

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

METODOLOGÍA MUNICIPIO ZIPAQUIRÁ

CONTRATANTE:



CONSULTOR:



BOGOTÁ, ENERO DE 2015.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS	2
2.1	Objetivo General	2
CAPITULO I. FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA ZONAS URBANAS Y AVENIDAS TORRENCIALES.....3		
1	INTRODUCCIÓN	4
2	MARCO DE REFERENCIA.....	5
2.1	Definición de los estudios	5
2.1.1	Objetivos.....	5
2.1.1.1	Objetivo general	5
2.1.1.2	Objetivos específicos	5
2.1.2	Especificación, escalas de trabajo y unidades de observación	5
2.2	Localización de los trabajos y priorización de los municipios	6
2.3	Marco conceptual	8
2.3.1	Conceptos básicos sobre riesgos y desastres	8
2.3.1.1	Amenaza.....	8
2.3.1.2	Vulnerabilidad.....	9
2.3.1.3	Desastres y riesgo.....	10
2.3.2	Gestión de riesgos	10
2.3.3	Procesos de remoción en masa	10
2.3.4	Avenidas torrenciales	12
3	PLAN DE TRABAJO	13
3.1	Etapas y actividades	13
3.1.1	Etapa 0	13
3.1.1.1	Objetivo.....	13
3.1.1.2	Actividades	13
3.1.2	Etapa 1	13
3.1.2.1	Objetivos.....	13
3.1.2.2	Actividades	13
3.1.3	Etapa 2	14
3.1.3.1	Objetivo.....	14
3.1.3.2	Actividades	14
3.1.4	Etapa 3	15
3.1.5	Objetivo.....	15
3.1.6	Actividades	16
3.1.6.1	Recopilación de información secundaria disponible	16
3.1.6.2	Caracterización y almacenamiento de información.....	16
3.1.6.3	Análisis de información	17
3.1.6.4	Elaboración de informes	18
3.2	Insumos de información a recibir	18
3.2.1	Productos entregables	18
3.2.1.1	Versión 0.5 (Borrador para revisión del cliente)	18
3.2.1.2	Versión 1.0 (Final)	18
3.2.2	Nomenclatura de los informes	18
3.2.3	Contenido tipos de los informes.....	19
3.3	Cronograma.....	19
3.4	Instrumentos de recolección de información primaria en los estudios detallados.....	20
4	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS BASES METODOLÓGICAS Y PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO	21

4.1	Metodología de análisis para los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por avenidas torrenciales	21
4.1.1	Evaluación de amenaza	21
4.1.1.1	Primer paso	21
4.1.1.2	Segundo paso	24
4.2	Metodología de análisis para los estudios básicos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por remoción en masa en suelo urbano y de expansión urbana	27
4.2.1	Evaluación de amenaza	27
4.2.1.1	Materiales - M (Puntaje Máximo: 70)	27
4.2.1.2	Material Intermedio	28
4.2.1.3	Suelos	30
4.2.2	Análisis de vulnerabilidad	36
4.2.2.1	Susceptibilidad	36
4.2.2.2	Intensidad	37
4.2.3	Evaluación de riesgo	37
4.3	Metodología de análisis para los estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por remoción en masa en sitios especiales	37
4.3.1	Evaluación de amenaza	37
4.3.1.1	Bases teóricas	38
4.3.1.2	Procedimiento metodológico	39
4.3.1.3	Criterios para evaluación de amenaza	41

CAPITULO II. FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA ZONAS RURALES Y AVENIDAS TORRENCIALES.....43

1	INTRODUCCIÓN	44
2	DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN ZONAS RURALES (FRM)	45
2.1	Mapas e insumos temáticos	45
2.1.1	Modelo digital de elevación (DEM)	46
2.1.2	Sensores remotos	46
2.1.3	Fotografías aéreas	47
2.1.4	Geología	47
2.1.4.1	Litología	47
2.1.4.2	Resistencia	48
2.1.4.3	Tectónica	54
2.1.5	Geomorfología aplicada a movimientos en masa	55
2.1.5.1	Morfometría	56
2.1.5.2	Categorización geomorfológica	59
2.1.5.3	Morfogénesis	62
2.1.5.4	Morfodinámica	65
2.1.6	Condiciones de Drenaje	67
2.1.7	Suelos	69
2.1.7.1	Marco teórico	69
2.1.7.2	Información a utilizar	70
2.1.7.3	Variables y Criterios generales	70
2.1.8	Cobertura del suelo	76
2.1.8.1	Conflictos de uso – Tipos de cobertura	77
2.1.8.2	Variables hidrológicas y del sistema de raíz de las coberturas	77
2.1.8.3	Calificación de la cobertura favoreciendo la susceptibilidad	80
2.2	Zonificación de la susceptibilidad	82
2.2.1	Justificación temática	82
2.2.2	Justificación metodológica	82

2.2.2.1	El proceso analítico jerárquico (AHP).....	83
2.2.3	Justificación de preferencia de los atributos y variables en la función de susceptibilidad.....	84
2.2.4	Justificación de las preferencias de los atributos de la variable de suelos edáficos y en la función de susceptibilidad.....	85
2.2.5	Justificación de las preferencias de los atributos de la variable Cobertura de la tierra, en la función de susceptibilidad de la variable.....	85
2.2.6	Justificación de las preferencias de los atributos de la variable de Geología, en la función de susceptibilidad de la variable.....	85
2.2.7	Justificación de preferencia de los atributos de la variable geomorfología en la función de susceptibilidad de la variable.....	86
2.2.8	Justificación de preferencia de la susceptibilidad final.....	87
2.2.9	Análisis y resultados.....	88
2.2.9.1	Susceptibilidad Muy Baja.....	88
2.2.9.2	Susceptibilidad Baja.....	88
2.2.9.3	Susceptibilidad Media.....	88
2.2.9.4	Susceptibilidad Alta.....	89
2.2.9.5	Susceptibilidad Muy Alta.....	89
2.3	Zonificación de la amenaza.....	89
2.3.1	Generalidades.....	89
2.3.2	Metodología Aplicada.....	90
2.3.3	Detonantes.....	92
2.3.3.1	Lluvia.....	92
2.3.3.2	Sismo.....	96
2.3.4	Escenarios de amenaza relativa.....	98
2.3.4.1	Amenaza relativa total.....	98
2.3.4.2	Validación del Mapa de Amenaza Relativa Total.....	98
2.3.5	Análisis y resultados.....	98
2.3.5.1	Análisis Cualitativo.....	98
2.3.5.2	Análisis cuantitativo.....	98
2.3.6	Leyenda de amenaza.....	99
CAPITULO III. VULNERABILIDAD SOCIAL.....		100
1	OBJETIVOS.....	101
1.1	Objetivo General.....	101
1.2	Objetivos Específicos.....	101
2	METODOLOGÍA.....	102
2.1	Técnicas de recolección de la información.....	102
2.2	Población.....	102
3	PROCEDIMIENTO.....	103
3.1	Primera fase.....	103
3.2	Segunda Fase Entregables.....	103
4	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD.....	105
4.1	Aspectos generales.....	105
4.2	Marco Conceptual.....	105
4.2.1	Riesgo y vulnerabilidad social. Una visión de futuro.....	105
4.2.2	Riesgo, desastre y desarrollo.....	107
4.2.3	La construcción social del riesgo: procesos sociales y transformación de la sociedad.....	109
4.2.4	Riesgo y Territorio.....	109
4.2.5	Vulnerabilidad.....	110
4.2.6	Factores Protectores.....	111

4.2.6.1	Las condiciones de bienestar existente.....	111
4.2.6.2	Resiliencia.....	111
4.2.6.3	Autoprotección.....	111
4.2.6.4	La protección social.....	112
4.2.6.5	Sociedad civil y ambientes e instituciones participativos.....	112
5	VARIABLES DE ESTUDIO.....	113
5.1	Tipos de Vulnerabilidad.....	113
5.1.1	Vulnerabilidad económica.....	113
5.1.2	Vulnerabilidad técnica y colectiva.....	113
5.1.3	Vulnerabilidad sociopolítica.....	114
5.1.4	Vulnerabilidad institucional.....	115
5.1.5	Vulnerabilidad por Empatía con la Amenaza.....	115
5.2	Percepción del Riesgo.....	115
CAPITULO IV. INUNDACIONES.....		117
1	INTRODUCCIÓN.....	118
2	ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA.....	119
2.1	Formato de trabajo.....	119
2.1.1	Zonificación de Amenaza por precipitación.....	119
2.1.1.1	Análisis de consistencia de datos.....	119
2.1.2	Zonificación por niveles de fuentes hídricas.....	119
2.1.2.1	Estimación de los niveles.....	119
2.1.2.2	Identificación de depresiones.....	120
2.2	Características fisiográficas de las cuencas.....	120
2.3	Cálculos de caudales.....	121
2.3.1	Calibración del modelo.....	124
2.4	Generación de niveles.....	125
3	VULNERABILIDAD.....	126
3.1	Tipología de la vivienda.....	126
4	GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO.....	130
CAPITULO V. INCENDIOS FORESTALES.....		131
1	Introducción.....	132
2	Objetivos.....	134
2.1	General.....	134
2.2	Específicos.....	134
3	GENERALIDADES.....	135
3.1	Marco legal.....	135
4	MARCO CONCEPTUAL.....	136
4.1	Gestión del riesgo.....	136
4.1.1	Amenaza.....	136
4.1.1.1	Susceptibilidad.....	136
4.1.2	Vulnerabilidad.....	136
4.1.3	Riesgo.....	136
4.2	Incendios forestales.....	137
4.2.1	Comportamiento del fuego.....	137
4.2.2	Combustibles forestales.....	138
5	METODOLOGÍA.....	140
5.1	Etapa preparatoria.....	142
5.1.1	Normalización, ponderación y categorización de variables.....	143
5.2	Evaluación de la amenaza.....	144
5.2.1	Análisis de susceptibilidad de las coberturas vegetales.....	145

5.2.1.1	Verificación de campo y Pruebas de conflagración	146
5.2.1.2	Generación del mapa de tipo de combustible	153
5.2.1.3	Generación del mapa de duración de combustibles	153
5.2.1.4	Generación del mapa de carga de combustibles	154
5.2.1.5	Generación del mapa de humedad del combustible según Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).....	154
5.2.1.6	Generación del mapa de susceptibilidad de la vegetación a incendios	155
5.2.2	Análisis de factores climáticos	156
5.2.2.1	Precipitación	156
5.2.2.2	Temperatura	157
5.2.2.3	Brillo solar	157
5.2.2.4	Humedad relativa	157
5.2.2.5	Generación del mapa de amenaza por factores climáticos	158
5.2.3	Análisis del factor de relieve	159
5.2.4	Análisis del factor histórico.....	159
5.2.5	Análisis de accesibilidad	159
5.2.6	Mapa de amenaza por incendios forestales	160
5.3	Evaluación de la vulnerabilidad	161
5.3.1	Análisis de la vulnerabilidad poblacional	162
5.3.2	Análisis de vulnerabilidad física	162
5.3.3	Análisis de vulnerabilidad ecológica	162
5.3.4	Análisis de vulnerabilidad de la infraestructura	163
5.3.5	Análisis de vulnerabilidad patrimonial.....	163
5.3.6	Análisis de vulnerabilidad económica.....	164
5.3.7	Análisis de vulnerabilidad institucional	164
5.3.8	Mapa de vulnerabilidad por incendios forestales	164
5.4	Evaluación y zonificación del riesgo	165
5.4.1	Mapa de riesgo por incendios forestales	166
3	FUENTES DE CONSULTA.....	167

Índice de tablas

CAPITULO I

Tabla 2.1 Resumen de las características básicas de los estudios.....	6
Tabla 2.2 . Priorización de municipios	8
Tabla 2.3 Clasificación de deslizamientos	11
Tabla 4.1 Relaciones para categorizar el índice Morfométrico	22
Tabla 4.2 Relaciones entre variables para el índice Morfométrico	22
Tabla 4.3 Clasificación del índice de variabilidad	23
Tabla 4.4 Clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET)	23
Tabla 4.5 Valores propuestos para el factor de susceptibilidad asociada con el tipo de estructura	25
Tabla 4.6 . Valores propuestos para el factor de susceptibilidad por el estado de la edificación	26
Tabla 4.7 Valores propuestos para el factor de susceptibilidad debido a la presencia de menores de edad.....	26
Tabla 4.8 Valores propuestos para el factor de susceptibilidad debido a la salud	26
Tabla 4.9 Criterios para definición de tipo de roca	27
Tabla 4.10 Matriz de Valores de Estabilidad para roca.....	28
Tabla 4.11 Matriz de Valores de Estabilidad por orientación de discontinuidades para roca	28
Tabla 4.12 Matriz de Valores de Estabilidad para material intermedio.....	29
Tabla 4.13 Matriz de identificación de estructuras heredadas	29
Tabla 4.14 Matriz de Valores de influencia de las estructuras.....	29
Tabla 4.15 Unidades de materiales intermedios y clasificación para el Modelo Semicuantitativo	29
Tabla 4.16 Clasificación de suelos por condición del terreno	30
Tabla 4.17 . Influencia por grado de meteorización	30
Tabla 4.18 Influencia por medio de transporte	30
Tabla 4.19 Unidades de suelos y clasificación para el modelo Semicuantitativo	30
Tabla 4.20 Valores de Estabilidad por Factor Antrópico	31
Tabla 4.21 Valores de estabilidad por relieve.....	31
Tabla 4.22 Perfil longitudinal.....	33
Tabla 4.23 Valores de estabilidad para drenaje	33
Tabla 4.24 Puntajes de Estabilidad parámetro Uso del Suelo y Cobertura (U).....	33
Tabla 4.25 Valoración parámetro clima	34
Tabla 4.26 . Asignación puntaje de estabilidad al mapa arial	34
Tabla 4.27 Calificación de parámetro sísmico.....	35
Tabla 4.28 Calificación de estabilidad (CES)	35
Tabla 4.29 Rangos de categorización de amenaza	35

CAPITULO II

Tabla 4.30 Criterios de clasificación de amenaza por probabilidad de falla	41
Tabla 2.1 Categorías de resistencia a la compresión simple de las rocas.....	48
Tabla 2.2 Propuesta de calificación de las rocas dependiendo de su resistencia.....	49
Tabla 2.3 Características de susceptibilidad a movimientos en masa de los depósitos.	51
Tabla 2.4 Calificación de las unidades litológicas (Depósitos).....	51
Tabla 2.5 Textura/Fábrica de las rocas	55
Tabla 2.6 Calificación propuesta tipo de fábrica.....	55
Tabla 2.7 Susceptibilidad de pendientes	57
Tabla 2.8 Valores de calificación Susceptibilidad de la rugosidad.....	58
Tabla 2.9 Clasificación de la Susceptibilidad del atributo Acuenca.	59
Tabla 2.10 Criterios de calificación para los sistemas morfogénicos según procesos morfodinámicos.	66

Tabla 2.11 Categorización de la densidad de drenaje	68
Tabla 2.12 Categorización de la frecuencia de drenaje.	68
Tabla 2.13 Textura de drenaje (relación entre densidad y frecuencia).....	68
Tabla 2.14 Características de los materiales de acuerdo a la textura	68
Tabla 2.15 Resumen de las características de diferenciación de las categorías de la taxonomía de suelos.....	70
Tabla 2.16 Calificación de la textura de suelos	72
Tabla 2.17 Calificación de la taxonomía de suelos a nivel de Orden.	72
Tabla 2.18 Calificación del drenaje natural del suelo	73
Tabla 2.19 Calificación de profundidad total, tomado IDEAM, 2009.....	73
Tabla 2.20 Clases de suelos en la categoría Orden. Tomado de IGAC, 1.995.....	75
Tabla 2.21 Calificación del tipo de arcilla. Tomado INGEOMINAS IDEAM 2009.....	75
Tabla 2.22 Calificación de atributos según la contribución a la estabilidad.....	79
Tabla 2.23 resumen de las diferentes ecuaciones para la generación de los mapas de susceptibilidad mapa escala 1:25.000	84
Tabla 2.24 Calificación de la lluvia máxima diaria según su contribución a los movimientos en masa	96
Tabla 2.25 Calificación de los valores de PGA de menor a mayor grado de contribución de la amenaza sísmica a su contribución a los movimientos en masa.	98
CAPITULO III	
Tabla 3.1 Cuestionario de vulnerabilidad social	104
Tabla 5.1 Categorización de la Vulnerabilidad Económica	113
Tabla 5.2 Categorización de la vulnerabilidad Técnica y Colectiva	114
Tabla 5.3 Caracterización de vulnerabilidad Sociopolítica	114
CAPITULO IV	
Tabla 2.1 Condiciones de humedad	122
Tabla 3.1 Materiales de vivienda.	126
CAPITULO V	
Tabla 3.1. Marco legal que rige los aspectos relacionados con el riesgo por Incendios Forestales.	135
Tabla 5.1. Requerimientos cartográficos para la elaboración del mapa de riesgo por Incendios Forestales.	142
Tabla 5.2. Categorización para la calificación de las variables y factores de riesgo.....	143
Tabla 5.3. Equivalencias de características del combustible vegetal (Vista previa).....	145
Tabla 5.4. Municipios Bloque I, número de reportes y zonas de vida para la determinación de las áreas a visitar en donde se realizarán pruebas de conflagración.	147
Tabla 5.5. Municipios Bloque II, número de reportes y zonas de vida para la determinación de las áreas a visitar en donde se realizarán pruebas de conflagración.	148
Tabla 5.6. Municipios Bloque III, número de reportes y zonas de vida para la determinación de las áreas a visitar en donde se realizarán pruebas de conflagración.	149
Tabla 5.7. Especies conflagradas por municipio y zona de vida.	151
Tabla 5.8. Calificación del tipo de combustible.....	153
Tabla 5.9. Calificación de la susceptibilidad por duración del combustible.	154
Tabla 5.10. Calificación de la carga total de combustible.	154
Tabla 5.11. Calificación de susceptibilidad de las coberturas vegetales ante incendios forestales.	155
Tabla 5.12. Calificación de la precipitación.	156
Tabla 5.13. Calificación de la temperatura.	157
Tabla 5.14. Ajuste para la calificación de la amenaza para los diferentes factores climáticos.	158
Tabla 5.15. Calificación de amenaza total por factores climáticos.	158
Tabla 5.16. Calificación de amenaza por pendiente.	159
Tabla 5.17. Calificación de amenaza por accesibilidad.....	160

Tabla 5.18. Calificación de la amenaza total por incendios forestales.	160
Tabla 5.19. Calificación de vulnerabilidad poblacional.	162
Tabla 5.20. Calificación de vulnerabilidad física.	162
Tabla 5.21. Calificación de vulnerabilidad ecológica.	163
Tabla 5.22. Calificación de vulnerabilidad por infraestructura.	163
Tabla 5.23. Calificación de vulnerabilidad patrimonial.	163
Tabla 5.24. Calificación de vulnerabilidad económica.	164
Tabla 5.25. Calificación de la vulnerabilidad total por incendios forestales.	165
Tabla 5.26. Calificación del riesgo por incendios forestales.	166

Índice de figuras

CAPITULO I

Figura 2.1 Localización y priorización de municipios	7
Figura 4.1. Modelo de procesos geomórficos.....	32

CAPITULO II

Figura 2.1 Uso de SIG para el análisis heurístico de susceptibilidad por movimientos en masa.	46
Figura 2.2 Peso de la variable geología y sus sub-componentes.....	48
Figura 2.3 Protocolo de campo para evaluar calidad del macizo rocoso.	50
Figura 2.4 Protocolo de campo diseñado para la descripción de depósitos.....	52
Figura 2.5 Diagrama de atributos dentro de la variable Geomorfología, con sus respectivos porcentajes	56
Figura 2.6 Diagrama de atributos dentro de la variable morfometría, con sus respectivos porcentajes	57
Figura 2.7 Dirección de flujo.....	58
Figura 2.8 Esquema de jerarquización geomorfológica	59
Figura 2.9 Formato, protocolo de campo para las observaciones geomorfológicas.	63
Figura 2.10 Parte del formato utilizado para el inventario de deslizamientos.....	67
Figura 2.11 Patrones de drenaje (tipo) a utilizar para la definición cualitativa en cada municipio.	69
Figura 2.12 Diagrama de atributos de calificación de la variable suelo, con sus respectivos porcentajes	71
Figura 2.13 Distribución del agua del suelo y subterránea en la corteza terrestre, esquema ilustrado con algunos conceptos.....	78
Figura 2.14 Atributos de la variable cobertura de la tierra, con sus respectivos porcentajes de peso considerados en el modelo Heurístico.....	80
Figura 2.15 Estructura Jerárquica con pesos para la construcción del mapa de susceptibilidad	84
Figura 2.16 Clasificación del mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa detonados por lluvia para la función de modelación de la Guía Metodológica.....	91
Figura 2.17 Clasificación del mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa detonados por sismo para la función de modelación de la Guía Metodológica	91
Figura 2.18 Clasificación del mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa detonados por sismo + lluvia para la función de modelación de la Guía Metodológica	92
Figura 2.19 Zonificación climática del Atlas Climatológico de Colombia	94
Figura 2.20 Calificación del Mapa de Zonificación Climática con base en su contribución a los movimientos en masa.....	95
Figura 2.21 Mapa calificado de la variable sismo según su contribución a los movimientos en masa	97

CAPITULO IV

Figura 2.1 Depresiones y picos presentados en cartografía básica	120
Figura 2.2 Relación precipitación escorrentía.	121
Figura 2.3 Hidrogramas.....	123
Figura 2.4 Hidrograma SCS.....	124
Figura 3.1. Formato de entrega de material para toma de información.....	127
Figura 3.2. Formato para tomo de información para vulnerabilidad.	127
Figura 3.3 Cuadro de combinaciones	128
Figura 3.4 Agrupaciones de tipo de vivienda.....	128
Figura 3.5 Curva vulnerabilidad para viviendas tipo I.....	129

CAPITULO V

Figura 4.1. Clasificación del combustible por estratos.	139
--	-----

Figura 5.1. Esquema metodológico para el estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por Incendios Forestales.	141
Figura 5.2. Integración de factores de la amenaza por incendios forestales.....	144
Figura 5.3. Cruce de información (Reportes CAR + HostPost) para seleccionar áreas de visita.	146
Figura 5.4. Mapa de Zonas de vida para Cundinamarca.	147
Figura 5.5. Formato de campo- Pruebas de conflagración.	153
Figura 5.6. Esquema de funcionamiento del NDVI.	155
Figura 5.7. Integración de factores de la vulnerabilidad por incendios forestales.	161
Figura 5.8. Integración de la amenaza y la vulnerabilidad para la determinación de escenarios de riesgo por incendios forestales.	165

Índice de fotografías

CAPITULO V

Fotografía 5.1. Selección y búsqueda de especies.....	150
Fotografía 5.2. Pasos realizados durante las pruebas de conflagración.....	152

1 INTRODUCCIÓN

El presente volumen expone en V capítulos cada una de las metodologías para abordar los estudios de cada uno de los diferentes fenómenos en el municipio.

Las metodologías empleadas son ampliamente reconocidas en el territorio nacional, así por ejemplo, la evaluación de fenómenos de remoción en masa para zonas rurales es la propuesta por el Servicio Geológico Colombiano (SGC), la metodología para incendios forestales corresponde a la desarrollada por el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, con algunos ajustes referentes a los tiempos de duración de la conflagración, calibrados directamente en campo con las especies locales por zona de vida.

Los estudios básicos y detallados para las áreas urbanas se enmarcan en las metodologías SES. Los resultados se espacializaran en ortofotomosaicos de las cabeceras urbanas, que serán tomadas durante la ejecución del contrato.

Las actividades técnicas a desarrollar en cada uno de los eventos, se abordaran de acuerdo a lo establecido en este primer tomo de manera que los posteriores toman muestran solamente resultados.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Exponer el contenido teórico de cada una de las metodologías para evaluar los fenómenos naturales amenazantes del municipio.

CAPITULO I. FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA ZONAS URBANAS Y AVENIDAS TORRENCIALES

1 INTRODUCCIÓN

De conformidad con los requerimientos de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR, se presentan en este informe las bases metodológicas y los procedimientos a emplear en los estudios básicos y detallados de riesgo por avenidas torrenciales y remoción en masa en 24 municipios de jurisdicción de la CAR (La Mesa, Yacopí, San Cayetano, Villeta, Topaipí, Villa Gómez, Pulí, La Palma, Pacho, Beltrán, Vergara, Supatá, San Juan de Río seco, Zipaquirá, El Peñón, Vianí, Ubaté, Bituima, Silvania, Chaguaní, Pasca, Quebrada Negra, Paima y Subachoque) en el departamento de Cundinamarca, Colombia, con el objeto de que sus resultados sean incorporados en los procesos de planificación territorial de tales municipios.

La propuesta se basa en el Anexo Técnico de la CAR y las experiencias previas en estudios de esta naturaleza realizados por la UT AVR – CAR. Una vez sea aprobada por la supervisión de la CAR, se procederá inmediatamente a su implementación.

El informe se compone de cinco secciones, de las cuales la primera corresponde a la introducción, en la segunda se incluye el marco de referencia, la tercera registra el plan de trabajo, la cuarta comprende las metodologías a aplicar y la quinta y última relaciona las fuentes de información consultadas.

2 MARCO DE REFERENCIA

Con el fin de enmarcar la información contenida en los diversos apartes de la propuesta, se incluye a continuación una breve reseña de algunos aspectos generales que definen la ejecución de los estudios.

2.1 DEFINICIÓN DE LOS ESTUDIOS

La propuesta metodológica que se presenta más adelante, se enmarca dentro de un proyecto de mayor alcance que define el contrato suscrito por la CAR y la UT AVR-CAR, cuyo objeto incluye la ejecución de estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, inundación, avenidas torrenciales e incendios forestales en 24 municipios. La parte correspondiente a la presente propuesta cubre lo relacionado con remoción en masa (sólo en zonas urbanas y de expansión urbana) y avenidas torrenciales (tanto en zonas rurales como urbanas y de expansión urbana).

2.1.1 Objetivos

2.1.1.1 Objetivo general

Realizar los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por avenidas torrenciales y remoción en masa en veinticuatro (24) municipios del departamento de Cundinamarca (La Mesa, Yacopí, San Cayetano, Villeta, Topaipí, Villa Gómez, Pulí, La Palma, Pacho, Beltrán, Vergara, Supatá, San Juan de Río seco, Zipaquirá, El Peñón, Vianí, Ubaté, Bituima, Sylvania, Chaguaní, Pasca, Quebrada Negra, Paima y Subachoque) con el objeto de incorporarlos en los procesos de ordenamiento territorial.

2.1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar los estudios básicos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por avenidas torrenciales en las áreas de suelo rural de los municipios a escala 1:25.000.
- Realizar los estudios básicos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por avenidas torrenciales en las áreas de suelo urbano y de expansión urbana de los municipios a escala 1:2.000.
- Realizar los estudios básicos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por remoción en masa en las áreas de suelo urbano y de expansión urbana de los municipios a escala 1:2.000.
- Realizar los estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por remoción en masa y/o avenidas torrenciales en los sitios especiales que se definan a escala 1:2.000.

2.1.2 Especificación, escalas de trabajo y unidades de observación

Las especificaciones de trabajo están contenidas en el Anexo Técnico de la CAR, que define, entre otros aspectos, los estudios a realizar y las escalas de trabajo, denominándolos “Básicos” y “Detallados”.

Los estudios básicos para soportar la revisión de los planes de ordenamiento se efectuarán “para los suelos urbanos, de expansión urbana y rural y tendrán por objeto la identificación de las áreas de amenaza y la determinación de las áreas con condiciones de riesgo en las que se exigirá, para su intervención o desarrollo posterior, la realización de estudios de detalle, ya sea porque dada su ocupación es necesario determinar el nivel de riesgo de los elementos expuestos o porque el municipio o distrito, en función del modelo de ocupación territorial las destine para el desarrollo de actuaciones de parcelación, urbanización o construcción en las diferentes zonas comprendidas dentro del perímetro urbano, de expansión urbana, rural suburbano, centros poblados rurales o áreas de vivienda campestre.”

De igual forma registra que estos estudios permitirán adelantar:

- a) “La delimitación y zonificación de las áreas de amenaza por fenómenos de inundación y movimientos en masa.
- b) La identificación y priorización de las áreas con condición de riesgo por fenómenos de inundación y movimientos en masa, en las que se requiere adelantar los estudios de detalle.
- c) La determinación de las medidas de mitigación no estructurales, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la reglamentación de usos del suelo.”

En cuanto a los estudios detallados, se estipula que están orientados a determinar la categorización del riesgo y establecer las medidas de mitigación de un área específica clasificada como área con condición de riesgo en los estudios básicos que soporten la revisión del plan. Así mismo, establece que en la revisión del plan de ordenamiento se deberán determinar las condiciones para el desarrollo de estos estudios y establecer su priorización de conformidad con la previsión de programas y actuaciones previstas en el respectivo plan, ya que si el municipio o distrito cuenta con estudios detallados para determinar condiciones de riesgo y medidas de mitigación en alguna o algunas áreas de su territorio deberán incorporarlos en la revisión del plan de ordenamiento o en la formulación del nuevo plan. En este caso el presente trabajo incluye la ejecución de algunos estudios detallados en sitios específicos.

En la **Tabla 2.1**, se resumen las características básicas de los estudios enunciados.

Tabla 2.1 Resumen de las características básicas de los estudios

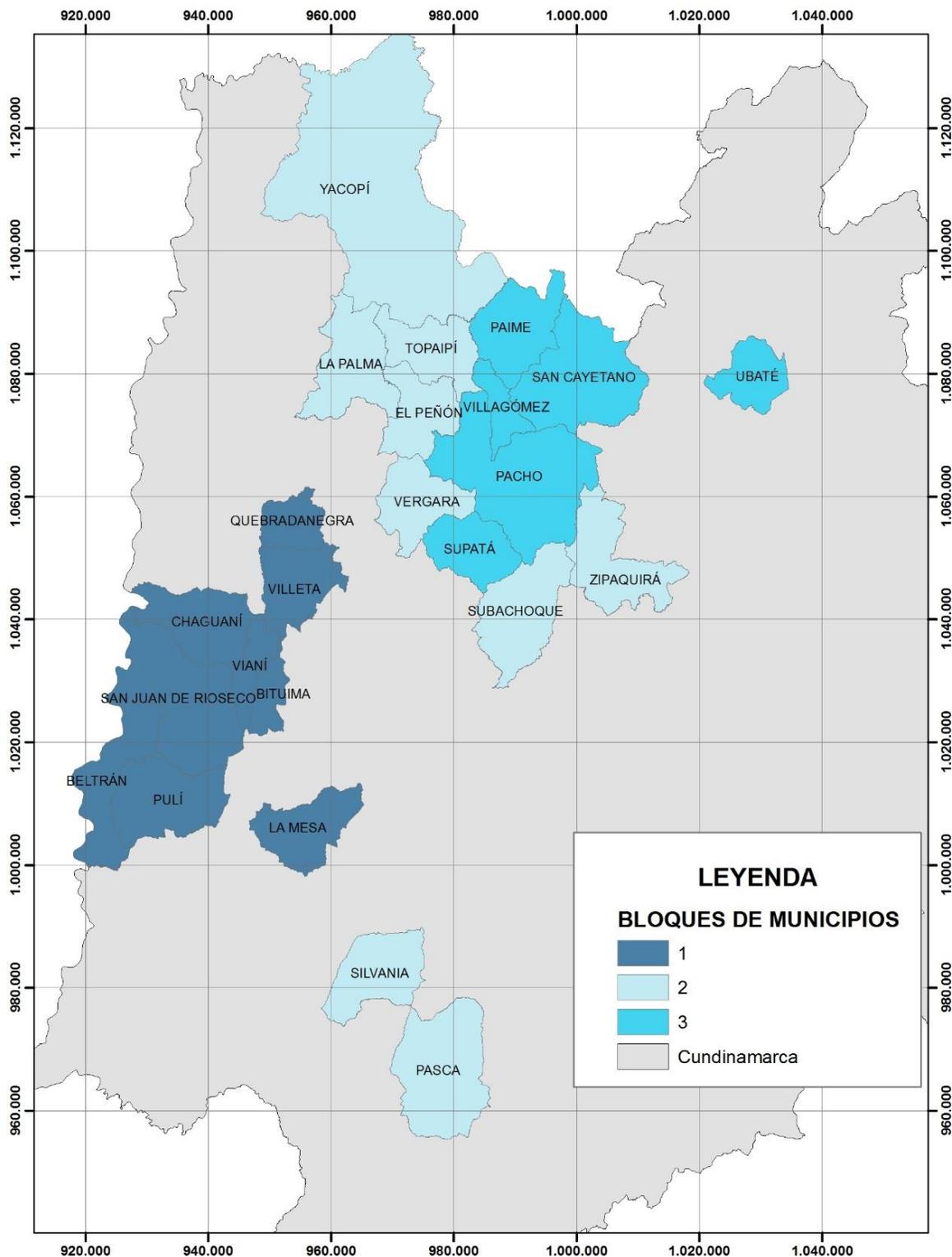
Tipo de estudio	Fenómeno que da origen a la amenaza	Clase de suelo (ley 388/97)	Escala	Unidad de análisis	Referencia del anexo técnico
Básico	Avenidas torrenciales	Rural	1:25.000	Cuenca	5.1.8.3
Básico	Avenidas torrenciales	Urbano y de expansión urbana	1:2.000	Barrio o equivalente – Microcuenca o subcuenca	5.1.8.3
Básico	Remoción en masa	Urbano y de expansión urbana	1:2.000	Barrio o equivalente – Microcuenca o subcuenca	5.1.8.1
Detallado	Avenidas torrenciales o remoción en masa	No especificado	1:2.000	Barrio o equivalente – Microcuenca o subcuenca	5.1.8.1 y 5.1.8.3

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

2.2 LOCALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS Y PRIORIZACIÓN DE LOS MUNICIPIOS

Los municipios considerados en este trabajo fueron priorizados en tres bloques según la disponibilidad de información, tal como se muestra en la **Figura 2.1** y en la **Tabla 2.2**.

Figura 2.1 Localización y priorización de municipios



Fuente: UT AVR CAR, 2014.

Tabla 2.2 . Priorización de municipios

Municipios		
Bloque 1 (son 9)	Bloque 2 (son 9)	Bloque 3 (son 6)
Quebrada negra	Yacopí	Paime
Villeta	Topaipí	San Cayetano
Chaguaní	La Palma	Ubaté
Vianí	El Peñón	Villa Gómez
Bituima	Vergara	Pacho
San Juan de Río seco	Subachoque	Supatá
Beltrán	Zipaquirá	
Pulí	Silvania	
La Mesa	Pasca	

Fuente: UT AVR - CAR, 2014.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

A continuación se presenta el referente conceptual sobre el cual se basa la ejecución del presente trabajo.

