonas de depósitos cuaternarios de tipo coluvial, en menor proporción.

#### **7.1.5.3 Susceptibilidad Alta.**

Esta categoría de susceptibilidad se desarrolla sobre zonas de laderas abruptas, se presenta en unidades geomorfológicas principalmente de origen estructural tales



como laderas de contrapendiente, laderas escalonadas, escarpes de líneas de falla y escarpes de erosión mayor y en menor proporción unidades de tipo denudacional. Litológicamente, se desarrolla en depósitos de tipo Coluvial preferencialmente. Durante el trabajo de campo, en estas zonas se identificaron movimientos en masa, principalmente deslizamientos traslacionales, deslizamientos rotacionales seguidos de flujos de detritos y en menor cantidad las caídas de detritos y las reptaciones de suelos. Las zonas de susceptibilidad alta se encuentran en las veredas Guayabal, Cucunubá, Turtur, Cantino, Resguardo y Páramo.

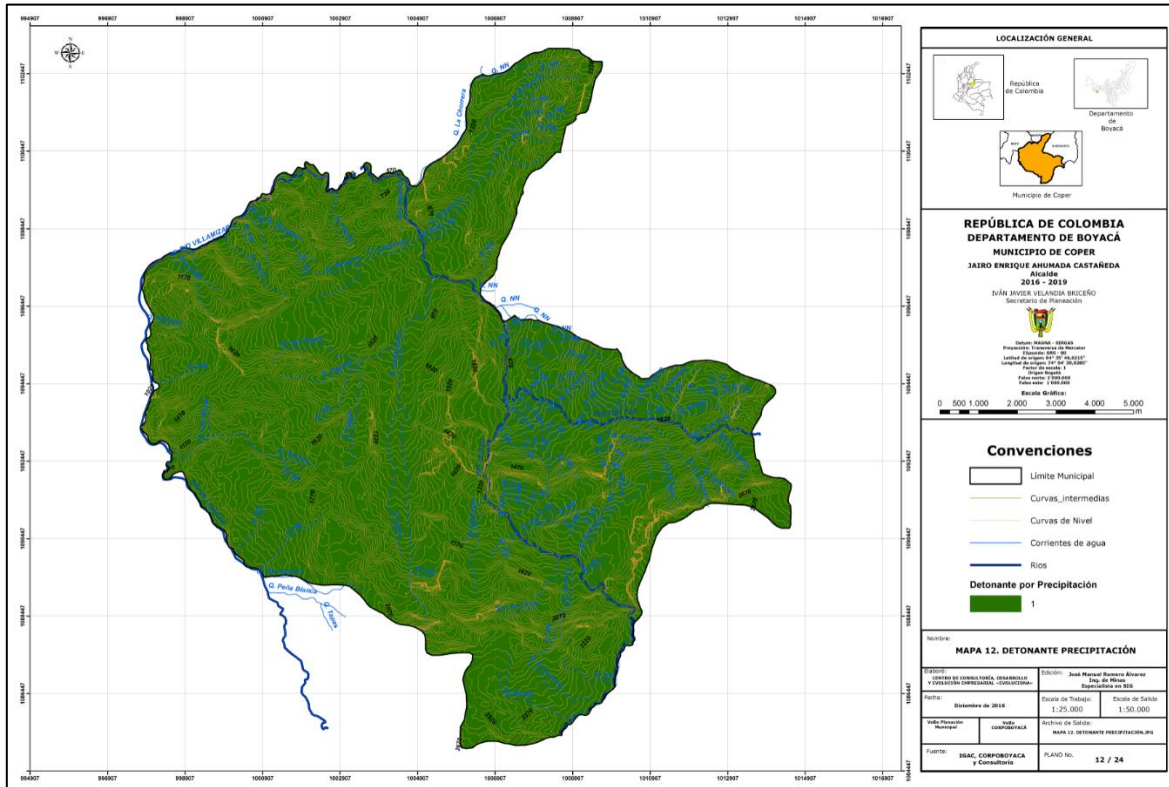
## **7.1.6 Factores detonantes**

### **7.1.6.1 Factor detonante lluvia.**

En la Figura 42, se muestra el mapa correspondiente al factor detonante lluvia, que zonifica la distribución de la lluvia máxima diaria presente en el municipio de Coper, representada por dos zonas donde se observan las mayores concentraciones de los factores climatológicos que son obtenidos a partir de la zonificación climática nacional y de las lluvias máximas diarias, acorde con su contribución a los movimientos en masa.

Conforme a la distribución espacial que se presenta dentro del Municipio de Coper, se identifica que la concentración de los factores climáticos que contribuyen a la generación de los movimientos en masa, se localizan dentro de la totalidad de extensión del municipio, haciendo correspondencia a los valores mayores de lluvias máximas diarias en 24 horas y a zonas climáticas favorables para el desarrollo de movimientos en masa, todas las veredas hacen parte de esta concentración de lluvias, cuyos valores se agruparon en un rango correspondiente a 1, siendo la calificación más baja dada dentro de la metodología utilizada.

Figura 42. Mapa factor detonante lluvia, elaborado en ArcGis 10.5.



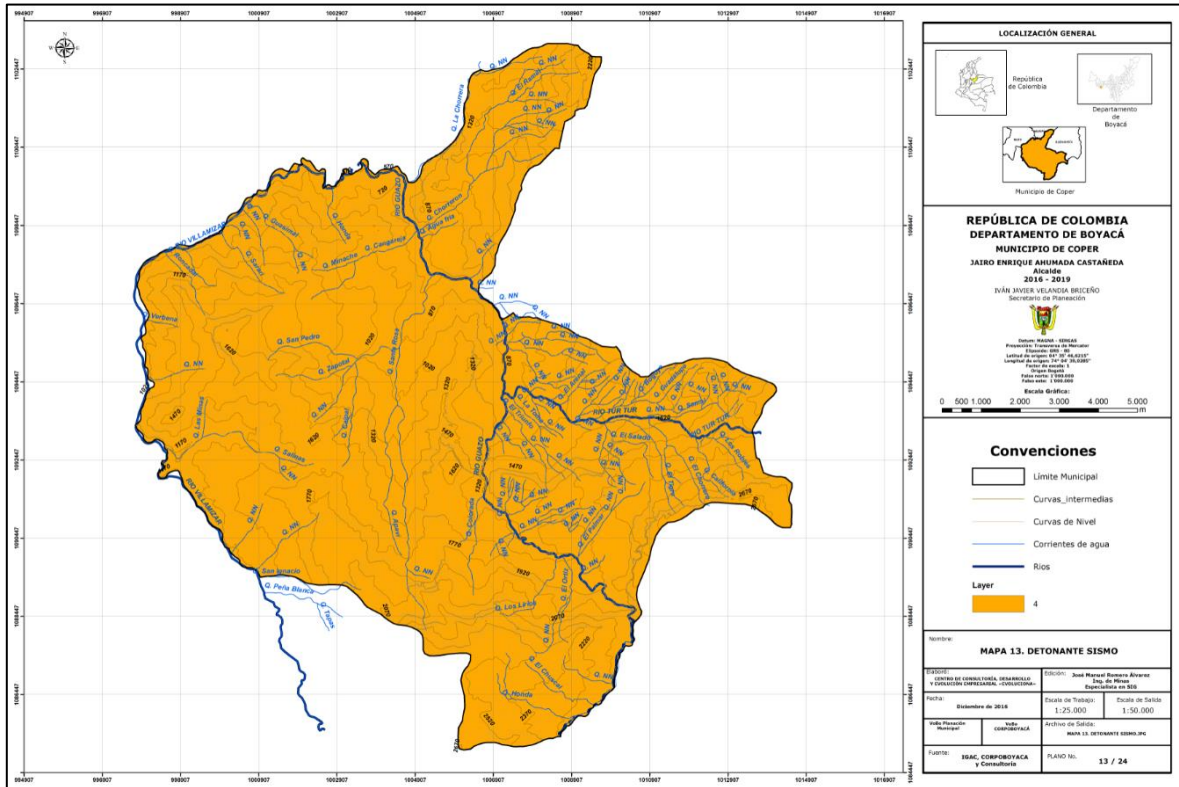
Fuente: Los Autores, 2019.

### 7.1.6.2 Factor detonante sismo.

En la Figura 43, se observa la distribución de los rangos de la amenaza sísmica, la cual se determina como el insumo del detonante sismo.

La condición de sismicidad relacionada, dentro del área de estudio corresponde a una única categoría (4), cuyo valor se determina mediante la clasificación de (PGA) correspondiente a un periodo de 475 años, el cual para el municipio de Coper se encuentra en un rango de 200 a 300 cm/seg<sup>2</sup>.

Figura 43. Mapa factor detonante de sismicidad, elaborado en ArcGis 10.5.



Fuente: Los Autores, 2019.

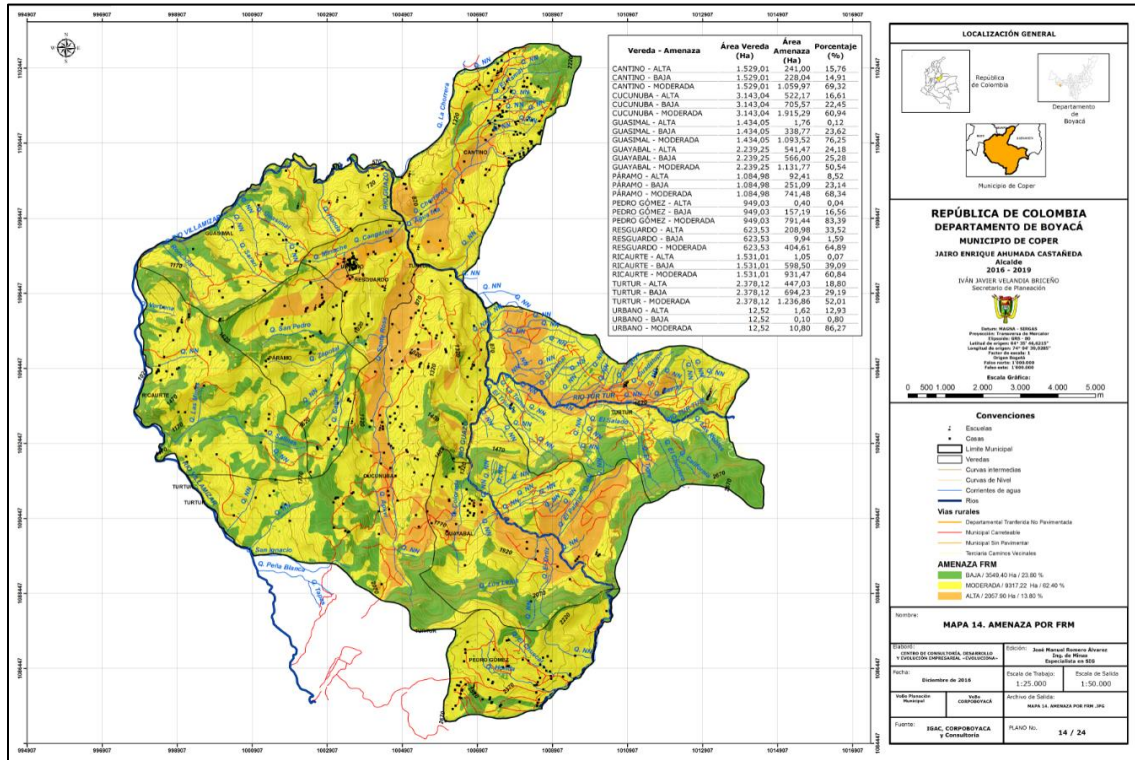
A continuación, se describen los aspectos representativos que influyen a nivel de la susceptibilidad y amenazas por movimientos en masa, haciendo relación a la interacción entre los diferentes componentes físicos y los diversos tipos de movimientos en masa que se presentan para esta zona.

