

**CONSULTORÍA PARA ELABORAR ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO  
POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, AVENIDA TORRENCIAL E INCENDIOS  
FORESTALES EN LOS MUNICIPIOS PRIORIZADOS EN LA JURISDICCIÓN DE LA  
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA –CAR**

**CONTRATO 1185/13**

**REMOCIÓN EN MASA MUNICIPIO ZIPAQUIRÁ**

**CONTRATANTE:**



**CONSULTOR:**



**BOGOTÁ, ABRIL DE 2015.**

## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN .....	1
2	OBJETIVOS .....	2
2.1	Objetivo general .....	2
2.2	Objetivos específicos .....	2
3	EVALUACIÓN DE AMENAZA POR FRM ZONA RURAL .....	3
3.1	Susceptibilidad a los procesos de remoción en masa .....	5
3.2	Clasificación de atributos.....	6
3.2.1	Geología.....	6
3.2.1.1	Resistencia .....	8
3.2.1.2	Fabrica/Textura .....	11
3.2.1.3	Densidad de fracturamiento .....	13
3.2.1.4	Definición y caracterización de zonas críticas .....	15
3.2.2	Geomorfología.....	17
3.2.2.1	Morfometría.....	17
3.2.2.2	Morfogénesis.....	25
3.2.2.3	Morfodinámica.....	28
3.2.2.4	Drenaje .....	37
3.2.2.5	Calificación y zonificación de la susceptibilidad de las geoformas a procesos de remoción en masa.....	43
3.2.3	Suelos Edáficos .....	46
3.2.3.1	Taxonomía .....	46
3.2.3.2	Textura.....	48
3.2.3.3	Drenaje natural.....	50
3.2.3.4	Profundidad.....	52
3.2.3.5	Tipo de arcilla.....	54
3.2.3.6	Susceptibilidad por variable suelos .....	56
3.2.4	Cobertura vegetal .....	58
3.2.4.1	Identificación general de las coberturas .....	58
3.2.4.2	Identificación específica .....	60
3.2.4.3	Profundidad radicular .....	64
3.2.4.4	Drenaje profundo .....	66
3.2.4.5	Evapotranspiración.....	69
3.2.4.6	Numero de estratos.....	72
3.2.4.7	Susceptibilidad de coberturas .....	74
3.3	Zonificación de la susceptibilidad .....	77
3.3.1	Análisis y resultados .....	79
3.3.1.1	Susceptibilidad muy baja.....	79
3.3.1.2	Susceptibilidad baja .....	79
3.3.1.3	Susceptibilidad media .....	79
3.3.1.4	Susceptibilidad alta .....	80
3.3.1.5	Susceptibilidad muy alta.....	80
3.4	Análisis de detonantes .....	81
3.4.1	Detonante clima (Lluvia máxima en 24 horas tr 50) .....	81
3.4.2	Detonante por sismo.....	84
3.5	Análisis de la amenaza .....	87
3.6	Escenario de amenaza relativa .....	90
3.6.1	Validación de la amenaza relativa.....	93
4	ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD .....	101
4.1	Vulnerabilidad total.....	101
4.1.1	Proceso de generación de los mapas .....	102

4.1.2	Evaluación del proceso de daño .....	102
4.1.3	Caracterización en áreas expuestas (elementos) a evaluar .....	103
4.1.3.1	Áreas de importancia estrategias para la conservación de la biodiversidad y servicios ecosistemáticos .....	104
4.1.3.2	Asentamientos humanos.....	104
4.1.3.3	Áreas agrícolas .....	104
4.1.3.4	Áreas industriales y comerciales .....	104
4.1.3.5	Áreas mineras .....	104
4.1.3.6	Infraestructura estratégica.....	104
4.1.3.7	Áreas con vegetación herbácea o arbuzal.....	105
4.1.3.8	Áreas abiertas sin o con poca vegetación .....	105
4.1.4	Caracterización del modo de daño de los elementos .....	105
4.1.5	Nivel de daño de las áreas a evaluar .....	106
4.1.6	Áreas (elementos) expuestas y matrices de daño.....	107
4.2	Categorías de vulnerabilidad .....	109
5	ESCENARIOS DE RIESGO .....	112
5.1	Factores que favorecen la ocurrencia del fenómeno .....	112
5.2	Factores que favorecen la ocurrencia del daño .....	113
5.3	Escenarios previstos .....	114
5.4	Consideraciones .....	117
5.4.1	Riesgo aceptable .....	117
6	CONCLUSIONES .....	118
7	RECOMENDACIONES .....	120
8	FUENTES DE CONSULTA .....	124

## Índice de tablas

Tabla 3.1 Información recopilada en campo, (Anexo 3.1).	8
Tabla 3.2. Categorización del atributo resistencia	9
Tabla 3.3. Categorización del Atributo Textura-Fábrica.	11
Tabla 3.4. Categorización del atributo densidad de fracturamiento.	13
Tabla 3.5. Susceptibilidad de pendientes.	19
Tabla 3.6. Valores de calificación Susceptibilidad de la rugosidad.	21
Tabla 3.7. Clasificación de la Susceptibilidad del atributo Acuenca.	23
Tabla 3.8. Criterios para la calificación de las unidades geomorfológicas (morfogénesis).	25
Tabla 3.9. Calificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa de acuerdo a criterios morfogénicos Unidades IDEAM.	26
Tabla 3.10. Calificación de la inestabilidad de laderas (susceptibilidad morfodinámica a los procesos de remoción en masa)	28
Tabla 3.11. Calificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa de acuerdo a criterios morfodinámicos.	28
Tabla 3.12. Calificación de depósitos.	29
Tabla 3.13. Calificación de depósitos.	29
Tabla 3.14. Descripción del movimiento traslacional.	32
Tabla 3.15. Descripción del movimiento traslacional.	32
Tabla 3.16. Descripción del movimiento traslacional.	33
Tabla 3.17. Descripción del movimiento traslacional.	34
Tabla 3.18 Categorización de la densidad de drenaje.	39
Tabla 3.19 Categorización de la frecuencia de drenaje.	41
Tabla 3.20 Susceptibilidad de las geoformas	44
Tabla 3.21. Calificación de la taxonomía de suelos a nivel de Orden	47
Tabla 3.22. Calificación de la textura de suelos	48
Tabla 3.23. Calificación del drenaje natural del suelo.	50
Tabla 3.24. Calificación de profundidad total.	52
Tabla 3.25. Calificación del tipo de arcilla.	54
Tabla 3.26. Cuantificación de las coberturas del municipio.	58
Tabla 3.27. Cuantificación de la profundidad efectiva	64
Tabla 3.28. Calificación del atributo Profundidad Radicular.	64
Tabla 3.29. Cuantificación del drenaje profundo.	66
Tabla 3.30. Calificación del atributo Drenaje Profundo.	66
Tabla 3.31. Cuantificación de la evapotranspiración del municipio.	69
Tabla 3.32. Clasificación del atributo evapotranspiración.	69
Tabla 3.33. Cuantificación del Número de Estratos del Municipio.	72
Tabla 3.34. Calificación del atributo número de estratos.	72
Tabla 3.35 Cuantificación de la susceptibilidad.	74
Tabla 3.36. Calificación de la lluvia máxima diaria según su contribución a los movimientos en masa.	81
Tabla 3.37. Calificación de los valores de PGA de menor a mayor grado de contribución.	84
Tabla 4.1 Categorías de elementos a evaluar según la naturaleza del daño.	103
Tabla 4.2 Tipos de modos de daño de áreas expuestas a Planes de Ordenamiento	105
Tabla 4.3 Tasas de daño de acuerdo con el índice de daño	106
Tabla 4.4. Ejemplo de matriz de daño para movimiento en masa.	107
Tabla 4.5 Categoría de vulnerabilidad según ID	109
Tabla 5.1. Valoración del riesgo por fenómenos de remoción en masa.	114
Tabla 5.2. Tabla áreas de riesgo en el municipio.	116

## Índice de figuras

Figura 3.1. Mentefacto del recorrido metodológico para calcular el mapa de susceptibilidad, de acuerdo a la metodología del SGC. ....	3
Figura 3.2 Diagrama de Variables dentro de la Temática Geología con sus respectivos pesos. ....	6
Figura 3.3. Álgebra de mapas para el cálculo de la susceptibilidad de la geología. ....	7
Figura 3.4. Mapa de Susceptibilidad por Resistencia. ....	10
Figura 3.5. Mapa de susceptibilidad por Textura/Fábrica del municipio. ....	12
Figura 3.6. Mapa de Susceptibilidad por Densidad de Fracturamiento Municipio. ....	14
Figura 3.7. Mapa de Susceptibilidad por el Componente Geología del Municipio. ....	16
Figura 3.8. Diagrama de atributos dentro de la variable morfometría. ....	17
Figura 3.9. Calificación de la variable Morfometría. ....	18
Figura 3.10. Calificación de la variable pendiente. ....	20
Figura 3.11. Calificación de la variable rugosidad. ....	22
Figura 3.12. Calificación de la variable Acuenca. ....	24
Figura 3.13. Calificación variable Morfogénesis. ....	27
Figura 3.14. Calificación variable Morfodinámica. ....	31
Figura 3.15. Distribución por tipo de movimiento. ....	35
Figura 3.16. Distribución por tipo de material. ....	36
Figura 3.17. Distribución por barrios y veredas. ....	36
Figura 3.18. Patrones de drenaje. ....	37
Figura 3.19 Patrón o tipo de drenaje. ....	38
Figura 3.20 Densidad de drenaje. ....	40
Figura 3.21 Frecuencia de drenaje. ....	42
Figura 3.22 Diagrama de atributos de susceptibilidad de las geoformas. ....	43
Figura 3.23. Mapa de Calificación de Geomorfología. ....	45
Figura 3.24. Diagrama de atributos de suelos. ....	46
Figura 3.25. Calificación taxonomía de suelos. ....	47
Figura 3.26. Mapa de calificación textura de suelos. ....	49
Figura 3.27. Mapa de calificación drenaje natural. ....	51
Figura 3.28. Calificación de la profundidad del suelo. ....	53
Figura 3.29. Espacialización de la variable tipo de arcilla. ....	55
Figura 3.30. Susceptibilidad. ....	56
Figura 3.31. Mapa susceptibilidad. ....	57
Figura 3.32. Coberturas de la tierra - metodología Corinne Land Cover. ....	59
Figura 3.33. Coberturas Figura de la tierra en porcentaje. ....	60
Figura 3.34. Coberturas de la tierra Áreas Agrícolas. ....	61
Figura 3.35. Coberturas de la tierra, bosques. ....	62
Figura 3.36. Coberturas de la tierra, pastos. ....	63
Figura 3.37. Profundidad radicular de las coberturas. ....	65
Figura 3.38. Drenaje profundo del Municipio. ....	68
Figura 3.39. Evapotranspiración del Municipio. ....	71
Figura 3.40. Número de estratos. ....	73
Figura 3.41. Susceptibilidad de coberturas. ....	76
Figura 3.42. Histograma de la ocupación areal de cada categoría de susceptibilidad. ....	77
Figura 3.43. Mapa de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa. ....	78
Figura 3.44. Calificación del Mapa de Zonificación Climática con base en su contribución a los movimientos en masa. ....	81
Figura 3.45. Mapa de calificación variable Detonante clima. ....	82
Figura 3.46. Mapa de amenaza por fenómenos de remoción en masa por factores climáticos. ....	83
Figura 3.47. Mapa de calificación variable Detonante Sismo. ....	85
Figura 3.48. Mapa factor de sismo municipio Zipaquirá. ....	86

Figura 3.49 Clasificación del mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa detonados por lluvia para la función de modelación de la Guía Metodológica.....	88
Figura 3.50. Clasificación del mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa detonados por sismo para la función de modelación de la Guía Metodológica .....	89
Figura 3.51. Clasificación del mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa detonados por sismo para la función de modelación de la Guía Metodológica .....	90
Figura 3.52. Mapa de amenaza total relativa por fenómenos de remoción en masa .....	91
Figura 3.53. Descripción de las categorías de amenaza total. ....	92
Figura 3.54 Distribución de la amenaza total relativa por fenómenos de remoción en masa.....	92
Figura 3.55. Porcentaje del área de movimientos en masa que se encuentran en algún tipo de amenaza.....	93
Figura 3.56 Caracterización temática para el nivel de amenaza alta. Pendiente. ....	94
Figura 3.57. Caracterización temática para el nivel de amenaza alta. Cobertura. ....	95
Figura 3.58. Caracterización temática para el nivel de amenaza alta. Geomorfología. ....	96
Figura 3.59. Caracterización temática para el nivel de amenaza alta. Geología. ....	96
Figura 3.60 Caracterización temática para el nivel de amenaza media. Pendiente. ....	97
Figura 3.61. Caracterización temática para el nivel de amenaza media. Cobertura. ....	97
Figura 3.62. Caracterización temática para el nivel de amenaza media. Geomorfología.....	98
Figura 3.63. Caracterización temática para el nivel de amenaza media. Geología.....	98
Figura 3.64 Caracterización temática para el nivel de amenaza baja. Pendiente. ....	99
Figura 3.65. Caracterización temática para el nivel de amenaza baja. Cobertura. ....	99
Figura 3.66. Caracterización temática para el nivel de amenaza baja. Geomorfología. ....	100
Figura 3.67. Caracterización temática para el nivel de amenaza baja. Geología. ....	100
Figura 4.1. Mapa de vulnerabilidad por fenómenos de remoción en masa.....	110
Figura 4.2. Descripción de las categorías de vulnerabilidad total. ....	111
Figura 4.3 Distribución porcentual de la vulnerabilidad física por remoción en masa en el municipio .....	111
Figura 5.1. Mapa de riesgo por fenómenos de remoción en masa.....	115
Figura 5.2. Descripción de las categorías de riesgo total. ....	116
Figura 5.3. Distribución porcentual del riesgo por remoción en masa en el municipio. ....	116

## Índice de fotografías

Fotografía 3.1. Deslizamiento traslacional vereda Río Frío. ....	32
Fotografía 3.2. Movimiento reptación vereda Río Frío. ....	33
Fotografía 3.3. Vereda El Chonte.....	34
Fotografía 3.4. Vereda Pueblo Viejo. ....	35

## 1 INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene la evaluación técnica realizada de acuerdo a la metodología del Servicio Geológico Colombiano para la evaluación de la amenaza relativa por fenómenos de remoción en masa para las áreas rurales del municipio Zipaquirá, integra las evaluaciones del componente geológico, geomorfológico, edafológico y de cobertura vegetal, que integradas producen, el mapa de susceptibilidad de las laderas al desarrollo de inestabilidades. Esta metodología fue aplicada para generar cartografía en escala 1:25.000 para las áreas rurales únicamente, es preciso recordar que para las áreas urbanas se aplicará la metodología SES y se presentará en escala 1:2.000.

El fin principal del presente documento, es prestar apoyo en los procesos de planificación territorial, en la gestión del riesgo y en el conocimiento por sí mismo del espacio y la geografía municipal, el trabajo permitió conocer y dimensionar situaciones relacionadas con aspectos netamente físicos pero relacionados con el desarrollo de fenómenos de remoción en masa, tales como la tectónica local, la incidencia de los suelos en la estabilidad de vertientes, el uso del suelo como detonante de deslizamientos, el trabajo del equipo social permitió resaltar que uno de los principales impactos que generan sobre la comunidad los fenómenos de remoción en masa son las alteraciones en la movilidad, las vías como principal elemento expuesto afecta el flujo de bienes y servicios, afecta la cotidianidad del proceso educativo de niños y jóvenes en las veredas.

Se resalta la debilidad institucional del municipio, por la falta de planes de contingencia, la falta de programas de prevención, y los bajos niveles de cubrimiento de servicios públicos domiciliarios en las veredas, especialmente en lo relacionado con saneamiento básico y que de alguna manera puede incidir en la estabilidad de las laderas en el corto y mediano plazo.

El documento está acompañado de un robusto componente cartográfico que se entrega en geodatabase, con archivos .mxd para los planos en tamaño pliego como para los mapas tamaño carta que acompañan el presente informe, y para facilitar archivos de impresión rápida se entregan en formato.PDF los de tamaño pliego y .jpg los de tamaño carta.

Los trabajos de campo que sustentan el presente documento se realizaron en al menos cuatro jornadas, desde las mesas de trabajo que adelanto el equipo social, como las visitas que realizaron los equipos de geología geomorfología y estudios específicos para el área urbana.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la amenaza, vulnerabilidad y riesgo para fenómenos de remoción en masa de las áreas rurales del municipio Zipaquirá.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

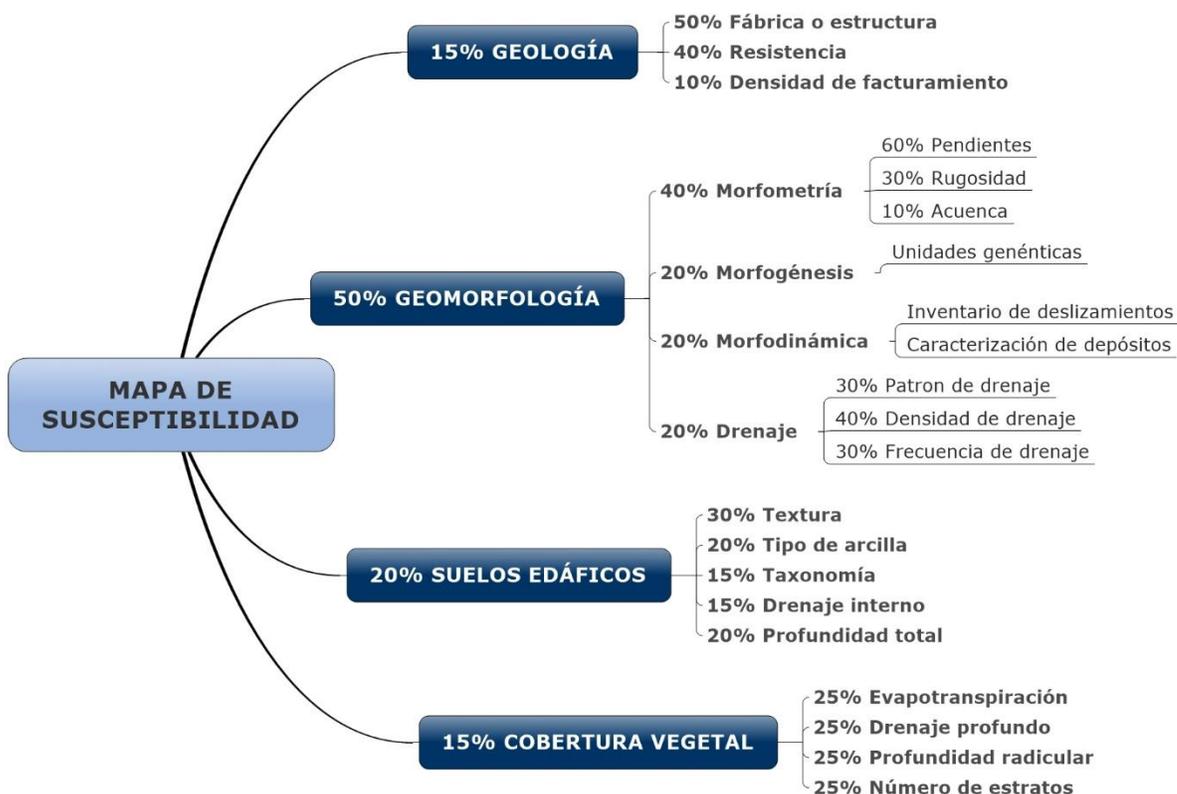
- Generar la cartografía temática necesaria que permita determinar la susceptibilidad de la laderas del municipio al desarrollo de fenómenos de remoción en masa.
- Identificar los elementos detonantes que configuran la amenaza por fenómenos de remoción en masa en las áreas rurales del municipio.
- Evaluar la vulnerabilidad física por exposición de los elementos rurales tales como vías, viviendas, escuelas, sistemas productivos o ecosistemas estratégicos.
- Evaluar la vulnerabilidad socio-política, institucional, económica de las comunidades rurales del municipio.
- Indicar el riesgo asociado por eventos de remoción en masa.
- Generar Cartografía rural en ambiente SIG propicia para la planificación territorial y la gestión del riesgo.

### 3 EVALUACIÓN DE AMENAZA POR FRM ZONA RURAL

La evaluación de la amenaza parte de la susceptibilidad que evalúa la distribución de movimientos en masa en ladera y procesos de vertientes generadores de desequilibrio morfogenético, tomando en consideración el enfoque geomorfológico, cuyo objetivo es determinar la variación espacial de la inestabilidad de las laderas y su representación cartográfica mediante el mapa de susceptibilidad geomorfológica.

La evaluación de la susceptibilidad se fundamenta en el análisis y espacialización de factores ambientales que inciden en la estabilidad de las vertientes, la relación entre estos factores que evaluados por separado y luego se integran para obtener una visión general del área. La Figura 3.1 muestra a partir de un mapa mental la distribución de pesos de cada una de las variables analizadas para obtener el mapa final.

Figura 3.1. Mentefacto del recorrido metodológico para calcular el mapa de susceptibilidad, de acuerdo a la metodología del SGC.



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

A continuación se presentan algunos conceptos básicos:

- Procesos de remoción en masa

Los procesos de remoción en masa son aquellos que involucran el movimiento de materiales formadores del terreno bajo la influencia de la gravedad (por lo cual también se les conoce como procesos gravitacionales) (Alcántara, 2000). Existen diferentes tipos que se clasifican en función del material implicado, de la clase de movimiento exhibido y de la velocidad del mismo (Varnes, 1984; Hamblin, 1995). De tal forma que incluye la caída o desprendimiento de materiales, los vuelcos, deslizamientos, expansiones laterales, flujos y los movimientos complejos, este último resultado de la combinación de dos o más de los anteriores tipos (Alcántara, 2000).

De acuerdo Alcántara (2000), en español el término “deslizamiento”, se ha utilizado indistintamente para englobar los procesos de remoción en masa, ocasionando una confusión en la terminología. En un sentido estricto, el significado del término deslizamiento implica el movimiento de material sobre un plano o superficie, lo cual indica que es un tipo de proceso de remoción en masa con un mecanismo de movimiento específico.

- Susceptibilidad

La susceptibilidad a sufrir algún proceso de remoción de masa es definida por Brabb (1984), como la tendencia de un deslizamiento a ser generado en el futuro en un área específica. En el mismo sentido, Soeters y van Westen (1996) definen susceptibilidad como la posibilidad de que un fenómeno ocurra en un área de acuerdo con las condiciones locales del terreno, y especifican que factores detonantes tales como precipitación o sismicidad no son considerados.

Para el presente documento, el termino susceptibilidad aplicado a los procesos de remoción en masa se entiende como el grado de propensión que tiene un terreno o espacio a sufrir esta clase de fenómenos en función de la correlación de variables condicionantes de la inestabilidad.

- Zonificación

El término zonificación, se refiere de algún modo al concepto de mapa, el cual es definido como una representación gráfica, plana y a escala, de una porción o de la totalidad de la superficie terrestre o de cualquier cuerpo celeste (Flores, 2000; Madrid y Ortiz, 2005). El termino zonificación aplicado al análisis de susceptibilidad a procesos de remoción en masa consiste en la división de un territorio en zonas homogéneas según el grado de susceptibilidad.

La zonificación de la susceptibilidad y/o amenaza ante cualquier evento natural es una herramienta útil en los procesos de planificación. El uso de las zonificaciones de diferentes aspectos de la superficie terrestre se ha extendido en diferentes campos de investigación, situación que se ha dado en gran medida por el desarrollo de los sistemas de información geográfica (SIG).

Algunos conceptos relacionados con la zonificación hacen referencia a la escala cartográfica, la cual consiste en la relación de reducción entre una distancia cualquiera medida sobre el mapa y la correspondiente distancia medida sobre el terreno. También se destaca el concepto de escala de representación, la cual consiste en la escala cartográfica definida para representar la información cartográfica (Ortiz, 2000).

La escala no sólo es solo un instrumento para medir distancias o superficies. Es también un límite de visualización ligado a la calidad de los datos. Aunque las modernas herramientas SIG permitan obtener vistas de detalle, éstas carecen de sentido técnico en escalas mayores (con menor denominador) que la que poseen la fuente de datos espacial original (Madrid y Ortiz, 2005).

### 3.1 SUSCEPTIBILIDAD A LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

De acuerdo a la distribución geográfica de los distintos riesgos naturales, las inundaciones y los deslizamientos son los más generalizados a nivel mundial (Bonachea, 2006). Dentro de los eventos amenazantes, los procesos de remoción en masa se constituyen en uno de los más peligrosos y recurrentes, generando millonarias pérdidas socioeconómicas año tras año (Schuster, 1996).

Los procesos de remoción en masa son comunes en las zonas montañosas colombianas, en especial, por la presencia de laderas con pendientes pronunciadas y clima ecuatorial, con lluvias torrenciales y cíclicas. En el país gran parte de las concentraciones urbanas se ubican en la región Andina, donde precisamente ocurren la mayoría de los eventos por remoción en masa. El crecimiento demográfico y el desarrollo de infraestructuras en la región Andina, aumenta la posibilidad de ocupar áreas potencialmente inestables.

En general, hay que señalar la desigual incidencia de los procesos de remoción en masa en las distintas regiones del país. La variabilidad geológica, geomorfológica, hidrometeorológica y antrópica de la región montañosa Colombiana, junto con la presencia de elevadas pendientes; genera taludes y depósitos de diferentes dimensiones y materiales que presentan respuestas diferentes a los procesos gravitatorios. En general, los efectos de los procesos de remoción en masa afectan de diferente forma la sociedad, razón por la cual los procesos de planificación buscan métodos y técnicas para conseguir mejores evaluaciones de los riesgos medioambientales que faciliten su prevención.

La determinación y caracterización de áreas propensas a sufrir procesos de remoción en masa, son un elemento de gran importancia no sólo para la reducción de desastres naturales y sus impactos, sino también para la buena planificación del uso de la tierra y el desarrollo de las regiones (Gómez, et al; 2003).

Suárez (2001), establece que el 90% de las pérdidas por procesos de remoción en masa e inundaciones son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control. Bajo este contexto, el conocimiento de la dinámica natural por medio de ciencias como la geomorfología, es de vital importancia para la determinación de zonas propensas o susceptibles a eventos amenazantes.

El IDEAM, en cumplimiento de sus funciones diseñó e implementó un modelo de pronóstico de la amenaza a procesos de remoción en masa detonados por lluvia, a escala nacional (1:500.000), el cual opera diariamente. El modelo de pronóstico está compuesto por un submodelo de zonificación de la susceptibilidad general del terreno a movimientos en masa y una rutina que modela la precipitación como agente detonante.

De la misma manera el SGC proyectó una calificación por la susceptibilidad del componente sísmico, de la lluvia máxima en 24 horas con un TR de 50 años que de manera conjunta se convierten en insumo para la evaluación de los detonantes.

El componente de susceptibilidad del terreno a los procesos de remoción en masa identifica el grado de propensión que tiene un espacio a sufrir esta clase de fenómenos en función de la correlación de variables condicionantes de la inestabilidad, El IDEAM utiliza para la elaboración de este sub-modelo las siguientes variables: geología, fracturamiento y meteorización de las rocas, geomorfología (morfogénesis y morfodinámica), morfometría (grado de inclinación y longitud de la pendiente, índice de relieve relativo, densidad de drenaje), suelos ( materia orgánica, tipo de arcilla y capacidad de regulación y almacenamiento del agua en el suelo), y por último la cobertura vegetal.

En el presente documento técnico que hace parte de los análisis del componente en geomorfología del proyecto BIRF, se evalúa la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa a partir del componente de geomorfología, para lo cual se evalúan las variables de morfo genética y morfo dinámica. La aplicación de la susceptibilidad geomorfológica se hará a las planchas 1:25.000, interpretadas y validadas en el marco del proyecto desarrollado por la UT AVR CAR.

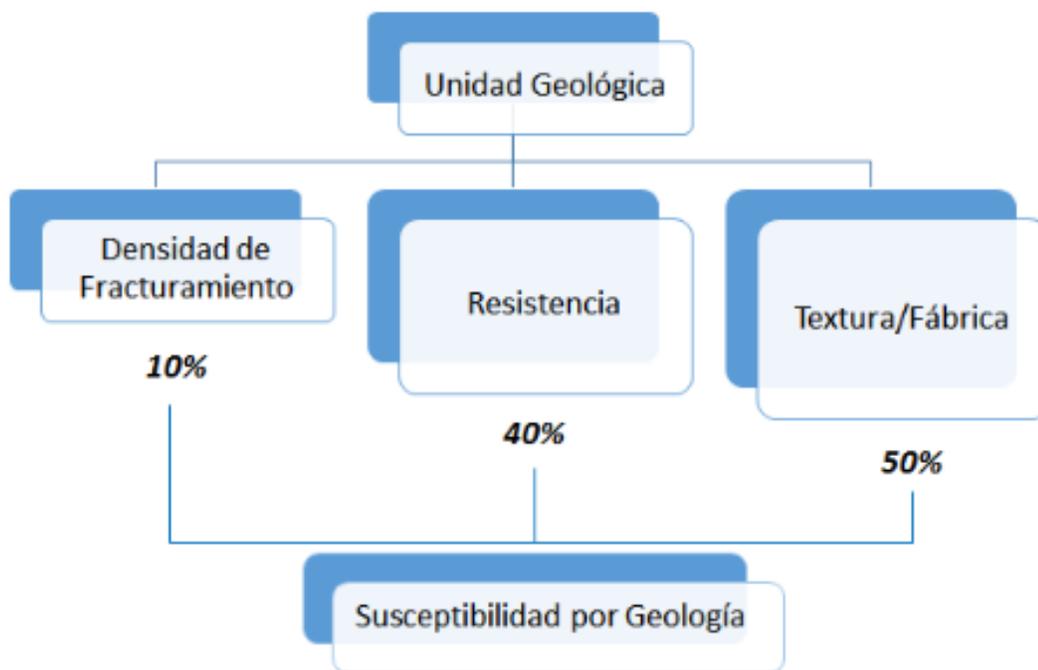
A partir de este recorrido se presentará el desarrollo práctico de cada una de las variables a calificar.

### 3.2 CLASIFICACIÓN DE ATRIBUTOS

#### 3.2.1 Geología

Basados en la información geológica, se hace el siguiente análisis de susceptibilidad.

Figura 3.2 Diagrama de Variables dentro de la Temática Geología con sus respectivos pesos.



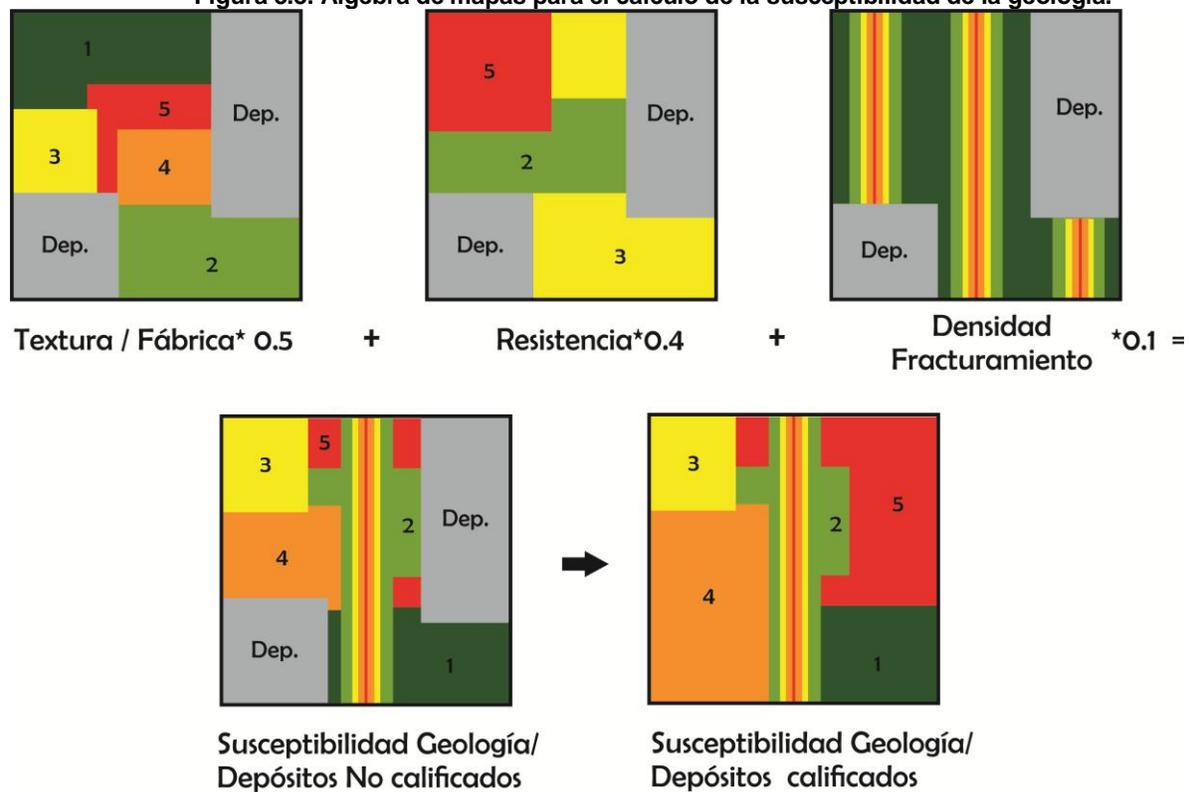
Fuente: UT AVR-CAR

La geología como factor condicionante de muchas de las amenazas naturales, cumple un papel determinante en los procesos de predicción de FRM, por tanto, el siguiente análisis intenta hacer énfasis en determinar las zonas con mayor probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa teniendo en cuenta la distribución espacial de las unidades geológicas superficiales y su comportamiento geomecánico.

La evaluación de la susceptibilidad se fundamenta en el método heurístico (Van Westen, 2003) en combinación con el enfoque analítico (Hansen, 1984), en la que se elaboran una serie de mapas temáticos de cada variable del componente geología, los cuales se evalúan separadamente y posteriormente se integran para generar una evaluación multicriterio donde se clasifica el terreno en dominios de diferentes grados de susceptibilidad de acuerdo al análisis espacial hecho mediante un SIG.

Las variables de textura/fábrica, resistencia y densidad de fracturamiento que se configuran como componentes de la susceptibilidad de la geología a fenómenos de remoción en masa se califican a través de sus componentes litológicos descartando aquellos que han sido identificados como depósitos, debido a que su calificación se expresa no a partir de variables sino a través de una calificación directa de susceptibilidad. En consecuencia los mapas correspondientes a estas variables expresan las calificaciones de las rocas que constituyen las diferentes unidades que afloran en el área de estudio, excluyendo de ellas aquellas que han sido consideradas como depósitos y que se visualizan en el mapa bajo la misma designación pero sin ningún tipo de calificación, como se ve en la **Figura 3.3**. El álgebra de mapas para el cálculo de la susceptibilidad de la geología se aplica a estas tres variables, incluyendo en el resultado final la calificación asignada a los depósitos dada su susceptibilidad directa a los fenómenos de remoción en masa.

**Figura 3.3. Álgebra de mapas para el cálculo de la susceptibilidad de la geología.**



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

Se efectuaron actividades de control de campo, las cuales se enfocaron en la recopilación de información primaria de las características geológicas del terreno y los factores relacionados con la inestabilidad, corrección del trazo de los contactos geológicos y actualización de los depósitos. A partir de esa información primaria y secundaria producto del proceso de recopilación bibliográfica, se dio paso a la calificación de cada una de las variables.

**Tabla 3.1 Información recopilada en campo, (Anexo 3.1).**

COORDENADAS			TIPO DE MOVIMIENTO
Este	Norte	Altura	
1006627	968204	2178	Reptación
1006792	967518	2145	Reptación
1004742	967462	2147	Reptación
1002540	967423	2149	Reptación
1003417	967386	2152	Reptación
1007250	966680	2252	Reptación
1007515	968013	1926	Deslizamiento Rotacional

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

### 3.2.1.1 Resistencia

La resistencia y deformabilidad, resultan de la composición química y mineralógica de las rocas, de su textura y de su estructura; en especial la resistencia que determina la competencia de la roca para mantener unidos sus componentes a los agentes de deterioro, lo cual significa, que el grado de resistencia que tenga la roca, depende directamente de la fábrica o textura que esta posea; por esta razón, en el orden jerárquico de importancia, la fábrica es principal y por ende su porcentaje mayor al de la resistencia. Para complementar la calificación de la resistencia de las unidades geológicas superficiales se procedió a la caracterización de los macizos rocosos, incluyendo la captura de la información referente a las discontinuidades, el estado y comportamiento mecánico-estructural del macizo rocoso. El grado de susceptibilidad de ésta variable se calificó de acuerdo a lo consignado en la **Tabla 3.2**.

La **Figura 3.4**, muestra que en el Municipio de Zipaquirá se presentan dos valores de susceptibilidad en cuanto a la resistencia. El valor de susceptibilidad Bajo (2), ocupa un área de 1981,99 ha y corresponde al 15.64% del área municipal. Se encuentra asociado a rocas que presentan rangos de resistencia a la compresión simple que oscilan entre los 50-100MPa, pertenecientes a: la arenisca de grano fino a muy fino, con estratificación plano paralela a ondulosa, color gris claro fresco y amarillo naranja meteorizado, grado de meteorización II con intercalaciones de limolitas de la formación Arenisca Dura, la cual presentan discontinuidades con meteorización química baja, presenta dos familias principales de discontinuidades, espaciado junto de continuidad media, rugosidad plana lisa con aberturas muy juntas sin rellenos aparentes y secas no afecta la relación de bloques en los taludes. A nivel general los macizos son buenos presentando valores de GSI que oscilan entre 70 y 75.

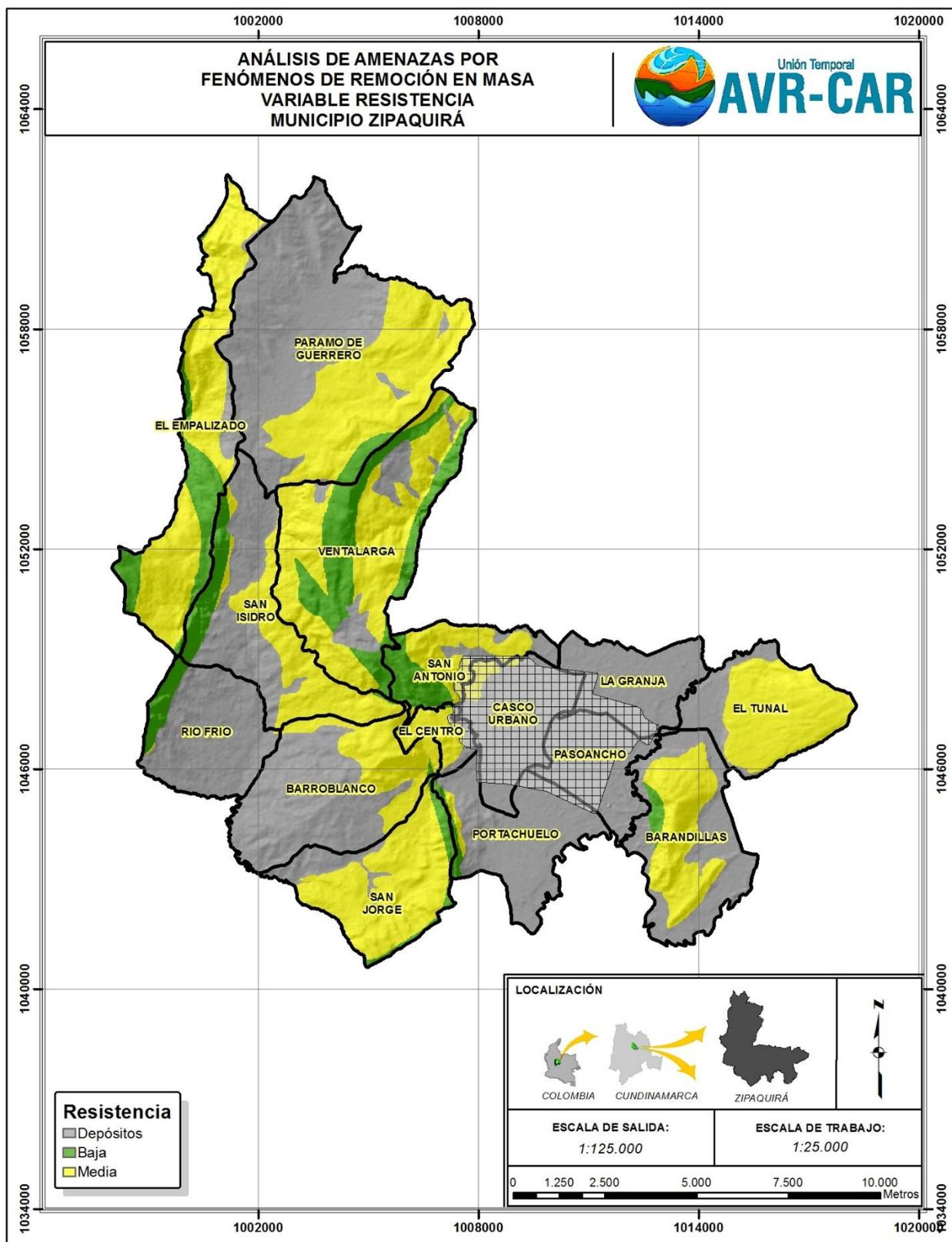
El valor de susceptibilidad Media (3), ocupa un área de 10693.59 ha y corresponde al 84.36% del área municipal. Se encuentra asociado a rocas cuyos rangos de resistencia a la compresión simple oscilan entre 25-50Mpa y se caracteriza por presentar rocas blandas compuestas litológicamente por limolitas silíceas, altamente meteorizadas en superficie, de color amarillas, dispuestas en estratificación media, interestratificada con niveles de arcillolitas de color gris claro, quebradizas, fracturadas y meteorizadas superficialmente y areniscas de grano fino color naranja, grado de meteorización II, textura clástica cementada, correspondiente a la formación Plaeners; así mismo a las areniscas cuarzosas dura, de grano fino a muy fino, estratificación media plano paralela continua, de color meteorizado amarillo claro a naranja, moderadamente dura, meteorización grado III, con intercalaciones de arcillolitas en capas delgadas de la formación Areniscas de Labor y Tierna. Esta última hace las veces de refuerzo, sin embargo son susceptibles a deslizamientos.

**Tabla 3.2. Categorización del atributo resistencia.**

<b>Grado</b>	<b>Termino</b>	<b>Calificación</b>	<b>Grado de Susceptibilidad</b>
R6	Extremadamente dura	1	Muy Baja
R5	Muy dura		
R4	Dura	2	Baja
R3	Moderadamente dura	3	Media
R2	Blanda	4	Alta
R1	Muy Blanda	5	Muy Alta
R0	Extremadamente Blanda		

Fuente: Tomado y modificado de SGC, 2013

Figura 3.4. Mapa de Susceptibilidad por Resistencia.



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

### 3.2.1.2 Fabrica/Textura

La textura o fabrica tiene gran influencia en el comportamiento de las rocas, en la relación de forma y tamaño de los componentes de una roca, y de la manera en que se encuentran en contacto entre sí, en especial en lo referente a la anisotropía, que se genera debido a la orientación de las partículas; la cual así mismo es la que gobierna las propiedades geomecánicas de la roca. Por lo anterior, la importancia geológica radica en que dependiendo de la textura, fábrica, redondez y selección principalmente, se puede dar un índice de evolución y madurez de la roca y en consecuencia determinar la intensidad y el tiempo necesario para que una roca se afecte por los procesos de deterioro normales en una masa rocosa. El grado de susceptibilidad de ésta variable se calificó de acuerdo a lo consignado en la **Tabla 3.3**.

En la **Figura 3.5**, evidencian sólo tres grados de susceptibilidad en cuanto a la textura. El primer grado hace referencia a la susceptibilidad Baja (2), la cual ocupa un área de 1981.99 ha y representa el 15.63% del área municipal, se asocia a la formación Arenisca Dura, la cual hace parte del Grupo Guadalupe rocas cuya textura es clástica y cemento de calidad buena como es el silíceo.

El segundo grado corresponde a la susceptibilidad Media (3) y ocupa un área de 4129.31 ha lo que representa el 32.57% de la extensión municipal. Se asocia a rocas cuya textura es clástica cementada, sin embargo en algunos casos se presenta clástica consolidada debido a características diagenéticas relevantes. En esta categoría se agrupan las unidades pertenecientes a: los demás niveles del Grupo Guadalupe, la formación Plaeners y la formación Labor y Tierna, y a la formación Bogotá, los cuales son medianamente estables debido a su cementación y al hecho de que el material grueso intercalado con arenitas muy competentes cumple un efecto de refuerzo sobre la masa rocosa;

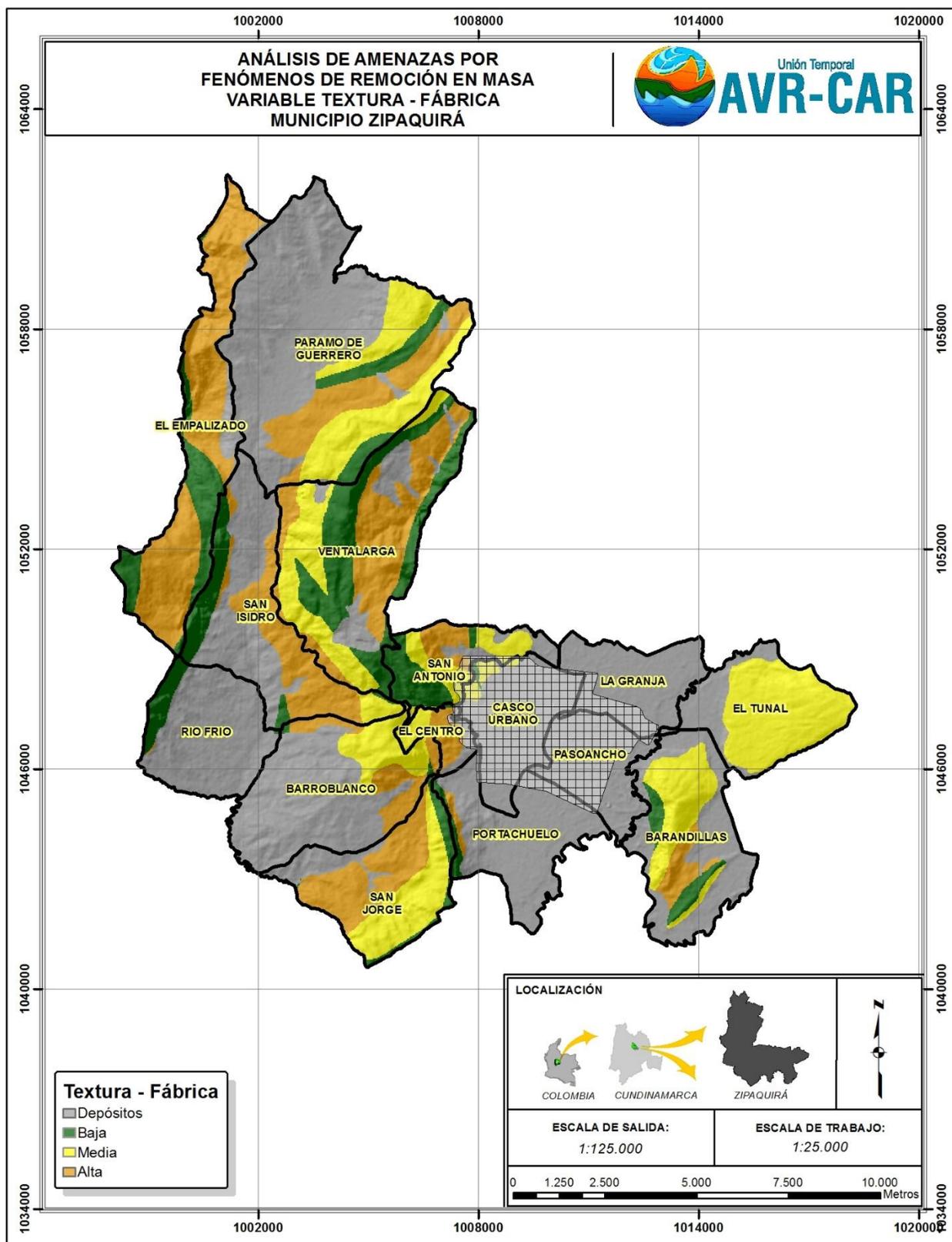
El valor de susceptibilidad Alta (4), ocupa un área de 6495.33 ha y corresponde al 51.24% del área municipal. Se encuentra asociado a rocas de textura clástica consolidada netamente, caracterizada litológicamente por una secuencia de arcillolitas, calizas, limolitas silíceas y arenisca; se caracterizan por presentar intercalaciones de arcillolitas pertenecientes a la Formación Conejo y arcillolitas y lodolitas grises en la parte inferior; lodolitas y arenitas intercaladas con capas de carbón en la parte media y arcillolitas abigarradas, con capas de arenita de cuarzo de grano fino, en la parte superior de la Formación Guaduas. Las condiciones de meteorización y fracturamiento en que se encuentran dificulta la presencia del material cementante lo que la hace susceptible en alto grado a deslizamientos.

**Tabla 3.3. Categorización del Atributo Textura-Fábrica.**

Calificación de la textura/fábrica		
Atributo	Calificación	Grado de susceptibilidad
Suelos	N/A	
Cristalina Masiva	1	MUY BAJA
Cristalina Bandeada	2	BAJA
Clásticas Cementadas	3	MEDIA
Clásticas Consolidadas	4	ALTA
Cristalina Foliada y Rocas de Falla	5	MUY ALTA

Fuente: Tomado y modificado de SGC, 2013.

Figura 3.5. Mapa de susceptibilidad por Textura/Fábrica del municipio.