2.3.1 Conceptos básicos sobre riesgos y desastres

2.3.1.1 Amenaza

a) Definiciones

De acuerdo con (Cardona, 1997) la amenaza o peligro, o factor de riesgo externo de un sujeto o sistema, está representada por un peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural o tecnológico que puede presentarse en un sitio específico y en un tiempo determinado produciendo efectos adversos en las personas, los bienes y/o el medio ambiente, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad en un cierto sitio y en cierto período de tiempo. La amenaza es el potencial de ocurrencia del fenómeno; no es el fenómeno, ni el evento.

Al respecto (Sánchez-Silva., 1997) establece que dependiendo de la delimitación del sistema, la amenaza podría estar incluida dentro del mismo y por lo tanto no necesariamente ser un factor de riesgo externo.

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

Resumiendo y complementando lo anterior, se puede definir la amenaza como el peligro latente, de carácter externo o interno al sistema bajo estudio, que tiene un potencial de materialización en un período dado (probabilidad de ocurrencia), caracterizable en el tiempo, que está relacionado con un área potencialmente afectada y cuya severidad puede ser determinada cuantitativa y cualitativamente. (Cantillo, 1999).

b) Dimensiones y variables

Los fenómenos o procesos que dan lugar a amenaza requieren evaluarse en términos de tiempo (inminencia, recurrencia, duración o velocidad), espacio (distribución espacial, estado de avance y diferenciación por zonas), magnitud (energía) y probabilidad de ocurrencia (en relación con la excedencia de un umbral o valor predefinido en un período de observación o de diseño). Estas

variables adquieren particularidades propias para cada tipo de fenómeno, y en algunos casos son difíciles de evaluar, como el caso de la inminencia y la duración en los terremotos. (Cantillo, 1999).

2.3.1.2 Vulnerabilidad

a) Definiciones

La vulnerabilidad puede entenderse como la predisposición intrínseca de un sujeto o elemento a sufrir daño debido a posibles acciones externas. La resiliencia es la capacidad de recuperación de un sistema. (Cardona, 1997).

b) Ángulos de vulnerabilidad

(Wilches-Chaux., 1993), en su artículo “La Vulnerabilidad Global”, define la vulnerabilidad como la “incapacidad de una comunidad para absorber, mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente, o sea su inflexibilidad o incapacidad para adaptarse a ese cambio”. Así mismo examina diferentes ángulos de la vulnerabilidad, como son:

- Natural: Todo ser vivo, por el hecho de serlo, posee una vulnerabilidad intrínseca determinada por los límites ambientales dentro de los cuales es posible la vida, y por las exigencias internas de su propio organismo.
- Física: Se refiere a la localización de asentamientos humanos en zonas de riesgo y deficiencias de las estructuras físicas. Se podría generalizar el término para abarcar factores de exposición espacial y resistencia; también incluiría los conceptos de vulnerabilidad funcional, estructural y no estructural de (Cardona, 1997).
- Económica: Los sectores económicamente más deprimidos son los más vulnerables. Se podría interpretar, más que como un factor de vulnerabilidad, como un determinante de la resiliencia, si ésta pudiera aislarse de la vulnerabilidad.
- Social: Se refiere al nivel de cohesión interna que posee una comunidad. En este caso también sería un determinante de resiliencia.
- Política: Constituye el valor del nivel que posee una comunidad para la toma de las decisiones que la afectan.
- Técnica: Falta de dominio de técnicas de construcción o tecnologías alternativas en diversas áreas, en los sectores marginales de la población.
- Ideológica: La respuesta ante el desastre depende de la concepción del mundo que tenga la comunidad, ya que hay algunas concepciones fatalistas, que lo atribuyen a fuerzas divinas o del destino o de la naturaleza, sin comprender las características del mismo.
- Cultural: Se refiere a las características de la personalidad del colombiano y a la influencia de los medios masivos de comunicación en las relaciones humanas y con el medio ambiente y en la configuración de la identidad cultural del país.
- Educativa: Hay una brecha muy grande entre la verdad académica y la verdad real, por lo cual la educación no está contribuyendo en la actualidad a forjar una cultura de la prevención.
- Ecológica: El modelo de desarrollo actual del país, no basado en la convivencia, sino en la destrucción del ambiente, ha conducido a unos ecosistemas altamente vulnerables incapaces de autoajustarse ante la intervención humana y riesgos para las comunidades que los explotan o habitan.
- Institucional: Obsolescencia y rigidez de las instituciones.

c) Factores de vulnerabilidad

Los principales factores que influyen en la vulnerabilidad de un sistema son:

- Exposición: Corresponde a la condición del sistema de estar situado dentro del área de influencia de la amenaza y en la ventana de tiempo en la que ésta puede materializarse. Esta es una

condición necesaria para definir si el elemento o sistema es o no es vulnerable frente a la amenaza estudiada.

- **Resistencia:** Se refiere a la capacidad del sistema de soportar las diversas solicitaciones a que se ve afectado. Una mayor resistencia determina menor vulnerabilidad.
- **Resiliencia:** Es la capacidad de recuperación que tiene el sistema después de ocurrido un evento. A mayor resiliencia, menor será la vulnerabilidad.
- **Características del sistema:** Se refiere a algunos aspectos del sistema analizado que definen diversos grados de vulnerabilidad y que no están relacionados con los anteriores. Como ejemplos se tienen: Organización del sistema, complejidad del sistema, forma de distribución (de información, de energía, etc.), características de funcionamiento, condición de alternativa múltiple (mal llamada redundancia) y forma geométrica, entre otros. (Cantillo, 1999).

2.3.1.3 Desastres y riesgo

a) Definiciones

El medio ambiente es un sistema cuyos elementos se encuentran en permanente interacción, que determina las condiciones de existencia de los mismos y de la totalidad del sistema. Cuando en esa dinámica hay cambios que no son posibles de absorber por falta de flexibilidad o capacidad de adaptación, surge una crisis; dependiendo de la valoración social que la comunidad le asigne, se le denomina “desastre”, siendo en todos los casos un impacto ambiental desfavorable.

Un desastre es un proceso social que reviste una situación de anormalidad, como consecuencia de la materialización de una amenaza, que implica pérdidas ambientales (humanas y/o materiales), en un contexto determinado por la vulnerabilidad y resiliencia del sistema afectado. El riesgo es el desastre potencial, definido como el daño, destrucción o pérdida esperada obtenida de la convolución de la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos a tales amenazas, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas y sociales en un cierto sitio y en un cierto período de tiempo. Los desastres pueden considerarse como riesgos no manejados. (Cardona, 1997).

b) Daños, perjuicios y perturbaciones

Las diversas afectaciones que sufren los elementos expuestos pueden definirse, en el caso de elementos materiales, como "daño", de las personas, "perjuicio", y de las relaciones y funciones socio culturales, "perturbación". (Velásquez y Asté., 1994).

2.3.2 **Gestión de riesgos**

Se entiende como “Gestión de Riesgos” el conjunto de acciones encaminadas a la reducción de los niveles de riesgo de un contexto específico, relacionadas con la promoción, divulgación, planeación y ejecución de medidas de manejo de riesgos y desastres y preparativos para desastres.

La visión moderna de la gestión de riesgos implica cuatro políticas públicas distintas:

- La identificación del riesgo (que involucra la percepción individual, la representación social y la estimación objetiva)
- La reducción del riesgo (que involucra a la prevención - mitigación)
- La transferencia del riesgo (que tiene que ver con la protección financiera)
- El manejo de desastres (que corresponde a la respuesta y la reconstrucción). (Cardona, 2003).

2.3.3 **Procesos de remoción en masa**

Nuestro planeta es un sistema dinámico, contando con varios procesos de modelación del paisaje, entre ellos la denudación, inducida por fenómenos climáticos y geológicos naturales, a los cuales,

en tiempos recientes de la edad geológica, se ha unido la acción humana que se presenta en varias direcciones: Como agente directo de modificación del paisaje o como generador y/o catalizador de los procesos de denudación. Dentro de los procesos de denudación se encuentran los llamados procesos de remoción en masa (en el presente trabajo se consideran expresiones sinónimas las siguientes: “Movimientos en masa”, “movimientos de falla de taludes”, “inestabilidad de taludes”, “inestabilidad del terreno” y en forma genérica, aunque con reservas por las confusiones que puede generar el término “deslizamientos”), que vienen a constituirse en una de las amenazas más frecuentes y más severas que afectan el territorio colombiano y los cuales pueden ser caracterizados de diversas maneras, según su tipo y su dinámica espacial y temporal. (Cantillo, 1998). Bajo el término “Procesos de Remoción en Masa” se designa a los movimientos de falla del terreno que abarcan un volumen apreciable de material (suelo o roca), incluyendo una gran variedad de movimientos y tipos de materiales. (Castellanos, 1996).

Se utiliza el término deslizamiento en su carácter general, para abarcar casi todas las variedades de movimientos en masa de taludes incluyendo caídas de roca y suelo, volcamiento, deslizamientos rotacionales y traslacionales, flujos de tierra, detritos y de lodos, algunos de los cuales en rigor presentan poco a ningún movimiento sobre superficie de rotura definida como se concibe un verdadero deslizamiento. Otro término general muy usado en Colombia es el de “derrumbe” que es empleado para referirse a la acumulación de materiales de un talud que han sufrido deslizamientos y quedan en reposo más abajo de su posición original (García, 1996).

El sistema más común de clasificación de deslizamientos es el propuesto por (Varnes, 1978), por lo que también ha sido el más utilizado para definir el tipo de amenaza, como se muestra en la **Tabla 2.3**

Tabla 2.3 Clasificación de deslizamientos

Material Mecanismo de falla	Roca	Suelo	
		Fino	Granular
Caídas	Caída de roca	Caídas de suelo	Caídas de detritos
Deslizamiento rotacional	Hundimiento en roca	Hundimiento de suelo	Hundimientos de detritos
Deslizamiento traslacional	Deslizamiento traslacional en roca	Deslizamiento traslacional en suelo	Deslizamiento traslacional de detritos
Flujos	Flujos de roca	Flujos de lodo o flujo de tierra	Flujos de detritos
Propagación lateral	Propagación lateral		
Complejos	Movimientos complejos		

Fuente: Varnes (1978)

El fenómeno de los deslizamientos se basa en que: "Toda masa de suelo situada debajo de la superficie de una ladera o talud natural, o bien debajo de la superficie del talud formado por un desmonte o excavación, tiene tendencia a desplazarse hacia abajo y hacia afuera por efecto de su propio peso. Cuando esta tendencia es contrarrestada por la resistencia al corte de suelo, el talud es estable; en caso contrario, se produce el deslizamiento" (Terzaghi, 1950), citado por (Castellanos, 1996). Esta definición, aunque sencilla, envuelve un fenómeno cuya naturaleza es compleja, si se consideran sus causas, la diversidad de mecanismos que producen la falla del terreno, las consecuencias de la falla y las consideraciones requeridas para su corrección. (Castellanos, 1996).

El análisis de taludes tradicional considera que las causas de los deslizamientos pueden ser internas y externas; las primeras (que en el presente trabajo se denominarán como factores intrínsecos o inherentes) tienen que ver con la litología (tipo de material), sus condiciones (estado de meteorización, estructura) y la presencia y acción del agua subterránea; casi siempre las causas internas producen cambios sobre la resistencia al corte del terreno.

Las causas externas tienen que ver con las alteraciones bien sea por la acción de fenómenos naturales -lluvias, sismos, pérdida de soporte por socavación de corrientes de agua, volcanes- o por factores antrópicos -sobrecargas en la parte superior de un talud (rellenos, obras), cortes en la base (minería, obras de ingeniería y otras), modificación perjudicial del régimen de drenaje y deforestación-. La mayor influencia de las causas externas se manifiesta en un aumento del esfuerzo cortante aplicado a los materiales que forman el talud.

Es común hacer referencia a la acción de las causas enunciadas, como factores contribuyentes o disparadores. Como factores contribuyentes pueden actuar bien las causas internas o externas en relación con los fenómenos o procesos que hacen susceptible a la falla un talud (Ej. materiales débiles o alterados, la pendiente natural, etc.). Los agentes (o factores) disparadores (o detonantes) son aquellos que actúan de manera tal o en determinado momento que producen la disminución necesaria de resistencia o el aumento suficiente de esfuerzos que dispara la falla, al sobrepasarse el umbral donde el esfuerzo aplicado es menor a la resistencia. (Cantillo, 1998) y (Castellanos, 1996).

Para los efectos de este trabajo se define susceptibilidad a los fenómenos de remoción en masa como la potencial actitud o vocación de una masa de suelo o roca en talud, a alterar sus condiciones de estabilidad, ante la acción de uno o varios agentes disparadores. Se acostumbra distinguir zonas de susceptibilidad baja a nula, media y alta. La susceptibilidad es una réplica conceptual de vulnerabilidad (en este caso el agente disparador actuaría como amenaza y la masa de suelo a manera de elemento expuesto). Las consecuencias de la acción del agente disparador sobre un terreno susceptible, pueden ser potenciales (similitud con el riesgo) o efectivamente presentarse un movimiento en masa (similitud con la concepción de desastre), (Cantillo, 1998).

De acuerdo con (Gonzalez, 1990), los movimientos de remoción en masa pueden considerarse como fenómenos de segundo orden, pues son producto de factores naturales o artificiales, los cuales constituyen los eventos de primer orden o causas.

Desde esta óptica, al considerar la acción combinada de una amenaza de primer orden (evento detonante que materializa el proceso de inestabilidad, como por ejemplo lluvias, movimientos sísmicos, erosión natural, efectos de la acción del hombre, o combinaciones de ellos), que encuentra condiciones favorables en la naturaleza y nivel de exposición del terreno (susceptibilidad), se está planteando la primera fase de la cadena del riesgo. Una vez configurado el proceso de inestabilidad, aunque sea potencial, éste se convierte en amenaza para los elementos expuestos (población, edificaciones, infraestructura, actividades y relaciones de la comunidad, etc.), los cuales presentan unas determinadas características tanto de exposición como de resistencia a sus efectos y un nivel de resiliencia, que definirán el nivel potencial de daños o pérdidas (riesgo). (Cantillo, 1998).

2.3.4 Avenidas torrenciales

Las avenidas torrenciales corresponden a crecientes súbitas en cauces de montaña, con descargas pico de gran magnitud, producidas por tormentas severas generalmente de limitada extensión en área (CAR, 2013). De acuerdo con esta definición, en el presente trabajo el término “Avenidas torrenciales” no es sinónimo de “Avalanchas”, “Flujos de lodo”, ni “Aludes”.

Son uno de los tipos más comunes de amenazas y son extremadamente peligrosas debido a su naturaleza rápida. Sus características son: corta duración, pequeña extensión del área de influencia, alto caudal pico y flujo rápido generalmente causantes de daños importantes a la propiedad. Ocurren a causa de tormentas de alta intensidad, en áreas de altas pendientes en las cuencas y cobertura vegetal pobre se ven afectadas de manera importante cuando el índice de infiltración se reduce por tormentas previas. Se pueden subdividir de acuerdo con el material de arrastre de la corriente. (CAR, 2013).

3 PLAN DE TRABAJO

A continuación se registra el plan de trabajo propuesto para la elaboración de los estudios mencionados.

3.1 ETAPAS Y ACTIVIDADES

3.1.1 Etapa 0

Plan de trabajo

3.1.1.1 Objetivo

Precisar el plan de trabajo y el enfoque metodológico de los trabajos

3.1.1.2 Actividades

- a) Definición del plan de trabajo
- b) Unificación de conceptos y criterios

3.1.2 Etapa 1

Estudios básicos escala 1:25.000

3.1.2.1 Objetivos

Adelantar los estudios básicos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por avenidas torrenciales en zona rural de los 24 municipios, priorizados en 3 bloques.

3.1.2.2 Actividades

- a) Recopilación de información secundaria disponible

Corresponde al acopio de información de interés en diversas fuentes como el Servicio Geológico Nacional, Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR), DANE, bases de datos de registros históricos de eventos y emergencias (DesInventar y UNGRD), entre otras. De igual forma se recibirá información directamente del contratante, que se detalla en el Numeral 3.2 del presente informe.

- b) Caracterización y almacenamiento de información

Con base en las fuentes identificadas de información, se obtendrá la base requerida para los análisis de riesgo. El almacenamiento de la información impresa se llevará a cabo en carpetas tipo AZ por fuente de información, estableciendo subcapítulos según el tipo de información o el tema al cual el documento haga referencia; estas carpetas se encontrarán debidamente marcadas con un rótulo ubicado en el lomo de la carpeta; en este rótulo se registrará el nombre del proyecto, el logo y nombre de la entidad contratante, el logo y nombre de la entidad contratista, la entidad que facilita la información y el número de identificación, el cual está asociado a la entidad. La información digital que se recopile se almacenará directamente en el servidor de la empresa contratista, en donde existe una carpeta creada para uso exclusivo de este proyecto en la cual se guarda toda la información que sobre este proyecto se genere o se recopile, organizada en subcarpetas. La información cartográfica se manejará mediante una herramienta SIG, con base en el modelo de datos de la CAR; en el evento de que dicho modelo no sea suministrado se emplearán criterios convencionales para este tipo de estudios. La cartografía se manejará en el sistema de coordenadas al que esté amarrada la base cartográfica recibida, que se requiere sea en el sistema Magnas Sirgas con origen Bogotá.

c) Análisis de información

Se llevará a cabo de acuerdo con las bases metodológicas que se detallan más adelante, partiendo de la información secundaria recibida y recopilada, y cubrirá los siguientes aspectos:

- Análisis de contexto: Corresponde al estudio de los antecedentes y del entorno de la región que permita inferir inicialmente las condiciones de amenaza y riesgo por avenidas torrenciales en cada una de las zonas de estudio, que luego se contrastará con los análisis específicos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo y/o servirá de insumo para ellos.
- Estudio geológico y geomorfológico regional, a escala 1:25.000, enfocado a establecer los insumos requeridos para el análisis de amenaza por avenidas torrenciales y determinar las cuencas sobre las cuales se hará dicho análisis.
- Análisis hidrológico en las cuencas seleccionadas, de acuerdo con la información que se haya logrado obtener de las estaciones disponibles.
- Evaluación y zonificación de amenaza por avenidas torrenciales, a escala 1:25.000, atendiendo los criterios descritos en las bases metodológicas que se presentan más adelante, con base en información secundaria y empleando la herramienta SIG.
- Análisis de vulnerabilidad ante la amenaza por avenidas torrenciales, que se aplicará a las zonas de amenaza alta y media, derivadas del análisis anterior, según procedimiento detallado en el numeral respectivo, con base en información secundaria y empleando la herramienta SIG.
- Evaluación de riesgo por avenidas torrenciales, siguiendo el procedimiento metodológico respectivo, con base en información secundaria y empleando la herramienta SIG.

d) Elaboración de informes

NOTA IMPORTANTE: Se debe tener en cuenta que el insumo de entrada inicial para los estudios considerados en este Numeral corresponde a la cartografía de las áreas de estudio, según las escalas y requerimientos exigidos por la CAR.

3.1.3 Etapa 2

Estudios básicos a escala 1:2.000

3.1.3.1 Objetivo

Adelantar los estudios básicos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por avenidas torrenciales y remoción en masa en zona urbana y de expansión urbana de los 24 municipios, priorizados en 3 bloques.

3.1.3.2 Actividades

a) Recopilación de información secundaria disponible

Corresponde al acopio de información de interés en diversas fuentes como el Servicio Geológico Nacional, Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR), DANE, bases de datos de registros históricos de eventos y emergencias (DesInventar y UNGRD), entre otras. De igual forma se recibirá información directamente del contratante, que se detalla en el Numeral 3.2 del presente informe.

b) Levantamientos de información primaria

Se contempla la realización de un breve recorrido de campo, que permita el reconocimiento general de las zonas de estudio y el acercamiento a las condiciones de amenaza y riesgo de cada una de ellas. Se efectuará una visita a cada municipio por parte del profesional especialista en riesgos, acompañado del (de los) profesional(es) temático(s) correspondiente (s) (Hidráulico y/o Geotecnista).

c) Caracterización y almacenamiento de información

Con base en las fuentes identificadas de información y el recorrido de campo, se obtendrá la base requerida para los análisis de riesgo. El almacenamiento de la información impresa se llevará a cabo en carpetas tipo AZ por fuente de información, estableciendo subcapítulos según el tipo de información o el tema al cual el documento haga referencia; estas carpetas se encontrarán debidamente marcadas con un rótulo ubicado en el lomo de la carpeta; en este rótulo se registrará el nombre del proyecto, el logo y nombre de la entidad contratante, el logo y nombre de la entidad contratista, la entidad que facilita la información y el número de identificación, el cual está asociado a la entidad. La información digital que se recopile se almacenará directamente en el servidor de la empresa contratista, en donde existe una carpeta creada para uso exclusivo de este proyecto en la cual se guarda toda la información que sobre este proyecto se genere o se recopile, organizada en subcarpetas. La información cartográfica se manejará mediante una herramienta SIG, con base en el modelo de datos de la CAR; en el evento de que dicho modelo no sea suministrado se emplearán criterios convencionales para este tipo de estudios. La cartografía se manejará en el sistema de coordenadas al que esté amarrada la base cartográfica recibida, que se requiere sea en el sistema Magnas Sirgas con origen Bogotá.

d) Análisis de información

Se llevará a cabo de acuerdo con las bases metodológicas que se detallan más adelante, partiendo de la información secundaria recibida y recopilada, así como de la información obtenida en el recorrido de campo, y cubrirá los siguientes aspectos:

- Análisis de contexto: Corresponde al estudio de los antecedentes y del entorno de la región que permita inferir inicialmente las condiciones de amenaza y riesgo por avenidas torrenciales en cada una de las zonas de estudio, que luego se contrastará con los análisis específicos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo y/o servirá de insumo para ellos.
- Estudio geológico y geomorfológico local, a escala 1:2.000, enfocado a establecer los insumos requeridos para el análisis de amenaza por avenidas torrenciales y remoción en masa.
- Evaluación y zonificación de amenaza por avenidas torrenciales y remoción en masa, a escala 1:2.000, atendiendo los criterios descritos en las bases metodológicas que se presentan más adelante, con base en información secundaria y el recorrido de campo y empleando la herramienta SIG.
- Análisis de vulnerabilidad ante las amenazas consideradas, que se aplicará a las zonas de amenaza alta y media, derivadas del análisis anterior, según procedimiento detallado en el numeral respectivo, con base en información secundaria y empleando la herramienta SIG.
- Evaluación de riesgo por avenidas torrenciales y remoción en masa, siguiendo el procedimiento metodológico respectivo, con base en información secundaria y empleando la herramienta SIG.

e) Elaboración de informes.

NOTA IMPORTANTE: Se debe tener en cuenta que el insumo de entrada inicial para los estudios considerados en este Numeral corresponde a los levantamientos topográficos y batimétricos de las áreas de estudio, según las escalas y requerimientos exigidos por la CAR.

3.1.4 Etapa 3

Estudios detallados.

3.1.5 Objetivo

Adelantar estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por avenidas torrenciales o remoción en masa en sitios especiales, a escala 1:2.000. Se busca verificar a nivel local, escala 1:2.000, las condiciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de un sitio crítico, previamente

identificado y acordado con el Contratante, que se hubiera detectado en los estudios básicos (Escala 1:25.000 y 1:2.000).

3.1.6 Actividades

3.1.6.1 Recopilación de información secundaria disponible

Corresponde al acopio de información de interés en diversas fuentes como el Servicio Geológico Nacional, Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR), DANE, bases de datos de registros históricos de eventos y emergencias (DesInventar y UNGRD), entre otras. De igual forma se recibirá información directamente del contratante.

- a) Levantamientos de información primaria: Incluye la información tomada en campo a partir de levantamientos detallados, visitas de inspección, entrevistas y pruebas y ensayos técnicos. Los principales trabajos de campo son los siguientes:
- Levantamientos geológico y geomorfológico, incluyendo inventario de procesos: El levantamiento geológico se realizará a nivel de unidad roca, con cubrimiento, densidad y detalle suficientes para su representación gráfica en escala 1:2.000 indicando la descripción litológica y caracterización de los depósitos recientes. Incluye la cartografía de todas las unidades que a la escala de trabajo son representativas (incluyendo materiales superficiales y el material subyacente), estructuras geológicas y columnas estratigráficas, así como la correlación de unidades, y la ubicación de estaciones para el levantamiento de discontinuidades, puntos de investigación del subsuelo, etc. Por su parte, el levantamiento geomorfológico, del mismo nivel de detalle del geológico, corresponde a la caracterización necesaria para establecer la geomorfología del área de estudio considerando la génesis de las diferentes unidades y su evolución dentro del área de interés, definiendo las unidades que deben tenerse en cuenta en la evaluación de amenaza y describiendo cada unidad en función de sus características morfológicas, composición de los materiales y régimen de agua. El inventario de procesos incluye el análisis y cartografía de los procesos morfodinámicos, tanto erosión como procesos de remoción en masa, en términos de su estado de actividad, tendencia a la propagación (retrogresividad del proceso), espesor y velocidad a partir de los aspectos básicos identificados en su génesis, (unidades geomorfológicas, geológicas, factor antrópico, etc.), de acuerdo con las condiciones particulares del sector, con base en fichas de levantamiento de información previamente diseñadas y que se presentan más adelante.
 - Programa de exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio: Se ha previsto efectuar un programa de investigación del subsuelo, que involucra métodos directos, a través de 1 o 2 sondeos por sitio, con un máximo total de 8 m de perforación, que se complementarán con ensayos de campo y laboratorio, requeridos para caracterizar los materiales y sus propiedades. Los resultados de los ensayos de campo servirán para determinar contrastes de las propiedades a evaluar (resistencia, compresibilidad, etc.). Los ensayos de laboratorio permitirán obtener la identificación, clasificación y caracterización geomecánica de los materiales encontrados; contemplarán en suelos y rocas, entre otros los ensayos para la determinación del contenido de humedad, peso unitario, gradación, límites de Atterberg, compresión confinada y/o corte directo. El alcance y justificación técnica del Programa de Investigación del Subsuelo se presentará como propuesta luego de la revisión de información secundaria y reconocimiento de campo, siendo retroalimentada en el proceso de levantamiento de información primaria de detalle.

3.1.6.2 Caracterización y almacenamiento de información

Con base en las fuentes identificadas de información y el trabajo de campo, se obtendrá la base requerida para los análisis de riesgo. El almacenamiento de la información impresa se llevará a cabo en carpetas tipo AZ por fuente de información, estableciendo subcapítulos según el tipo de

información o el tema al cual el documento haga referencia; estas carpetas se encontrarán debidamente marcadas con un rótulo ubicado en el lomo de la carpeta; en este rótulo se registrará el nombre del proyecto, el logo y nombre de la entidad contratante, el logo y nombre de la entidad contratista, la entidad que facilita la información y el número de identificación, el cual está asociado a la entidad. La información digital que se recopile se almacenará directamente en el servidor de la empresa contratista, en donde existe una carpeta creada para uso exclusivo de este proyecto en la cual se guarda toda la información que sobre este proyecto se genere o se recopile, organizada en subcarpetas. La información cartográfica se manejará mediante una herramienta SIG, con base en el modelo de datos de la CAR; en el evento de que dicho modelo no sea suministrado se emplearán criterios convencionales para este tipo de estudios. La cartografía se manejará en el sistema de coordenadas al que esté amarrada la base cartográfica recibida, que se requiere sea en el sistema Magnas Sirgas con origen Bogotá.

3.1.6.3 Análisis de información

Se llevará a cabo de acuerdo con las bases metodológicas que se detallan más adelante, partiendo de la información secundaria recibida y recopilada, así como de la información obtenida en el trabajo de campo, y cubrirá los siguientes aspectos

a) Análisis de contexto:

Corresponde al estudio de los antecedentes y del entorno de la región que permita inferir inicialmente las condiciones de amenaza y riesgo por avenidas torrenciales en cada una de las zonas de estudio, que luego se contrastará con los análisis específicos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo y/o servirá de insumo para ellos.

b) Estudio geológico y geomorfológico local, a escala 1:2.000

Enfocado a establecer los insumos requeridos para los análisis detallados.

c) Zonificación geotécnica

Se determinarán zonas de comportamiento geotécnicamente homogéneo a partir de la interpretación de la información secundaria y primaria.

d) Análisis de estabilidad

El estudio definirá los criterios de análisis y justificación de los parámetros de evaluación de estabilidad, previamente a la evaluación de la estabilidad de laderas, analizando un solo perfil por sitio, identificación de mecanismos de falla y agentes detonantes de procesos activos y/o potenciales de inestabilidad, presentando las respectivas memorias de cálculo para las diferentes condiciones de análisis.

e) Evaluación y zonificación de amenaza

Se realizará la evaluación, zonificación y categorización del área de estudio por amenaza a escala 1:2000 ante procesos de remoción en masa o avenidas torrenciales, identificando los factores detonantes, magnitud, intensidad, probabilidad y distribución espacial de la amenaza en el área de estudio, indicando los criterios de evaluación.

f) Análisis de vulnerabilidad ante la amenaza considerada

Se aplicará a las zonas de amenaza alta y media, derivadas del análisis anterior, según procedimiento detallado en el numeral respectivo, con base en información secundaria y empleando la herramienta SIG.

3.1.6.4 Elaboración de informes

NOTA IMPORTANTE: Se debe tener en cuenta que el insumo de entrada inicial para los estudios considerados en este Numeral corresponde a los levantamientos topográficos (y batimétricos en el caso de avenidas torrenciales) de los sitios de estudio según las escalas y requerimientos exigidos por la CAR.

3.2 INSUMOS DE INFORMACIÓN A RECIBIR

Se ha pactado previamente con el contratante la entrega de los siguientes insumos de información:

- Cartografía básica de la zona, levantamientos topográficos y levantamientos batimétricos, en formato impreso y digital, a las escalas solicitadas y según los requerimientos de la CAR.
- Estudios disponibles.
- Fotografías aéreas e imágenes de satélite en formato digital.
- Información de estaciones hidrometeorológicas e hidroclimatológicas.
- Contacto con las autoridades locales para el acompañamiento durante los trabajos de campo.
- Estudios básicos por remoción en masa de los 24 municipios en suelo rural a escala 1:25.000.

3.2.1 **Productos entregables**

Los productos a entregar son los informes de los estudios. Se entregará un informe por cada tipo de estudio y municipio considerado.

De cada informe técnico se entregarán dos versiones, así:

3.2.1.1 Versión 0.5 (Borrador para revisión del cliente)

Un (1) ejemplar impreso (o si lo prefiere el cliente, sólo versión digital, con un único archivo para las observaciones).

3.2.1.2 Versión 1.0 (Final)

Un (1) original impreso, con sus respectivos archivos en formato digital. (O si lo prefiere el cliente, sólo versión digital).

3.2.2 **Nomenclatura de los informes**

Los informes y sus archivos se identificarán con un código que establezca las características de cada estudio, como se detalla a continuación.

AA – BB – CC – DD - E.E

Donde, AA corresponde a la identificación del tipo de estudio así: EB: Estudio Básico o ED: Estudio Detallado; BB señala el fenómeno generador de amenaza, así: RM: Remoción en Masa o AT: Avenidas Torrenciales; CC: Ataño a la zona donde se realiza el estudio, así: RU corresponde al suelo rural y UE, al suelo urbano y de expansión urbana; DD: Concierne al municipio donde se realiza el estudio, así:

- Beltrán: BE
- Bituima: BI
- Chaguani: CH
- El Peñón: EP
- La Mesa: LM
- La Palma: LP
- Pacho: PA

- Paime: PM
- Pasca: PS
- Pulí: PU
- Quebrada negra: QU
- San Juan de Río Seco: SJ
- San Cayetano: SC
- Silvania: SI
- Subachoque: SU
- Supatá: SU
- Topaipí: TO
- Ubaté: UB
- Vergara: VE
- Vianí: VN
- Villagómez: VG
- Villeta: VI
- Yacopí: YA
- Zipaquirá: ZI

Finalmente, E.E corresponde a la versión de informe y puede tomar los valores 0.5 o 1.0.

Así, por ejemplo, el informe EB-RM-UE-LM-0.5 corresponde a la versión borrador (0.5) del estudio básico de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por remoción en masa en las zonas urbanas y de expansión urbana del municipio de La Mesa, Cundinamarca.

3.2.3 Contenido tipos de los informes

A continuación se presenta la tabla de contenido aproximada de un estudio tipo:

1. INTRODUCCIÓN
2. GENERALIDADES
3. ANÁLISIS DE CONTEXTO
 - 3.1 Antecedentes
 - 3.2 Condiciones del entorno que inciden en el riesgo
4. INSUMOS BÁSICOS
 - 4.1 Aspectos geológicos
 - 4.2 Aspectos geomorfológicos
 - 4.3 Hidrología
5. EVALUACIÓN DE AMENAZA
6. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD
7. EVALUACIÓN DE RIESGO
8. CONCLUSIONES
9. RECOMENDACIONES
10. FUENTES DE CONSULTA
 - Apéndices
 - Anexos

NOTA: Según aplique a cada tipo de estudio.

3.3 CRONOGRAMA

Es importante registrar que dicho cronograma contempla las siguientes presunciones:

- Hay flujo de caja acorde con los requerimientos del proyecto.

- No hay tiempos muertos por demoras en la revisión de los productos
- No hay demoras en la entrega ni problemas de calidad de la información cartográfica, topográfica y batimétrica.
- No hay demoras en la entrega de los demás insumos como las fotografías aéreas de diversas épocas.

3.4 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA EN LOS ESTUDIOS DETALLADOS

Algunos instrumentos a emplear en los trabajos de campo para los estudios detallados, como son:

- Formato para inventario de procesos morfodinámicos
- Formato para registro de perforaciones

4 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS BASES METODOLÓGICAS Y PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO

A continuación se reseñan los aspectos metodológicos relevantes del trabajo.

4.1 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS PARA LOS ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES

La presente consultoría se acoge a la metodología incluida en el Anexo Técnico de la CAR, el cual se presenta a continuación en forma ampliada.

4.1.1 Evaluación de amenaza

La generación de los mapas de susceptibilidad por avenidas torrenciales se propone en dos (2) pasos:

4.1.1.1 Primer paso

Determinar las áreas del municipio vulnerables a avenidas torrenciales; se utilizará el Índice de Vulnerabilidad frente a Eventos Torrenciales en fuentes abastecedoras – IVET - definido en el documento “Enfoque conceptual y metodológico para determinar la vulnerabilidad de fuentes abastecedoras de acueductos” (IDEAM, 2011e), para las áreas montañosas de los afluentes principales de las subcuencas y a las microcuencas abastecedoras. Las cuencas que arrojen un IVET entre Medio y Muy Alto serán objeto de evaluación de amenaza.

El IVET es definido y caracterizado de la siguiente manera, según el IDEAM:

a) Definición y significado:

La vulnerabilidad se expresa en relación con los índices morfométricos de torrencialidad e índice de variabilidad.