### 7.1.7 Amenaza por movimientos en masa

Una vez obtenida la susceptibilidad por movimientos en masa, se establecieron los escenarios de amenaza relativa por movimientos en masa, teniendo en cuenta los factores detonantes sismo y lluvia, ocurridos históricamente en la región.

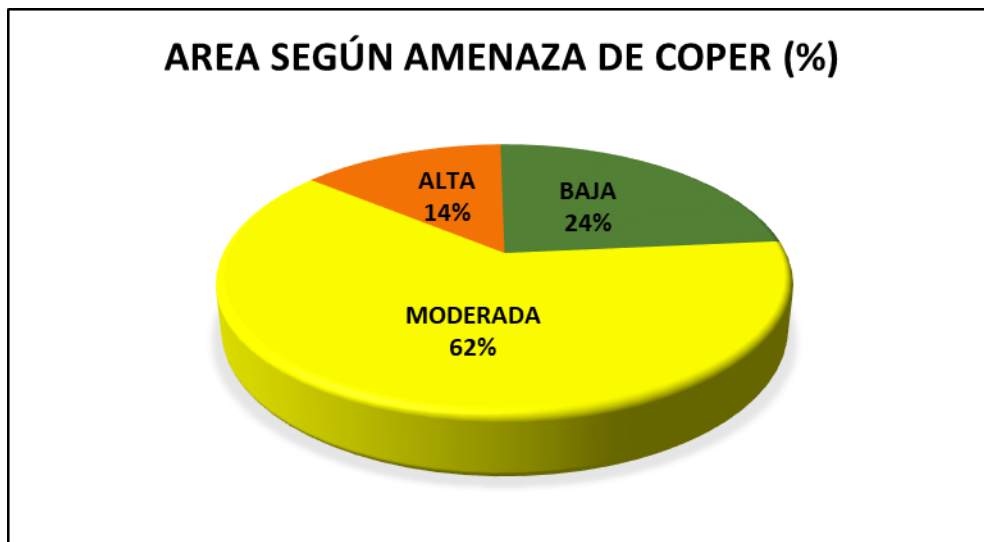
En la Figura 44, se identifican las diferentes condiciones de amenaza respecto al desarrollo de movimientos en masa, a partir de las cuales se determina la distribución porcentual de cada una de las categorías de amenaza, presentes dentro del municipio de Coper (Figura 45 y Tabla 22).

Figura 44. Mapa de amenaza por movimientos en masa, elaborado en ArcGis 10.5.



Fuente: Los Autores, 2019.

Figura 45. Distribución en porcentajes de amenaza total.



Fuente: Los Autores, 2019.





**Tabla 22.** Parámetros de calificación y área de amenaza.

AREA SEGUN LA AMENAZA EN COPER		
AMENAZA	AREA (Ha)	AREA (%)
BAJA	3549,4	23,8
MODERADA	9317,22	62,4
ALTA	2057,9	13,8

**Fuente.** Los Autores, 2019.

Una vez desarrollada la zonificación de amenaza relativa por movimientos en masa para el municipio de Coper, se identificó la predominancia dentro de la categoría moderada y baja. En la Tabla 23, se observa la distribución porcentual de la amenaza en el Municipio de Coper, para cada una de las veredas que conforman el municipio.

**Tabla 23.** Distribución Porcentual de la Amenaza en el Municipio de Coper.

Vereda - Amenaza	Área Vereda (Ha)	Área Amenaza (Ha)	Porcentaje (%)
CANTINO - ALTA	1.529,01	241,00	15,76
CANTINO - BAJA	1.529,01	228,04	14,91
CANTINO - MODERADA	1.529,01	1.059,97	69,32
CUCUNUBA - ALTA	3.143,04	522,17	16,61
CUCUNUBA - BAJA	3.143,04	705,57	22,45
CUCUNUBA - MODERADA	3.143,04	1.915,29	60,94
GUASIMAL - ALTA	1.434,05	1,76	0,12
GUASIMAL - BAJA	1.434,05	338,77	23,62
GUASIMAL - MODERADA	1.434,05	1.093,52	76,25
GUAYABAL - ALTA	2.239,25	541,47	24,18
GUAYABAL - BAJA	2.239,25	566,00	25,28
GUAYABAL - MODERADA	2.239,25	1.131,77	50,54
PÁRAMO - ALTA	1.084,98	92,41	8,52
PÁRAMO - BAJA	1.084,98	251,09	23,14
PÁRAMO - MODERADA	1.084,98	741,48	68,34
PEDRO GÓMEZ - ALTA	949,03	0,40	0,04
PEDRO GÓMEZ - BAJA	949,03	157,19	16,56
PEDRO GÓMEZ - MODERADA	949,03	791,44	83,39
RESGUARDO - ALTA	623,53	208,98	33,52
RESGUARDO - BAJA	623,53	9,94	1,59
RESGUARDO - MODERADA	623,53	404,61	64,89



Vereda - Amenaza	Área Vereda (Ha)	Área Amenaza (Ha)	Porcentaje (%)
RICAURTE - ALTA	1.531,01	1,05	0,07
RICAURTE - BAJA	1.531,01	598,50	39,09
RICAURTE - MODERADA	1.531,01	931,47	60,84
TURTUR - ALTA	2.378,12	447,03	18,80
TURTUR - BAJA	2.378,12	694,23	29,19
TURTUR - MODERADA	2.378,12	1.236,86	52,01
URBANO - ALTA	12,52	1,62	12,93
URBANO - BAJA	12,52	0,10	0,80
URBANO - MODERADA	12,52	10,80	86,27

**Fuente:** EVOLUCIONA, 2016, Informe general de amenaza en el municipio de Coper, Departamento de Boyacá.

#### 7.1.7.1 Amenaza Baja.

La amenaza baja corresponde al segundo porcentaje de área y se localiza principalmente en las veredas Ricaurte, Turtur, Guayabal, Guasimal, Cucunubá, Cantino, Páramo, Pedro Gómez y en menor porcentaje en la vereda Resguardo.

#### 7.1.7.2 Amenaza Moderada.

Siendo la unidad predominante, corresponde a todas aquellas zonas que pueden sufrir la ocurrencia a largo plazo de movimientos en masa. Se distribuye en los diferentes sectores del municipio, haciendo parte de las veredas Pedro Gómez, Guasimal, Cantino, Cucunubá, Resguardo, Páramo, Ricaurte, Turtur y Guayabal respectivamente.

#### 7.1.7.3 Amenaza Alta.

Se presenta donde la interacción de los componentes geomorfológicos, las características de los suelos y los tipos de cobertura vegetal condicionan un escenario propicio para la ocurrencia de movimientos en masa, así como la interacción de las características climatológicas que actúan como efectos detonantes favoreciendo los diferentes tipos de movimientos en masa. Representan un porcentaje de área considerable a nivel Municipal y se localizan áreas correspondientes a amenaza alta en las Veredas Resguardo, Guayabal, Turtur, Cucunubá, Cantino, y Páramo, y con porcentajes inferiores al 1% se localizan polígonos en las veredas Guasimal, Ricaurte y Pedro Gómez.