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

### 3.2.1.3 Densidad de fracturamiento

Las zonas de falla, son sectores que presentan discontinuidad en las características iniciales de fábrica o textura y por consiguiente en la resistencia de las rocas; estas zonas son el resultado de la mayor deformación en la fábrica debido a grandes valores de debilidad y como respuesta a menores valores de resistencia. Esta relación determina su dependencia de las dos variables anteriores, por ende su porcentaje menor en la matriz de calificación. Se considera a nivel general, que los materiales cercanos a las zonas de fallas y ejes anticlinales y algunos sinclinales se encuentran altamente fracturados, alterados y meteorizados, es por eso que alrededor de éstas estructuras se generó un buffer o área de influencia, sin asegurar que exactamente a la distancia del buffer es dónde se encuentran los materiales más fracturados y con mayor susceptibilidad a presentar FRM, sino que se tomó ésta consideración para acercarse a las condiciones reales del terreno. El grado de susceptibilidad de ésta variable se calificó de acuerdo a lo consignado en la **Tabla 3.4.**

En la **Figura 3.6**, se evidencian grados de susceptibilidad con respecto a la Densidad de Fracturamiento que van del muy bajo hasta el alto. Los valores de susceptibilidad Alta (4) ocupan un área de 540.61 ha y representan el 4.26% del área municipal respectivamente. Los anteriores valores de susceptibilidad se asocian al sistema de Falla del Chital, un sistema de fallas a nivel regional de tipo cabalgamiento y al que se les atribuye la formación de las estructuras sinclinales y anticlinales circundantes a ellas como el Sinclinal de Río Frío y el Anticlinal de Zipaquirá. Estas fallas presentan tasas relativas de desplazamientos mayores a 1 mm por año y grandes deformaciones en el cuaternario.

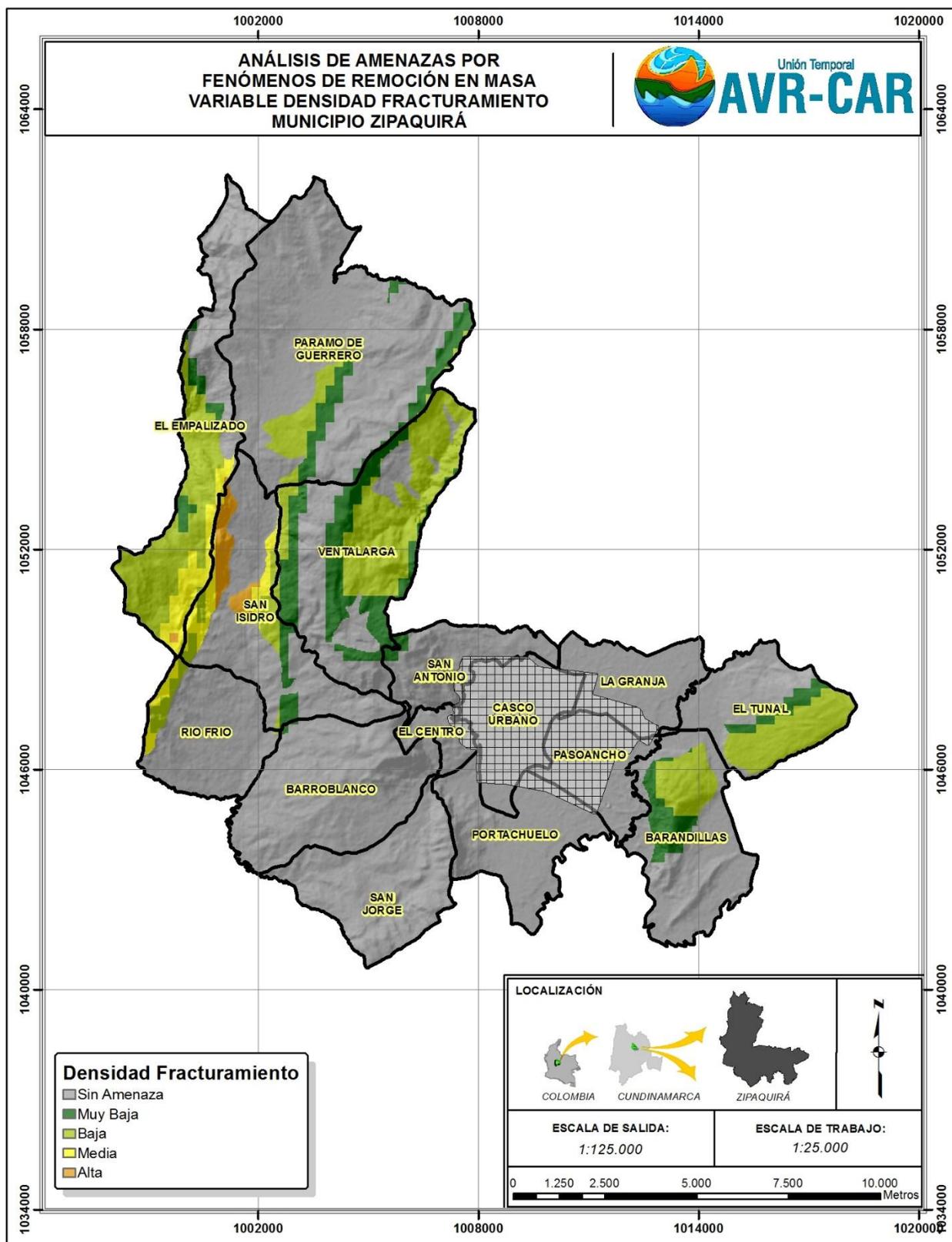
En contraposición, se observan los valores de susceptibilidad Muy Baja (1) y Baja (2) ocupan un área de 1448.59 ha y 3138.19 ha respectivamente y representan el 11.42% y 24.75% del área municipal respectivamente. Se asocian a zonas estructuralmente “estables”, sobre las cuales no se aprecian deformaciones neotectónicas considerables y donde ubican pliegues gentiles y amplios de poca extensión y de carácter muy local.

**Tabla 3.4. Categorización del atributo densidad de fracturamiento.**

<b>Término</b>	<b>Calificación</b>	<b>Grado de Susceptibilidad</b>
Muy Baja densidad de Fracturamiento	1	Muy Baja
Baja densidad de Fracturamiento	2	Baja
Media Densidad de Fracturamiento	3	Media
Alta Densidad de Fracturamiento	4	Alta
Muy Alta Densidad de Fracturamiento	5	Muy Alta

Fuente: Tomado y modificado de SGC, 2013.

Figura 3.6. Mapa de Susceptibilidad por Densidad de Fracturamiento Municipio.



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

### 3.2.1.4 Definición y caracterización de zonas críticas

La convolución en un SIG de los atributos o variables anteriormente analizadas, nos permite caracterizar zonas que bajo la influencia geológica presentan algún tipo de susceptibilidad a FRM. Para ésta caracterización se sigue utilizando los cinco rangos de clasificación del grado de susceptibilidad que se ha venido desarrollando a lo largo del trabajo: Muy baja, Baja, Media, Alta y Muy Alta.

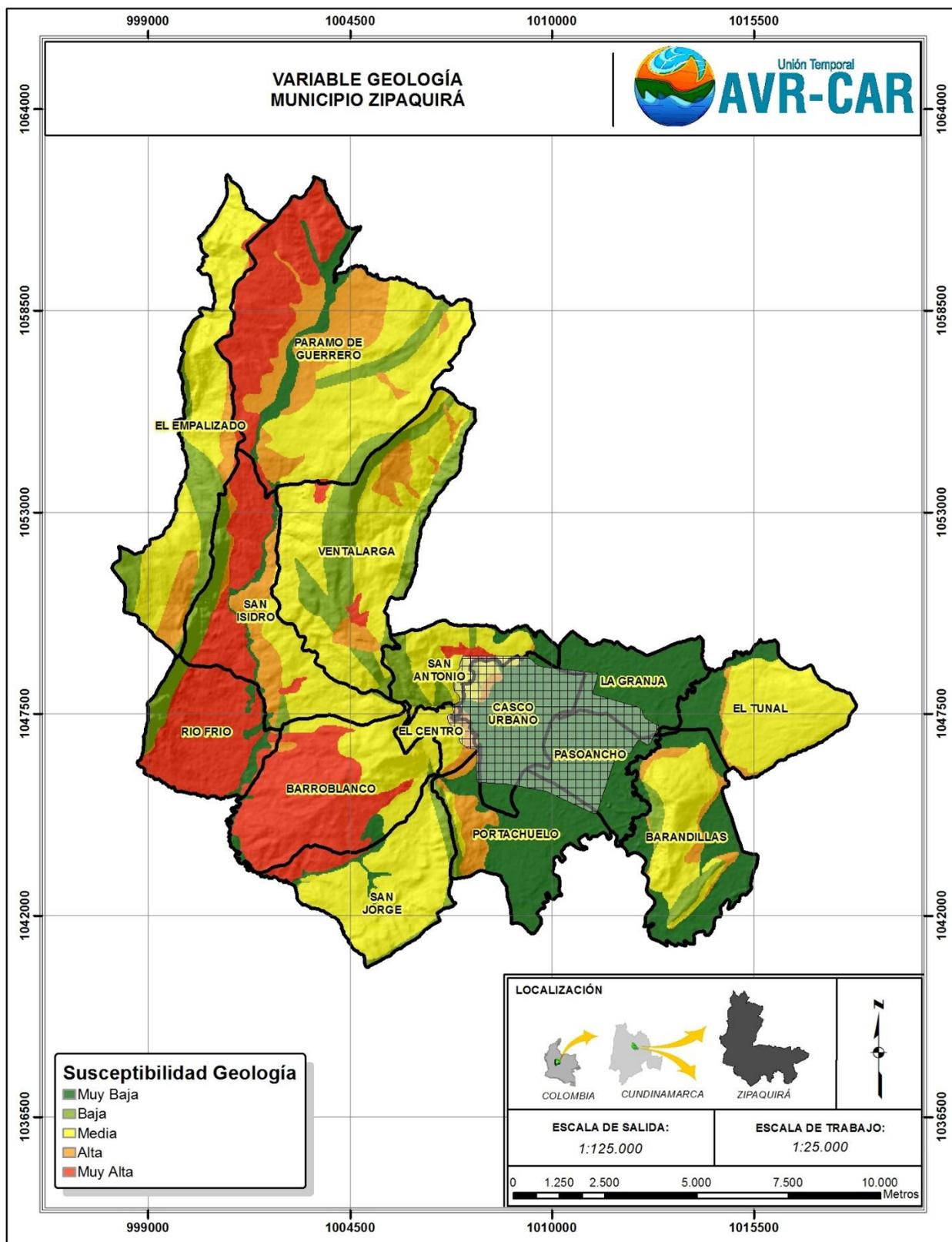
Entre la **Figura 3.7**, se destacan todos los posibles escenarios de susceptibilidad, los cuales se analizan y caracterizan a continuación.

La Susceptibilidad Muy Baja (1) ocupa un área de 4474.09 ha y representa el 22.73% de la extensión municipal. Se caracteriza litológicamente por presentar depósitos de tipo aluvial que ocurren en la llanura de inundación de los ríos Neusa, Frío, Tibitó y Juratena, y sus respectivos afluentes están constituidos por bloques pequeños subredondeados de areniscas y liditas en matriz areno-arcillosa que no representan ningún tipo de susceptibilidad por FRM por ubicarse en zonas morfológicamente planas.

La Susceptibilidad Baja (2) ocupa un área de 2420.53 ha y representa el 12.29% del área municipal y se caracteriza por presentar en su mayoría areniscas de grano fino a muy fino, con intercalaciones de limolitas de la formación Arenisca Dura, los cuales son muy estables debido a su cementación silíceas y presentan discontinuidades con meteorización química baja, discontinuidades que se encuentran tan solo ligeramente abiertas y con fracturamiento antitético al fallamiento regional. A Nivel estructural no destaca ninguna falla de importancia que genere deformaciones al cuaternario.

Los valores de Susceptibilidad Media (3), Alta (4) y Muy Alta (5) ocupan un área de 7542.06 ha, 1000.42 ha y 4244.11 ha respectivamente los cuales representan el 38.32%, 5.08% y 21.56 % del área municipal respectivamente. Presentan un marcado control estructural asociado al sistema de Fallas del Chital, por tal razón las Lodolitas calcáreas fisiles de la Formación Seca y Santa Teresa, Limolitas silíceas, interestratificada con niveles de arcillolitas de la Formación Plaeners; así mismo las areniscas cuarzosas, de grano fino a muy fino, con intercalaciones de arcillolitas en capas delgadas de la formación Labor y Tierna. se observan con alto diaclasamiento, fracturamiento y muy meteorizadas en zonas muy puntuales, las cuales se encuentran expuestas a lo largo de las carreteras, las anteriores condiciones junto con sus características de poca consolidación diagenética y cemento ausente las hace relucir por su condición más favorable a presentar deslizamientos y otros tipos de movimientos en masa. Cabe resaltar que los depósitos coluviales constituyen las unidades litológicas que potencialmente presentan mayor susceptibilidad a presentar fenómenos de remoción en masa.

Figura 3.7. Mapa de Susceptibilidad por el Componente Geología del Municipio.



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

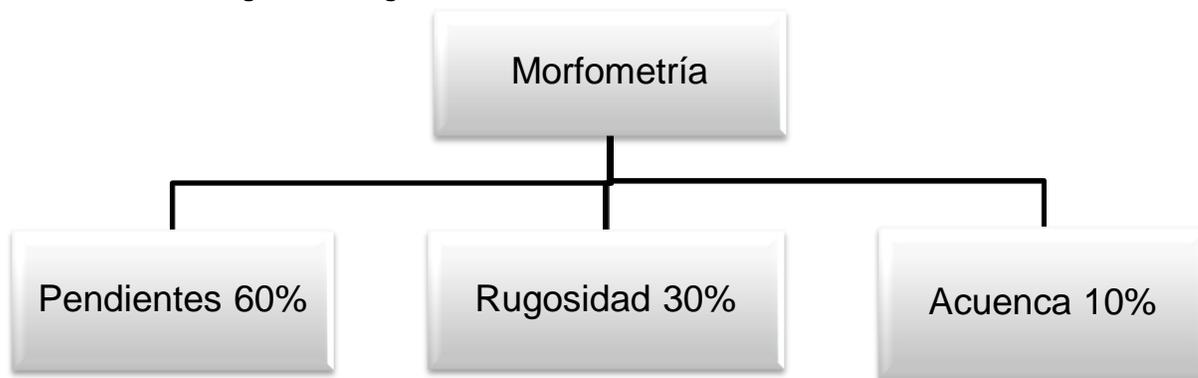
### 3.2.2 Geomorfología

En este capítulo se presenta la calificación de las geoformas a los procesos de remoción de acuerdo a la cartografía geomorfológica 1:25.000 propuestas principalmente por el SGC con algunas unidades definidas en la metodología IDEAM. Este componente incluye las variables de morfometría, morfogénesis y morfodinámica, con las cuales se calificará las unidades geomorfológicas

#### 3.2.2.1 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, seguidamente se pueden ver los atributos de la variable morfometría con sus respectivos porcentajes. (Figura 3.8).

Figura 3.8. Diagrama de atributos dentro de la variable morfometría.



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

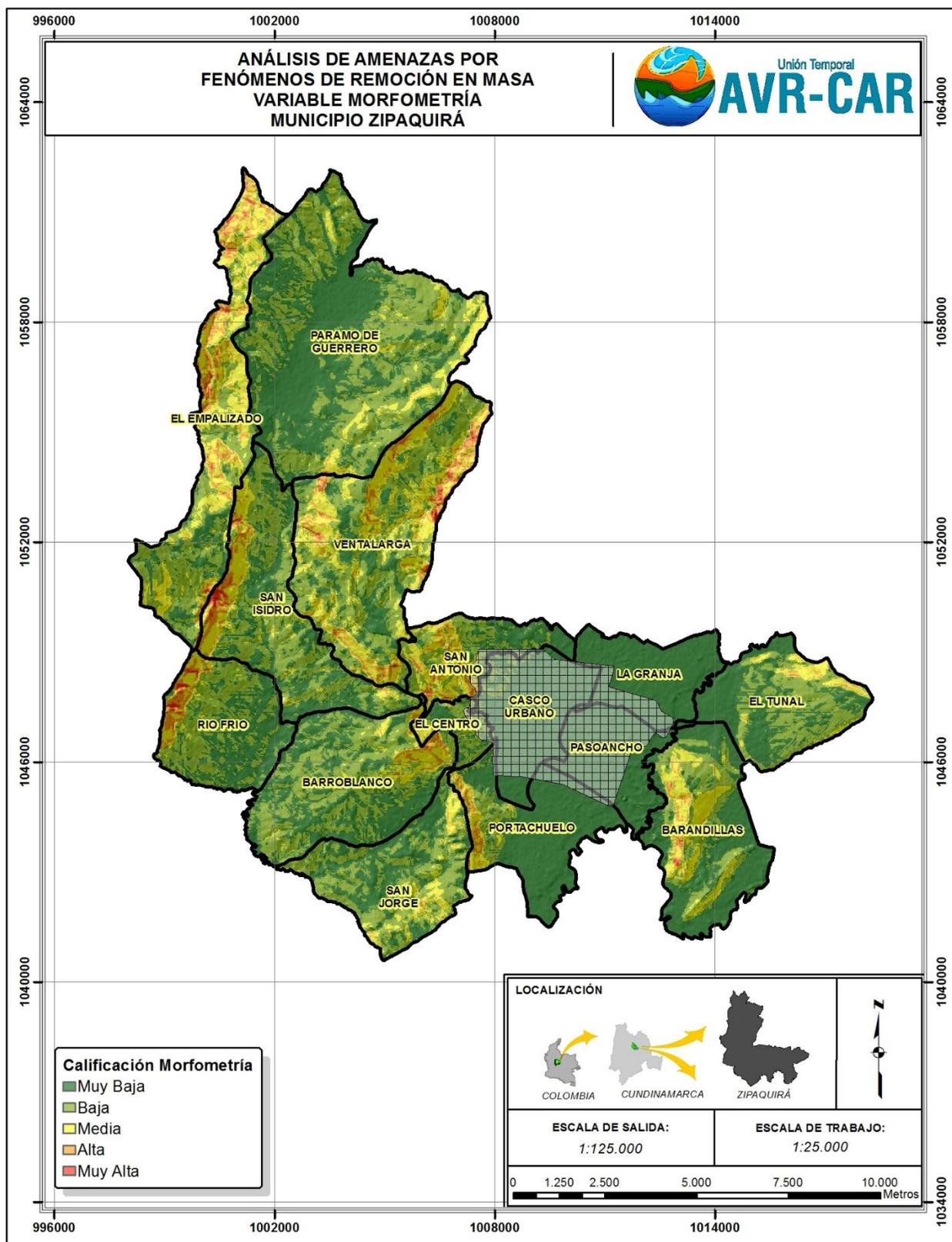
La morfometría en geomorfología proporciona la parametrización de los procesos que toman lugar en la formación del relieve. Es decir, la morfometría analiza los valores geométricos de las formas del relieve. Las aplicaciones de la morfometría presentan un espectro alto, van desde la caracterización de cuencas hasta la evaluación de la inestabilidad de laderas.

La pendiente del terreno es una de las variables más usadas en la mayoría de las zonificaciones morfométricas orientadas a susceptibilidad a procesos de remoción en masa. De acuerdo con (Santacana, 2001), con la evolución de los SIG se ha logrado incluir con mayor frecuencia y facilidad aspectos relacionados con la topografía y geometría de la ladera, tales como: elevación, orientación, convexidad, rugosidad (diferencia entre pendiente media y pendiente), índice topográfico (área de un terreno dividido por la longitud del contorno de la misma).

La base para la evaluación de los valores geométricos de la forma del relieve son derivados de la topografía o de los modelos de elevación del terreno.

Para el municipio Zipaquirá los atributos de pendiente, rugosidad y acuenca generan una clasificación para construir la variable de morfometría, para este municipio el rango de susceptibilidad varía entre muy baja a baja, siendo la primera de estas la de mayor influencia en el territorio. Algunas áreas ubicadas al Oeste y centro del municipio presentan susceptibilidad alta, sobre las veredas El Empalizado, San Isidro, Paramo de Guerrero, Ventalarga, Río Frio, San Antonio, Barroblanco, Portachuelo, Barandillas y EL Tunal; estas zonas están en menor proporción sobre el municipio, por lo cual puede entenderse que el municipio es morfométricamente homogéneo, presentando zonas donde puede desarrollarse movimientos en masa ligadas a los sectores de susceptibilidad muy alta en el municipio.

Figura 3.9. Calificación de la variable Morfometría.



Fuente: UT AVR-CAR, 2014

### a) Pendientes

La pendiente se define como el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal. La variable se deriva del modelo digital de elevación MDE y se expresa 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. La **Tabla 3.5** muestra la clasificación de la susceptibilidad de pendientes y su descripción.

Como se observa en la **Figura 3.10**, el municipio Zipaquirá presenta principalmente pendientes planas a suavemente inclinadas y muy inclinadas sobre toda su extensión. Las pendientes escarpadas pueden apreciarse en las veredas El Tunal, Barandillas, San Jorge, Ventalarga, El Empalizado y Paramo de Guerrero, presentándose en muy baja proporción en el territorio. La cual posee la mayor susceptibilidad como se observa en la **Tabla 3.5**.

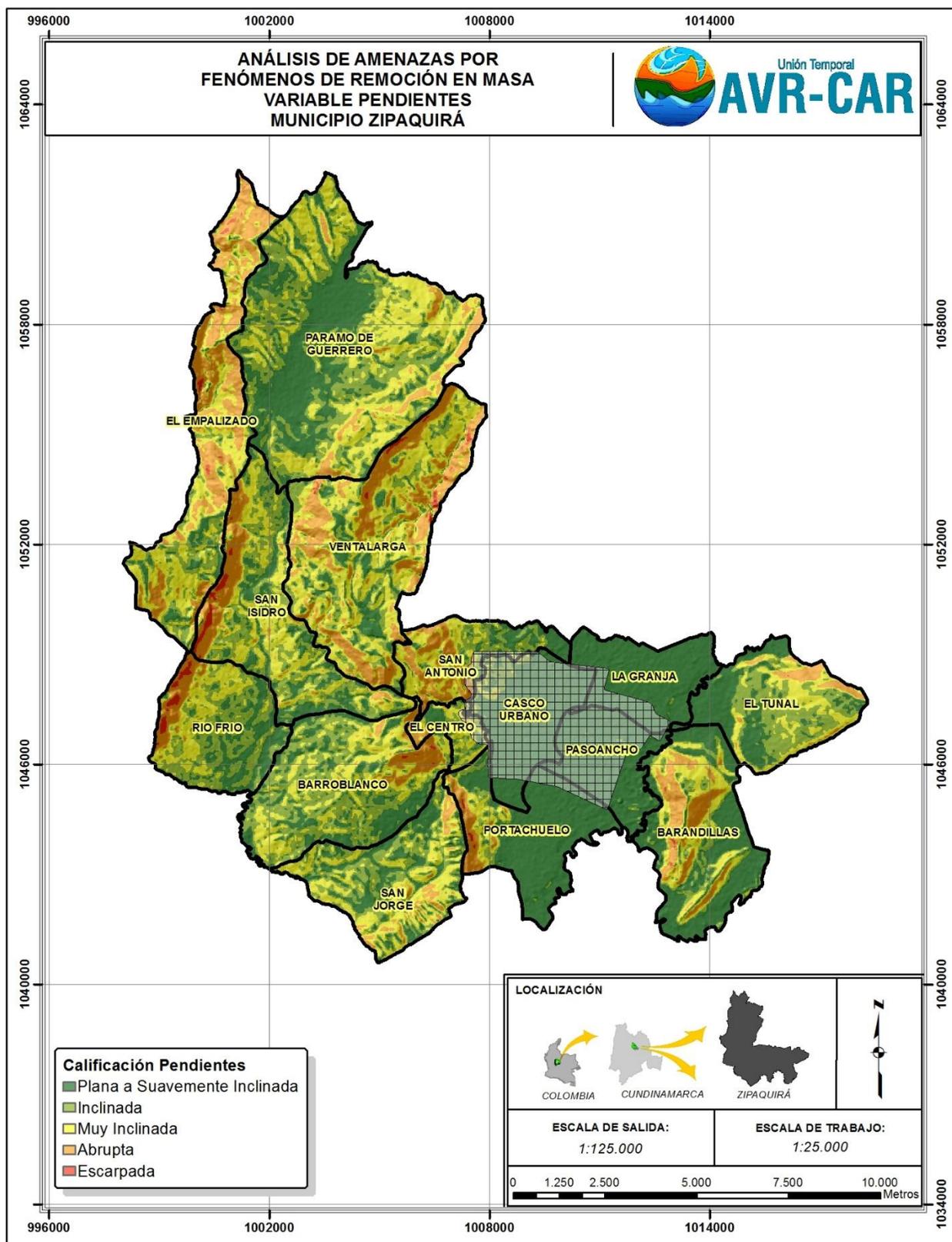
Las zonas más propensas a movimientos en masa están relacionadas a los sectores donde se presentan las pendientes Abruptas y escarpadas, debido a que son los lugares más susceptibles a este tipo de fenómeno, apreciado principalmente hacia el Oeste y centro del municipio.

**Tabla 3.5. Susceptibilidad de pendientes.**

Calificación	Descripción	Susceptibilidad
1	Plana a suavemente inclinada	Muy Baja
2	Inclinada	Baja
3	Muy inclinada	Media
4	Abrupta	Alta
5	Escarpada	Muy Alta

Fuente: Tomado de SGC (INGEOMINAS) 2011.

Figura 3.10. Calificación de la variable pendiente



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

## b) 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 a medida que aumenta la dispersión de los vectores, aumenta la rugosidad y la clasificación. La variable se deriva del modelo digital de elevación MDE y 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. En la **Tabla 3.6** se presentan los valores de clasificación en función de la susceptibilidad a los movimientos en masa del atributo Rugosidad.

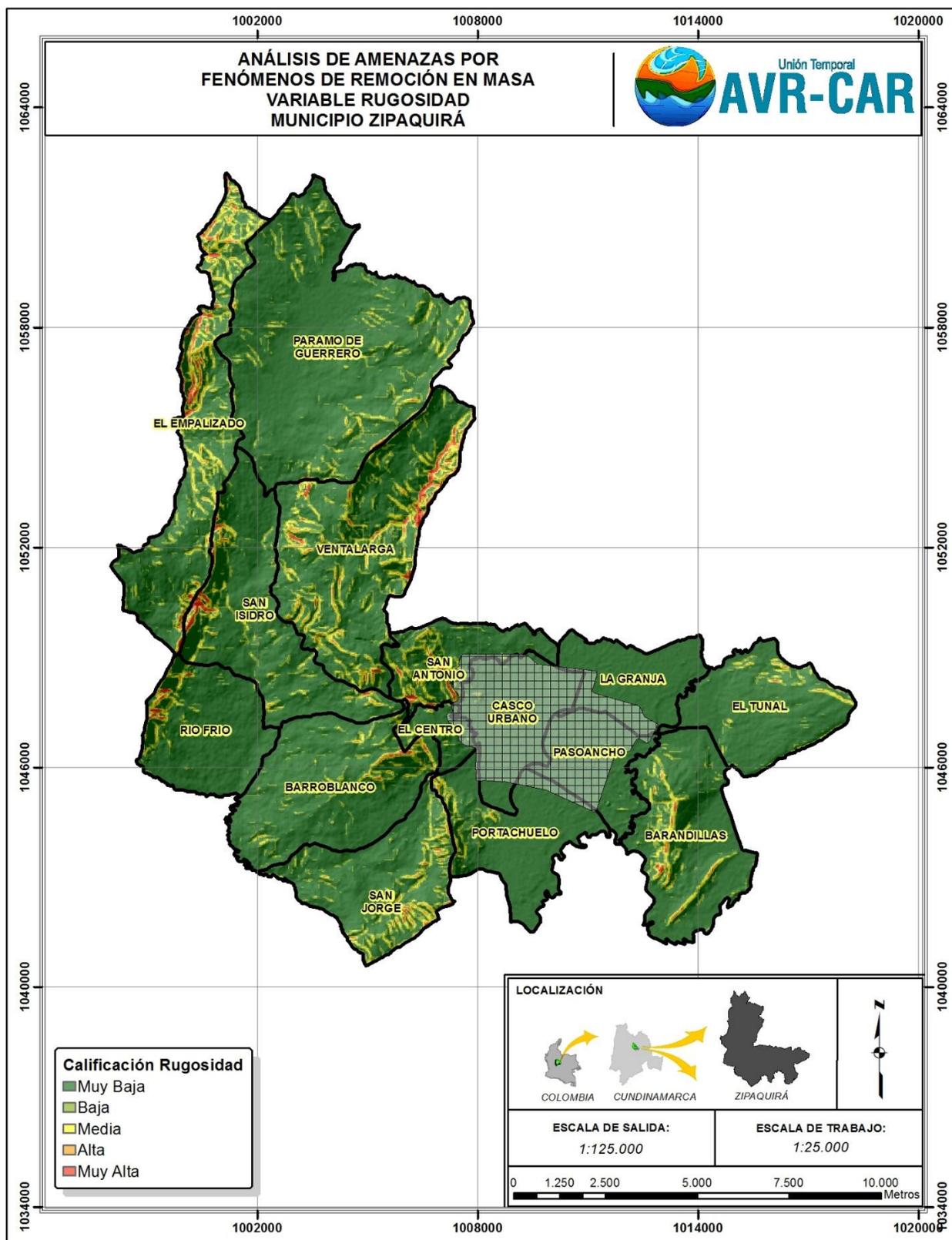
Como puede observarse en la **Figura 3.11**, la mayor parte del municipio Zipaquirá presenta rugosidades muy bajas debido a que los fenómenos erosivos generaron superficies más uniformes; las zonas donde se presenta muy alta rugosidad en el municipio corresponden a las veredas El Empalizado, San Isidro, Ventalarga, San Antonio y Barandillas, donde los fenómenos erosivos actuaron con menor intensidad y añadiendo la acumulación de derrubios dan como resultado la heterogeneidad en el diseño topográfico, afirmando que las zonas donde se presenta una rugosidad muy alta se califica con susceptibilidad muy alta, según la **Tabla 3.6**.

**Tabla 3.6. Valores de calificación Susceptibilidad de la rugosidad.**

Clasificación	Descripción	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: Tomado de SGC (INGEOMINAS) 2011.

Figura 3.11. Calificación de la variable rugosidad.



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

### c) Factor acuenca

El atributo Acuenca corresponde a la superficie de la cuenca aguas arriba de la celda cuya sumatoria de la superficie vierte su valor 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.

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). La **Tabla 3.7** se presenta los valores de clasificación en función de la susceptibilidad a los movimientos en masa de la variable Acuenca.

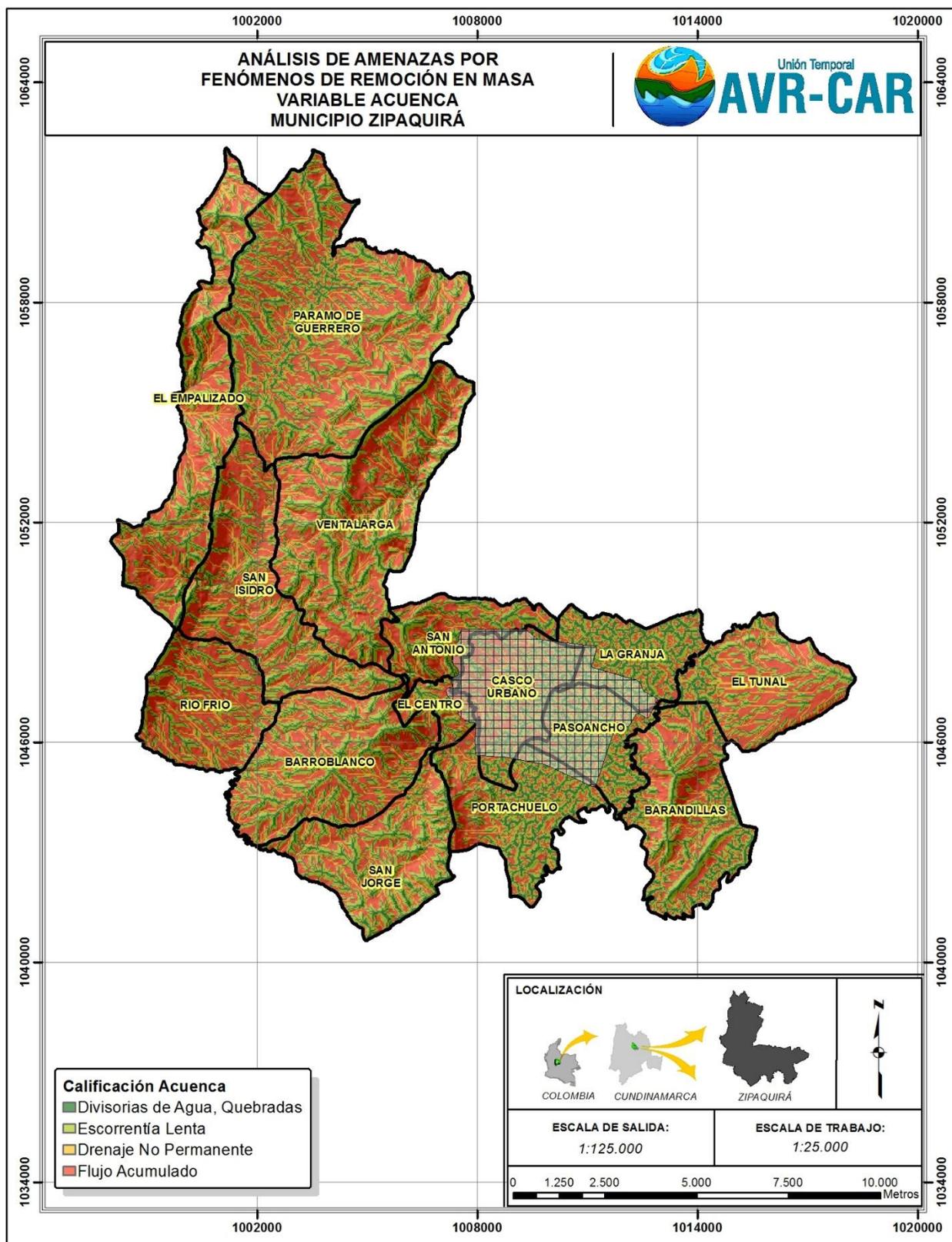
Como se aprecia en la **Figura 3.12**, el municipio Zipaquirá está constituido principalmente por flujos de agua de escorrentía lenta y flujos acumulados, donde el atributo de flujo acumulado es el que presenta susceptibilidad muy alta en el municipio, lo cual hace que sea propenso al desarrollo de movimientos en masa, debido a la inestabilidad del terreno.

**Tabla 3.7. Clasificación de la Susceptibilidad del atributo Acuenca.**

Calificación	Descripción	Susceptibilidad
1	Divisoria de Aguas o Lomos	Muy Baja
1	Quebradas, Ríos	Muy Baja
2	Escorrentía Lenta	Baja
3	Drenaje no permanente	Media
5	Flujo Acumulado	Muy Alta

Fuente: CAR 2013

Figura 3.12. Calificación de la variable Acuencia.



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

### 3.2.2.2 Morfogénesis

Cada geoforma es generada por diferentes procesos, los cuales determinan su morfología y estructura. La génesis y forma del relieve son factores que inciden en la estabilidad del terreno. Las zonas montañosas de Colombia presentan una alta variedad de formaciones geológicas en superficie y de suelos desarrollados a partir de esos materiales, los cuales son propensos a ser afectados por el intemperismo y/o la acción modeladora del medio. Esta situación con lleva a la formación de geoformas propensas a los procesos de remoción en masa.

De forma general, la morfogénesis explica el surgimiento de las formas del relieve a partir de las condiciones climáticas y ambientales. Para la calificación de la susceptibilidad desde el punto de vista morfogenético se tomaron en cuenta dos criterios:

- Procesos dominantes y altura relativa del relieve: la caracterización de los procesos de acumulación y erosión que configuran cada forma de relieve, son aspectos fundamentales que definen las dinámicas actuales que genera los procesos de remoción en masa.
- Grado de inclinación de la pendiente media de la geoforma. El grado de inclinación de las geoformas es derivado de los procesos morfogenéticos que la formaron y que determinan los procesos y dinámicas actuales.

En la **Tabla 3.8** se muestra los criterios generales que se tomaron para caracterizar la morfo genética de las unidades. En la **Tabla 3.9** se muestra la calificación de las unidades, como contexto en la calificación se dio relevancia al ambiente.

**Tabla 3.8. Criterios para la calificación de las unidades geomorfológicas (morfogénesis).**

<b>Criterio 1. Procesos dominantes y altura relativa del relieve</b>	<b>Criterio 2. Pendiente</b>	<b>Susceptibilidad</b>	<b>Calificación</b>
Predominan procesos acumulativos, se presentan formas con altura relativa menor.	Pendiente Muy Baja a Baja	Muy Baja a Nula	1
Ocurrencia de procesos acumulativos y erosivos. Formas altas y bajas con altura relativa media.	Pendiente Leve a Moderada	Baja	2
Predominan procesos erosivos, algunos procesos acumulativos. Formas altas y bajas, altura relativa moderada	Pendiente Moderada a Moderadamente Fuerte	Moderada	3
Predominan procesos erosivos, predominan formas altas con pendiente suave a abrupta y altura relativa considerable.	Pendiente Fuerte	Alta	4
Predominan procesos erosivos. Formas abruptas y de altura relativa considerable	Pendiente muy Fuerte	Muy Alta	5

Fuente: Adaptado de SGC, 2011

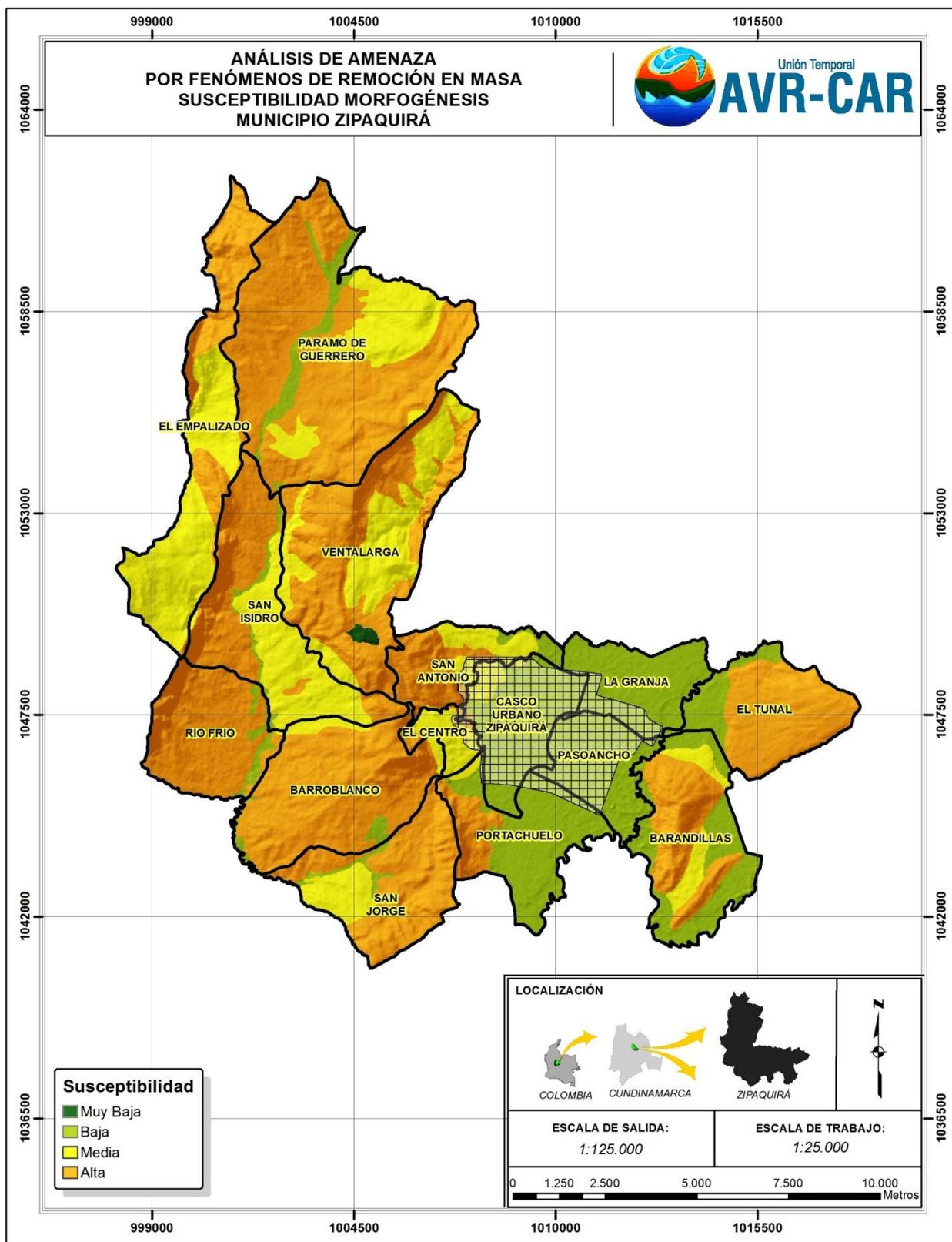
Del ejercicio de priorizar cada una de las unidades geomorfológicas y calificarlas por las anteriores tablas se cuenta con el producto final que se califica, el producto muestra valores altos para las laderas erosionales y todos los depósitos identificados.

**Tabla 3.9. Calificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa de acuerdo a criterios morfogénicos Unidades IDEAM.**

Ambiente	Subambiente	Símbolo	Susceptibilidad (morfogénesis)	Calificación
Estructural	Cuesta	Scu	Alta	4
	Plancha	Sp	Alta	4
	Espinazo	Ss	Alta	4
	Escarpe estructural	Se	Alta	4
	Lomerío con disección moderada	Sl1	Alta	4
	Lomerío disectado	Sl2	Alta	4
	Cuchilla ígnea con disección moderada	Si1	Alta	4
Denudacional	Ladera erosional	De	Muy Alta	5
	Ladera erosional activa	De2	Muy Alta	5
	Ladera erosional con flujos activos	De3	Muy Alta	5
	Colina coluvial levemente disectada	Dc1	Muy Alta	5
	Colina coluvial disectada	Dc2	Muy Alta	5
Fluvial	Vega de divagación	Fv	Muy Baja a Nula	1
	Terraza aluvial reciente	Ft1	Baja	2
	Terraza aluvial subreciente	Ft2	Baja	2
	Terraza aluvial antigua	Ft3	Baja	2
	Terraza aluvial muy antigua	Ft4	Baja	2
	Cono aluviotorrencial reciente	Fc1	Baja	2

Fuente: IDEAM

Figura 3.13. Calificación variable Morfogénesis.



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

### 3.2.2.3 Morfodinámica

El estudio de la morfodinámica tiene como énfasis la caracterización de los procesos que tienen lugar en la actualidad. La caracterización y calificación de la morfodinámica en este documento se hace en referencia a la identificación de procesos de remoción en masa.

Las zonas montañosas colombianas presentan una gran diversidad de rasgos litoestratigráficos, climáticos y pedológicos, que generan la ocurrencia de procesos morfodinámicos, que muchas veces, impactan de forma negativa a la sociedad.

La acción combinada de los mecanismos de transporte, tales como el agua de escorrentía, el hielo y viento, ligados a los diversos procesos de desintegración de rocas, provocan una gran variedad de procesos de remoción en masa. Esta diversidad es aún mayor si se toma en cuenta la influencia de las condiciones del subsuelo, las pendientes del terreno y todos los factores asociados a las formas de usos y ocupación del territorio.

En un sentido más restrictivo, la morfodinámica orientada a procesos de remoción en masa se refiere a los procesos denudativos e hidro-gravitatorios formadores de laderas, los cuales se caracterizan por la ocurrencia de procesos de remoción en masa. Para el análisis de la morfodinámica, se analizó la ocurrencia de los procesos de remoción en masa en las geoformas de acuerdo a la calificación que se muestra en la **Tabla 3.10**. La aplicación de la calificación de la susceptibilidad por el criterio de morfodinámica a las geoformas propuestas en la guía del IDEAM se observa en la **Tabla 3.11**.

**Tabla 3.10. Calificación de la inestabilidad de laderas (susceptibilidad morfodinámica a los procesos de remoción en masa)**

Clasificación de la inestabilidad de laderas para cada geoforma	Susceptibilidad	Calificación
<u>Inactivo</u> : No presenta movimientos en la actualidad	Muy Baja a Nula	1
<u>Poco activo</u> : Presenta poco movimiento y/o flujos estabilizados en la actualidad	Baja	2
Moderadamente activo: Presenta movimientos activos de forma ocasional	Moderada	3
<u>Activo</u> : Presenta movimientos activos e inactivos de forma generalizada en la unidad	Alta	4
Muy activo: Presenta movimientos mayormente activos y generalizados en la unidad	Muy Alta	5

Fuente: IDEAM

**Tabla 3.11. Calificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa de acuerdo a criterios morfodinámicos.**

Ambiente	Subambiente	Símbolo	Susceptibilidad Morfodinámica	Calificación
Estructural	Cuesta	<b>Scu</b>	Baja	2
	Plancha	<b>Sp</b>	Baja	2
	Espinazo	<b>Ss</b>	Baja	2
	Escarpe estructural	<b>Se</b>	Baja	2
	Lomerío con disección moderada	<b>SI1</b>	Baja	2
	Lomerío disectado	<b>SI2</b>	Moderada	3

Ambiente	Subambiente	Símbolo	Susceptibilidad Morfodinámica	Calificación
Denudacional	Ladera erosional	De	Moderada	3
	Ladera erosional activa	De2	Alta	4
	Ladera erosional con flujos activos	De3	Muy Alta	5
	Colina coluvial disectada	Dc2	Muy Alta	5
Fluvial	Vega de divagación	Fv	Muy Baja a Nula	1
	Terraza aluvial reciente	Ft1	Muy Baja a Nula	1
	Terraza aluvial subreciente	Ft2	Baja	2
	Terraza aluvial antigua	Ft3	Moderada	3
	Terraza aluvial muy antigua	Ft4	Alta	4
	Abanico aluvial reciente	Fp1	Muy Baja a Nula	1
	Cono aluviotorrencial muy antiguo	Fc4	Muy Alta	5

Fuente: IDEAM

**Tabla 3.12. Calificación de depósitos**

Ambiente	Depósito	Símbolo	Calificación
Denudacional	Depósitos coluviales.	D-co	5
	Depósitos de detritos.	D-dt	4
	Depósitos de tierras.	D-t	5
	Depósitos de terraza sobre elevada.	D-ts	4
	Depósitos lodos.	D-id	5
Fluvial y Lagunar	Depósitos de cauce y llanura aluvial.	D-al	1
	Depósitos de terrazas aluviales.	D-ta	2

Fuente: IDEAM

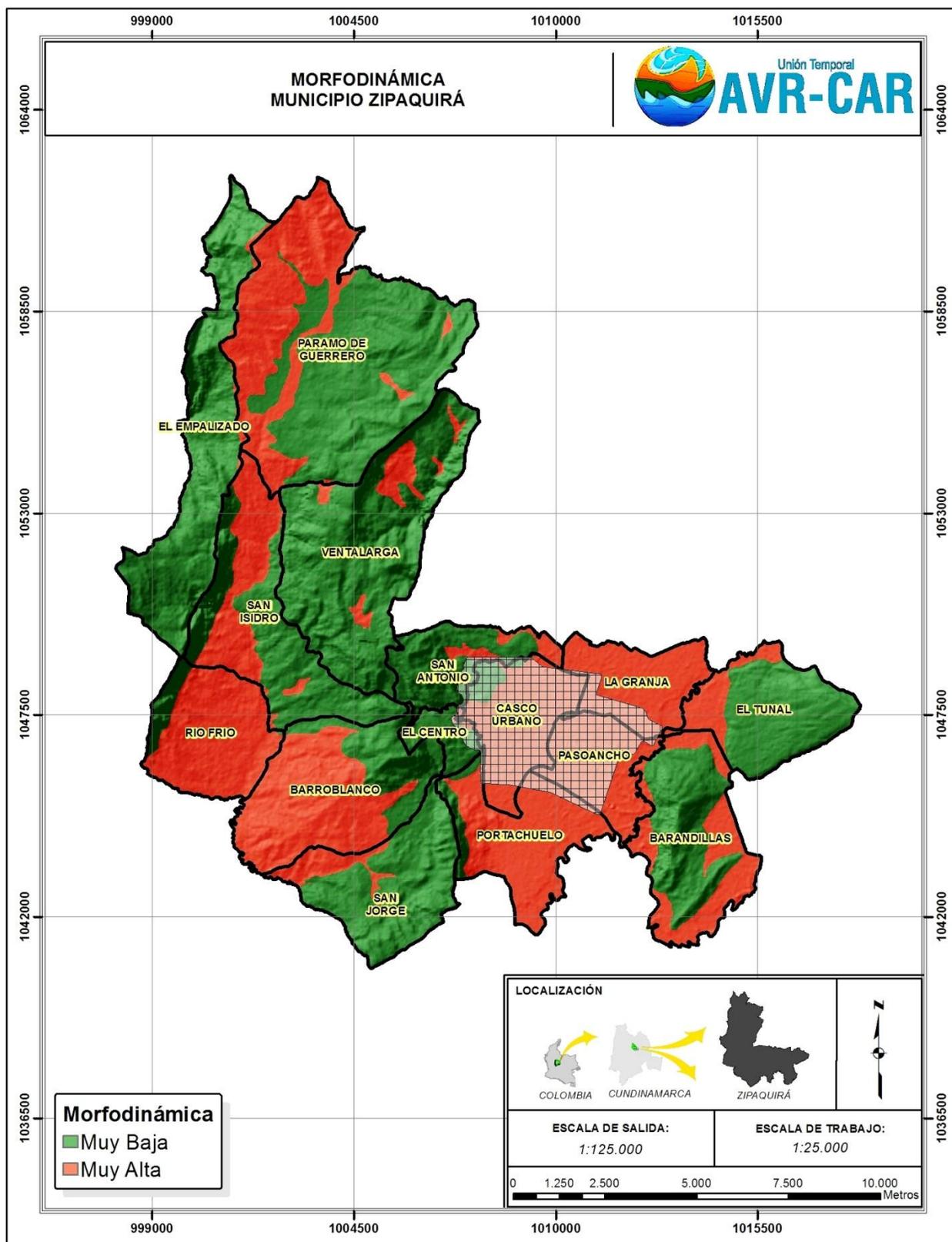
**Tabla 3.13. Calificación de depósitos**

Unidad/Sub-Unidad	Simb	Cal. Ambien	Cal. Proc Endóg O Exóg	Cal Modelado Agradacional	Cal Modelado Degradacional	Cal Total
<b>AMBIENTE DENUDACIONAL</b>						
Colina residual	Dcr	2	1		0	3
Colina residual disectada	Dcrd	2	1		0	3
Colina residual muy disectada	Dcrmd	2	1		0	3
Cono de Deyección	Dcd	2	1	1		4
Cono de talus	Dfe	2	1	1		4
Cono flujos de detritos	Dct	2	1	1		4
Cono y lóbulo coluvial y de soliflucción	Dco	2	1	1		4
Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional	Ddrt	2	1	1		4
Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional	Ddtr	2	1	1		4
Cono o lóbulo de flujo de detritos	Dlfd	2	1	1		4
Cono o lóbulo de flujo de lodo	Dlfl	2	1	1		4
Cono de deslizamiento indiferenciado	Ddi	2	1	1		4
Escarpe de erosión mayor	Deem	2	1		0	3
Cono o lóbulo de Flujo indiferenciado	Dft	2	1	1		4
Lóbulo y cono de avalancha de rocas	Dlcar	2	1		0	3

Unidad/Sub-Unidad	Simb	Cal. Ambien	Cal. Proc Endóg O Exóg	Cal Modelado Agradacional	Cal Modelado Degradacional	Cal Total
<b>AMBIENTE FLUVIAL Y LAGUNAR</b>						
Cauce aluvial	Fca	0	1		0	1
Cono de deyección	Fcdy	0	1	1		2
Terraza de acumulación	Fta	0	1	1		2
<b>AMBIENTE ESTRUCTURAL</b>						
Barra homoclinal	Sbh	3	0	1		4
Cerro estructural	Sce	3	0	1		4
Cuesta	Sc	3	0	1		4
Escarpe de línea de falla	Slfe	3	0		0	3
Espinazo	Se	3	0	1		4
Faceta triangular	Sft	3	0		0	3
Ladera de contrapendiente de cuesta	Sclc	3	0	1		4
Ladera de contrapendiente de espinazo	Selc	3	0	1		4
Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	Sshlc	3	0	1		4
Ladera estructural de espinazo	Sele	3	0	1		4
Ladera estructural de sierra homoclinal	Sshle	3	0	1		4
Ladera estructural de sierra sinclinal	Sssle	3	0	1		4
Ladera escalonada	Sles	3	0	1		4

Fuente: IDEAM

Figura 3.14. Calificación variable Morfodinámica.