- El índice Morfométrico de Torrencialidad, es la relación entre los parámetros morfométricos como el coeficiente de compacidad o de forma, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje, los cuales son indicativos de la forma como se concentra la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y capacidad de arrastre de sedimentos en una cuenca, la eficiencia o rapidez de la escorrentía y de los sedimentos para salir de la cuenca luego de un evento de precipitación y con ello inferir cual podría ser el nivel de susceptibilidad a procesos torrenciales (Rivas y Soto., 2009) en (IDEAM, 2011e).
- El índice de variabilidad, muestra el comportamiento de los caudales en una determinada cuenca definiendo una cuenca torrencial como aquella que presenta una mayor variable, es decir, donde existen diferencias grandes entre los caudales mínimos que se presentan, y los valores máximos.

b) Fórmula y unidad de medida del indicador

Una matriz de decisión entre las categorías del índice Morfométrico y el índice de variabilidad. La unidad de medida del indicador es cualitativa y se expresa en términos de vulnerabilidad muy alta, alta, media y baja.

c) Descripción metodológica:

El índice Morfométrico se concluye en la relación entre las variables morfométricas como el coeficiente de compacidad o de forma, la pendiente media de la cuenca y la densidad del drenaje, los cuales son indicativos de la forma como se concentra la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y capacidad de arrastre de sedimentos en una cuenca, la eficiencia o rapidez de la

escorrentía y de los sedimentos para salir de la cuenca luego de un evento de precipitación y con ello inferir cual podría ser el nivel de susceptibilidad a procesos torrenciales (Rivas y Soto., 2009).

Se define una serie de valores promedio de las variables indicadas, estableciendo seis categorías o rangos, mientras mayor sean estos valores, hay una mayor tendencia para que en la cuenca se presenten procesos torrenciales, es decir, existe una mayor vulnerabilidad a este tipo de procesos. (IDEAM, 2011e). En la **Tabla 4.1**, se muestran los rangos de la clasificación de los parámetros mencionados.

Tabla 4.1 Relaciones para categorizar el índice Morfométrico

Índice Morfométrico	Escala	Área de la cuenca de drenaje (Km2)	Categoría				
			1	2	3	4	5
Densidad de drenaje (Km/Km2)	1:10.000	<15	<1,50	1,51-2,00	2,01-2,50	2,51-3,00	>3
	1:25.000	16 a 50	<1,20	1,21-1,80	1,81-2,00	2,01-2,5	>2,5
	1:100.000	>50	<1,00	1,01-1,50	1,51-2,00	2,01-2,50	>2,5
			Baja	Moderada	Moderada Alta	Alta	Muy Alta
Pendiente media de la cuenca (%)	1:10.000	<15	<20	21-35	36-50	51-75	>75
	1:100.000	>50	<15	16-30	30-45	46-65	>65
			Accidentado	Fuerte	Muy Fuerte	Escarpado	Muy Escarpado
Coeficiente de compacidad			<1,625	1,376-1,500	1,251-1,375	1,126-1,250	1,00-1,125
			Oval-oblonga a rectangular-oblonga	Oval-redonda a oval-oblonga		Casi redonda a oval-redonda	

Fuente: Rivas y Soto (2009) nombrado en IDEAM, 2011.

Las categorías del índice morfométrico que van desde muy alta hasta muy baja, en función de los parámetros pendiente media de la cuenca, densidad de drenaje y coeficiente de forma se muestra en la **Tabla 4.2**.

Tabla 4.2 Relaciones entre variables para el índice Morfométrico

		Pendiente media de la cuenca						
Densidad de drenaje	1	1	2	3	4	5	Coeficiente de forma	
		111	121	131	141	151		
	112	122	132	142	152			
	113	123	133	143	153			
	114	124	134	144	154			
	115	124	135	145	155			
	2	211	221	231	241	251		
		212	222	232	242	252		
		213	223	233	243	253		
		214	224	234	244	254		
		215	225	235	245	255		
	3	311	321	331	341	351		
		312	322	332	342	352		
		313	323	333	343	353		
		314	324	334	344	354		
		315	325	335	345	355		
	4	411	421	431	441	441		
		412	422	432	442	45		
		413	423	433	443	453		
		414	424	434	444	454		
415		425	435	445	455			
5	511	521	531	541	551			
	512	522	532	542	552			
	513	523	533	543	553			
	514	524	534	544	554			
	515	525	535	545	555			
Muy baja		Moderada		Baja	Alta	Muy alta		

Fuente: Rivas y Soto (2009) nombrado en IDEAM, 2011.

Una condición muy alta para el índice morfométrico, corresponde a áreas que se caracterizan por ser inestables y potencialmente inestables que responden rápida y violentamente a lluvias de alta intensidad y corta duración, generando avenidas torrenciales de forma frecuente.

La categoría alta muestra áreas con una respuesta hidrológica rápida con una cobertura de suelo que permite procesos torrenciales que se presentan frecuentemente en períodos lluviosos. La condición media, en cambio, presenta una respuesta a procesos hidrológicos de moderada a rápida y los eventos se presentan generalmente en las épocas de las mayores precipitaciones al año.

El índice de variabilidad se obtiene de la curva de duración de caudales, muestra como es la variabilidad de los caudales en una determinada cuenca. Una cuenca torrencial es aquella que presenta una mayor variabilidad, es decir, existen diferenciales grandes entre los caudales mínimos y los valores máximos. Cuenca con variabilidades pequeñas muestran que los caudales tienden a mantenerse y los cauces por los que existe flujo, generalmente tienen la capacidad para transportar estos caudales. El comportamiento con variabilidad pequeña es típico de cauces de llanura, los cuales generalmente no presentan procesos torrenciales.

Cuenca de áreas pequeñas con pendientes altas, por lo general presentan caudales de creciente, alternado de caudales medios y bajos con magnitudes muy inferiores a las de los caudales máximos, que hacen que la curva de duración de caudales muestre una gran variabilidad.

La curva de duración de caudales al ser graficada en escala logarítmica, muestra una tendencia lineal, de la cual se puede obtener el índice de variabilidad que se expresa mediante la siguiente expresión:

$$\text{Índice de variabilidad} = \frac{\{ \text{Log}(Q_i) - \text{Log}(Q_f) \}}{\{ \text{Log}(X_i) - \text{Log}(X_f) \}}$$

Donde, Q_i y Q_f representan dos caudales tomados de la curva de duración de caudales, y X_i y X_f los porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales Q_i y Q_f respectivamente **Tabla 4.3**.

Tabla 4.3 Clasificación del índice de variabilidad

Índice de variabilidad	Vulnerabilidad
<10°	Muy baja
10,1° - 37°	Baja
37,1° - 47°	Media
47,1 – 55°	Alta
>55°	Muy alta

Fuente: Rivas y Soto 2009, nombrado en IDEAM 2011

El índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales, indica la relación existente entre las características de la forma de una cuenca que son indicativos de la torrencialidad en la misma, en relación con las condiciones hidrológicas en dicha cuenca. La **Tabla 4.4**, muestra la clasificación de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales una vez se estima cada uno de los índices mencionados.

Tabla 4.4 Clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET)

Índice de variabilidad	Índice morfométrico de torrencialidad				
	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Muy Baja	Baja	Baja	Media	Alta	Alta
Baja	Muy Baja	Media	Media	Alta	Muy Alta
Media	Muy Baja	Media	Alta	Alta	Muy Alta
Alta	Media	Media	Alta	Muy Alta	Muy Alta
Muy Alta	Media	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta

Fuente: IDEAM 2011

Se expresa en relación con los índices morfométricos y de variabilidad para estimar una sola vulnerabilidad frente a eventos torrenciales, teniendo en cuenta los rangos y las clasificaciones de cada uno de ellos.

Fuente y disponibilidad de datos: Curvas de nivel o modelo digital de elevación del terreno (DEM). En condiciones generales en el país, la cartografía que se puede obtener, se encuentra a escalas 1:100.000, 1:25.000 y en algunos casos a escala 1:10.000. Es importante resaltar que cuencas con áreas pequeñas, pueden no quedar bien representadas en cartografía a escala 1:100.000 dados el poco detalle que presentan estas planchas. Para lo cual es necesario valerse de herramientas de mejor detalle como puede ser el Modelo Digital Suministrado por la NASA, el cual cuenta con celdas de 30 m. de lado, y que es una muy buena representación para el territorio Colombiano.

Información hidroclimatológica de caudales diarios y de precipitación a nivel diario para estimativos de caudal cuando no se tienen estaciones hidrométricas. En general, esta información corresponde a los registros de lluvia a nivel diario en diferentes estaciones pluviométricas cercanas a la cuenca. Como mínimo, para una determinada cuenca abastecedora, es necesario contar con la información de los datos de lluvias, ya sea dentro de la misma, o en estaciones cercanas con distancias inferiores a 1.0 Km. En caso en los que se requiera emplear métodos lluvia-caudal, es necesario también tener los datos de temperatura y evaporación a nivel mensual.

Información geológica, geomorfológica y de cobertura y uso del suelo. Esta información, representada en cartografía, sirve en todo el análisis para establecer las pérdidas por infiltración en la cuenca. A partir de la geología y geomorfología y la cobertura y el uso del suelo, se puede tener un estimativo de los coeficientes de escorrentía o números de curva (CN) de la zona de estudio, insumo que posteriormente junto con toda la información hidroclimatológica analizada permiten obtener los caudales.”

4.1.1.2 Segundo paso

Delimitación de áreas afectadas por avenidas torrenciales; se delimitarán las áreas de tránsito y las contiguas que puedan ser afectadas por procesos de avalanchas al desbordarse el cauce en las zonas de tránsito. Esta delimitación se realizará en las imágenes satelitales y, de acuerdo con su relevancia, se realizará a escala de mayor detalle. El uso del suelo, la erosión y los movimientos en masa en las márgenes son elementos que contribuyen a las avenidas torrenciales y deben ser tenidos como criterios para su delimitación.

a) Área de depositación (D) o de Impacto por Cercanía

Corresponde al área de cambio brusco de pendiente del cauce donde se surte la descarga principal de la avenida torrencial, su área depende del volumen y las características del flujo, generalmente en abanico, la cual debe ser delimitada con geomorfología de detalle.

b) Área de afectación (A)

Corresponde al área por donde se desarrolla, transita y descarga los materiales procedentes de un evento torrencial.

c) Eventos detonantes (Ed)

Está sujeto al comportamiento temporal de las precipitaciones pico en las microcuencas analizadas y la localización de obras e infraestructura en la sección de cauces que pueden convertirse en elementos generadores de avalanchas por obstrucción de los cauces, aun sin presentarse altas precipitaciones.

d) Nivel de resolución de los mapas:

La delimitación y georreferenciación de las áreas expuestas a avenidas torrenciales depende de la magnitud de éstas, en relación a la escala de trabajo o a la existencia de cartografía a mayor detalle que posea la corporación. En todo caso, aunque la información no pueda ser graficada a la escala de los demás elementos de la zonificación, debe ser incluida como atributo e incorporada en el análisis de riesgo.

e) Análisis de vulnerabilidad

Se enfoca exclusivamente en la vulnerabilidad física, tal como lo establece el Anexo Técnico, con el ajuste a la escala de trabajo (1:2.000) y viene definida por:

$$V = I \times S$$

Dónde, V: Vulnerabilidad; I: Intensidad del deslizamiento; S: Susceptibilidad de los elementos en riesgo

Este contempla la severidad de la acción de la avenida torrencial como la capacidad de resistencia brindada por los elementos. Los elementos en riesgo pueden dividirse en dos categorías, comúnmente, personas y elementos económicos.

f) Susceptibilidad

- Susceptibilidad de los elementos económicos

Los elementos económicos incluyen edificios, vías o rutas de transporte, y elementos naturales. La capacidad de resistencia para un grado de riesgo es asociado al tipo de estructura (o características de la misma) y el estado en que se encuentra:

$$Seco = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - Si)$$

Dónde, Seco = Susceptibilidad de los elementos económicos. Si = Factor de susceptibilidad que contribuye a la susceptibilidad de los elementos económicos, incluyendo Stipo y Smart

Para edificaciones el tipo de estructura define la capacidad para resistir la deformación e impacto ocasionados por las fuerzas del deslizamiento. Seis categorías de estructuras y valores del factor de susceptibilidad se muestran en la **Tabla 4.5**.

Tabla 4.5 Valores propuestos para el factor de susceptibilidad asociada con el tipo de estructura

Tipo de estructura	Resistencia	Tipo
Estructuras simples, ligeras	Ninguna	1,00
Estructuras livianas	Muy baja	0,90
Muros en roca, concreto o madera	Baja	0,70
Muros en ladrillo o estructuras en concreto	Media	0,50
Estructuras en concreto reforzado	Alta	0,30
Estructuras reforzadas	Muy alta	0,10

Fuente: UT AVR – CAR, 2014.

El factor de susceptibilidad debido al mantenimiento puede asignarse de manera subjetiva, como el estado promedio de las edificaciones por manzanas, como se muestra en la **Tabla 4.6**.

Tabla 4.6 . Valores propuestos para el factor de susceptibilidad por el estado de la edificación

Estado de la edificación	Smant
Deficiente	0,50
Malo	0,40
Medio	0,25
Bueno	0,10
Muy bueno	0,00

UT AVR – CAR, 2014.

- Susceptibilidad de las personas

Para deslizamientos que se producen a tasas de movimiento muy bajas, el riesgo de las personas proviene de la deformación de las estructuras y edificaciones, el cual puede evitarse por el instinto de protección de cada uno. En contraste, el impacto y efecto neto durante un deslizamiento repentino y a gran velocidad se convierte en el principal riesgo para las personas. Tres factores de susceptibilidad son considerados, por el tipo de edificación, edificaciones con más de 4 habitantes menores de edad, número de habitantes discapacitados.

Donde la susceptibilidad se calculó por:

$$Sper = 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - Si)$$

Dónde, Sper: Susceptibilidad de las personas; Si: Es el factor de susceptibilidad que contribuye a la susceptibilidad de las personas, incluyendo S. tipo, S. menores de edad, S. salud.

Tabla 4.7 Valores propuestos para el factor de susceptibilidad debido a la presencia de menores de edad

Descripción	S. menores de edad
Con más de 4 habitantes menores de edad	0,75
Menos de 4 habitantes menores de edad	0,25

Fuente: CAR, 2013.

Tabla 4.8 Valores propuestos para el factor de susceptibilidad debido a la salud

Descripción	S salud	
	Rango	Valor promedio
Saludable	0,10 – 0,20	0,15
Discapacitado	0,80 – 1,00	0,90

Fuente: CAR, 2013.

El factor de susceptibilidad debido al tipo de edificación se calcula utilizando la **Tabla 4.5**; dependiendo de las estructuras encontradas en la zona, estas se podrán agrupar de la siguiente manera:

- ✓ Estructuras simples, ligeras: Aquellas que están construidas con materiales de recuperación, tales como madera, zinc, barro o cartón.
- ✓ Estructuras livianas: Edificaciones en mampostería de arcilla cocida o cemento no reforzada y sin elementos estructurales.
- ✓ Estructuras con muros en mampostería confinada: Edificaciones en mampostería de arcilla cocida o concreta con algunos elementos estructurales tales como vigas o columnas, que le brindan cierto grado de confinamiento.
- ✓ Estructuras en concreto reforzado: Edificaciones con sistema estructural aporticado que le brindan un alto grado de confinamiento.
- ✓ En el evento de encontrarse otro tipo de estructura, está se adicionará a la clasificación anterior.

Es muy importante aclarar que para el análisis de vulnerabilidad se emplean las siguientes fuentes de información:

- ✓ Información sobre el tipo y estado de edificaciones, se hará con base en el predominio por manzana, obtenida a partir de fuentes de información secundarias.
- ✓ Información sobre el número de habitantes discapacitados y menores de edad, se hará con base en el predominio por manzana, obtenida a partir de fuentes secundarias.

4.2 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS PARA LOS ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN SUELO URBANO Y DE EXPANSIÓN URBANA

Los estudios básicos a escala 1:2000 corresponden a las zonas urbanas y de expansión urbana, definidas en el POT vigente en el municipio. El estudio se basa en información secundaria y una corroboración en campo mediante un recorrido general de reconocimiento. El procesamiento de la información se hará a través de la herramienta SIG. Las bases metodológicas para este tipo de estudio se reseñan en seguida.

4.2.1 Evaluación de amenaza

La metodología propuesta se denomina SES Modificado (Sistema Semicuantitativo de Evaluación de Estabilidad) propuesta por (rAMIREZ, 1989), modificado por (Gonzalez, 1997), y actualizado por (Cantillo et al., 2013) a la cual se le incorporó y evaluó la variable Factor Antrópico (A) y otros ajustes a la metodología original. A continuación se describen de manera breve las variables y criterios empleados:

4.2.1.1 Materiales - M (Puntaje Máximo: 70)

El sistema Semicuantitativo de evaluación de estabilidad dentro de los parámetros de evaluación considera al material como el de mayor incidencia en la estabilidad de una zona o región. Su valoración en términos cualitativos se hace en función de la litología: Roca, material intermedio y suelo.

a) Roca

El material tipo roca se valora de acuerdo con su origen y textura (litología), resistencia del material rocoso y condición de fracturamiento (determinado con base en la densidad de fracturamiento). **Tabla 4.9 y Tabla 4.10.**

Tabla 4.9 Criterios para definición de tipo de roca

Tipo de roca							
Origen	Textura	Fábrica					
		No orientada			Orientada		
		Entrelazada	Cementada	Consolidada	Foliada	Cementada	Consolidada
Ígneo	Cristalino	R 1					
	Piroclástico		R 2				
Metamórfico	Cristalina						
	Masiva	R 1					
	Cristalina						
	Foliada				R 2		
Sedimentario	Cristalina	R 2					
	Clástica		R 3	R 3		R 4	R 4

Fuente: (Cantillo et al., 2013)

Tabla 4.10 Matriz de Valores de Estabilidad para roca

Tipo roca	Resistencia (Kg/cm ²)	Fracturamiento (Tamaño bloque - cm)			
		Mínimo (masiva) (<100)	Ligero (10-100)	Moderado (1-10)	Intenso (< 1)
R1	Alta ($\sigma_c > 1120$)	50	39	21	9
R2	Media ($560 < \sigma_c < 1120$)	38	29	16	7
R3	Baja ($280 < \sigma_c < 560$)	35	25	15	8
R4	Muy baja ($\sigma_c < 280$)	30	20	12	8

Fuente: (Cantillo et al., 2013)

Para la resistencia a la compresión se modificaron los rangos de clasificación del material rocoso originalmente propuestos por (Ramirez, 1989) por los de la escala propuesta por (Deerly Miller.), donde el límite de roca de resistencia muy baja es 280 kg/cm².

Adicionalmente en la condición estructural más particularmente se considera la orientación de las discontinuidades relacionadas con diaclasas o fracturas y que condicionen la estabilidad de escarpes o laderas; para el efecto, se consideran los valores planteados en la **Tabla 4.11**.

Tabla 4.11 Matriz de Valores de Estabilidad por orientación de discontinuidades para roca

Orientación discontinuidades	Puntuación
Favorable o neutro	20
Desfavorable	5
Muy desfavorable	0

Fuente: (Deerly Miller.)

4.2.1.2 Material Intermedio

Para el material intermedio se valora la matriz y la influencia de las estructuras heredadas. Se consideran materiales intermedios los depósitos aluviales, conos de deyección, terrazas, depósitos de *talus* y coluviales. Los depósitos coluviales y fluvioglaciares que estén constituidos por más del 70% de clastos se consideran, también, como material intermedio. Su valoración se efectúa según se relaciona en las **Tabla 4.12**, **Tabla 4.13** y **Tabla 4.14**.

Estos depósitos principalmente son transportados donde las estructuras heredadas corresponden a superficies antiguas de procesos morfodinámicos, de densidad alta, en donde se asume para la mayoría de materiales intermedios, baja influencia de las estructuras heredadas.

La **Tabla 4.15**, resume la clasificación atribuida a cada uno de los materiales intermedios y su respectivo puntaje según (Ramirez y Gonzales., 1988).

Tabla 4.12 Matriz de Valores de Estabilidad para material intermedio

Roca parental		Erodabilidad de la Matriz				Influencia de las estructuras *			
		Baja	Media	Alta	Muy alta				
Material residual	Ígnea	I-2	I-3	I-4	I-4	Baja	Media	Alta	Muy Alta
	Metamórfica	I-1	I-2	I-3	I-4				
	Sedimentaria	I-1	I-2	I-3	I-4				
Material transportado	Talus o material coluvial	I-2	I-3	I-4	I-4				
Tipo I-1						49	38	21	10
Tipo I-2						36	28	15	8
Tipo I-3						22	18	11	6
Tipo I-4						13	10	6	3

Fuente: IDEAM 2011

Tabla 4.13 Matriz de identificación de estructuras heredadas

Estructuras heredadas	Densidad	
	Baja	Alta
Diques y otras intrusiones	2	4
Discontinuidades o disposición errática de los materiales	3	6
Sistemas de diaclasamiento (rellenos o no, estriados o no)	4	8
Contactos litológicos y estratificación depositacional (inherente a la roca parental)	5	10
Superficies de meteorización pronunciada (a lo largo de diaclasas y contactos)	5	10
Antiguas superficies de deslizamientos (Generalmente asociados a una o varias de las estructuras anteriores)	6	12

Fuente: IDEAM 2011

Tabla 4.14 Matriz de Valores de influencia de las estructuras

Influencia	Suma de los valores de las Estructuras identificables
Baja	0 - 10
Media	10 - 20
Alta	20 - 30
Muy Alta	> 30

Fuente: IDEAM 2011

Tabla 4.15 Unidades de materiales intermedios y clasificación para el Modelo Semicuantitativo

Unidad	Puntaje
Coluviones	22
Talus	11
Depósitos fluvioglaciares	22
Conos densos	11
Conos de deyección	22
Terrazas	22

Fuente: IDEAM 2011

4.2.1.3 Suelos

Los suelos se clasifican en residuales y transportados, valorando su consistencia o compacidad, si son finos o granulares respectivamente **Tabla 4.16**, **Tabla 4.17** y **Tabla 4.18**.

Tabla 4.16 Clasificación de suelos por condición del terreno

Tipo de perfil de suelo	Condición del terreno					
	Granular (Densidad)			Fino (Consistencia)		
	Alta	Media	Baja	Dura	Media	Blanda
A y B	35	22	11	32	20	8
C	27	17	8	25	15	6
D	15	10	6	15	10	4
E	7	6	4	7	6	3

Fuente: IDEAM 2011

Por su comportamiento geomecánico se consideran como suelos algunas terrazas y depósitos aluviales, rellenos antrópicos, suelos residuales, depósitos lacustres, flujos de tierra, entre otros. Los depósitos de ladera coluvial y los depósitos fluvioglaciares se consideran como suelos siempre que la matriz represente más del 30% del depósito, es decir matriz - soportado.

Tabla 4.17 . Influencia por grado de meteorización

Tipo de suelo	Roca Parental	Residual			
		Suelo		Suelo Saprolítico	
		G	F	G	F
Metamórfica		A y B	C	C	D
Sedimentaria		A y B	C	C	D
Ígnea		C	D	D	E
Volcánica		C	D	D	E
(G):		Composición predominante granular (>65% ret. T200)			
(F):		Composición predominante fina (>35% pasa T200)			

Fuente: NSR10 - A, B, C, D, E, Perfil del suelo

Tabla 4.18 Influencia por medio de transporte

Por acción directa de la gravedad		Por agentes naturales (A, V, H) *	
G	F	G	F
D	E	C	D
* A, V, H: Agua, Viento, Hielo			
(G) :	Composición predominante granular (> 65% ret. T 200)		
(F) :	Composición predominante fina (> 35% pasa T 200)		

Fuente: NSR10 - A, B, C, D, E Perfil de suelo,

Tabla 4.19 Unidades de suelos y clasificación para el modelo Semicuantitativo

Unidad	Tipo de transporte	Puntaje
Suelos Residuales	Meteorización	6 -15
Rellenos	Gravedad	2
Suelos lacustres	Agua	4
Depósitos aluviales	Agua	10
Terrazas	Agua	15
Flujos de tierra	Gravedad y agua	2
Depósitos coluviales	Gravedad	6
Depósitos fluvioglaciares	Agua	- 15

Fuente: Ramírez (1988)

a) Factor antrópico (A) – Puntaje máximo: 50

La intervención del hombre sobre el medio físico puede considerarse como efecto contribuyente o detonante de procesos de inestabilidad del terreno, su acción se refleja en la deforestación, cambios morfológicos, intervención sobre los drenajes naturales y descargas o sobrecargas; sin embargo, ésta en muchas ocasiones es mucho más influyente que otros factores; por tanto, en su análisis se evalúan efectos derivados de procesos de consolidación urbana, manejo de aguas, la red vial, la ubicación geográfica de los asentamientos, y las actividades de extracción de materiales para la construcción que por su dinámica se han incorporado gradualmente a las áreas urbanas. No obstante, en contados casos esta intervención puede considerarse y por tanto evaluarse como positiva. A continuación se relacionan los aspectos generales a tener en cuenta y en la **Tabla 4.20**, los valores derivados de su evaluación.

- Sobrecarga
- Descarga
- Infiltración de aguas y manejo de aguas servidas
- Intervención del drenaje (modificación de rondas y cauces)
- Explotaciones mineras

Tabla 4.20 Valores de Estabilidad por Factor Antrópico

NIVEL	DESCRIPCIÓN	VALOR	
		MÍN	MÁX
Severa	Zonas de actividad minera, conformación de rellenos de espesor importante, práctica de cortes, obstrucción de cauces	0	10
Fuerte	Práctica intensiva de cortes / rellenos, descargas de agua	10	20
Moderada	Cortes / rellenos escasos y de moderado espesor, descargas controladas de agua	20	30
Incipiente	Cortes / rellenos aislados, disponibilidad de sistemas adecuados de drenaje	30	35
Positiva	Presenta obras de estabilización, control o protección; buenos sistemas de drenaje	40	50

Fuente: IDEAM 2011

b) Relieve (R) – Puntaje máximo: 36

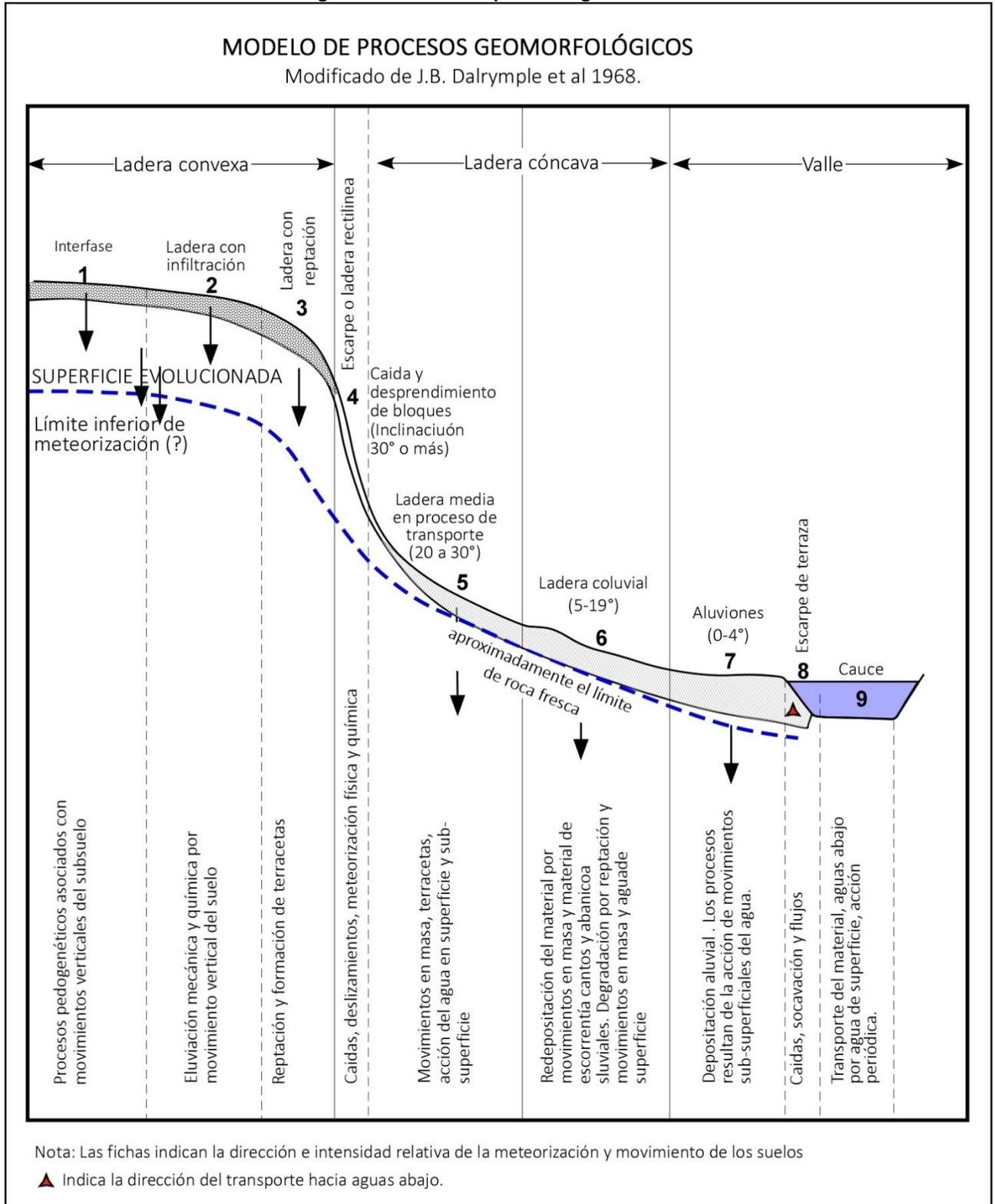
La condición de estabilidad de una vertiente o ladera está asociada en términos de relieve, a las características morfométricas y a los procesos morfodinámicos actuantes sobre ellas. La evaluación del parámetro relieve parte del modelo morfológico de una vertiente, donde se distinguen ocho unidades hipotéticas, definidas en función de su forma y de los procesos morfodinámicos dominantes sobre ellas. De esta manera se puede describir una vertiente en función de las unidades establecidas con relación con su papel en la formación, transporte y desarrollo de procesos de remoción en masa. Esto se expresa en la **Tabla 4.21**, **Tabla 4.22**.y **Figura 4.1**.

Tabla 4.21 Valores de estabilidad por relieve

Sub-zonas	Pendiente (°)	A
Interfluvio	0-2	31
Ladera con infiltración	2-4	21
Ladera con reptación	10-30	9
Escarpe o ladera rectilínea	<30	21
Ladera intermedia de transporte	20-30	7
Ladera coluvial	5-20	7
Aluviones	0-4	23
Ladera de cauce	<40	7

Fuente: IDEAM 2011

Figura 4.1. Modelo de procesos geomórficos.



Fuente: Modificado de J.B. Dalrymple et al. 1966.

Tabla 4.22 Perfil longitudinal

Perfil	B
Convexo	0
Rectilíneo	3
Cóncavo	5

Fuente: IDEAM 2011

c) Drenaje (D) – Puntaje máximo: 35

El parámetro drenaje se evalúa bajo dos elementos fundamentales: la densidad de drenaje y la pendiente promedio del cauce. El puntaje de estabilidad varía entre 35 puntos para un área con densidad alta y pendiente promedio del cauce baja y 6 puntos para las condiciones opuestas **Tabla 4.23**. El cálculo de la pendiente promedio del cauce se realiza tomando como unidad base la microcuenca o la subcuenca, bien sea de manera aproximada empleando herramientas como SIG.

Tabla 4.23 Valores de estabilidad para drenaje

Pendiente promedio de cauces	Densidad de drenaje (m / Ha)		
	Alta (> 80)	Media (30 – 80)	Alta (< 30)
Baja (0-5°)	35	30	23
Media (5-15°)	25	19	13
Alta (>15°)	16	10	6

Fuente: IDEAM 2011

d) Uso del suelo y cobertura (U) – Puntaje máximo: 25

La cobertura del suelo se constituye en un factor determinante en las condiciones de estabilidad de una ladera, particularmente en lo referente al control de la erosión e infiltración de aguas de escorrentía.

Por otro lado, y con el propósito de ampliar el espectro de posibilidades se consideró en general el uso o cobertura de cualquier tipo que se presente en el área de evaluación; de esta manera es posible considerar otros posibles usos como áreas libres, zonas comunales, vías, viviendas, etc. En tal virtud, se aplicó los criterios y puntajes de estabilidad propuestos en la **Tabla 4.24**.

Tabla 4.24 Puntajes de Estabilidad parámetro Uso del Suelo y Cobertura (U)

Cobertura	Puntaje
Cubierta Vegetal	
Bosque nativo, secundario, rastrojo alto	25
Rastrojo bajo, cultivos permanentes o semipermanentes	17
Pastos o vegetación herbácea	14
Cultivos limpos o desmonte (canteras)	8
Suelo cubierto por otros usos	
Cobertura impermeable (pavimento)	20
Cobertura permeable (afirmado)	12
Vivienda con cubrimiento > 50%	20
Vivienda con cubrimiento < 50%	12

Fuente: IDEAM 2011

e) Clima (c) – puntaje máximo: 40

La valoración del parámetro clima se realiza en función de la precipitación, por considerar que las lluvias en la mayoría de los casos actúan como factor detonante de los eventos de inestabilidad.

La zonificación del parámetro lluvia se realiza con base en el análisis de la relación lluvia - deslizamiento. Se determina en forma aproximada la lluvia crítica representativa y su período de retorno correspondiente a las estaciones pluviométricas de influencia en el área de evaluación. Así, los sectores más críticos se definen donde los períodos de retorno son menores, es decir la posibilidad que se presente la lluvia precedente es mayor, y viceversa. La cuantificación del parámetro clima se definió como se muestra en la **Tabla 4.25**. En ausencia de datos de lluvias debe emplearse la segunda columna.

Tabla 4.25 Valoración parámetro clima

Período de retorno (años)	Descripción	Clasificación	Puntaje
< 10	Muy lluvioso	Muy Alta	3
10 – 15	Lluvioso	Alta	9
15 – 20	Entre lluvioso y seco	Media Alta	19
20 – 25		Media	26
25 – 30	Seco	Baja	32
>30	Muy seco	Muy Baja	37

Figura: IDEAM 2011

f) Erosión (e) – puntaje máximo: 12

La evaluación de la erosión, como detonante en la generación de movimientos en masa, dentro del SES, es un parámetro que requiere ser ajustado según las características del área de estudio.

Para su valoración se tiene en cuenta tanto la naturaleza del tipo de erosión (surcos, cárcavas, tierras malas y socavación), como su proximidad a cauces e influencia como posible desencadenante de movimientos en masa; así, se le asigna el mayor peso a los procesos de socavación de cauces, tal como se indica en la **Tabla 4.26**.