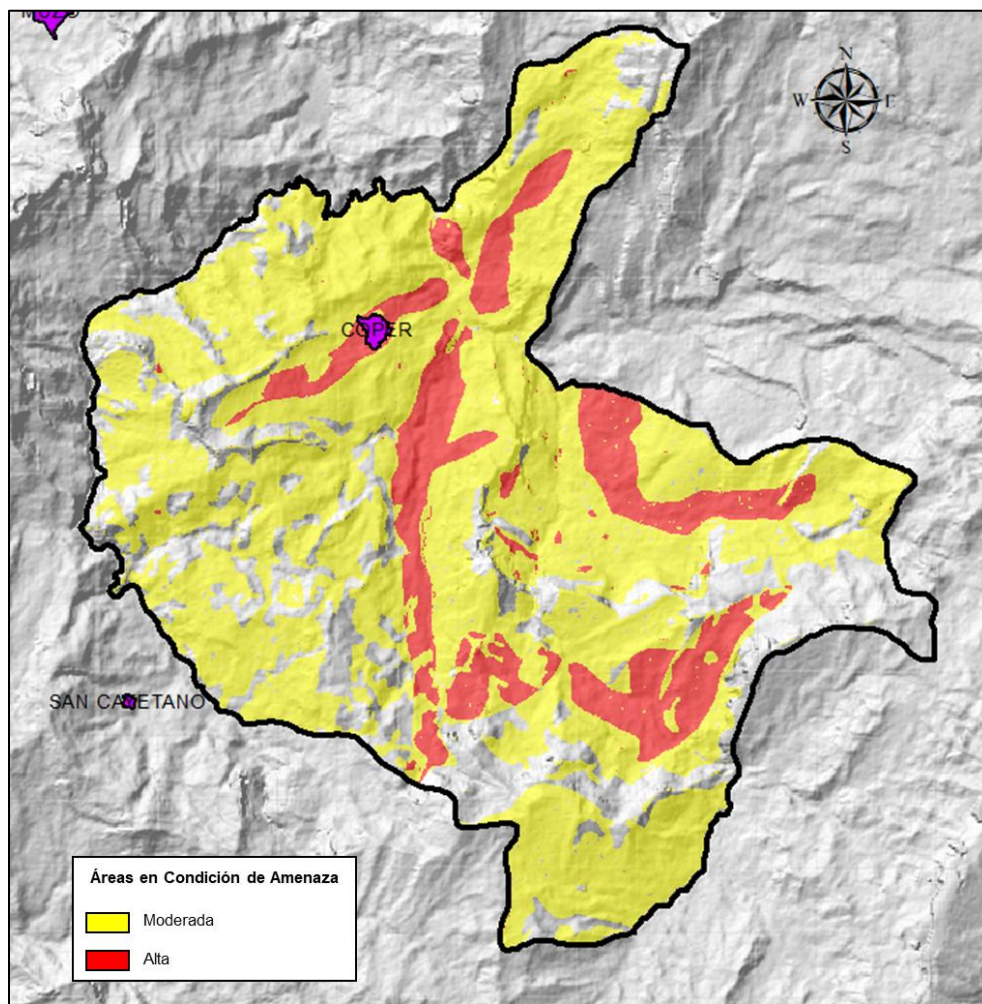
## 7.2 AREAS CON CONDICION

De acuerdo con el decreto 1807 de 2014, en su artículo 3, parágrafo 1, se han definido las áreas que se encuentran en condición y sin condición de amenaza y riesgo por movimientos en masa.

### 7.2.1 Áreas con condición de amenaza

Zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural sub-urbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo, (Figura 46).

**Figura 46.** Mapa Áreas en Condición de Amenaza, elaborado en ArcGis 10.5.



Fuente: Los Autores, 2019.

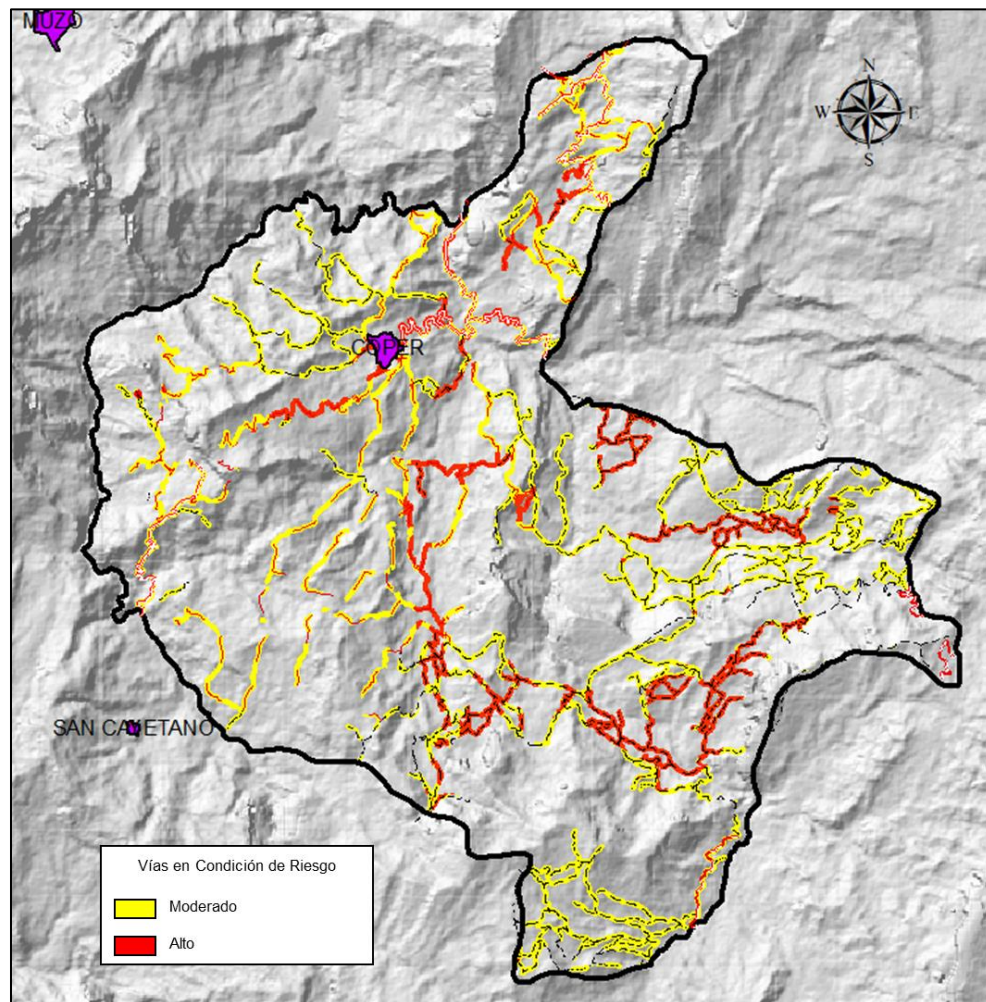
## 7.2.2 Áreas con condición de riesgo

Corresponden a las zonas o áreas del territorio municipal clasificadas como de amenaza alta y moderada que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas, así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos (salud, educación, otros) e infraestructura de servicios públicos.

### Vías en condición de riesgo

En la Figura 47, se pueden evidenciar espacialmente los tramos viales que se encuentran sobre zonas de amenaza alta y media por movimientos en masa, cabe destacar que ya se han intervenido algunos de estos tramos viales que se encuentran en amenaza alta, debido a la ocurrencia de movimientos en masa.

**Figura 47.** Mapa Vías en Condición de Riesgo, elaborado en ArcGis 10.5.

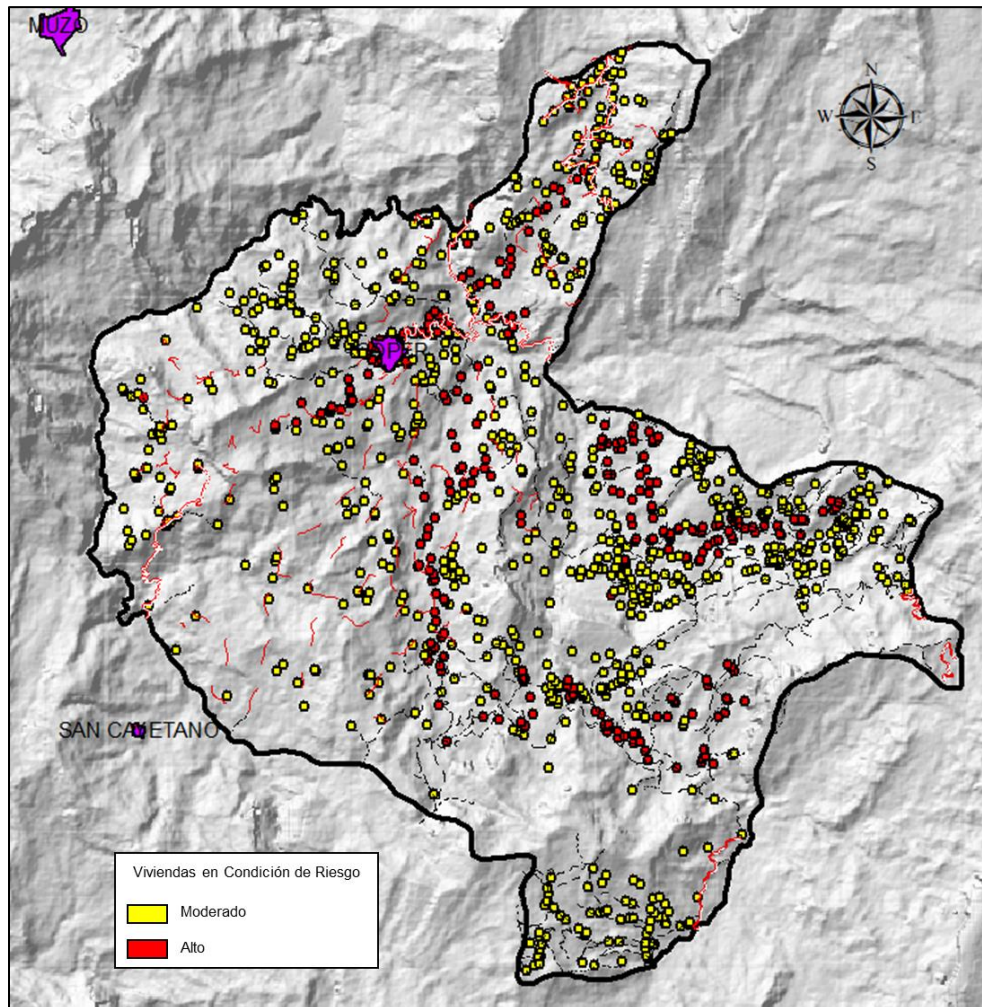


**Fuente:** Los Autores, 2019.

### Viviendas en condición de riesgo.

En la Figura 48, se pueden evidenciar las viviendas del área rural que se encuentran en zonas de amenaza alta y moderada por movimientos en masa.