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

**a) Inventario de movimientos en masa**

En el municipio de Zipaquirá se presentan diferentes tipos de movimientos a continuación se describe los más representativos según el tipo de movimiento.

- Movimiento tipo traslacional

**Tabla 3.14. Descripción del movimiento traslacional.**

<b>Tipo de Movimiento</b>	Deslizamiento traslacional
<b>Humedad del Suelo</b>	Húmedo
<b>Plasticidad</b>	Media
<b>Origen del Suelo</b>	Residual
<b>Causas del Movimiento</b>	Lluvias, litología
<b>Cobertura del Suelo</b>	Pastos
<b>Uso del Suelo</b>	Ganadería
<b>Daños</b>	Pastos, vía

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

**Fotografía 3.1. Deslizamiento traslacional vereda Río Frío.**



Nota: Septiembre 2014. Foto L.A. Rojas (Coordenadas: E 1003417, N 1047041; 2877 m.s.n.m.), UT AVR-CAR, 2014.

- Movimiento por reptación

**Tabla 3.15. Descripción del movimiento traslacional.**

<b>Tipo de Movimiento</b>	Reptación
<b>Humedad del Suelo</b>	Húmedo
<b>Plasticidad</b>	Media
<b>Origen del Suelo</b>	Residual
<b>Causas del Movimiento</b>	Lluvias, litología, escapes de agua de tuberías
<b>Cobertura del Suelo</b>	Pastos, matorrales
<b>Uso del Suelo</b>	Ganadería
<b>Daños</b>	Vía, terrenos

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

**Fotografía 3.2. Movimiento reptación vereda Río Frío.**



Nota: Septiembre 2014. Foto L.A. Rojas (Coordenadas: E 1004742, N 1048136; 2952 m.s.n.m.), UT AVR-CAR, 2014.

- Movimiento por flujo

**Tabla 3.16. Descripción del movimiento traslacional.**

<b>Tipo de Movimiento</b>	Flujo
<b>Humedad del Suelo</b>	Muy húmedo
<b>Plasticidad</b>	Media
<b>Origen del Suelo</b>	Residual
<b>Causas del Movimiento</b>	Lluvias, litología, socavación por la quebrada Artesa
<b>Cobertura del Suelo</b>	Construcción
<b>Uso del Suelo</b>	Viviendas
<b>Daños</b>	Viviendas

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

**Fotografía 3.3. Vereda El Chonte.**



Nota: Septiembre 2014. Foto L.A. Rojas (Coordenadas: E 972430, N 1054705; 1672 m.s.n.m.), UT AVR-CAR, 2014.

- Deformación gravitacional profunda

**Tabla 3.17. Descripción del movimiento traslacional.**

<b>Tipo de Movimiento</b>	Deformación gravitacional profunda
<b>Humedad del Suelo</b>	Ligeramente húmedo
<b>Plasticidad</b>	Media
<b>Origen del Suelo</b>	Residual
<b>Causas del Movimiento</b>	Litología
<b>Cobertura del Suelo</b>	Pastos, matorrales, construcciones
<b>Uso del Suelo</b>	Vía
<b>Daños</b>	Vía

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

**Fotografía 3.4. Vereda Pueblo Viejo.**



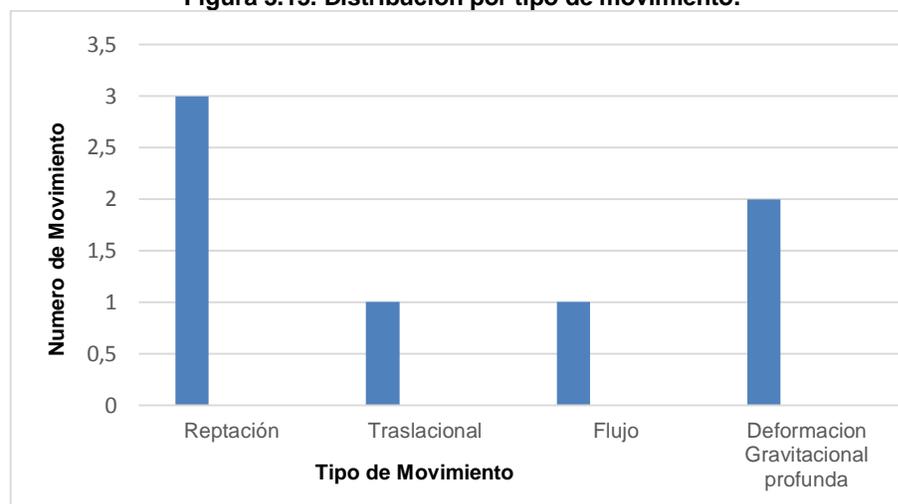
Nota: Septiembre 2014. Foto L.A. Rojas (Coordenadas: E 1047566, N 1047566; 2809 m.s.n.m.), UT AVR-CAR, 2014.

**b) Análisis estadístico**

- Distribución por tipo de movimiento

El movimiento más frecuente que se presenta en el municipio es del tipo reptación, seguido por la deformación gravitacional profunda y en igual proporción los de tipo traslacional y flujo (Figura 3.15)

**Figura 3.15. Distribución por tipo de movimiento.**

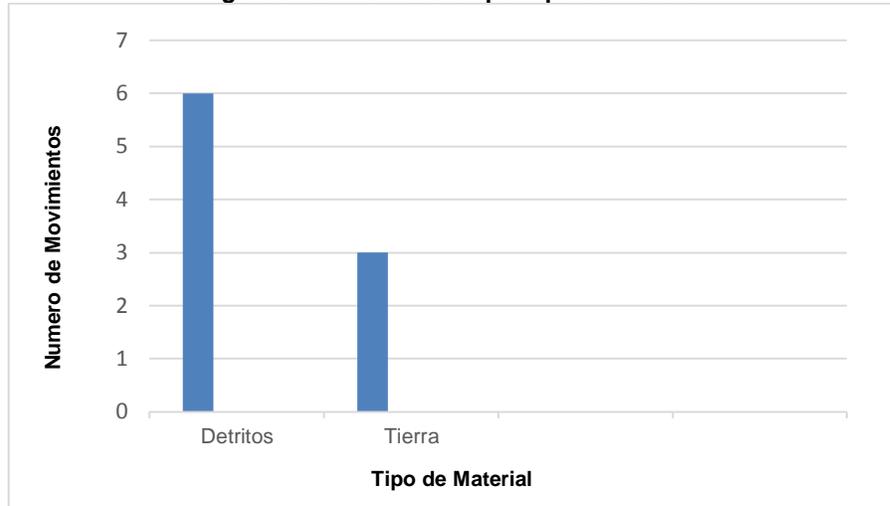


Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

- Distribución por material predominante

El material predominante son los detritos seguido por las tierras (Figura 3.16).

**Figura 3.16. Distribución por tipo de material.**

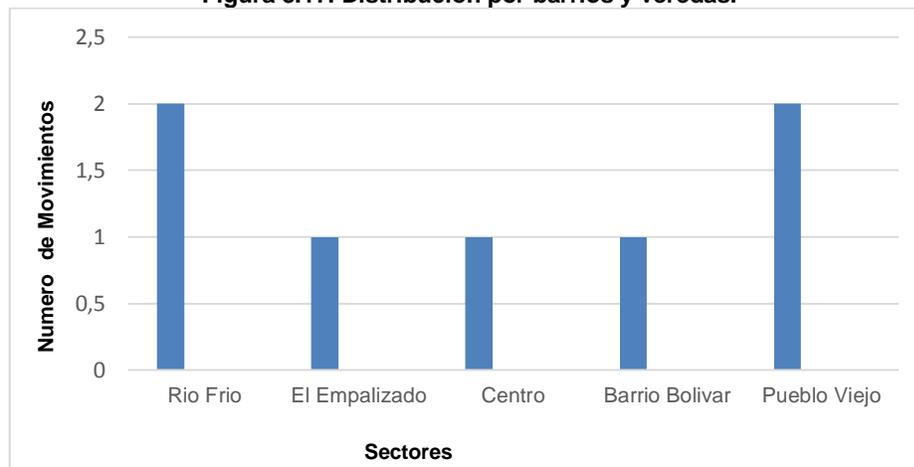


Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

- Distribución por afección de veredas

Los sectores más afectados son las veredas de Río Frío y Pueblo Viejo (Figura 3.17).

**Figura 3.17. Distribución por barrios y veredas.**



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

**c) Relación de los procesos denudacionales-ugs**

Estos procesos actúan, principalmente, en la llanura aluvial de los ríos Susagua, Bogotá y Neusa, en donde se depositan los materiales arrastrados por la acción vigorosa del río y sus tributarios. Es aquí donde se deposita gran parte de los sedimentos erodados en la Cordillera Oriental y en las paredes del valle del río.

A lo largo de los ríos y quebradas que drenan el municipio, se presentan zonas aluviales con sedimentos no consolidados, tamaño bloque, grava, arena y limo, que conforman planicies de poca elevación e inundables.

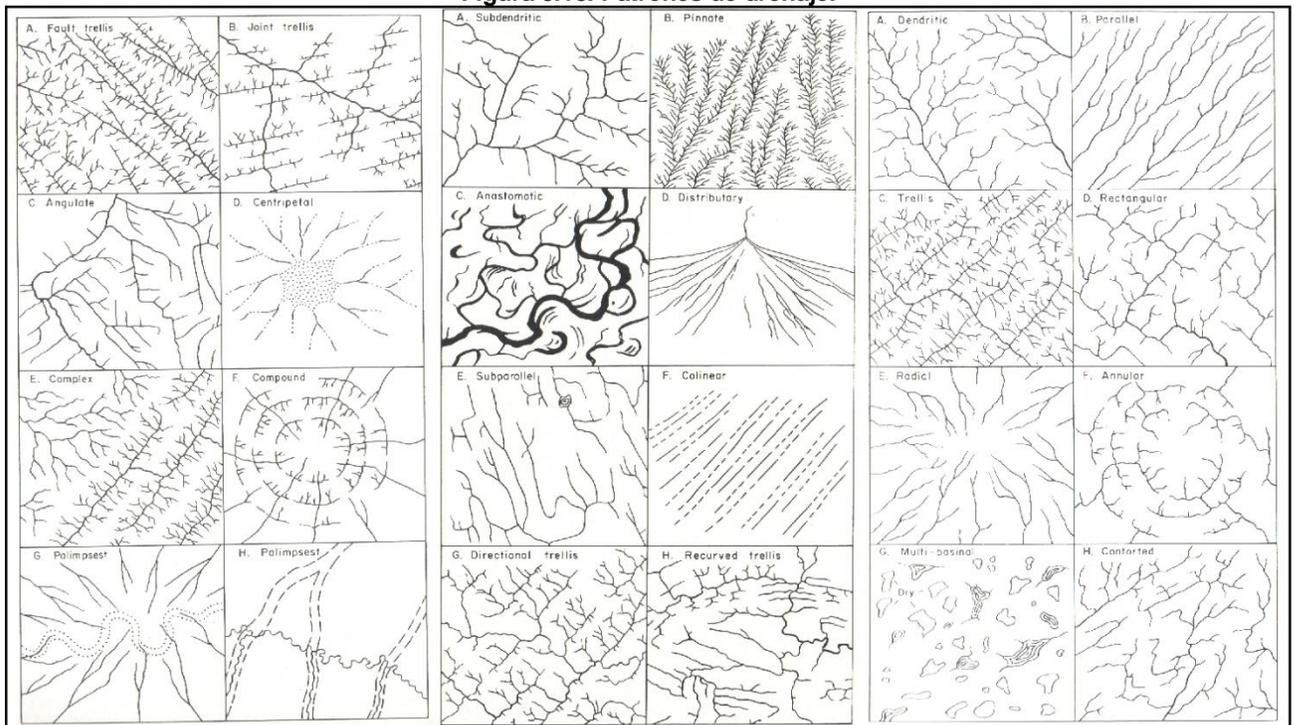
### 3.2.2.4 Drenaje

#### a) Patrón o tipo de drenaje

Los patrones de drenaje son configuraciones en las redes hídricas que presentan ciertos arreglos geométricos o irregulares, que permiten relacionar con sus propiedades hidrológicas o geohidrológica (superficial o subterráneo). Se refiere al arreglo, en vista aérea (en un mapa) de un río y sus tributarios.

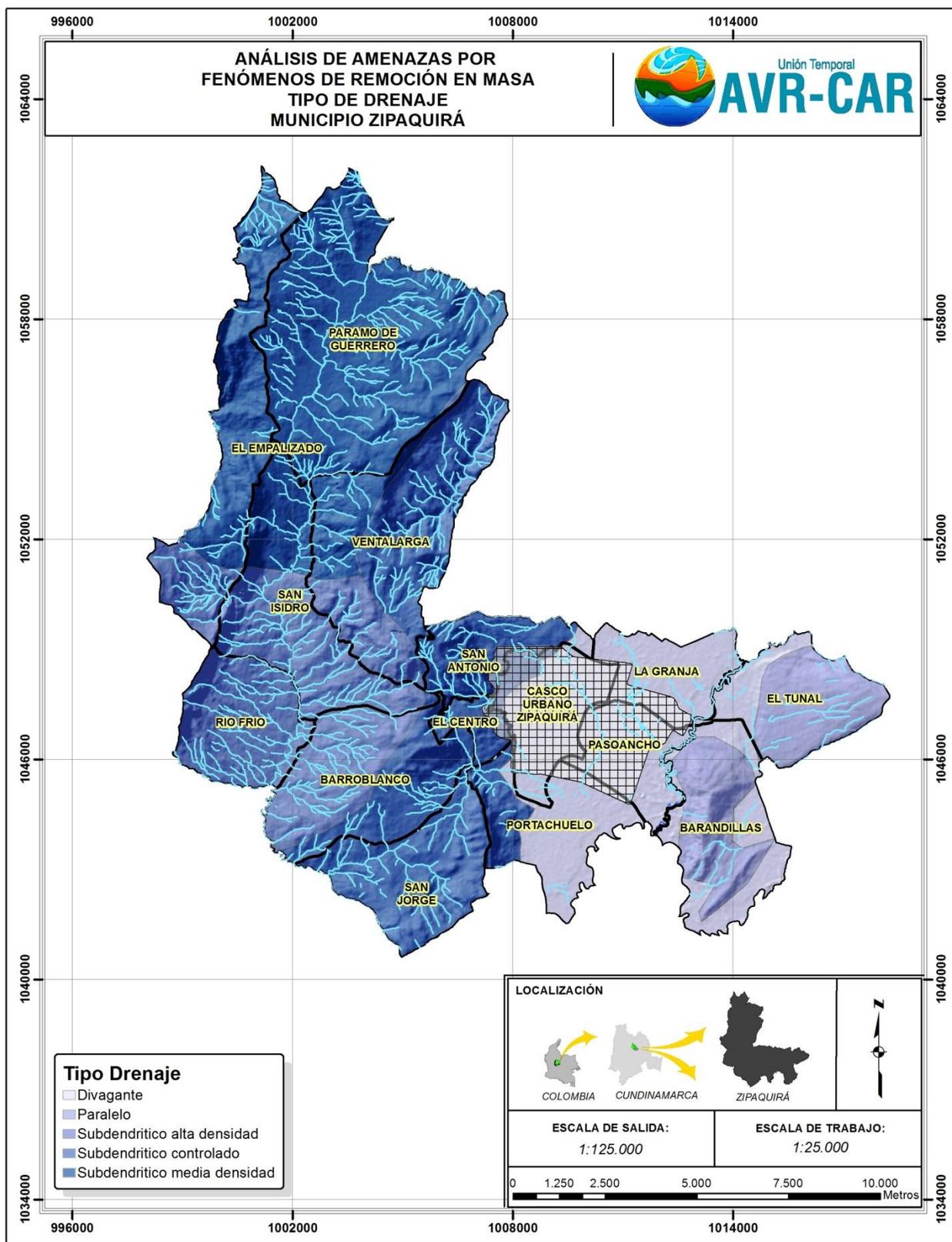
Presenta predominantemente un patrón de drenaje paralelo controlado por la estructura geológica.

**Figura 3.18. Patrones de drenaje.**



Fuente: Aerial photo interpretation in terrains analysis and geomorphologic map, Netherlands 1985.

Figura 3.19 Patrón o tipo de drenaje.



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

## b) Densidad de drenaje

Indica la capacidad que presenta una cuenca para evacuar las aguas que discurren por su superficie. Este parámetro se expresa en Km/Km<sup>2</sup>. Está definido por la fórmula:

$$Dd = \frac{\sum Lc_i}{Ac}$$

Donde:

Lc: Longitud total de los cursos de agua (perennes o intermitentes) en Km.

Ac: Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

Este es un índice importante, puesto que refleja la influencia de la geología, topografía, suelos y vegetación, en la cuenca hidrográfica, y está relacionado con el tiempo de salida del escurrimiento superficial de la cuenca.

Una densidad de drenaje alta, refleja una cuenca muy bien drenada que debería responder, relativamente rápido, a la acción de la precipitación. Una cuenca con baja densidad de drenaje refleja un área pobremente drenada, con respuesta hidrológica muy lenta.

En sitios donde los materiales del suelo son resistentes a la erosión o muy permeables, y donde el relieve es suave, se presentan densidades de drenaje bajas.

Los valores altos de la densidad de drenaje reflejan, generalmente, áreas con suelos fácilmente erosionables o relativamente impermeables, con pendientes fuertes, y escasa cobertura vegetal.

La densidad de drenaje está, generalmente, relacionada con la cantidad de precipitaciones, y la pendiente de la superficie del suelo. Por esta razón, los valores grandes de la densidad de drenaje indican mayor abundancia de escurrimiento y valores importantes de erosión.

Un aspecto específico se nota en la relación de la densidad de drenaje con los caudales máximos y las avenidas. A grandes valores de densidad de la red hidrográfica, corresponden velocidades mayores de desplazamiento de las aguas y un mejor drenaje, lo que se refleja en valores mayores de caudales máximos, subidas rápidas y duraciones totales de las avenidas, generalmente más reducidas.

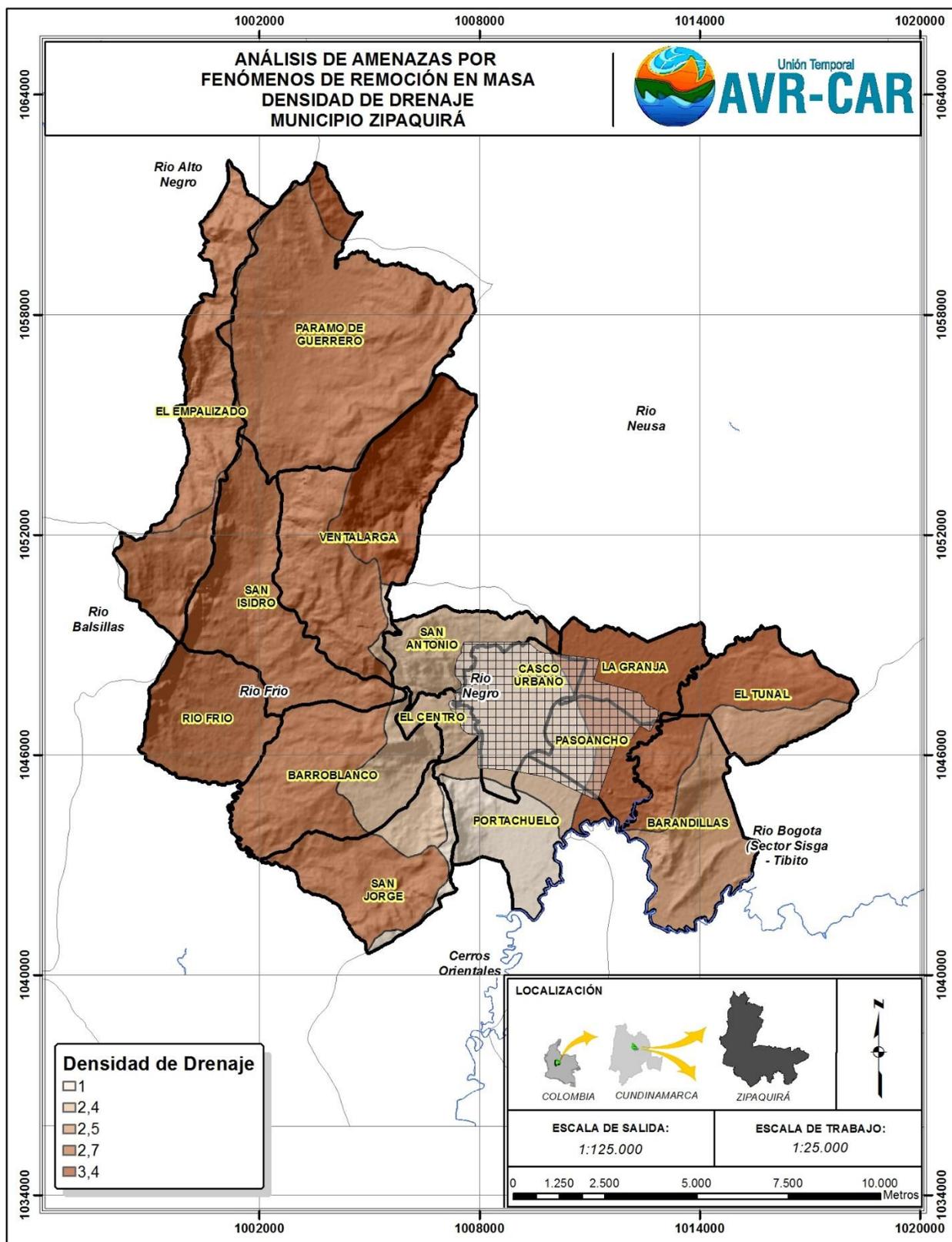
En cuanto a la escorrentía mínima, la influencia de la densidad de drenaje tiene un carácter particular. En condiciones de pendiente grande, unos valores elevados de la densidad de drenaje indican torrencialidad, caudales mínimos muy reducidos y, posiblemente, falta temporal de escurrimiento superficial. En condiciones de pendiente reducida, unos valores elevados de la densidad de drenaje indican un buen drenaje de las capas de agua freáticas, más estabilidad del régimen de caudales, y una buena alimentación subterránea, en los períodos de estiaje.

**Tabla 3.18 Categorización de la densidad de drenaje**

Densidad de Drenaje (Área de drenaje)	
$Dd = \frac{\sum Lc_i}{Ac}$	
Lc: Longitud de las corrientes de agua	
Ac: Área total de la hoya hidrográfica	
Categoría	Dd (Km/Km <sup>2</sup> )
Baja	<0,50
Media	0,50 – 1.0
Alta	>1,0

Fuente: INGEOMINAS 2011

Figura 3.20 Densidad de drenaje



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

### c) Frecuencia

Otro parámetro similar a la densidad de drenaje, es la frecuencia de cauces, que se define como el cociente entre el número de corrientes existentes en la cuenca y la superficie de la misma. Se expresa en número de cauces por kilómetro cuadrado.

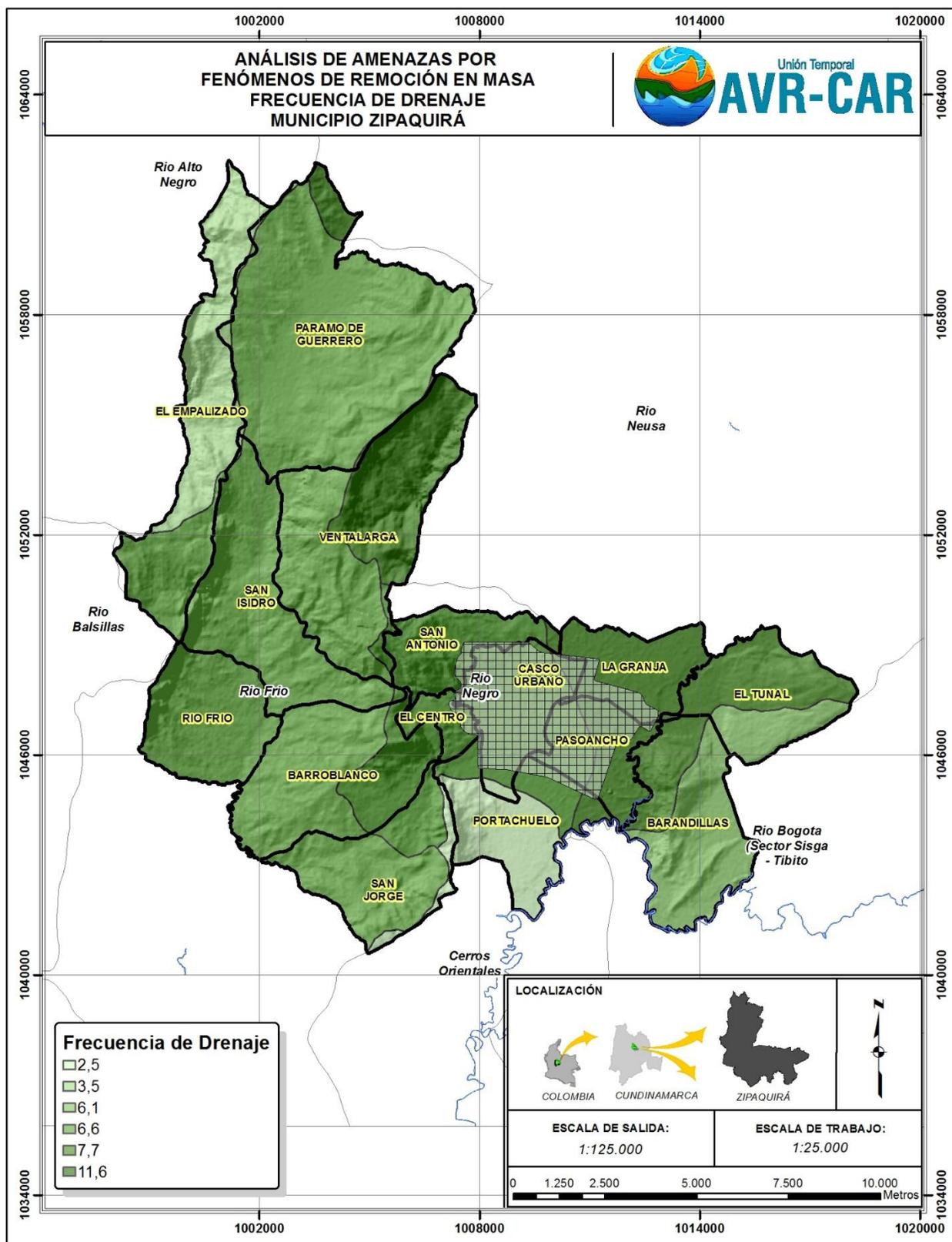
La utilización conjunta de la densidad de drenaje y la frecuencia de cauces, facilita, en gran medida, la clasificación de cuencas, ya que, en muchas ocasiones, existen cuencas muy diferentes con la misma frecuencia de cauces, que pueden distinguirse calculando su densidad de drenaje, o a la inversa.

**Tabla 3.19 Categorización de la frecuencia de drenaje.**

Frecuencia de Drenaje	
$Fn = \frac{\sum n}{A}$	
n: Número de corrientes de agua A: Área total de la hoya hidrográfica	
<b>Categoría</b>	<b>Fn</b>
Muy Alta	>40
Alta	20-40
Media	10-20
Baja	5-10
Muy Baja	<5

Fuente: INGEOMINAS 2011.

Figura 3.21 Frecuencia de drenaje.

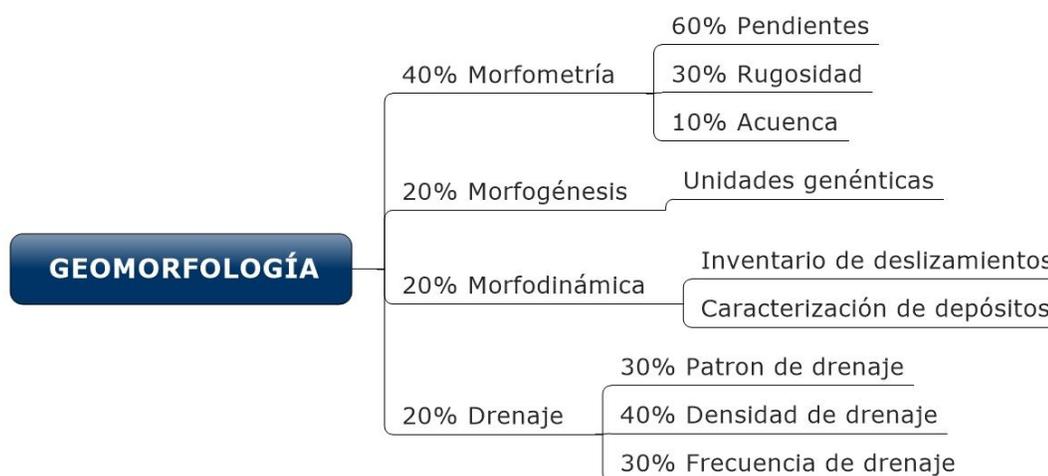


Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

### 3.2.2.5 Calificación y zonificación de la susceptibilidad de las geoformas a procesos de remoción en masa

En síntesis la zonificación de la susceptibilidad de las geoformas a los procesos de remoción en masa se realizó a partir de la combinación de la calificación de las variables morfometría, morfogenética, morfodinámica y drenaje. Estas variables se calificaron de forma separada, para luego combinarlas y representarlas en el mapa de susceptibilidad de las geoformas a los procesos de remoción en masa.

**Figura 3.22 Diagrama de atributos de susceptibilidad de las geoformas**



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

El proceso para la delimitación de la susceptibilidad se basó en el siguiente algoritmo:

$$\text{Sucep. de la geoforma} = 0,4 * \text{Morfometría} + 0,2 * \text{Morfogénesis} + 0,2 * \text{Morfodinámica} + 0,2 \text{ Drenaje}$$

Luego de realizar esta operación se definieron 5 unidades definitivas de susceptibilidad de las geoformas a los procesos de remoción en masa, las cuales se presentan a continuación:

- Muy alta susceptibilidad: zonas en donde todas las condiciones de la geoforma son muy favorables para generar procesos de remoción en masa.
- Alta susceptibilidad: zonas en donde la mayoría de condiciones de la geoforma son favorables para generar procesos de remoción en masa.
- Moderada susceptibilidad: zonas en donde el terreno presenta algunas condiciones para generar procesos de remoción en masa.
- Baja susceptibilidad: zonas en donde las condiciones de la geoforma son poco favorables para generar procesos de remoción en masa.
- Muy baja a nula Susceptibilidad: zonas en donde las condiciones de la geoforma no son favorables para generar procesos de remoción en masa.

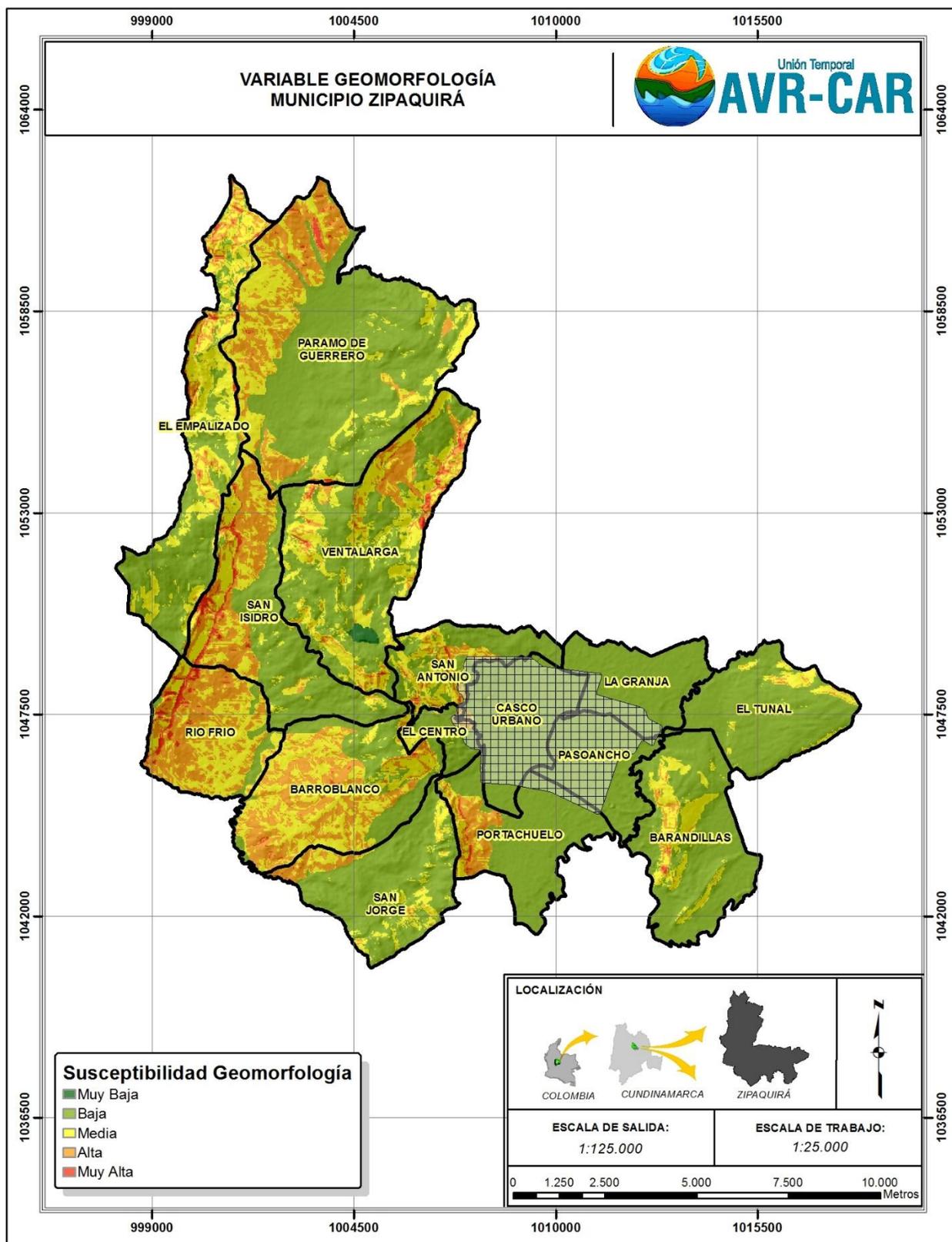
**Tabla 3.20 Susceptibilidad de las geoformas**

Símbolo	Unidad	Ambiente	Calificación	Susceptibilidad	
Aemb	Embalses	Antropogénico	1	Muy Baja	
Dco	Cono y lóbulo coluvial de solifluxión	Denudacional	4	Alta	
Dct	Cono de talus		4	Alta	
Ddi	Cono de deslizamiento indiferenciado		4	Alta	
Dfe	Conos flujo de detritos		4	Alta	
Dft	Cono o lóbulo de flujos indiferenciado		4	Alta	
Dga	Glacis de acumulación		4	Alta	
Dlc	Ladera coluvial		4	Alta	
Dle	Ladera erosiva		3	Media	
Dlfd	Cono o lóbulo de flujo de detritos		4	Alta	
Dlfl	Cono o lóbulo de flujo de lodo		4	Alta	
Dlo	Ladera ondulada		3	Media	
Sld	Lomerío con rellenos coluviales		Estructural	3	Media
Sbh	Barra homoclinal			4	Alta
Sclc	Ladera de contrapendiente de cuesta			4	Alta
Se1	Espinazo erosionado	3		Media	
Selc	Ladera de contrapendiente de espinazo	4		Alta	
SI1	Lomerío estructural con disección baja	3		Media	
Ssalc	Ladera de contrapendiente de sierra anticlinal	4		Alta	
Ssale	Ladera estructural de sierra anticlinal	4		Alta	
Sshlc	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	4		Alta	
Sshle	Ladera estructural de sierra homoclinal	4		Alta	
Ssslc	Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal	4	Alta		
Fpi	Plano o llanura de inundación	Fluvial	2	Baja	
Fta	Terraza de acumulación		2	Baja	
Fv	Vega de divagación		2	Baja	

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

Los resultados del mapa de susceptibilidad a las geoformas se muestran en la **Figura 3.23**.

Figura 3.23. Mapa de Calificación de Geomorfología.



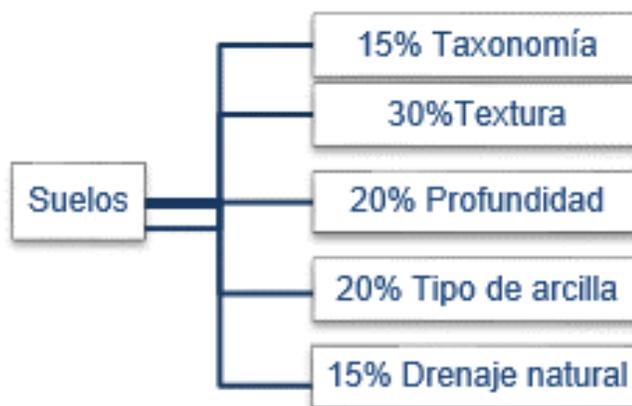
Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

### 3.2.3 Suelos Edáficos

La cartografía de los suelos desde el punto de vista edáfico-agrológico ofrece una gran cantidad de datos que se pueden utilizar en el modelo heurístico desarrollado por el SGC, la cartografía misma que está relacionada con la posición geomorfológica sobre la cual evolucionan los suelos, y sus características y propiedades que inciden directamente en la estabilidad de las laderas.

Para inferir esta capacidad y respuesta, la metodología, se orienta a la probabilidad de detrimento y movimientos de terreno y estimar la susceptibilidad a los movimientos en masa, evaluando características a partir de algunas variables propias de la condición natural de los suelos: taxonomía, textura, profundidad, tipo de arcilla y drenaje natural, con las que se pretende evaluar su relación con la susceptibilidad. (Figura 3.24)

Figura 3.24. Diagrama de atributos de suelos.



Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2013

Sobre la base IGAC de suelos se procedió a realizar la calificación para cada uno de los cinco atributos referidos con lo cual se generó un mapa por cada una de las variables, que calificadas de manera independiente de acuerdo a los valores sugeridos permitió construir el mapa correspondiente. La metodología utilizada para la elaboración de estos estudios se encuentra en el Tomo 1. Metodologías; Capítulo II, numeral 2.1.7.

#### 3.2.3.1 Taxonomía

Esta variable hace referencia a las características de las clases de suelos por su génesis y evolución, de acuerdo a la metodología, los suelos más evolucionados y en condiciones ideales, son menos susceptibles a los movimientos en masa, mientras que los más jóvenes son más susceptibles a los movimientos en masa. La **Tabla 3.21** muestra los órdenes de suelos con la calificación a la susceptibilidad.

La espacialización de esta variable muestra una alta susceptibilidad, con suelos poco evolucionados en casi todo el municipio.

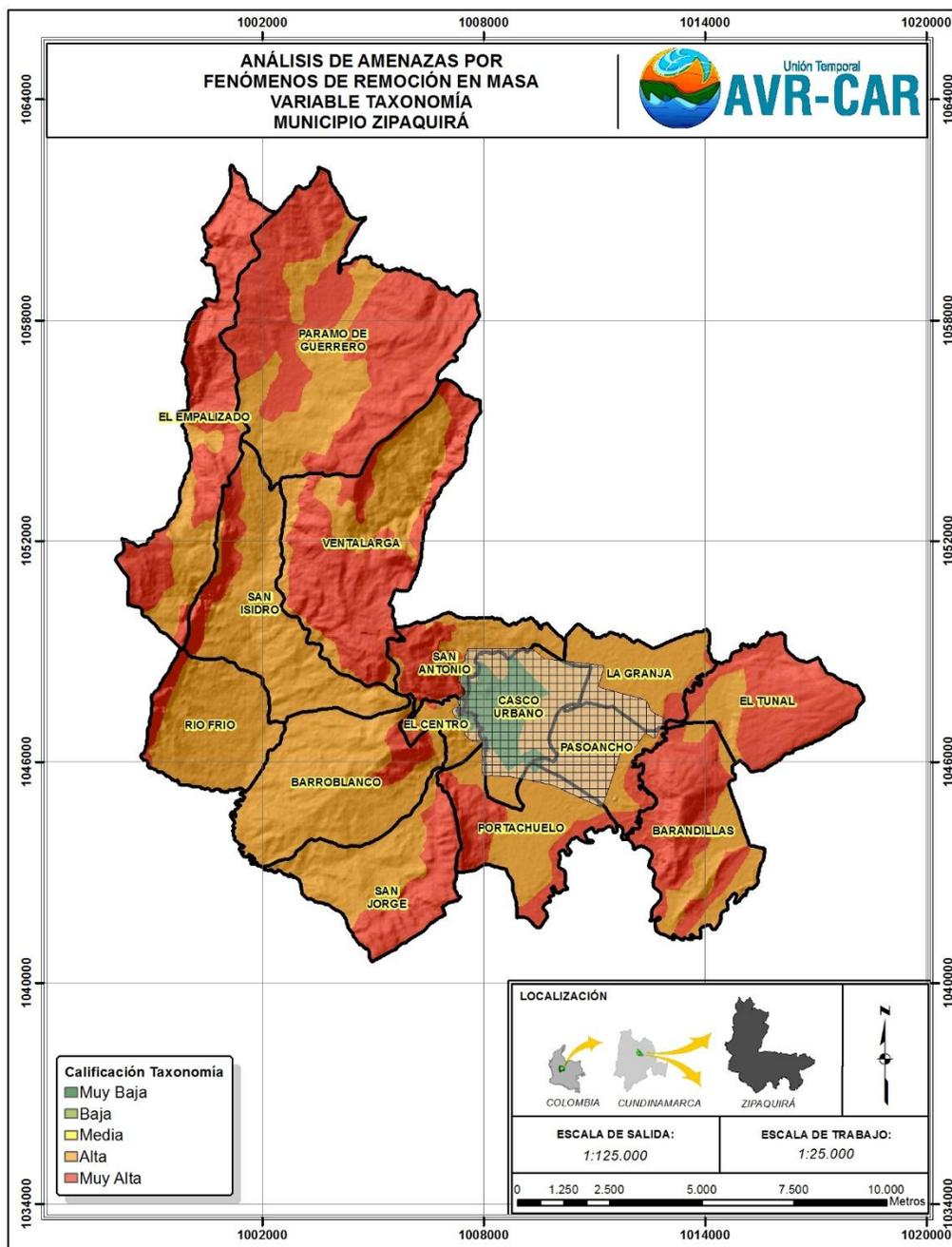
La **Figura 3.25** permite establecer que en el municipio Zipaquirá prevalece una calificación alta a muy alta para la variable taxonomía; lo cual señala la poca evolución en los suelos del municipio favoreciendo los movimientos en masa. Estos suelos se caracterizan por conservar propiedades de la roca madre por lo que su desarrollo es limitado y su formación es producto del arrastre y depósito de materiales sedimentarios que son transportados por la acción del agua. En el Casco Urbano se presenta una calificación muy baja debido a los suelos más evolucionados, haciendo que sea menos susceptible a los movimientos en masa.

**Tabla 3.21. Calificación de la taxonomía de suelos a nivel de Orden**

Orden de suelos	Calificación	Susceptibilidad
Oxisol, Ultisol.	1	Muy Baja
Alfisol.	2	Baja
Mollisol, Andisol, Espodosol.	3	Media
Vertisol, Aridisol.	4	Alta
Inceptisol, Entisol, Histisol.	5	Muy Alta

Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2013

**Figura 3.25. Calificación taxonomía de suelos**



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

### 3.2.3.2 Textura

La textura establece las cantidades relativas en que se encuentran las partículas minerales de diámetro menor a 2 mm, es decir, la tierra fina, en el suelo; (arena, limo, arcilla y las combinaciones entre estas). La textura se encuentra relacionada con las propiedades como: retención de humedad, aireación, permeabilidad, drenaje, entre otras. (JARAMILLO , 2002)

En la clase de suelos arcillosos el movimiento vertical del agua es menor debido a que los poros son más pequeños, serán suelos poco permeables y de baja conductividad hidráulica, como consecuencia en estos se aumentara el contenido de agua, se saturan y serán más susceptibles a movimientos en masa. Contrario, los de textura gruesa (arena, grava) serán menos susceptibles por cuanto el agua se desplaza a mayor velocidad en el perfil del suelo.

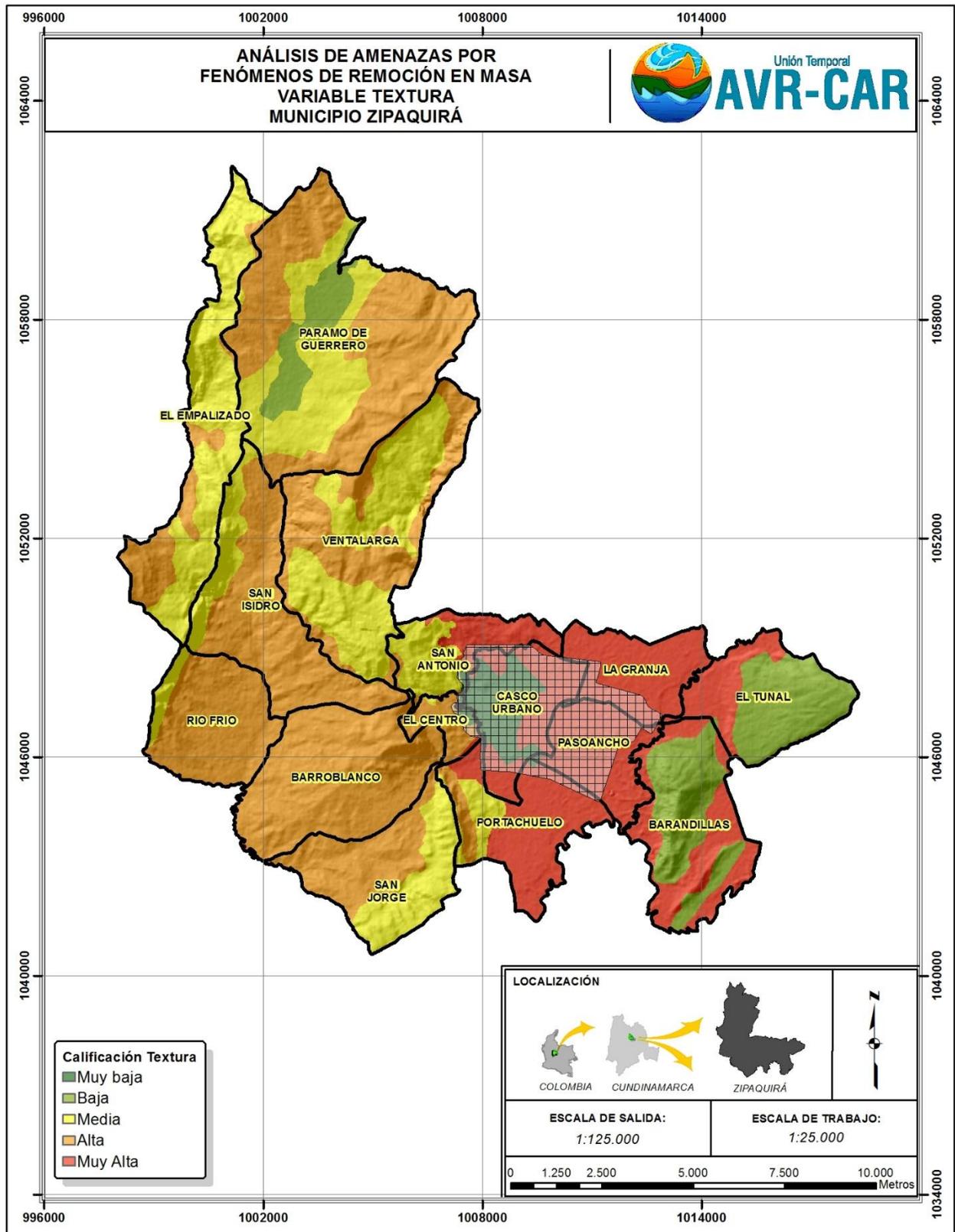
Según la **Tabla 3.22** pueden presentarse calificaciones desde muy baja a muy alta. Para el municipio Zipaquirá la calificación de esta variable corresponde a susceptibilidades desde muy bajas a muy altas. La calificación muy baja se localiza sobre el Casco Urbano del municipio; por otro lado, la calificación baja es se aprecia en las veredas El Tunal, Barandillas y Paramo de Guerrero; en donde estas dos primeras calificaciones se relacionan a texturas gruesas que permiten el transito del agua en el suelo y así disminuyendo la susceptibilidad por movimientos en masa. La calificación media se presenta en las veredas San Jorge, San Antonio, Ventalarga, entre otras. La calificación alta se localiza sobre las veredas San Jorge, Barroblanco, Rio Frio, San Isidro, entre otras; las cuales son más propensas a movimientos en masa ya que se caracteriza por una textura arcillosa que disminuye la permeabilidad del suelo y su conductividad hidráulica. La calificación muy alta se presenta en las veredas La Granja, Pasoancho, Portachuelo, entre otras, lo que las hace muy susceptibles a movimientos en masa debido a que son suelos poco permeables y de baja conductividad hidráulica, generando una alta saturación de agua en el suelo permitiendo el desplazamiento del sustrato.