Tabla 4.26 . Asignación puntaje de estabilidad al mapa arial

Tipo de erosión	E
Sin erosión	12
Laminar	10
Diferencial (surcos)	8
Tubificación	5
Concentrada (cárcavas)	4
Socavación	3

Fuente: IDEAM 2011

g) Sismicidad (s) – puntaje máximo: 24

La evaluación del parámetro de sismo, como factor contribuyente o detonante de movimientos en masa se realiza tomando como insumo las Normas NSR 10.

Tabla 4.27 Calificación de parámetro sísmico

Az sísmica Tipo de material**	valores de aa*						
	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
A y B	24	21	17	13	8	5	2
C	12	10	8	7	4	3	1
D	4	3	3	2	1	1	0

*Aa : aceleración pico efectiva
**Tipos de materiales según Normas NSR 10

h) Procesos morfodinámicos (p)

Se emplea como parámetro de calibración. Para efecto de la zonificación, se asume que este parámetro castiga a cualquier otra estimación.

- Calificación de amenaza

Los intervalos de la calificación de estabilidad (CES) de cada parámetro o mapa temático, se establece como se precisa en la **Tabla 4.28**.

Tabla 4.28 Calificación de estabilidad (CES)

Parámetro	Símbolo	Puntaje	
		Máximo	Mínimo
Material	M	70	1
Factor antrópico	A	50	2.
Relieve	R	36	7
Drenaje	D	35	6
Uso del suelo	U	25	3
Clima	C	40	3
Erosión	E	12	2
Sismo	S	22	0
Calificación de estabilidad		290	23

Fuente: IDEAM 2011

La categoría de estabilidad en términos de niveles de amenaza y en función de la calificación de estabilidad, definida como la sumatoria ponderada de los valores de estabilidad asignados a cada parámetro, se estableció por (Ingeocim Ltda., 1998), a partir del análisis de frecuencias de la calificación de estabilidad, asignada a cada polígono resultante del cruce de topología de los mapas temáticos. El resultado del análisis de frecuencias de la calificación de estabilidad (CES) arrojó una distribución de tipo normal.

Así, las categorías de amenaza se establecen en los intervalos indicados en la **Tabla 4.29**.

Tabla 4.29 Rangos de categorización de amenaza

Categoría de amenaza	Calificación de estabilidad (ces)
Alta	$< CAL \leq 146$
Media	$146 < CAL \leq 171$
Baja	$171 < CAL$

Fuente: IDEAM 2011

Es muy importante tener en cuenta que los resultados se deben ajustar una vez se contrasten con el estudio de antecedentes y los recorridos de campo.

4.2.2 Análisis de vulnerabilidad

Se enfoca exclusivamente en la vulnerabilidad física, tal como lo establece el Anexo Técnico, con el ajuste a la escala de trabajo (1:2.000) y viene definida por:

$$V = I \times S$$

Dónde. V: Vulnerabilidad; I: Intensidad del deslizamiento; S: Susceptibilidad de los elementos en riesgo

Este contempla la severidad de la acción del deslizamiento como la capacidad de resistencia brindada por los elementos. Los elementos en riesgo pueden dividirse en dos categorías, comúnmente, personas y elementos económicos.

4.2.2.1 Susceptibilidad

a) Susceptibilidad de los elementos económicos

Los elementos económicos incluyen edificios, vías o rutas de transporte, y elementos naturales. La capacidad de resistencia para un grado de riesgo es asociado al tipo de estructura (o características de la misma) y el estado en que se encuentra:

$$Seco = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - Si)$$

Dónde, Seco = Susceptibilidad de los elementos económicos; Si = Factor de susceptibilidad que contribuye a la susceptibilidad de los elementos económicos, incluyendo Stipo y Smart

Para edificaciones el tipo de estructura define la capacidad para resistir la deformación e impacto ocasionados por las fuerzas del deslizamiento. Seis categorías de estructuras y valores del factor de susceptibilidad se muestran en la **Tabla 4.5**.

El factor de susceptibilidad debido al mantenimiento puede asignarse de manera subjetiva, como el estado promedio de las edificaciones por manzanas, como se muestra en la **Tabla 4.6**.

b) Susceptibilidad de las personas

Para deslizamientos que se producen a tasas de movimiento muy bajas, el riesgo de las personas proviene de la deformación de las estructuras y edificaciones, el cual puede evitarse por el instinto de protección de cada uno. En contraste, el impacto y efecto neto durante un deslizamiento repentino y a gran velocidad se convierte en el principal riesgo para las personas. Tres factores de susceptibilidad son considerados:

- Por el tipo de edificación.
- Edificaciones con más de 4 habitantes menores de edad.
- Número de habitantes discapacitados.

Donde la susceptibilidad se calculó por:

$$Sper = 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - Si)$$

Dónde, Sper: Susceptibilidad de las personas; Si: Es el factor de susceptibilidad que contribuye a la susceptibilidad de las personas, incluyendo S. tipo, S. menores de edad, S. salud.

El factor de susceptibilidad debido al tipo de edificación se calcula utilizando la **Tabla 4.5**; dependiendo de las estructuras encontradas en la zona, estas se podrán agrupar de la siguiente manera:

- Estructuras simples, ligeras: Aquellas que están construidas con materiales de recuperación, tales como madera, zinc, barro o cartón.
- Estructuras livianas: Edificaciones en mampostería de arcilla cocida o cemento no reforzada y sin elementos estructurales.
- Estructuras con muros en mampostería confinada: Edificaciones en mampostería de arcilla cocida o concreta con algunos elementos estructurales tales como vigas o columnas, que le brindan cierto grado de confinamiento.
- Estructuras en concreto reforzado: Edificaciones con sistema estructural aporticado que le brindan un alto grado de confinamiento.
- En el evento de encontrarse otro tipo de estructura, está se adicionará a la clasificación anterior.

4.2.2.2 Intensidad

En la práctica de asignación de riesgo es común el uso de un parámetro de intensidad del deslizamiento compuesto, que tenga en cuenta las características cinéticas y cinemáticas del deslizamiento. La intensidad cinética está relacionada con la energía cinética del deslizamiento. Los parámetros de intensidad cinemáticas se relacionan con la magnitud del riesgo. La expresión general para el cálculo de la intensidad del deslizamiento es:

$$I = Ks[rKiK + rMIM]$$

Dónde Ks refleja la relación que existe entre la posición del elemento en riesgo con el deslizamiento. En la **Tabla 4.28**, se muestran los valores utilizados para Ks .

Es muy importante aclarar que para el análisis de vulnerabilidad se emplean las siguientes fuentes de información:

- Información sobre el tipo y estado de edificaciones, se hará con base en el predominio por manzana, obtenida a partir de fuentes de información secundarias.
- Información sobre el número de habitantes discapacitados y menores de edad, se hará con base en el predominio por manzana, obtenida a partir de fuentes secundarias.
- Información sobre estado de deslizamiento, velocidad y demás características, se obtiene de la evaluación de amenaza.

4.2.3 **Evaluación de riesgo**

Se considerara la construcción de escenarios de riesgo considerando los detonantes principales y en función de las indicaciones consideradas en el anexo técnico, para lo cual se espera generar el mapa respectivo con análisis por veredas.

4.3 **METODOLOGÍA DE ANÁLISIS PARA LOS ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN SITIOS ESPECIALES**

Se propone utilizar, para efectos de la evaluación de amenaza, el método estocástico en el perfil de análisis que se establezca, y para las otras zonas el método heurístico. Si bien el método estocástico es mucho más complejo, se considera que es importante considerarlo en las zonas del talud o ladera principal.

4.3.1 **Evaluación de amenaza**

En este aparte se registran las bases teóricas y metodológicas del método estocástico.

4.3.1.1 Bases teóricas

Los métodos probabilísticos de análisis de amenaza por deslizamientos se basan en la evaluación de la probabilidad de falla de un talud. La falla se explica a través del factor de seguridad, el cual a su vez se define como la relación entre la resistencia disponible y la resistencia movilizada a lo largo de una superficie potencial de falla; en consecuencia la probabilidad de falla puede ser definida como la probabilidad de que el factor de seguridad sea menor que la unidad.

En el caso estático el valor esperado del factor de seguridad se designa por $E(F)$, y la incertidumbre en la determinación de este factor de seguridad viene dada por su desviación estándar σ_F . Los términos $E(F)$ y σ_F pueden combinarse a través del índice de confiabilidad β , el cual se define como:

$$\beta = \frac{E(F) - 1.0}{\sigma_f}$$

Si el factor de seguridad responde a una función de distribución normal, la probabilidad de falla $P(f)$ y el índice de confiabilidad se relacionan por:

$$P(f) = 1.0 - \Phi(\beta)$$

Donde $\Phi(\beta)$ es la función de distribución acumulada de la distribución normal.

Para extender el concepto de probabilidad de falla al caso de taludes sometidos a cargas dinámicas el factor de seguridad se obtiene a través de un análisis pseudoestático en que la carga dinámica se considera como una fuerza inercial horizontal, notando el factor de seguridad dinámico como F^* ; el valor esperado de F^* será $E(F^*)$ y las dos expresiones anteriores son igualmente aplicables.

La función acumulada de distribución puede presentar otro tipo de tendencia, por ejemplo log normal o Weibull uniparamétrica, en cuyo caso se cuenta con funciones diferentes para obtener la probabilidad de falla.

El factor de seguridad F^* está asociado a un valor de aceleración horizontal A_h , de manera que la probabilidad de falla $P(f)$ ahora está asociada con la probabilidad de que la aceleración A_h sea mayor que la producida por el sismo A , la cual puede expresarse asumiendo el modelo de Poisson como:

$$P(A \leq A_h) = 1 - e^{-\frac{L}{T}}$$

Donde L es el período de vida útil o período de diseño y T es el período de retorno de la aceleración A_h . La probabilidad de falla $P(f)$ será finalmente la sumatoria de las probabilidades para aceleraciones en un rango entre 0 y A_h .

Debido a que el factor de seguridad es función de la posición del nivel freático y éste, a su vez, de las condiciones de lluvia, en el análisis anterior se puede involucrar también el efecto de las lluvias sobre la probabilidad de falla a través de la probabilidad de ocurrencia de una lluvia crítica LL_c , dada por:

$$P(LL_c \leq LL) = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^L$$

En este caso la determinación del factor de seguridad no depende directamente de la cantidad de lluvia, sino que esta se involucra indirectamente a través de la posición del nivel freático, lo que implica que se debe contar con una relación entre estos dos parámetros, la cual puede ser obtenida empíricamente o a través de un estudio de respuesta hidrológica del talud.

Para considerar el efecto combinado de una carga sísmica y unas condiciones climáticas se debe determinar la probabilidad de falla a través de la probabilidad conjugada de las posibles combinaciones de simultaneidad de los factores detonantes; esto conduce a una doble integral de las probabilidades de ocurrencia del sismo y las lluvias de diseño.

La variabilidad de los parámetros de resistencia c' y ϕ' pueden también ser tomados en cuenta en el análisis si se tiene un suficiente número de ensayos que permita definir su valor medio y desviación estándar. La probabilidad de falla, en este caso, puede obtenerse a través de la función de probabilidad de que el factor de seguridad sea menor que la unidad para todas las combinaciones posibles de parámetros de resistencia y de eventos detonantes.

Como puede verse una determinación de la probabilidad de falla que involucre la incertidumbre en todos las variables que intervienen en el problema no es fácil de obtener para todas las combinaciones posibles; es por eso que en la práctica se prefiere determinar la probabilidad de falla con variación de resistencia y eventos detonantes críticos. En este caso se determina la distribución de probabilidad solamente para los valores máximos y mínimos de los parámetros de resistencia y sus posibles combinaciones con la ocurrencia o no, simultánea o no, de los eventos detonantes. Este ejercicio en la práctica lo que hace es discretizar la función de probabilidad para algunos valores específicos intermedios y extremos a partir de la cual se definen unos criterios para evaluación por amenaza.

4.3.1.2 Procedimiento metodológico

En este trabajo se busca establecer los niveles de amenaza definiendo la probabilidad de falla de los diferentes escenarios determinados en la zona. Estos escenarios constituyen la combinación de factores intrínsecos con los factores detonantes. Como factores intrínsecos se considera la variación en la pendiente del talud y de los parámetros de resistencia de los diferentes estratos identificados. Por su parte, los factores externos o detonantes considerados fueron las lluvias y los sismos.

Para la aplicación del método estocástico se determinan en primer lugar los parámetros máximos y mínimos de cada uno de los materiales de la zona, utilizando los siguientes coeficientes de variación.

$$CV_t = S_t / t'_{\text{promedio}} = 0,20$$

$$CV_c = S_c / c'_{\text{promedio}} = 0,40$$

$$\rho_{tc} = - 0,50$$

Donde, CV son los coeficientes de variación de los parámetros de resistencia efectivos de cada material ($t' = \tan\phi'c'$), ρ_{tc} el coeficiente de correlación y S_t y S_c son las desviaciones estándar de los parámetros respectivamente.

Una vez calculados o estimados los valores anteriores, se calculan para cada material los valores máximos y mínimos de cálculo de los parámetros de resistencia esperados.

$$t+ = t_{\text{promedio}} + S_t$$

$$t- = t_{\text{promedio}} - S_t$$

$$c+ = c_{\text{promedio}} + S_c$$

$$c- = c_{\text{promedio}} - S_c$$

A partir del coeficiente de correlación ρ_{tc} , se calculan los factores de ponderación η por aplicar a los factores de seguridad obtenidos para cada combinación de los parámetros de resistencia, así:

$$\eta_{--} = \eta_{++} = (1 + \rho_{tc})/4 = 0,125$$

$$\eta_{-+} = \eta_{+-} = (1 - \rho_{tc})/4 = 0,375$$

Luego se establecen las condiciones que se pueden presentar, asociadas a la ocurrencia de eventos detonantes, lluvias (LL) y sismos (SS). En la práctica, tales condiciones son cuatro, correspondientes a las combinaciones de ocurrencia o no de lluvias críticas y ocurrencia o no de sismos de diseño.

Se selecciona el período de observación, definido en la práctica como de 10 años, y la lluvia y el sismo de diseño, con sus correspondientes períodos de retorno TRLL y TRSS. A partir de éstos, se calcula la probabilidad de ocurrencia de estos eventos E durante el período de diseño, con base en la distribución de Poisson, así:

$$p(LL) = 1 - e^{-(TD/TRLL)}$$

$$p(SS) = 1 - e^{-(TD/TRSS)}$$

De acuerdo con los estudios adelantados por (Castellanos, 1996) y (Castellanos et al., 1999), sobre la relación entre la precipitación crítica y los movimientos en masa, la lluvia crítica y la duración se determinan así:

$$LL_{crít} = a + b * Llan$$

$$D = c * LL_{crít}$$

Donde Llan es la lluvia anual en mm, LLcrít es la lluvia crítica en mm y D es la duración en días; a, b y c son parámetros de correlación.

Para el caso de sismos, al emplear la aceleración de las Normas de Diseño y Construcción Sismorresistente, NSR-10, el período de retorno a utilizar es de 475 años.

Se hacen los análisis de estabilidad para cada condición. Puesto que se consideran cuatro posibles combinaciones de parámetros de resistencia, para cada condición se obtendrán cuatro factores de seguridad,

$$FS (FS_{++}, FS_{+-}, FS_{-+}, FS_{--}).$$

Con los valores obtenidos de FS y los factores de ponderación η se obtienen la esperanza del factor de seguridad $E(FS) = FS_{promedio}$ y la desviación estándar correspondiente $S(FS)$:

$$E(FS) = (\eta_{--})(FS_{--}) + (\eta_{-+})(FS_{-+}) + (\eta_{+-})(FS_{+-}) + (\eta_{++})(FS_{++})$$

$$E(FS^2) = (\eta_{--})(FS_{--}^2) + (\eta_{-+})(FS_{-+}^2) + (\eta_{+-})(FS_{+-}^2) + (\eta_{++})(FS_{++}^2)$$

$$S(FS) = [E(FS^2) - E(FS)^2]^{1/2}$$

Con los cuales se obtiene la probabilidad de falla, pf, para cada condición analizada (con lluvia y sismo, sin lluvia ni sismo, con lluvia y sin sismo, y sin lluvia y con sismo), utilizando para el efecto una distribución normal de FS.

Una vez analizadas todas las condiciones, se halla la probabilidad total de falla correspondiente Pf, entendida como la sumatoria de las probabilidades de falla para cada condición afectadas por las probabilidades de ocurrencia o no ocurrencia de los eventos detonantes que corresponden a tal condición.

$$Pf = pf(\sim LL, \sim SS)[1-p(LL)][1-p(SS)] + pf(\sim LL, SS)[1-p(LL)][p(SS)] + pf(LL, \sim SS)[p(LL)][1-p(SS)] + pf(LL, SS)[p(LL)][p(SS)]$$

4.3.1.3 Criterios para evaluación de amenaza

La amenaza por deslizamientos con este procedimiento se obtiene con la aplicación de los siguientes criterios:

Tabla 4.30 Criterios de clasificación de amenaza por probabilidad de falla

Categoría de amenaza	Probabilidad de falla en un periodo de 10 años
Baja	Menor de 0,12
Media	Mayor o igual a 0,12 y menor a 0,44
Alta	Mayor o igual a 0,44

Fuente: FOPAE, (2000)

a) Análisis de vulnerabilidad

Se enfoca exclusivamente en la vulnerabilidad física, tal como lo establece el Anexo Técnico, con el ajuste a la escala de trabajo (1:2.000) y viene definida por:

$$V=I \times S$$

Dónde, V: Vulnerabilidad; I: Intensidad del deslizamiento; S: Susceptibilidad de los elementos en riesgo

Este contempla la severidad de la acción del deslizamiento como la capacidad de resistencia brindada por los elementos. Los elementos en riesgo pueden dividirse en dos categorías, comúnmente, personas y elementos económicos.

b) Susceptibilidad

- Susceptibilidad de los elementos económicos

Los elementos económicos incluyen edificios, vías o rutas de transporte, y elementos naturales. La capacidad de resistencia para un grado de riesgo es asociado al tipo de estructura (o características de la misma) y el estado en que se encuentra:

$$S_{eco} = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - S_i)$$

Dónde, S_{eco} = Susceptibilidad de los elementos económicos; S_i = Factor de susceptibilidad que contribuye a la susceptibilidad de los elementos económicos, incluyendo S_{tip} y S_{mant} .

Para edificaciones el tipo de estructura define la capacidad para resistir la deformación e impacto ocasionados por las fuerzas del deslizamiento. Seis categorías de estructuras y valores del factor de susceptibilidad se muestran en la **Tabla 4.5**.

El factor de susceptibilidad debido al mantenimiento puede asignarse de manera subjetiva, como el estado promedio de las edificaciones por manzanas, como se muestra en la **Tabla 4.6**.

- Susceptibilidad de las personas:

Para deslizamientos que se producen a tasas de movimiento muy bajas, el riesgo de las personas proviene de la deformación de las estructuras y edificaciones, el cual puede evitarse por el instinto de protección de cada uno. En contraste, el impacto y efecto neto durante un deslizamiento repentino

y a gran velocidad se convierte en el principal riesgo para las personas. Por el tipo de edificación: edificaciones con más de 4 habitantes menores de edad y número de habitantes discapacitados.

Donde la susceptibilidad se calculó por:

$$S_{per} = 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - S_i)$$

Dónde, S_{per} : Susceptibilidad de las personas; S_i : Es el factor de susceptibilidad que contribuye a la susceptibilidad de las personas, incluyendo S. tipo, S. menores de edad, S. salud.

El factor de susceptibilidad debido al tipo de edificación se calcula utilizando la **Tabla 4.5**, dependiendo de las estructuras encontradas en la zona, estas se podrán agrupar de la siguiente manera:

- ✓ Estructuras simples, ligeras: Aquellas que están construidas con materiales de recuperación, tales como madera, zinc, barro o cartón.
- ✓ Estructuras livianas: Edificaciones en mampostería de arcilla cocida o cemento no reforzada y sin elementos estructurales.
- ✓ Estructuras con muros en mampostería confinada: Edificaciones en mampostería de arcilla cocida o concreto con algunos elementos estructurales tales como vigas o columnas, que le brindan cierto grado de confinamiento.
- ✓ Estructuras en concreto reforzado: Edificaciones con sistema estructural aporticado que le brindan un alto grado de confinamiento.
- ✓ En el evento de encontrarse otro tipo de estructura, está se adicionará a la clasificación anterior.

c) Intensidad

En la práctica de asignación de riesgo es común el uso de un parámetro de intensidad del deslizamiento compuesto, que tenga en cuenta las características cinéticas y cinemáticas del deslizamiento. La intensidad cinética está relacionada con la energía cinética del deslizamiento. Los parámetros de intensidad cinemáticas se relacionan con la magnitud del riesgo. La expresión general para el cálculo de la intensidad del deslizamiento es:

$$I = K_S [r_k I_k + r_M I_M]$$

Dónde K_S refleja la relación que existe entre la posición del elemento en riesgo con el deslizamiento. En la **Tabla 4.27**, se muestran los valores utilizados para K_S .

Es muy importante aclarar que para el análisis de vulnerabilidad se emplean las siguientes fuentes de información:

- Información sobre el tipo y estado de edificaciones, se hará con base en el predominio por manzana, obtenida a partir de fuentes de información secundarias.
- Información sobre el número de habitantes discapacitados y menores de edad, se hará con base en el predominio por manzana, obtenida a partir de fuentes secundarias.
- Información sobre estado de deslizamiento, velocidad y demás características, se obtiene de la evaluación de amenaza.

CAPITULO II. FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA ZONAS RURALES Y AVENIDAS TORRENCIALES

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento describe la metodología a emplear para el desarrollo de la espacialización de las amenazas, vulnerabilidad y riesgo para fenómenos de remoción en masa de las áreas rurales, para ello se propone un método mixto de clasificación Heurística con mapas de zonificación geomecánica que permitan identificar las áreas con potenciales problemas, y resaltar las que ya poseen movimientos detonados. Se parte de las propuestas del servicio geológico colombiano SGC, en el marco del proyecto: Compilación y Levantamiento de la información geomecánica, donde ofrecen una propuesta metodológica para el desarrollo de una zonificación geomecánica básica (2004), y principalmente el documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000 propuesta realizada en el año 2012.

Incluye aportes del mismo SGC en el marco de la guía de mapeo geomorfológico (2012) y la guía metodológica para la elaboración de mapas en escala 1/100.000 del IDEAM.

Las propuestas son integradas en un solo documento que permita atender la totalidad de los 24 municipios pactados en una escala de trabajo y salida en 1/25.000, probablemente las escalas de representación varíen, pero la escala fundamental de análisis y la que reposará en las geodatabases (una por municipio) serán es esta escala 1/25.000.

Una de las particularidades propuestas es esta metodología es el no uso de instrumentación en las áreas rurales, pero si de un trabajo detallado en la geología para la ingeniería y en la cartografía geomorfológica, estandarizada completamente para esta parte del territorio de la CAR.

2 DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN ZONAS RURALES (FRM)

Las siguientes páginas son tomadas y modificadas de los documentos propuestos por el servicio geológico colombiano SGC, IDEAM e IGAC.

Los métodos heurísticos se basan en categorizar y ponderar los factores causantes de inestabilidad según la influencia esperada de éstos en la generación de movimientos en masa (Brabb et al., 1972), (Nilsen et al., 1979), (Anbalagan, 1992). Son métodos conocidos como indirectos, los resultados de los cuales se pueden extrapolar a zonas sin movimientos en masa con una combinación de factores similar.

Se pueden realizar dos tipos de análisis heurísticos mediante el análisis geomorfológico y mapa de combinación cualitativo. El primer método fue propuesto por (Kienholz, 1977). El segundo método basado en combinación de mapas de factores (Lucini, 1973), (Stevenson, 1977), (Bosi, 1984), (Ramirez y Gonzales., 1988). Estos métodos permiten la regionalización o estudio a escala regional y son adecuados para aplicaciones en el campo de los sistemas expertos (Carrara et al., 1995). El análisis heurístico introduce un grado de subjetividad que imposibilita el comparar documentos producidos por diferentes autores. Dentro de este método se ha utilizado el denominado AHP (Proceso de Análisis Jerárquico).

Análisis Geomorfológico (Kienholz, 1977), desarrolló un método para producir un mapa combinado de amenaza basado en el mapeo de testigos mudos (silent witnesses) este método se conoce como método directo puesto que la amenaza se determina directamente en el campo por los expertos. Se basa en la experiencia individual y el uso de razonamiento por analogía (reasoning by analogy) atributos semejantes en cosas diferentes. Las reglas de decisión son entonces difíciles de formular debido a que varía de lugar a lugar. Ejemplos de esta metodología para determinar la susceptibilidad del terreno a los movimientos en masa se han desarrollado en Europa por muchos autores como (Carrara y Merenda., 1974) y otros.

Para la generación del mapa de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa se emplearon variables cualitativas y cuantitativas, dentro de las variables cualitativas se encuentra la geología, geomorfología, suelos y cobertura de la tierra y dentro las variables cuantitativas se encuentran la pendiente, longitud de la pendiente, rugosidad y acuenca, las cuales se derivan del Modelo Digital de Elevación (DEM). Se aplicó un enfoque heurístico a partir del trabajo realizado en la zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:500.000 del año 2009 realizado entre el Servicio Geológico Colombiano, antes INGEOMINAS y el IDEAM. Se aplica un análisis multicriterio que involucra la utilización de datos geográficos, debiendo establecer las preferencias y combinaciones (o agregaciones) de los datos, de acuerdo a reglas de decisiones específicas que han sido implementados en ambiente SIG (Malczewsky, 2006). Para efectos de los análisis heurísticos para determinar el Índice de Susceptibilidad de Movimientos en masa (ISD), se propone la utilización de Procesos de Análisis Jerárquicos (AHP, por sus siglas en inglés). En la **Figura 2.1**, se resume el método heurístico utilizando como herramienta SIG. En el **Anexo 2.1**, se presenta la metodología utilizada en el presente trabajo para la obtención del mapa nacional de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa.

2.1 MAPAS E INSUMOS TEMÁTICOS

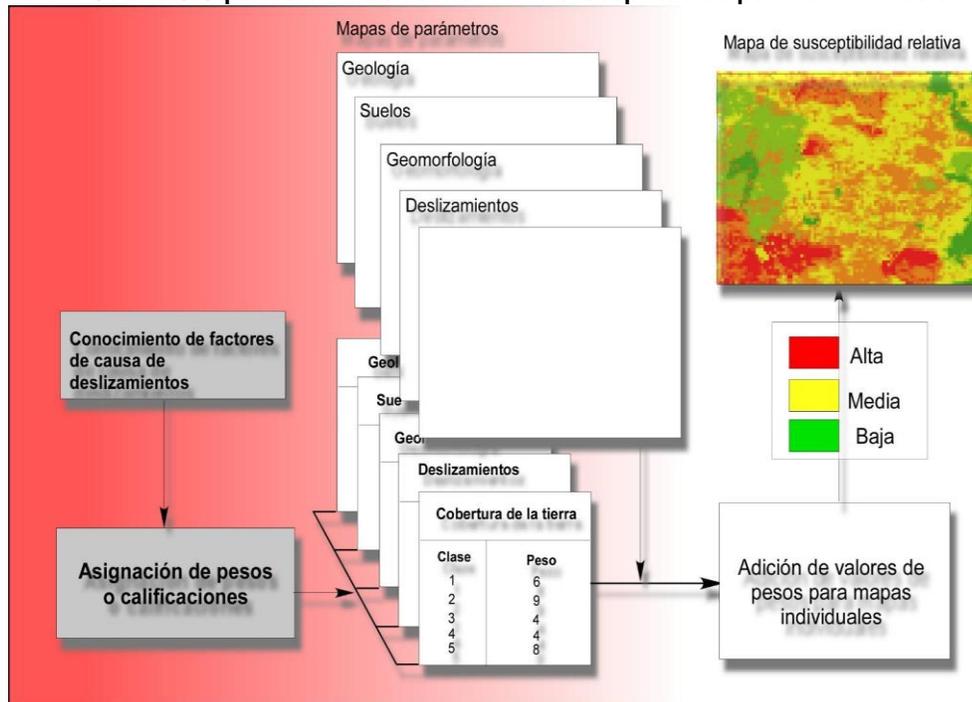
La zonificación de amenaza por movimientos en masa, requiere contar con mapas de información cartográfica básica, para lo cual es importante tener una correcta definición del área, y para ello se debe tener en cuenta principalmente el objetivo final del estudio, los alcances y los recursos con que

se cuenta. Entre otros se debe contar u obtener y preparar la cartografía básica o topográfica del área en formato digital y análogo; por otra parte se requiere contar con mapas temáticos que contienen información interdisciplinaria relacionada, tales como, la geología general, geomorfología, cobertura de la tierra, suelos, clima, entre otros.

2.1.1 Modelo digital de elevación (DEM)

Para la generación de las variables geométricas y el mapa de sombras se utilizara un modelo digital de elevación a adquirir en Procalculo Prosis, producido por la misión SRTM del año 2013 a una resolución de 0,5 arco-segundo (aproximadamente 12,5 m en el Ecuador) con un error de altitud vertical medio de 3,1 m (nivel de confianza de 95%) y un error de geoubicación de 4 m para el área de los municipios a trabajar. Los elementos técnicos definitivos del modelo están por verificarse por cuanto aún no se cuenta con este insumo.

Figura 2.1 Uso de SIG para el análisis heurístico de susceptibilidad por movimientos en masa.



Fuente: UT AVR - CAR, 2014

2.1.2 Sensores remotos

Imágenes de satélite en la obtención de información de la superficie terrestre, es de gran utilidad, debido a la cobertura global y periódica, que se puede obtener de la superficie terrestre.

Las imágenes de satélite (RAPIDEYE, LANDSAT) presentan grandes ventajas en la identificación y cartografía de elementos del terreno. En especial por la alta resolución espectral determinada por varias bandas (planos de imagen) de diferente longitud de onda, la facilidad de interpretación digital de varias escalas (resolución espacial por pixel de 7 m en imágenes RAPID EYES y de 15 m en imágenes LandSat ETM), la capacidad de producir múltiples planos-imagen por procesamiento digital y el carácter numérico de su información entre otras (Vargas, 1994). Con base en la imagen Rapideye se realizó combinación de bandas RGB 5-4-3 mediante su procesamiento digital el cual permitió la identificación de los materiales más importantes en la zona de estudio, y combinaciones 3-5-7 para identificación procesos de movimientos en masa.

La diferenciación de aspectos morfodinámicos se realizará con ortofotomosaicos, imágenes de radar y/o imágenes de alta resolución.

2.1.3 Fotografías aéreas

La información obtenida sobre la fotografía constituye un registro permanente y fiel de los objetos y procesos dinámicos que se presentan sobre la superficie terrestre en el momento de la toma; su uso facilita el estudio de grandes áreas en poco tiempo, a la vez que facilita el análisis de los mismos procesos a escalas diferentes.

Se pueden establecer relaciones temporales sobre las fotografías aéreas tomadas en diferentes fechas y efectuar análisis multitemporales para detectar cambios sobre el terreno. La resolución temporal obtenida por las fotografías, permite estudiar con más precisión la evolución de procesos dinámicos desarrollados sobre la superficie terrestre como: glaciación, procesos fluviales, movimientos en masa entre otros. Con la ayuda de las fotografías aéreas se pueden establecer relaciones espaciales entre diferentes rasgos topográficos, que serán de ayuda en la identificación de ambientes morfogénicos regionales y locales, así como en la diferenciación de unidades geomorfológicas. Es importante tener en cuenta que hará un análisis exhaustivo de los líneas de vuelo, años y escalas más apropiadas para las áreas que no cuentan con ortofotomosaicos, el desarrollo de los trabajos aquí propuestos y hacer énfasis en las zonas donde se pretenden establecer a futuro proyectos de carácter regional y zonas pobladas para identificar zonas inestables con las cuales se pueda calibrar la susceptibilidad y amenaza de las zonas de estudio. Dada la escala de trabajo se deben de tener fotografías aéreas a varias escalas, escalas pequeñas > a 30.000 para ser utilizadas en la interpretación de unidades geomorfológicas y análisis estructurales regionales y a escalas más detalladas < a 1:20.000 para hacer énfasis en los diferentes tipos de procesos existentes en las zonas de estudio y generar de manera adecuada el mapa morfodinámico de la zona.

Las aerofotografías se utilizarán en los sitios donde no se tengan imágenes de adecuada resolución o en aquellas áreas que están cubiertas por nubes.

2.1.4 Geología

Para el proceso de zonificación se utilizaron las planchas geológicas escala regional 1:100.000 del antiguo INGEOMINAS, hoy SGC Servicio Geológico Colombiano, las cuales en general contienen información litológica a nivel de formación y estructural convencional, que permiten la caracterización litoestratigráfica de las unidades cartografiadas a la escala del estudio. Dentro de una Formación la distribución espacial de los tipos litológicos es uniforme y generalizada no muestran necesariamente el estado o condición física de los materiales. En ese sentido se hace necesaria la discriminación litológica (tipos de roca o sedimentos en el área).

2.1.4.1 Litología

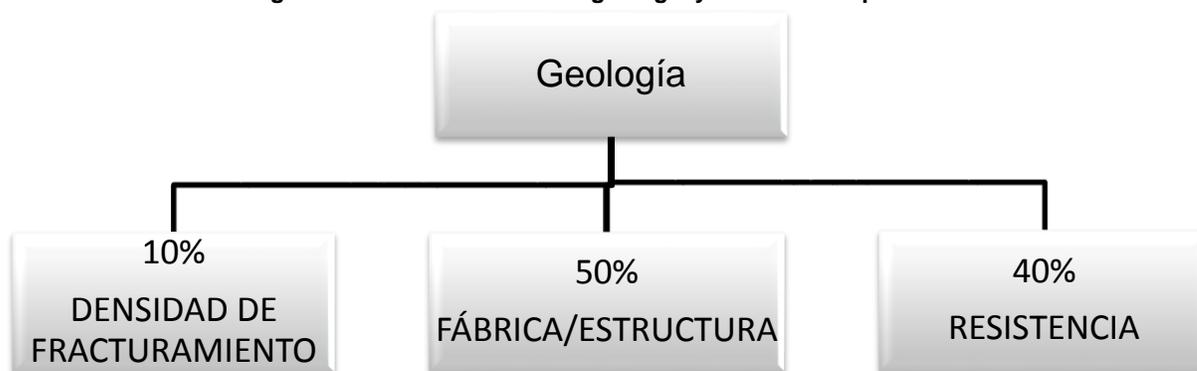
La caracterización geológica tiene como objeto verificar resistencia, fábrica/estructura y densidad de fallas en el modelo general, estas calificaciones que se harán sobre las unidades litológicas diferenciables en el mapa permitirán a través del proceso de mapeo establecer la susceptibilidad de los diferentes macizos rocosos al desarrollo de FRM. El producto de este ejercicio será un mapa geológico densificado y calificado de acuerdo a estas variables.