**Figura 48.** Mapa de viviendas en Condición de Riesgo, elaborado en ArcGis 10.5.

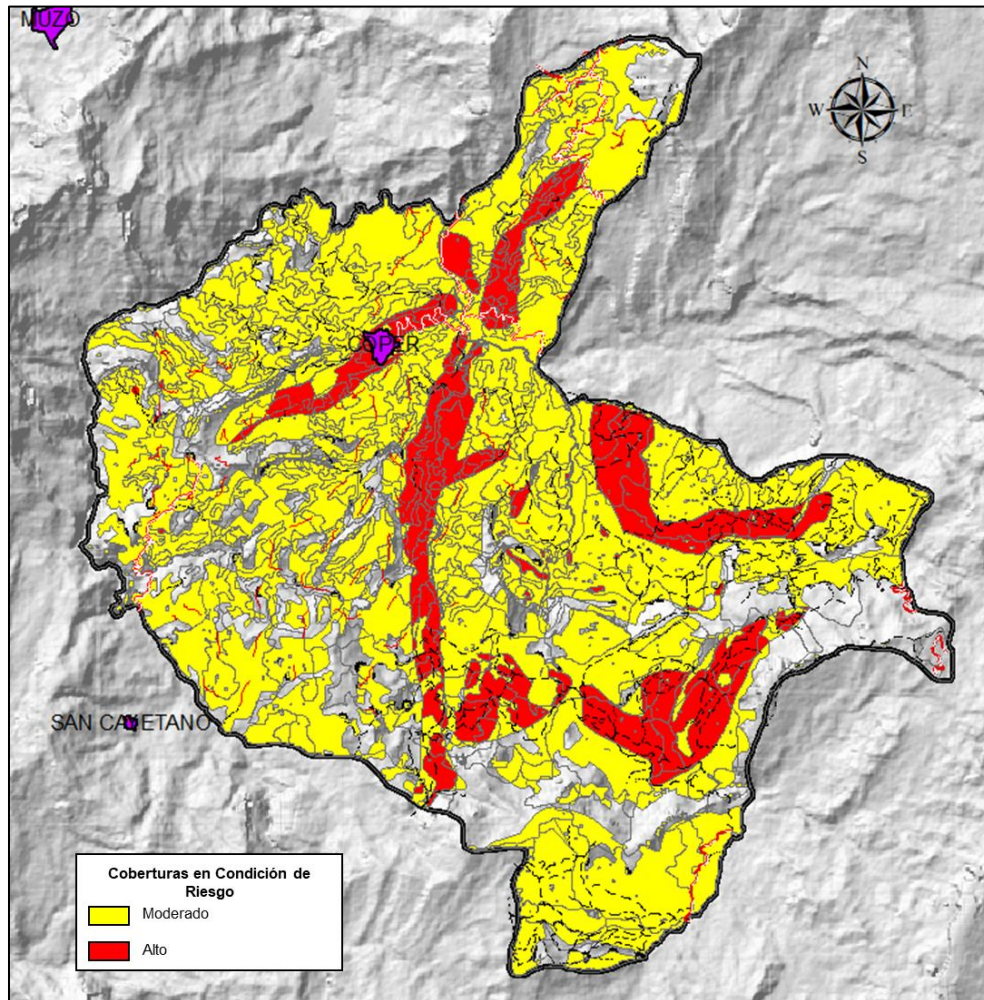


Fuente: Los Autores, 2019.

### Coberturas de la tierra en condición de riesgo

En la Figura 49, se observa la distribución espacial de las coberturas de la tierra que se encuentran en condición de riesgo moderado y alto.

Figura 49. Coberturas de la Tierra en Condición de Riesgo, elaborado en ArcGis 10.5.

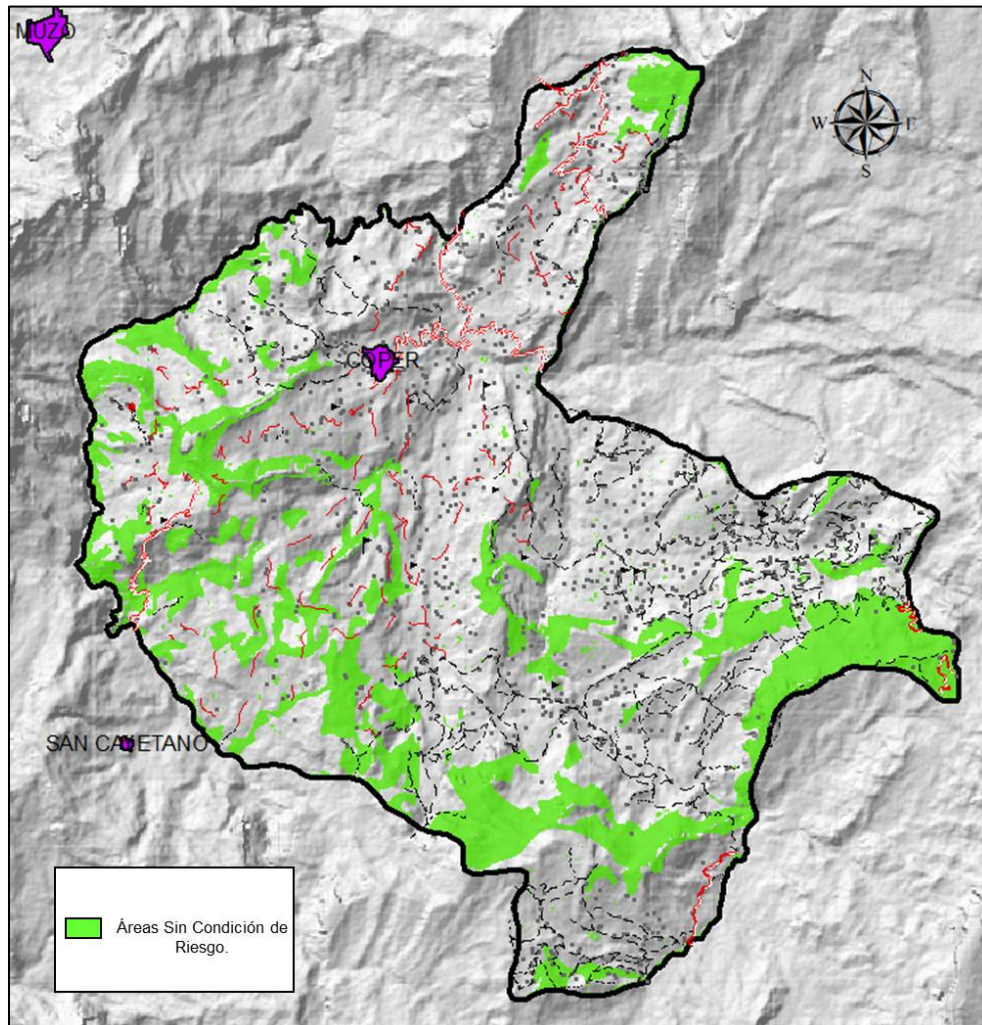


Fuente: Los Autores, 2019.

### 7.2.3 Áreas sin condición

Son áreas en las cuales no se restringe su uso por sus características geotécnicas, geológicas, pendiente, procesos morfodinámicos, etc. Figura 42.

**Figura 50.** Mapa Áreas Sin Condición de Riesgo, elaborado en ArcGis 10.5.



**Fuente:** Los Autores, 2019.

El análisis de las áreas en condición nos arroja que solo el 23,78 % del área total del municipio de Coper se encuentra sin condición de riesgo, el 62,43 % se encuentra en condición de amenaza y riesgo medio, dichas zonas son manejables de acuerdo al buen uso y obras de mitigación para prevenir la ocurrencia de movimientos en masa y el 13,79 % restante se encuentra en condiciones de amenaza y riesgo alto, dichas zonas están sujetas a estudios detallados con el fin de determinar si la condición es mitigable o no mitigable, Tabla 24 y Figura 25.

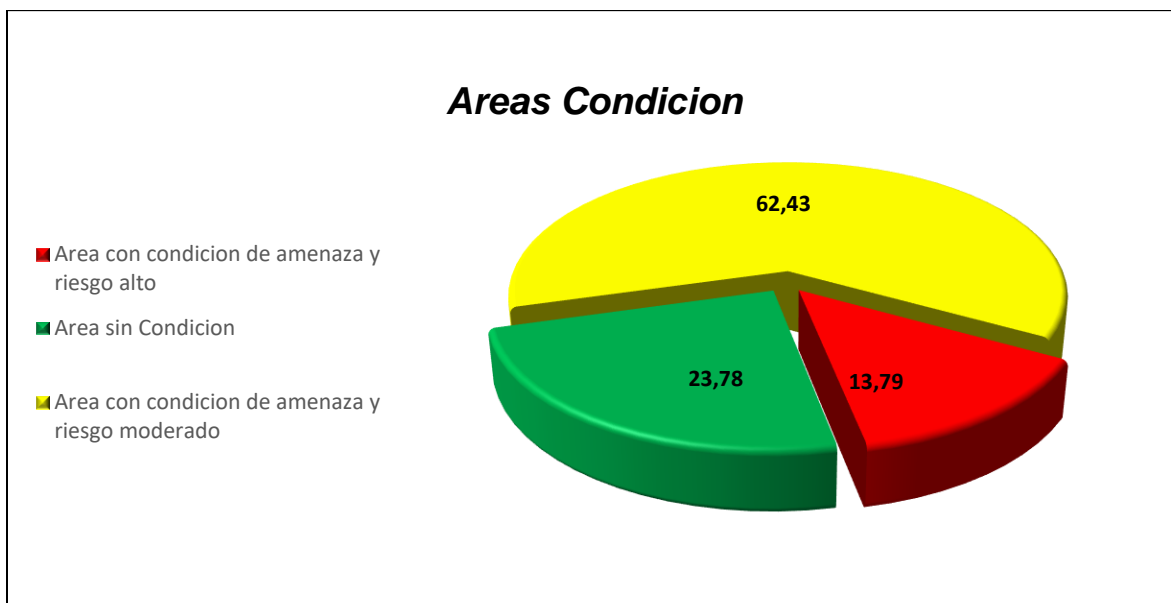


**Tabla 24.** Condición de áreas en la zona rural del Municipio de Coper

CONVENCIÓN	CONDICIÓN	ÁREA HECTÁREAS	ÁREA PORCENTAJE (%)
	Área con condición de amenaza y riesgo alto	2057,89217	13,79
	Área sin Condición	3549,40869	23,78
	Área con condición de amenaza y riesgo moderado	9317,21717	62,43
<b>TOTAL</b>		<b>14924,518</b>	<b>100</b>

Fuente: Los Autores, 2019.

**Tabla 25.** Relación Porcentual Condición de Áreas



Fuente: Los Autores, 2019.





### 7.3 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

El análisis de vulnerabilidad en la zona rural del Municipio de Coper, Departamento de Boyacá, se realizó siguiendo diferentes metodologías, una de ellas es la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa a escala detallada del Servicio Geológico Colombiano, que aunque no contempla estudios de vulnerabilidad y riesgo a escalas rurales, maneja criterios de gran relevancia en el análisis de vulnerabilidad, y el protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - escala 1:100.000, realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales “IDEAM”

En el presente estudio se evalúan los elementos expuestos, considerando el tipo y subtipo de elemento, ya sea estructural, ambiental, económico e infraestructura, con respecto al evento que pudiese afectarlos, el componente social que involucra a la población en general, no será evaluado, ya que la escala de detalle del presente estudio no lo permite. Lo anterior se considera teniendo en cuenta la escala de trabajo y cartografía existente, donde no se identifican las características de la infraestructura que puedan dar lugar a una calificación seria de dichos aspectos.