**Tabla 3.22. Calificación de la textura de suelos**

Clase textural	Calificación	Susceptibilidad
Gr, A, FAGrP,	1	Muy Baja
AF, FAGr, FArAGr, FArGr, FGGr,	2	Baja
ArA, ArGr, FA, FArLGr,	3	Media
F, F-Org, FAr, FArA, FArL, FL, FLOrg,	4	Alta
Ar, ArL,	5	Muy Alta

Nota: A= Arena; L= Limo; Ar= Arcilla; F= Franco; Gr= Grava; P= Piedra; Org= Orgánico  
Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2013

Figura 3.26. Mapa de calificación textura de suelos



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

### 3.2.3.3 Drenaje natural

La variación de este parámetro incide en 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). La calificación como se expone en la **Tabla 3.23** permite especializar esta variable.

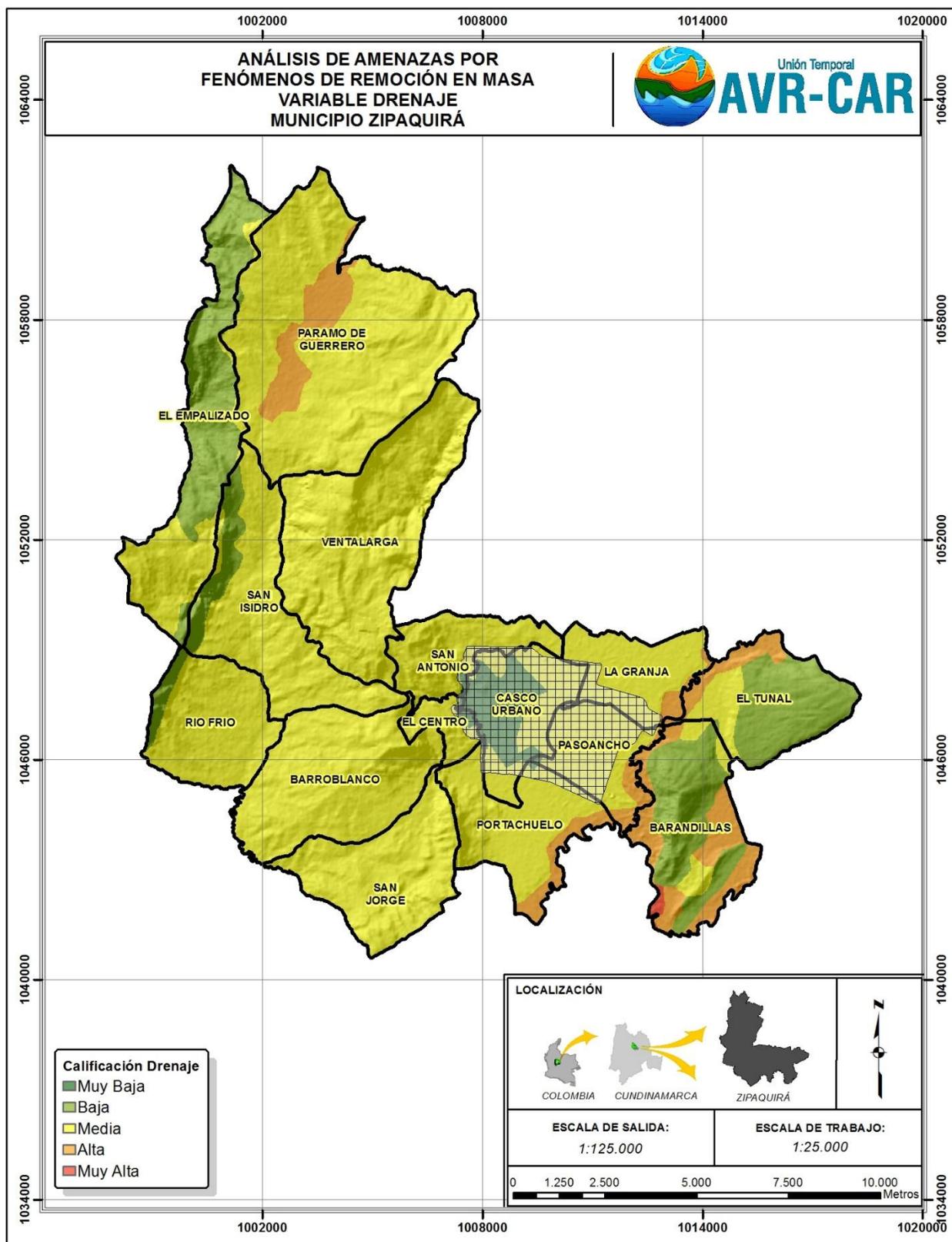
El municipio Zipaquirá presenta calificaciones para esta variable de muy baja a alta, predominando la calificación media. La calificación muy baja se observa en el Casco Urbano, en donde no se retiene agua después de las lluvias debido a la presión de poros en el suelo. La susceptibilidad baja presente en las veredas El Tunal, Barandillas, entre otras; se caracteriza por favorecer el paso de agua y proporcionar mejor aireación a los cultivos. Mientras que en la zona central del municipio se presentan susceptibilidades medias, las cuales hacen que se requieran drenajes para mantener cultivos permanentes, lo cual está presente en la mayor extensión del municipio. La calificación alta se localiza sobre las veredas Santuario La Paramo de Guerrero, Barandillas, Portachuelo, entre otras; las cuales se caracterizan por ser suelos muy pobres, en donde el agua del nivel freático se encuentra cerca de la superficie, produciendo encharcamientos permanentes, requiriendo construir drenajes para estabilizar el suelo y disminuir los movimientos en masa.

**Tabla 3.23. Calificación del drenaje natural del suelo.**

Clase	Características	Calificación	Susceptibilidad
Excesivo	No retienen agua después de las lluvias.	1	Muy Baja
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	Baja
Moderado	El agua es removida lentamente hasta el nivel freático (40-80 cm. en época de lluvias). Requiere drenaje para cultivos permanentes.	3	Media
Imperfecto	Suelos con capas impermeables que impiden percolación en época de lluvias.	4	Alta
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	Muy Alta
Pantanosos	Agua freática sobre la superficie. Encharcamientos permanentes. Se requiere drenaje.		

Fuente: Tomado y modificado de INAT, 1.996. IDEAM, 2009.

Figura 3.27. Mapa de calificación drenaje natural.



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

### 3.2.3.4 Profundidad

Define el espesor de los horizontes y 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), y consecuentemente, hasta donde puede moverse el agua, permite estimar empíricamente los volúmenes de suelos que se pueden llegar a remover.

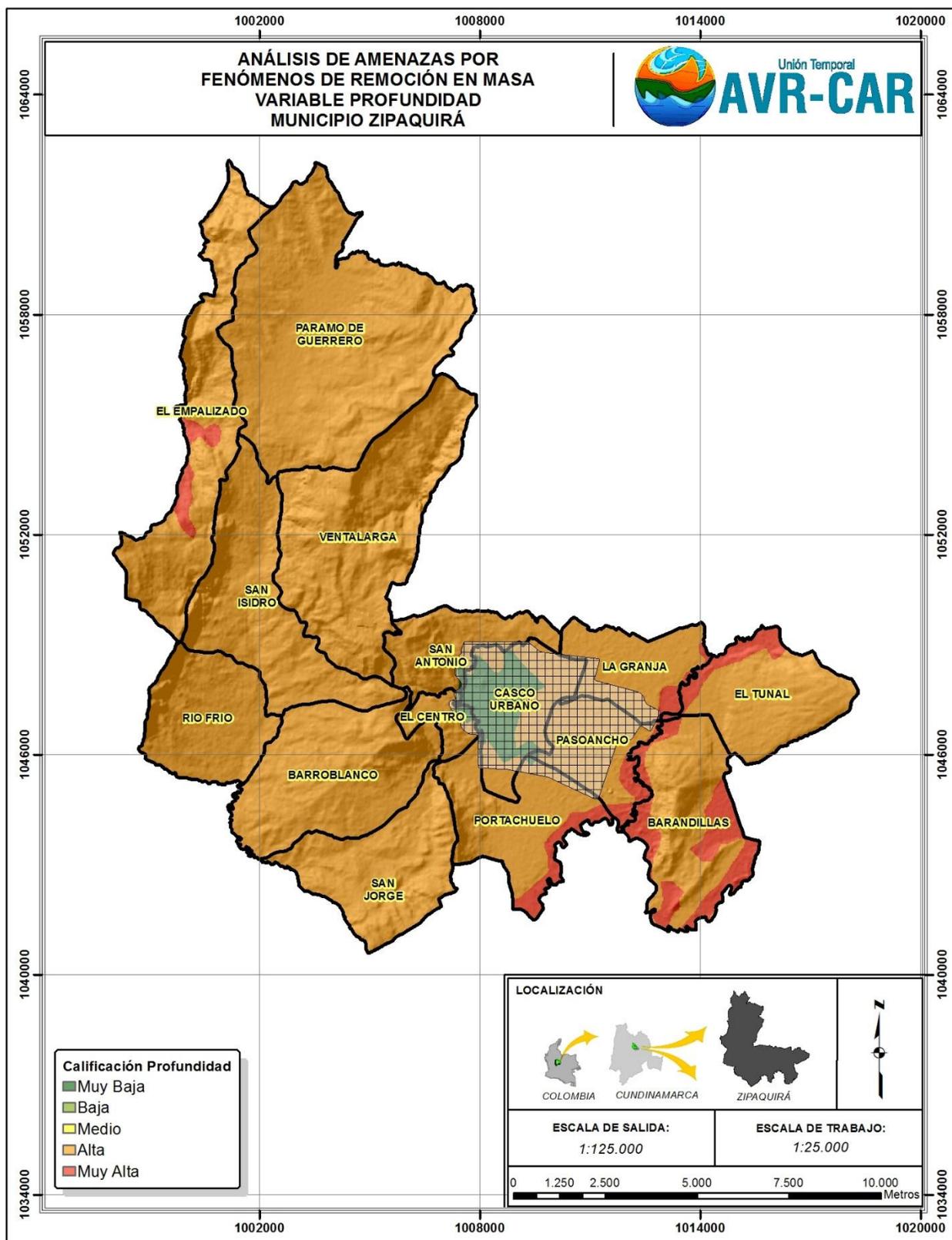
Esta variable para el municipio Zipaquirá se caracteriza por encontrarse en el rango predominante de 100 a 150 cm; lo cual corresponde a una categoría alta o profunda. La **Tabla 3.24** muestra esta calificación, siendo esa profundidad el límite hasta donde penetran las raíces de las plantas e igualmente hasta donde puede moverse el agua, haciendo susceptible el terreno a presentar movimientos en masa. También se presentan unos puntos locales sobre las veredas El Empalizado, El Tunal, Barandillas, entre otras, que presentan susceptibilidad muy alta, debido a que el espesor de los suelos es mayor a 150 cm, aumentando la susceptibilidad de movimientos en masa debido al tránsito de agua bajo la superficie.

**Tabla 3.24. Calificación de profundidad total.**

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

Fuente: IDEAM, 2009.

Figura 3.28. Calificación de la profundidad del suelo.



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

### 3.2.3.5 Tipo de arcilla

El tipo de mineral de arcilla y su porcentaje presente en los suelos determina el comportamiento del suelo, entre más plástico el material mayor su potencial de expansión y menor su resistencia al esfuerzo cortante; cuando las arcillas entran en contacto con el agua se pueden contraer, expandir o formar grietas, y estas variaciones inciden directamente en la estabilidad de una ladera.

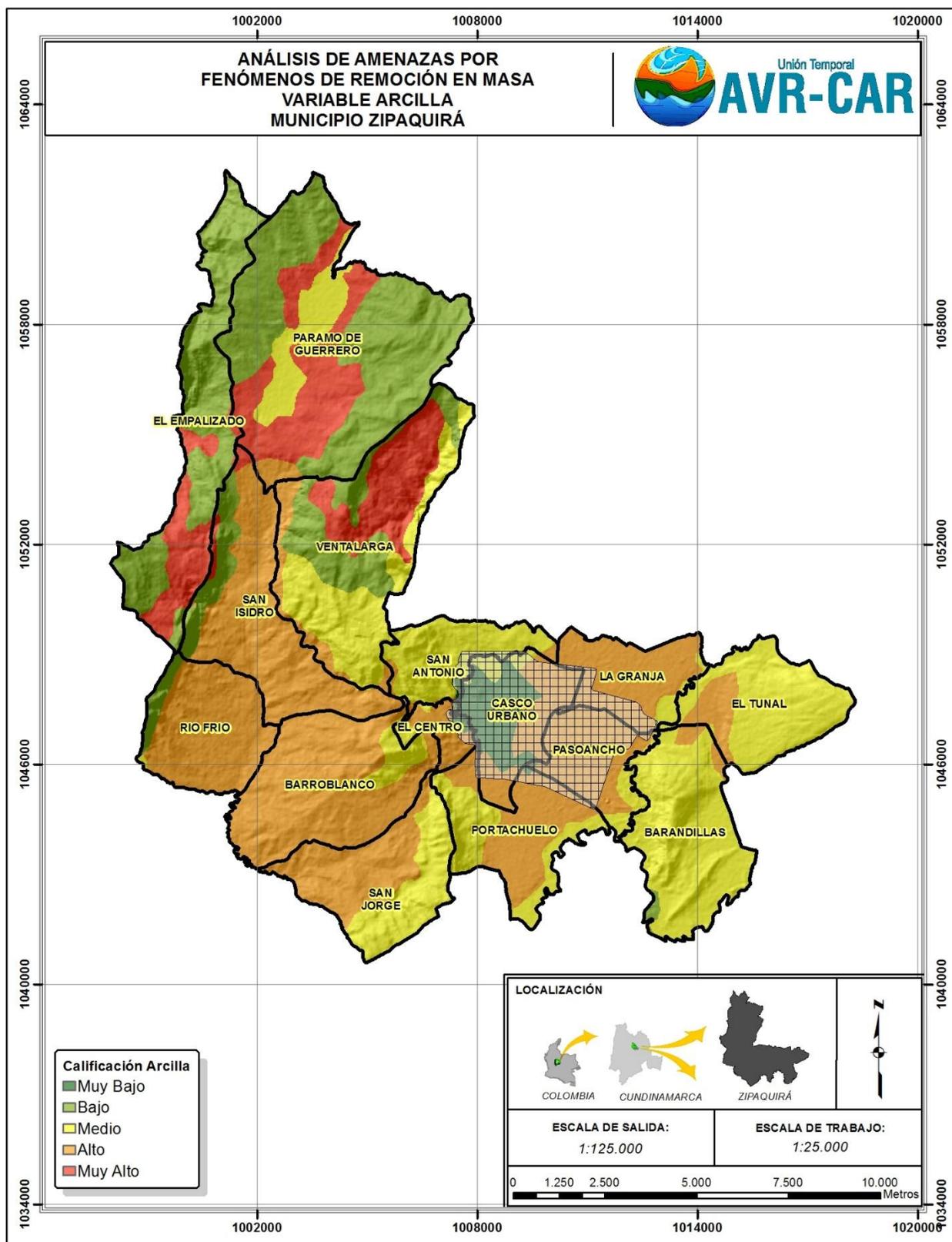
El tipo de arcilla o arcillas que coexisten en el suelo definen propiedades como la plasticidad, cohesión, adhesión y capacidad de intercambio catiónico influyendo en la susceptibilidad del mismo. Para el municipio Zipaquirá se presentan susceptibilidades desde la baja a muy alta como se observa en la **Tabla 3.25** la calificación muy baja definida por los grupos de arcillas Caolinita y Biotita se localiza en el Casco Urbano. La clase baja corresponde a arcillas de tipo halloisita; las cuales predominan en las veredas Ventalarga, Paramo de Guerrero, El Empalizado, entre otras. La susceptibilidad media permite identificar silicatos como Caolinita, Montmorillonita, Illita y Vermiculita relacionados a suelos oxisoles, ultisoles y vertisoles predominantes en las veredas El Tunal, Barandillas, San Antonio, entre otras. La susceptibilidad con mayor presencia es la alta, ya que está ligada a suelos compuestos por Montmorillonita, Clorita, Caolinita y Vermiculita, presentes en las veredas San Isidro, Rio Frio, Barroblanco, San Jorge, entre otros, el cual hace que sea susceptible a movimientos en masa debido al material plástico que compone al suelo, su potencial de expansión por contacto con el agua y resistencia al esfuerzo cortante. El rango muy alto, presente en las veredas Paramo de Guerrero, Ventalarga y El Empalizado; debido a la composición del suelo por el grupo de arcillas Alófana, Gibsita, Montmorillonita, Vermiculita, Muscovita, Illita y Talco, en donde pueden generarse movimientos en masa debido a que las arcillas pueden entrar en contacto con el agua, contraerse, expandirse y formar grietas, que pueden llevar a alterar la estabilidad de una ladera.

**Tabla 3.25. Calificación del tipo de arcilla.**

Grupos de tipo de arcilla	Calificación	Susceptibilidad
Caolinita, Biotita	1	Muy Baja
Halloisita	2	Baja
Caolinita, Montmorillonita, Vermiculita, Muscovita	3	Media
Montmorillonita, Clorita, Caolinita, Vermiculita	4	Alta
Alófana, Gibsita, Montmorillonita, Vermiculita, Muscovita, Illita, Vermiculita, Talco	5	Muy Alta

Fuente: INGEOMINAS IDEAM 2009

Figura 3.29. Espacialización de la variable tipo de arcilla



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

### 3.2.3.6 Susceptibilidad por variable suelos

Definidas las variables a través de la siguiente ecuación se obtiene la calificación total de la variable suelos:

$$C = 0,3Te + 0,15Ta + 0,2Pt + 0,2Ar + 0,15D$$

C= Calificación total dada a las unidades de suelos (1 a 5)

Te = Textura ponderada del perfil modal de suelos, asignada a cada unidad de suelos, con un peso en la función de 0,30

Ta = Calificación de la taxonomía a nivel de orden con un peso de 0,15, también puede ser a nivel de subgrupo según criterio experto

Pt = Profundidad total del suelo, peso de 0,20

Ar = Calificación del tipo de arcilla, peso 0,20

D = Drenaje natural, peso 0,15

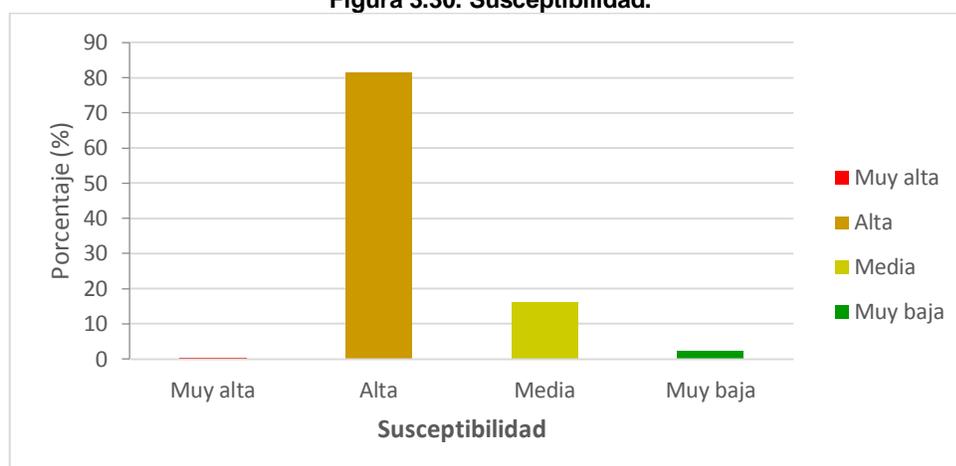
Para el municipio de Zipaquirá se presentan susceptibilidades media y alta (Figura 3.30 y Figura 3.31).

La clase muy alta se caracteriza por tener materiales parentales dominados por depósitos clásticos hidrogénicos; el clima varía de frío seco, en paisajes de planicie; texturas en el rango de finas, pobre a muy pobremente drenados.

La clase alta se caracteriza por tener materiales parentales dominados por rocas clásticas arenosas y limo-arcillosas y mantos de ceniza volcánica, depósitos clásticos hidrogénicos e hidrogravigénicos y en sectores materiales orgánicos; el clima varía de frío seco a Muy frío muy húmedo, en paisajes de montaña y planicie; con pendientes variables 25-50% y alcanzan el 75%, texturas en el rango de finas a gruesas y bien drenados.

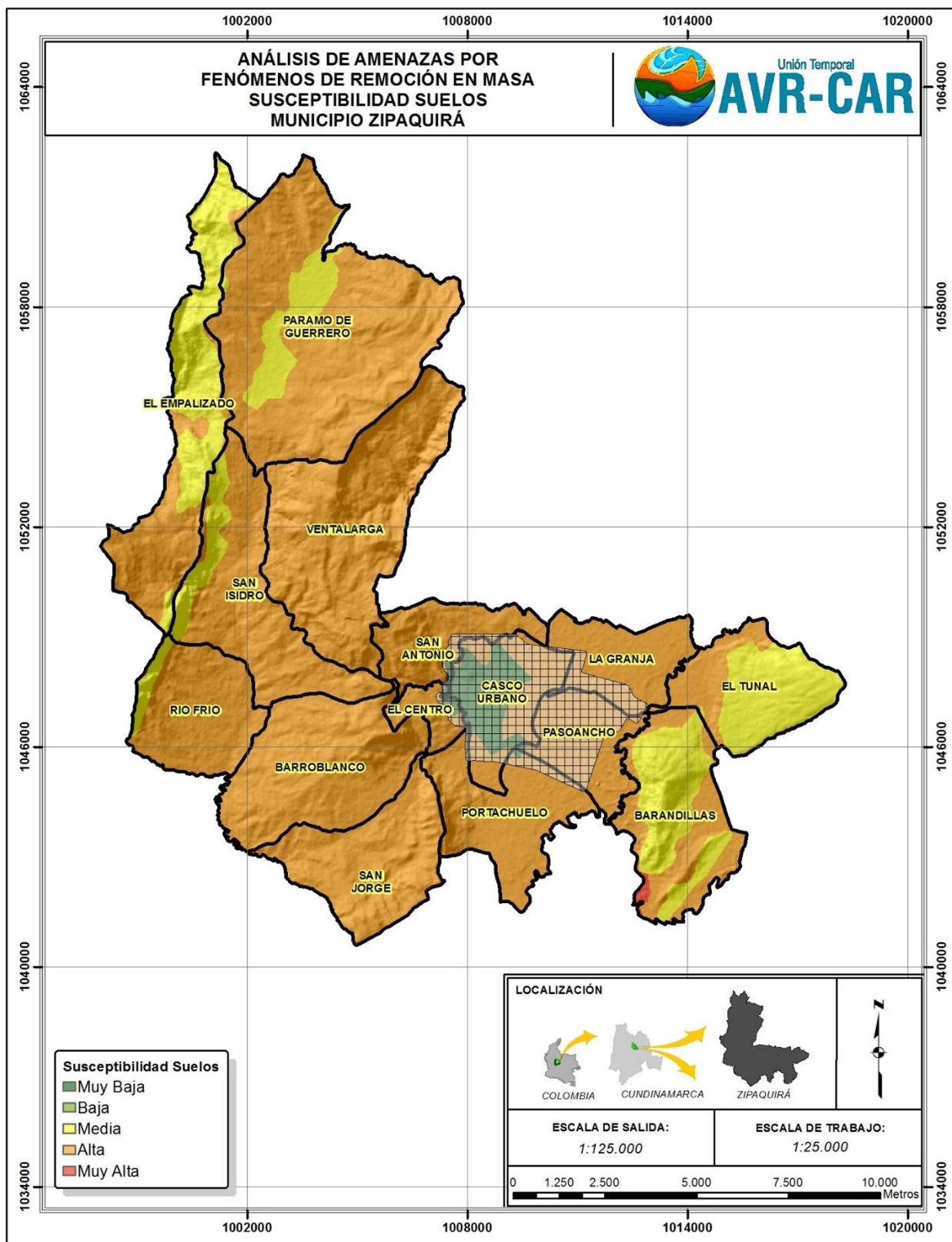
La clase Media se caracteriza por tener materiales parentales dominados por rocas clásticas limo-arcillosas, arenosas y químicas carbonatadas con algunos depósitos de ceniza volcánica; el clima varía de frío seco a muy frío muy húmedo, en paisajes de montaña; con pendientes variables en ocasiones superiores a 75%, de superficiales a profundos, texturas en el rango de finas a medias y bien a excesivamente drenados.

**Figura 3.30. Susceptibilidad.**



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

Figura 3.31. Mapa susceptibilidad.



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

### 3.2.4 Cobertura vegetal

#### 3.2.4.1 Identificación general de las coberturas

Las coberturas vegetales presentan un efecto directo sobre los procesos erosivos, disminuyen la escorrentía superficial porque reducen la cantidad y la velocidad del movimiento del agua en zonas de alta pendiente. También su sistema radicular presenta un entretrejido que actúa como amarre a los horizontes superficiales del suelo y que tanto árboles como arbustos de raíz profunda facilitan el drenaje profundo, reduciendo en esta forma la probabilidad de deslizamientos y fallas superficiales.

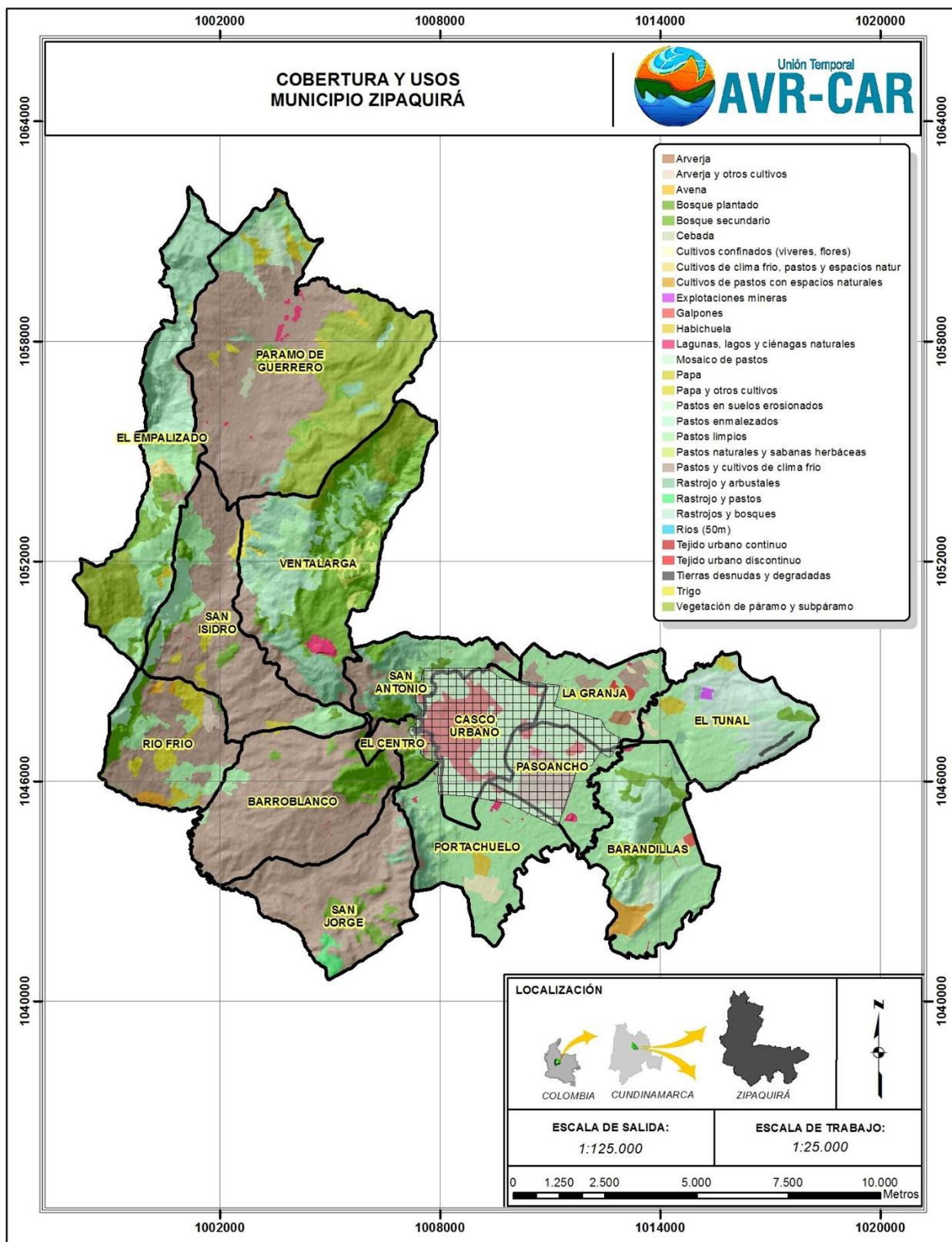
Por lo tanto se hace importante la identificación de las coberturas encontradas en el Municipio (Figura 3.32), descritas en la Tabla 3.26, que fueron generadas a partir del “Levantamiento de la Cobertura Vegetal y Uso del Suelo del Área de Jurisdicción CAR” del Instituto Geográfico Agustín Codazzi versión 2006.

**Tabla 3.26. Cuantificación de las coberturas del municipio.**

CÓDIGO	COBERTURA	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)
253	Pastos y cultivos de clima frío	6556,54	33,62
232	Pastos limpios	4981,21	25,54
323	Vegetación de páramo y subpáramo	1570,42	8,05
325	Rastrojo y arbustales	1405,80	7,21
234	Pastos enmalezados	1138,62	5,84
316	Bosque secundario	1027,05	5,27
314	Bosque plantado	832,63	4,27
328	Rastrojos y bosques	425,23	2,18
111	Tejido urbano continuo	327,57	1,68
214	Papa	187,95	0,96
2416	Papa y otros cultivos	170,55	0,87
264	Cultivos de pastos con espacios naturales	120,72	0,62
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	104,70	0,54
321	Pastos naturales y sabanas herbáceas	99,18	0,51
229	Cultivos confinados (víveres, flores)	94,09	0,48
235	Mosaico de pastos	91,37	0,47
112	Tejido urbano discontinuo	62,28	0,32
2110	Trigo	51,43	0,26
326	Rastrojo y pastos	47,80	0,25
236	Pastos en suelos erosionados	37,74	0,19
249	Arveja y otros cultivos	29,16	0,15
263	Cultivos de clima frío, pastos y espacios naturales	27,61	0,14
217	Habichuela	25,90	0,13
216	Arveja	18,24	0,09
2112	Cebada	17,87	0,09
333	Tierras desnudas y degradadas	12,01	0,06
2111	Avena	10,52	0,05
511	Ríos (50m)	9,70	0,05
2210	Galpones	9,50	0,05
132	Explotaciones mineras	9,28	0,05

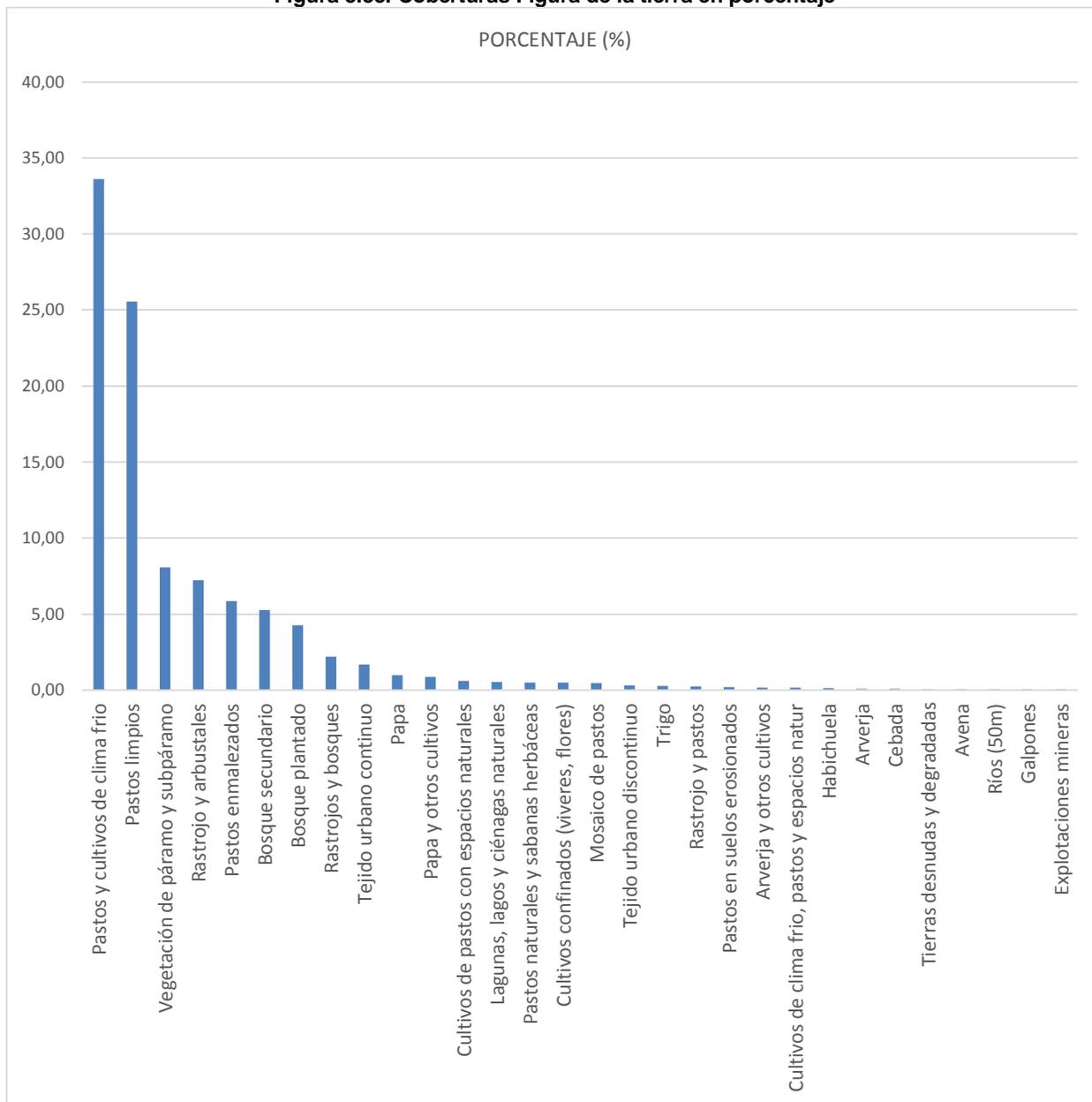
Fuente: UT AVR-CAR,2014.

Figura 3.32. Coberturas de la tierra - metodología Corinne Land Cover.



Fuente: UT AVR-CAR, 2014 a partir de información de (IGAC, 2006)

**Figura 3.33. Coberturas Figura de la tierra en porcentaje**



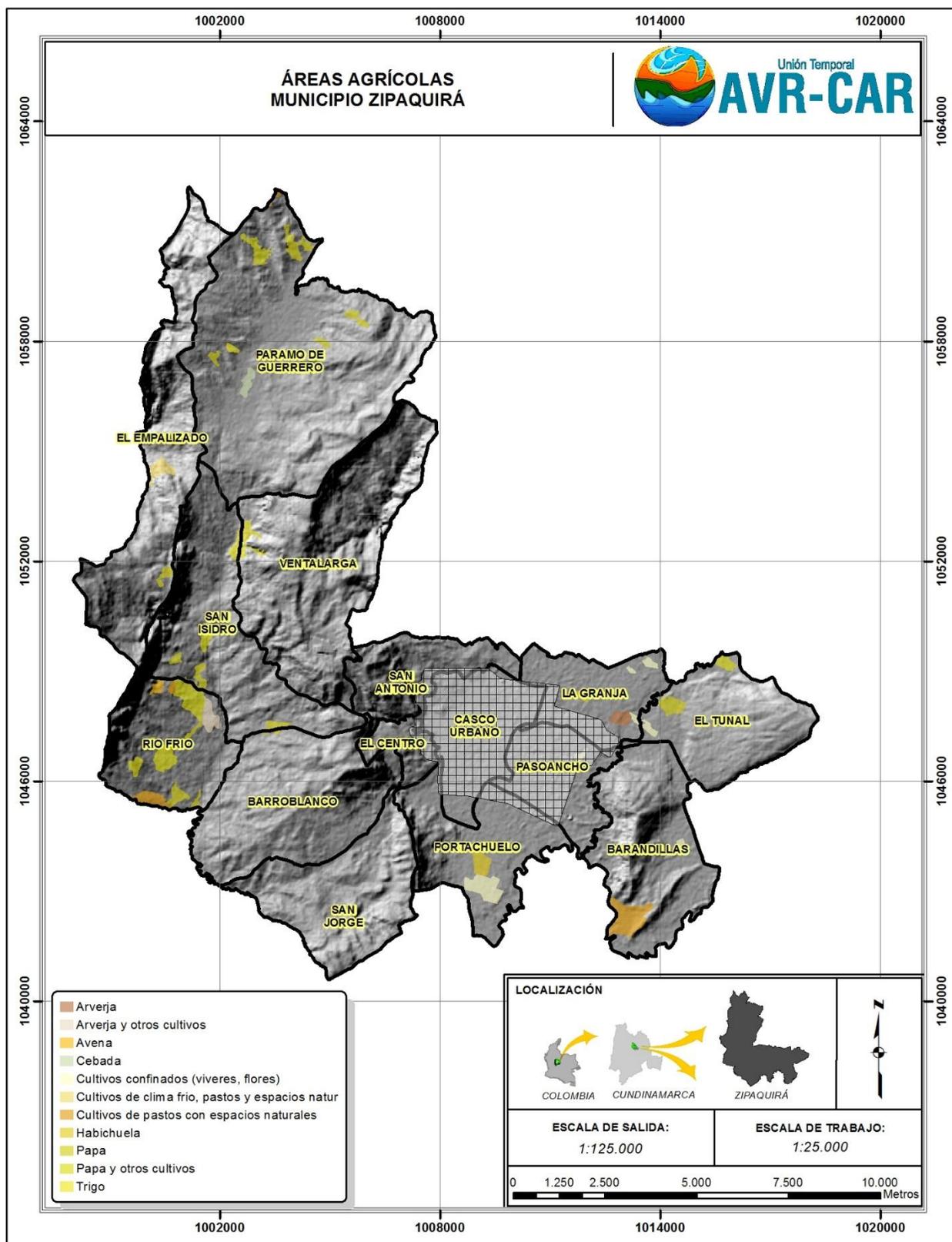
Fuente: UT AVR- CAR, 2014.

### 3.2.4.2 Identificación específica

Se encuentran a continuación las coberturas con mayor influencia en los fenómenos de remoción en masa.

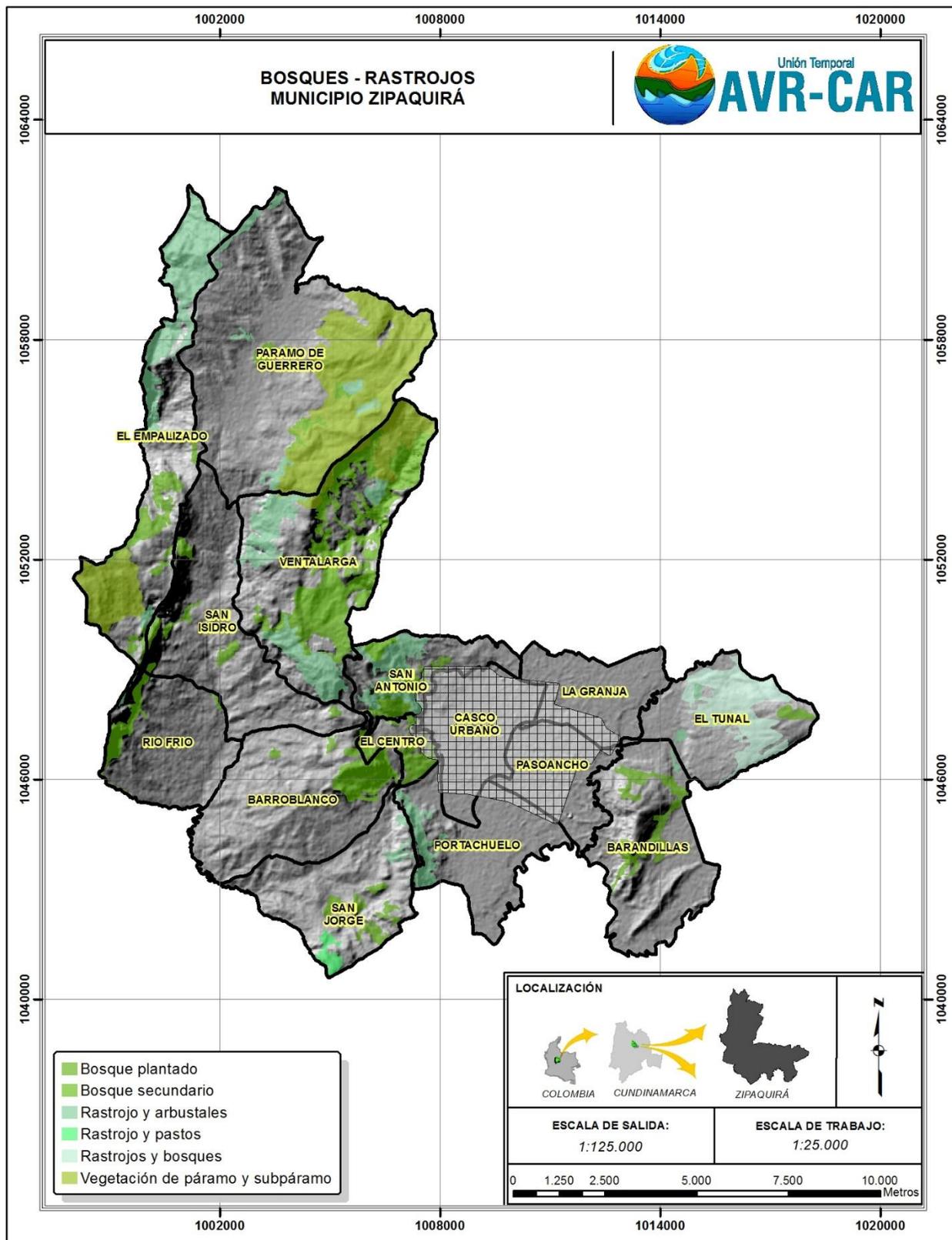
La mayor parte del municipio presenta coberturas de cultivos y pastos, lo que indica una afectación antrópica que por actividades como la agricultura y ganadería deterioran y exponen a los suelos a procesos erosivos y los hacen susceptibles a fenómenos de remoción en masa.

Figura 3.34. Coberturas de la tierra Áreas Agrícolas.



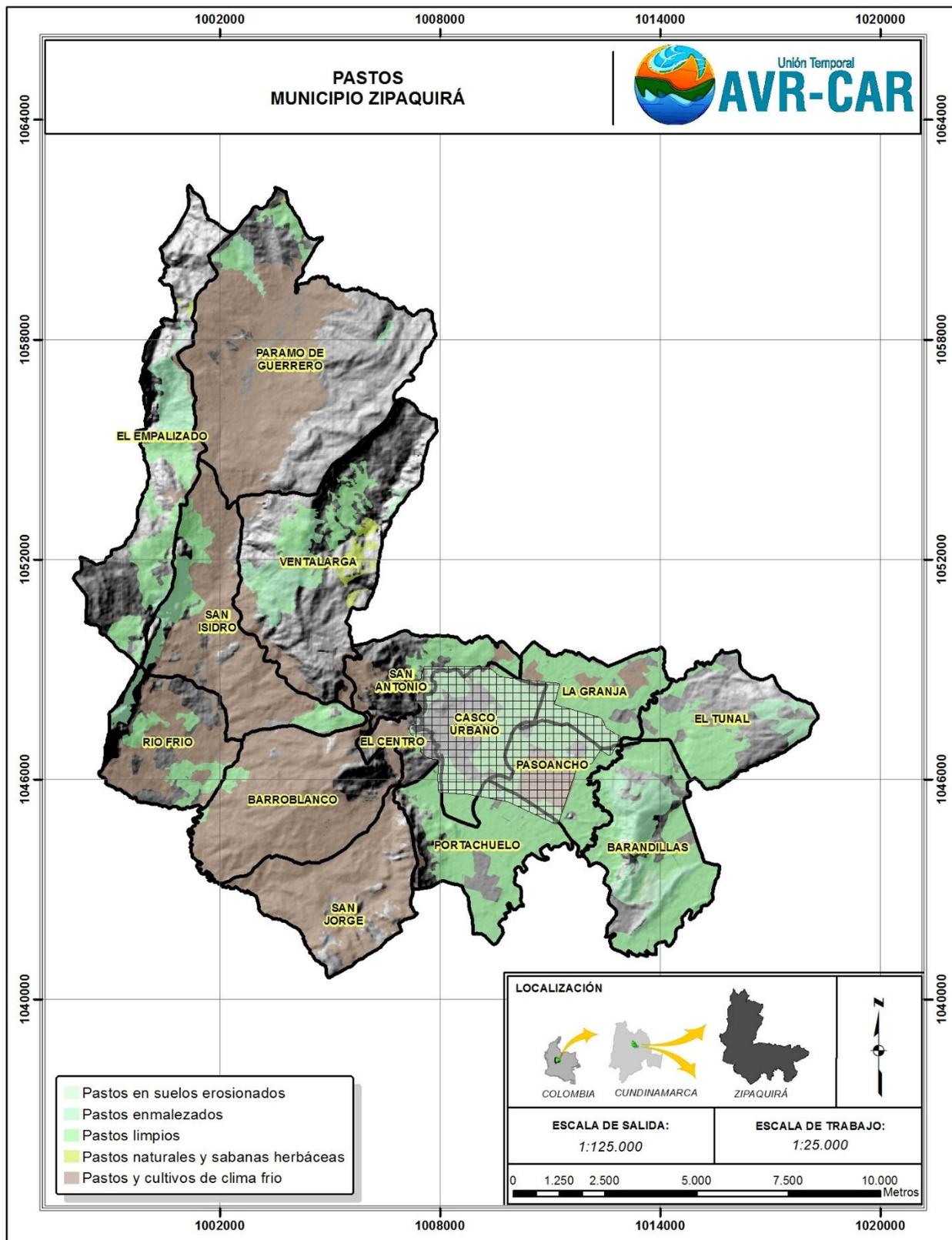
Fuente: UT AVR- CAR, 2014.

Figura 3.35. Coberturas de la tierra, bosques.



Fuente: UT AVR- CAR, 2014.

Figura 3.36. Coberturas de la tierra, pastos.



Fuente: UT AVR- CAR, 2014.

### 3.2.4.3 Profundidad radicular

La profundidad efectiva es un atributo que define hasta donde profundizan las raíces en el suelo sin encontrar obstáculos, se mide en cm. El sistema radicular depende de la especie, calidad de sitio, hábitos de crecimiento, textura y profundidad de los suelos etc. Los árboles y algunos arbustos poseen raíces profundas que facilitan el movimiento del agua hasta capas subsuperficiales alimentando el drenaje profundo y amarrando el manto de suelo a la roca.