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

Para la escala de trabajo la unidad de mapeo que corresponde es la unidad EG (Grupo de ingeniería) de las propuestas por la (Engineering Geological Mapping IAGE - UNESCO, 1976). Esta unidad se define como conjunto de formaciones con características paleogeográficas y tectónicas similares y con características litológicas comunes; se le atribuye comportamiento muy general, con aplicaciones a estudios de grandes regiones. En la ponderación de la calidad de las rocas se consideran atributos de textura/fábrica, densidad de fracturamiento y dureza atributos a calificar a partir del mapa geológico escala 1:100.000 de las planchas geológicas del SGC pero que serán densificadas con los materiales de formaciones superficiales y ajustando la continuidad crono y lito estratigráfica, especialmente en aquellos municipios en los que hay unión de dos o más planchas geológicas y en las cuales existen diferencias marcadas entre los autores.

La variable geológica tiene un peso de 15% (Figura 2.2), sin embargo su importancia crece cuando la estructura geomorfológica en la variable morfogénesis debe considerar los materiales subyacentes.

Figura 2.2 Peso de la variable geología y sus sub-componentes.



Fuente: Servicio Geológico Colombiano 2011.

2.1.4.2 Resistencia

A partir de las planchas del SGC escala 1/100.000 se listan las formaciones y los diferentes niveles que las conforman (cuando se pueda realizar) para asignar rangos de resistencia, en algunos casos es pertinente realizar cargas de compresión y corte cuando no se tienen datos de las rocas aflorantes, las siguientes tablas esbozan las categorías de resistencia y la calificación que ofrece el servicio geológico dependiendo de la resistencia. Cada una de las subvariables de geología tiene a su vez un peso (Figura 2.2), que se evaluará a partir de los controles de campo Tabla 2.1, de los cuales dependerá su calificación.

Tabla 2.1 Categorías de resistencia a la compresión simple de las rocas.

Grado	Termino	Compresión uniaxial (Mpa)	Indice de carga puntual (Mpa)	Estimación de la dureza en campo	Ejemplo
R6	Extremadamente fuerte	>250	>10	Solo se pueden sacar astillas de la muestra con martillo geológico.	Basalto fresco, chert. Diabasa, granito, gneis, cuarcita
R5	Muy fuerte	100-250	4-10	La muestra requiere varios golpes con el martillo geológico para fracturarla.	Anfibolita, arenisca, basalto, gabro, gneis, granodiorita, caliza, riolita, mármol, toba.
R4	Fuerte	50-100	2-4	La muestra requiere más de un golpe con el martillo geológico para fracturarla	Caliza mármol, filita, arenisca, esquisto, shale.
R3	Moderadamente fuerte	25-50	1-2	La muestra no puede ser raspada por navaja, puede ser fracturada por un simple golpe con el martillo geológico	Lutita, arcillolitas, carbón. Shale
R2	Débil	5-25		La muestra puede ser raspada por navaja con dificultad, en muestras	Limolita, arcillolita, shale

Grado	Termino	Compresión uniaxial (Mpa)	Índice de carga puntual (Mpa)	Estimación de la dureza en campo	Ejemplo
				poco profundas con la punta del martillo puede ser fracturada.	
R1	Muy débil	1-5		La muestra se desmorona con un golpe con la punta del martillo geológico , puede ser raspada por una navaja	Saprolitos, caolinita.
R0	Extremadamente débil	0,25-1		Roca disgregada.	Brecha de falla.

Fuente: Hoke 1996

Tabla 2.2 Propuesta de calificación de las rocas dependiendo de su resistencia

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

Fuente: Hoke 1996

La revisión de la calidad de la roca también está relacionada con la calidad del macizo rocoso, para esta evaluación se utilizara el diagrama propuesto por RMR 1989 para evaluar el estado del macizo rocoso). El formato está construido para conocer la litología, la estructura predominante y las familias de diaclasas más visibles, el evaluador pondrá un punto en el diagrama que mejor describa la situación del macizo rocoso, posteriormente se revisará el RQD como control de la anterior observación.

Depósitos. Este tipo de material, generalmente suelto sin diagénesis es muy susceptible al desarrollo de FRM, de hecho la propuesta de densificación del mapa geológico apunta al desarrollo de una cartografía de depósitos mucho más detallada del presentado por el SGC. Gran parte del trabajo de campo está enfocado a la cartografía de este tipo de formaciones superficiales. La **Tabla 2.3** ofrece la calificación propuesta por el SCG para diversos tipos de depósitos. (Hoek, 1996), esta le atribuye a los depósitos en general una resistencia menor de 10 Kg/cm², valor que puede variar dependiendo de la génesis del mismo o la posición dentro del mismo. Así por ejemplo:

a) Coluviones

Su origen y dinámica es muy semejante a la de los movimientos en masa en general; según (IDEAM, 2012), estos depósitos se involucran el 70-80% de los movimientos en masa en la Cordillera Oriental de Colombia, ocurren en diversos tamaños en todas las poblaciones objeto de estudio, afectando cabeceras, vías y otros proyectos de infraestructura. Son indudablemente los depósitos más inestables en el país.

b) Terrazas sobre-elevadas

Estas terrazas están expuestas en varios niveles sobre el nivel de los ríos actuales como consecuencia de los recientes pulsos orogénicos, son muy frecuentes los movimientos en masa asociados a estos depósitos.

c) Depósitos glaciales y glacio-fluviales

Muchos movimientos en masa se involucran con valles de glaciales antiguos: antiguos depósitos glaciales y depósitos glacio-fluviales actuales.

d) Depósitos aluviales de cauce y llanuras aluviales; depósitos de origen paludal

Estos depósitos no se involucran en el desarrollo de movimientos de ladera, sin embargo ciertos escapes de potentes dimensiones podrían estar afectados por algún tipo de movimiento.

Figura 2.3 Protocolo de campo para evaluar calidad del macizo rocoso.

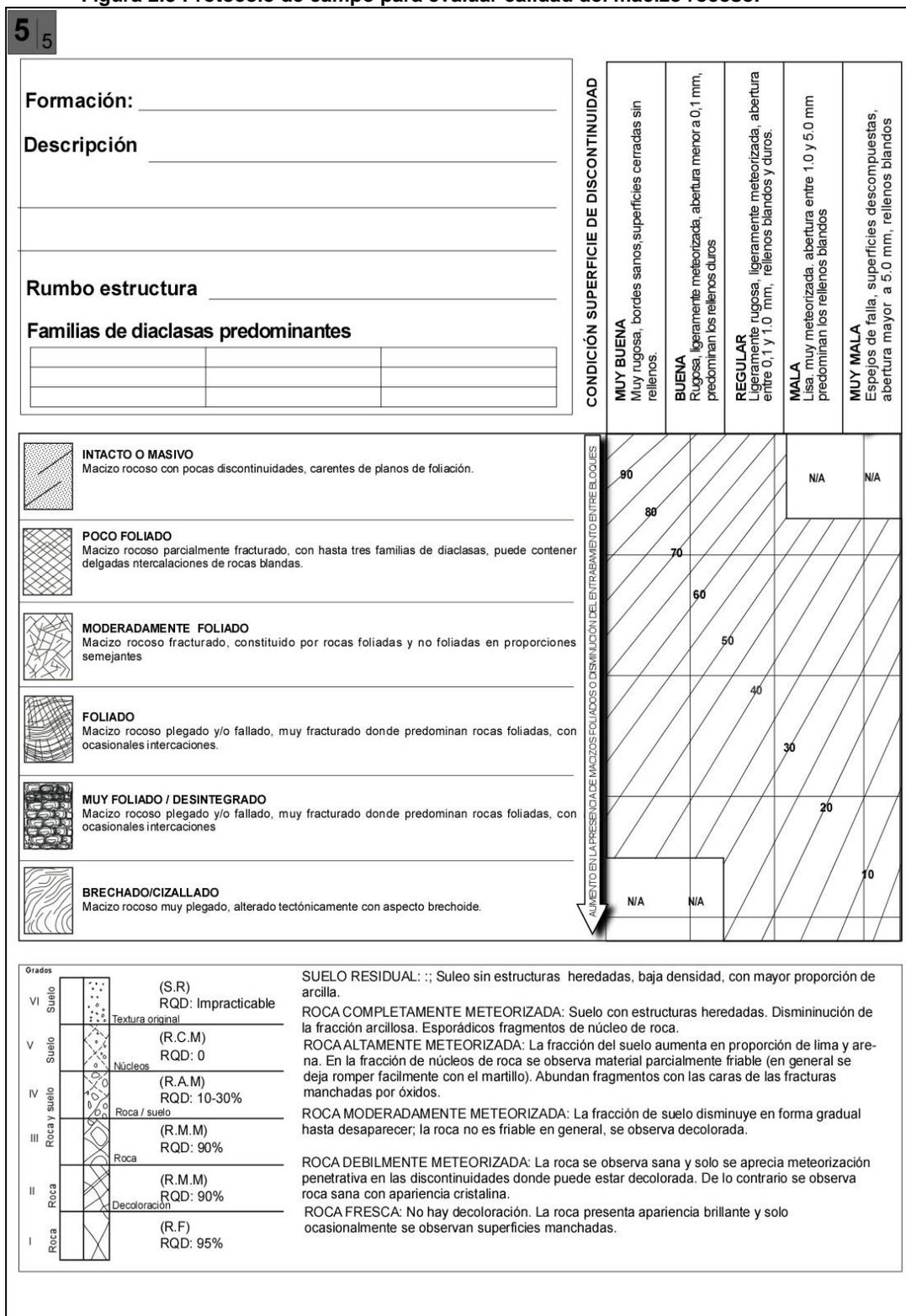


Tabla 2.3 Características de susceptibilidad a movimientos en masa de los depósitos.

Origen Mecanismo	Nombre del depósito	Susceptibilidad
Aluvial	Depósitos de cauce y llanuras aluviales	No se involucran en problemas de estabilidad de taludes y laderas.
	Depósitos de Terrazas aluviales	De estos tipos de depósitos las terrazas sobre- elevadas se involucran con frecuencia en movimientos en masa.
	Depósitos de Abanicos aluviales	Presentes en el fondo de muchos ríos; por lo general son depósitos retrabajados y muy susceptibles a inestabilidad en general y a socavación lateral.
Gravitacional	Depósitos coluviales	Se les considera los tipos de depósitos más inestables en taludes y laderas.
Lacustre	Depósitos paludales	No se involucran en problemas de estabilidad de taludes y laderas
Glacial	Depósitos glaciales y glacio – fluviales	Estos tipos de depósito se involucran con frecuencia en movimientos en masa en las partes altas de las cordilleras.

Fuente: INGEOMINAS

Tabla 2.4 Calificación de las unidades litológicas (Depósitos).

	Nombre de la unidad regional para ingeniería	Símbolo	Susceptibilidad de los depósitos a movimientos en masa
DEPÓSITOS	Depósitos de cauce y llanuras	D-al	1,00
	Terrazas aluviales	D-t	3,50
	Abanicos aluviales	D-ca	3,00
	Depósitos coluviales	D-co	5,00
	Depósitos paludales	D-l	1,00
	Depósitos glacial o morrénico	D-g	3,00

Fuente: INGEOMINAS

Cada uno de los depósitos serán evaluados a partir del protocolo de campo diseñado para facilitar el trabajo del equipo de geólogos **Figura 2.4**.

Figura 2.4 Protocolo de campo diseñado para la descripción de depósitos.

3
5

ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO MUNICIPIOS BLOQUE I



PROTOCOLO DE CAMPO CATERIZACIÓN DE DEPÓSITOS

1. LOCALIZACIÓN Fecha: 2014 Municipio _____

Recorrido _____

Plancha	Estación.	E	N	Fotografías No.
---------	-----------	---	---	-----------------

2. INFORMACION BÁSICA

Nombre estratigráfico de la unidad _____

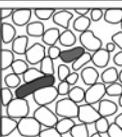
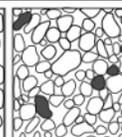
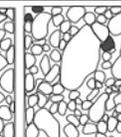
Cobertura vegetal predominante _____

Amplitud del afloramiento	Tipo	Clase	Suelo	Corte
Ancho <input style="width: 50px;" type="text" value="m."/>	Oligomítico <input type="checkbox"/>	Matriz-soportado <input type="checkbox"/>	Ausente <input type="checkbox"/>	Vía <input type="checkbox"/>
Alto <input style="width: 50px;" type="text" value="m."/>	Polimítico <input type="checkbox"/>	Clasto-soportado <input type="checkbox"/>	Presente <input type="checkbox"/>	Quebrada <input type="checkbox"/>
				Trinchera / Apique <input type="checkbox"/>

3. DESCRIPCIÓN DEL DEPÓSITO.

Composición de los bloques predominantes _____

Tamaño		Redondez y Esfericidad de los Granos								
Bloques	<input type="checkbox"/> > 51,2 cm	Arena gruesa	<input type="checkbox"/> 1/2 - 1 mm	Bien Redondeado	Redondeado	Sub-redondeado	Sub-angular	Angular	Muy Angular	Baja Esfericidad
Cantos	<input type="checkbox"/> 25,6 - 51,2 cm	Arena media	<input type="checkbox"/> 1/4 - 1/2 mm							
Guijarros	<input type="checkbox"/> 64 - 256 mm	Arena fina	<input type="checkbox"/> 1/8 - 1/4 mm							Baja Esfericidad
Guijos	<input type="checkbox"/> 4 - 64 mm	A. muy fina	<input type="checkbox"/> 1/16 - 1/8 mm							
Gránulos	<input type="checkbox"/> 2 - 4 mm	Limo	<input type="checkbox"/> 1/16 - 1/256 mm							
A. Muy gruesa.	<input type="checkbox"/> 1 - 2 mm	Lodolitas	<input type="checkbox"/> < 1/256 mm							

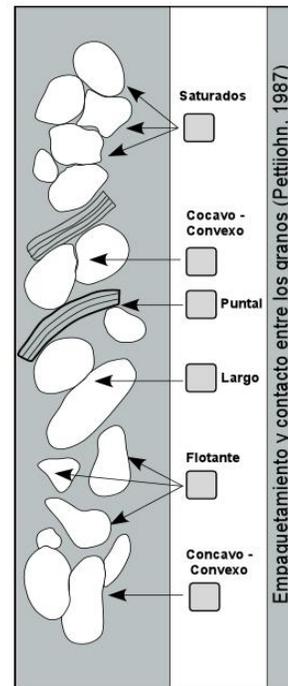
Friabilidad				GRADO DE SELECCIÓN DE LOS GRANOS (Compton, 1962)				
Suelta	<input type="checkbox"/>	Debil no friable	<input type="checkbox"/>					
Muy friable	<input type="checkbox"/>	M/. fuerte	<input type="checkbox"/>	Muy bien seleccionado	Bien Seleccionado	Moderadamente Seleccionado	Pobrementemente Seleccionado	Muy Pobrementemente Seleccionado
Friable	<input type="checkbox"/>	Fuerte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Algo friable	<input type="checkbox"/>	Muy fuerte	<input type="checkbox"/>					
Firme	<input type="checkbox"/>	Inusual/. fuerte	<input type="checkbox"/>					

Expresión morfológica	Características secundarias			
Forma ondulaciones <input type="checkbox"/>	Recesivo <input type="checkbox"/>	Forma taludes <input type="checkbox"/>	Fisibilidad <input type="checkbox"/>	Estr. deformación. <input type="checkbox"/>
Forma escarpes <input type="checkbox"/>	Estructuras remanentes <input type="checkbox"/>	Forma montículos <input type="checkbox"/>	Neotectónica <input type="checkbox"/>	Concreciones <input type="checkbox"/>

4 | 5

Descripción geométrica de capas y/o láminas (Campbell, 1967, en Reineck y Singh, 1980)

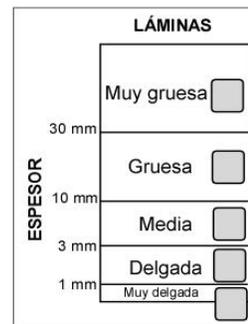
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		



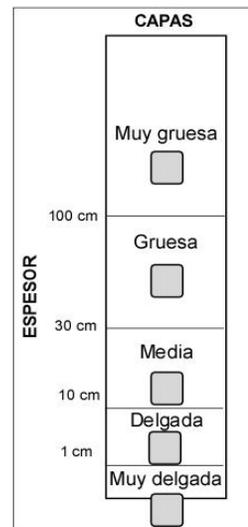
TIPO

GEOFORMA ASOCIADA

DEPÓSITOS DE ORIGEN DENUDACIONAL	
Depósito coluvial	Glacis de acumulación <input type="checkbox"/> Depósito de vertiente <input type="checkbox"/>
Depósito de lodo	Cono o lóbulo de lodo <input type="checkbox"/>
Depósito de detritos	Cono o lóbulo de detritos <input type="checkbox"/> Talus <input type="checkbox"/> Derrubios <input type="checkbox"/>
	Avalancha de detritos <input type="checkbox"/> Flujo indiferenciado <input type="checkbox"/>
	Lóbulo o cono <input type="checkbox"/> D. rotacional <input type="checkbox"/> D. planar <input type="checkbox"/>
Depósito de tierras	D. rotacional de tierras <input type="checkbox"/> D. traslacional de tierras <input type="checkbox"/>



DEPÓSITOS DE ORIGEN FLUVIAL Y LAGUNAR	
Depósito de cauce y llanura aluvial	Cauce <input type="checkbox"/> Albardón/Dique <input type="checkbox"/> Barra longitudinal <input type="checkbox"/>
	Barra de punto (complejo de orillares) <input type="checkbox"/> Plano anegadizo <input type="checkbox"/>
	Cubeta de decantación /Basin <input type="checkbox"/> Delta lacustrino <input type="checkbox"/>
	Meandros abandonados <input type="checkbox"/> Lagos semilunares /madrevieja <input type="checkbox"/>
	Planicie llanura de inundación <input type="checkbox"/>
Depósito de terraza aluvial	Terraza de erosión <input type="checkbox"/> Terraza sobre-elevada <input type="checkbox"/> Escarpe de terraza <input type="checkbox"/>
	Terraza de acumulación <input type="checkbox"/> Sub-actual <input type="checkbox"/> Reciente <input type="checkbox"/> subreciente <input type="checkbox"/> Antigua <input type="checkbox"/> M. antigua <input type="checkbox"/>
Depósito de abanico aluvial	Abanicos fluviotorrenciales <input type="checkbox"/> Cono de deyección <input type="checkbox"/>
	Delta de borde natural <input type="checkbox"/> Escarpe de abanico/cono aluvial <input type="checkbox"/>
Depósito lagunares/paludales	Artesas lagunares <input type="checkbox"/> Lagos semilunares <input type="checkbox"/>
	Planos anegadizos <input type="checkbox"/> Delta lacustrino <input type="checkbox"/>



Fuente: Equipo consultor UT AVR CAR, 2014

2.1.4.3 Tectónica

La susceptibilidad al desarrollo de fenómenos de remoción en masa está íntimamente ligada con la tectónica, en las áreas de tectónica activa los pliegues y fallas predisponen los materiales, en la visita que se desarrollará en los municipios se espera validar la información tectónica que posee el SGC, para extender las descripciones que serán entregadas municipio a municipio, preliminarmente y fundamentados en información secundaria, se plasma esta información en cada uno de los municipios; se relacionara con la actividad y la densidad de fracturamiento.

a) Densidad de fracturamiento.

La variable densidad de fracturamiento se generará a partir de las fallas presentes en la cartografía geológica 1/100.000 además de los lineamientos y fallas identificados durante el proceso de interpretación geomorfológica, incluye además los ejes de los pliegues mayores más persistentes que afectan las rocas.

De acuerdo con las tasas de desplazamiento definidas para las fallas con deformaciones en el Cuaternario, se asignaron pesos a los elementos definiendo 5 rangos:

- Fallas con tasas de desplazamiento $> 1,0$ mm/año :peso asignado 10
- Fallas con tasas de desplazamiento entre $0,2 - 1,0$ mm/año: peso asignado 9
- Fallas con tasas de desplazamiento $< 0,2$ mm/año: peso asignado 8
- Resto de fallas de las cuales no se conoce su tasa de desplazamiento: peso asignado 7
- Pliegues: peso asignado 6.

b) Fabrica y/o estructura

El término “fábrica” se refiere al arreglo de partículas, grupos de partículas y espacios vacíos en un suelo. El término “estructura” es utilizado por algunos como sinónimo de fábrica, sin embargo, la estructura tiene un significado más amplio, que integra los efectos combinados de la fábrica, composición y fuerzas entre partículas. La fábrica, estudiada a nivel de microscopía óptica se conoce como “microfábrica”, mientras que los rasgos que pueden ser identificados a simple vista o con ayuda de una lupa, tales como estratificación, fisuramiento, vacíos y no homogeneidad, se identifican como la “macrofábrica”.

La fábrica tiene gran influencia en el comportamiento de los suelos y rocas, en especial en lo referente a la anisotropía que genera debido a la orientación de las partículas, la cual así mismo gobierna anisotropía en las propiedades geomecánicas, la clasificación de las rocas según su fábrica/estructura, puede servir para establecer diferencias de las rocas en cuanto a su resistencia y direccionalidad de las propiedades mecánicas. A continuación se presenta las características generales según el tipo de textura/fabrica y la calificación propuesta. **Tabla 2.5 y Tabla 2.6.**

Tabla 2.5 Textura/Fábrica de las rocas

Textura/Fábrica	Características	Clasificación
Cristalina Masiva	En rocas de cualquier origen (ígneo, metamórfico o sedimentario) cuyas partículas minerales están entrelazadas y con orientación aleatoria. Corresponde a las rocas más resistentes y menos deformables, salvo las rocas volcánicas cuya calidad es un poco dispersa según sean porosas o no lo sean. Ejemplos: granitos, basaltos, calizas, chert, cuarcitas y mármoles.	1
Cristalina Foliada y Rocas de falla	En rocas cuyas partículas minerales están mecánicamente entrelazadas, con una orientación preferencial a lo largo de la cual las rocas son menos resistentes. Su calidad se dispersa como consecuencia de su fábrica orientada, es decir, por los planos de esquistosidad y foliación. Ejemplos: Pizarras, filitas, esquistos, milonitas.	5
Cristalinas Bandeadas	En rocas cuyas partículas minerales están mecánicamente entrelazadas, conformando bandas composicionales con alguna influencia direccional. Ejemplo: Neis.	2
Clásticas Cementadas	En rocas con partículas cementadas, con resistencia y deformación variable, dependiendo de la calidad del material cementante, la relación matriz-clastos y el grado de empaquetamiento general que posea. Ejemplos: areniscas, conglomerados.	3
Clásticas Consolidadas	En estas rocas se presenta comportamiento variable esfuerzo-deformación, con direccionalidad de sus propiedades mecánicas. La resistencia se acrecienta con el grado de consolidación diagenética. Ejemplos: arcillolitas, lodolitas, shales.	4

Fuente. INGEOMINAS 2009

Tabla 2.6 Calificación propuesta tipo de fábrica

Fabrica/estructura	
Atributo	Propuesta de Calificación
N/A	0
Cristalina Masiva	1
Cristalinas Bandeadas	2
Clásticas Cementadas	3
Clásticas Consolidadas	4
Cristalina Foliada y Rocas de falla	5

Tomado INGEOMINAS 2009.

2.1.5 Geomorfología aplicada a movimientos en masa

Esta es la variable más importante en el estudio de la estabilidad de laderas en zonas rurales por métodos Heurísticos (Figura 2.5), para esta temática se requiere generar las planchas geomorfológicas a escala 1:25.000, adaptando la metodología para la generación de mapas geomorfológicos escala 1:100.000, (SGC, 2011), la guía para la elaboración de estudios geomorfológicos del (IDEAM, 2012), y la metodología para el mapeo geomorfológico desarrollado desde el año (IGAG, 1999).

El objetivo principal de la cartografía y el análisis geomorfológico, es el de registrar información de las formas del terreno, los materiales (roca o suelos) que las constituyen, y los procesos

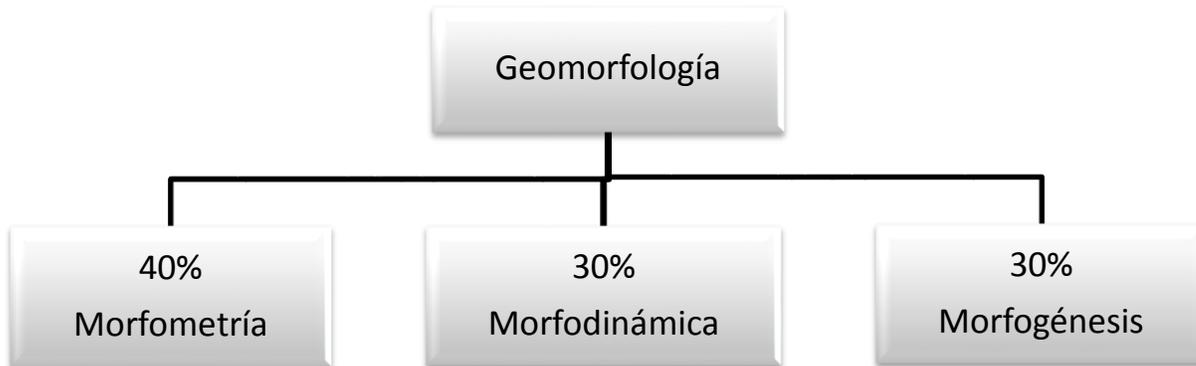
superficiales que los afectan, de tal manera que, permitan la reconstrucción de la historia, antigua, presente y futura (Génesis, procesos y edad) del relieve de una localidad. Esta información es básica para el manejo ambiental y territorial de un territorio, dado el carácter de geoindicador que tiene la superficie terrestre al mostrar los más recientes cambios geológicos, propios de la dinámica tanto interna como externa de la tierra.

La facilidad de identificar, cartografiar y correlacionar la expresión morfológica del terreno, tanto en fotos aéreas como en imágenes de satélite, permite la definición de zonas homogéneas, que facilitan el análisis y los cálculos en los sistemas de información geográfica S.I.G. Tal situación hace que los mapas geomorfológicos se constituyan en documentos integradores de variables tales como litología, suelos y minería entre otras, que facilitan conocer y evaluar el geopotencial de una región

Ante esta posibilidad, adicionalmente permiten la definición de sectores territoriales estructurantes, básicos para la toma de decisiones, tanto a nivel regional como local (Velasquez, 1999). En ese sentido el análisis y la cartografía geomorfológica es aplicable a la evaluación ambiental y planes de ordenamiento territorial, y particularmente al manejo de tierras, zonificaciones geotécnicas y sísmicas de ciudades, planificación del desarrollo de recursos, planificación del uso de tierras, planificación de proyectos y a la política de riesgos naturales (Slaymaker, 2001).

Se definen los atributos de morfometría, morfodinámica y morfogénesis, la calificación de los atributos la realizó el SGC (Servicio Geológico Colombiano) en sus propuestas metodológicas con un grupo de geólogos y asesores; quienes a partir de su experiencia y conocimiento, asignaron el grado de susceptibilidad a cada una de las variables. Este temática incluye los atributos de morfometría, morfogénesis y morfodinámica, con las cuales se calificaron las unidades geomorfológicas. En la siguiente figura se muestra el peso de los atributos de la variable geomorfología (Figura 2.5).

Figura 2.5 Diagrama de atributos dentro de la variable Geomorfología, con sus respectivos porcentajes

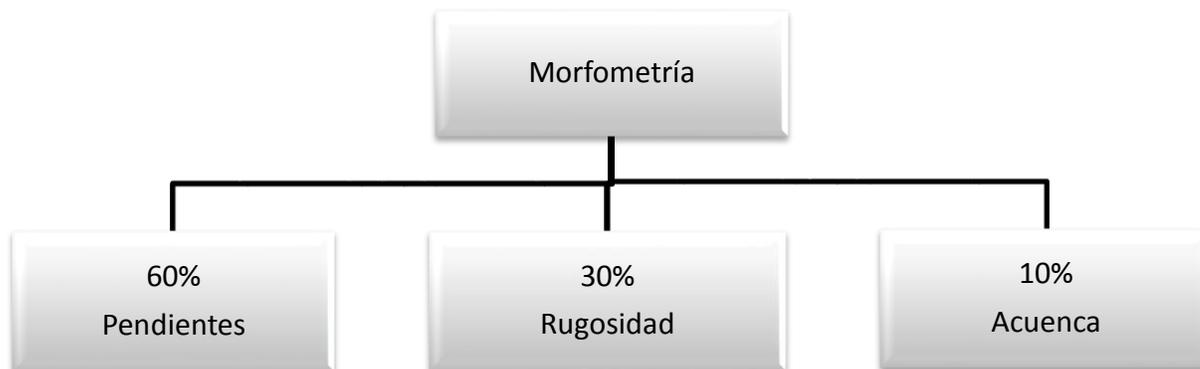


Fuente: Servicio Geológico Colombiano

2.1.5.1 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 2.6.

Figura 2.6 Diagrama de atributos dentro de la variable morfometría, con sus respectivos porcentajes



Fuente: Servicio Geológico Colombiano 2011.

a) Pendientes

La pendiente se define como el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal. Su valor 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 2.7**, muestra la clasificación de la susceptibilidad de pendientes y su descripción.

Tabla 2.7 Susceptibilidad de pendientes

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

Fuente: SGC, Ingeominas (2011)

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 rugosidad define bien las formas como los límites de taludes y laderas tanto en los valles como en las crestas (Felicísimo, 1992). Se relaciona con los movimientos en masa, de manera que las laderas de rugosidad alta son más propensas a presentar movimientos en masa debido a que los cambios sucesivos de pendientes favorecen una mayor infiltración del agua en el terreno y por ende, aumenta la inestabilidad del mismo. Se presentan los valores de clasificación en función de la susceptibilidad a los movimientos en masa del atributo rugosidad. **Tabla 2.8**.

Tabla 2.8 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: Servicio Geológico Colombiano 2011.

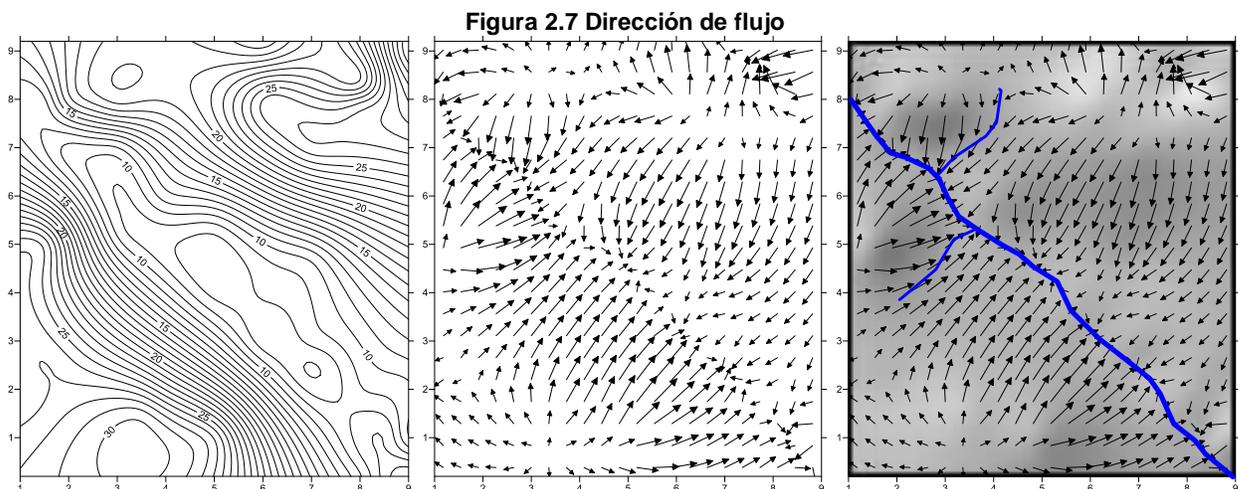
c) Factor Acuenca

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 m². 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 2.9**, se presenta los valores de clasificación en función de la susceptibilidad a los movimientos en masa de la variable Acuenca.

- Dirección de Flujo

Una de las claves de la modelación hidrológica es la determinación de la dirección de flujo de cualquier punto de una cuenca (cualquier celda). El proceso de cálculo de la dirección de flujo consiste en determinar la dirección de máxima pendiente hacia abajo de cada celda. Existen ocho direcciones de salida válidas que se relacionan con las ocho celdas adyacentes hacia donde puede ir el flujo. Este enfoque comúnmente se denomina el modelo de flujo de ocho direcciones (D8). En la **Figura 2.7** se presenta gráficamente el cálculo de la dirección del flujo.



Fuente: Presente estudio.

- Flujos acumulados

Constituye el peso acumulado en una celda determinada de todas las celdas que fluyen pendiente abajo hacia ella. De este modo es posible conocer rápidamente la cantidad de agua que puede

recibir una celda determinada. Así mismo, el cálculo de flujos acumulados posibilita también determinar la cantidad de agua de lluvia que puede fluir por una celda dada, asumiendo que toda la lluvia se convierte en escurrimiento superficial y que no existe infiltración, evapotranspiración u otras pérdidas. Este tipo de flujo representa zonas donde hay mayor cantidad de agua fluyendo. Las zonas más oscuras representan los lugares donde hay mayor flujo de agua, lo cual coincide con los ríos y quebradas. Ver la clasificación de la susceptibilidad del atributo acuenca para flujos acumulados, **Tabla 2.9**.

Tabla 2.9 Clasificación de la Susceptibilidad del atributo Acuenca.