Los elementos expuestos incluyen tanto elementos físicos (bienes e infraestructura) como servicios ambientales, recursos económicos y sociales, que por su localización pueden resultar afectados por la materialización de una amenaza.

Dado que los valores de representación de cada variable, varían en su definición por el tipo de unidad de medida y para cada unidad espacial de análisis (Paisajes y unidades político administrativas), ya que los umbrales en los cuales se miden son muy variados, bajo procesos de lógica difusa (Fussy), se generan unos criterios de calificación para hacerlos comparables en términos de unidades de análisis, de esta manera, se generan tres rangos de calificación (Baja, moderada y alta), los cuales corresponden a valores numéricos de 1 a 3 respectivamente. A continuación, se evalúan dichos criterios y sus rangos de calificación:

#### 7.3.1 Vulnerabilidad Poblacional

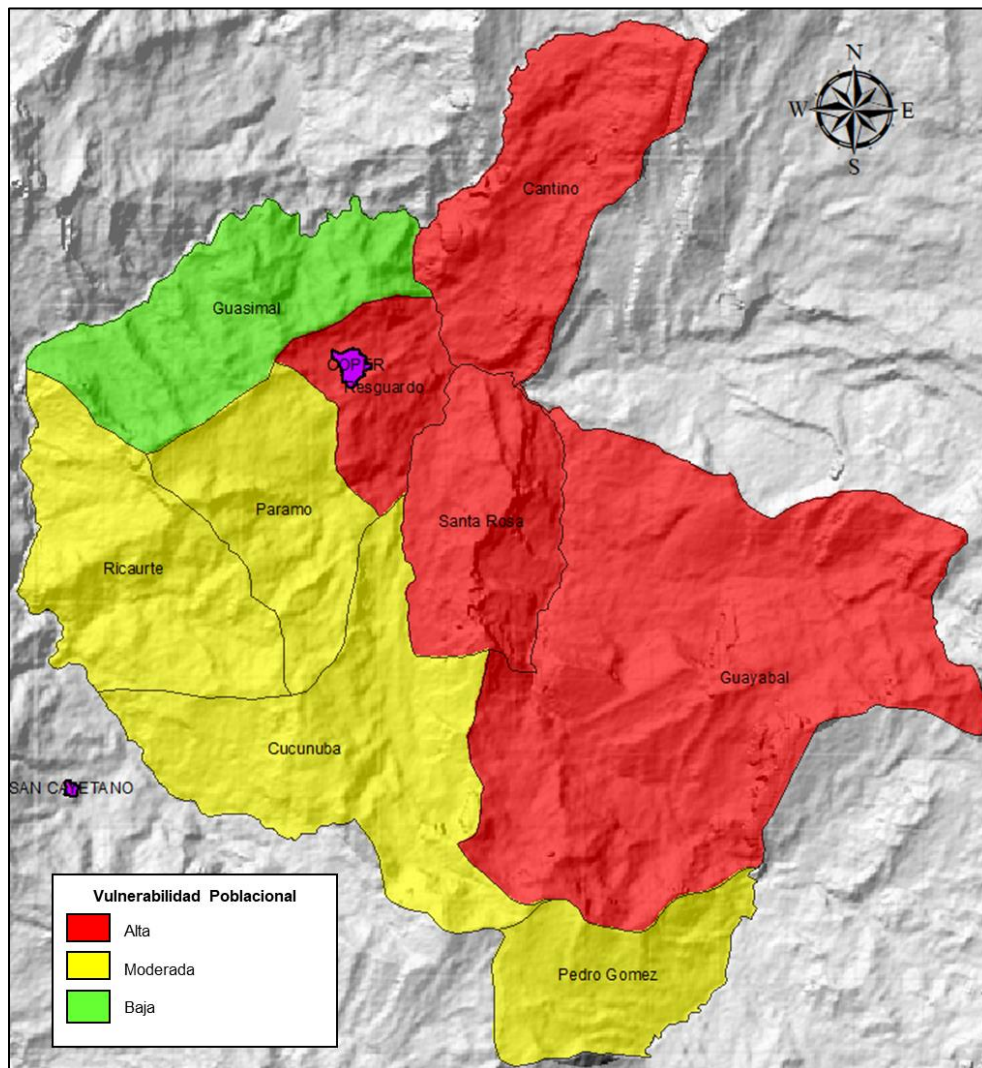
Involucra la densidad poblacional y el número de viviendas por vereda, de acuerdo con este parámetro la calificación de vulnerabilidad será más alta en las veredas con el mayor número de personas residentes.

**Tabla 26.** Vulnerabilidad Poblacional

VULNERABILIDAD POBLACION								
DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	CÓDIGO VEREDA	NOMBRE VEREDA	VIVIENDAS	HOGARES	PERSONAS	VULNERABILIDAD	CALIFICACIÓN
Boyacá	Coper	15212009	GUASIMAL	15	15	32	Baja	1
		15212002	PEDRO GOMEZ	21	22	64	Moderada	2
		15212003	CUCUNUBA	27	27	82	Moderada	2
		15212004	RICAUARTE	24	24	69	Moderada	2
		15212006	PARAMO	24	24	65	Moderada	2
		15212001	GUAYABAL	39	40	121	Alta	3
		15212005	SANTA ROSA	65	65	186	Alta	3
		15212008	CANTINO	74	74	221	Alta	3
		15212010	RESGUARDO	73	73	172	Alta	3

Fuente: Los Autores, 2019.

**Figura 51.** Vulnerabilidad Poblacional, elaborado en ArcGis 10.5.



Fuente: Los Autores, 2019.



### 7.3.2 Vulnerabilidad Económica

Este mapa se debe generar a partir de la cartografía de uso actual de la tierra, la cual se reclasificará bajo criterios de expertos, con el fin de calificar posteriormente, las áreas de importancia en la producción de bienes y servicios que pudiesen ser afectadas por la incidencia de movimientos en masa en zonas de cobertura vegetal (áreas de producción agrícola, ganadera, forestal, minera, etc.),<sup>18</sup> Ver Tabla 27 y Figura 52.

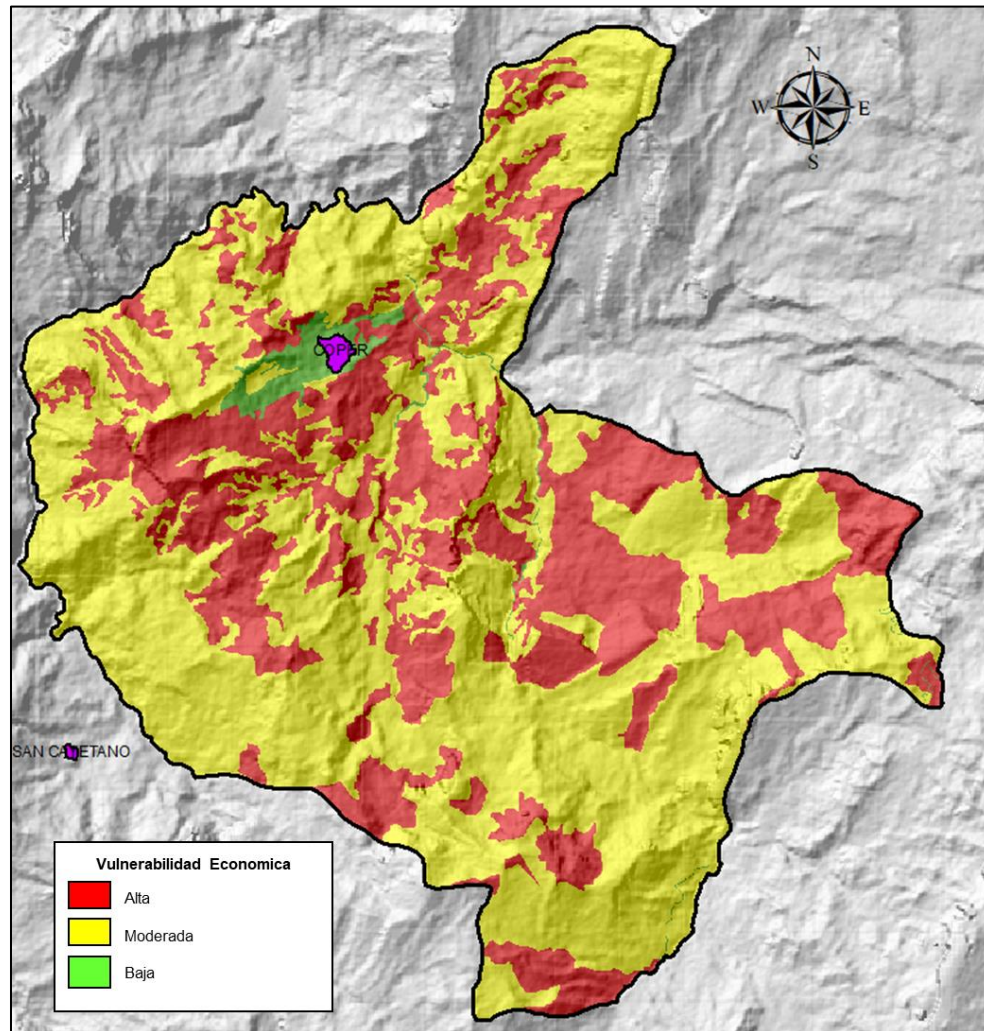
**Tabla 27.** Vulnerabilidad Económica

VULNERABILIDAD ECONOMICA				
ELEMENTO	NOMENCLATURA (CORINE LAND COVER)	TIPO COBERTURA	VULNERABILIDAD ECOLÓGICA Y TERRITORIAL (CATEGORÍA)	VULNERABILIDAD ECOLÓGICA Y TERRITORIAL (CALIFICACIÓN)
COBERTURA DE LA TIERRA	112	Tejido urbano discontinuo	Baja	1
	511	Ríos	Baja	1
	1221	Red vial y territorios asociados	Baja	1
	232	Pastos arbolados	Moderada	2
	233	Pastos enmalezados	Moderada	2
	244	Mosaico de pastos y espacios naturales	Moderada	2
	314	Bosque de galería y ripario	Moderada	2
	3232	Vegetación secundaria baja	Moderada	2
	31211	Bosque abierto alto de tierra firme	Moderada	2
	231	Pastos limpios	Alta	3
	232	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Alta	3
	242	Mosaico de pastos y cultivos	Alta	3
	243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Alta	3
	245	Mosaico de cultivos y espacios naturales	Alta	3
	3231	Vegetación secundaria alta	Alta	3

Fuente: Los Autores, 2019.