**Tabla 3.27. Cuantificación de la profundidad efectiva**

Profundidad efectiva	Rango (cm)	Calificación	Susceptibilidad
Muy Superficial	Menos de 25 cm	5	Muy alta
Superficial	25-50 cm	4	Alta
Moderadamente Profundo	50-100 cm	3	Media
Profundo	110-150 cm	2	Baja
Muy Profundo	Mayor de 150 cm	1	Muy baja

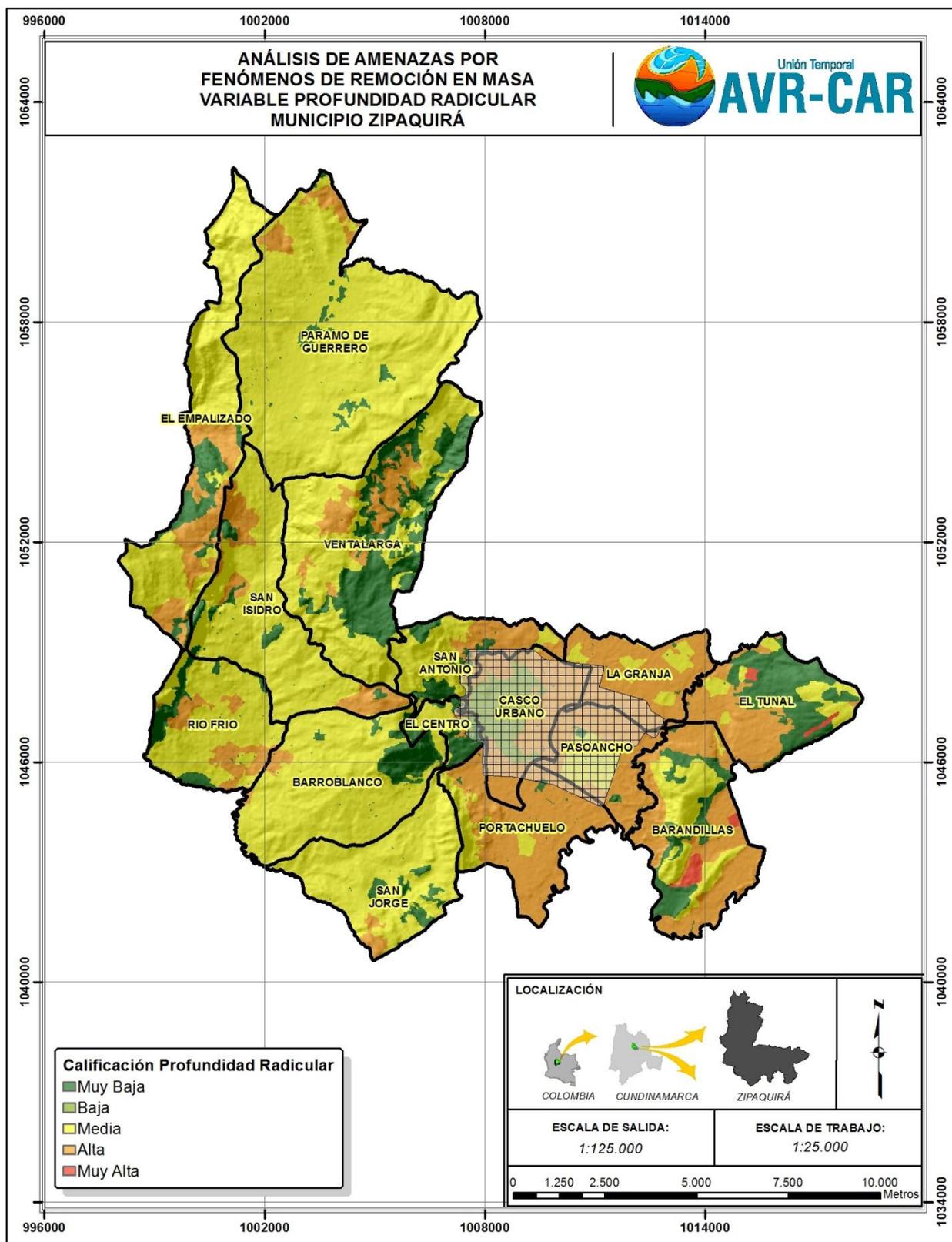
Fuente. SGC 2012

**Tabla 3.28. Calificación del atributo Profundidad Radicular.**

Código	Cobertura	Prof Radicu	Sucep Prof Rad	Área (ha)	Área (%)	Acumulada (ha)	Acumulada (%)
263	Cultivos de clima frío, pastos y espacios naturales	254	1	27,61	0,14	2547,63	13,06
264	Cultivos de pastos con espacios naturales	185	1	120,72	0,62		
314	Bosque plantado	240	1	832,63	4,27		
316	Bosque secundario	155	1	1027,05	5,27		
328	Rastrojos y bosques	160	1	425,23	2,18		
511	Ríos (50m)	0	1	9,70	0,05		
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0	1	104,70	0,54		
111	Tejido urbano continuo	0	2	327,57	1,68	327,57	1,68
214	Papa	60	3	187,95	0,96	11373,57	58,32
216	Arveja	60	3	18,24	0,09		
217	Habichuela	70	3	25,90	0,13		
234	Pastos enmalezados	75	3	1138,62	5,84		
235	Mosaico de pastos	90	3	91,37	0,47		
249	Arveja y otros cultivos	61	3	29,16	0,15		
253	Pastos y cultivos de clima frío	76	3	6556,54	33,62		
321	Pastos naturales y sabanas herbáceas	95	3	99,18	0,51		
323	Vegetación de páramo y subpáramo	55	3	1570,42	8,05		
325	Rastrojo y arbustales	90	3	1405,80	7,21		
2110	Trigo	85	3	51,43	0,26		
2111	Avena	95	3	10,52	0,05		
2112	Cebada	85	3	17,87	0,09		
2416	Papa y otros cultivos	95	3	170,55	0,87		
112	Tejido urbano discontinuo	25	4	62,28	0,32	5185,38	26,59
229	Cultivos confinados (víveres, flores)	50	4	94,09	0,48		
232	Pastos limpios	50	4	4981,21	25,54		
326	Rastrojo y pastos	50	4	47,80	0,25		
132	Explotaciones mineras	0	5	9,28	0,05	68,53	0,35
236	Pastos en suelos erosionados	20	5	37,74	0,19		
333	Tierras desnudas y degradadas	20	5	12,01	0,06		
2210	Galpones	0	5	9,50	0,05		

Fuente: UT AVR-CAR, 2014 a partir de información de (IGAC, 2006)

Figura 3.37. Profundidad radicular de las coberturas



Fuente: UT AVR-CAR, 2014 a partir de información de (IGAC, 2006)

### 3.2.4.4 Drenaje profundo

En la mayoría de los casos, la franja capilar y la zona de saturación se encuentran por fuera del alcance del sistema radicular arbóreo. No obstante, la importancia de la cobertura vegetal radica en su papel regulador de los procesos iniciales de infiltración y escorrentía que, junto con otras características físicas de las vertientes hidrográficas, inciden en la dinámica de las corrientes superficiales incluyendo desbordamientos, flujos máximos y mínimos, fluctuaciones de caudal y sedimentos transportados (Sicard, 1998).

La evaluación de este atributo se realizó a partir de la **Tabla 3.29**.

Para este caso se tuvo en cuenta variables como textura de los suelos, tasas de infiltración, condición hidrológica y la forma de mecanización del terreno. Se determinó mediante el método Curva Número, metodología propuesta por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y el Servicio de conservación de los Recursos naturales, la cual mide el valor del escurrimiento y como consecuencia el valor de la retención real una vez comienza la escorrentía. El número de curva va de 0 a 100 (100 para terrenos impermeables), a mayor número de curva mayor número de escorrentía superficial, y por ende menor capacidad de retención o de drenaje profundo.

**Tabla 3.29. Cuantificación del drenaje profundo.**

Clases de drenaje profundo	Curva número	Drenaje profundo	Rango	Calificación	Susceptibilidad	Coberturas Asociadas
Muy profundo	30 - 40	Excelente	Mayor a 40	1	Muy baja	Bosques
Profundo	41 - 60	Bueno	30,1-40	2	Baja	Arbustales densos
Moderadamente profundo	61 - 80	Moderadamente Profundo	20,1 -30	3	Media	Herbazales
Superficial	81 - 90	Regular	10,1 - 20	4	Alta	Áreas Agrícolas
Muy superficial	91 - 98	Malo	0 -10 %	5	Muy alta	Pastos

Fuente. SGC 2013

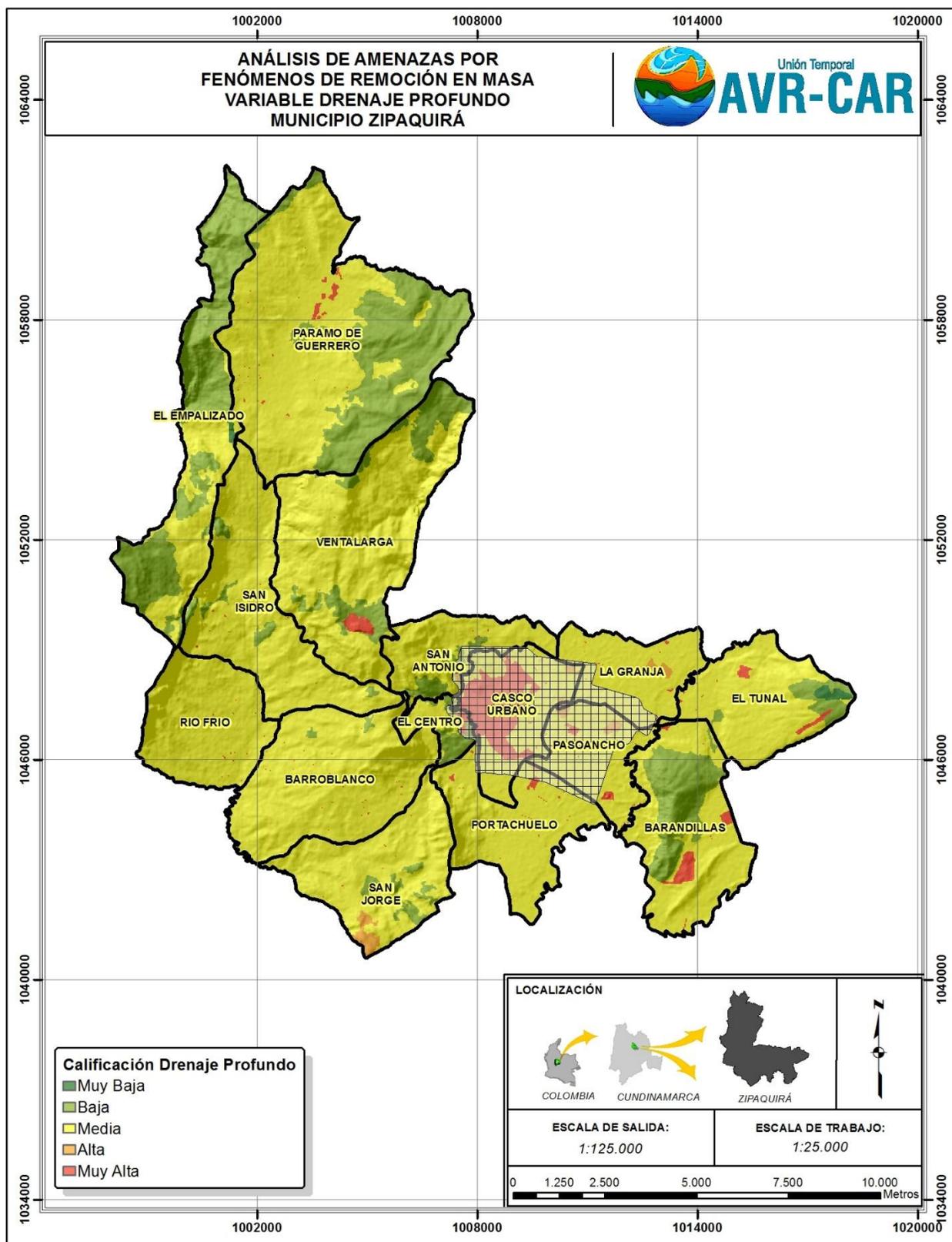
**Tabla 3.30. Calificación del atributo Drenaje Profundo**

Código	Cobertura	CN	Drenaje	Sucep Drenaje	Área (ha)	Área (%)	Acumulada (ha)	Acumulada (%)
314	Bosque plantado	36	64	1	41,08	0,21	41,08	0,21
234	Pastos enmalezados	49	51	2	574,44	2,95	3541,35	18,16
264	Cultivos de pastos con espacios naturales	57	43	2	3,34	0,02		
314	Bosque plantado	60	40	2	791,54	4,06		
316	Bosque secundario	43	57	2	17,62	0,09		
321	Pastos naturales y sabanas herbáceas	57	43	2	11,98	0,06		
323	Vegetación de páramo y subpáramo	60	40	2	1570,42	8,05		
325	Rastrojo y arbustales	54	46	2	572,02	2,93		
214	Papa	78	22	3	187,95	0,96	15299,50	78,45
216	Arveja	78	22	3	18,24	0,09		
217	Habichuela	78	22	3	25,90	0,13		
229	Cultivos confinados (víveres, flores)	78	22	3	94,09	0,48		
232	Pastos limpios	68	32	3	38,21	0,20		

Código	Cobertura	CN	Drenaje	Sucep Drenaje	Área (ha)	Área (%)	Acumulada (ha)	Acumulada (%)
232	Pastos limpios	79	21	3	4942,82	25,34		
234	Pastos enmalezados	69	31	3	564,18	2,89		
235	Mosaico de pastos	71	29	3	91,37	0,47		
249	Arveja y otros cultivos	75	25	3	29,16	0,15		
253	Pastos y cultivos de clima frio	78	22	3	6556,54	33,62		
263	Cultivos de clima frio, pastos y espacios naturales	71	29	3	27,61	0,14		
264	Cultivos de pastos con espacios naturales	72	28	3	117,38	0,60		
314	Bosque plantado	79	21	3	0,01	0,00		
316	Bosque secundario	65	35	3	1009,43	5,18		
321	Pastos naturales y sabanas herbáceas	73	27	3	87,20	0,45		
325	Rastrojo y arbustales	67	33	3	833,79	4,28		
328	Rastrojos y bosques	65	35	3	425,23	2,18		
2110	Trigo	76	24	3	51,43	0,26		
2111	Avena	76	24	3	10,52	0,05		
2112	Cebada	76	24	3	17,87	0,09		
2416	Papa y otros cultivos	77	23	3	170,55	0,87		
112	Tejido urbano discontinuo	85	15	4	62,28	0,32		
232	Pastos limpios	89	11	4	0,17	0,00	110,26	0,57
326	Rastrojo y pastos	83	17	4	47,80	0,25		
111	Tejido urbano continuo	98	2	5	327,57	1,68		
132	Explotaciones mineras	98	2	5	9,28	0,05		
236	Pastos en suelos erosionados	92	8	5	37,74	0,19		
333	Tierras desnudas y degradadas	98	2	5	12,01	0,06	510,49	2,62
511	Ríos (50m)	98	2	5	9,70	0,05		
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	98	2	5	104,70	0,54		
2210	Galpones	98	2	5	9,50	0,05		

Fuente: UT AVR-CAR, 2014 a partir de información de (IGAC, 2006).

Figura 3.38. Drenaje profundo del Municipio.



Fuente: UT AVR-CAR, 2014 a partir de información de (IGAC, 2006)

### 3.2.4.5 Evapotranspiración

La evapotranspiración (ET) es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo. La evapotranspiración se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo (Allen et al, 2006).

La categorización de este atributo se realizó en base a la **Tabla 3.31**.

**Tabla 3.31. Cuantificación de la evapotranspiración del municipio.**

Evapotranspiración	Rango (mm)	Calificación	Susceptibilidad
No presenta	0	0	Muy alta
Muy baja	0-0,5	5	Muy alta
Baja	0,51-0,8	4	Alta
Media	0,81-1	3	Media
Alta	1,1-1,5	2	Baja
Muy alta	Mayor de 1,5	1	Muy baja

Fuente: SGC, 2013.

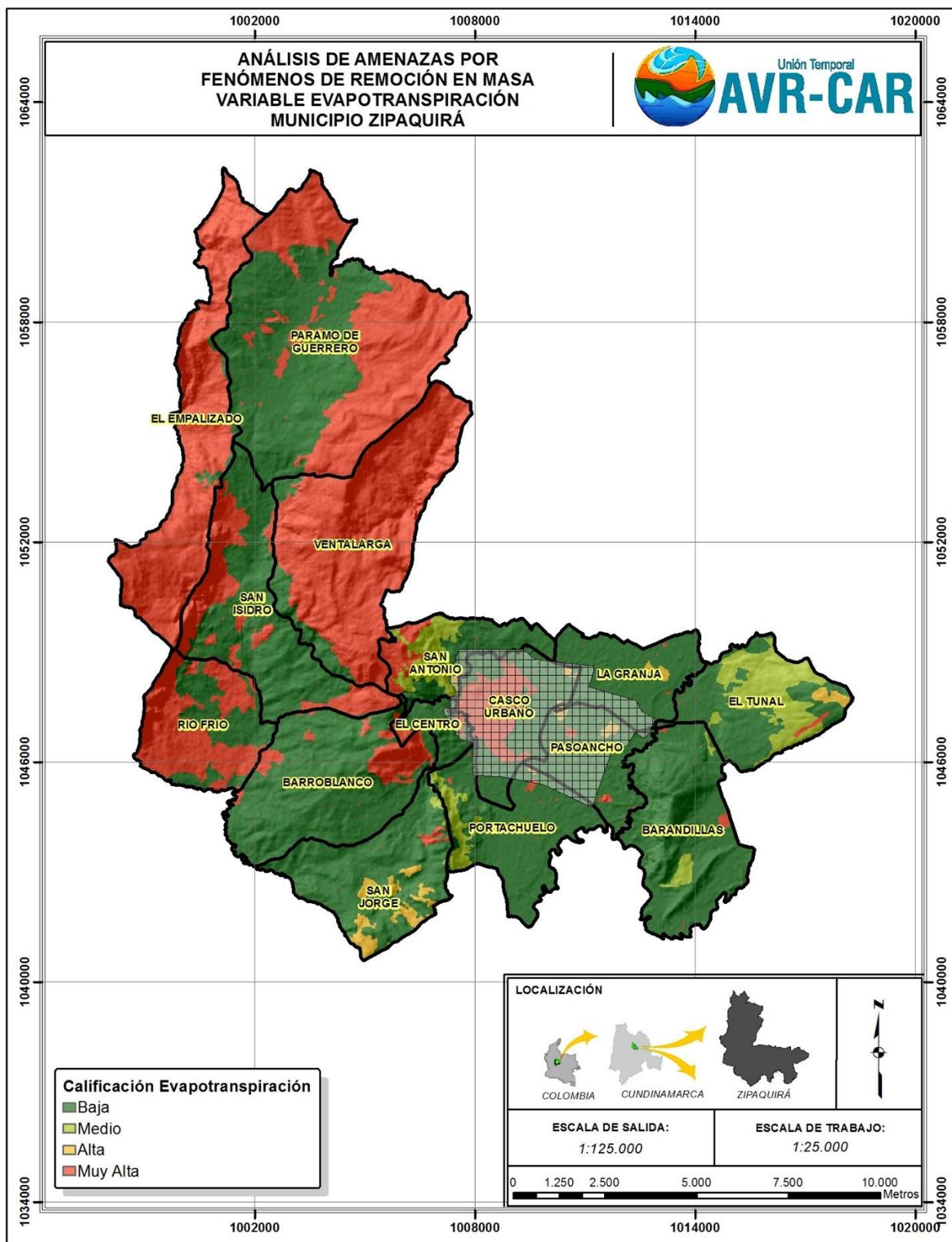
**Tabla 3.32. Clasificación del atributo evapotranspiración.**

Código	Cobertura	Evapo	Sucep Evapo	Área (ha)	Área (%)	Acumulada (ha)	Acumulada (%)
229	Cultivos confinados (víveres, flores)	1,80	1	94,09	0,48	94,09	0,48
132	Explotaciones mineras	1,50	2	9,28	0,05	10992,59	56,36
214	Papa	1,13	2	64,00	0,33		
216	Arveja	1,35	2	18,24	0,09		
217	Habichuela	1,35	2	25,90	0,13		
232	Pastos limpios	1,50	2	3712,35	19,04		
234	Pastos enmalezados	1,32	2	451,56	2,32		
253	Pastos y cultivos de clima frío	1,20	2	6260,82	32,10		
264	Cultivos de pastos con espacios naturales	1,13	2	109,29	0,56		
314	Bosque plantado	1,50	2	323,33	1,66		
2416	Papa y otros cultivos	1,13	2	17,81	0,09		
236	Pastos en suelos erosionados	1,09	3	37,74	0,19		
325	Rastrojo y arbustales	0,90	3	362,90	1,86		
328	Rastrojos y bosques	1,00	3	425,23	2,18		
112	Tejido urbano discontinuo	0,60	4	62,28	0,32	224,86	1,15
232	Pastos limpios	0,75	4	4,75	0,02		
234	Pastos enmalezados	0,66	4	2,00	0,01		
314	Bosque plantado	0,75	4	108,02	0,55		
326	Rastrojo y pastos	0,66	4	47,80	0,25		
111	Tejido urbano continuo	0,30	5	327,57	1,68	7365,27	37,77
214	Papa	0,28	5	123,95	0,64		
232	Pastos limpios	0,38	5	1264,10	6,48		

Código	Cobertura	Evapo	Sucep Evapo	Área (ha)	Área (%)	Acumulada (ha)	Acumulada (%)
234	Pastos enmalezados	0,33	5	685,06	3,51		
235	Mosaico de pastos	0,38	5	91,37	0,47		
249	Arveja y otros cultivos	0,34	5	29,16	0,15		
253	Pastos y cultivos de clima frio	0,30	5	295,72	1,52		
263	Cultivos de clima frio, pastos y espacios naturales	0,30	5	27,61	0,14		
264	Cultivos de pastos con espacios naturales	0,28	5	11,42	0,06		
314	Bosque plantado	0,38	5	401,28	2,06		
316	Bosque secundario	0,22	5	1027,05	5,27		
321	Pastos naturales y sabanas herbáceas	0,38	5	99,18	0,51		
323	Vegetación de páramo y subpáramo	0,22	5	1570,42	8,05		
325	Rastrojo y arbustales	0,22	5	1023,79	5,25		
325	Rastrojo y arbustales	0,45	5	19,12	0,10		
333	Tierras desnudas y degradadas	0,34	5	12,01	0,06		
511	Ríos (50m)	0,30	5	9,70	0,05		
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0,08	5	60,72	0,31		
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0,15	5	3,35	0,02		
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0,30	5	40,62	0,21		
2110	Trigo	0,11	5	51,43	0,26		
2111	Avena	0,34	5	10,52	0,05		
2112	Cebada	0,22	5	17,87	0,09		
2210	Galpones	0,15	5	9,50	0,05		
2416	Papa y otros cultivos	0,28	5	152,75	0,78		

Fuente: UT AVR-CAR, 2014 a partir de información de (IGAC, 2006).

Figura 3.39. Evapotranspiración del Municipio.



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

### 3.2.4.6 Numero de estratos

Se define como la distribución de la vegetación en el ecosistema, está determinada por el tamaño y crecimiento de la misma. Se presentan árboles, arbustos, herbáceas y capas de hojarasca sobre el suelo o material orgánico en descomposición. El análisis de este atributo parte de entre más densa sea una cobertura y más capas tenga, el movimiento y transmisión de agua in situ es más lento y por lo tanto menor es la posibilidad de falla de los suelos. La categorización de este atributo se realizó a partir de la **Tabla 3.33**.

**Tabla 3.33. Cuantificación del Número de Estratos del Municipio.**

Estratos de la Cobertura	(No de estratos verticales)	Calificación	Susceptibilidad
No presenta	0	5	Muy alta
Baja densidad Estructural	1	4	Alta
Media densidad Estructural	2	3	Media
Moderadamente Alta	3	2	Baja
Alta densidad Estructural	4	1	Muy baja

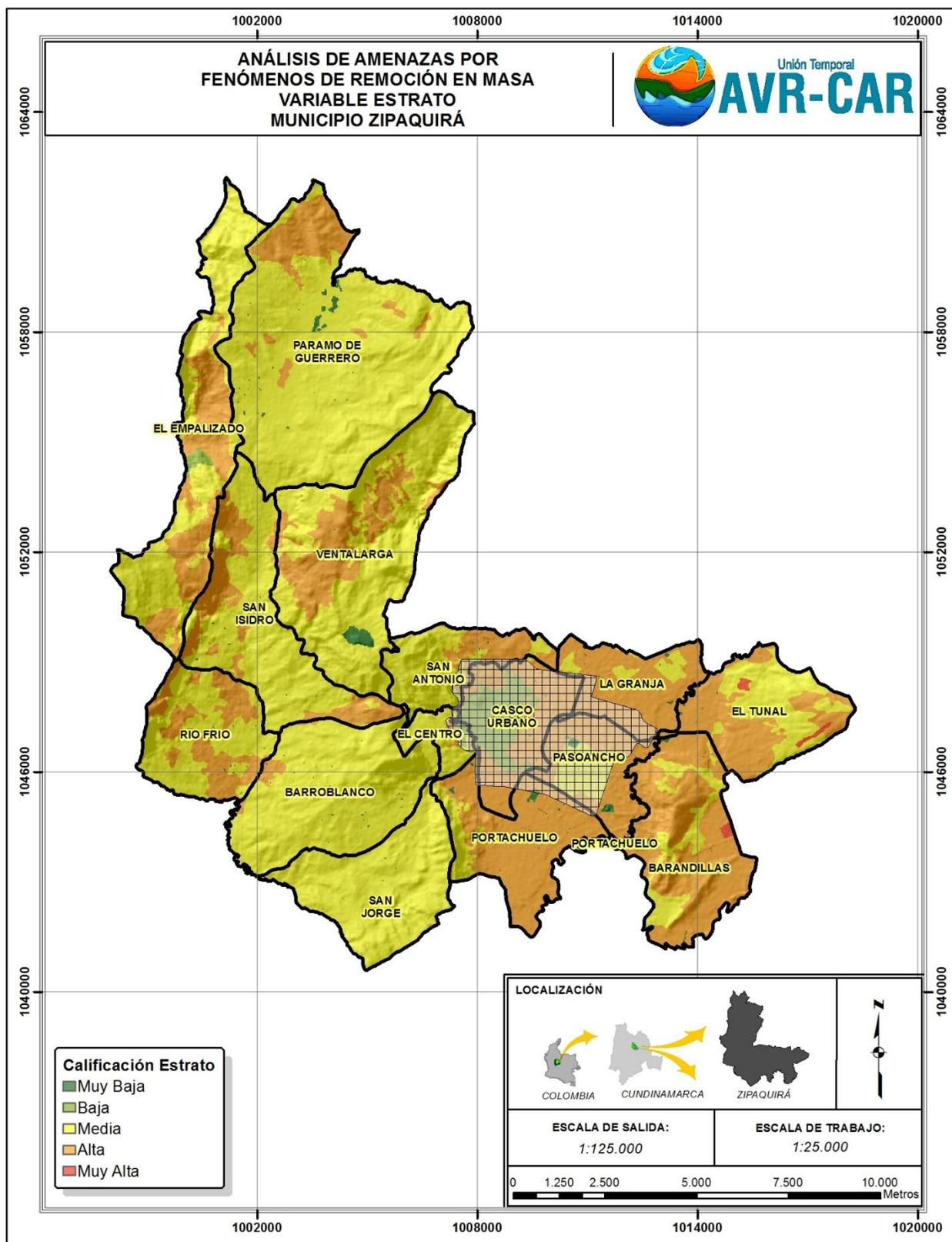
Fuente. SGC 2013

**Tabla 3.34. Calificación del atributo número de estratos.**

Código	Cobertura	Estratos	Sucep Estrato	Área (ha)	Área (%)	Acumulada (ha)	Acumulada (%)		
511	Ríos (50m)	0	1	96965,79	9,70	1143927,35	5865,49		
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0	1	1046961,56	104,70				
111	Tejido urbano continuo	0	2	3275691,04	327,57	3551807,60	18211,90		
263	Cultivos de clima frío, pastos y espacios naturales	3	2	276116,56	27,61				
253	Pastos y cultivos de clima frío	2	3	65565400,93	6556,54				
264	Cultivos de pastos con espacios naturales	2	3	1207184,89	120,72				
314	Bosque plantado	2	3	8326278,66	832,63				
316	Bosque secundario	2	3	10270453,58	1027,05				
321	Pastos naturales y sabanas herbáceas	2	3	991786,76	99,18				
323	Vegetación de páramo y subpáramo	2	3	15704159,16	1570,42				
325	Rastrojo y arbustales	2	3	14058005,75	1405,80				
326	Rastrojo y pastos	2	3	478035,08	47,80				
328	Rastrojos y bosques	2	3	4252317,32	425,23				
112	Tejido urbano discontinuo	1	4	622827,29	62,28			120853622,14	619677,14
214	Papa	1	4	1879519,00	187,95				
216	Arveja	1	4	182408,75	18,24				
217	Habichuela	1	4	259046,81	25,90				
229	Cultivos confinados (víveres, flores)	1	4	940897,78	94,09				
232	Pastos limpios	1	4	49812055,02	4981,21				
234	Pastos enmalezados	1	4	11386200,87	1138,62				
235	Mosaico de pastos	1	4	913728,90	91,37				
236	Pastos en suelos erosionados	1	4	377369,43	37,74				
249	Arveja y otros cultivos	1	4	291635,67	29,16				
2110	Trigo	1	4	514322,50	51,43				
2111	Avena	1	4	105182,47	10,52				
2112	Cebada	1	4	178739,75	17,87				
2416	Papa y otros cultivos	1	4	1705516,28	170,55	69169450,54	354666,47		
132	Explotaciones mineras	0	5	92846,84	9,28				
333	Tierras desnudas y degradadas	0	5	120100,52	12,01				
2210	Galpones	0	5	94999,24	9,50				
								307946,60	1579,00

Fuente: UT AVR-CAR, 2014 a partir de información de (IGAC, 2006).

Figura 3.40. Número de estratos



Fuente: UT AVR-CAR, 2014 a partir de información de (IGAC, 2006).

### 3.2.4.7 Susceptibilidad de coberturas

En este ítem se observa la interacción de todos los atributos del componente de coberturas.

**Tabla 3.35 Cuantificación de la susceptibilidad.**

Código	Cobertura	Área (ha)	Área (%)	Acumulada (ha)	Acumulada (%)	Calificación
C1	Ríos (50m)	9,70	0,05	114,39	0,59	1
	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	104,70	0,54			
C2	Tejido urbano continuo	327,57	1,68	849,14	4,35	2
	Tejido urbano discontinuo	62,28	0,32			
	Cultivos de pastos con espacios naturales	109,29	0,56			
	Bosque plantado	323,31	1,66			
	Bosque plantado	26,68	0,14			
C3	Papa	64,00	0,33	15120,36	77,53	3
	Arveja	18,24	0,09			
	Habichuela	25,90	0,13			
	Cultivos confinados (víveres, flores)	94,09	0,48			
	Pastos limpios	3712,18	19,03			
	Pastos enmalezados	378,51	1,94			
	Pastos enmalezados	73,06	0,37			
	Pastos y cultivos de clima frío	6260,82	32,10			
	Cultivos de clima frío, pastos y espacios naturales	27,61	0,14			
	Cultivos de pastos con espacios naturales	3,34	0,02			
	Cultivos de pastos con espacios naturales	8,08	0,04			
	Bosque plantado	95,76	0,49			
	Bosque plantado	386,87	1,98			
	Bosque secundario	17,62	0,09			
	Bosque secundario	1009,43	5,18			
	Pastos naturales y sabanas herbáceas	11,98	0,06			
	Vegetación de páramo y subpáramo	1570,42	8,05			
	Rastrojo y arbustales	15,51	0,08			
	Rastrojo y arbustales	347,39	1,78			
	Rastrojo y arbustales	556,50	2,85			
Rastrojos y bosques	425,23	2,18				
Papa y otros cultivos	17,81	0,09				
C4	Explotaciones mineras	9,28	0,05	3397,28	17,42	4
	Papa	123,95	0,64			
	Pastos limpios	0,17	0,00			
	Pastos limpios	4,75	0,02			

Código	Cobertura	Área (ha)	Área (%)	Acumulada (ha)	Acumulada (%)	Calificación
	Pastos limpios	1264,10	6,48			
	Pastos enmalezados	197,93	1,01			
	Pastos enmalezados	489,13	2,51			
	Mosaico de pastos	91,37	0,47			
	Pastos en suelos erosionados	37,74	0,19			
	Arveja y otros cultivos	29,16	0,15			
	Pastos y cultivos de clima frío	295,72	1,52			
	Pastos naturales y sabanas herbáceas	87,20	0,45			
	Rastrojo y arbustales	486,40	2,49			
	Rastrojo y pastos	47,80	0,25			
	Trigo	51,43	0,26			
	Avena	10,52	0,05			
	Cebada	17,87	0,09			
	Papa y otros cultivos	152,75	0,78			
C5	Tierras desnudas y degradadas	12,01	0,06	21,51	0,11	5
	Galpones	9,50	0,05			

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

La susceptibilidad muy baja corresponde a ríos, lagos, lagunas y ciénegas con una extensión de 114,39 has y representa el 0.59 % de la plancha.

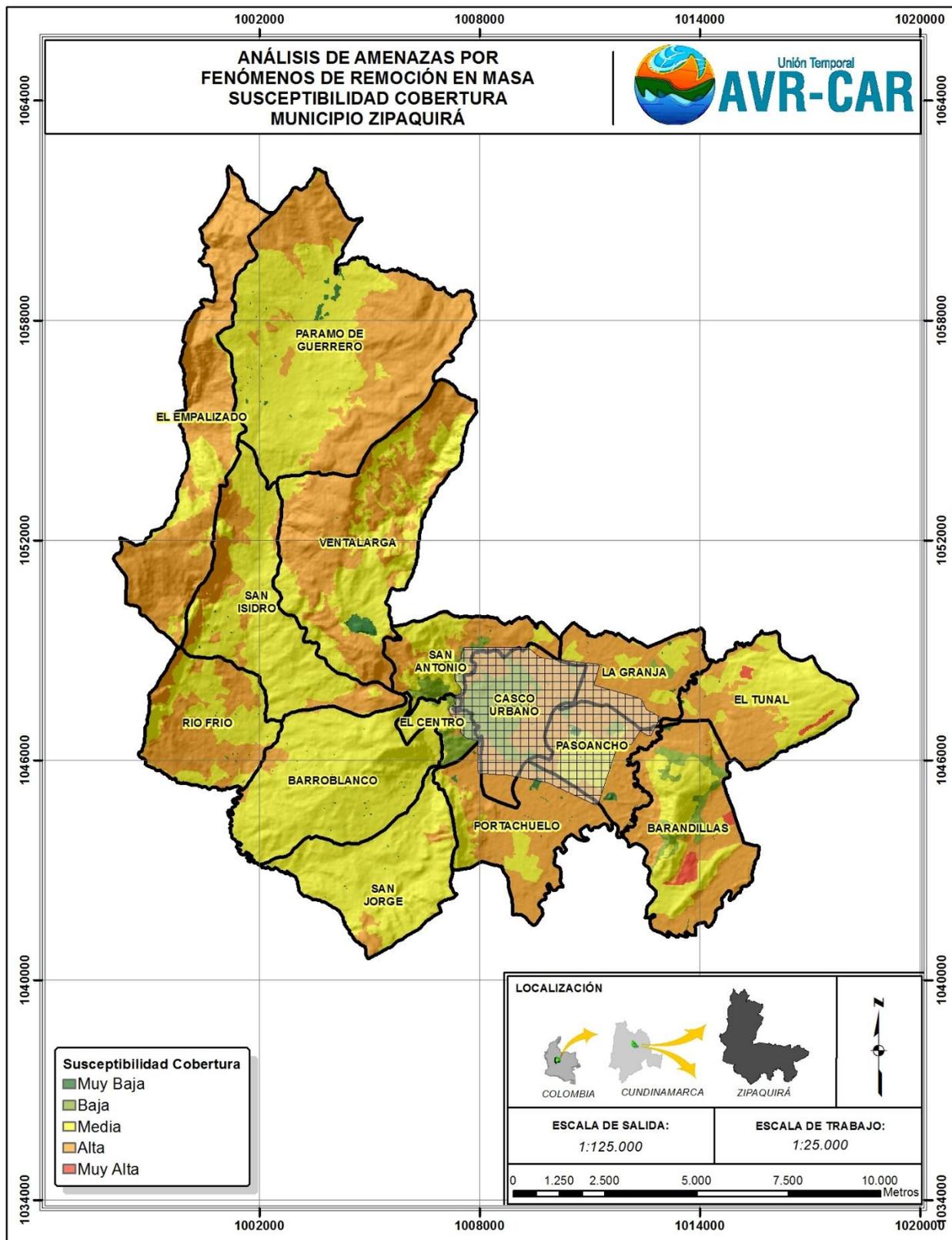
La susceptibilidad baja, corresponde a zonas urbanas y coberturas boscosa y cultivos de pastos con espacios naturales ocupan 849,14 has y 4.35 %, debido a su bajo grado de intervención humana no representan ningún riesgo de inestabilidad. Se presentan en el centro del municipio y veredas San Antonio y la parte sur de Ventalarga y parte de Barandillas.

El municipio de Zipaquirá en cuanto a cobertura vegetal está ubicada en susceptibilidad moderada corresponde a 15120,36 has y 77.53 % se presentan coberturas de pastos y cultivos de clima frío y pastos limpios, vegetación de páramo y subpáramo entre otras. Ubicada principalmente en la parte occidental de la plancha, en zonas montañosas, veredas Paramo de Guerrero, San Isidro, Barroblanco, San Jorge; hacia el costado oriental, en la parte más plana del municipio en las veredas El Tunal, Pasoancho y parte de Barandillas. Esta susceptibilidad está influenciada por los ríos Bogotá, Frío, Negro, Susagua y Barandillas y la ganadería en zonas de ladera.

La susceptibilidad alta ocupa 3397,28 has y 17.42 % se presentan áreas dedicadas a la actividad ganadera con muy bajo grado de tecnificación y fuerte presión antrópica, generando problemas en zonas montañosas de alta pendiente, flanco oriental de la cordillera. En veredas como La Granja, Portachuelo y parte del casco urbano y hacia el occidente en la vereda el Empalizado y costado oriental del Páramo de Guerrero. Esta susceptibilidad se ve influenciada por la unidad climática frío húmedo y la fuerte presión antrópica.

La susceptibilidad muy alta con 21,51 has y 0.11 % en zonas donde se ubican galpones. En veredas como Barandillas y El Tunal.

Figura 3.41. Susceptibilidad de coberturas.



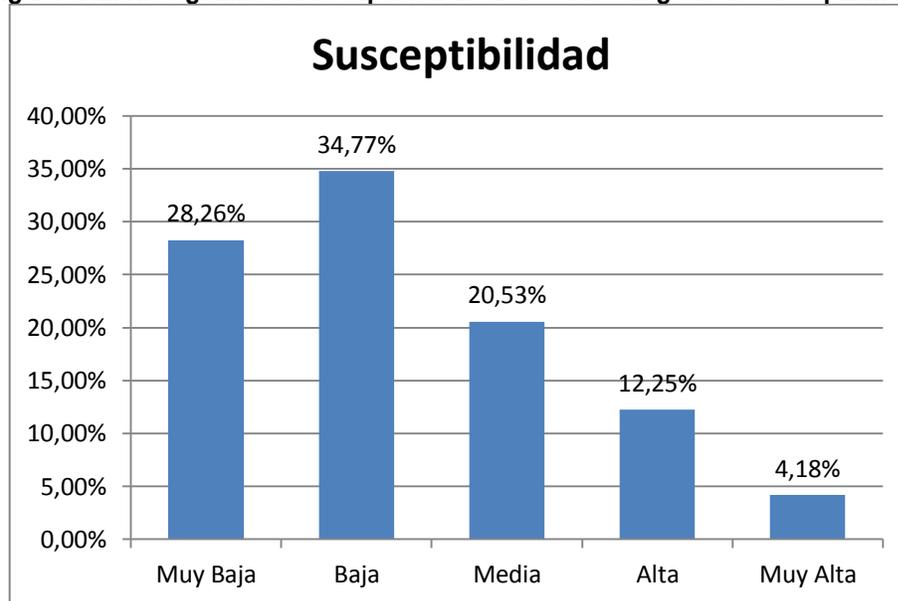
Fuente: UT AVR-CAR, 2014 a partir de información de (IGAC, 2006).

### 3.3 ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD

Una vez definidos los criterios de cruce, espacializados y ponderados, se determina la variación espacial de la inestabilidad de las laderas, de acuerdo a la metodología, se ha considerado incluir la geomorfología, la geología, suelos edáficos y cobertura, esta relación define los valores de la susceptibilidad. La geomorfología es la variable que más peso posee en el análisis. La ecuación para determinar la susceptibilidad es la siguiente:

$$\text{Susceptibilidad Final} = 0.5 * \text{geomorfología} + 0.15 * \text{Geología} + 0.20 * \text{Suelos} + 0.15 * \text{Cobertura}$$

Figura 3.42. Histograma de la ocupación areal de cada categoría de susceptibilidad.

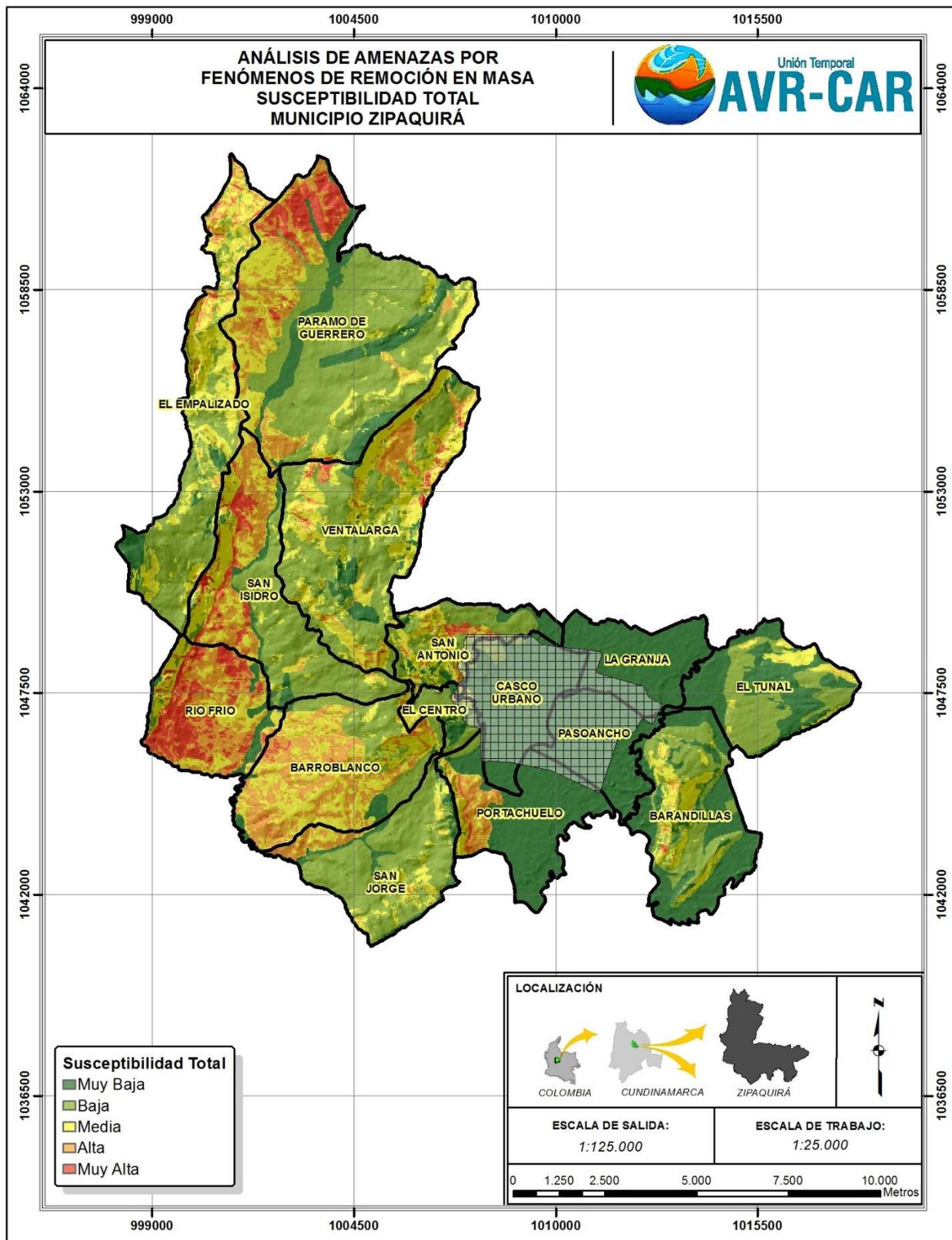


Fuente: UT-AV-CAR, 2014.

Esta mayor susceptibilidad se relaciona con el sustrato geológico conformado por depósitos cuaternarios, específicamente, depósitos no consolidados de origen coluvial, los cuales cubren parcialmente a la unidad geológica Formación Arenisca Dura, generando un aumento en la susceptibilidad al rango muy alto sobre esta unidad. Geomorfológicamente hay desarrollo de laderas coluviales, conos y lóbulos coluviales y de soliflucción, laderas de contrapendiente de sierra sinclinal, laderas estructurales de sierra homoclinal y laderas de contrapendiente de sierra sinclinal; las cuales están relacionados a desbordes de las aguas transicionales, desarrollados por la dinámica de vertientes tan característica de esta parte de la cordillera, que inciden directamente en la calificación final, y la presencia de suelos poco evolucionados.

La Figura 3.43 muestra el mapa total para la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa.

Figura 3.43. Mapa de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa.



Fuente: UT-AV-CAR, 2014.

### 3.3.1 Análisis y resultados

Para la caracterización de la zonificación de susceptibilidad se definieron cinco rangos de clasificación: muy baja, baja, media, alta y muy alta.

#### 3.3.1.1 Susceptibilidad muy baja

Corresponde generalmente a zonas planas, bajas o suavemente inclinadas, presentes en unidades geomorfológicas de origen Denudacional, Fluvial, Estructural y Antropogénico, principalmente con geoformas propias del ambiente Fluvial, en especial plano o llanura de inundación producto de la sedimentación durante eventos de inundación fluvial, terraza de acumulación originada por procesos de erosión y acumulación aluvial dentro de antiguas llanuras de inundación, por donde fluye una corriente y vegas de divagación; se presentan en menor proporción unidades del ambiente Estructural como laderas estructurales de sierra anticlinal y Espinazos; del ambiente Denudacional como laderas erosivas y del ambiente Antropogénico como embalses. La composición litológica corresponde a rocas paleocenas de la unidad geológica Formación Cacho compuesta por areniscas conglomeráticas en capas gruesas, tabulares y cuneiformes con estratificación cruzada; rocas cretácicas pertenecientes a las formaciones Labor y Tierna compuesta por intercalaciones de areniscas en capas medias y gruesas con lodolitas en capas delgadas y hacia la parte superior, bancos gruesos de areniscas de grano fino y medio; y Arenisca Dura compuesta por intercalaciones de capas muy gruesas de areniscas con capas delgadas de lodolitas; las anteriores unidades geológicas se encuentran cubiertas parcialmente en algunos sectores por depósitos cuaternarios de origen aluvial y de terrazas. La posibilidad de generarse inestabilidad del terreno es muy baja, los movimientos en masa son mínimos a nulos en donde la reptación puede identificarse de manera esporádica.

Estas zonas de susceptibilidad muy baja se encuentran principalmente sobre el flanco Suroriente del municipio, principalmente estas afloran sobre las veredas La Granja, Casco Urbano, Pasoancho, Portachuelo, El Tunal, entre otras.

#### 3.3.1.2 Susceptibilidad baja

Zonas de laderas con pendientes inclinadas presentes en unidades geomorfológicas, de origen Denudacional y Estructural, tales como Espinazos, laderas estructurales de sierra homoclinal, lomeríos con rellenos coluviales, laderas de contrapendiente de sierra homoclinal, laderas coluviales, laderas erosivas y glacis de acumulación. Litológicamente está formado por rocas paleocenas de la Formación Bogotá compuesta por intercalaciones de arcillolitas variocoloreadas con areniscas friables con estratificación cruzada; también por rocas cretácicas de las formaciones Arenisca Dura, Labor y Tierna, Conejo compuesta por capas de shales en la base con un nivel de calizas, un intervalo medio lodolítico, con concreciones y un nivel lidítico y al techo intercalaciones de areniscas y lodolitas y Guaduas compuesta por intercalaciones de lodolitas y areniscas; estas unidades están cubiertas parcialmente por un depósito cuaternario de origen fluvio-glacial.

Estas zonas de susceptibilidad baja se ubican de manera esporádica en la extensión del municipio y aflora principalmente sobre las veredas San Jorge, Paramo de Guerreros, Ventalarga, El Empalizado, entre otras.

#### 3.3.1.3 Susceptibilidad media

Corresponde a zonas con laderas moderadamente inclinadas a abruptas, en unidades geomorfológicas de origen Denudacional y Estructural, con geoformas varias como laderas coluviales, conos y lóbulos coluviales y de soliflucción, laderas onduladas, laderas de contrapendiente de sierra homoclinal, ladera estructural de sierra anticlinal, laderas estructurales de sierra homoclinal y laderas de contrapendiente de sierra sinclinal. Estas geoformas son generadas en rocas cretácicas de las formaciones Guaduas, Arenisca Dura, Labor y Tierna y

Conejo, cubiertas por depósitos cuaternarios de origen coluvial, de resistencia regular y la generación de potentes horizontes de suelos residuales, los cuales condicionan la ocurrencia de movimientos en masa tipo rotacional, traslacional y algunas caídas de rocas; baja presencia de movimientos en masa, en estas laderas se observan procesos erosivos de tipo surcos, cárcavas y en general patas de ganado en las áreas utilizadas en la explotación ganadera y áreas de laderas con inestabilidad generada por procesos erosivos de baja intensidad.

Estas zonas de susceptibilidad media se presentan en las veredas Barroblanco, Ventalarga, San Antonio, Paramo de Guerreros, entre otras, a lo largo de la extensión del territorio municipal.

#### 3.3.1.4 Susceptibilidad alta

Zonas con laderas muy abruptas a escarpadas, en unidades geomorfológicas principalmente de origen Denudacional y Estructural, presentes en geofomas como laderas onduladas, conos o lóbulos de flujo indiferenciado, conos de deslizamiento indiferenciado producto de procesos de movimientos en masa ladera abajo, conos y lóbulos coluviales y de solifluxión originada por procesos de transporte y depositación de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidrogravitacionales, conos de talus producto de acumulación mecánica de bloques y fragmentos angulares heterométricos que se desprendieron por procesos de meteorización acentuada de las partes altas, y laderas de contrapendiente de sierra sinclinal, estas rocas con un gran control estructural y depósitos no consolidados de origen coluvial y de pendiente; la densidad de procesos es bajo en estas áreas y son zonas propicias para la generación de proceso tipo flujo, caídas de suelos y de rocas y flujo de detritos; en estas áreas es probable encontrar procesos erosivos tales como cárcavas, y erosión causada por el mal uso de la tierra y terraceos por la sobrecarga de la producción ganadera en estas laderas.