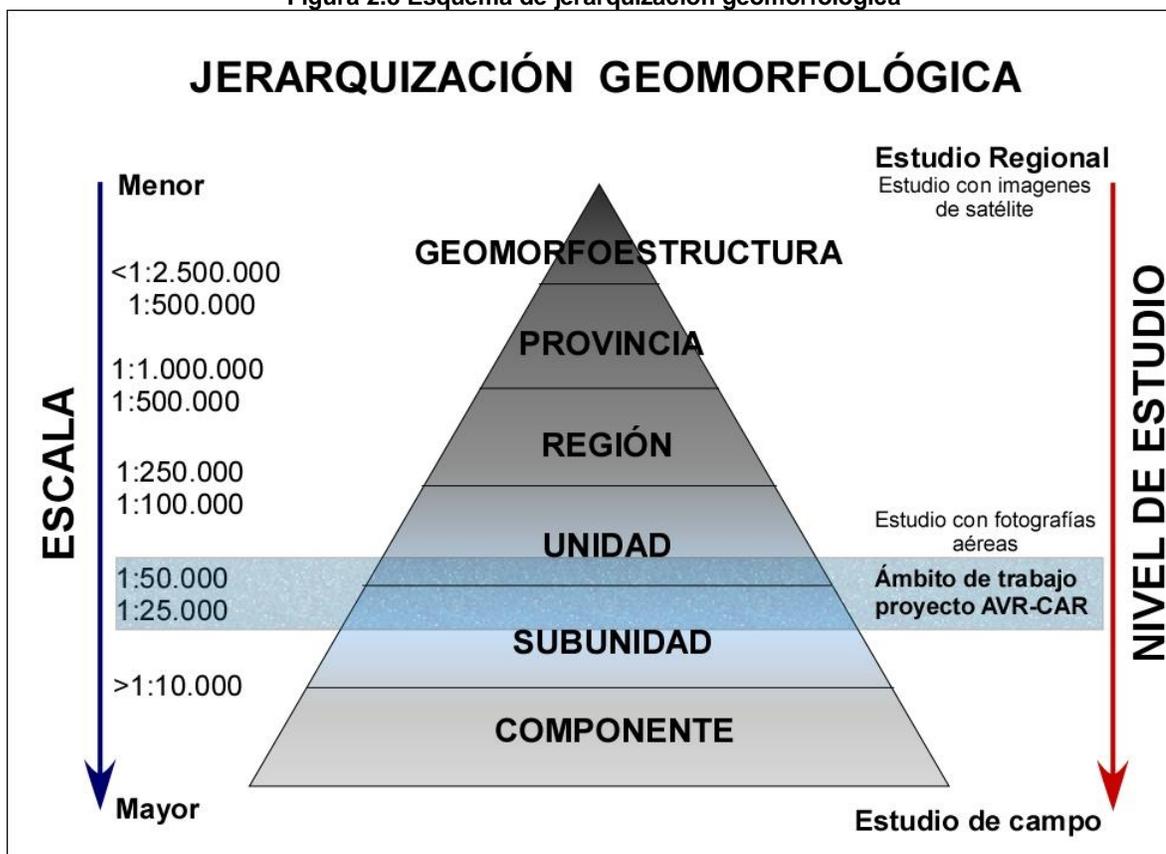
Clasificación	Descripción	Susceptibilidad
1	Divisoria de Aguas o Lomos	Muy Baja
2	Escorrentía Lenta	Baja
5	Flujo Acumulado	Muy Alta
3	Drenaje no permanente	Media
1	Quebradas, Ríos	Muy Baja

Fuente: SGC, Ingeominas (2011)

2.1.5.2 Categorización geomorfológica

De acuerdo a la propuesta de (Carvajal J. H., 2011), se adoptan los siguientes rangos de clasificación de mayor a menor **Figura 2.8**.

Figura 2.8 Esquema de jerarquización geomorfológica



Fuente: Modificado de: Propuesta para la estandarización de la cartografía geomorfológica de Colombia.

a) Geomorfoestructura

Se refiere a grandes áreas geográficas o amplios espacios continentales o intracontinentales caracterizados y definidos por estructuras geológicas y topográficas regionales que han tenido deformación o basculamiento y posiblemente metamorfismo o intrusión ígnea (Megageoformas de origen tectónico). Se consideran como geomorfoestructuras: Los escudos, los bloques de origen continental (Plateaus Orogénicos o Epirogénicos), grandes cuencas de sedimentación, cuencas intracratónicas y Rift Valleys, plataformas y cinturones orogénicos. Corresponde según (Velásquez, 1999) a escalas de trabajo menores de 1: 2.500.000.

El nombre propuesto para las Geomorfoestructuras es compuesto y Consiste del término Sistema asociado a un término Morfológico de macrorelieve combinado con un nombre geográfico regional reconocido.

b) Provincia Geomorfológica

Corresponde a un conjunto de regiones con geoformas parecidas y definidas por un macro relieve y una génesis geológica similar. Localmente se relacionan con las regiones naturales y con los terrenos geológicos de Colombia los cuales están delimitados por el trazo de megafracturas y suturas definidas o inferidas (INGEOMINAS, 1999), (Velasquez, 1999), (Irving, 1971), (Etayo et al., 1986), (Villota, 1997).

Se diferencian y delimitan las formas del relieve tomando como base sus características geológicas, morfológicas y geográficas. Se definen en términos tales como; Cinturones Montañosos, Llanuras, Peniplanicies, Cordilleras, Serranías y están establecidas para escalas entre 1:1.000.000 – 1.500.000.

El nombre propuesto para la Provincia Geomorfológica es compuesto y consiste de un término morfológico de macro relieve, combinado con un nombre geográfico definido por el nombre del terreno geológico o región natural respectiva.

c) Región Geomorfológica

Es la agrupación de geoformas relacionadas genética y geográficamente. Están definidas por los ambientes morfogenéticos y geológicos afectados por procesos geomórficos parecidos. La escala de trabajo está definido entre 1: 250.000 y 1: 500.000. . (Velásquez, 1999), (INGEOMINAS, 1999), (VanZuidam, 1992) , (Carvajal, 2008).

El ambiente morfogenético hace alusión a las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas bajo las cuales se generaron las geoformas. Se determina con base en la interpretación de los procesos geomorfológicos registrados (origen tanto endógeno como exógeno), que dieron lugar a la formación, evolución y modificación de las mismas.

Los ambientes morfogenéticos que se espera encontrar en el bloque de los 24 municipios se agrupan de manera general en:

- Ambiente morfoestructural (S): corresponde a las geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra, especialmente la asociada a plegamientos y fallamientos.
- Ambiente denudacional (D): determinado por la actividad de los procesos erosivos hídricos y pluviales, y principalmente producto de procesos de meteorización, erosión y remoción en masa, sobre geoformas pre existentes.
- Ambiente fluvial y lagunar (F): corresponde a las geoformas generadas por procesos (erosión – sedimentación), generadas por corrientes de agua tales como ríos y arroyos, y lagos y lagunas respectivamente.

- Ambiente glacial y periglacial (G): definido por las geformas originadas por los glaciares tanto continentales (casquetes polares) como de alta montaña.
- Ambiente kárstico (K): definido por las formas del terreno, producto de meteorización y dilución de rocas y materiales de fácil disolución (las calizas y sal), en ambientes tropicales húmedos.
- Ambiente antropogénico (A): corresponde a las formas del terreno, productos de la actividad del hombre que modifica la superficie terrestre.

El nombre propuesto para las regiones geomorfológicas está definido por un término morfológico de meso relieve tales como serranías o planicies, asociado con el nombre del ambiente morfogenético correspondiente. Para la notación cartográfica se propone usar una abreviatura de hasta 3 caracteres; la primera o la primera y la segunda en mayúsculas, se utilizan para identificar el ambiente morfogenético principal y la restante para la expresión morfológica de meso relieve.

d) Unidad Geomorfológica

Esta categoría se propone como la unidad básica de la cartografía geomorfológica. El término Unidad geomorfológica se define como una geoforma individual genéticamente homogénea, generada por un proceso geomórfico constructivo o destructivo (Acumulación o erosión), típico de un ambiente morfogenético dado. Está determinada con criterios genéticos, morfológicos y geométricos en función de la escala de trabajo propuesta de 1: 50.000 a 1:100.000.

La notación cartográfica propuesta, corresponde a una abreviatura de hasta 5 caracteres; el primero en mayúscula. El primero y el segundo se utilizan para identificar el ambiente morfogenético principal (Denudacional: D, Volcánico: V, Estructural: S, Fluvial y deltáico: F, Kárstico: K, Marino y costero: M, Glacial: G, Eólico: E, Antropogénico: A); letras adicionales para especificar tanto el relieve como el nombre de la geoforma típica de cada ambiente morfogenético, ver (VanZuidam, 1992).

e) Subunidad Geomorfológica

Esta categoría corresponde a una subdivisión de las Unidades geomorfológicas. Está determinada fundamentalmente por los contrastes morfológicos y morfométricos, que relacionan el tipo de material o la disposición estructural de los mismos, con la correspondiente topografía del terreno. Igualmente está definida por el contraste dado por las formaciones superficiales asociadas a procesos morfodinámicos actuales de meteorización, erosión, transporte y acumulación bien definidos o determinados. La escala de trabajo está definida entre 1:10.000 y 1: 25.000.

La nomenclatura de las Subunidades está definida por la posición dentro de la unidad o por el proceso geomorfológico dominante, ejemplo: Ladera estructural de espinazo o de cuesta, ladera denudativa o residual. La notación cartográfica propuesta, corresponde a abreviaturas de hasta 6 caracteres: El primero hace alusión al ambiente morfogenético, la segunda y tercera para definir la unidad correspondiente y las restantes para especificar la disposición estructural o la posición dentro de la unidad geomorfológica.

f) Componente o elemento geomorfológico

El elemento o componente geomorfológico corresponde al máximo nivel de detalle de jerarquía en la subdivisión propuesta (escalas mayores de 1:10.000): Esta categoría está determinada por los rasgos del relieve (escarpes naturales o antrópicos, relieves internos de laderas o flancos, crestas, formas de valle), definidos en sitios puntuales y determinados por la morfometría detallada del terreno en una Subunidad Geomorfológica. Igualmente puede estar definida por microrelieves asociados con una característica litológica o sedimentaria establecida con base en análisis detallados. Ver (Velásquez, 1999), (INGEOMINAS, 1999), (Meijerink, 1988), (Damen, 1990).

La nomenclatura propuesta, está definida por caracteres combinados de letras y números, definidos por el origen de la geoforma, nombre de las unidades y subunidades y al final números que

determinan la posición del Elemento en la subunidad. Cartográficamente la diferenciación de elementos geomorfológicos, se plantea hacerlo acorde con las características de los tipos de material (Rocas o sedimentos), utilizando los achurados estándar de geología.

2.1.5.3 Morfogénesis

Se entiende generalmente por morfogénesis la creación y la evolución de las formas de la superficie terrestre, debida a los mecanismos endógenos (tectónica, vulcanismo) y/o a los procesos dinámicos exógenos, principalmente la erosión en su sentido más amplio. Implica la definición del origen de las formas del terreno, es decir, las causas y procesos que dieron la forma al paisaje. El origen del paisaje depende de los procesos endógenéticos y la modificación de los agentes exógenéticos (agua, viento, hielo), que actúan sobre la superficie terrestre en diferentes proporciones e intensidades y durante intervalos de tiempos geológicos.

Los procesos geodinámicos externos (o exógenos) se constituyen por fenómenos que actúan en la corteza terrestre y que requieren de energía externa para generar reacciones sobre el planeta; generalmente son los procesos que implican destrucción del relieve en un sitio y construcción en otro, contribuyen al modelamiento constante de las geoformas en superficie. Los procesos internos (o endógenos) son producto de las fuerzas internas de la tierra que actúan preferencialmente en su interior. Los procesos endógenos, que ocurren al interior de la corteza y manto terrestre pueden ser asociados a movimientos relativos de las placas tectónicas cuya expresión en superficie se reflejan en fallamiento y vulcanismo; estos procesos corresponden a ambientes morfoestructurales y volcánicos cuya calificación se considera menor que los procesos que ocurren en ambientes asociados a procesos de erosión, transporte y depositación.

De acuerdo a los conceptos anteriores, los procesos exógenos acogen los elementos determinantes en la generación de movimientos en masa, de ahí que su calificación sea mayor que los procesos.

La morfogénesis se representa en forma de unidades geomorfológicas (Polígonos coloreados y rotulados con letras), si esta es cartografiable a la escala de estudio dada, o por medio de símbolos lineales si las formas son demasiado pequeñas. Las unidades morfogenéticas por ser el más alto nivel del sistema cartográfico, van coloreadas de acuerdo al ambiente morfogenético principal así:

- Formas de origen morfoestructurales (Púrpura) – Púrpura
- Formas de origen denudacional (Marrón) - Marrón
- Formas de origen fluvial y lagunar (Verde) - Azul
- Formas de origen glacial y periglacial (Azul Claro) - Grises
- Formas de origen eólico (Amarillo) - Amarillo
- Formas de origen Kárstico (Naranja) – Naranja
- Formas de origen Antropogénico / biológico (Negro - gris) Tramas en negro.

Figura 2.9 Formato, protocolo de campo para las observaciones geomorfológicas.

1	5	<h2 style="margin: 0;">ESTUDIO DE AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO</h2> <h3 style="margin: 0;">MUNICIPIOS BLOQUE I</h3>
		 <p style="margin: 0;">PROTOCOLO DE CAMPO EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA</p>
2. Reconocimiento general del área		Ambiente Morfogénico
Accesos viales _____ _____ Principales geoformas _____ _____ Procesos morfodinámicos generales _____		Morfoestructural <input type="checkbox"/> Volcánico <input type="checkbox"/> Denudacional <input type="checkbox"/> Fluvio-deltáico-lagunar <input type="checkbox"/> Marino - costero <input type="checkbox"/> Glaciar <input type="checkbox"/> Eólico <input type="checkbox"/> Karstico <input type="checkbox"/> Antropogénico <input type="checkbox"/>
3. Información Morfométrica y morfo-litológica		
Índice de contraste del relieve Muy bajo <input type="checkbox"/> <29 m. Bajo <input type="checkbox"/> 30 - 74 m. Moderado <input type="checkbox"/> 75 - 149 m. Alto <input type="checkbox"/> 150 - 249 m. Muy alto <input type="checkbox"/> 250 - 499 m. Extrem/. Alto <input type="checkbox"/> >500 m.	Índice de Inclinación de Ladera Muy baja <input type="checkbox"/> 0 - 0.5° Baja <input type="checkbox"/> 0.5° - 2° Leve/. Moderada <input type="checkbox"/> 2° - 7° Moderada <input type="checkbox"/> 7° - 14° Moderada/. Fuerte <input type="checkbox"/> 14° - 30° Fuerte <input type="checkbox"/> 30° - 60° Muy Fuerte <input type="checkbox"/> >60°	Longitud de ladera Muy corta <input type="checkbox"/> <50 m. Corta <input type="checkbox"/> 51 - 250 m. Moderado <input type="checkbox"/> 251 - 500 m. Larga <input type="checkbox"/> 501 - 1000 m. Muy Larga <input type="checkbox"/> 1001 - 2500 m. Extrem/. Lar <input type="checkbox"/> >2500 m.
Forma de la Ladera Recta <input type="checkbox"/> Cóncava <input type="checkbox"/> Convexa <input type="checkbox"/> Irregular <input type="checkbox"/> <small>Escalonada, contrapendiente Compleja Disestruct no definida</small>	Formas de valle Artesa <input type="checkbox"/> Valle en V cerrado <input type="checkbox"/> Valle en V abierto <input type="checkbox"/> Valle en U <input type="checkbox"/> Valle en V fondo plano <input type="checkbox"/>	Tipo de formación superficial Aluvial <input type="checkbox"/> Lagunar <input type="checkbox"/> Deltaico <input type="checkbox"/> Eólico <input type="checkbox"/> Glaciar <input type="checkbox"/> Volcanico <input type="checkbox"/> Residual <input type="checkbox"/> Coluvial <input type="checkbox"/> Flujo de lodo <input type="checkbox"/> Talus <input type="checkbox"/> Conos de deyeccion <input type="checkbox"/> Sapolito grueso <input type="checkbox"/> Sapolito fino <input type="checkbox"/> Otro _____
Tipo de forma de la Ladera Concava - divergente <input type="checkbox"/> Cóncava - convergente <input type="checkbox"/> Convexa - divergente <input type="checkbox"/> Convexa - convergente <input type="checkbox"/>	Tipo de relieve Montañoso <input type="checkbox"/> > 500 m. Colina <input type="checkbox"/> 201-499 m. Loma <input type="checkbox"/> 50-200 m. Montículos <input type="checkbox"/> 0-50 m. Plano <input type="checkbox"/> NA.	Tipo de roca. Ignea acida <input type="checkbox"/> Ignea intermedia <input type="checkbox"/> Ignea basica <input type="checkbox"/> Ignea ultrabásica <input type="checkbox"/> Volcanica piroclástica <input type="checkbox"/> Sedimentaria cementada <input type="checkbox"/> Sedimentaria consolidada <input type="checkbox"/> Sedimentaria química <input type="checkbox"/> metamorfica masiva <input type="checkbox"/> Metamorfica bandeada <input type="checkbox"/> Metamorfica foliada <input type="checkbox"/>
Observaciones adicionales _____		

4. Procesos erosivos

Tipo de erosión

Cárstica Tors

Biológica Eólica

Glacial Terracetas

Marina Socavación

Retroceso de laderas M. Esferoidal

Hídrica F.R.M.

Tipo de movimiento

Propagación lateral Caída

Compuesta o múltiple Volcamiento

Deslizamiento rotacional Avalancha

Deslizamiento traslacional Reptación

Cicatrices de deslizamiento Solifluxión

Deformaciones gravitacionales profundas

Material comprometido

Suelo grueso Suelo fino

Roca Mixto

Grado de meteorización

Fresca

Meteorización debil

Meteorización moderada

Meteorización alta

Descompuesta

5. Avenamiento

Patron de drenaje

Radial

Anular

Rectangular

Enrejado

Paralelo

Dendrítico

Interno

Distributivo

Trenzado

Meándrico

Recto

Pantanosos

Otro

TIPO DE EROSIÓN	Espaciamiento entre canales (m)					
	<5	5 a 15	15 a 50	50 a 150	150 a 500	>500
Erosión Laminar	Severa <input type="checkbox"/>	Mod <input type="checkbox"/>	Suave <input type="checkbox"/>			
Surcos (<50 cm prof)	Severa <input type="checkbox"/>	Severa <input type="checkbox"/>	Mod <input type="checkbox"/>	Suave <input type="checkbox"/>		
Barrancos (51 - 150 cm de profundidad)	Severa <input type="checkbox"/>	Severa <input type="checkbox"/>	Severa <input type="checkbox"/>	Mod <input type="checkbox"/>	Suave <input type="checkbox"/>	
Cárcavas (> 150 cm de profundidad)	Severa <input type="checkbox"/>	Severa <input type="checkbox"/>	Severa <input type="checkbox"/>	Severa <input type="checkbox"/>	Mod <input type="checkbox"/>	Suave <input type="checkbox"/>

Grado de erosión con respecto a la geoforma			Grado de erosión con respecto a la cobertura vegetal		
% área unidad erosionada	Descripción	Grado de erosión	Cobertura vegetal	Descripción	
< 25%	Geoforma original	Sin Erosión <input type="checkbox"/>	>90%	Sin Erosión <input type="checkbox"/>	
25 - 50%	Geoforma denudada	Erosión baja <input type="checkbox"/>	>75%	Erosión baja <input type="checkbox"/>	
51 - 74%	Geoforma remanente	Erosión media <input type="checkbox"/>	51 - 74%	Erosión media <input type="checkbox"/>	
75 - 89%	Geoforma residual	Erosión alta <input type="checkbox"/>	25 - 50%	Erosión alta <input type="checkbox"/>	
>90%	Bad Lands	Erosión muy alta <input type="checkbox"/>	<25%	Erosión muy alta <input type="checkbox"/>	

Textura de drenaje

Gruesa

Mediana

Fina

Muy fina

Frecuencia de drenaje (#F/km²)

Muy alta <40.

Alta 20-40.

Media 10-20

Baja 5-10

Muy baja <5

Cobertura Uso del suelo

Fuente: UT AVR - CAR, 2014

La asociación de procesos exógenos y endógenos a las unidades geomorfológicas no es sencilla, muchas unidades pueden ser objeto del intenso fracturamiento relacionado con fallamiento regional en el pasado y sin embargo la geoforma actual es producto de los procesos denudativos que han obrado de manera intensa (por ejemplo planicies denudacionales). Esta limitación se puede superar si se evalúa cual es el proceso predominante sobre la geoforma actual, una unidad denudada cuyos rasgos geomorfológicos corresponden a evidencias de fallamiento (escarpes de falla, lomos de falla, facetas triangulares) puede ser considerada como una unidad de ambiente estructural aun si su origen era denudativo.

Los movimientos en masa como expresión de los procesos exógenos, pueden prevalecer como eventos con pérdida o ganancia de material dependiendo el sitio y la geoforma que determinen, y son indiferentes del ambiente de formación y del lugar de ocurrencia (superficie terrestre, plataforma continental o en el fondo del mar). De esta manera se califican las unidades geomorfológicas como agradacionales donde el aporte de material es evidente y se aumentan las condiciones de inestabilidad del terreno (lóbulos coluviales, depósitos de morrenas, flujos submarinos, etc.); por otra parte, se califican como unidades degradacionales a aquellas donde la pérdida de material, bien sea por procesos erosivos o denudativos, es más evidente que la ganancia. Las unidades agradacionales de acuerdo a su ambiente de formación corresponden a la máxima susceptibilidad que puede asignársele a una geoforma. Se consideran como parte de los procesos exógenos, los ambientes morfogenéticos denudacional, glacial, fluvial, eólico, kárstico y marino entre otros, como producto de los procesos erosivos, de transporte y depositación que modelan la superficie terrestre.

De la misma manera en que un río meándrico puede generar erosión y sedimentación dependiendo de la posición dentro del cauce, los procesos agradacionales y degradacionales pueden obrar simultáneamente en diferentes ambientes; no obstante, de la misma manera en que se calificaron los procesos exógenos y endógenos, y de acuerdo al criterio del experto en geomorfología, se puede hacer una valoración de cual factor es predominante en la condición de susceptibilidad por movimientos en masa: el aporte o la pérdida de material.

La descripción de las geoformas más representativas, las que den contexto en la elaboración del informe serán detalladas con el formato desarrollado para tal efecto, que incluye variables, morfométricas, morfodinámicas y morfogenéticas.

2.1.5.4 Morfodinámica

Trata de los procesos activos en el presente o aquellos que se pueden activar en el futuro. Se refiere a la dinámica exógena relacionada con la actividad de los agentes como el viento, agua, hielo y la acción de la gravedad terrestre, que modifica las geoformas preexistentes. Los eventos naturales son específicos de cada ambiente morfogenético, afectan y modelan la superficie terrestre con diferentes grados de intensidad, imprimiéndole al terreno características propias de cada ambiente

Esta variable se obtiene de la interpretación de imágenes satelitales, fotografías aéreas, trabajo en campo, procesos geomorfológicos que indican alguna actividad tales como suelos coluviales, flujos de escombros, etc. Los criterios de calificación de la variable morfodinámica la definió el antiguo INGEOMINAS. Los criterios empleados para calificar la susceptibilidad a los movimientos en masa de las unidades geomorfológicas según los procesos se presentan en la **Tabla 2.10**.

Las actividades previstas para el mes en curso van a permitir obtener una clasificación de los principales depósitos para el primer bloque de municipios, ellos a su vez estarán calificados y se realizará una clasificación de los principales movimientos en masa de acuerdo a los formatos modificados para la descripción de movimientos en masa propuestos en el marco del proyecto multinacional andino: Geociencias para las Comunidades Andinas.

Tabla 2.10 Criterios de calificación para los sistemas morfogénicos según procesos morfodinámicos.

Grado de susceptibilidad		Criterio
0	Nula	No ocurren procesos morfodinámicos que puedan desencadenar procesos de remoción en masa
1	Muy baja	Ocurren procesos morfodinámicos que puedan desencadenar procesos de remoción en masa
2	Baja	Los procesos de remoción en masa son procesos secundarios en el sistema morfogénico.
3	Moderada	Los procesos de remoción en masa son los procesos dominantes del sistema morfogénico. Presentan una amenaza potencial por movimientos en masa baja.
4	Alta	Los procesos de remoción en masa son los procesos dominantes del sistema morfogénico. Presentan una amenaza potencial por movimientos en masa media.
5	Muy alta	Los procesos de remoción en masa son los procesos dominantes del sistema morfogénico. Presentan una amenaza potencial por movimientos en masa alta.

Fuente: SGC, Ingeominas (2011)

a) Inventario de movimientos en masa

Cada municipio contará con un inventario de movimientos en masa, un registro ordenado de la localización y las características individuales de una serie de movimientos ocurridos en su jurisdicción. Estos movimientos serán especializados e ilustrados a partir de una ficha control para cada uno.

A partir de este inventario más la información histórica contenida en el SIMMA (Sistema de Información de Movimientos en Masa) se genera una cobertura de puntos y se obtiene la densidad de movimientos en masa para cada una de las planchas a zonificar. La calificación de los rangos de clase definidos en cada una de las variables se realizó con base en un índice obtenido a partir de la densidad de los movimientos identificados.

Durante las jornadas de campo se realizará un inventario de movimientos en masa, fundamentado en la guía que para tales efectos ha desarrollado el SGC, y que ha sido implementada por diferentes entidades del estado (gobernaciones, municipios, cars, etc.). El formato se anexa al presente documento junto con los de geomorfología, y geomorfología. Los sitios a describir se discriminan así: producto de las mesas de trabajo ya adelantadas; obtenidos a partir de la revisión de información secundaria los identificados preliminarmente a partir de las ortofotos y fundamentalmente a partir del trabajo de campo por parte del equipo de geólogos, ingenieros geólogos y geomorfólogos. El formato es el desarrollado en el marco del Proyecto Multinacional Andino “Geociencias para las comunidades Andinas” (Figura 2.10) una pequeña parte del formato se incluye para ambientar el texto, anexo al presente documento se entregara el formato completo.

Figura 2.10 Parte del formato utilizado para el inventario de deslizamientos

FORMATO MODIFICADO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas

IMPORTANCIA*
Alta Media Baja

DATOS DE REGISTRO																	
ENCUESTADOR*		FECHA EVENTO*			FECHA REPORTE*			INSTITUCIÓN*									
		DD	MM	AA	DD	MM	AA										
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA						DOCUMENTACIÓN											
POR DIVISION POLITICA		COORDENADAS GEOGRAFICAS				REFERENTES GEOGRAFICOS		PLANCHAS		FOTOGRAFIAS AEREAS							
Departamento*		Sitio*						PLANCHAS	AÑO	ESCALA	EDITOR	Nro Vuelo	Nro Foto	Año	Escala	Editor	
Municipio*		Lat (GMS)*						_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	
Vereda*		Long (GMS)*						_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	
		Altura*						_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	
		Proyeccion: Magna*															
ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO				LITOLOGIA Y ESTRUCTURA													
EDAD	ESTADO	ESTILO	DISTRIBUCIÓN	DESCRIPCIÓN				ESTRUCTURA									
< 1 año <input type="checkbox"/>	21-30 años <input type="checkbox"/>	Activo <input type="checkbox"/>	Complejo <input type="checkbox"/>	Nota: Incluir mínimo origen de la roca (L,M ó S) Edad, Fm, Litología y estratigrafía, suelos NOTA: DR: Dirección de buzamiento, BZ: Buzamiento				ESTRUCTURA		ORIENTACIÓN		ESPACIAMIENTO (m)					
1-5 años <input type="checkbox"/>	31-40 años <input type="checkbox"/>	Reactivado <input type="checkbox"/>	Compuesto <input type="checkbox"/>					Planos de	DR	BZ	>2	2-0.6	0.6-0.2	0.2-0.06	<0.06		
6-10 años <input type="checkbox"/>	41-60 años <input type="checkbox"/>	Suspendido <input type="checkbox"/>	Múltiple <input type="checkbox"/>					Estratificación <input type="checkbox"/>	_____	_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
11-15 años <input type="checkbox"/>	61-80 años <input type="checkbox"/>	INACTIVO <input type="checkbox"/>	Sucesivo <input type="checkbox"/>					Foliación <input type="checkbox"/>	_____	_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
16-20 años <input type="checkbox"/>	> 80 años <input type="checkbox"/>	Latente <input type="checkbox"/>	Único <input type="checkbox"/>					Diaclasis <input type="checkbox"/>	_____	_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
		Abandonado <input type="checkbox"/>	Decreciente <input type="checkbox"/>					Falla <input type="checkbox"/>	_____	_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
		Estabilizado <input type="checkbox"/>	Móvil <input type="checkbox"/>					Discordancia <input type="checkbox"/>	_____	_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
		Relicto <input type="checkbox"/>						Esquistosidad <input type="checkbox"/>	_____	_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
											<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
											<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO																	
TIPO MOVIMIENTO		SUBTIPO MOVIMIENTO						TIPO MATERIAL		HUMEDAD		PLASTICIDAD					
Caída <input type="checkbox"/>	1 2 <input type="checkbox"/>	Caída de roca <input type="checkbox"/>	1 2 <input type="checkbox"/>	Desliz. traslacional <input type="checkbox"/>	1 2 <input type="checkbox"/>	Desliz. por flujo <input type="checkbox"/>	1 2 <input type="checkbox"/>	Desliz. licuación de detritos <input type="checkbox"/>	1 2 <input type="checkbox"/>	Roca <input type="checkbox"/>	1 2 <input type="checkbox"/>	Mojado <input type="checkbox"/>	1 2 <input type="checkbox"/>	Alta <input type="checkbox"/>	1 2 <input type="checkbox"/>		
Volcamiento <input type="checkbox"/>		Caída de detritos <input type="checkbox"/>		Desliz. en cuña <input type="checkbox"/>		Avalancha de detritos <input type="checkbox"/>		Desliz. licuación roca fracturada <input type="checkbox"/>		Detritos <input type="checkbox"/>		Muy húmedo <input type="checkbox"/>		Media <input type="checkbox"/>			
Deslizamiento <input type="checkbox"/>		Caída de tierras <input type="checkbox"/>		Desliz. traslacional en cuña <input type="checkbox"/>		Flujo de tierra <input type="checkbox"/>		Propag. lateral lenta <input type="checkbox"/>		Tierra <input type="checkbox"/>		Húmedo <input type="checkbox"/>		Baja <input type="checkbox"/>			
Flujo <input type="checkbox"/>		Volcam. flexural de roca <input type="checkbox"/>		Desliz. traslacional planar <input type="checkbox"/>		Crecida de detritos <input type="checkbox"/>		Propag. lateral licuación <input type="checkbox"/>		Lodos <input type="checkbox"/>		Liger. húmedo <input type="checkbox"/>		No plástico <input type="checkbox"/>			
Propagación Lateral <input type="checkbox"/>		Volcam. de roca <input type="checkbox"/>		Avalancha de rocas <input type="checkbox"/>		Flujo de turba <input type="checkbox"/>		Reptación de suelos <input type="checkbox"/>		Turba <input type="checkbox"/>		Seco <input type="checkbox"/>					
Reptación <input type="checkbox"/>		Volcam. macizo rocoso <input type="checkbox"/>		Flujo de detritos <input type="checkbox"/>		Desliz. licuación de arena <input type="checkbox"/>		Soliflucción <input type="checkbox"/>									
Deform. Gravit. Profundas <input type="checkbox"/>		Desliz. rotacional <input type="checkbox"/>		Flujo de lodo <input type="checkbox"/>		Desliz. licuación de limo <input type="checkbox"/>		Geliflucción (en permafrost) <input type="checkbox"/>									
ORIGEN SUELO		TIPO DEPOSITO (origen suelo sedimentario)				VELOCIDAD				SISTEMA DE CLASIFICACION*							

Fuente: Proyecto multinacional Andino.

b) Procesos hídricos erosivos

Los procesos hídricos erosivos o erosión hídrica concentrada se originan por escurrimientos hídricos. Se presentan en suelos sin cubierta vegetal donde los hilos de agua se unen siguiendo trazados preferenciales y originan entalles que luego van profundizándose y que posteriormente evolucionan a surcos y cárcavas. Este tipo de erosión no actúa sola sino que superpone la erosión difusa y laminar que en muchas ocasiones es remontante. Dichos procesos de plasmarán en la cartografía como rasgos (de punto y líneas) de acuerdo a la metodología del ITC cuando se dé inicio a los procesos de interpretación de las aerofotografías de los municipios priorizados. Descritos de acuerdo al formato pertinente **Figura 2.9**. Los procesos hídricos erosivos inciden directamente en las condiciones de drenaje locales, sin embargo la condición de drenaje se abordará desde dos aspectos: densidad de drenaje y condiciones de drenaje.

2.1.6 Condiciones de Drenaje

Las condiciones de drenaje se refieren a la circulación de agua en el suelo y la roca, así como en la masa de suelo y la masa rocosa, sin embargo, y debido a la complejidad del tema para esta metodología se hará referencia a las condiciones de drenaje en el suelo. El suelo es un conjunto de partículas entre las que existen huecos o poros interconectados, de manera que el agua puede fluir a su través. El camino de filtración es bastante tortuoso ya que el agua debe sortear gran cantidad de obstáculos que suponen las partículas de suelo, por lo tanto en este proceso existen pérdidas de carga hidráulica. La mayor o menor facilidad para que se produzca flujo será función de la granulometría del suelos. Así un suelo granular como una arena posee partículas de tamaño relativamente grande, de forma que las dimensiones de los poros entre partículas también lo serán, el agua fluirá fácilmente a través del mismo y las pérdidas de carga serán menores. Sin embargo en un suelo fino como una arcilla, el tamaño de las partículas es muy pequeño, del orden de micras, y sus poros también son extremadamente pequeños. En estas condiciones el agua encontrará muchas dificultades para circular y las pérdidas de carga serán considerables. Para el desarrollo de esta metodología se usará como herramienta para la evaluación de las condiciones de drenaje de

los materiales el coeficiente de permeabilidad K, como parámetro que mide la facilidad para que el agua circule a su través, este parámetro se relaciona con la textura de los materiales, la densidad y la forma y orientación de las partículas, con la escorrentía superficial y subsuperficial.

Las diferentes unidades geológicas compuestas por diferentes materiales litológicos se encuentran asociados a patrones de drenaje típicos; con densidad de drenaje (Tabla 2.11) y frecuencia de drenaje (Tabla 2.12), que se relacionan con una textura (Tabla 2.13) la cual a su vez está asociada a unas características de los materiales en cuanto a su permeabilidad (Tabla 2.14).

Tabla 2.11 Categorización de la densidad de drenaje

Densidad de Drenaje (Área de drenaje) $Dd = L/A$	
L: Longitud de las corrientes de agua A: Área total de la hoya hidrográfica	
Categoría	Dd (Km/Km ²)
Baja	<0,50
Media	0,50 – 1.0
Alta	>1,0

Fuente: INGEOMINAS 2011

Tabla 2.12 Categorización de la frecuencia de drenaje.