<sup>18</sup> Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - escala 1:100.000, IDEAM, Bogotá, D. C., 2011.

**Figura 52.** Mapa de Vulnerabilidad Económica, elaborado en ArcGis 10.5.



Fuente: Los Autores, 2019.

### 7.3.3 Vulnerabilidad de la Infraestructura

Mediante este proceso se zonifican los posibles peligros para instalaciones, edificaciones e infraestructuras que influyen en la mayor o menor gravedad potencial que puede alcanzar un movimiento en masa, se interpretan a través de la presencia o no de determinados elementos tales como vías férreas, aeropuertos, helipuertos, instalaciones de comunicaciones, poliductos, líneas eléctricas y zonas de recreación, entre otras<sup>19</sup>, Ver Tabla 28 y Figura 53.

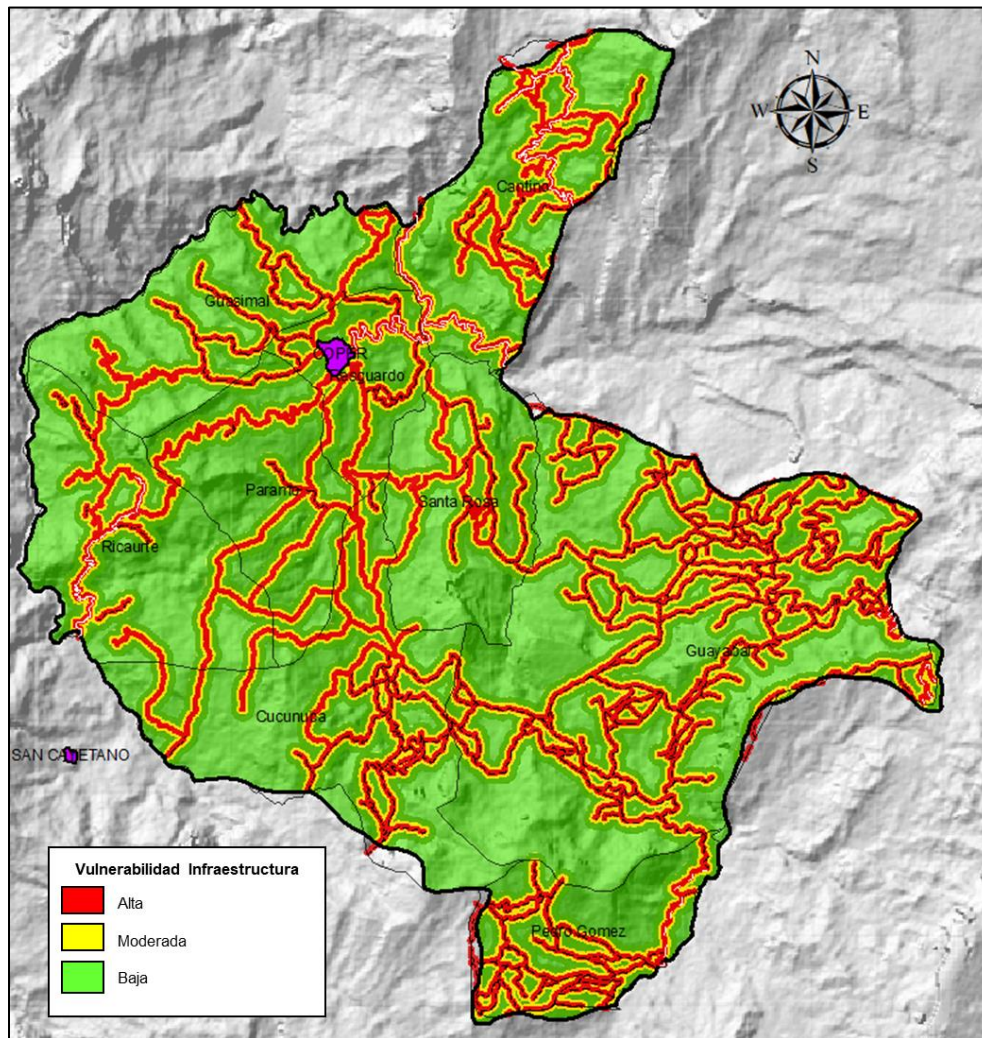
<sup>19</sup> Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - escala 1:100.000, IDEAM, Bogotá, D. C., 2011.

Tabla 28. Vulnerabilidad de la Infraestructura

VULNERABILIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA			
ELEMENTO	DISTANCIA A LA INFRAESTRUCTURA (mts)	CATEGORIA VULNERABILIDAD	CALIFICACION VULNERABILIDAD
VÍAS	0 -50	ALTA	3
	50-100	MODERADA	2
	>100	BAJA	1

Fuente: Los Autores, 2019.

Figura 53. Mapa de Vulnerabilidad de la Infraestructura, elaborado en ArcGis 10.5.



Fuente: Los Autores, 2019.

### 7.3.4 Vulnerabilidad Total

En el cruce temático de la vulnerabilidad total se plantea como mecanismo de integración darle a cada variable un valor de ponderación según sea la participación de cada uno de ellos a la vulnerabilidad. Es decir, qué aporte tiene cada tipo de vulnerabilidad, a la vulnerabilidad total. Con el propósito de disminuir el grado de subjetividad en esta ponderación, bajo las técnicas del análisis multicriterio, se define el grado de consistencia matemática del valor adjudicado para ponderar cada indicador.<sup>20</sup>

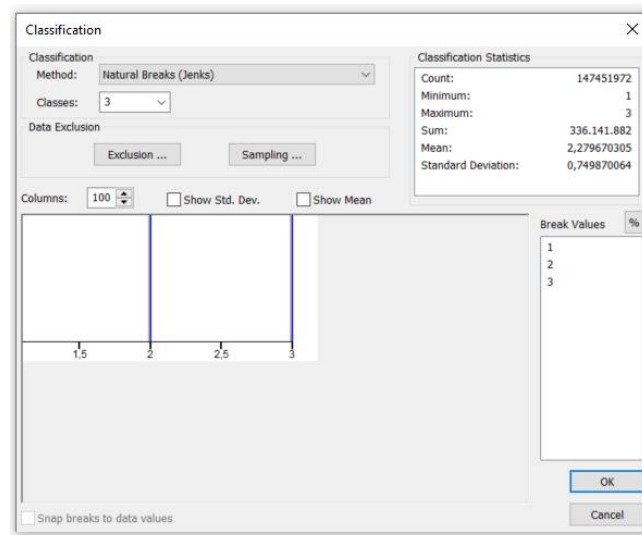
**Tabla 29.** Ponderación de las Vulnerabilidades

PONDERACION VULNERABILIDAD		
TIPO VULNERABILIDAD	PONDERACION	VULNERABILIDAD TOTAL
Poblacional	0,4	1
Económica	0,3	
Infraestructura	0,3	

Fuente: Los Autores

Para determinar el índice de la vulnerabilidad Total (IVFE), se realizó la ponderación entre las variables con sus pesos asignados y categorías de análisis con sus correspondientes valores máximos y mínimos dados. Como se muestra a continuación:

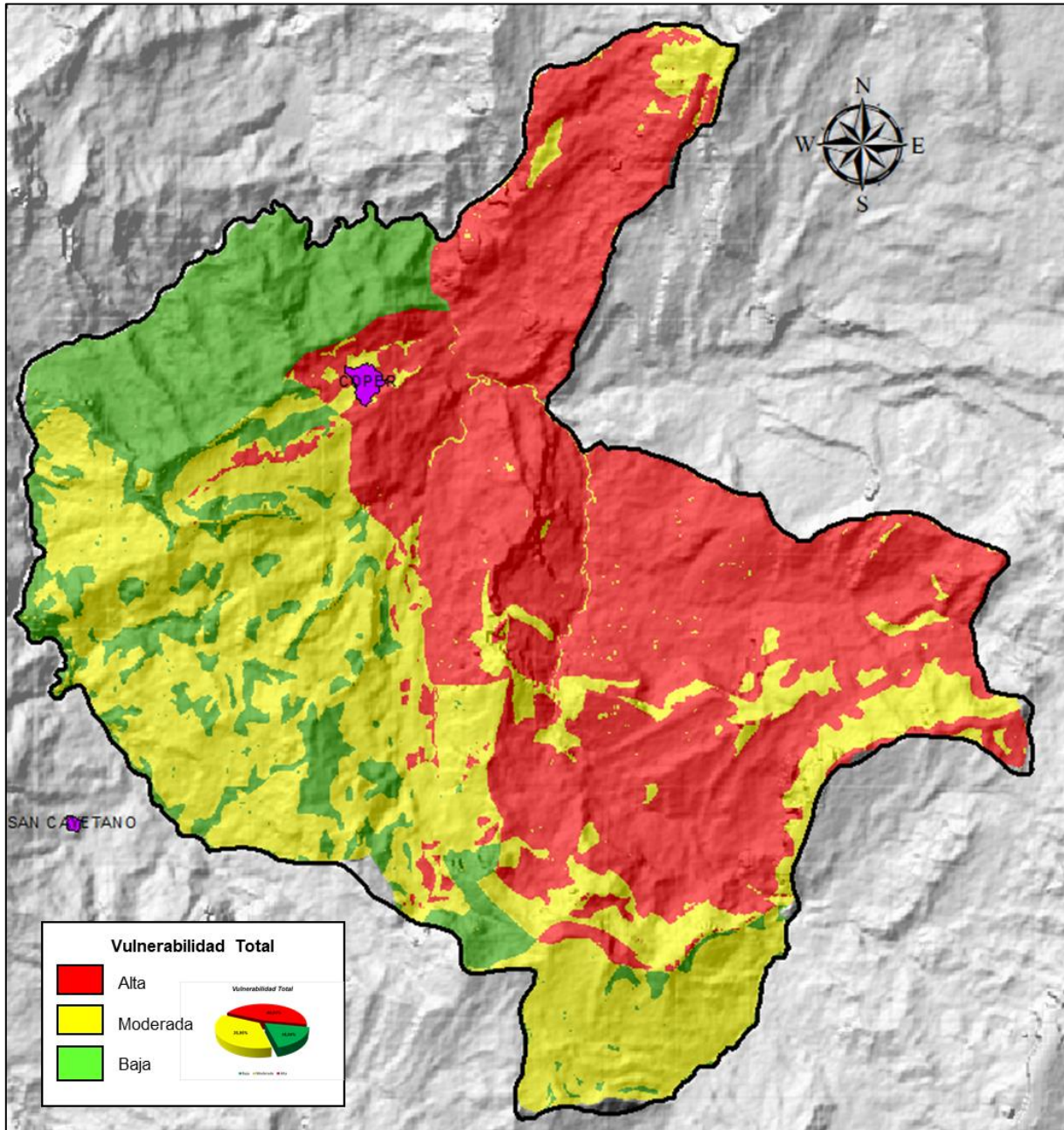
**Figura 54.** Rangos Vulnerabilidad



Fuente: Los Autores, 2019.