Estas zonas de susceptibilidad alta se encuentran ubicadas de manera esporádica a lo largo de la extensión del municipio, sobre las veredas Río Frio, San Isidro, San Antonio, Paramo de Guerreros, entre otras.

#### 3.3.1.5 Susceptibilidad muy alta

Corresponde a zonas con laderas en diversas inclinaciones, desde ligeramente inclinadas hasta las muy escarpadas, se encuentran geofomas como conos y lóbulos coluviales y de solifluxión, laderas coluviales, laderas de contrapendiente de sierra homoclinal, laderas estructurales de sierra homoclinal y laderas de contrapendiente de sierra sinclinal; áreas con espesores de suelos residuales mayores a los 3m y presencia de depósitos coluviales que cubren parcialmente a rocas del cretácico de la Formación Arenisca Dura; estas rocas presentan un fuerte control estructural, la densidad de procesos en estas áreas es baja y son zonas propias para la generación de procesos tipo caída de rocas y suelos, flujos de detritos y de tierras, especialmente en las zonas donde se presentan taludes generados por cortes viales. En estas áreas pueden encontrarse actividades agropecuarias en altas pendientes y sin prácticas de conservación de suelos provocando conflictos de uso por sobre-explotación severa de los suelos, siendo estos muy susceptibles tanto por el uso como por la presencia inicial de erosión y cárcavas, entre otros procesos y porque ya no existen coberturas vegetales que ayuden en la regulación de los flujos de agua, ni en el sostenimiento de los suelos.

Estas zonas de susceptibilidad muy alta se encuentran ubicadas a lo largo de la extensión del municipio de manera esporádica y su mayor concentración se presenta en Río Frio, San Isidro hacia el Occidente y Paramo de Guerreros hacia el limite veredal Noroccidente; también se presenta en puntos muy locales en las veredas Ventalarga, San Antonio, entre otras; siendo las zonas de mayor susceptibilidad e inestabilidad que favorecen a los eventos de movimientos en masa.

### 3.4 ANÁLISIS DE DETONANTES

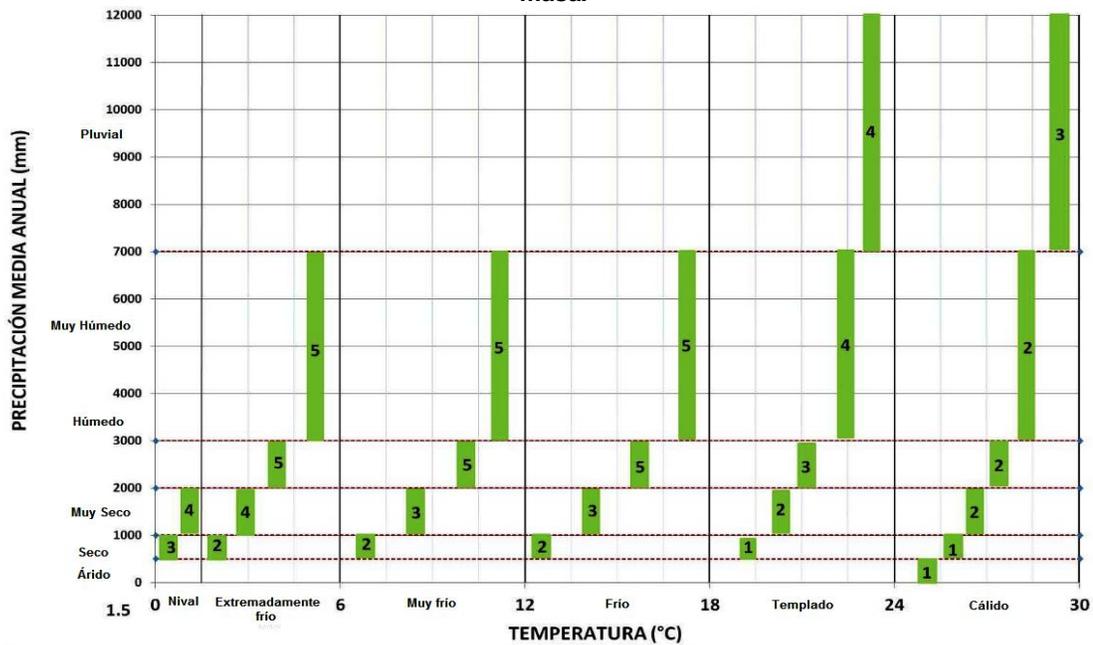
#### 3.4.1 Detonante clima (Lluvia máxima en 24 horas tr 50)

Generalmente los movimientos en masa están asociados a las lluvias. A pesar que han sido numerosos los estudios a nivel mundial que se han realizado tratando de asociar los deslizamientos con diferentes tipos de lluvia, no existe una única metodología aplicada a la evaluación de distribuciones de lluvia como detonantes de fallas en taludes y no se ha usado un único conjunto de medidas de lluvia, razones que conllevan a que los valores obtenidos no sean siempre comparables, aún para una misma región, Guzetti et al. (2007).

Para este análisis de amenaza por movimientos en masa se toman los detonantes lluvia y sismo, los cuales se especializaron a nivel de regional, y se procedió a caracterizar cada uno de ellos. Teniendo en cuenta la variable climática, el mapa de factor climático  $f_c$  se calificó de acuerdo con lo establecido en la **Figura 3.44**. Teniendo en cuenta la variable precipitación diaria en mm, el mapa de factor por lluvia se calificó de acuerdo a lo establecido en la **Tabla 3.36**.

El mapa de lluvia máxima en 24 horas con tasa de retorno de 50 años específico para el municipio se toma del Tomo I, numeral c de la sección 5.1.3.1.

**Figura 3.44. Calificación del Mapa de Zonificación Climática con base en su contribución a los movimientos en masa.**



Fuente: Servicio geológico colombiano, 2012.

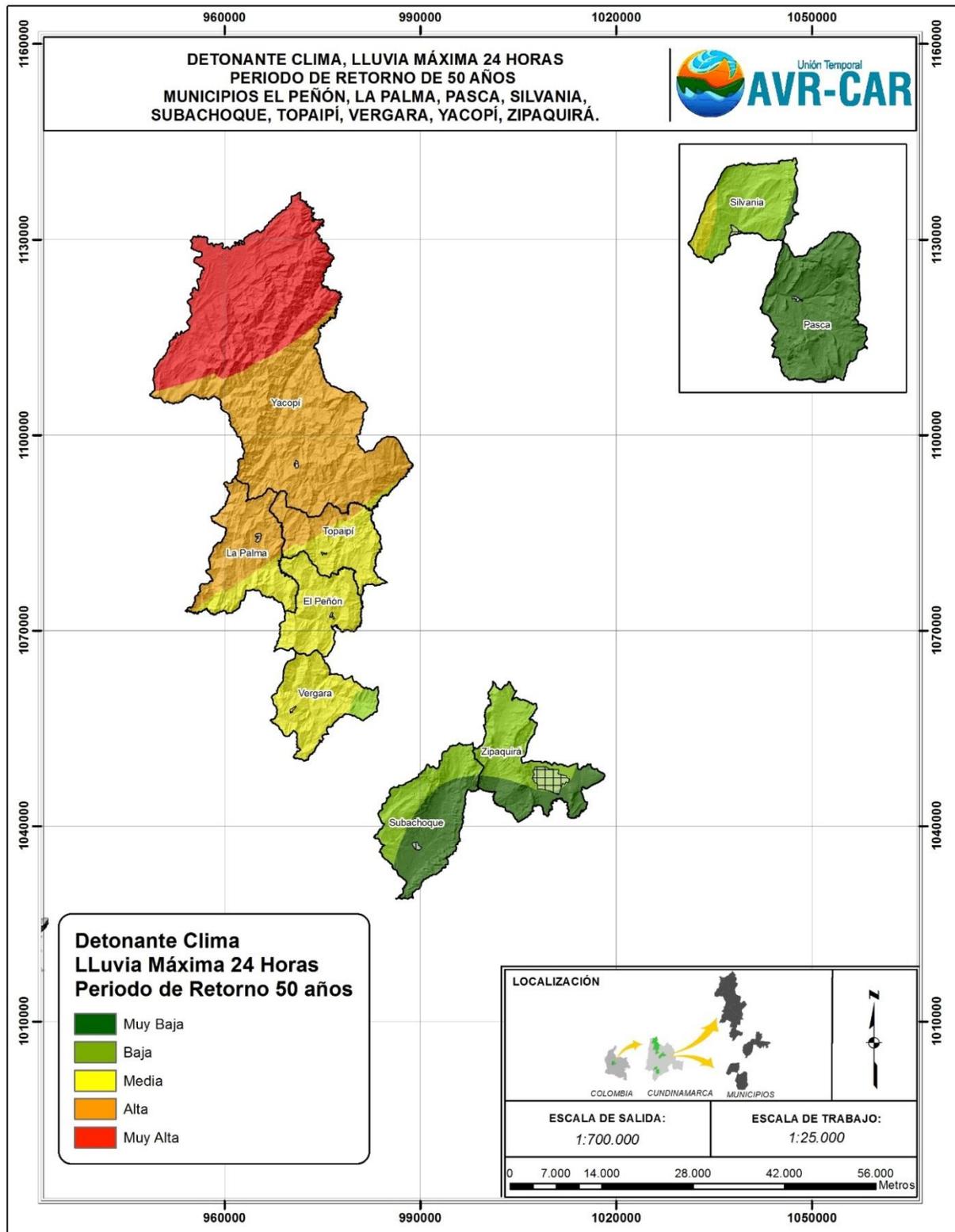
**Tabla 3.36. Calificación de la lluvia máxima diaria según su contribución a los movimientos en masa.**

Valores de Lluvia Máxima Diaria (mm)	Calificación	Susceptibilidad
0-50	1	Muy Baja
50-100	2	Baja
100-150	3	Media
150-220	4	Alta
> 220	5	Muy Alta

Fuente: Servicio geológico colombiano, 2012.

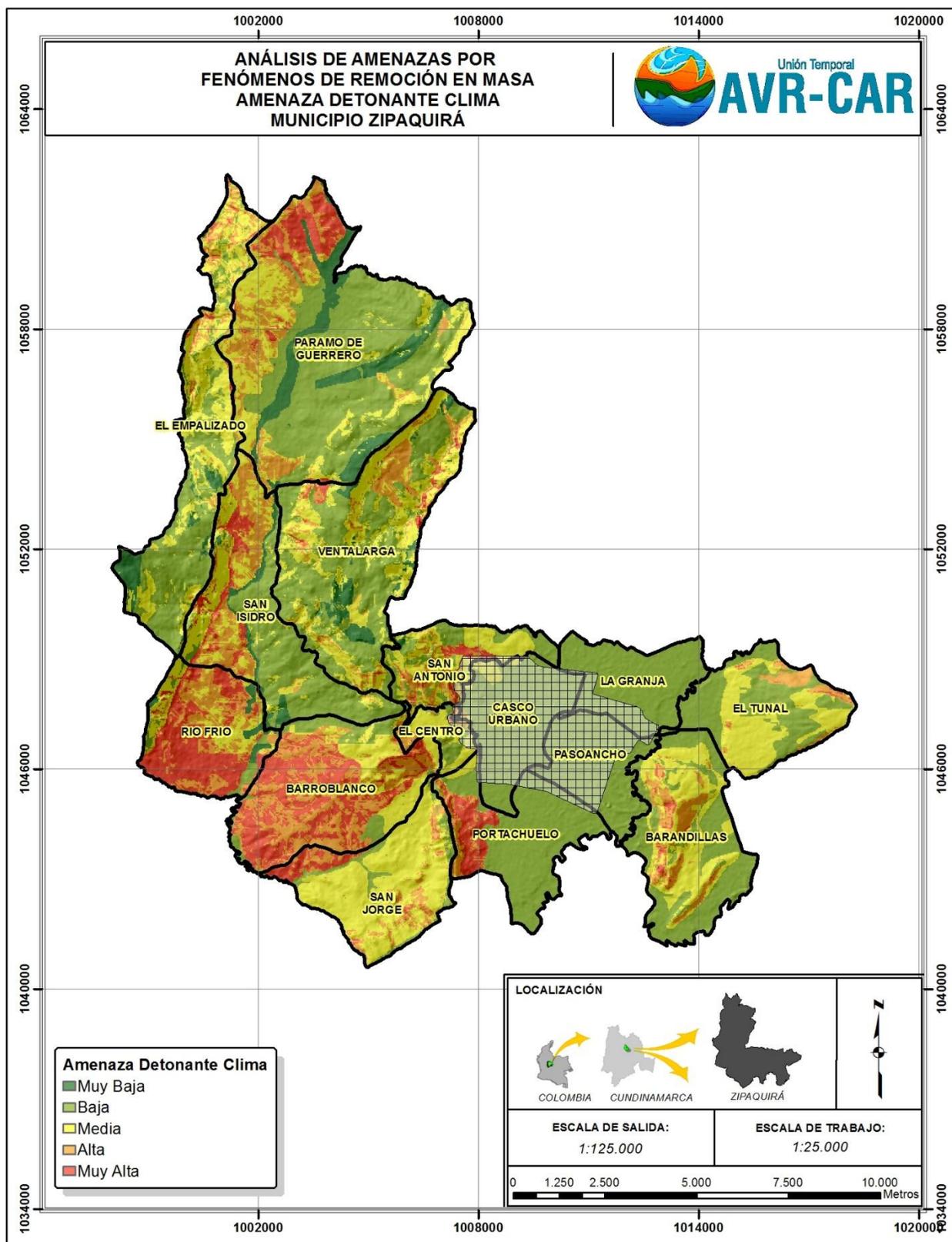
Como resultado de la suma del mapa de susceptibilidad y el mapa de factores climáticos, se generó el mapa de amenaza relativa por factores climáticos (Figura 3.46).

Figura 3.45. Mapa de calificación variable Detonante clima.



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

Figura 3.46. Mapa de amenaza por fenómenos de remoción en masa por factores climáticos



Fuente: UT AVR-CAR, 2014 a partir de información de (IGAC, 2006).

### 3.4.2 Detonante por sismo

Los taludes se encuentran en estados desde muy estables a marginalmente estables. Cuando un sismo ocurre induce un movimiento del terreno a menudo suficiente para causar fallas a taludes que están marginalmente a moderadamente estables antes del sismo. Los daños resultantes pueden ser desde insignificantes a catastróficos dependiendo de la geometría y de las características físicas del talud.

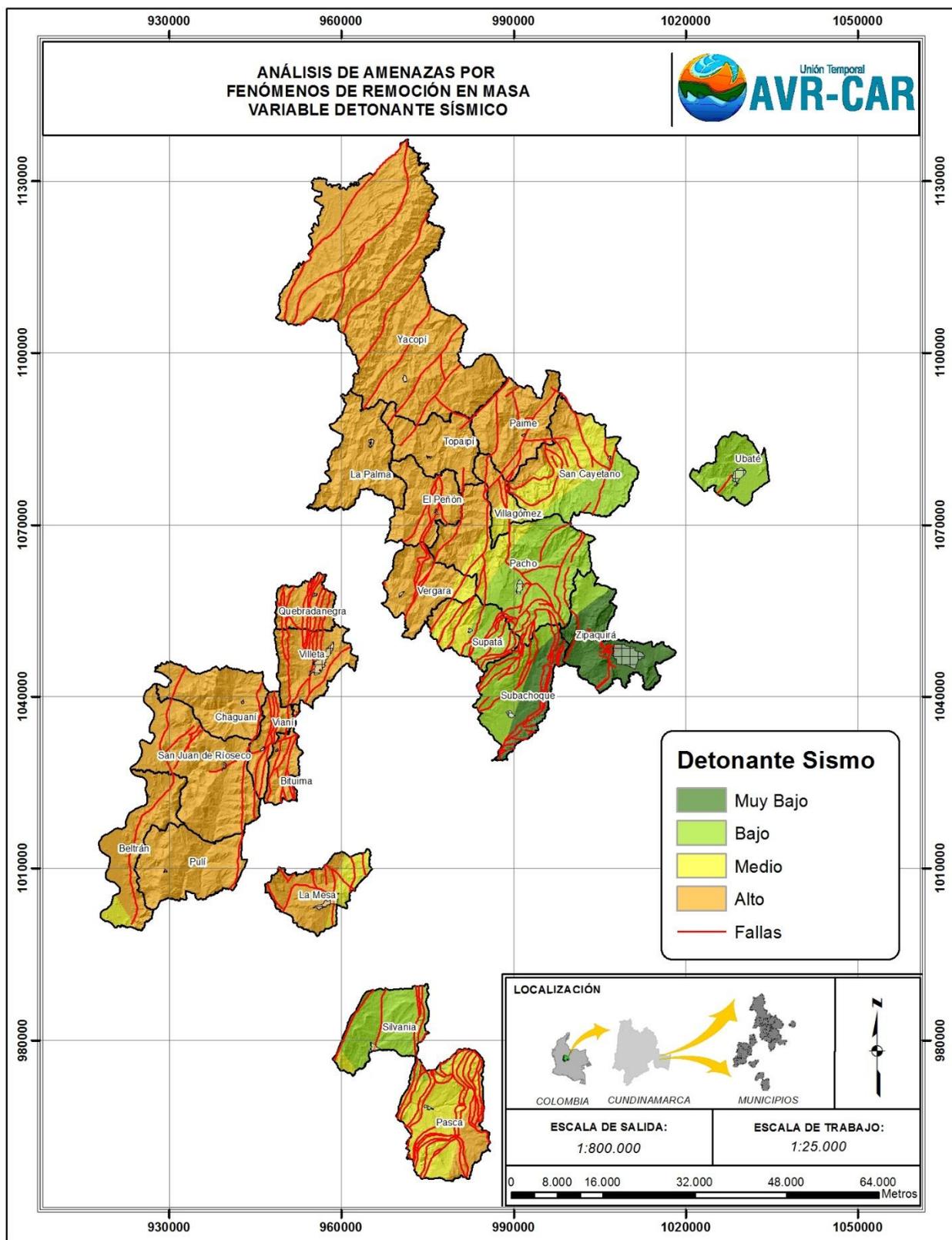
Para el presente trabajo, la variable sismo se calculó a partir de los datos de PGA (en gales), rasterizados y categorizados según la **Tabla 3.37**, permitiendo de esta forma calificar de menor a mayor grado de contribución del sismo a la amenaza por movimientos en masa (**Figura 3.47** y **Figura 3.48**).

**Tabla 3.37. Calificación de los valores de PGA de menor a mayor grado de contribución.**

Valores de PGA (cm/s <sup>2</sup> )	Calificación	Susceptibilidad
< 100	1	Muy Baja
100-150	2	Baja
150-200	3	Media
200-300	4	Alta
> 300	5	Muy Alta

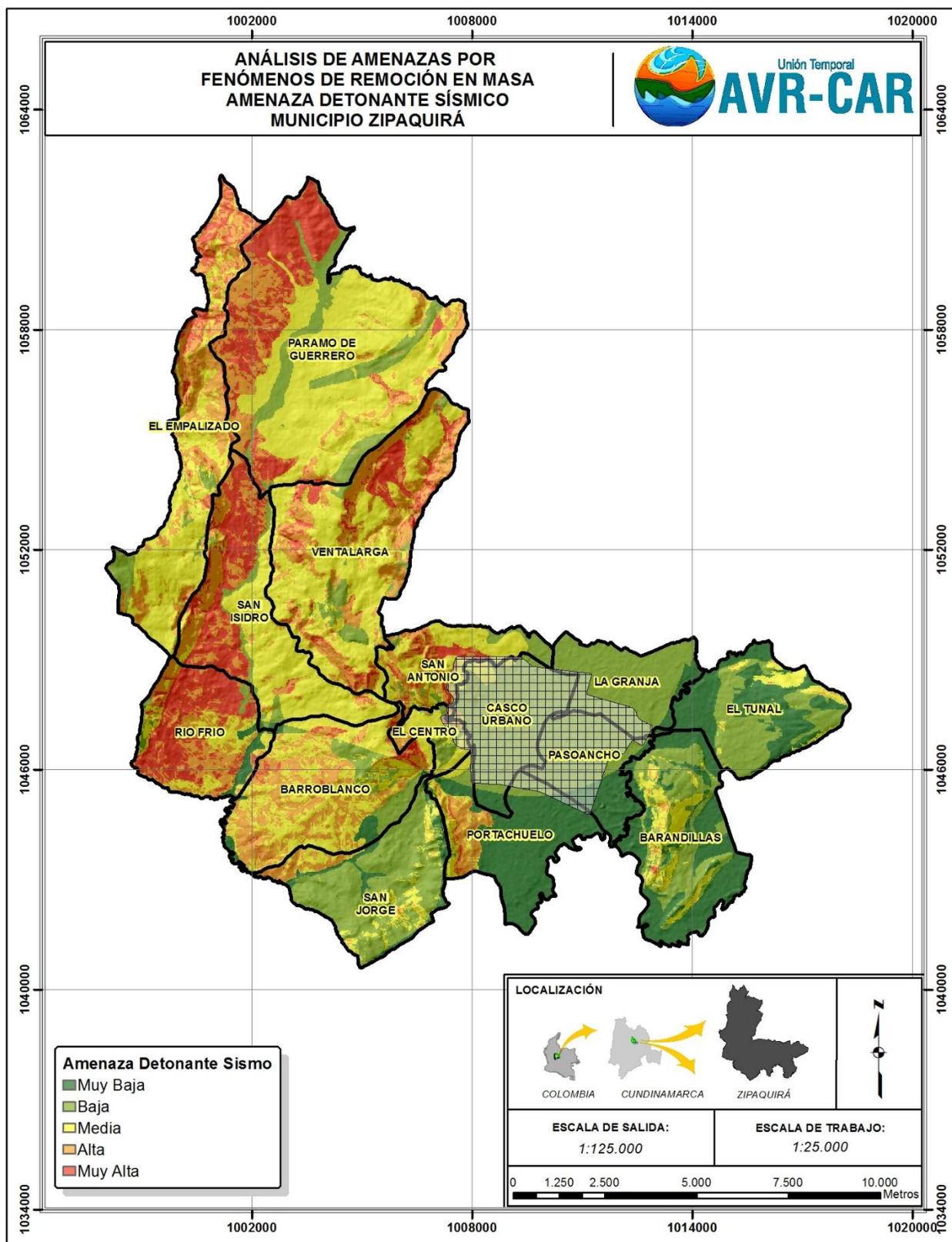
Fuente: INGEOMINAS 2009

Figura 3.47. Mapa de calificación variable Detonante Sismo.



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

Figura 3.48. Mapa factor de sismo municipio Zipaquirá.



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

### 3.5 ANÁLISIS DE LA AMENAZA

El análisis de la amenaza por fenómenos de remoción en masa, fundamenta su estructura en la consolidación de aquellas variables que intervienen en la identificación de las zonas con oscilaciones morfogenéticas y la localización de los movimientos en masa en ladera sobre el área de evaluación. En consecuencia dicha consolidación se ve reflejada en la zonificación de la susceptibilidad del terreno a los eventos de remoción, por lo tanto la susceptibilidad se establece como la base estructural del análisis de amenaza, correlacionando el comportamiento que tendrá a partir de su exposición a dos escenarios detonantes. En tal sentido, se define la variable detonante clima como primer escenario de amenaza y detonante sismo como segundo escenario de injerencia.

En el escenario evaluativo contemplado por detonante climático, es preciso subrayar, que el factor extrínseco que interviene como medio potenciador de las probabilidades de ocurrencia, se relaciona ampliamente con la variación de los niveles de precipitación, por lo tanto se han estimado niveles máximos de precipitación en 24 horas, con periodos de retorno u ocurrencia de 50 años. En el municipio Zipaquirá la precipitación máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 50 años corresponde al rango comprendido entre 79,1727 mm y 95,1578 mm, clasificado en 5 intervalos y con clasificación muy baja para 1 y baja para 2; estos valores corresponden a los niveles de precipitación localizados dentro del límite municipal.

La exposición de la susceptibilidad a este primer escenario arroja como resultado la amenaza por detonante clima, cuyo cálculo corresponde a la adición a las dos variables que se relacionan en la siguiente ecuación:

$$A_c = S + F_c$$

Dónde:

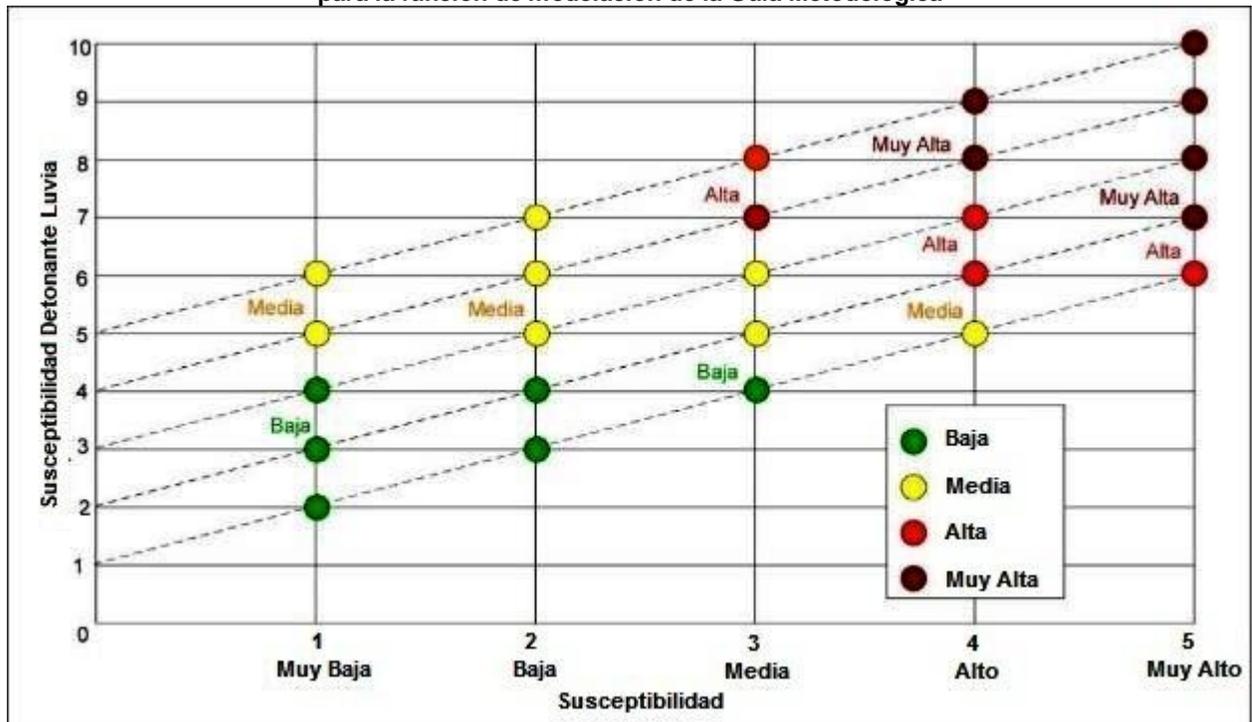
*A<sub>c</sub> = Amenaza por detonante clima.*

*S = Susceptibilidad del terreno a los movimientos en masa*

*F<sub>c</sub> = Factor clima calificado*

Los valores obtenidos de amenaza por detonante clima o sismo oscilan entre 2 y 10 debido a que tanto la calificación del detonante como la de la susceptibilidad varían entre 1 y 5. El mapa de amenazas por movimientos en masa detonados por el factor clima es clasificado con base en la susceptibilidad, tal como aparece en la **Figura 3.49**.

Figura 3.49 Clasificación del mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa detonados por lluvia para la función de modelación de la Guía Metodológica



Fuente: INGEOMINAS (2001).

En el escenario evaluativo contemplado por detonante sismo, es decir el escenario con la capacidad de influir sobre los esfuerzos cortantes de las unidades de deslizamiento mediante actividad sísmica, el municipio Zipaquirá presenta calificaciones 1 y 2 dentro de un rango clasificatorio de 1 a 5, donde 1 es la menor clasificación y 5 la mayor.

La exposición de la susceptibilidad a este segundo escenario arroja como resultado la amenaza por detonante sismo, cuyo cálculo corresponde a la adicción de las dos variables que se relacionan en la siguiente ecuación:

$$A_s = S + F_s$$

Dónde:

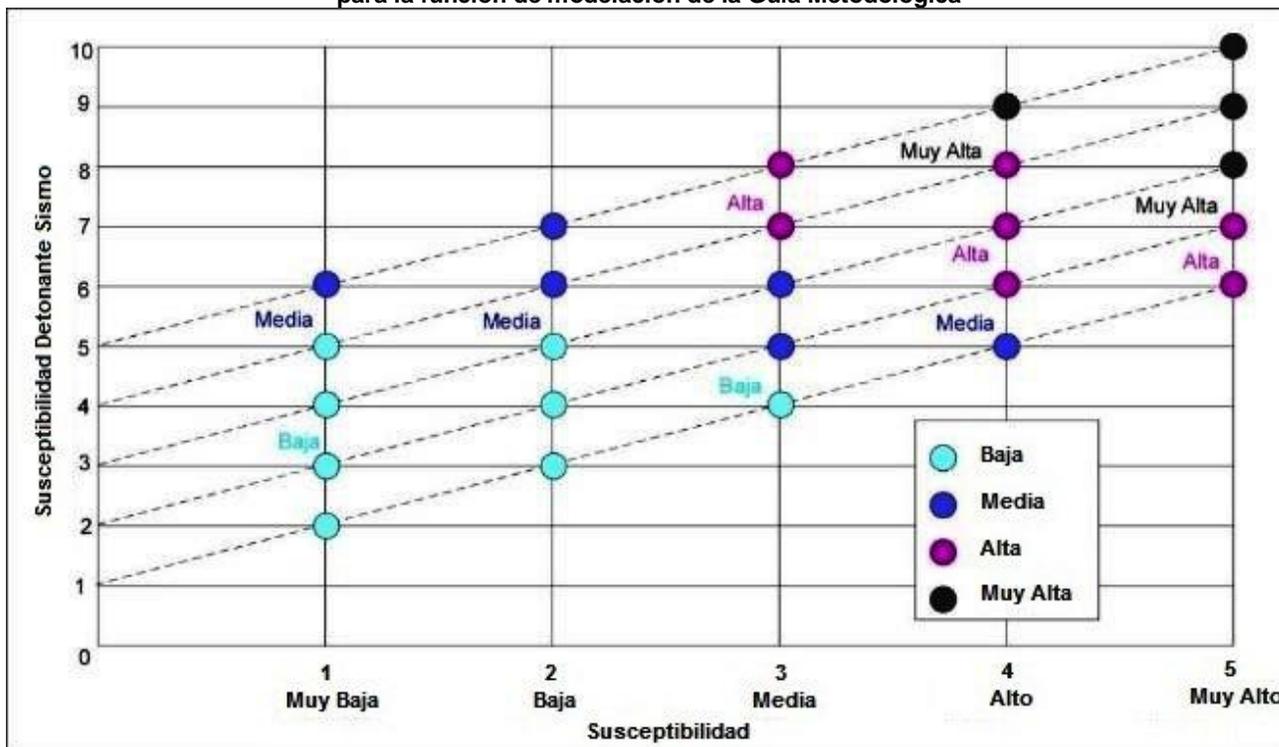
$A_s$  = Amenaza por detonante sismo.

$S$  = Susceptibilidad del terreno a los movimientos en masa

$F_s$  = Factor sismo calificado y clasificado

El mapa de amenazas por movimientos en masa detonados por el factor clima es clasificado con base en la susceptibilidad, tal como aparece en la Figura 3.50

**Figura 3.50. Clasificación del mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa detonados por sismo para la función de modelación de la Guía Metodológica**



Fuente: INGEOMINAS (2001).

La zonificación de las amenazas por detonante sismo y por detonante clima se constituyen como el insumo para el cálculo de la susceptibilidad total; planteados ambos escenarios, se establece la adición entre ambas variables:

$$AT = Ac + As$$

Donde:

*AT = Amenaza Total.*

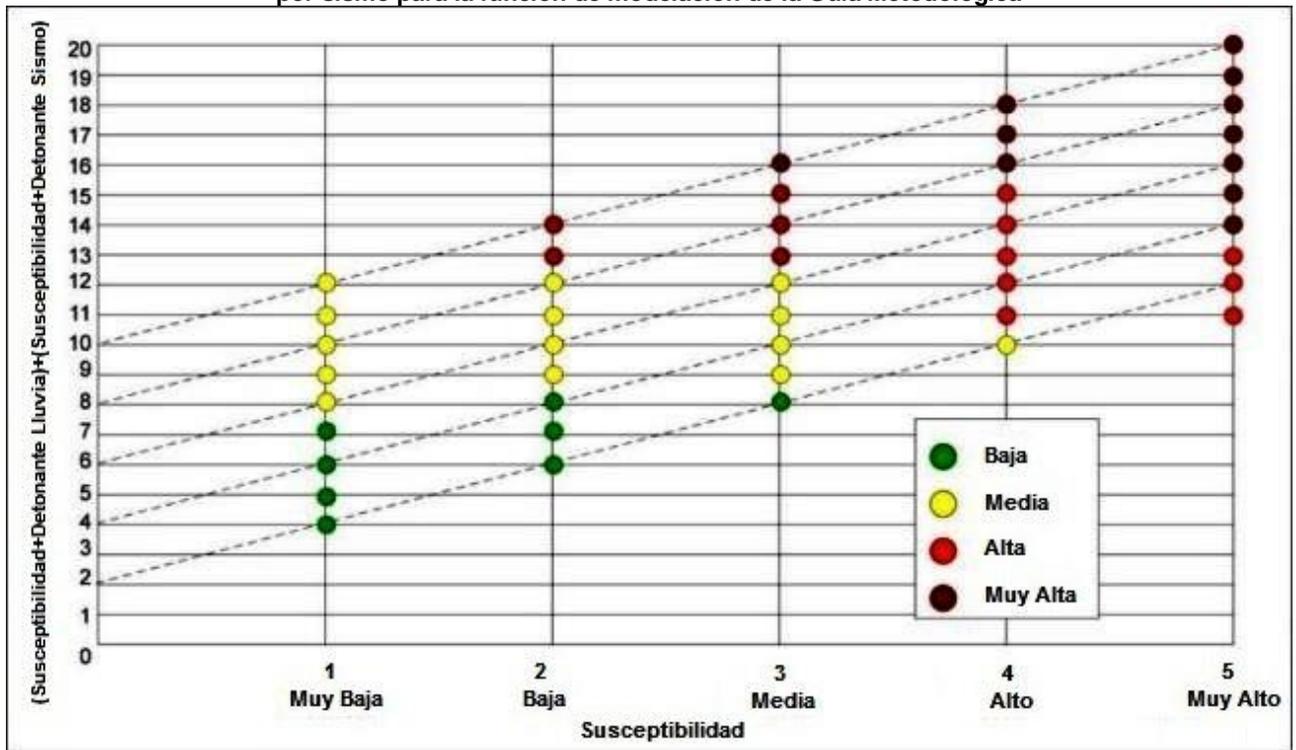
*Ac = Amenaza por detonante clima clasificado*

*As = Amenaza por detonante sismo clasificado*

Con el fin de facilitar la interpretación, proyección y utilidad como elemento de planificación territorial, la amenaza total tendrá en cuenta un criterio de clasificación de tres rangos: Bajo, Medio y Alto.

La clasificación del mapa de amenaza total se calcula con cuatro categorías de amenaza Baja, Media, Alta y Muy Alta, adaptada de INGEOMINAS (2009).

**Figura 3.51. Clasificación del mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa detonados por sismo para la función de modelación de la Guía Metodológica**



Fuente: INGEOMINAS (2009).

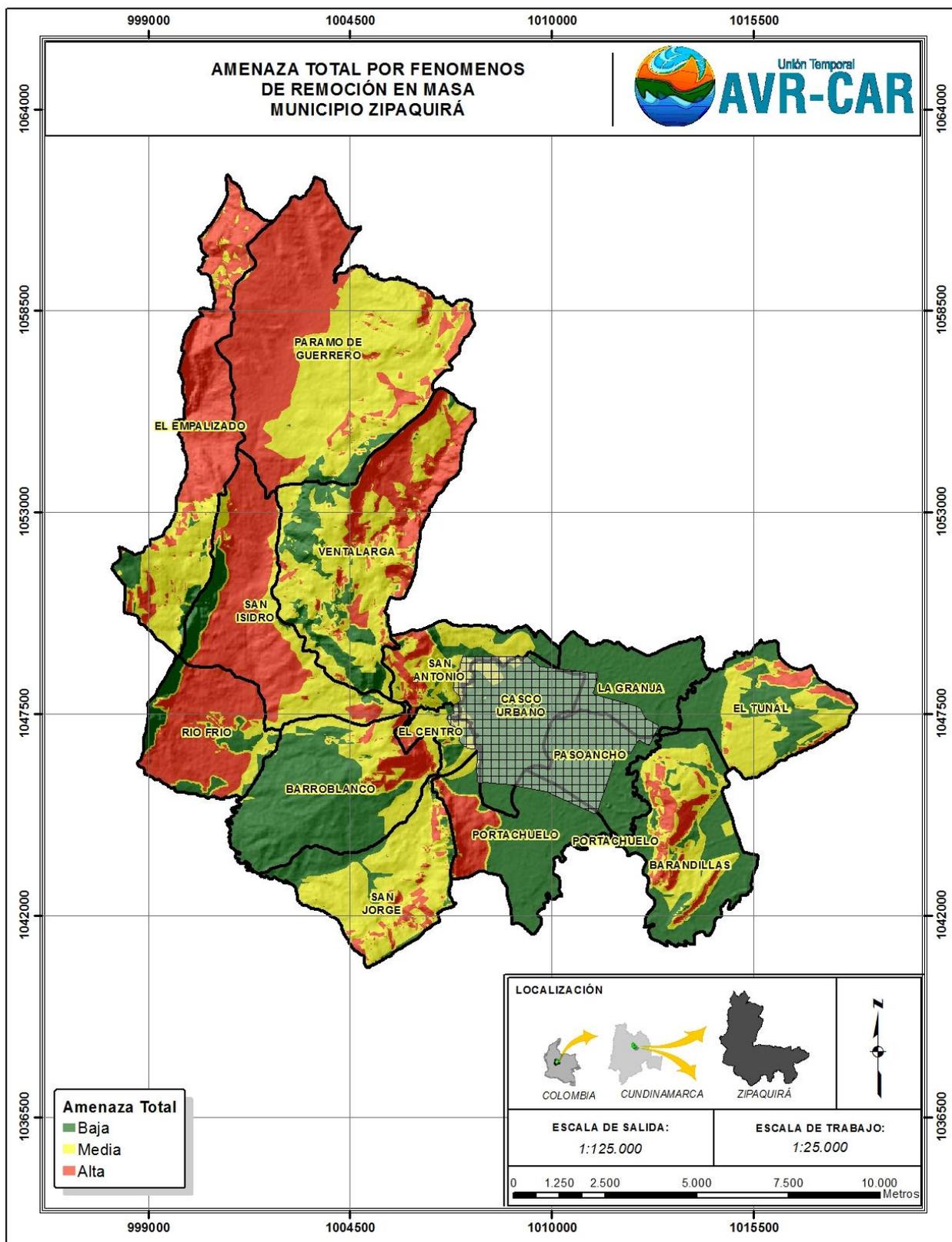
### 3.6 ESCENARIO DE AMENAZA RELATIVA

De acuerdo con la metodología establecida, los mapas de amenaza relativa son el resultado de la suma del mapa de susceptibilidad y el mapa de cada factor detonante.

De esta forma, se obtuvieron dos escenarios de amenaza, el primero detonado por factores climáticos y el segundo detonado por el factor de sismo. Estos mapas se presentan en la Figura 3.46 y en la Figura 3.48 respectivamente.

A su vez, la amenaza relativa total por fenómenos de remoción en masa se obtuvo mediante la suma de los mapas de amenaza detonados por factores climáticos y detonados por el factor de sismo. Este mapa de amenaza se presenta en la Figura 3.52.

Figura 3.52. Mapa de amenaza total relativa por fenómenos de remoción en masa



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

Para facilitar la interpretación del mapa de amenazas se tendrán en cuenta 1 criterio de clasificación en los que se manejarán 3 rangos: bajo, medio y alto. Con el objetivo que el análisis sea conveniente para el planeamiento, ejecución de obras, entre otros; que se vaya a realizar en el municipio.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la **Figura 3.53** se describen las categorías de Amenaza Total por fenómenos de remoción en masa.

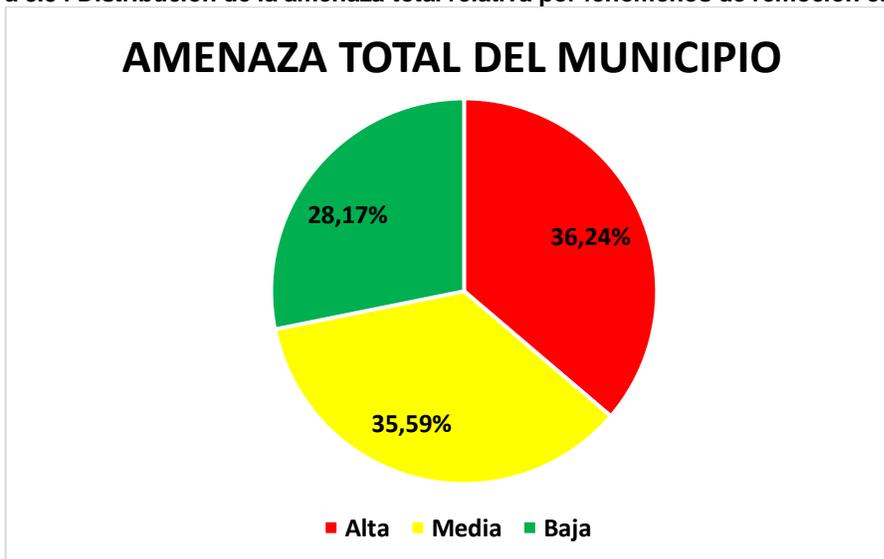
**Figura 3.53. Descripción de las categorías de amenaza total.**

CATEGORÍAS AMENAZA	DESCRIPCIÓN
<b>BAJA</b>	Amenaza no detectada. Identifica todas aquellas áreas que son menos susceptibles al desarrollo de FRM, existe muy poca evidencia de inestabilidades, corresponde con áreas de morfología suave a casi plana, o sectores con una condición geotécnica excepcional.
<b>MEDIA</b>	Exposición directa o indirecta a la amenaza. Corresponde a las áreas con susceptibilidad media a la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, por causas naturales o antrópicas, esta asociada a geoformas de orden denudacional y estructural, en macizos rocosos de calidad media, o depósitos antiguos con o sin evidencias de movimientos en masa hoy día estabilizados, asociados a pendientes medias, con cubiertas vegetales arbustivas, cultivos, pastos y eventuales bosques. Zona de moderada restricción y sensibilización.
<b>ALTA</b>	Exposición directa a la amenaza. Zonifica todas aquellas áreas donde existe una alta susceptibilidad al desarrollo de FRM bien sea por causas naturales o antrópicas, están asociadas a macizos rocosos de muy pobres características geotécnicas afectados por una alto fracturamiento y/o plegamiento, también a depósitos de vertiente con evidencias recientes de actividad, los materiales suelen encontrarse saturados durante la mayor parte del año. La cobertura vegetal corresponde a zonas intervenidas o con coberturas de pastos y monocultivos, asociados a pendientes medias a fuertes. Categoriza la zona de prohibición e intervención inmediata.

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el municipio presenta un 28,17% de su territorio en amenaza baja, un 35,59% en amenaza media y un 36,24% en amenaza alta por fenómenos de remoción en masa, tal como se presenta en la **Figura 3.54**.

**Figura 3.54 Distribución de la amenaza total relativa por fenómenos de remoción en masa**



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

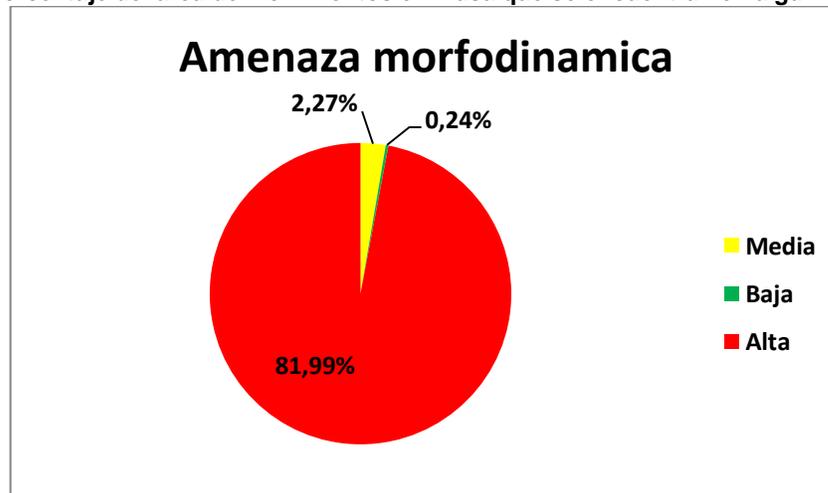
### 3.6.1 Validación de la amenaza relativa

La validación de la amenaza relativa total se realiza comparando el mapa de amenaza obtenido con el mapa de deslizamientos y zonas identificadas geomorfológicamente como resultado de movimientos en masa.

Esta comparación arrojó los siguientes resultados:

El 81.99% del total del área de movimientos en masa identificada se encuentra en amenaza alta, el 2.27% en amenaza media y el 0.24% en amenaza baja, tal como se presenta en la **Figura 3.55**. Así mismo la zona de laderas coluviales y onduladas del municipio quedaron categorizadas como amenaza alta principalmente, estos valores pueden interpretarse como la susceptibilidad del territorio ante un detonante sismo de generar licuación de suelos. Implica para desarrollos de infraestructura la ejecución de análisis detallados de la geotecnia local.

**Figura 3.55. Porcentaje del área de movimientos en masa que se encuentran en algún tipo de amenaza**



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

Teniendo en cuenta el aspecto geomorfológico, las unidades con mayor área identificada con presencia de procesos de remoción en masa corresponden a ladera ondulada y glacis de acumulación con el 27.97% y 27.12% respectivamente. El análisis obtenido de esta variable con el mapa de amenazas relativa total arrojó que la zona de amenaza alta predominan las unidades geomorfológicas deslizamientos indiferenciados (Ddi) y laderas de contrapendiente (Ssslc) con el 26% y 16% respectivamente.

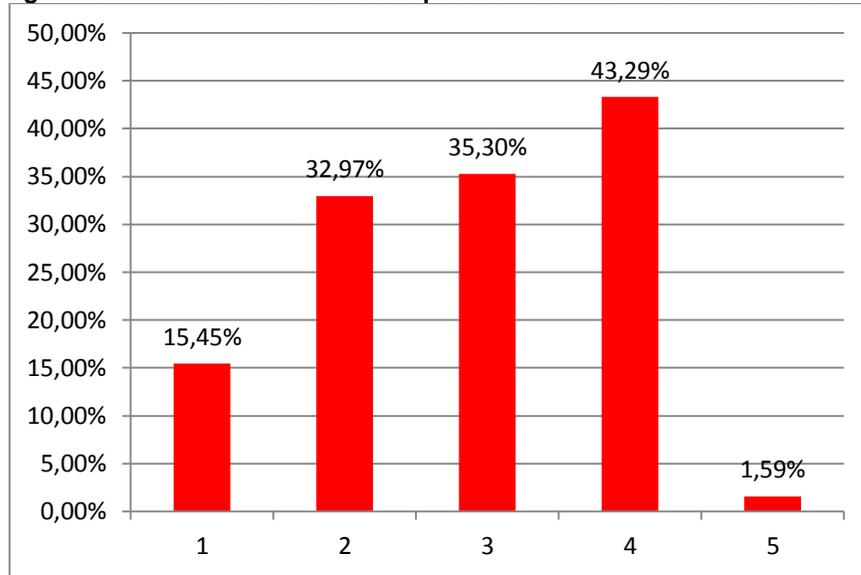
Teniendo en cuenta la geología, las unidades geológicas predominantes en zonas de amenaza alta son K2E1g y Q1f con el 33.66% y 12.62% respectivamente. Al comparar las unidades geológicas con mayor presencia de procesos de remoción en masa identificados, estos se encuentran principalmente en Qal y Qc con el 37% y 28% respectivamente.

Si se tiene en cuenta la variable cobertura, los movimientos en masa identificados se encuentran principalmente en pastos y cultivos de clima frío y rastrojos y arbustales con el 41.22% y 14.24% respectivamente. Los resultados de la zonificación de la amenaza relativa total identifican que las zonas de amenaza alta predominan las zonas con pastos enmalezados y rastrojos y arbustales con el 17% y 14% respectivamente.

A su vez, los movimientos en masa identificados predominan los rangos de pendiente entre el 25% y el 75%, con un porcentaje del 43.29%. A su vez, la zonificación de la amenaza predomina este mismo rango de pendiente con un porcentaje del 34%.