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

Fuente: INGEOMINAS 2011

Tabla 2.13 Textura de drenaje (relación entre densidad y frecuencia)

Textura	Densidad	Frecuencia
Gruesa	Baja	Baja
Media	Moderada	Media
Fina	Alta	Alta
Muy Fina	Muy Alta	Muy Alta

Fuente: INGEOMINAS 2011

Tabla 2.14 Características de los materiales de acuerdo a la textura

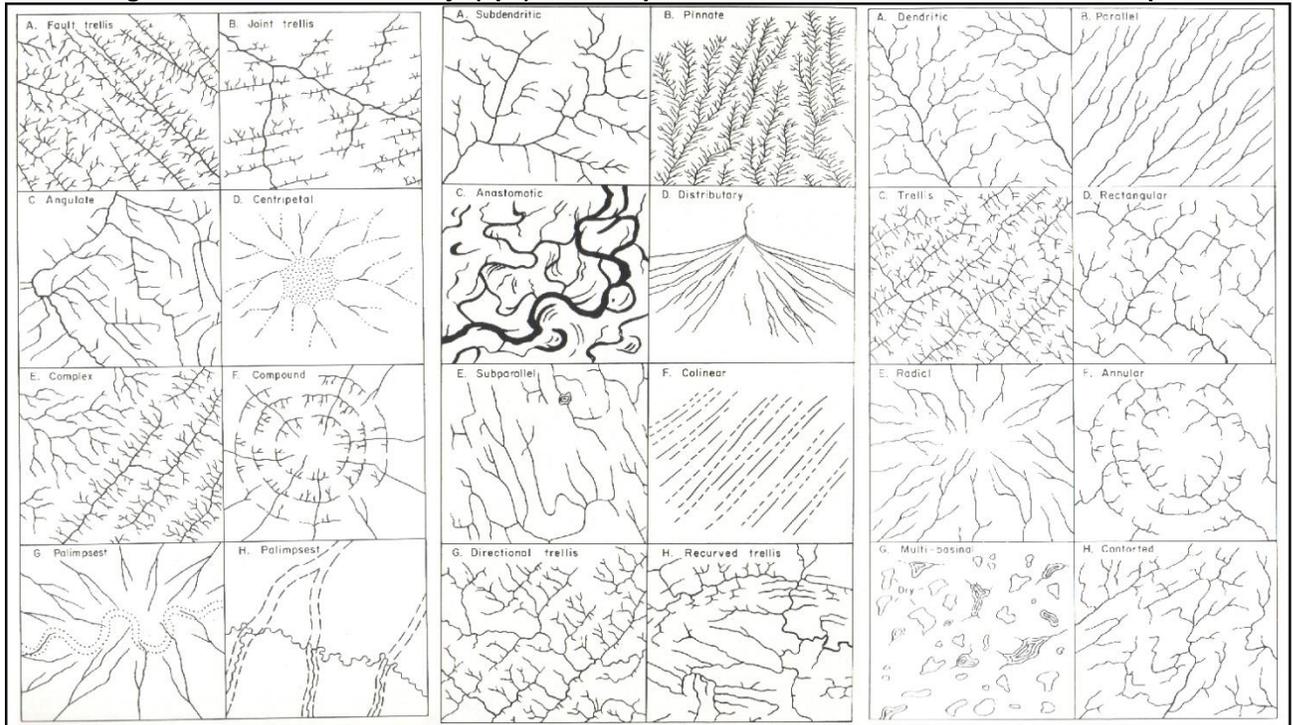
Textura	Rango de espaciamiento Escala 1:20.000	Características
Fina	<6mm	Elevados niveles de escorrentía superficial, roca madre impermeable y suelos de baja permeabilidad
Media	6 – 50 mm	La escorrentía es media, la textura es inmediata y la permeabilidad también.
Gruesa	>50 mm	La escorrentía superficial es menor, la roca es resistente, aunque más permeable, y los suelos tienen elevada permeabilidad.

Fuente: INGEOMINAS 2011.

El patrón de drenaje (tipo) como elemento caracterizador de la resistencia de las unidades litológicas, es una relación de dependencia entre la acción del flujo y los materiales erosionables, estos patrones varían en escalas temporales y espaciales, la definición espacial de los mapas que se

utilizaron en la ecuación de amenaza, se fundamentó en la identificación visual del patrón por sectores de cada uno de los municipios, identificado a partir de la red de avenamiento que se encuentra en la cartografía IGAC oficial a escala 1/25.000. y a partir de las clasificaciones morfológicas que contienen la mayoría de los libros de geomorfología, para el caso específico se utilizó los patrones de drenaje expuestos en Van Zuidam (Aerial photo interpretation in terrains analysis and geomorphologic map, Netherlands 1985).

Figura 2.11 Patrones de drenaje (tipo) a utilizar para la definición cualitativa en cada municipio.



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

2.1.7 Suelos

2.1.7.1 Marco teórico

La génesis de los suelos parte de un estado litológico y su evolución los lleva a un momento en el tiempo en el que tendrán una capacidad y respuesta ante la dinámica de las coberturas vegetales, la incidencia del clima y la intervención humana. Para inferir esa capacidad y respuesta, en esta ocasión, orientada a la posibilidad de deterioro y movimientos del suelo y estimar que tan susceptible o predispuesto este a movimientos en masa, se requiere evaluar características a partir de algunas variables propias de la condición natural de los suelos y otras que se pueden deducir.

Con el ánimo de entender, comprender, estudiar, analizar y planificar el uso de los suelos edáficos, se crearon varios sistemas para el abordaje de estas actividades, el más usado en Colombia en cabeza del Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC es la clasificación taxonómica de suelos de la S.S.S. (Staff, 1998) de los Estados Unidos. Para interpretar y hacer la aplicación de los estudios de suelos edáficos en la evaluación de la susceptibilidad a los movimientos en masa, es necesario incorporar en este documento los niveles del sistema de clasificación taxonómica mencionada y algunas definiciones; para ampliar detalles y conceptos del sistema, se recomienda acudir a la bibliografía.

a) Niveles de clasificación

En los mapas de suelos son 6 las categorías que define el sistema: Orden, Suborden, Gran Grupo, Subgrupo, familia y serie. Cada una varía según su homogeneidad, significado e información contenida. Las escalas de trabajo 1:40.000 a 1:60.000 y la escala de publicación 1:100.000 no permiten delimitar unidades cuyo contenido pedológico este a nivel de familias de suelos. La **Tabla 2.15** resume las características de diferenciación de las categorías de la taxonomía de suelos.

Tabla 2.15 Resumen de las características de diferenciación de las categorías de la taxonomía de suelos

Categoría	Nº. de clases	Naturaleza de la característica de diferenciación
Orden	10	Proceso de formación de suelos en cuanto a su relación con la presencia o ausencia de los horizontes diagnósticos.
Suborden	47	Homogeneidad genética. Subdivisión de los órdenes de acuerdo a la presencia o ausencia de propiedades asociadas con humedad, regímenes de humedad, material parental y efectos vegetacionales, definidos e indicados por propiedades claves, en los Histosoles la etapa de descomposición de las fibras se toma como propiedad diferenciante.
Gran Grupo	230 (Aprox.)	Subdivisión de los Subórdenes de acuerdo al grado de expresión, similitud y disposición de los horizontes, con énfasis en la secuencia genética de la parte superior del perfil, a su estado de saturación, regímenes de temperatura y humedad, y presencia o ausencia de capas diagnósticas (plintita, fragipan, duripan)
Subgrupo		Concepto central que diferencia clases en los grandes grupos en base a propiedades que indican intergradaciones a otros Grandes Grupos, Subórdenes y Ordenes, o extragradaciones a "no suelo".
Familia		Clases texturales*, promediadas y generalizadas, en la sección control o solum. Clases mineralógicas para la mineralogía dominante del solum; clases de temperatura del suelo (fundamentadas en la temperaturas promedias anuales a 50 cm de profundidad.
Serie	12.000 (Aprox. para los Estados Unidos)	Tipo y disposición de horizontes, color textura, estructura, consistencia y reacción de los horizontes; propiedades químicas y mineralógicas de los horizontes del suelo.

Fuente: Cortés L., et al, 1984 (de Buol et al (1980)

2.1.7.2 Información a utilizar

Cobertura de Suelos: La información es tomada de los estudios generales de suelos a escala 1:100.000 elaborados por el IGAC, en convenio del IGAC con entes territoriales u otras fuentes que hayan utilizado los lineamientos y metodologías del IGAC. Es importante asegurar que los estudios contengan el informe final, los perfiles modales, los análisis de laboratorio y mapas o coberturas que hacen parte del estudio. Al revisar y hacer lectura de los estudios, se debe escoger la información (variables, criterios y parámetros) que mejor representa el estado o susceptibilidad de los suelos a movimientos en masa, un ejemplo sería variables físicas como: textura, estructura, consistencia, materia orgánica, profundidad total del perfil de suelos, tipo de arcilla, capacidad de almacenamiento o retención de agua del suelo, discontinuidad textural, drenaje natural, taxonomía y erosión actual.

2.1.7.3 Variables y Criterios generales

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

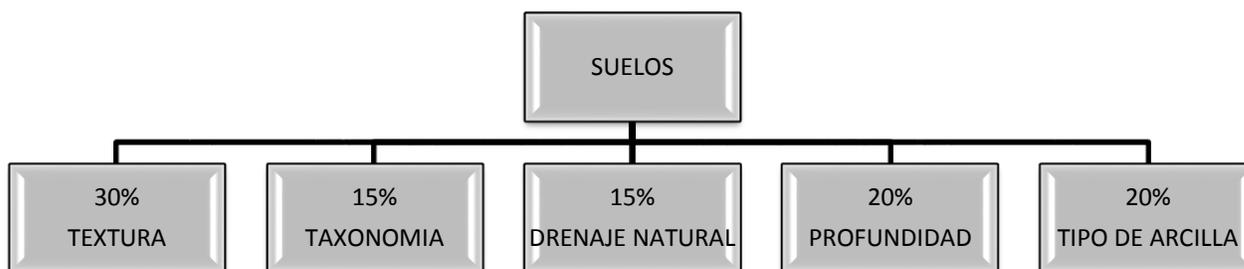
La determinación de las variables físicas de suelos, muestran el comportamiento a lo largo del perfil de éstos; donde, cada uno de ellos presenta diferentes características y cualidades que lo hacen complejo, en la determinación del comportamiento de la estabilidad. (IDEAM, 2009).

Expuestas las razones y criterios generales para el análisis de los suelos edafológicos en la susceptibilidad, se describen otros criterios cuya misión es sustentar los pasos dados, la selección y valoración de las variables:

- Selección de las variables que contengan los estudios generales de suelos a escala 1:100.000 para cualquier sector de la región andina.
- Selección de las variables que en un análisis recojan la relación e interacción con otras, ejemplo: la textura define en buena parte como es el drenaje interno de los suelos, como son las discontinuidades texturales y dependiendo del tipo de textura, deducir como sería la consistencia y plasticidad de los suelos.
- Con base en la fuente sugerida y el contenido de la información, sugerir varias alternativas de análisis de la textura de los suelos.

La presente metodología define las variables: taxonomía, textura, profundidad, tipo de arcilla y drenaje natural, con las que se pretende evaluar su relación con la susceptibilidad a los movimientos en masa. En la **Figura 2.12**, se muestra el diagrama de atributos de calificación del variable suelo.

Figura 2.12 Diagrama de atributos de calificación de la variable suelo, con sus respectivos porcentajes



Fuente: Servicio Geológico Colombiano 2011.

a) Textura

Puede pensarse en varias alternativas de análisis y uso de la variable según criterio del experto: NO se debe dejar este tipo de notas en el documento metodológico, debemos sugerir la que se debe realizar para las planchas.

- Estableciendo la discontinuidad textural en el perfil. Análisis entre horizontes y su ubicación dentro del perfil.
- El análisis textural de los suelos edáficos aproximarlos a un sistema unificado de uso en ingeniería geotécnica. En esta alternativa se podrá utilizar variables de ayuda como el porcentaje de finos, consistencia, plasticidad entre otras y seguir la guía (INGEOMINAS, 2005) Esta práctica sugiere revisar si existe la información suficiente que conlleve al objetivo deseado.
- Utilizar una textura ponderada en el perfil de los suelos y calificarla de acuerdo con valoración de susceptibilidad. Después del análisis se escogió esta última alternativa para el propósito del proyecto.

La textura comprende la cantidad relativa de las diferentes partículas de suelo de tamaño menor de 2 mm de diámetro (arenas, limos y arcillas). La textura, se encuentra relacionada con la retención de humedad, aireación (difusión de gases), permeabilidad, intemperismo, volumen explorado por las raíces, manejo de suelos, fertilidad y nutrición mineral entre otras.

En suelos arcillosos el movimiento vertical del agua es menor por cuanto los poros son más pequeños de esta manera la conductividad hidráulica también es menor, haciendo de los suelos menos permeables, la consecuencia es que aumentan el contenido de agua, se saturan y finalmente son más susceptibles a movimientos en masa.

Contrario a los suelos arcillosos, los de textura gruesa (arena, grava) serán menos susceptibles por cuanto el agua se desplaza a mayor velocidad en el perfil del suelo (mayor velocidad de infiltración), caracterizando los suelos más permeables y con mayor conductividad hidráulica.

Los suelos con mayor contenido de materia orgánica se saturaran, se vuelven más fluidos, menos consistentes y entre mayor sea la pendiente donde estén ubicados mayor será la susceptibilidad a moverse.

Con base en el comportamiento de cada partícula (arena, limo y arcilla) y sus relaciones de estabilidad, se propuso la calificación que se describe en la **Tabla 2.16** donde la calificación de 5 es más susceptible a movimientos en masa.

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

Tabla 2.16 Calificación de la textura de suelos

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

Nota: A= Arena; L= Limo; Ar= Arcilla; F= Franco; Gr= Grava; P= Piedra; Org= Orgánico
Fuente: INGEOMINAS 2011

b) Taxonomía

La taxonomía de suelos, corresponde a un sistema básico de clasificación para hacer e interpretar los levantamientos de suelos. Actualmente, la descripción taxonómica de suelos, se basa en la clasificación y estructuración que hace la S.S.S. (Staff, 1998). La clasificación taxonómica, permite realizar generalizaciones inductivas acerca de las características de las clases de suelos y establecer interrelaciones entre ellos. (IDEAM, 2009).

La calificación se presenta en **Tabla 2.17**, donde se infiere que 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 siguiente tabla muestra los órdenes de suelos con la calificación a la susceptibilidad.

Tabla 2.17 Calificación de la taxonomía de suelos a nivel de Orden.

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

Fuente: SGC, Ingeominas (2011)

c) Drenaje natural

La importancia del drenaje natural, radica en conocer la frecuencia y duración de los períodos húmedos bajo condiciones similares, a aquellas en las cuales se han desarrollado los suelos, o sea, en condiciones naturales. (IDEAM, 2009). El drenaje interno contribuye a la estabilización de masas de tierra, ya que logra controlar el flujo de agua subterránea, al mismo tiempo que reduce las presiones de poros y se aumenta por tanto la resistencia al corte del material (Fajardo, 2005). La variable es leída directamente de los perfiles modales, que caracterizan cada unidad de suelos. La aplicación en el proyecto se basó en la **Tabla 2.18**.

Tabla 2.18 Calificación del drenaje natural del suelo

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

Fuente: SGC, Ingeominas (2011)

d) Profundidad

Aquí la profundidad de los suelos está definida por el espesor de los horizontes establecidos por los estudios generales 1:100.000 y en todo caso se puede definir hasta donde se encuentra el contacto con el material parental o litológico y puede tenerse también como referencia la profundidad efectiva (hasta donde pueden penetrar las raíces de las plantas).

La importancia de la profundidad total del perfil de suelos, radica en que nos determina hasta donde pueden penetrar las raíces de las plantas, hasta donde puede moverse el agua, a que profundidad se encuentran las limitantes o impedimentos tanto de tipo físico como químico, tales como densidad, material litológico, toxicidades por elementos, entre otros. Igualmente, permite establecer características o aspectos importantes en los procesos de formación del suelo o relevancias en cuanto a acontecimientos naturales que se han presentado a lo largo del tiempo. De otro lado, permite determinar, de manera estimada y empírica, los volúmenes de suelos que se pueden llegar a remover. (IDEAM, 2009).

Se puede consultar de los perfiles modales y de los resultados de laboratorio. La **Figura 2.19**, presenta la guía de calificación de la profundidad de los suelos relacionada con la susceptibilidad de los mismos.

Tabla 2.19 Calificación de profundidad total, tomado IDEAM, 2009.

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

Fuente: SGC, Ingeominas (2011)

e) Tipo de arcilla

Para esta variable se tomó la metodología y el fundamento teórico Del documento (IDEAM, 2005). De acuerdo con (Besoain, 1985), la arcilla es un constituyente fundamental que cuantifica la mayoría de las propiedades físicas, químicas o biológicas del suelo; con tamaño menor de 2μ , incluyendo minerales primarios de actividad muy reducida o casi nula. Las propiedades de la arcilla se relacionan con su naturaleza coloidal y se refieren a una superficie específica alta y características como plasticidad, adherencia, contracción, tixotropía, reopexia y otras. Estas propiedades influyen directamente sobre el comportamiento del suelo.

(Capra, 2003) Menciona que los paleosuelos contienen arcilla en una proporción elevada (hasta el 22%), por lo que cae en la categoría de los suelos altamente susceptibles a removilización y que originan flujos de escombros cohesivos que, por su elevada competencia y cohesión, se pueden desplazar sobre grandes distancias.

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

(Suarez, 1998), señala que las arcillas son esencialmente hidróxidos de aluminio micro cristalinos formando capas de silicatos, los cuales tienen una estructura en capas o partículas laminares. De las propiedades de las arcillas, la capacidad de intercambio catiónico generalmente controla su comportamiento frente al agua y su inestabilidad. A mayor capacidad de intercambio catiónico la arcilla es más inestable.

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

La importancia del tipo de arcilla, en los movimientos en masa, radica en el grado de estabilidad que esta presenta cuando entra en contacto con el agua, ya sea que se contraiga, se expanda o forme grietas, como el caso de las arcillas que tienen los Vertisoles.

El tipo de arcilla se infirió, de manera general, a partir del parámetro reportado de Orden taxonómico de los suelos. En la **Tabla 2.20** se presentan las clases de suelos en la categoría de orden y sus características generales en su mineralogía.

Los órdenes de suelos Oxisoles y Ultisoles, están directamente relacionados con la fracción de arcilla dominada por la Caolinita (Arcilla de tipo 1:1). Igualmente, los Vertisoles están constituidos de arcillas Smectitas (Montmorillonitas y Vermiculitas), arcillas de tipo 2:1.

De otro lado, para los Andisoles, se tuvo en cuenta el color del suelo; ya que para colores oscuros predomina la Alófana, para colores pardos amarillentos prevalece la Halloisita y para colores pardos rojizos domina las Caolinitas. Por lo tanto, el color del suelo, que reportan los resultados de laboratorio físico y químico que adjunta cada uno de los estudios de suelos, es un factor fundamental para diferenciar la arcilla dominante en los Andisoles. En la **Tabla 2.21** se presenta la calificación propuesta en orden de aparición para la calificación del tipo de arcilla.

Tabla 2.20 Clases de suelos en la categoría Orden. Tomado de IGAC, 1.995.

Origen	Características generales sobre la evolución y la mineralogía
Oxisol	Muy alta evolución arcillas 1-1 y óxidos de Al-Fe alto, alto contenido en cuarzo (Arenas). Gibsita.
Ultisol	Alta evolución arcillas 1-1 y algunas 2:1, sesquióxidos con predominio de Fe
Espodosol	Alta evolución sesquióxidos, ácidos fulvitos y percusores. Migraciones orgánicas y minerales. Micas y Minerales ínter estratificados, Cuarzo.
Vertisol	Alto contenido en arcillas 2:1 baja Materia Orgánica, abundancia de Ácidos Húmicos evolucionados, Grietas, Lustres, Estructuras rotadas.
Alfisol	Arcillas integradas por mezclas de 2:1, 2:2 y 1:1 Micas y minerales generalmente presentes Evolución Moderada a alta.
Molisol	Evolución moderada, alta humificación. Arcillas 2:1. Ácidos Húmicos, minerales primarios abundantes.
Ardisol	Evolución variable moderada en general, Micas y Arcillas 2:1 predominantes, Poca Materia Orgánica, Sales en varios casos al igual que Na.
Inceptisol	Evolución baja y media, Presencia de minerales primarios, arcillas mezcladas, Contenidos variables de materia orgánica.
Entisol	Muy baja evolución, presencia de minerales primarios, mezclas de arcillas de diferentes tipos.
Histosol	Suelos orgánicos de evolución variable.
Andisol	Evolución media, constituyentes amorfos complejos de absorción y de Al-humus, abundancias de Plagioclasas y Anfíboles, menores contenidos en vidrio y piroxenos, dependiendo de la evolución.

Fuente: SGC, Ingeominas (2011)

Tabla 2.21 Calificación del tipo de arcilla. Tomado INGEOMINAS IDEAM 2009.

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

Fuente: SGC, Ingeominas (2011)

Definidas las variables y analizado el papel que cada una cumple en forma natural en torno a la susceptibilidad, se definió una función para obtener la calificación total de las unidades de suelos. La función es una suma de las calificaciones de las variables (calificadas de 1 a 5) multiplicadas por el peso que se dio a cada una, así:

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

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

Realizada la calificación y zonificación de las unidades de suelos para su aplicación en la susceptibilidad, es necesario y en lo posible tener conocimiento del uso actual y del conflicto de uso de los suelos, así como procesos de erosión, cárcavamiento, movimientos en masa y con el fin de hacer un análisis integral con la calificación y zonificación hecha y ajustarlas según lo aquí sugerido. Es recomendable hacer cruces espaciales, según disponibilidad de información; todo ello conducirá a una calificación más objetiva.

2.1.8 Cobertura del suelo

Esta variable tiene una dualidad en los procesos de análisis de una parte su análisis relacionado con los pesos para la calificación de susceptibilidad y por otra como fuente para el análisis de la susceptibilidad bruta como combustible en la amenaza por incendios forestales.

Por todos es bien conocido que el estado de la cubierta vegetal de un determinado sitio depende de su composición, por ejemplo si existe una cobertura multiestrato, con diferentes sistemas radiculares, el suelo se “amarrará” mejor, existirá un mejor flujo de agua en el sistema atmósfera – roca, y por consiguiente brindara una mejor estabilidad relativa que en aquellos sitios donde las cubiertas vegetales originales han sido reemplazadas por pastos y que están siendo sometidas a procesos de sobrepastoreo. Este es un elemento constituyente de los factores de estabilidad de las áreas a evaluar, su importancia radica en que el 15% de la valoración de estabilidad de acuerdo al modelo propuesto por el SGC depende de esta variable. Se parte del levantamiento de las coberturas de la tierra a escala 1:25.000 que suministro la corporación como documento oficial, y cuya memoria y aspectos metodológicos se encuentran consignados en el documento “Levantamiento de la Cobertura Vegetal y Uso del Suelo del Área de Jurisdicción CAR (IGAC, 2006).

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

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

Esa relación e interdependencia podría aproximarse mediante varias alternativas (metodologías), dependiendo de la información disponible y de la experticia de quien se decida a hacer tal evaluación, pero se recomienda utilizar lo planteado en el capítulo 6 (cobertura y uso del suelo)

preparado para la “Guía metodológica para la evaluación de la amenaza por movimiento tipo flujo (caso Útica)” de (INGEOMINAS, 2009).

Los criterios, de clasificación de unidades que utilizaron las entidades para incluir el levantamiento de las coberturas de la tierra a escala 1:25.000 pueden ser consultadas en el documento “Levantamiento de la Cobertura Vegetal y Uso del Suelo del Área de Jurisdicción CAR (IGAC, 2006).

Los Ingenieros Forestales utilizan el término calidad de sitio, para evaluar el espacio donde se desarrollan mejor o no los bosques coetáneos o disetáneos, este término se podría utilizar para referirse a un símil que se pueda construir con características de los suelos, el clima y el relieve del lugar. En los suelos más evolucionados, más profundos y con mejores condiciones de humedad, la vegetación crece más y más vigorosa, el resultado son bosques más densos, con cierta estratificación que regulan mejor los flujos de agua en el suelo, hacia la roca y los caudales en los cauces, de otro lado debe diferenciarse los tipos de bosque (de niebla, secos tropicales, bosques bajos, de páramo, de galería, de colinas bajas, entre otros).

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

Finalmente las variables a tener en cuenta consideran la estratificación de las coberturas, la densidad de la cobertura (sea natural o cuando ha sido modificada por el hombre) y variables de suelos y de clima, así como tipos de manejo de cultivos.

2.1.8.1 Conflictos de uso – Tipos de cobertura.

La identificación de conflictos por uso del suelo permitirá tener un filtro grueso que identifique las áreas con sobre-utilización, esta característica generalmente se convierte en detonante de fenómenos de erosión, desertización y movimientos en masa, por tanto la cobertura podría calificarse de 1 a 5, 5 es el valor de la cobertura más susceptible a deslizamientos o movimientos en masa. Para los tipos de vegetación enunciada podría recurrirse, por ejemplo a tomar variables como las enunciadas en la opción “Calidad de sitio” o las que se sugieren en la siguiente alternativa.

2.1.8.2 Variables hidrológicas y del sistema de raíz de las coberturas.

El modelo de balance hídrico, permite establecer las interacciones que se dan entre el agua, vegetación, suelos y roca, obviamente la vegetación que facilita o dificulta la interfase, impacta directamente en las características de estabilidad de un área. Ejemplo de un modelo es el de Lee (1980), sugerido por Sicard y Suárez (1998) en el propósito de evaluar los efectos de plantaciones forestales sobre el suelo y agua. **Figura 2.13.**

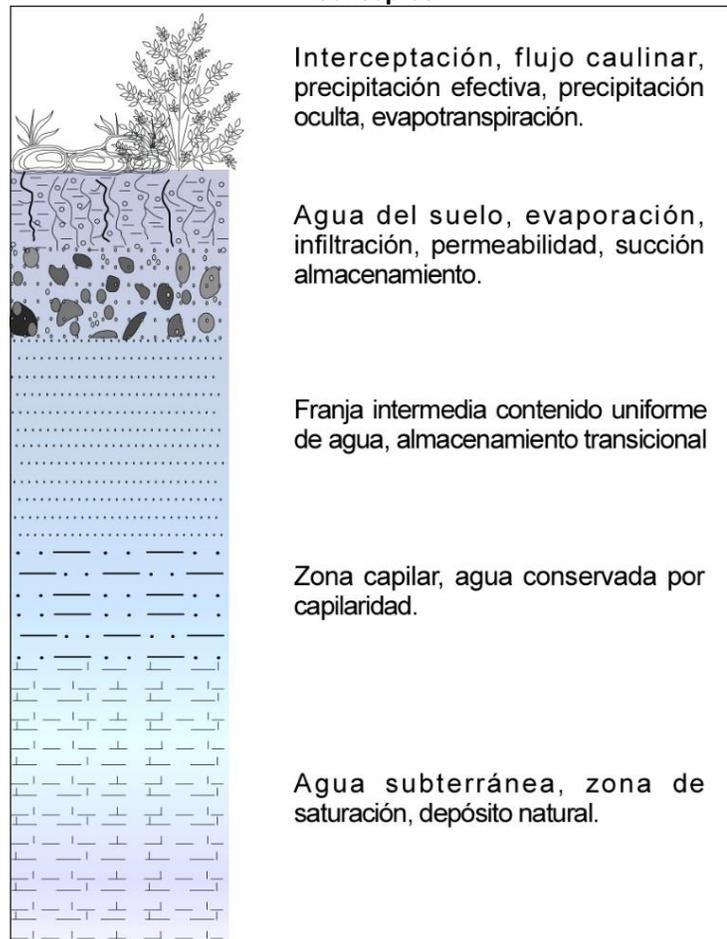
$$Pt = I + E + D + ET \pm S$$

Dónde: Pt = Precipitación total; I = Intercepción; E = Escorrentía; D = Drenaje profundo; ET = Evapotranspiración (también relacionada con el consumo de agua en los cultivos y pastos) y S = Cantidad de agua almacenada en el suelo.

$$I = Pt - (Pe + Fc)$$

Pe = Precipitación efectiva, Fc = Flujo caulinar.

Figura 2.13 Distribución del agua del suelo y subterránea en la corteza terrestre, esquema ilustrado con algunos conceptos



Fuente: Lee (1980).

Las variables sugeridas son evapotranspiración (referida en la relación evapotranspiración de referencia E_{to} y la evapotranspiración estándar E_{tc} ($E_{tc}/E_{to} = K_c$, coeficiente del cultivo), se toman como fuentes de datos de referencia los estudios de la FAO y otros en la región andina.

Otras variables como el drenaje profundo en presencia de diferentes tipos de cobertura, el sistema de raíz, inferir el número de estratos que tenga la cobertura, los datos y aspectos referentes pueden ser encontrados en diversa bibliografía.

Esta última alternativa (Variables hidrológicas y del sistema de raíz de las coberturas) es la que se aplicará en la metodología y ejecución de la susceptibilidad del proyecto. Las coberturas de la tierra se califican de 1 a 5 (5 la cobertura más susceptible) para cada variable, luego se suman las calificaciones de las cuatro variables y se dividen también por 4 para tener una calificación promedio. Una mejor ilustración se complementa con los siguientes criterios:

- Los estudios indican que cuanto más evapotranspiración tenga una cobertura, se presume que estaría descargando de más agua los suelos in situ y laderas abajo, disminuyendo así posibilidad de ocurrencia del movimiento en masa, porque está reduciendo la presión de poros y con esta la posibilidad de FRM.
- Lo anterior se complementa con el movimiento del agua en el suelo y su trasmisión hacia estratos como el acuífero. Luego en coberturas de mayor porte, más evolucionados (bosques densos

altos multiestratificados) se esperaría que el movimiento y transmisión del agua “in situ”, sería mejor que en pastos y cultivos. Entre más agua pase por las diferentes capas de la cobertura y el suelo, se almacene por un tiempo en el ecosistema y alcance el acuífero (drenaje profundo, flujo base de los cauces), menor cantidad de la misma recargaría laderas abajo (carentes de “vegetación apropiada”) los suelos y menor sería las probabilidades de falla de los mismos.

- El tercer criterio asociado a los dos anteriores es el sistema radical de la vegetación o aquel que contribuya a incrementar o “mejorar” el esfuerzo cortante de los suelos ante una probabilidad de falla de los mismos, situación que se ha comprobado en algunos estudios.

La **Tabla 2.22** muestra algunas unidades de cobertura de la tierra de la información que suministro el IDEAM de las zonas piloto de Antioquia y Santander, calificadas según la contribución a la estabilidad.

Kc módulo (coeficiente del cultivo); RD facilidad con la cual el flujo de agua se mueve hasta el drenaje profundo, SR es la función del sistema de raíz, ESTRATOS es la presunción del número de estratos; $Y\text{ Calif_Sus} = EVP_Kc + RD + SR + E$ como la contribución a la estabilidad.

Para el cálculo de los valores de susceptibilidad a los movimientos en masa se emplea la siguiente ecuación

$$Cal = 5 - (EVP_Kc + RD + SR + E)/4$$

Tabla 2.22 Calificación de atributos según la contribución a la estabilidad

Código IDEAM	Símbolo	EVP (kc)	RD	SR	Estratos	CAL SUSCEP
314	Bosque de galería y ripario	2,50	5,00	5,00	4,00	0,9
3132	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	2,50	5,00	5,00	4,00	0,9
3131	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	2,90	4,49	4,10	3,00	1,4
313	Bosques fragmentado	1,40	4,51	4,24	4,00	1,5
315	Plantación forestal	3,33	2,25	5,00	2,00	1,9
243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	3,85	2,96	2,75	3,00	1,9
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	3,33	2,96	2,72	3,00	2,0
323	Vegetación secundaria o en transición	3,13	2,82	2,50	3,00	2,1
3222	Arbustal abierto	2,92	4,23	1,43	2,00	2,4
332	Afloramiento rocosos	4,17	5,00	0,00	1,00	2,5
2222	Café	4,69	2,22	1,60	1,00	2,6
32111	Herbazal denso de tierra firme	2,92	2,22	1,43	2,00	2,9
241	Mosaico de cultivos	4,48	2,22	0,57	1,00	2,9
242	Mosaico de pastos y cultivos	4,48	2,22	0,57	1,00	2,9
231	Pastos Limpios	4,17	2,22	0,66	1,00	3,0
22122	Caña panelera	4,17	2,22	0,44	1,00	3,0
32122	Herbazal abierto rocoso	2,92	2,22	1,43	1,00	3,1
333	Tierras desnudas y degradadas	4,17	1,41	0,00	0,00	3,6
514	Cuerpos de agua artificiales	4,38	0,00	0,00	0,00	3,9
511	Ríos	4,38	0,00	0,00	0,00	3,9
111	Tejido urbano continuo	4,17	0,00	0,00	0,00	4,0
131	Zonas de extracción minera	4,17	0,00	0,00	0,00	4,0

Fuente: SGC, Ingeominas (2011)

2.1.8.3 Calificación de la cobertura favoreciendo la susceptibilidad.

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

Así como las áreas protegidas, debe procurarse cruzar espacialmente coberturas de la tierra con conflictos de uso (según que exista información de conflictos de uso bien sea a nivel de cuencas, ordenamientos territoriales u otros estudios para los municipios en estudio,) y por jurisdicción de municipios, para hacer un análisis integral y más objetivo de la zonificación de las coberturas de la tierra. Adicionalmente, el análisis con la amenaza permitiría establecer áreas vulnerables de áreas protegidas y conflictos de uso que terminaría con recomendar estrategias de protección y reducción de la susceptibilidad a movimientos en masa, ya sea a través de alternativas de cambio de uso, manejo de bosques o mejores prácticas de actividades agropecuarias; variables que también se relacionan efectivamente con el desarrollo de incendios forestales y de praderas.

La variable cobertura de la tierra con los atributos que se están calificando con sus pesos dentro de la variable de susceptibilidad, permitirán generar mapa a mapa en modelo raster que posteriormente serán incluidos en el modelo cartográfico general.

Figura 2.14 Atributos de la variable cobertura de la tierra, con sus respectivos porcentajes de peso considerados en el modelo Heurístico



Fuente: SGC, Ingeominas (2011)

a) Profundidad radicular

Está comprobado que algunas especies retrasan los fenómenos de erosión, inclusive los detienen, tal es el caso del pasto alto (elefante, gigante o similares), que evita completamente la erosión por las gotas de lluvia, retarda el flujo y evita la erosión laminar. Las raíces profundas eliminan las cárcavas y surcos”. “Las raíces actúan como refuerzo y sostén del suelo incrementando la resistencia al cortante y la resistencia a la fuerza tractiva del agua. La forma como las raíces actúan en cada caso está determinada por el tipo de planta y por las condiciones del suelo del sitio”. Así

“Las raíces pivotantes pueden ser más útiles para la estabilidad a la erosión en masa, pero las raíces de extensión lateral y radial pueden tener mejor efecto para la protección de la erosión superficial. Una alta densidad o concentración de raíces fibrosas, de pequeño diámetro, pueden ser más efectivas para control de erosión superficial que una pocas raíces de gran diámetro”.

La profundidad y extensión de las bifurcaciones de las raíces son importantes cuando hay que escoger plantas para estabilizar el suelo, en este caso raíces profundas son mejores. Adicionalmente, la estabilidad depende de las propiedades mecánicas de las raíces y el tipo de suelo o aparición de roca que pueden limitar el crecimiento de las mismas.

Con la funcionalidad descrita, las coberturas que mejor protegen y son menos susceptibles a movimientos en masa son los bosques, por lo que la metodología sugiere dar una calificación entre 4 y 5 según el grado de intervención que haya tenido. Para el caso de cultivos y pastos el experto podrá evaluar el tipo de cobertura (la calificación puede estar alrededor 1), otras coberturas como arbustales, vegetación secundaria pueden dárseles calificación intermedia.

b) Drenaje profundo

Significa la facilidad con la cual el flujo de agua se mueve hasta el drenaje profundo en presencia de determinada cobertura vegetal, en un criterio anterior se hizo alusión a esta función. En estudios en algunos sectores de países tropicales, en balances hídricos se encontró que en presencia de bosques, del agua lluvia puede llegar hasta el acuífero entre 23 y 60%, esto no significa que en todo paisaje, suelo y tipo de bosque se produzca un dato igual, sin embargo se ha considerado que los bosques son las coberturas que mejor se comporta en esta función. En una situación intermedia en coberturas de rastrojo altos en estudios de algunos sectores del territorio nacional se ha encontrado que el porcentaje está alrededor de 20%. En el caso de pastos y cultivos el rango hasta ahora estimado es de 6,5 a 25%. Estos son datos referentes.