<sup>20</sup> Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - escala 1:100.000, realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales "IDEAM" Bogotá, D. C., 2011.

Figura 55. Mapa de Vulnerabilidad Total, elaborado en ArcGis 10.5.



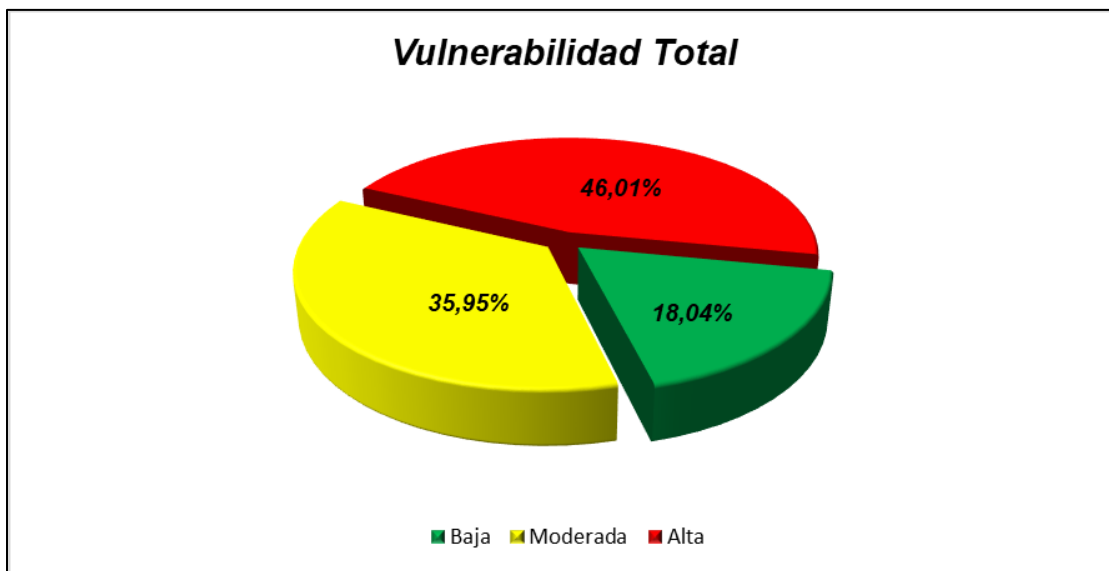
Fuente: Los Autores, 2019.

**Tabla 30.** Vulnerabilidad Total a Movimientos en Masa en la zona rural del Municipio de Coper

Calificación Vulnerabilidad Total	Vulnerabilidad Total	Area_Ha	Área (%)
1	Baja	2660,4215	18,04
2	Moderada	5300,3666	35,95
3	Alta	6784,2076	46,01
<b>TOTAL</b>		<b>14744,996</b>	<b>100</b>

Fuente: Los Autores, 2019.

**Figura 56.** Relación Porcentual Áreas Vulnerabilidad Total



Fuente: Los Autores, 2019.

De acuerdo con el análisis de vulnerabilidad se evidenció que el 46,01 % del área rural del municipio se encuentra en vulnerabilidad alta a la ocurrencia de movimientos en masa.

#### 7.4 CARACTERIZACION DEL ESCENARIO DE RIESGO

Una cartografía de riesgos define los escenarios existentes y presenta diferentes lecturas. Es decir, los tipos de amenaza y vulnerabilidad pueden especificar sus

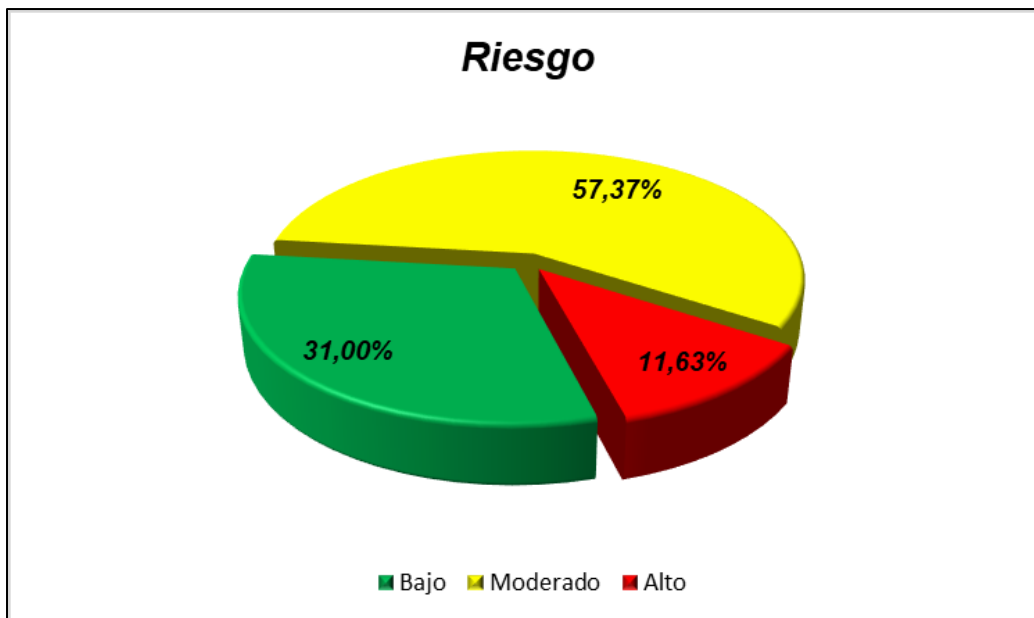


posibles escenarios y con ello diferentes aportes dentro de una gestión urbana, rural y de riesgos. De esta manera, el riesgo se define como<sup>21</sup>:

$$\text{Riesgo} = (\text{Amenaza} * \text{Vulnerabilidad})$$

El insumo final, se logró realizando el cruce temático de los mapas de Vulnerabilidad Total y Amenaza por Movimientos en Masa resultantes con los insumos asociados, posteriormente se reclasifico el riesgo en tres categorías riesgo bajo, riesgo moderado y riesgo alto, En la Figura 58, se identifican dichas categorías, a partir de las cuales se determina la distribución porcentual de cada una (Figura 57 y Tabla 31).

**Figura 57.** Distribución porcentual de las categorías de riesgo.



**Fuente:** Los Autores, 2019.

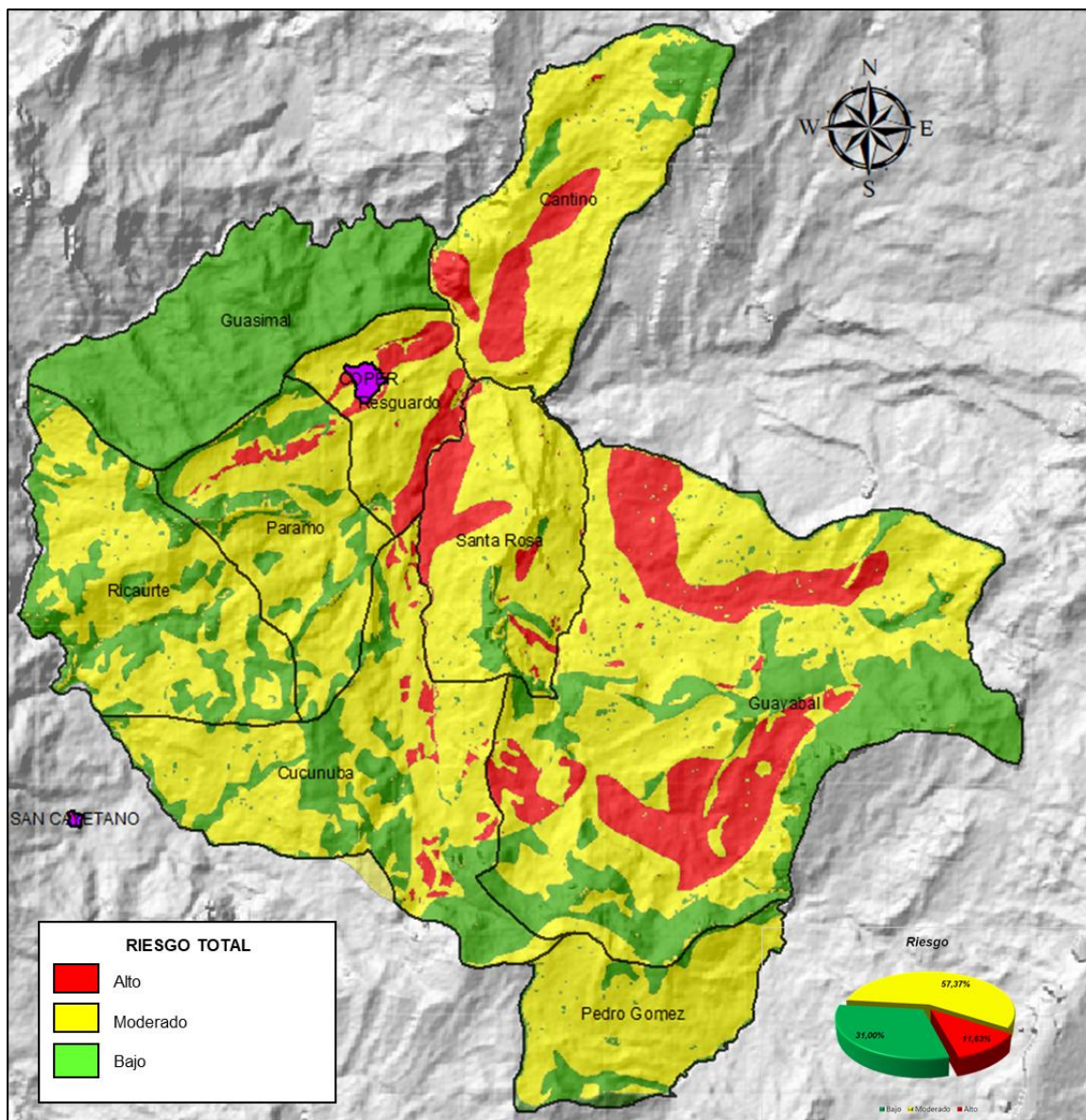
<sup>21</sup> Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - escala 1:100.000, realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales "IDEAM", Bogotá, D. C., 2011.