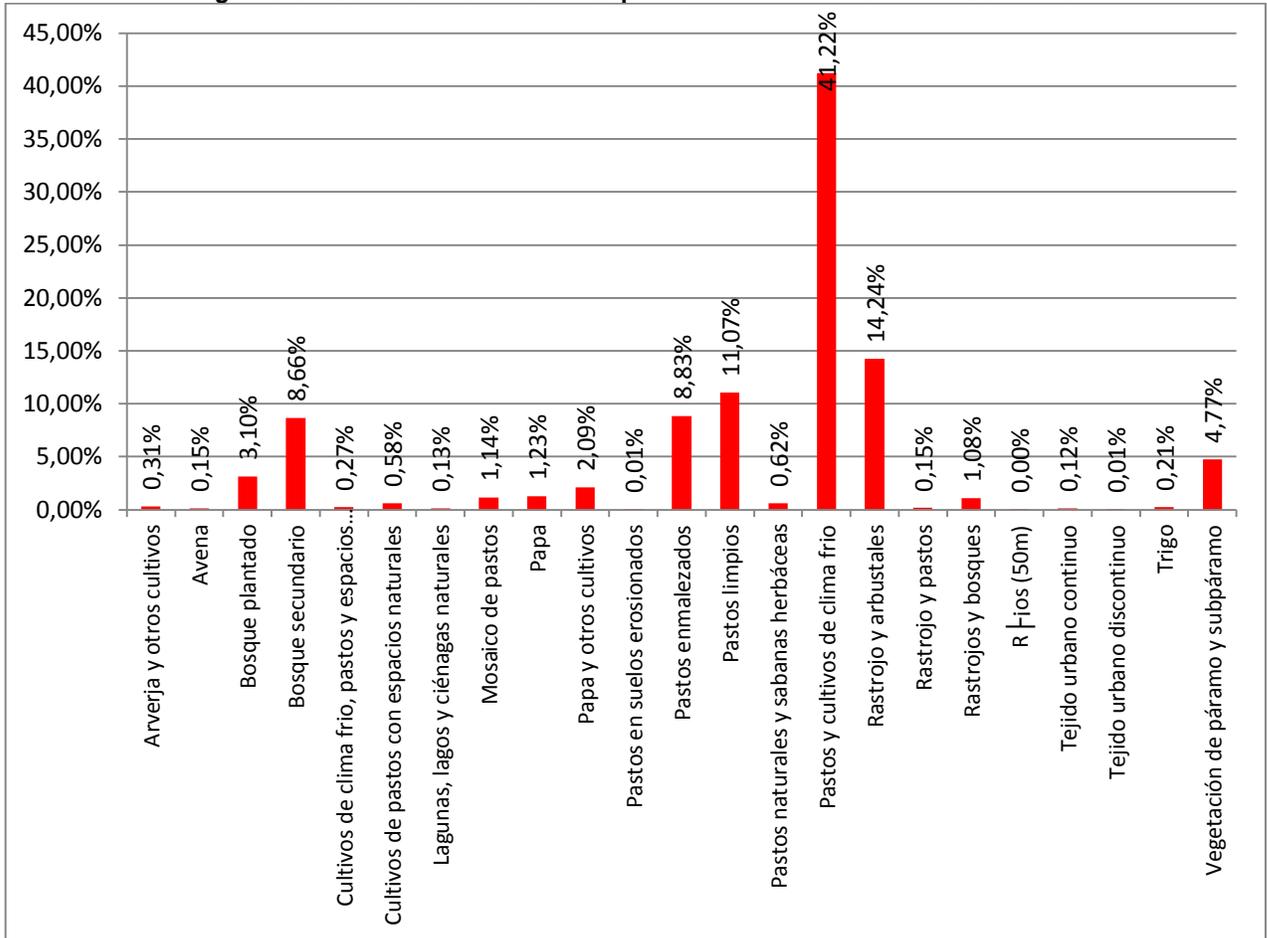
En las siguientes figuras se puede apreciar el predominio de las variables pendiente, cobertura, geología y geomorfología de acuerdo con el grado de amenaza.

**Figura 3.56 Caracterización temática para el nivel de amenaza alta. Pendiente.**



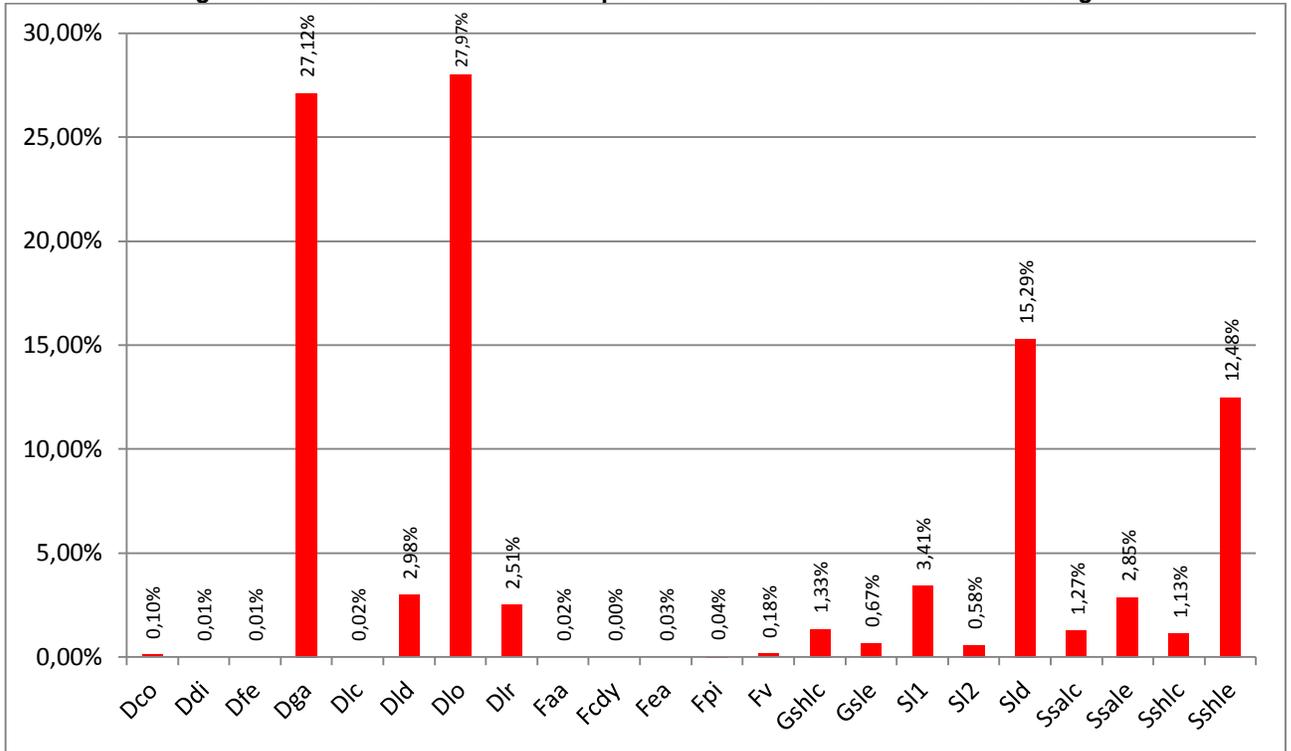
Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

**Figura 3.57. Caracterización temática para el nivel de amenaza alta. Cobertura.**



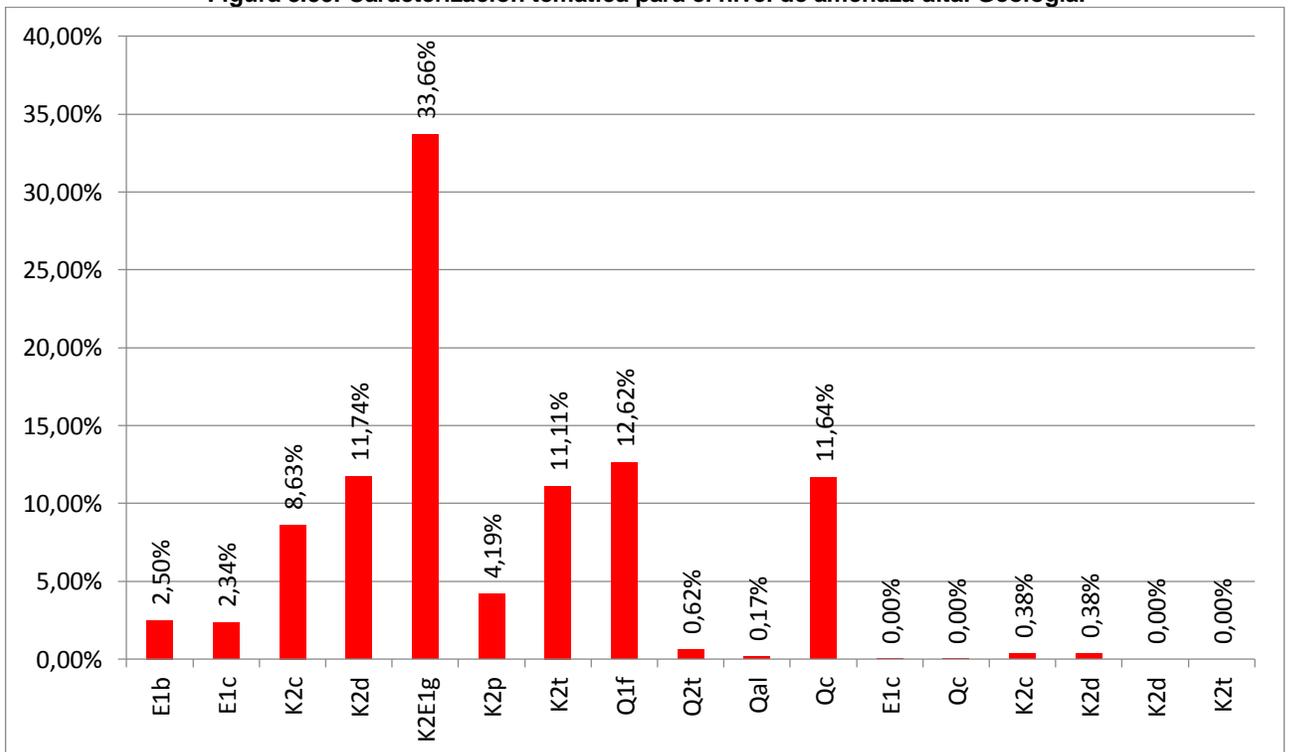
Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

**Figura 3.58. Caracterización temática para el nivel de amenaza alta. Geomorfología.**



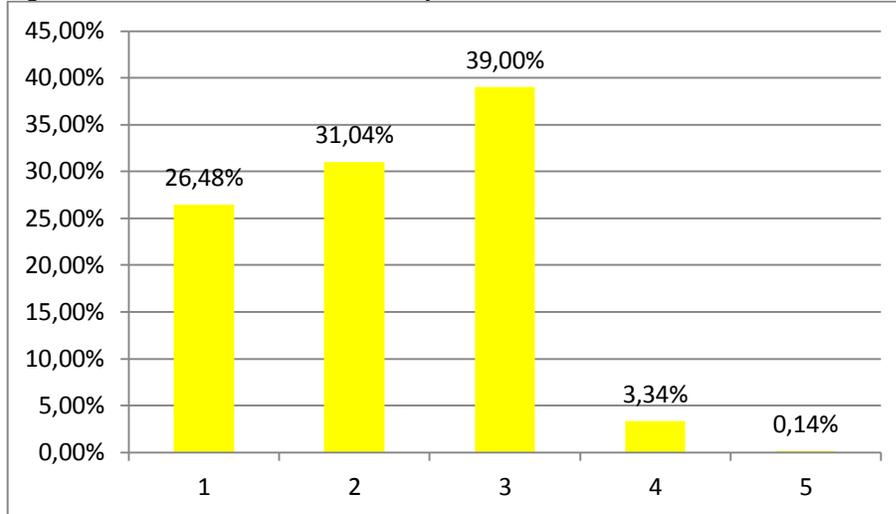
Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

**Figura 3.59. Caracterización temática para el nivel de amenaza alta. Geología.**



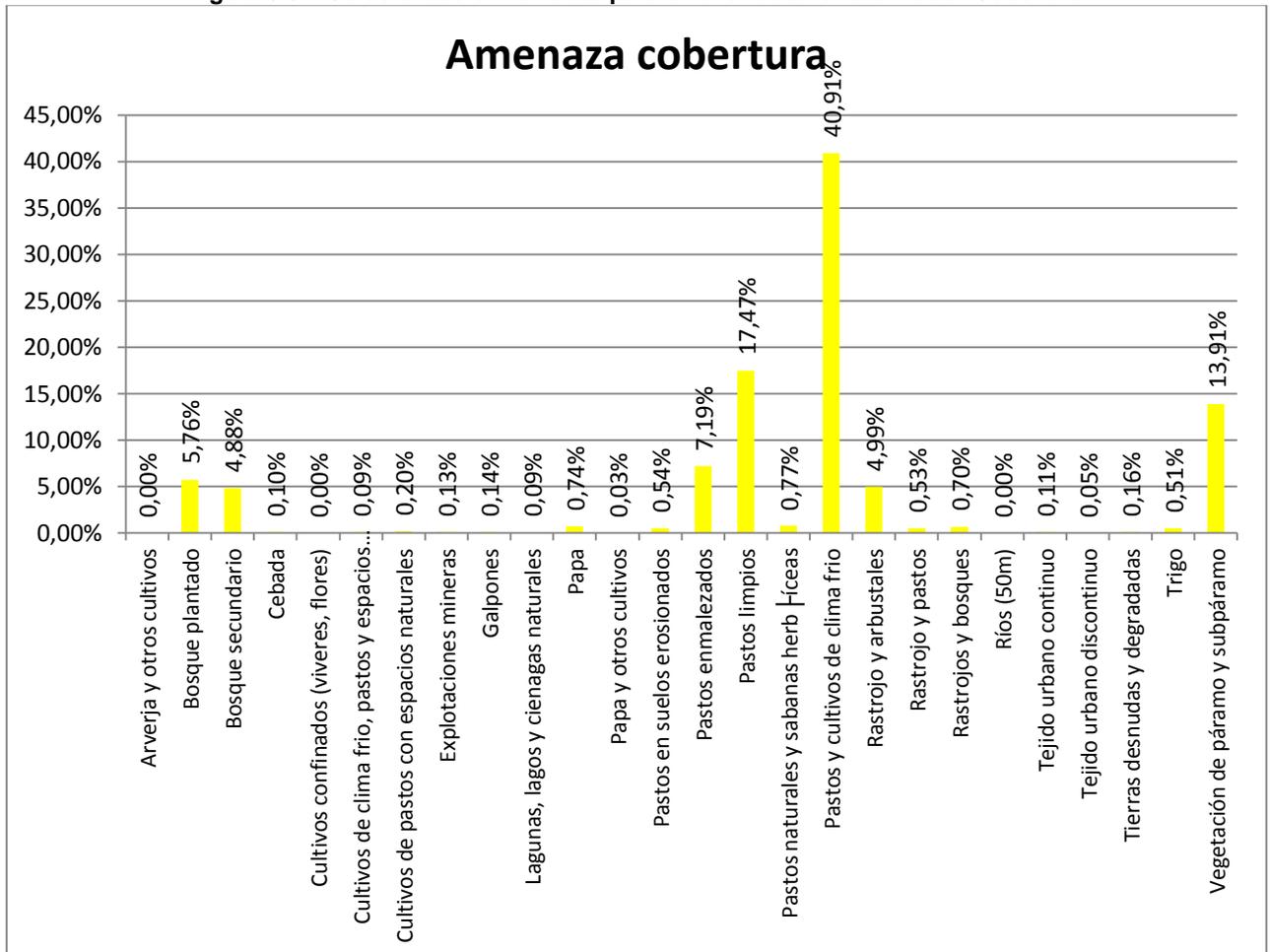
Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

**Figura 3.60 Caracterización temática para el nivel de amenaza media. Pendiente.**



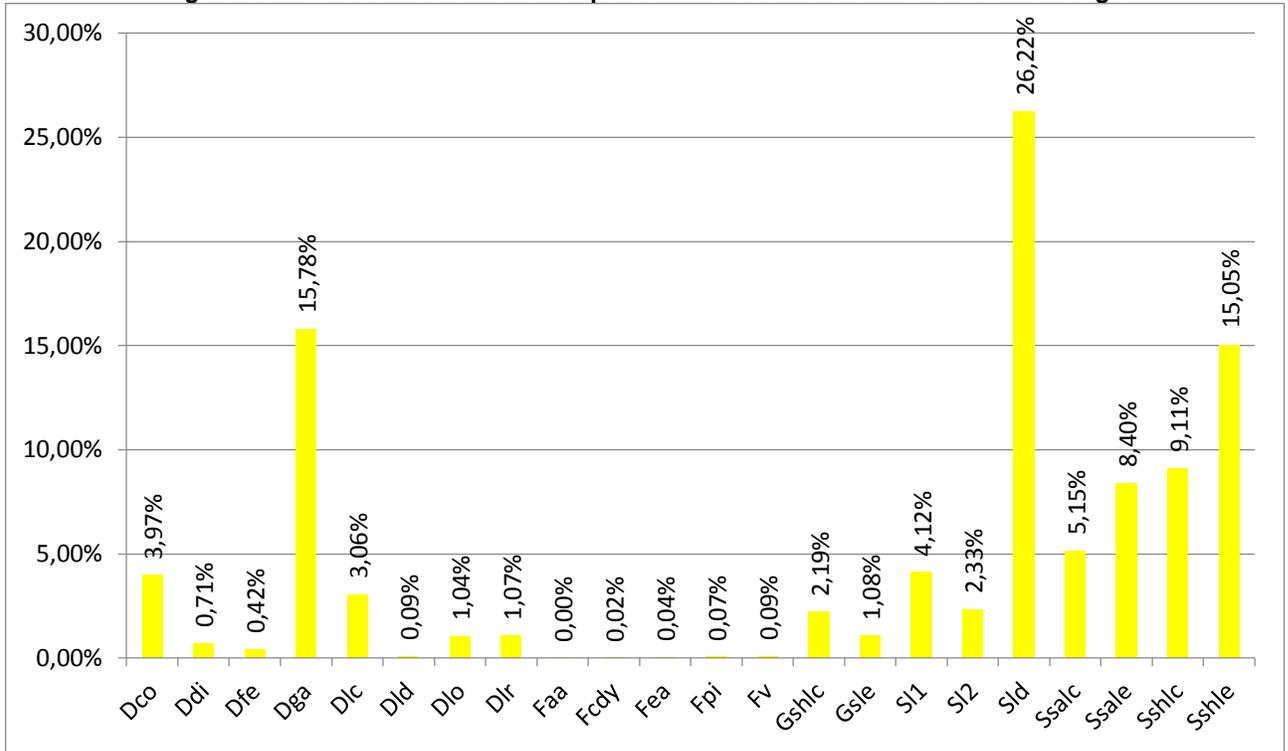
Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

**Figura 3.61. Caracterización temática para el nivel de amenaza media. Cobertura.**



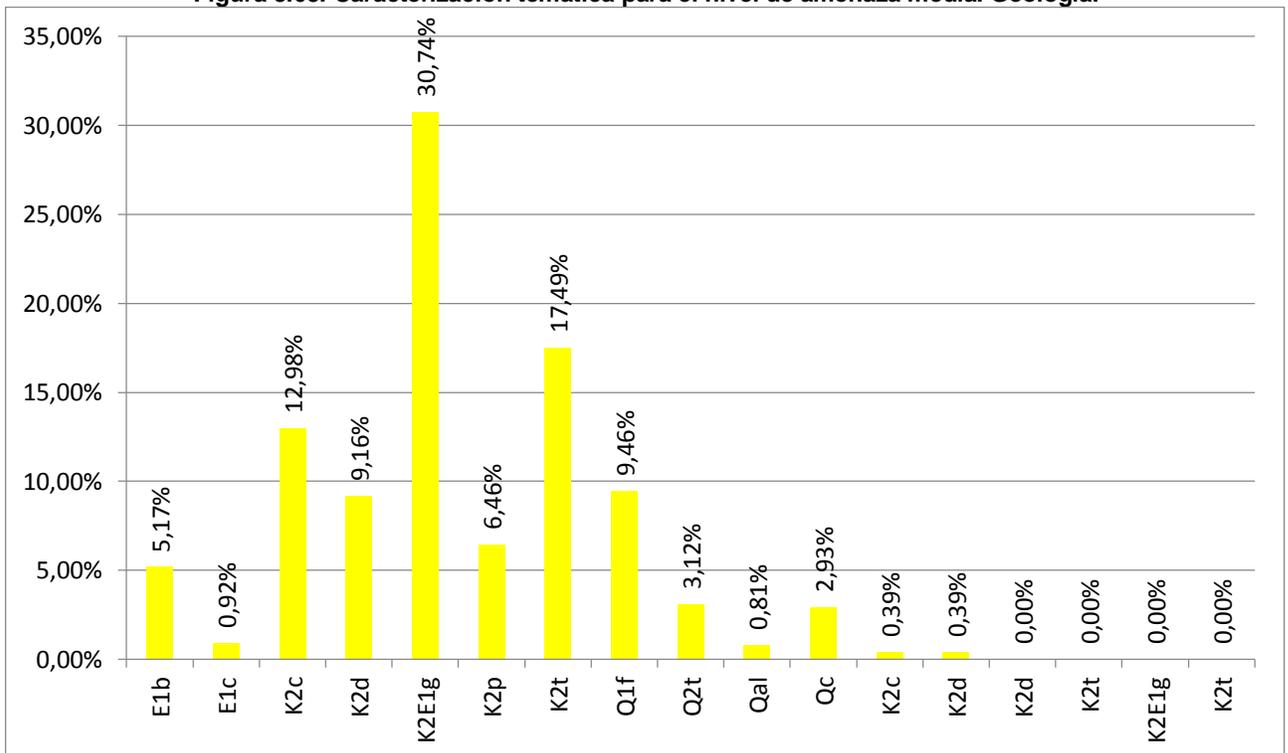
Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

**Figura 3.62. Caracterización temática para el nivel de amenaza media. Geomorfología**



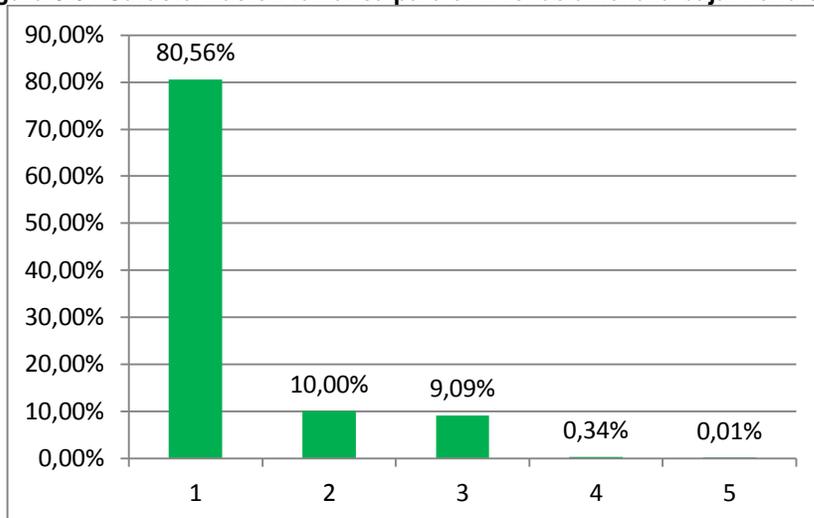
Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

**Figura 3.63. Caracterización temática para el nivel de amenaza media. Geología**



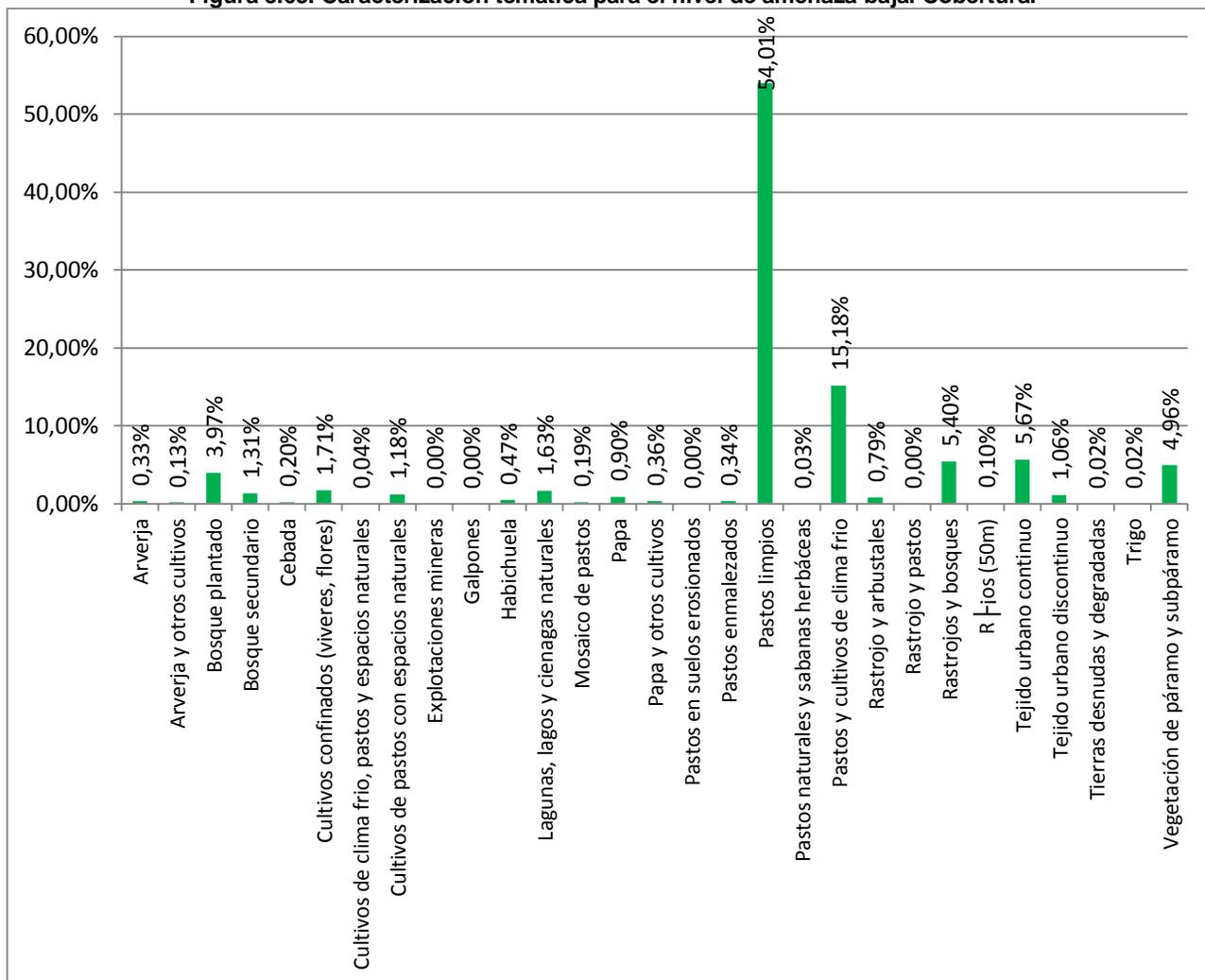
Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

**Figura 3.64 Caracterización temática para el nivel de amenaza baja. Pendiente.**



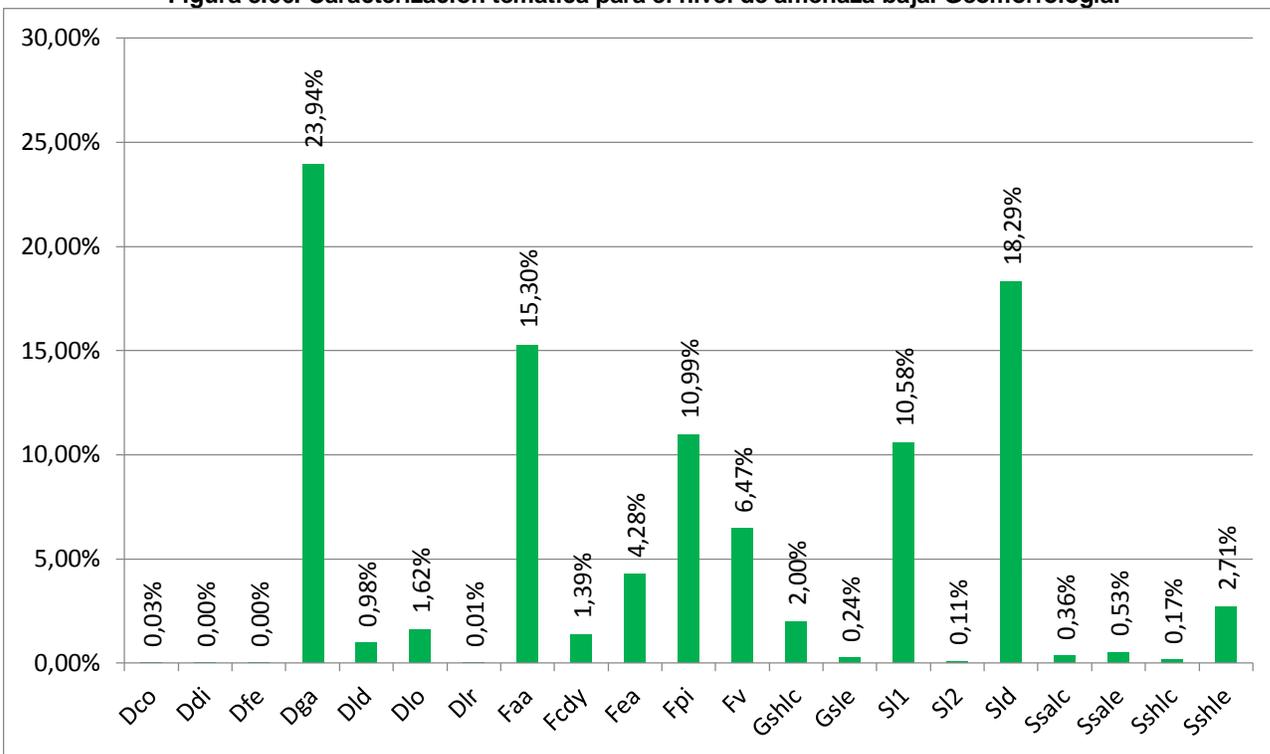
Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

**Figura 3.65. Caracterización temática para el nivel de amenaza baja. Cobertura.**



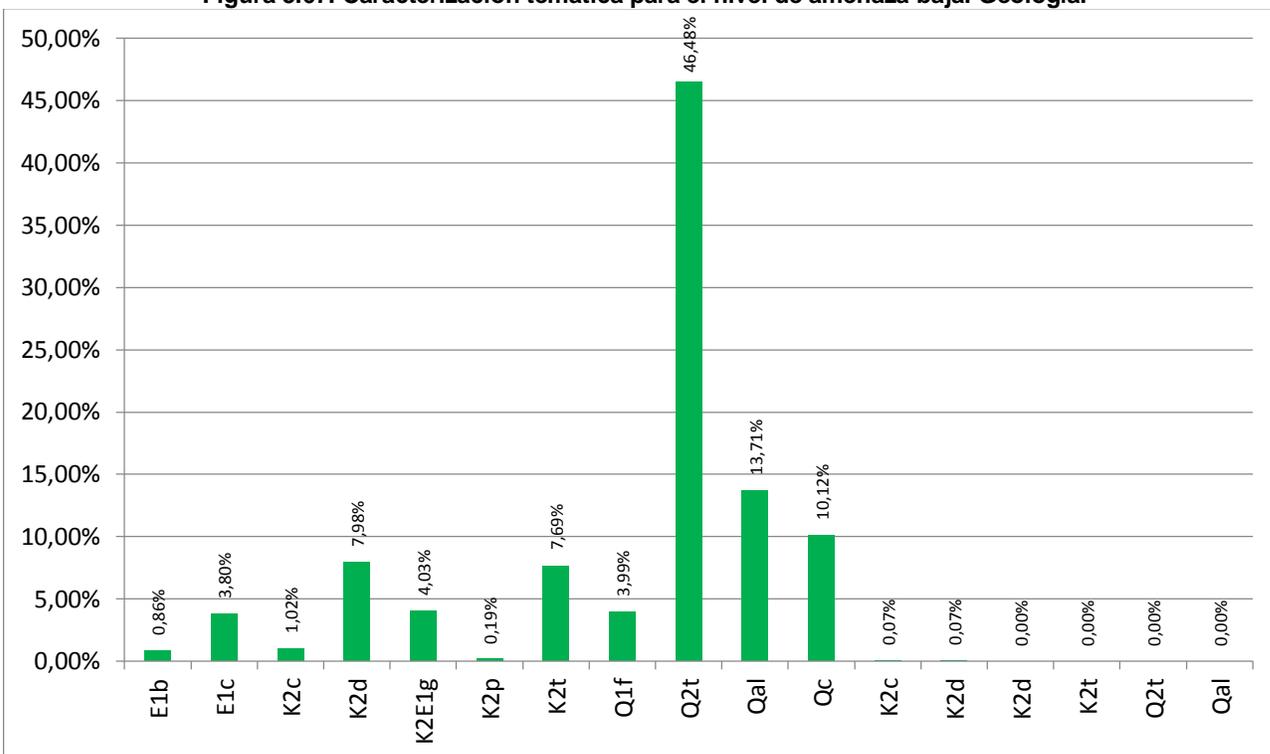
Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

**Figura 3.66. Caracterización temática para el nivel de amenaza baja. Geomorfología.**



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

**Figura 3.67. Caracterización temática para el nivel de amenaza baja. Geología.**



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

## 4 ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD

Una zona vulnerable es aquella que aparece expuesta a un fenómeno con potencialidad destructora, a partir de esta premisa se han desarrollado ejercicios de planificación territorial que involucran los análisis de amenaza, y vulnerabilidad, para estimar posibles pérdidas. Se evalúan en el presente documento desde el ámbito rural, en el cual la vulnerabilidad física adquiere una dimensión menor a la vulnerabilidad económica, es el medio de producción, y la red vial que permite su comercialización, los que mayor relevancia poseen, por ello para analizar la vulnerabilidad rural en la escala 1:25000, se contemplaron como elementos expuestos aquellos que se encuentren dentro de la descripción de las coberturas adaptadas para Colombia a través de la Metodología de Corine Land Cover, suministrada por la CAR, la infraestructura y la densidad poblacional calculada a nivel veredal.

La vulnerabilidad tiene dos elementos primordiales para su evaluación: el elemento externo, de las convulsiones y presión a la cual está sujeto un individuo, familia o territorio; y una parte interna, que es la indefensión, esto es, una falta de medios para afrontar la situación sin pérdidas perjudiciales, y que se aborda desde la óptica social.

La vulnerabilidad social es compleja y está formada por varias dimensiones, pues confluyen aspectos relacionados con los hogares, los individuos, como así por las características ambientales, económicas, culturales y políticas de la sociedad. Estas dimensiones están relacionadas con el hábitat (medio ambiente y vivienda, tipología, hacinamiento, tenencia), el capital humano (salud, educación y trabajo), la dimensión económica (empleo, desempleo e ingresos), el capital social (participación política, comunitaria, gremial) y las redes de protección social (sistemas de pensiones, cobertura de seguridad social).

Nivel de riesgo que afronta un territorio, familia o individuo a perder la vida, sus bienes y propiedades o funciones ecosistémicas y económicas en el caso del territorio, y su sistema de sustento ante una posible catástrofe, dependen del factor vulnerabilidad.

Una contribución esencial del concepto de vulnerabilidad consiste en que nos ayuda a comprender las crisis humanitarias no como fenómenos puntuales, espontáneos e inevitables, sino como el resultado de causas estructurales y procesos de largo y medio plazo, muchos de ellos modificables por la acción humana. Así el grado de vulnerabilidad de un grupo humano es el principal determinante de que una amenaza natural (FRM, o inundación principalmente) pueda activar un desastre, esto es, un proceso de desestructuración y convulsión socioeconómica, con graves secuelas humanas y materiales (pérdidas económicas, miseria, epidemias, desplazamiento, etc.). De esta forma, la vulnerabilidad constituye el punto de partida sobre el que se puede desencadenar un proceso de desastre, que a partir de la clásica ecuación se podría modificar así:

$$\text{RIESGO} = (\text{AMENAZA} \times \text{VULNERABILIDAD}) - \text{ESTRATEGIAS DE AFRONTAMIENTO.}$$

### 4.1 VULNERABILIDAD TOTAL

El desarrollo de los documentos y mapas de vulnerabilidad parten del insumo principal que es la cobertura vegetal y la identificación de Zonas Rurales Homogéneas (ZHR): la zonificación rural a partir de los tipos de cultivos, bosques, densidad de vegetación mediante una reclasificación del mapa de cobertura y uso obtenido.

#### 4.1.1 Proceso de generación de los mapas

El cálculo de la vulnerabilidad total por fenómenos de remoción en masa se llevó a cabo a partir de la configuración de una matriz de daño relacionada en la **Tabla 4.3**. Que toma en cuenta elementos que se ven expuestos y que son de fundamental importancia para la comunidad en general y para los aspectos socioeconómicos y ecosistémicos del municipio.

Los elementos a tener en cuenta para la elaboración del mapa de vulnerabilidad total corresponden a unidades cuyas características se relacionan con áreas de producción agrícola, bosques y áreas de vegetación herbácea y arbustiva, asentamientos humanos, áreas protegidas e infraestructura, que relacionados con su posición (relieve, fisiografía) generan unidades de paisaje, que pueden asimilarse como zonas físicas homogéneas.

En consecuencia, el mapa de vulnerabilidad total resulta de la intersección de las capas vulnerables y el proceso posterior de calificación y cálculo según el resultado de sus respectivos índices y tasas de daño; finalmente los resultados se categorizan según la **Tabla 4.5**. Para este proceso se tiene en cuenta la red vial del municipio, la vulnerabilidad económica en relación a los cultivos, las áreas protegidas, la vegetación herbácea y arbustiva, el casco urbano y los centros poblados. Para el proceso de intersección de capas no se tiene en cuenta la vulnerabilidad social, esta se tiene en cuenta para la evaluación del riesgo.

Las zonas homogéneas resultaron del cruce de las capas de cobertura y uso, ambientes geomorfológicos y el mapa de pendientes.

Cada uno de estos elementos se ven sometidos a un índice de daño según su ubicación en zonas de amenaza baja, media y alta; cada categoría de amenaza le asigna al elemento en su localización el respectivo índice. Para llevar a cabo la respectiva asignación cada capa vulnerable pasa por un proceso de intersección con la amenaza total de fenómenos de remoción en masa. Para el cálculo total de la vulnerabilidad se suman los índices de daño de cada elemento y se categoriza según los rangos de la **Tabla 4.1**. La ecuación que da como resultado la sumatoria de los índices de daño y por lo tanto la vulnerabilidad total corresponde a:

$$VT = ID_{In} + ID_{AA} + ID_{Ap} + ID_{AH} + ID_{BV}$$

Dónde:

$VT = Vulnerabilidad Total$

$ID_{In} = Índice de daño Infraestructura$

$ID_{AA} = Índice de daño Áreas Agrícolas$

$ID_{Ap} = Índice de daño Áreas Protegidas$

$ID_{AH} = Índice de daño Asentamientos Humanos$

$ID_{BV} = Índice de daño Bosques y vegetación herbácea y arbustiva$

#### 4.1.2 Evaluación del proceso de daño

Se denomina como proceso de daño la forma como se manifiesta físicamente cualquier evento en un espacio específico. Por ejemplo, una inundación originada por el desbordamiento de un cauce, el ascenso del mar en una zona costera, la ruptura de una obra hidráulica o una intensa lluvia en un área con poca capacidad de drenar, puede afectar a viviendas, vías y cultivos según la situación:

Arrastre, presiones laterales del material, presión hidrostática, aplastamiento y altos grados de contaminación por una lámina de agua que supera los 1.5 metros de altura, con velocidades altas (> 1.5 m/seg). Esto es característico de las zonas de descarga de las avenidas torrenciales, las zonas de ablución en los ríos de planicie y la zona cercana de la rotura de diques.

Presiones hidrostáticas, contaminación por calidad del agua por lámina de agua con baja velocidad y con permanencia mayor a un mes. Para las áreas naturales de amortiguación que aún conservan su función estos eventos no son amenaza sino parte de la dinámica natural y deben ser evaluados como tal.

Para evaluar adecuadamente, la posibilidad de daño de manera cualitativa se debe indicar sobre cada mapa de manifestación, la forma física como se manifiesta el evento (impacto, presión lateral, pérdida de soporte, presiones hidrostáticas, arrastre, inmersión, enterramiento).

Los procesos de daños identificados para movimientos en masa en el área de estudio se catalogan como:

- Caídos
- Deslizamientos

#### 4.1.3 Caracterización en áreas expuestas (elementos) a evaluar

La evaluación de los daños y pérdidas por eventos y procesos amenazantes en la cuenca hidrográfica, se realiza tomando como referencias las unidades de coberturas y uso del suelo de acuerdo con la metodología de Corine Land Cover, siguiendo las categorías y niveles que pueden ser cartografiables en cada POMCA.

La naturaleza del daño de los elementos expuestos está en función del objetivo del Plan de Ordenamiento, el cual busca mantener el equilibrio entre el aprovechamiento social y económico de los recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca, y particularmente del recurso hídrico.

A cada una de las categorías de áreas a evaluar se le asigna un atributo de acuerdo con su importancia: importancia estratégica para la conservación y la prestación de los servicios ecosistémicos y ambiental, funcionalidad en el territorio, la localización segura y la sostenibilidad de las actividades productivas.

En la **Tabla 4.1** se presenta las categorías de elementos y su naturaleza de daño a evaluar.

**Tabla 4.1** Categorías de elementos a evaluar según la naturaleza del daño

Categorías de elementos a evaluar	Naturaleza del daño
Áreas de importancia estratégica para la conservación y la biodiversidad	Sostenibilidad ambiental
Asentamientos urbanos	Localización segura
Áreas agrícolas	Sostenibilidad económica
Áreas industriales y comerciales	Sostenibilidad económica
Áreas minero- energética	Sostenibilidad económica
Infraestructura estratégica	Funcionabilidad del territorio
Áreas con vegetación herbácea o arbuzal	Sostenibilidad ambiental
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	Sostenibilidad ambiental

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Colombiano

#### 4.1.3.1 Áreas de importancia estrategias para la conservación de la biodiversidad y servicios ecosistemáticos

Corresponde a las áreas donde se encuentran los elementos estratégicos para la conservación y la prestación de servicios ambientales, vitales para el equilibrio ambiental del territorio. Comprenden los nevados y glaciares, páramos, bosques, cuerpos de agua en áreas continentales y costeras, cuencas abastecedoras de acueductos y áreas con presencia de flora y fauna con alguna categoría de amenaza o especies endémicas, entre otros.

#### 4.1.3.2 Asentamientos humanos

Las áreas de asentamientos urbanos se encuentran clasificadas en la metodología de coberturas de Corine Land Cover como territorios artificializados, en donde se contemplan "áreas de las ciudades y las poblaciones y, aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas a las zonas urbanas mediante un proceso gradual de urbanización o de cambio del uso del suelo hacia fines comerciales, industriales, de servicios y recreativos".

Para efectos del Plan de Ordenamiento, estas áreas se agruparan de acuerdo a con la Jerarquización funcional de la Red Urbana Nacional, realizada por el Ministerio de Desarrollo Económico a través del estudio "Aportes para una nueva regionalización del Territorio".

Las variables tomadas por el sistema de indicadores se clasifican en cinco grupos: Servicios Administrativos, Servicios Públicos, Servicios Bancarios y Comerciales, Servicios Sociales y Servicios Culturales.

#### 4.1.3.3 Áreas agrícolas

Son los terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho.

Comprende las áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas, en las cuales también se pueden dar usos pecuarios además de los agrícolas. Las unidades se agrupan en las siguientes cuatro categorías: Cultivos Transitorios, Cultivos permanentes, Pastos y Áreas agrícolas.

#### 4.1.3.4 Áreas industriales y comerciales

Comprende las zonas cubiertas por infraestructura artificial (terrenos cimentados, alquitranados, asfaltados c estabilizados), sin presencia de áreas verdes dominantes, las cuales se utilizan también para actividades comerciales o industriales.

#### 4.1.3.5 Áreas mineras

Son áreas donde se desarrollan actividades de extracción y de acumulación de estériles o depósitos asociadas con actividades mineras, de construcción, producción industrial y vertimiento de residuos de diferente origen. Comprende las áreas de extracción minera (incluye escombreras), de generación energética (hidroeléctrica, térmica) y áreas de producción de hidrocarburos.

#### 4.1.3.6 Infraestructura estratégica

Son áreas donde se encuentra emplazada la infraestructura fundamental para la comunicación y el desarrollo del mercado interno y externo como la red vial nacional y departamental, la red ferroviaria, los aeropuertos y las áreas portuarias.

#### 4.1.3.7 Áreas con vegetación herbácea o arbuzal

Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo natural y producto de la sucesión natural, cuyo hábito de crecimiento es arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales, con poca o ninguna intervención antrópica.

#### 4.1.3.8 Áreas abiertas sin o con poca vegetación

Comprende aquellos territorios en los cuales la cobertura vegetal no existe o es escasa, compuesta principalmente por suelos desnudos y quemados, así como por coberturas arenosas y afloramientos rocosos, como: zonas arenosas naturales, afloramientos rocosos y tierras desnudas y degradadas.

#### 4.1.4 **Caracterización del modo de daño de los elementos**

La manera o el modo de daño como se afecta cada una de las categorías de los elementos expuestos está relacionado con sus características específicas y su papel en la cuenca hidrográfica. Para efectos de establecer las categorías de daños se establecen índices de daño (ID) asociados a un tipo de modo de daños para cada uno de los elementos a evaluar.

En la **Tabla 4.2**, se señalan los índices de daño y sus modos de daño correspondientes para las áreas a evaluar aplicables a los diferentes eventos amenazantes que se analicen.

**Tabla 4.2 Tipos de modos de daño de áreas expuestas a Planes de Ordenamiento**

Categorías de elementos a evaluar	Índice de daño ID	Modos de daño
Elementos estratégicos para la conservación	I	Irrecuperable
	II	Impacto reversible a muy largo plazo (> 50 años)
	III	Impacto reversible a mediano plazo (10 - 50 años)
	IV	Impacto reversible a corto plazo (< a 10 años)
Asentamientos urbanos	I	Afectación total y definitiva de la funcionalidad
	II	Afectación temporal de la funcionalidad
	III	Afectación parcial de la funcionalidad en el tiempo
	IV	Afectación momentánea de la funcionalidad
Áreas agrícolas	I	Degradación irreversible de recurso suelo y agua
	II	Degradación reversible recurso suelo y agua. Interrupción actividad temporal
	III	Interrupción parcial de actividad
Áreas industriales y comerciales	I	Interrupción definitiva de la actividad
	II	Interrupción temporal
	III	Actividad limitada o restringida
Áreas minero- energética	I	Interrupción definitiva de la actividad
	II	Interrupción temporal
	III	Actividad limitada o restringida
Infraestructura estratégica	I	Interrupción definitiva. Requiere relocalización
	II	Interrupción prolongada (> 1 mes)

Categorías de elementos a evaluar	Índice de daño ID	Modos de daño
	III	Interrupción momentánea. Línea vital con contingencia
	IV	Limitación de prestación del servicio
Áreas con vegetación herbácea o arbuzal	I	Irrecuperable
	II	Impacto reversible a muy largo plazo (> 50 años)
	III	Impacto reversible a mediano plazo (10 - 50 años)
	IV	Impacto reversible a corto plazo (< a 10 años)
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	I	Degradación irrecuperable del sustrato rocoso por ampliación.
	II	Degradación del sustrato rocoso procesos lentos - Erosión

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Colombiano, Adaptada Leone, F, (1996)

#### 4.1.5 Nivel de daño de las áreas a evaluar

El nivel de daño esperado de cada elemento en relación a un evento específico, corresponde a la pérdida de su valor comercial después del evento, que se expresa como tasa de daño.

$$D = (V_i - V_f) / V_i$$

Dónde:

D = Tasa de daño;

$V_i$  = Valor comercial inicial del elemento,

$V_f$  = Valor comercial del elemento después del evento.

Para efectos de los análisis de tasa de Daño en los Planes de Ordenamiento se tomara una tasa relativa al impacto de la naturaleza del daño, donde 1 es daño total del elemento expuesto y 0.1 es el daño menor relacionado con recuperaciones relativamente rápidas y funcionalidad limitada de carácter temporal. En la **Tabla 4.3**, se señalan las tasas de daño propuestas.

**Tabla 4.3 Tasas de daño de acuerdo con el índice de daño**

Categorías de elementos a evaluar	Índice de daño ID	Modos de daño	Tasa de daño
Áreas de importancia estratégica para la conservación	I	Irrecuperable	1,0
	II	Impacto reversible a muy largo plazo (> 50 años)	0,8
	III	Impacto reversible a mediano plazo (10 - 50 años)	0,5
	IV	Impacto reversible a corto plazo (< a 10 años)	0,2
Asentamientos urbanos	I	Afectación que compromete de manera total y definitiva la localización segura	1,0
	II	Afectación que compromete la localización segura de manera temporal	0,8
	III	Afectación que no compromete la localización segura	0,3
Áreas agrícolas	I	Degradación irreversible de recurso suelo y agua	1,0
	II	Degradación reversible recurso suelo y agua. Interrupción actividad temporal	0,5

	III	Interrupción parcial de actividad	0,1
Áreas industriales y comerciales	I	Interrupción definitiva de la actividad	1,0
	II	Interrupción temporal	0,5
	III	Actividad limitada o restringida	0,1
Áreas minero-energética	I	Interrupción definitiva de la actividad	1,0
	II	Interrupción temporal	0,6
	III	Actividad limitada o restringida	0,1
Infraestructura estratégica	I	Interrupción definitiva. Requiere relocalización	1,0
	II	Interrupción prolongada (> 1 mes)	0,6
	III	Interrupción momentánea. Línea vital con contingencia	0,4
	IV	Limitación de prestación del servicio	0,1
Áreas con vegetación herbácea o arbuzal	I	Irrecuperable	1,0
	II	Impacto reversible a muy largo plazo (> 50 años)	0,8
	III	Impacto reversible a mediano plazo (10 - 50 años)	0,5
	IV	Impacto reversible a corto plazo (< a 10 años)	0,2
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	I	Degradación irrecuperable del sustrato rocoso por ampliación.	1,0
	II	Degradación del sustrato rocoso procesos lentos - Erosión	0,5

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Colombiano, Adaptada Leone, F, (1996)

#### 4.1.6 Áreas (elementos) expuestas y matrices de daño

Corresponden aquellas áreas expuestas (elementos) del municipio que se encuentran ubicados en áreas donde se identifican afectaciones por eventos específicos.

La identificación de estos se realiza con el cruce de los mapas de afectación con el mapa de áreas a evaluar. A partir de esta relación se establecen las matrices de daño.

La determinación de la tasa de daño de cada área expuesta en relación a la afectación de un evento dada su intensidad en un área se realiza a través del análisis entre los índices de daño y el tipo de evento amenazante. En la **Tabla 4.4**, se presenta un ejemplo de la matriz de daño para el caso de movimientos en masa.

La tasa de daño se establece con criterios de expertos, en mesas de trabajo entre el grupo que elabora los mapas de amenaza y los demás profesionales que abordan los aspectos biológicos, físicos y económicos.

**Tabla 4.4. Ejemplo de matriz de daño para movimiento en masa.**

Categorías de elementos expuestos	Índice de daño	Modos de daño	Procesos de daño					
			Caída de roca (impactos)			Deslizamiento o (desprendimientos)		
			alta	media	baja	alta	media	baja
Áreas de importancia estratégica para la conservación de la biodiversidad y servicios ecosistémicos	I	Irrecuperable				1		
	II	Impacto reversible a muy largo plazo (>50 años)				0.8	0.8	
	III	Impacto reversible a mediano plazo (10-50 años)	0.5					
	IV	Impacto reversible a corto plazo (< a 10 años)		0.2	0.2			

Categorías de elementos expuestos	Índice de daño	Modos de daño	Procesos de daño					
			Caída de roca (impactos)			Deslizamiento o (desprendimientos)		
			alta	media	baja	alta	media	baja
Asentamientos humanos	I	Afectación que compromete de manera total y definitiva la localización segura	1			1		
	II	Afectación que compromete la localización segura de manera temporal		0.8	0.8		0.8	0.8
	III	Afectación con poco compromiso de la localización segura			0.2			0.2
Áreas agrícolas	I	Degradación irreversible de recurso suelo y agua				1		
	II	Degradación reversible recurso suelo y agua. Interrupción actividad temporal	0.5			0.5		
	III	Interrupción parcial de actividad			0.2		0.2	
Áreas industriales y comerciales	I	Interrupción definitiva de la actividad	1			1		
	II	Interrupción temporal		0.5			0.5	
	III	Actividad limitada o restringida			0.1			0.1
Áreas minero-energética	I	Interrupción definitiva de la actividad	1			1		
	II	Interrupción temporal		0.5	0.5		0.5	0.5
	III	Actividad limitada o restringida			0.1			0.1
Infraestructura estratégica	I	Interrupción definitiva. Requiere relocalización	1			1		
	II	Interrupción prolongada	0.6	0.6		0.6	0.6	
	III	Interrupción momentánea		0.4			0.4	
	IV	Limitación de prestación del servicio			0.2			0.2
Áreas bosques y áreas con	I	Irrecuperable				1		

Categorías de elementos expuestos	Índice de daño	Modos de daño	Procesos de daño					
			Caída de roca (impactos)			Deslizamiento o (desprendimientos)		
			alta	media	baja	alta	media	baja
vegetación herbácea y arbustiva	II	Impacto reversible a muy largo plazo (>50 años)				0.8	0.8	
	III	Impacto reversible a mediano plazo (10-50 años)	0.5					
	IV	Impacto reversible a corto plazo (< a 10 años)		0.2	0.2			
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	I	Degradación irrecuperable del sustrato rocoso por ampliación	1					
	II	Degradación del sustrato rocoso procesos lentos-erosión	0.8	0.8	0.8			

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

## 4.2 CATEGORÍAS DE VULNERABILIDAD

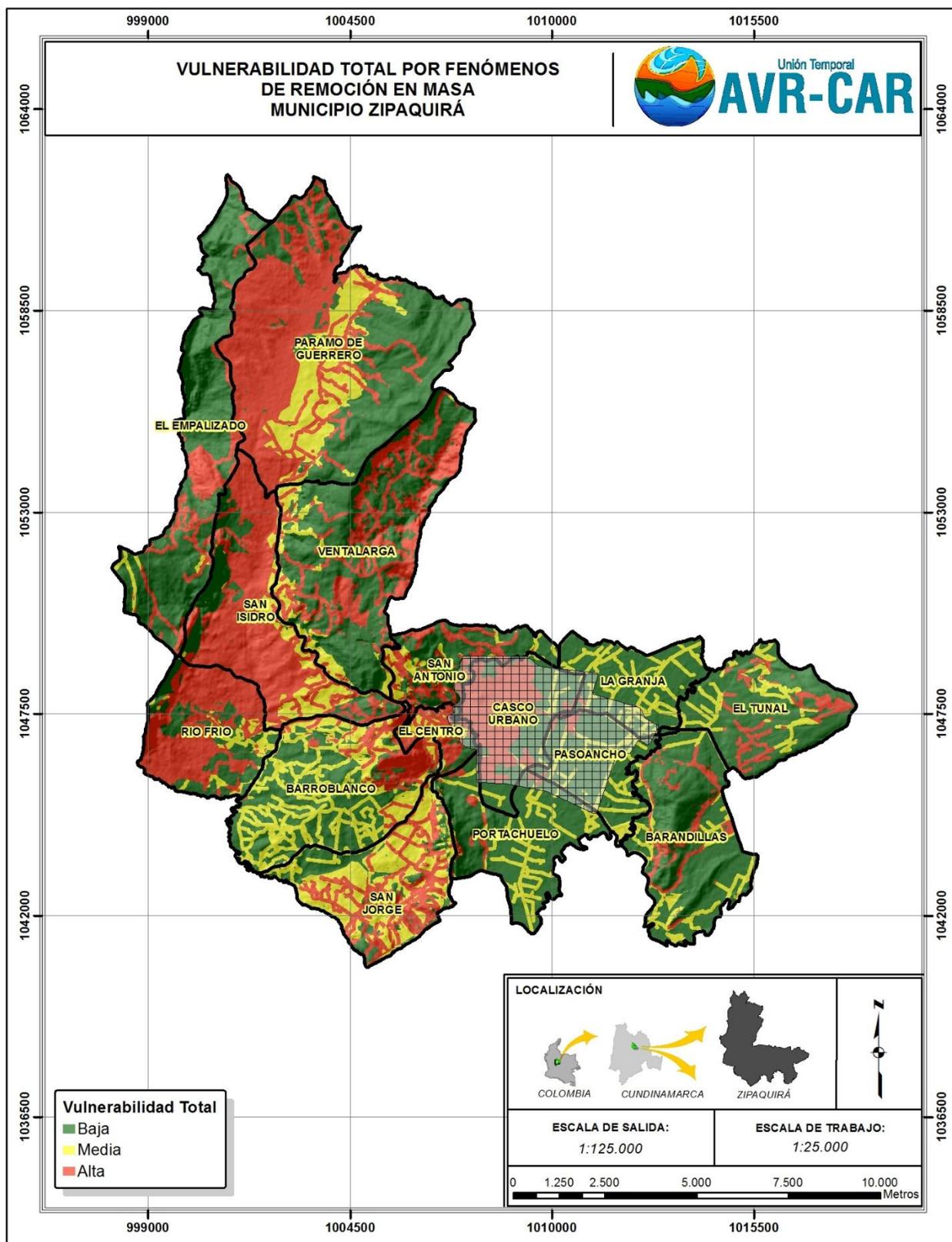
El índice de daños se constituye en el indicador de la vulnerabilidad de cada una de las áreas expuestas evaluadas, de acuerdo con la siguiente matriz. **Tabla 4.5.**

**Tabla 4.5** Categoría de vulnerabilidad según ID

Categoría vulnerabilidad	Rangos de id
Muy alta	> 0,6
Alta	0,30 > id < 0, 60
Media	0,10 > id < 0, 30
Baja	< 0,10

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Colombiano, (2013)

Figura 4.1. Mapa de vulnerabilidad por fenómenos de remoción en masa



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la **Figura 4.2** se describen las categorías de Vulnerabilidad Total por fenómenos de remoción en masa.

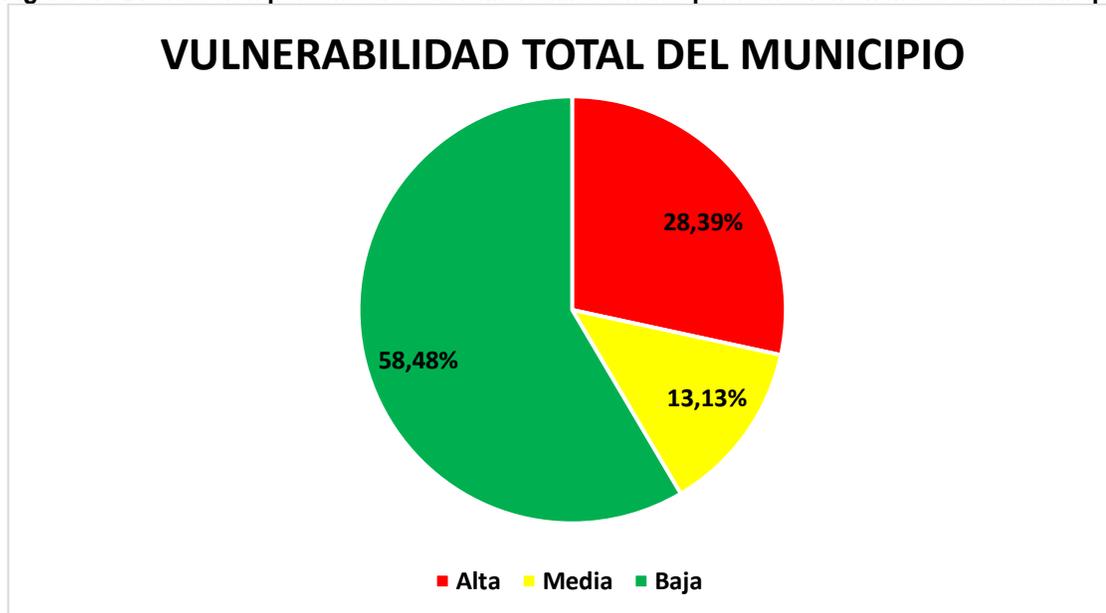
**Figura 4.2. Descripción de las categorías de vulnerabilidad total.**

CATEGORÍAS VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN
<b>BAJA</b>	Comprende a todas aquellas áreas de baja densidad poblacional o cuya productividad económica no se ve expuesta o afectada por eventos amenazantes de FRM, actividades con una alta capacidad de resiliencia, y regular importancia económica.
<b>MEDIA</b>	Zonifica las áreas cuya productividad económica es de importancia media, con regular capacidad de recuperación en el corto plazo o con regular presencia de infraestructura estratégica o viviendas.
<b>ALTA</b>	Identifica todas aquellas áreas rurales que presentan una alta significancia económica o desarrollo de actividades económicas con baja capacidad de recuperación en el corto plazo, que se encuentran expuestas a pérdidas parciales o totales, y causantes de estrés económico y social, así mismo incluye la infraestructura estratégica, o áreas de alta densidad poblacional en zonas rurales.

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

Los resultados de la vulnerabilidad física por remoción en masa en el municipio establecen que el 28,39% tiene una vulnerabilidad alta, el 13,13% en media y el 58,48% en baja, tal como se presenta en la **Figura 4.3**.

**Figura 4.3 Distribución porcentual de la vulnerabilidad física por remoción en masa en el municipio**



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

## 5 ESCENARIOS DE RIESGO

El municipio Zipaquirá se encuentra localizado en la vertiente Occidental de la Cordillera Oriental, se ubica cerca al margen Occidental de la cuenca de la Cordillera Oriental, fisiográficamente responde a las estribaciones Occidentales de la Cordillera Oriental, estribaciones que se encuentran representadas principalmente por laderas coluviales y laderas onduladas, que dan paso a un piedemonte conformado por sistemas colinados, conos y lóbulos coluviales y de soliflucción y flujos de detritos propias del Río Magdalena.

Las laderas con fuertes procesos de coluviación han generado un relieve suavemente ondulado con frecuentes fenómenos de remoción en masa, que transportados y depositados en las zonas bajas sobre los lechos de las quebradas son fácilmente atacados por la erosión lateral generando intensos procesos de socavación.

Durante los períodos de lluvia la saturación de las laderas aumenta la presión de poros haciendo más susceptible el territorio al desarrollo de fenómenos de remoción en masa. La alta dinámica poblacional de este municipio genera presiones adicionales. Las vertientes desarrolladas sobre rocas lodolíticas y altamente susceptibles a generar procesos erosivos afectan la totalidad del territorio que facilitan el desarrollo de depósitos de vertiente y consecuentemente inciden directamente en la estabilidad del terreno. A continuación se analizarán tres escenarios posibles con lluvia máxima, sismo y lluvia máxima en 24 horas más sismo.

### 5.1 FACTORES QUE FAVORECEN LA OCURRENCIA DEL FENÓMENO

Aunque la probabilidad de ocurrencia de un sismo en el mismo instante de ocurrencia de una lluvia crítica detonante es relativamente baja, y compleja de estimar dadas la diversidad de los períodos de retorno de los datos analizados: lluvia (2.33, 12.5, 25, 50, 100 años) y sismos (475 años) se considera importante tener en cuenta este escenario de ocurrencia.

La ocurrencia de este fenómeno está relacionada directamente a la distribución de lluvias y las características geológicas estructurales del municipio.

En el departamento Cundinamarca la distribución temporal de lluvia se presenta en dos regímenes: Bimodal y Monomodal. El primero es característico por la ocurrencia de dos épocas mayores de lluvia (marzo-abril y octubre-noviembre), intercalados con dos de menores lluvias (enero-febrero y julio-agosto). Y el segundo, presenta una época de mayor lluvia (abril-septiembre), enmarcada por una de menores precipitaciones (a comienzos y finales del año). (PFN, 2006). La ocurrencia de eventos generadores de desastre, se puede asimilar al régimen de precipitaciones bimodal, que predomina en el departamento (**Figura 3.45**).

La amenaza por movimientos y lluvias críticas como factor detonante se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$Hp = St + (Fp)$$

Donde,

*Hp*: Amenaza por erosión y movimientos en masa por lluvias detonantes.

*St*: Susceptibilidad total del terreno a los movimientos en masa.

*Fp*: Factor detonante de precipitación.

Para la determinación de lluvias críticas se realizó un análisis temporal de precipitación en la cuenca. Se definieron las lluvias máximas, diseño de lluvia crítica, análisis de lluvias mediante curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF).

De acuerdo a los valores IDF y los períodos de retorno: 12.5 y 100 años se considera un factor 4 (alto), como valor de lluvia detonante para la zona montañosa. Estos valores fueron representados espacialmente para el municipio y sumado utilizando herramientas SIG.

Litológicamente el municipio Zipaquirá se encuentra sobre rocas del paleógeno que corresponden a intercalaciones de arcillolitas variocoloreadas con areniscas friables con estratificación cruzada, también rocas del cretácico compuestas de intercalaciones de lodolitas y areniscas, capas de shales con niveles de calizas con concreciones y niveles lidíticos. El casco urbano está sobre un depósito aluvial, conformado principalmente por sedimentos arenolimosos y algunos conglomerados, sobre el sector se definieron grandes zonas afectadas por sistemas de diaclasamiento predominantemente en dirección NE y NW que para la parte central del municipio generan sistemas conjugados que facilitan la erosión mecánica (Figura 3.47).

La amenaza por movimientos en masa con sismo como factor detonante se calculó mediante la ecuación:

$$H_s = St + (F_s)$$

Donde,

*H<sub>s</sub>*: Amenaza por sismos detonante.

*St*: Susceptibilidad total del terreno a los movimientos en masa.

*F<sub>s</sub>*: Factor detonante sismicidad.

El área de trabajo se localiza sobre una región de amenaza sísmica alta, con un periodo de retorno de 475 años, con valores de aceleración pico superficial (Aa) de 0,25 y un potencial de daños (Ad) de 0,045. De acuerdo a los datos de sismicidad para el área de estudio para un periodo de retornos de 475 años se asignó un valor de 4 (alto), como factor detonante de movimientos en masa para la zona montañosa y un factor de 1 para las zonas planas.

## 5.2 FACTORES QUE FAVORECEN LA OCURRENCIA DEL DAÑO

Factores físicos:

- Aumento de la precipitación por variabilidad climática.
- Aumento de viviendas e infraestructura urbana localizadas en zonas de amenaza alta por remoción en masa, muchas de ellas en las coronas de taludes o en la ladera misma.
- Viviendas que no cumplen los requerimientos mínimos exigidos en Normas Sismo Resistentes.

Factores sociales:

- El incremento de asentamientos precarios en zonas de ladera genera aumento de población vulnerable.
- El minifundismo como factor de presión sobre las laderas, y como elemento generador de vulnerabilidad económica.

**Factores económicos:**

- Los bajos ingresos de los campesinos tradicionales en las veredas alejadas de las vías principales.
- Falta de capacidad económica de la administración municipal para atender las acciones de control urbano en zonas identificadas con problemas.

**Factores institucionales:**

- Fallas institucionales en el control urbano permitiendo el crecimiento de población vulnerable en el municipio.

**5.3 ESCENARIOS PREVISTOS**

La caracterización de los factores de riesgo, sus causas e interacción entre ellas representan un escenario de riesgo, el cual permite generar la planeación, ejecución y control de las líneas de acción para la mitigación de determinado fenómeno.

De acuerdo a las características respecto a detonante lluvia y geológicas estructurales del municipio Zipaquirá para las variables detonante sismo y lluvia máxima se obtiene una calificación de riesgo total que varía entre bajo, medio y alto, siendo bajo la de mayor predominio en el territorio (**Figura 5.1**).

La probabilidad de daños en infraestructura se fundamenta principalmente en la pérdida de vías y la obstrucción y alteraciones en el flujo de bienes.

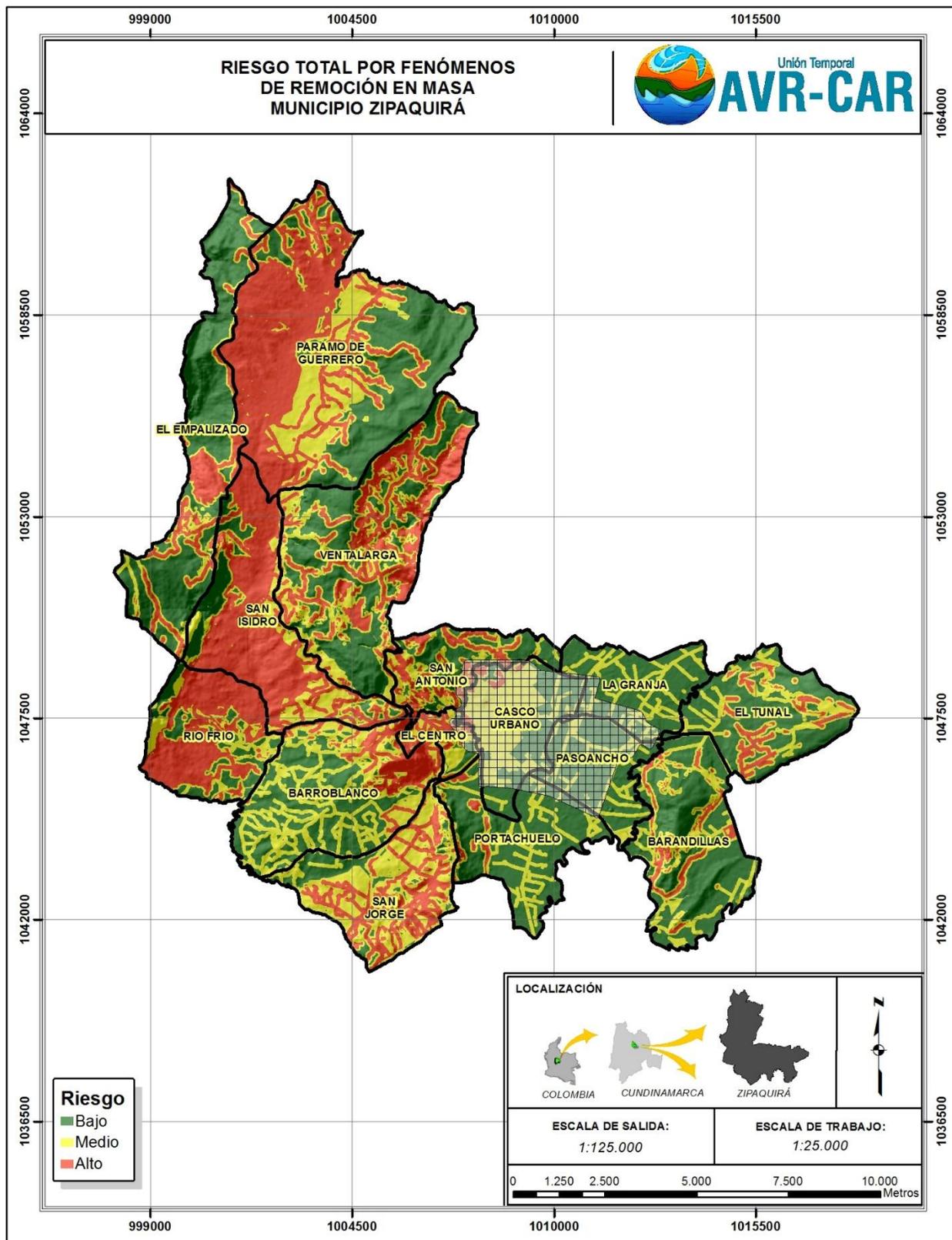
El mapa de riesgo se obtuvo de cruzar el mapa de amenaza relativa con el mapa de vulnerabilidad de acuerdo con lo establecido en la **Tabla 5.1**.

**Tabla 5.1. Valoración del riesgo por fenómenos de remoción en masa.**

RIESGO			
Amenaza \ Vulnerabilidad	Alta	Media	Baja
Alta	Alto	Alto	Medio
Media	Alto	Medio	Medio
Baja	Medio	Medio	Bajo

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

Figura 5.1. Mapa de riesgo por fenómenos de remoción en masa.



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

**Tabla 5.2. Tabla áreas de riesgo en el municipio.**

Riesgo	Área (ha)	Área (%)
Alta	5885,91	30,18%
Media	7732,81	39,65%
Baja	5883,96	30,17%

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la **Figura 5.2** se describen las categorías de Riesgo Total por fenómenos de remoción en masa.

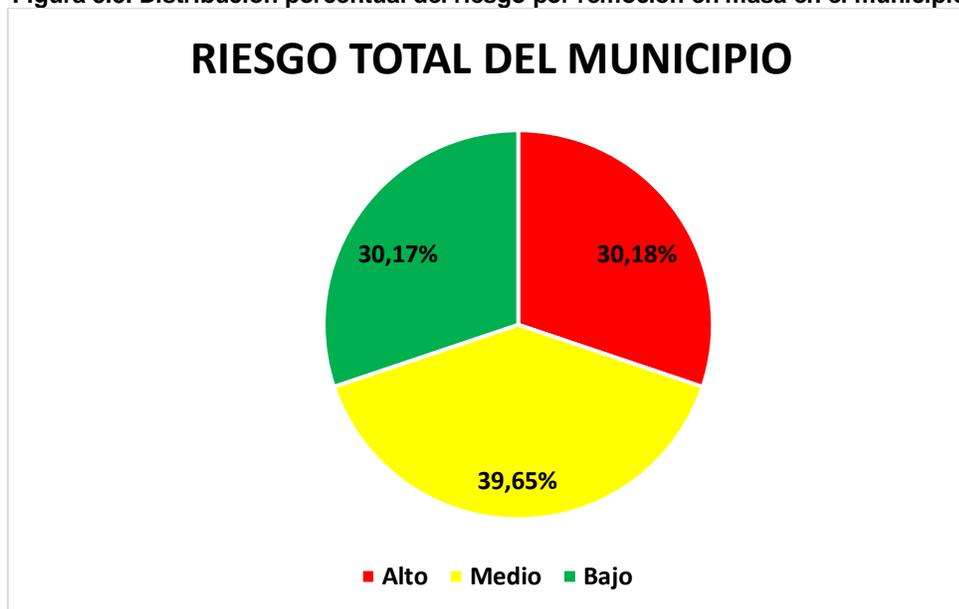
**Figura 5.2. Descripción de las categorías de riesgo total.**

CATEGORÍAS RIESGO	DESCRIPCIÓN
<b>BAJO</b>	Identifica todas aquellas áreas que son menos susceptibles al desarrollo de FRM, donde existe muy poca probabilidad de perdidas económicas por esta amenaza, pueden desarrollarse libremente pero con precauciones de no alterar las condiciones que pudieran variar la categoría de amenaza.
<b>MEDIO</b>	La probabilidad de perdidas económicas o costos sociales son menores, aunque su mitigación pudiera resultar costosa, la relación costo beneficio podría ameritar su recuperación.
<b>ALTO</b>	Corresponde a las áreas con una alta probabilidad de perdidas de vidas humanas o económicas que pudieran generar alto estrés social, relacionada con altas perdidas económicas y cuya mitigación puede ser muy honerosa.

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

La categorización del riesgo en el municipio establece unas zonas de riesgo alto, medio y bajo por fenómenos de remoción en masa, en una escala 1:25.000. Con base en esta zonificación se puede determinar que las zonas de riesgo alto corresponden al 30,18% del total del área del municipio, las zonas de riesgo medio equivalen al 39,65% y las zonas de riesgo bajo al 30,17%, tal como se muestra en la **Figura 5.3**.

**Figura 5.3. Distribución porcentual del riesgo por remoción en masa en el municipio.**



Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

## 5.4 CONSIDERACIONES

Durante los primeros años del "Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales" declarado por la Organización de las Naciones Unidas para finales del milenio pasado, el énfasis de los estudios se centraba en la amenaza, posteriormente vinieron las investigaciones en temas de vulnerabilidad, empezaron a impulsar la necesidad de estudiar la "vulnerabilidad física", la cual básicamente fue relacionada con el grado de exposición y la fragilidad o capacidad de los elementos expuestos a la acción de los fenómenos.

Este último aspecto permitió ampliar el trabajo a un ámbito multidisciplinario debido a la necesidad de involucrar a otros profesionales tales como Geólogos, Ingenieros, arquitectos, economistas y planificadores, quienes paulatinamente han encontrado de especial importancia la consideración de la amenaza y la vulnerabilidad como variables fundamentales para la planificación física y la normas de construcción de vivienda e infraestructura.

No obstante lo anterior, el enfoque fue netamente físico porque siguió siendo altamente dirigido hacia el detonante del desastre: la amenaza, y no hacia a las condiciones que favorecen la ocurrencia de la crisis, que no son exclusivamente las condiciones de vulnerabilidad física sino las de vulnerabilidad social, que es una condición que permanece en forma continua en el tiempo y está íntimamente ligada a los aspectos culturales y al nivel de desarrollo de las comunidades (Maskrey 1989 y Medina 1992).

Sólo entendiendo por completo el tema de la vulnerabilidad social se podrán entender los problemas de riesgo y sus verdaderas posibilidades de mitigación. La lectura acerca de la vulnerabilidad y el riesgo de los consultores puede llegar a ser muy diferente de la lectura que tienen las personas y las comunidades expuestas. Por esta razón es necesario profundizar, también, el conocimiento acerca de la percepción individual y colectiva del riesgo e investigar las características culturales, de desarrollo y de organización de las sociedades que favorecen o impiden la prevención y la mitigación; aspectos de fundamental importancia para poder encontrar medios eficientes y efectivos que logren reducir el impacto de los desastres.

### 5.4.1 Riesgo aceptable

No existen leyes que establezcan un "valor" de riesgo aceptable, que en términos generales es aquel que la comunidad está dispuesta a asumir a cambio de determinada tasa o nivel de beneficios. Este concepto lo ilustra por ejemplo la decisión de una comunidad, una vez conocido el mapa de riesgo por fenómenos de movimientos en masa, el de construir sobre una ladera con alta pendiente una vivienda, aceptado la posible pérdida de una edificación. En este caso la decisión depende de la estabilidad y la propiedad de los materiales que cubren la zona y de la resistencia del suelo estable.

En la fase de análisis geotécnico y diseño de las obras de ingeniería ha sido común utilizar este concepto en forma implícita con el fin de lograr un nivel de protección y seguridad que justifique la inversión teniendo en cuenta como referencia la vida útil de la obra. Para el efecto se utilizan factores de seguridad que en términos probabilísticos cubren "razonablemente" la incertidumbre de la posible magnitud de las acciones externas, la imprecisión de la modelación analítica y la aproximación de las hipótesis simplificadoras (Cardona 1990). De una u otra forma los beneficios anticipados de diferentes programas de protección deben compararse con el costo económico que significa la implementación de dichos programas. Existe un punto de equilibrio a partir del cual no se justifica una mayor protección, la relación costo beneficio de implementar inmensas obras de ingeniería para proteger una ladera que solo contiene una casa, o la reubicación de la vivienda.

## 6 CONCLUSIONES

El alto grado de tectónismo de la región cuyo origen está asociado a la evolución geológica de la Cordillera Oriental, ha influenciado en gran medida la meteorización, fragmentación de macizos rocosos y en consecuencia ha suscitado problemas de deformabilidad y baja resistencia en las rocas, lo que se traduce en una importante susceptibilidad a presentar movimientos en masa.

En términos de resistencia, las unidades geológicas superficiales que se encuentran más estables y con mejores condiciones de resistencia son las rocas pertenecientes a la Formación Arenisca Dura, la cual se caracteriza por presentar macizos rocosos con baja grado de diaclasamiento, poca meteorización y buena competencia. En contraposición, las Formaciones Plaeners y, Labor y Tierna son las unidades rocosas con mayores problemas debido al alto grado de fracturamiento, fisilidad de su litología y meteorización penetrativa moderada.

Para calcular la resistencia de los Suelos y/o depósitos, se tuvo en cuenta otros factores como por ejemplo su origen y disposición morfométrica por tanto no pueden ser calificados con la misma metodología aplicada para las rocas. En el área de estudio los depósitos aluviales presentaron valores de susceptibilidad muy bajos debido a que eran depósitos dispuestos en zonas planas correspondientes a Llanuras de inundación de ríos y quebradas, mientras que los depósitos de derrubio y coluviales presentan los valores de susceptibilidad más altos.

Se evidenció que buenas calificaciones en cuanto a la textura/Fábrica, dependían directamente de la calidad del cemento de los clastos y del grado de consolidación y compactación, siendo así que la Formación Arenisca Dura, se caracterizaban por su cemento silíceo que permite buen soporte a los materiales. Así mismo un grado de madurez textural y mineralógica, responde a óptimas condiciones de estabilidad y resistencia a la erodabilidad y desintegración tanto física como química.

Dentro de las unidades de suelos destacan los de origen transportado y de origen residual conformados por bloques heterométricos y embebidos en matriz areno-arcillosa. Son de gran importancia la correcta definición y caracterización de éstas unidades ya que en la mayoría de los casos se ven involucrados en los FRM.

Se generaron los mapas de la variable cobertura vegetal con fines de zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:100.000 con base en la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano.

Las coberturas con mayor presencia en el municipio de Zipaquirá son: pastos y cultivos de clima frío con un área de 6556,54 has y 33.62 %, seguida por Pastos limpios con un área de 4981,21 has y 25.54%, vegetación de páramo y subpáramo con 1570,42 has y 8.05%, Rastrojo y arbustales ocupa 1405,80 has y 7.21 %.

El municipio de Zipaquirá en cuanto a cobertura vegetal está ubicada en susceptibilidad moderada corresponde a 15120,36 has y 77.53 % se presentan coberturas de pastos y cultivos de clima frío y pastos limpios, vegetación de páramo y subpáramo entre otras. Ubicada principalmente en la parte occidental de la plancha, en zonas montañosas, veredas Paramo de Guerrero, San Isidro, Barroblanco, San Jorge; hacia el costado oriental, en la parte más plana del municipio en las veredas El Tunal, Pasoancho y parte de Barandillas. Esta susceptibilidad está influenciada por los ríos Bogotá, Frío, Negro, Susagua y Barandillas y la ganadería en zonas de ladera.

La susceptibilidad alta ocupa 3397,28 has y 17.42 % se presentan áreas dedicadas a la actividad ganadera con muy bajo grado de tecnificación y fuerte presión antrópica, generando problemas en zonas montañosas de alta pendiente, flanco oriental de la cordillera. En veredas como La Granja, Portachuelo y parte del casco urbano y hacia el occidente en la vereda el Empalizado y costado oriental del Páramo de Guerrero. Esta susceptibilidad se ve influenciada por la unidad climática frío húmedo y la fuerte presión antrópica.

La susceptibilidad muy alta con 21,51 has y 0.11 % en zonas donde se ubican galpones. En veredas como Barandillas y El Tunal.

## 7 RECOMENDACIONES

La capacitación de los hogares ubicados en escenarios de riesgo en prevención (alertas tempranas), mitigación de los riesgos y la preservación del ambiente frente a los procesos de crecimiento y desarrollo urbano,

Son procesos importantes así como el desarrollo de Planes urbanos locales frente a los procesos de crecimiento y expansión territorial

Desarrollar Acciones De Resiliencia Comunitaria en los diferentes grupos de población de 9 a 11 años; 12 a 17 años; 16 a 17 años; 18 a 21 años; y de 22 años en adelante a través de programas integrales previstos sobre gestión del riesgo en El Marco de Acción de Hyogo (MAH), “aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres”, El MAH, fue suscrito por 168 países en enero del año 2005, en ocasión de la Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres, propone cinco prioridades de acción que deberían guiar las actividades para reducir el riesgo de desastres a escala global hasta el año 2015:

- Prioridad 1: velar por que la reducción del riesgo de desastres constituya una prioridad nacional y local con una sólida base institucional de aplicación.
- Prioridad 2: identificar, evaluar y seguir de cerca el riesgo de desastres y potenciar la alerta temprana.
- Prioridad 3: Utilizar el conocimiento, la innovación y la educación para establecer una cultura de seguridad y de resiliencia a todo nivel.
- Prioridad 4: Reducir los factores subyacentes del riesgo.
- Prioridad 5: Fortalecer la preparación ante los desastres para lograr una respuesta eficaz a todo nivel

Este módulo de capacitación es una herramienta de trabajo comunitario. Su implementación se prevé en comunidades vulnerables de América Latina y El Caribe en donde previamente se ha realizado el Diagnóstico de Reducción de Riesgo/ Resiliencia Comunitaria. Adicionalmente reconoce y se fundamenta en: El enfoque de desarrollo de capacidades para la reducción de desastres (CADRI) y el Concepto y práctica de la resiliencia comunitaria.

Sistematizar las percepciones sociales y opinión comunitaria sobre inversiones, discriminadas en las etapas del ciclo de riesgo: déficit de desarrollo / cuenta ambiental negativa; reducción/ atenuación del riesgo (mitigación); prevención, anticipación del impacto; emergencia; resiliencia (reconstrucción y compensaciones)

Fortalecer las JAC en competencias participativas para la gestión del riesgo aumentando la autonomía y la capacidad de gestión en el gobierno local, ya que la gestión del riesgo no puede prescindir de la participación activa y protagónica de los actores afectados, ni de la consideración de las visiones o imaginarios que estos actores tengan del problema que enfrentan, de su prioridad en su agenda cotidiana, y del contexto humano y económico en que se dé.

Balardini (2002:22), psicólogo argentino, sugiere la aplicación de la reflexión sobre el riesgo social a la realidad de la niñez y de la juventud, entiende la gestión del riesgo en términos de gestión

política del riesgo desde las políticas de Estado hacia este grupo de población. Esta problemática plantea entonces que una política integral para la infancia y la juventud debe priorizar a quienes están con menos oportunidades (Touraine, 1990:5). Debe mejorar las políticas de bienestar y de justicia social para las familias más pobres y asegurar oportunidades de trabajo para la juventud de sectores populares marginales (Muncie y otros, 2002). Debe también valorar el acompañamiento psicoeducativo para asegurar el «desarrollo personal integrado» que «incrementa en los jóvenes la capacidad de comportarse como actores sociales» (Touraine, 1990:4) en la sociedad actual

La transformación de las diferentes realidades de inmensa complejidad que vivencian los hogares vulnerables sugieren metodologías que respondan a una combinación de Investigación Acción Y Planificación Participativa Y Estratégica, en el sentido de que el conocimiento producido (mapas de riesgo) sea un insumo para las decisiones de intervención inversión del Estado y configure un documento de base predecisional realizado en forma asociada y colaborativa por grupos de actores diversos que conozcan las realidades locales y sus necesidades específicas y comunes

Hacer efectivos los Lineamientos de política para la atención educativa a poblaciones vulnerables Ministerio de Educación Nacional (MEN), a través del Plan Sectorial de Educación (2002-2006). La “Educación para todos” es una de las metas del milenio con las que Colombia se comprometió buscando cumplir los objetivos y finalidades de la educación para todos los ciudadanos, velando porque todos los niños, niñas y jóvenes, pero sobre todo los que se encuentren en situaciones difíciles tengan acceso a la enseñanza primaria de buena calidad y la terminen satisfactoriamente. Estas estrategias se complementan con acciones que se apoyan en los avances tecnológicos del internet, televisión y radio, y la flexibilidad de los modelos y procesos pedagógicos que deben estar orientados a reducir la brecha de las inequidades sociales.

Los lineamientos para cada grupo poblacional parten de la identificación de necesidades educativas de la población objetivo y del marco jurídico específico de cada grupo poblacional. De esta forma, se establecen las directrices que cada entidad territorial debe realizar en los planes de acción para atender la vulnerabilidad, así como los criterios para hacer seguimiento y evaluación a dichos planes.

Las orientaciones buscan fortalecer la Seguridad Humana, o sea los mecanismos sociales que hagan posible la acumulación de capacidades que las personas puedan lograr en el tiempo gracias al sano equilibrio o complementariedad entre las distintas condiciones sociales (PNUD, 1998:18).

La escala de presentación del estudio de FRM en zonas rurales es 1/25.000, por ello cuando eventualmente algún predio se vea afectado porque se encuentre sobre una ladera de protección ambiental, dada su condición de amenaza alta por FRM, la secretaría de planeación municipal podrá realizar la modificación de la clasificación del suelo, de acuerdo a precisiones cartográficas que sean resultado de estudios geológico, geomorfológico y geotécnicos presentado por los interesados para la evaluación de la secretaría de planeación. La entidad en cumplimiento del procedimiento para el levantamiento de restricciones, conforme a la normatividad vigente (Decreto 1469 del 2010), por la localización del predio, sobre una ladera catalogada como de protección. Es importante recordar lo que este decreto expresa:

**...“Cuando el predio esté ubicado en zonas de amenaza y/o riesgo alto y medio de origen geotécnico o hidrológico, se deberán adjuntar a las solicitudes de licencias de nuevas urbanizaciones, los estudios detallados de amenaza y riesgo por fenómenos de remoción en masa e inundaciones, que permitan determinar la viabilidad del futuro desarrollo, siempre y cuando se garantice la mitigación de la amenaza y/o riesgo.**

**En estos estudios deberá incluirse el diseño de las medidas de mitigación y serán elaborados y firmados por profesionales idóneos en las materias, quienes conjuntamente con el urbanizador serán responsables de los mismos, sin perjuicio de la responsabilidad por la correcta ejecución de las obras de mitigación. En todo caso, las obras de mitigación deberán ser ejecutadas por el urbanizador responsable o, en su defecto, por el titular durante la vigencia de la licencia”...**

De acuerdo con lo anterior, es importante recordar que la responsabilidad frente a las intervenciones en terrenos con fines constructivos, corresponde a los titulares de las licencias de construcción, tal como se expresa en el Decreto 1469 de 2010, en su artículo 39: Obligaciones del Titular de la Licencia, numeral 1: “...Ejecutar las obras de forma tal que se garantice la salubridad y seguridad de las personas, así como la estabilidad de los terrenos y edificaciones vecinas y de los elementos constitutivos del espacio público...”

En el Artículo 63 del mismo Decreto se establece la competencia del cumplimiento de la normativa citada *“Competencia del control urbano. Corresponde a los alcaldes municipales o distritales directamente o por conducto de sus agentes, ejercer la vigilancia y control durante la ejecución de las obras, con el fin de asegurar el cumplimiento de las licencias urbanísticas y de las normas contenidas en el Plan de Ordenamiento Territorial, sin perjuicio de las facultades atribuidas a los funcionarios del Ministerio Público y de las veedurías en defensa tanto del orden jurídico, del ambiente y del patrimonio y espacios públicos, como de los intereses colectivos y de la sociedad en general. En todo caso, la inspección y seguimiento de los proyectos se realizará mediante inspecciones periódicas durante y después de la ejecución de las obras, de lo cual se dejará constancia en un acta suscrita por el visitador y el responsable de la obra. Dichas actas de visita harán las veces de dictamen pericial, en los procesos relacionados por la violación de las licencias y se anexarán al Certificado de Permiso de Ocupación cuando fuere del caso”.*

Por su parte, es de recordar que la CAR, dentro de su función asesora de los entes territoriales, no posee facultades sancionatorias ni de regulación en referencia a las actuaciones urbanísticas, relacionadas con el ordenamiento del territorio y la intervención en los usos del suelo, en ningún municipio del Departamento (Ley 810/2006 Sanciones Urbanísticas).

Las funciones de la CAR están claramente establecidas en el artículo 31 de la Ley 99 de 1993, incluidas las relacionadas en gestión del riesgo las cuales son retomadas en la Ley 1523 de 2012 que establece a la vez la subsidiaridad de la Corporación en la evaluación de riesgos pero que no eximen a los municipios de su responsabilidad directa en la gestión del riesgo.

En cuanto al ordenamiento territorial, la CAR es instancia de concertación de los asuntos exclusivamente ambientales, algunos de los cuales se identifican en el Decreto 2181 de 2006 modificado por el decreto 4300 de 2007:

1. “Los elementos que por sus valores naturales, ambientales o paisajísticos deban ser conservados y las medidas específicas de protección para evitar su alteración o destrucción con la ejecución de la actuación u operación urbana.
2. Las características geológicas, geotécnicas, topográficas y ambientales del área objeto de la solicitud.
3. Las áreas de conservación y protección ambiental incluidas y las condiciones específicas para su manejo.

En la concertación de cada documento de ordenación se definen las áreas de interés ambiental y suelo de protección según las categorías del Artículo 35 de la Ley 388 de 1997. Las normas que definen este suelo de protección se consideran normas estructurales las cuales solo pueden ser modificadas en la revisión general del OT, si bien según el decreto 1523 de 2012 es posible otorgar licencias en zonas con amenaza alta por inundaciones y deslizamientos siempre que se realicen las respectivas obras, esto no quiere decir que un suelo de protección pase a ser un suelo urbanizable mediante una licencia, lo relacionado con la ocupación de suelos de protección requiere de la revisión del OT toda vez que los tipos de suelo son norma estructural que requiere de la revisión con el respectivo procedimiento de concertación, como se mencionó anteriormente.

## 8 FUENTES DE CONSULTA

ACOSTA, J. y ULLOA, C. 1997. Geología de la Plancha 227 Bogotá, D.E., Noroeste. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Informe 2302a. Santa Fe de Bogotá.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S; RAES, D.; SMITH, M. Evapotranspiración del cultivo; guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma, FAO, 2006. 298 p. (Estudio FAO: Riego y Drenaje No. 56).

BLANCO, J. 2003. Manejo integral de suelos con énfasis en el cultivo del arroz. Proyecto PRONATTA. Offset la opinión S.A. En: [http://www.agronet.gov.co/www/docs\\_si2/Manejo%20del%20suelos%20para%20arrozpdf](http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/Manejo%20del%20suelos%20para%20arrozpdf)

CÁCERES, C.; ETAYO, F. 1969. Bosquejo geológico de la región del Tequendama. 1 Congreso Col. Geol., opúsculo guía, Excursión pre-congreso. 22 p. Bogotá.

CALVACHE. M; RUIZ. G; ARÉVALO, L. ORTEGON, C; RAMIREZ, K. 2013. Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000. SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO. 158 págs. Versión 2.

CALVO, A; ORTIZ, E. 2012. Revista Forestal Mesoamericana Kurú (Costa Rica) Volumen.9, n°22. En: [www.tec-digital.itcr.ac.cr/servicios/ojs/index.php/kuru/article/.../293](http://www.tec-digital.itcr.ac.cr/servicios/ojs/index.php/kuru/article/.../293)

CIEZA, L. Curso de sistemas de riego. Universidad Nacional del altiplano Puno. Perú. Pág. 38. En: [es.scribd.com/doc/59331500/62/profundidad-de-raíces.com.co](http://es.scribd.com/doc/59331500/62/profundidad-de-raíces.com.co)

DEARMAN, W.R. 1974. Weathering Classification in the characterization of rock for engineering purposes in British practice. Bulletin International Assoc. of Engineering Geology. London.

DENGO, C. y COVEY, M. C. 1993. Structure of the Eastern Cordillera of Colombia. Implications for Oil Trap Styles and regional Tectonics. A.A.P.G. Bull., 77(10). Tulsa.

DE PORTA, J. 1966. Geología del Extremo Sur del Valle Medio del Magdalena entre Honda y Guataqui (Colombia)- Bol. De Geol., No. 22-23, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

FAJARDO, Néstor. 2005. Uso y manejo de suelos. Litoimagen Impresores. Ibagué Tolima. Colombia. 315p.

FAO. 2001. Estado actual de la información sobre arboles fuera del bosque.

FAO. 2006. ESTIMACION DE LA DEMANDA DE AGUA. Conceptualización y dimensionamiento de la demanda hídrica sectorial. Cultivo de arroz. Cesar. Valledupar.

FAO-24. 1990. ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.

HANSEN, A. 1984. Landslide hazard analysis In: Brunsdén, D., Prior, D.B (ed.) Slope Instability. 523-602. Wiley & Sons. New York.

- HERMELIN, M., 1985. Suelos, rocas y Formaciones Superficiales. Revista Dyna, No. 106, pp 25-29.
- HOLDRIGE, L. R. (1979). Ecología basada en zonas de vida. IICA. San José. 216 p.
- HORTON R.E. (1945): Erosional development of streams and their dralnage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bull. Geol. Soc. Am., vol. 56 p.p. 275-370.
- IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP. 2007. Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia., 276 p. + 37 hojas cartográficas. Bogotá, D.C
- IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi, Asocars, UPTC, UAESPNN. 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. 72p. Bogotá, D.C
- IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP. 2007. Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia., 276 p. + 37 hojas cartográficas. Bogotá, D.C
- IDEAM. Informe Técnico deslizamiento y sedimentación en la quebrada negra Municipio de Utica. Bogotá 2001.
- IGAC. Levantamiento de la Cobertura Vegetal y Uso del Suelo del Área de Jurisdicción CAR. Memoria Técnica. Bogotá 2006. 243 Págs.
- INGEOMINAS – IDEAM. 2009. Anteproyecto Mapas nacionales de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa. Bogotá.
- INGEOMINAS. 2001. Propuesta metodológica para el desarrollo de la cartografía geológica para ingeniería, Vol. 1. Bogotá.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR ENGINEERING GEOLOGY (IAEG). 1981. Report of the IAEG Commission on site investigations, IAEG Bulletin, 24: 185-226. The Netherlands.
- LEON, J. 2001. Estudio y control de la erosión hídrica. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 2001
- LEÓN, SICARD, TOMÁS, SUÁREZ, CASTILLO, ALDO. Efectos de plantaciones forestales sobre suelo y agua. 1998. Serie técnica / No. 40. CONIF. Bogotá Colombia. 158p.
- LOBO-GUERRERO, Alberto. 1992. Geología e hidrogeología de santa Fe de Bogotá y su Sabana. VII jornadas geotécnicas de la ingeniería de Colombia. Bogotá.
- LONDOÑO A. –CARLOS H. 2001, Cuencas Hidrográficas bases conceptuales caracterización planificación, administración, universidad del Tolima
- LOZANO. R; AREVALO. L.2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi, Asocars, UPTC, UAESPNN. Bogotá, D.C72p.
- MONTOYA, Diana; REYES, Germán. 2005. Geología de la sabana de Bogotá. Bogotá.
- NIETO, A., 1982. Caracterización geotécnica de Macizos de roca blanda. Memorias I Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas. Tomo I, Bogotá.

NOVOA, P.1998. Estimación de la evapotranspiración actual en bosques. Teoría. Chile En: [mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v19n1/art12.pdf](http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v19n1/art12.pdf)

PADILLA, Justo; JIMÉNEZ, Daniel; BALLÉN, Freddy; MONTERO, Juan y CALDERÓN, Yolanda. 2004. Propuesta metodológica para el desarrollo de la cartografía geológica para ingeniería, Vol. 2. INGEOMINAS.

PADILLA, J., 2001. Los Suelos Residuales y su Importancia con la Cartografía Geológica para Ingeniería. XI Jornada Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana, Sociedad Colombiana de Ingeniería. Bogotá.

PADILLA, J., 2000. Unidades Geológicas Superficiales en el Departamento de Cundinamarca. VIII Congreso Colombiano de Geotecnia, Sociedad Colombiana de Geotecnia – Universidad de los Andes. Bogotá.

PARIS, G.; MACHETTE, M.; DART, R.; HALLER, K. 2000. Map and database of Quaternary faults and folds in Colombia and its offshore regions. A project of the International Lithosphere Program Task Group II-2, Major Active Faults of the World. Open-File Report 00-0284, USGS.

PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO - GEOCIENCIAS PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS (PMA-GCA). 2007. Movimientos en masa en la Región andina, una guía para la evaluación de amenazas. Lima.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (SGC). 2013. Documento metodológico de la zonificación de Susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000, Vol. 2. Bogotá D.C.

SUAREZ, J. 1998. Deslizamientos: Técnicas de Remediación. En: [www.erosion.com.co](http://www.erosion.com.co)

UNESCO. 1976. Engineering geological mapping. A guide to their preparation. Paris.

USDA, 1997. Hydrology National Engineering Handbook En: [www](http://www). Part 630 Hydrology National Engineering Handbook. Curva Número. Chapter 10.

VAN WESTEN, C. 2003. GISSIZ: training package for Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation. Hand out Conferences, ITC, Enschede.