Tabla 31. Parámetros de calificación y área de riesgo.

Calificación Riesgo	Nivel Riesgo	Area_Ha	Área (%)
1	Bajo	4590,8024	31
2	Moderado	8494,9616	57,37
3	Alto	1721,6859	11,63
<b>TOTAL</b>		<b>14807,45</b>	<b>100</b>

Fuente. Los Autores, 2019.

Figura 58. Mapa de Riesgo por movimientos en masa, elaborado en ArcGis 10.5.



Fuente: Los Autores, 2019.



#### **7.4.1 Riesgo Bajo**

El nivel de riesgo bajo se localiza principalmente en la vereda Guasimal y Guayabal, al norte y este del Municipio, dicho nivel de riesgo ocupa el 31 % del área total. Son zonas que conservan unas condiciones desfavorables a la ocurrencia de movimientos en masa, ya que aún se conserva la cobertura natural. Se recomienda conservar e incentivar las buenas practicas a la población residente en estas zonas, con el fin de mantener la actual condición de estabilidad.

#### **7.4.2 Riesgo Medio**

Siendo la unidad predominante, corresponde a todas aquellas zonas que pueden sufrir la ocurrencia a largo plazo de movimientos en masa. Estas zonas están encaminadas a la realización estudios puntuales adicionales de estabilidad de laderas, además de otros que aclaren la secuencia y espesor de los materiales en el área (suelos), además de las propiedades dinámicas de los materiales. Las zonas con este nivel de riesgo se encuentran en el umbral de lo permitido y lo restrictivo, ya que existe un grado mayor de incertidumbre en cuanto a la ocurrencia de movimientos en masa. Se recomienda la rigurosidad en cuanto a las buenas prácticas de conservación del suelo y subsuelo.

#### **7.4.3 Riesgo Alto**

Se presenta donde la interacción de los componentes geomorfológicos, composición litológica de las formaciones geológicas, características de los suelos y los tipos de cobertura vegetal condicionan un escenario propicio para la ocurrencia de movimientos en masa, así como la interacción de las características climatológicas que actúan como efectos detonantes favoreciendo los diferentes tipos de movimientos en masa, a estos inherentes se suma el nivel de exposición de los elementos, tales como vías, redes de acueducto, redes eléctricas, viviendas y coberturas como pastos y cultivos que son eje central de la economía de los habitantes de estas zonas. Este tipo de zonas requieren un uso adecuado y el desarrollo de estudios específicos que establezcan y orienten en la preservación de la estabilidad de ladera, la conservación de los suelos de protección y el uso adecuado del mismo. Dicho nivel de riesgo ocupa el 11,63 % restante del área total del Municipio de Coper, se localiza en las veredas Resguardo, Cantino, Santa Rosa y Guayabal principalmente,



## 8 RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar sistemas de alerta temprana que permitan mitigar el riesgo al que se encuentra expuesta la población de la zona rural del municipio, dicho sistema debe funcionar mancomunadamente con entidades del orden público y la población, esta última por medio de capacitaciones que den lugar al conocimiento del riesgo por movimientos en masa al que se encuentran.

Realizar el adecuado manejo de aguas de escorrentía en las zonas identificadas con condición de riesgo y amenaza.

Se considera relevante la estructuración de estudios de pre-factibilidad y factibilidad que conlleven a la implementación de obras de contención y mitigación del fenómeno amenazante para sectores identificados en condición de riesgo alto y medio.

Estabilizar las zonas susceptibles a presentar movimientos en masa con especies que tengan raíces profundas para que le den estabilidad al terreno.

Hacer seguimiento a los procesos erosivos de gran intensidad y movimientos lentos, de tipo reptación, prioritariamente en épocas de lluvia.



## 9 CONCLUSIONES

Las zonas de amenaza alta, corresponden a aquellos lugares donde las características intrínsecas del terreno y la acción de los agentes modeladores, crean condiciones en las cuales se hace posible la ocurrencia de los diferentes tipos de movimientos en masa. Se localizan áreas correspondientes a amenaza alta en las veredas Resguardo, Guayabal, Turtur, Cucunubá, Cantino, y Páramo.

La obtención de información en campo se realizó por medio del formato SIMMA oficializado por el Servicio Geológico Colombiano y establecido en el Proyecto Multinacional Andino (PMA: GCA) en su versión 2012.

La clasificación de los movimientos inventariados en la jornada de campo se realizó por medio del sistema de clasificación propuesta por Cruden & Varnes (1996).

La amenaza moderada, siendo la unidad predominante, se distribuye en los diferentes sectores del municipio, haciendo parte de las veredas Pedro Gómez, Guasimal, Cantino, Cucunubá, Resguardo, Páramo, Ricaute, Turtur y Guayabal.

El proceso de análisis se realizó cumpliendo con los requisitos cartográficos exigidos para la realización de estudios previos escala 1:25.000, donde los insumos temáticos generados y recopilados cumplen con las características de análisis básicas para obtener resultados de detalle exigidos por las entidades evaluadoras.

Al realizarse el proceso de zonificación por movimientos en masa, se logró determinar una susceptibilidad variable a lo largo del Municipio de Coper, siendo moderado el valor predominante, de acuerdo a factores topográficos y constitución de los materiales.

Las zonas descritas como susceptibilidad alta corresponden a zonas donde convergen diversos factores condicionantes de los movimientos en masa, como las condiciones morfométricas (pendientes, cambios de dirección y rugosidad de laderas) y materiales constituyentes de características blandas o susceptibles a sufrir eventos dinámicos, evidenciándose en el inventario de movimientos en masa (SIMMA) realizado en la jornada de campo.



Los detonantes determinan la ocurrencia de los diferentes tipos de movimientos en masa, los cuales, de acuerdo a la baja o intensa acción de estos, pueden variar significativamente en magnitud y características principales.

La presente zonificación de amenaza se realizó mediante el método heurístico, donde se evaluaron detonantes y factores inherentes al terreno mediante levantamientos de información en campo y oficina con las escalas de trabajo determinadas mediante las normas vigentes, por tanto, los resultados pueden variar al contar con información de mayor nivel de detalle, igualmente las metodologías son modificables de acuerdo a la interpretación del profesional y la correlación con las condiciones observadas en campo y en el postproceso, por tanto se presenta un modelo ajustable de acuerdo a la disposición de nueva información temática.

La evaluación de la vulnerabilidad y caracterización de escenarios de riesgo se realizó siguiendo los lineamientos propuestos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales "IDEAM" en su documento denominado "Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000, teniendo en cuenta que la mayoría de guías metodológicas para la zonificación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa comúnmente utilizadas, no contemplan la caracterización e identificación de dichas variables a una escala rural (1:25000).

Los estudios orientados a generar conocimiento se deben desarrollar de con base en los temas normativos y técnicos de las entidades del estado pues pueden aportar en la toma de decisiones poco acertadas en cuanto al Desarrollo del municipio.



## 10 BIBLIOGRAFÍA

- IDEAM**, 2011. *Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000 Bogotá, D. C.*
- SGC**, 2012. *Propuesta Metodológica Sistemática para la Generación de Mapas Geomorfológicos Analíticos Aplicados a la Zonificación de Amenazas por Movimientos en Masa escala 1:100.000.*
- SGC**, 2016. *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.*
- SGC**, 2013. *Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2013.*
- USGS**, 2004. *Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes, Por Lynn M. Highland, Servicio Geológico de los Estados Unidos y Peter Bobrowsky, Servicio Geológico del Canadá.*
- SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA**, 2012. *Proyecto Multinacional Andino, Geociencias para las Comunidades Andinas.*
- VERSTAPPENN Y VAN ZUIDAM**, 1992, DAMEN. *Metodología I.T.C con modificaciones establecidas por Carvajal (2002) de acuerdo con la experiencia de INGEOMINAS.*
- ALCALDIA DE COPÉR**, 2012. *Esquema de Ordenamiento Territorial de Coper-Boyacá.*
- COLOMBIA**. Congreso de la República. *Decreto 1807 de 2014 por el cual se reglamenta el Artículo 189 del Decreto – Ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones.*
- INGEOMINAS**, 2000. *Guía para la Elaboración de la Cartografía Geológica y Geomorfológica del País – Estándares Mínimos para el Trabajo de Campo.*
- INGEOMINAS**, 2005. *Geología De La Plancha 190 Chiquinquirá. Jaime. A. Fuquen, J. Osorno.*
- ALMEIDA, B.** et al (1995). *Manual técnico de geomorfología. Serie manuales técnicos de geociencias n. 5, p.111. Río de janeiro. ISSN 85-240-0509-2.*
- ALCALDÍA DE VENTAQUEMADA**, 2017, *zonificación de amenazas y evaluación de los riesgos por fenómenos de inundaciones y avenidas torrenciales para el casco urbano del municipio de Ventaquemada a una escala de detalle de 1:2000.*



**UNGRD. 2017**, *Terminología sobre Gestión del Riesgo de desastres y Fenómenos Amenazantes.*  
Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres.

**SGC, 2016**, *Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa del año 2016, a Escala 1:5000 y 1:2000.*

**EVOLUCIONA, 2016**, *Estudio para la incorporación de la gestión del riesgo al esquema de ordenamiento territorial del municipio de Coper, Departamento de Boyacá – Informe general de amenaza en el municipio de Coper, Departamento de Boyacá.*

**COLOMBIA. Congreso de la República.** *Ley 1523 de 2012 (abril 24), por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.*