Con base en los valores de referencia, en algunos estudios se ha calificado a los bosques con valores de (que favorecen la regulación y estabilidad de los terrenos) 4 a 5, en rastrojos de 2 a 3, herbazales, pastos y cultivos 2. De acuerdo con los ejemplos señalados, los bosques tendrían una susceptibilidad de 0 a 1, los rastrojos de 2 a 3, herbazales, pastos y cultivos de 3.

c) Evapotranspiración

Una alternativa para la variable es usar el K_c como ya se anotó. Existe información variada sobre el parámetro, aquí se trae unos valores referentes de la FAO. Para valorar las coberturas, K_c más altos (1,1, 1,2), tendrá un calificación de 5 y en la susceptibilidad 0. Un ejemplo sencillo para bosque caducifolio con K_c de 0,6, la calificación será de 3, pero en la susceptibilidad sería de 2.

d) Numero de estratos

En esta variable se desea utilizar el número de estratos de una cobertura vegetal (inferir si no tiene información) para darse una idea por ejemplo del tipo de bosque, de su densidad, estructura, el resultado es que tan buena protección hace en algunos aspectos. Ejemplo para bosques bien evolucionados es posible encontrar hasta 4 estratos, de esta manera se podría calificar entre 4 y 5, pero a la susceptibilidad entre 0 y 1; para un cultivo limpio que solo tiene un estrato, su susceptibilidad sería de 4.

2.2 ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD

2.2.1 Justificación temática

El análisis de susceptibilidad intenta hacer énfasis en 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 se fundamenta en el método heurístico, el cual se basa en el análisis de los procesos geomorfológicos que actúan sobre el terreno, el mapeo de los procesos, los factores ambientales que afectan directamente e indirectamente la inestabilidad de las laderas, estimación de las relaciones entre los factores y los fenómenos de inestabilidad y la clasificación del terreno en dominios de diferente grados de susceptibilidad de acuerdo con las relaciones detectadas (Westen, 2003), en combinación con el enfoque analítico (Hansen, 1984), en el que se elabora una serie de mapas temáticos, los cuales se evalúan separadamente y después se integran para alcanzar una evaluación general del área de estudio.

2.2.2 Justificación metodológica

Para esta tarea se aplicó el análisis espacial mediante un SIG, donde el núcleo esencial es el análisis simultáneo de las características temáticas y de la componente espacial de los objetos geográficos (Bosque et al., 1994) y la evaluación multicriterio (EMC) a través del Proceso analítico jerárquico AHP. Así, la integración de estos dos elementos (SIG y EMC) facilitó llevar a cabo procedimientos simultáneos de análisis en cuanto a los dos componentes del dato geográfico: espacial y temático (Gómez y Barredo., 2005).

La EMC comúnmente es alcanzada por uno de dos procedimientos. El primero involucra la superposición booleana, por medio de la cual todos los criterios son reducidos a declaraciones lógicas de aptitud para después ser combinados por medio de uno o varios operadores lógicos, tales como la intersección (AND) y la unión (OR). El segundo procedimiento se conoce como combinación lineal ponderada (WLC por sus siglas en inglés) en el que criterios continuos (factores) son estandarizados a una escala numérica común, y entonces combinados por medio de un promedio ponderado.

En términos generales, los análisis multicriterio involucran la utilización de datos geográficos, debiendo establecer las preferencias y combinaciones (o agregaciones) de los datos, de acuerdo a reglas de decisiones específicas (reglas de decisión), que han sido implementados en ambiente SIG. Para efectos de los análisis heurísticos para determinar el ISD, se propone la utilización de procesos de análisis jerárquicos (AHP, por sus siglas en inglés).

Es necesario establecer un sistema de estandarización, dado que las variables originales se expresan en unidades de medida diferentes, con rangos bien distintos y con una amplia gama de posibilidades de interpretación en función de la representatividad o adecuación para un objetivo concreto (Eastman, 1999). Para cada variable geográfica se analizaron las diferentes propiedades que afectan las laderas y según su importancia, se establecieron jerarquías y pesos a los factores considerados (Gómez y Barredo, 2005), y se expresaron cuantitativamente con el peso de ponderación para cada uno de ellos en el potencial de desencadenamiento de procesos de ladera de 1 a 5 y 0 donde no existe la propiedad, los valores adoptados están basados en el conocimiento empírico (método heurístico).

Las áreas de susceptibilidad son representadas en el mapa definitivo de acuerdo a la opinión de expertos, mediante una clasificación cualitativa: Muy baja, Baja, Media, Alta y Muy Alta

susceptibilidad y algunas consideraciones relacionadas con la expectativa de deslizamiento (Castellanos y Van Westen., 2001). Una de las fases necesarias, a la vez que estratégica en la metodología propuesta, es la elección de los criterios que se consideran determinantes para el objetivo concreto. Estas variables deben definirse con anterioridad al desarrollo empírico de la investigación, por lo cual la aplicación multicriterio exige un consistente conocimiento previo del fenómeno analizado, que en este caso es la zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa en ladera.

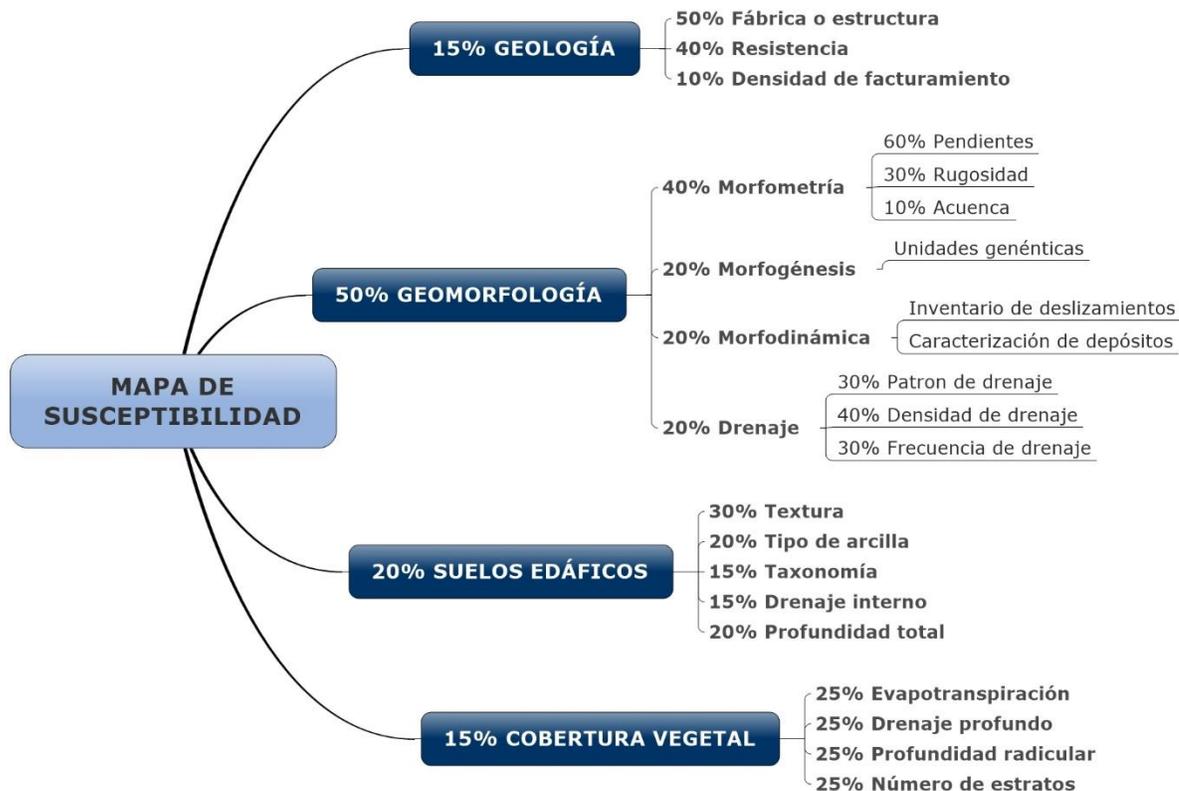
La elección de los criterios es determinante ya que según las variables incluidas, el resultado final obtenido puede variar considerablemente. Es importante, asimismo, tener en cuenta la existencia de dos tipos de criterios, según la naturaleza de la variable: los condicionantes correspondientes a variables de naturaleza continua actúan como factores y por tanto se tratan en la fase de estandarización siguiendo los principios de la lógica difusa (Gale & Atkinson., 1979), mientras que las variables discretas constituyen restricciones y su funcionalidad en el método puede encuadrarse en los principios de la lógica booleana, que para nuestro caso no se aplican.

2.2.2.1 El proceso analítico jerárquico (AHP)

Es un método desarrollado por (Thomas L. Saaty ., 1980), como una ayuda a la toma de decisiones, consiste en dividir una situación compleja y poco estructurada en sus partes que la componen; arreglando estas partes, o variables, en un orden jerárquico; asignando valores numéricos a juicios subjetivos sobre la importancia relativa de cada variable; y sintetizando los juicios para determinar cuál variable tiene la mayor prioridad y deben actuar bajo la influencia del resultado de la situación. El proceso involucra estructurar un problema de un objetivo primario a niveles secundarios de objetivos. Una vez que estas jerarquías han sido establecidas, una matriz de comparación por pares de cada elemento, dentro de cada nivel es construido. Los participantes pueden sopesar cada elemento con cada uno de los otros elementos incluidos en cada nivel, el cual está relacionado a los niveles sobre y debajo de éste y el esquema total es resuelto matemáticamente.

El primer paso en AHP es desarrollar una representación gráfica del problema, en función de la meta general, de los criterios y de las alternativas de decisión. Este tipo de gráfica pone de manifiesto la jerarquía del problema. El primer nivel de la jerarquía indica que la meta general es seleccionar el mapa de susceptibilidad. En el segundo nivel, los cuatro criterios (geología, geomorfología, suelos y cobertura) contribuirán a lograr la meta general. Finalmente, en el tercer nivel, cada atributo contribuye de manera única a cada uno de los criterios. En la **Figura 2.15**, se muestra el diagrama de Jerarquía para la elaboración del mapa de susceptibilidad adaptado para lograr la escala 1:25.000, con sus respectivos porcentajes después de hacer el análisis de las prioridades relativas, con los cuales se generaran las ecuaciones de susceptibilidad de cada una de las variables.

Figura 2.15 Estructura Jerárquica con pesos para la construcción del mapa de susceptibilidad



Fuente: INGEOMINAS 2011. Adaptado por UT AVR-CAR 2015.

Tabla 2.23 resumen de las diferentes ecuaciones para la generación de los mapas de susceptibilidad mapa escala 1:25.000

Susceptibilidad de la geomorfología	$0.20 * \text{Morfogénesis} + 0.20 * \text{Morfodinámica} + 0.40 * \text{Morfometría} + 0.20 * \text{Drenaje}.$
Susceptibilidad de la morfometría	$0.60 * \text{Pendiente} + 0.30 * \text{Rugosidad} + 0.10 * \text{Acuenca}.$
Susceptibilidad de la geología	$0.50 * \text{Textura} + 0.40 * \text{Resistencia} + 0.10 * \text{Densidad Fallas}$
Susceptibilidad de los suelos edáficos	$0.30 * \text{Textura} + 0.20 * \text{Tipo de Arcilla} + 0.15 * \text{Taxonomía} + 0.15 * \text{Drenaje Natural} + 0.20 * \text{Profundidad Total}$
Susceptibilidad de la cobertura de la tierra	$5 - (\text{Evp_Kc} + \text{RD} + \text{SR} + \text{E})/4$
Susceptibilidad Final	$0.5 * \text{geomorfología} + 0.15 * \text{Geología} + 0.20 * \text{Suelos} + 0.15 * \text{Cobertura}$

Fuente: INGEOMINAS, modificado en el presente estudio.

2.2.3 Justificación de preferencia de los atributos y variables en la función de susceptibilidad

Los criterios geológicos, geomorfológicos, de suelos y de cobertura que se definieron en el proceso analítico jerárquico (AHP), precisan los diferentes elementos temáticos en orden de importancia a partir de los cuales se establece el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa, la elección de los criterios es determinante ya que según las variables incluidas, el resultado final obtenido

puede variar considerablemente. En este estudio se ha considerado incluir la geomorfología, la geología, suelos edáficos y cobertura como el primer nivel de nuestra estructura jerárquica cuya relación define los valores de la susceptibilidad. Esta relación se expresa en forma de valores ponderados los cuales se derivan de las prioridades que el grupo de temáticos ha definido en los talleres de trabajo, se ha considerado, que el criterio geomorfológico es la variable de mayor preferencia en relación a las otras variables, la condiciona en gran medida la susceptibilidad a la generación de movimientos en masa

2.2.4 Justificación de las preferencias de los atributos de la variable de suelos edáficos y en la función de susceptibilidad

Las variables taxonomía, textura y tipo de arcilla, son más propias de la evolución genética de los suelos y la evolución de ellas en el tiempo definen como es el drenaje natural y la profundidad de los suelos, adicionalmente, las primeras serían generadoras de otras propiedades de los suelos y por lo tanto las que impondrían el comportamiento y evolución de los suelos. Si se acepta esta tesis, se podría sugerir que el drenaje natural y la profundidad tendrían menos relevancia bajo el enfoque señalado.

Sin el embargo, en sentido práctico, la taxonomía como el nivel más general de clasificación, no aporta un sustento importante para definir en el caso de aplicación a la susceptibilidad, lo que si lo hace la textura, variable que da una idea de la evolución de los suelos, a través de ella se puede inferir como sería el movimiento del agua en el suelo, la resistencia, deformación y estabilidad del mismo. Por el alto conocimiento que se puede tener de los suelos, ser el parámetro dentro de los elegidos que mayor peso tiene al evaluar la estabilidad y precisar el comportamiento de los suelos, se ha preferido la textura.

De nuevo, el drenaje interno del suelo está condicionado al tipo de textura, ejemplo, si ella es arenosa o franca arenosa y no hay discontinuidades importantes en el perfil del suelo, se puede esperar que el drenaje interno es bueno, así el drenaje como factor contribuyente en la predicción o estimación de la susceptibilidad es menos relevante que la textura.

Algo, similar ocurre cuando se analiza la textura con la profundidad. Mientras la profundidad incide en una propiedad y magnitud (aumento de la masa de suelo), la segunda lo hace en varias y la importancia también es mucho mayor.

El tipo de arcilla es otro factor importante, quizás más cuando hablamos de estabilidad dado diferentes propiedades (el tipo de arcilla cuantifica la mayoría de las propiedades físicas y químicas, “cuando se habla de suelos arcillosos”) y comportamientos del suelo; ejemplos de tipos de arcillas a tener en cuenta en ingeniería montmorillonita y vermiculitas de tipo 2:1 del orden Vertisol.

2.2.5 Justificación de las preferencias de los atributos de la variable Cobertura de la tierra, en la función de susceptibilidad de la variable.

Se considera la aproximación al comportamiento de las coberturas de la tierra mediante el modo de evaluación comentado en la metodología, las cuatro variables son igualmente importantes cuando se hace el análisis integral de la dinámica del agua, el suelo y las coberturas, relacionado con la susceptibilidad de las coberturas de la tierra y los suelos a los movimientos en masa. En la **Tabla 2.2**, se presentan las preferencias de los atributos de la variable cobertura de la tierra para la generación de la susceptibilidad de esta variable.

2.2.6 Justificación de las preferencias de los atributos de la variable de Geología, en la función de susceptibilidad de la variable.

La textura o fabrica tiene gran influencia en el comportamiento de las rocas, es 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. Estas propiedades, la resistencia y deformabilidad, que 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.

Esto nos indica, 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.

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, como respuesta a menores valores de resistencia.

Esto nos indica que en las zonas de falla, se presenta la mayor debilidad en las rocas, como resultado de su menor resistencia. Esta relación determina su dependencia de las dos variables anteriores, por ende su porcentaje menor en la matriz de calificación.

2.2.7 Justificación de preferencia de los atributos de la variable geomorfología en la función de susceptibilidad de la variable.

Las variables del temático geomorfológico comparadas con los demás atributos realizan los mayores aportes en información tanto geométrica, como espacial y brinda una información implícita de materiales y de los factores que afectan la estabilidad de un terreno.

La generación del mapa de geomorfología tiene connotaciones específicas: El nivel de detalle con el que se hace el levantamiento cartográfico, el cual contempla el análisis de imágenes satelitales, fointerpretación en escala regional y semidetallada y la verificación en campo del mapa obtenido entre otros, (Ver documento metodológico de elaboración de mapas geomorfológicos escala 1:100.000), son reflejo del proceso y de la calidad del mapa realizado. A diferencia de los otros temáticos, el mapa geomorfológico hace uso de fuentes cartográficas de escalas diversas, desde detallada hasta regional, aumentando la confiabilidad de los elementos cartografiados y reduciendo la incertidumbre de la información.

La geomorfología como función representativa de la dinámica actual del relieve y que define los criterios de agrupación y clasificación de las geoformas, involucra además información pertinente a la naturaleza y comportamiento de los materiales constituyentes de dicha geoforma y de los materiales de cobertera. Las preferencias de las variables elegidas: morfometría, morfogénesis y morfodinámica, se establece en los requerimientos de información geométrica, condiciones heredadas y la tendencia actual de las unidades morfológicas a generar movimientos en masa.

Dentro de los valores de preferencia de las variables morfológicas se establece que la variable morfometría tiene una preferencia igual a moderada respecto a las variables morfogénesis y morfodinámica; la ventaja de esta variable sobre las demás se justifica en que la variable morfométrica además de definir las relaciones espaciales relativas de la unidad morfológica, incluye aspectos morfográficos en su valoración (caracterización geométrica de las geoformas).

Por otra parte, dentro de la estructuración de la variable morfometría se consideran las variables en el cuarto orden de jerarquía: Rugosidad, Acuencia y Pendiente. La variable pendiente que representa el ángulo de inclinación de las laderas, involucra los efectos de la gravedad terrestre y los agentes meteóricos que determinan el desarrollo de movimientos en masa, además de proporcionar información acerca de la geometría de la geoforma, tipo de material que las conforman y condiciones de estabilidad de la misma. Por esta razón la variable pendiente es considerada como parámetro

fundamental en la caracterización de las geoformas, generando mayor importancia respecto a las demás variables geométricas, incluso considerándose también como atributo temático.

Las variables Acuencia y Rugosidad en conjunto, aportan información referente a los flujos y las zonas de acumulación hídrica sobre una ladera, con preferencia menor y moderadamente menor que la variable pendiente; individualmente es mucho más fuerte la de la pendiente sobre la variable Acuencia, y moderada la importancia sobre la variable Rugosidad. La preferencia de estas dos variables se establece en el análisis que se hace al agua superficial, factor que junto a la gravedad y a los tipos de cobertura y uso del suelo, contribuyen en la ocurrencia de movimientos en masa.

La variable morfogénesis tiene una importancia igual o moderadamente menor que la variable morfometría, esta preferencia se justifica en la necesidad de explicar la condición morfológica actual del relieve a partir de su evolución y de los procesos denudativos que contribuyeron a su modelado. Su virtud respecto a la variable morfométrico se establece en el aporte que hace a las dimensiones espaciales de considerar la dimensión temporal. Tiene similar importancia con la variable morfodinámica y una estrecha relación con la misma, dado que la mientras la morfogénesis hace una compilación de los eventos y factores que dieron origen a una geoforma a través del tiempo, la morfodinámica realiza la misma compilación pero para el momento actual.

La variable morfodinámica tiene la misma preferencia de la variable morfogénesis, aunque menor a moderada respecto a la variable morfometría; sin embargo la preferencia de esta variable se establece en dos sentidos: Por una parte, la morfodinámica representa los movimientos en masa activos, inactivos o reactivados que han sido registrados en un catálogo y/o inventario de movimientos en masa y que constituyen una primera aproximación a una zonificación de zonas inestables por densidad y tipo de eventos. En otro sentido, la variable morfodinámica permite comparar las unidades morfológicas en cuanto a su susceptibilidad por movimientos en masa, y hacer una calibración de los resultados obtenidos en dicha zonificación con los movimientos en masa ocurridos.

2.2.8 Justificación de preferencia de la susceptibilidad final

El análisis de susceptibilidad intenta hacer énfasis en 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 elección de los criterios es determinante ya que según las variables incluidas, el resultado final obtenido puede variar considerablemente. En este estudio se ha considerado incluir la geomorfología, la geología, suelos edáficos y cobertura como el primer nivel de nuestra estructura jerárquica cuya relación define los valores de la susceptibilidad. Esta relación se expresa en forma de valores ponderados los cuales se derivan de las prioridades que el grupo de temáticos ha definido en los talleres de trabajo, se ha considerado, que el criterio geomorfológico es la variable de mayor preferencia en relación a las otras variables, la condiciona en gran medida la susceptibilidad a la generación de movimientos en masa. La tabla % muestra los valores de preferencias entre las variables, las cuales se pueden explicar de la siguiente forma relación geomorfología con una importancia moderada a fuerte sobre la geología debido a que esta representa la dinámica, la complejidad morfológica, la génesis (origen), y su evolución a través del tiempo geológico, que de manera implícita determina la naturaleza y propiedades del material rocoso, el cual dependiendo de su textura/estructura que condiciona la resistencia de las rocas, las cuales son afectadas por fracturamiento y diaclasamiento.

En el análisis de preferencias de la susceptibilidad se tienen cuatro variables geomorfología, suelos edáficos, geología y cobertura; la susceptibilidad a los movimientos en masa está fuertemente

relacionada a la geomorfología, debido a que esta variable representa la dinámica, la complejidad morfológica, la génesis (origen), y su evolución a través del tiempo geológico, que de manera implícita determina la naturaleza y propiedades de los materiales (suelo y roca) de las cuales se pueden predecir, el comportamiento, estado y forma futura; con la geomorfología se puede prever las condiciones del terreno usando información del origen y evolución de las geoformas y materiales; la litología, suelos y cobertura vegetal son componentes de la geoforma; los cuales contribuyen de manera directa a la susceptibilidad a los movimientos en masa que obedecen a la respuesta normal del sistema debido a complejos parámetros exógenos (meteóricos) y endógenos (tectónicos).

2.2.9 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

2.2.9.1 Susceptibilidad Muy Baja

Unidad establecida en zonas planas a suavemente inclinadas, presentes en unidades geomorfológicas de origen denudacional y fluvial con geoformas propias de ambientes fluviales en especial planicies aluviales o llanuras de inundación de poca extensión; la composición litológica corresponde con rocas de resistencia extremadamente dura a dura o depósitos consolidados heterogéneos, matriz soportados, con poca matriz; las planicies aluviales se observan procesos de socavación lateral, la posibilidad de generarse inestabilidad del terreno es muy baja, los movimientos en masa son mínimos a nulos en donde la reptación pueden identificarse de manera esporádica. En estas áreas pueden encontrarse bosques, arbustales y algún uso agropecuario que se considera no contribuye a la susceptibilidad sobre todo si se implementan prácticas de conservación de suelos, los procesos que se pueden generar por mal uso de los suelos podrían dar lugar a salinización, desertización, acidificación entre otros, pero la condición de relieve plano y estable, hace que los suelos por condición natural no contribuyan significativamente a movimientos en masa.

2.2.9.2 Susceptibilidad Baja

Zonas de laderas con pendientes inclinadas, presentes en unidades geomorfológicas de origen denudacional fluvial y estructural con geoformas de grandes planicies o altiplanos; de composición litológica sedimentaria con alta diagénesis, de resistencia extremadamente dura a dura; horizontes de suelo residual de espesores superiores a 5 m, que en gran medida condicionan la posibilidad de ocurrencia de procesos de movimientos en masa tales como rotacionales, traslacionales; y esporádicamente la presencia de procesos erosivos como surcos, cárcavas. Predominan las coberturas agropecuarias y adicionalmente incluyen el arbustos denso (bosques bajos). Pueden tener severas intervenciones antropicas.

2.2.9.3 Susceptibilidad Media

Zonas con laderas muy inclinada a abrupta, en unidades geomorfológicas de origen denudacional y estructural, con geoformas de laderas muy inclinadas a abruptas, laderas colinadas, laderas coluviales y en general las vertientes cuyas litologías son predominantemente lodolíticas; con resistencia de duras a medias, y la generación de espesos 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 terracillas en las áreas utilizadas en la explotación ganadera y áreas de laderas con inestabilidad generada por procesos erosivos de baja intensidad. Asociada a esta clase se susceptibilidad y paisaje, se encuentran suelos oxisoles,

inceptisol, alfisol y entisoles con texturas arcillosas y franco arcillosas, drenaje natural bueno, profundos y en climas cálidos y templados húmedos y muy húmedos coberturas de la tierra producto de actividades agropecuarias, donde sobresalen la ganadería extensiva con cultivos de pastos, en general la intervención antrópica incrementa a medida que se avanza en los grados de susceptibilidad.

2.2.9.4 Susceptibilidad Alta

Zonas con laderas muy abruptas a escarpadas, en unidades geomorfológicas de origen denudacional y estructural con geoformas de laderas abruptas a escarpadas, en rocas lodolíticas principalmente o con delgados estratos que conforman la interestratificación y con espesos horizontes de suelos residuales, estas rocas con un gran control estructural; y con presencia de depósitos coluviales de poca extensión; 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; en estas áreas se presentan procesos erosivos tales como cárcavas, y erosión causada por el mal uso de la tierra y terraceo por la sobrecarga de la producción ganadera en estas laderas. Los suelos asentados en esta clase de susceptibilidad son inceptisoles, molisoles y oxisoles con características y clima descritas en la clase media y las coberturas asociadas son agrícolas tradicionales.

2.2.9.5 Susceptibilidad Muy Alta

Zonas de laderas muy escarpadas con pendientes o inclinaciones muy fuertes en unidades geomorfológicas de origen estructural y denudacional, con geoformas de laderas muy escarpadas, complejos de cerros, sierras estructurales, escarpes ; generadas en rocas sedimentarias de grano fino, de resistencia baja y afectadas por el trazo de fallas regionales activas, con espesores de suelos residuales aproximados a los 3m, con presencia de depósitos coluviales ; estas rocas presentan un fuerte control estructural , la densidad de procesos en estas aéreas 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 sostén de los suelos.

2.3 ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA

2.3.1 Generalidades

Los movimientos en masa son el resultado de la interacción de factores intrínsecos del terreno (litología, pendiente, cobertura vegetal, etc.) que predisponen hacia una situación de inestabilidad y factores extrínsecos o desencadenantes que son los responsables de la detonación de los movimientos.

Los movimientos en masa producto de procesos tectónicos, meteorización, lluvias, sismos y procesos antrópicos que actúan sobre las laderas para desestabilizarlas producen desastres que causan daños y muertes incluyendo pérdidas físicas, ambientales y económicas que afectan el desarrollo de los países ricos y pobres.

Debido a lo anterior, se han desarrollado desde la década de 1970 evaluaciones de susceptibilidad a los movimientos en masa y zonificaciones de amenaza y riesgo (Brabb et al., 1972), (Kienholz, 1977), (Nilsen et al., 1979) a diferentes escalas. La experiencia obtenida en muchos países estimula el uso de mapas de zonificación de amenaza y riesgo para el ordenamiento territorial y la gestión de emergencias (Cascini et al., 2005) y muestra que existe la necesidad de métodos estándares y reproducibles para evaluación y zonificación de amenaza, en particular en lo que respecta a la

definición de clases de amenazas, de manera que tales zonificaciones puedan ser comparables (PMA: GCA., 2007).

2.3.2 Metodología Aplicada

Debido a la importancia de los mapas de zonificación de amenazas por movimientos en masa a nivel nacional como insumo en la toma de decisiones sobre políticas nacionales para la reducción del riesgo, siendo de utilidad para generar acciones que conduzcan a la planificación, el desarrollo de infraestructura y la prevención de los desastres. A partir de la zonificación de susceptibilidad realizada según lo descrito en el numeral 1.2.3., se propone una metodología heurística para la zonificación de amenazas, para lo cual fueron definidos la lluvia y el sismo como factores desencadenantes de movimientos en masa.

Mientras que las coberturas temáticas tenidas en cuenta en la zonificación de susceptibilidad como geomorfología, geología, uso y cobertura del suelo permiten trabajar a una escala adecuada acorde con la escala de trabajo, los factores detonantes de movimientos en masa, como lluvia y sismo considerados en el análisis de amenazas, no cuentan con la cobertura de datos necesarias que satisfagan en un todo la escala de trabajo.

La función de modelación aplicada para la zonificación de amenazas por movimientos en masa teniendo en cuenta los detonantes lluvia y sismo fue la propuesta en (INGEOMINAS, 2001), la cual fue aplicada en la zonificación de amenazas por movimientos en masa en la cuenca del río Combeima, (INGEOMINAS, 2009) en la cual esta función se ajustó adecuadamente.

La evaluación de la amenaza debida a los eventos detonados por lluvia se obtiene mediante la suma de los pesos que contiene cada celda para el detonante y la susceptibilidad, así:

$$Ac = S + Fc \quad Ec.1$$

Dónde: Ac = Amenaza por detonante clima; S = Susceptibilidad del terreno a los movimientos en masa y Fc = Factor clima calificado.

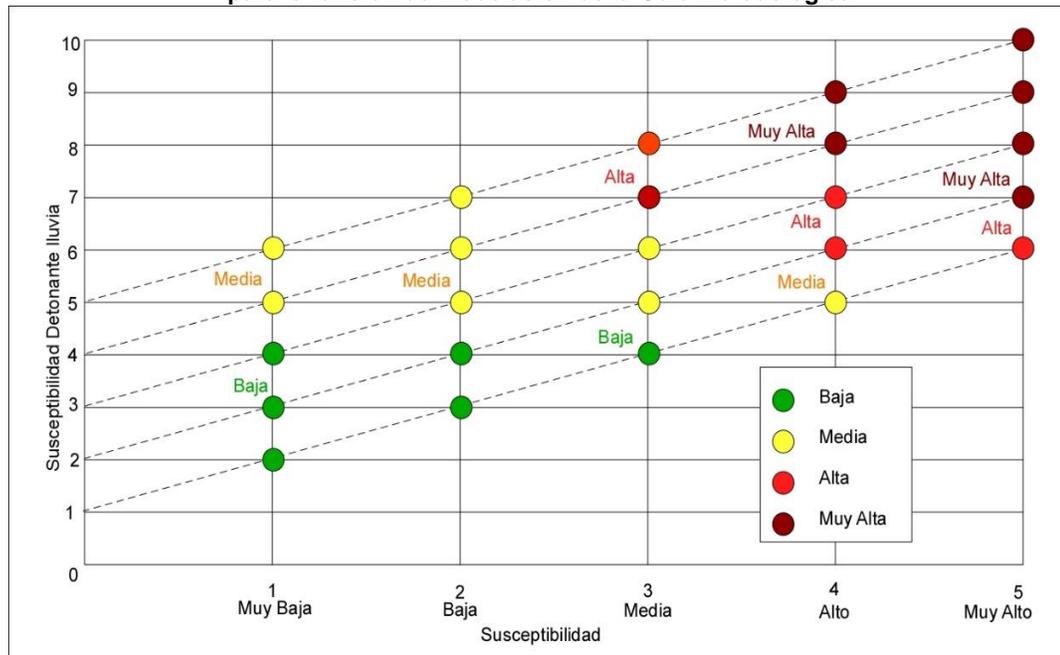
Los valores obtenidos de amenaza por detonante clima o sismo oscilan entre 2 y 10 debido a que tanto la calificación del detonante como la de la susceptibilidad varían entre 1 y 5. El mapa de amenazas por movimientos en masa detonados por el factor clima es clasificado con base en la susceptibilidad, tal como aparece en la **Figura 2.16** De forma similar, el cálculo de la amenaza por sismo, se obtiene mediante la suma de los pesos que contiene cada celda para el detonante sismo y la susceptibilidad, así:

Donde:

$$As = S + Fs \quad Ec.2$$

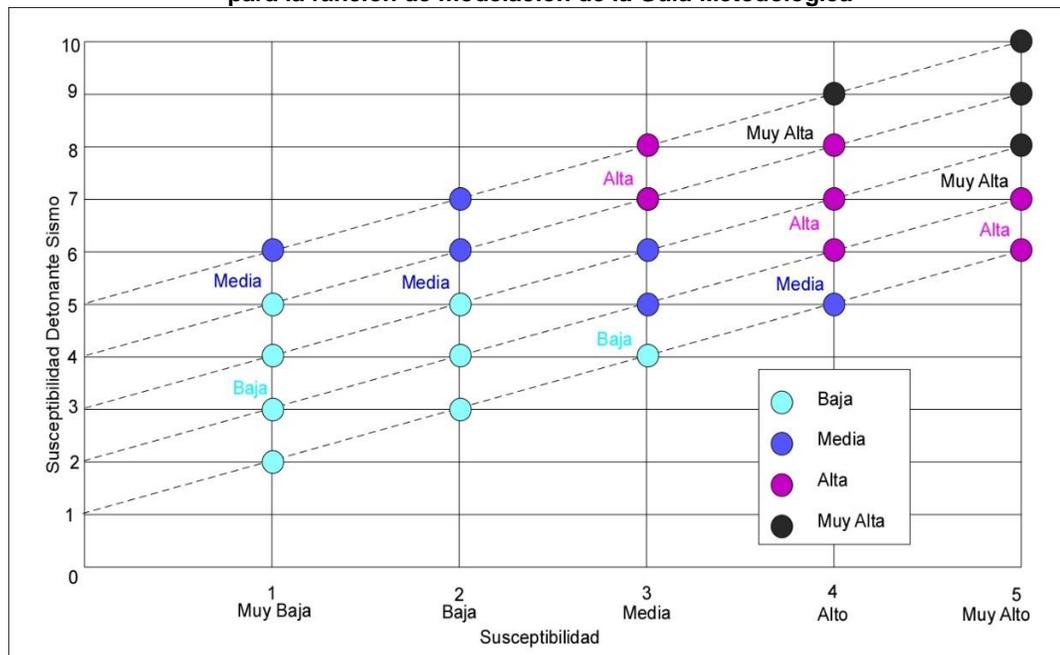
As = Amenaza por detonante sismo; S = Susceptibilidad del terreno a los movimientos en masa y Fs = Factor sismo calificado y clasificado.

Figura 2.16 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)

Figura 2.17 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).

El cálculo de la amenaza total se obtiene mediante la suma de la amenaza por lluvia y la amenaza por sismo, así:

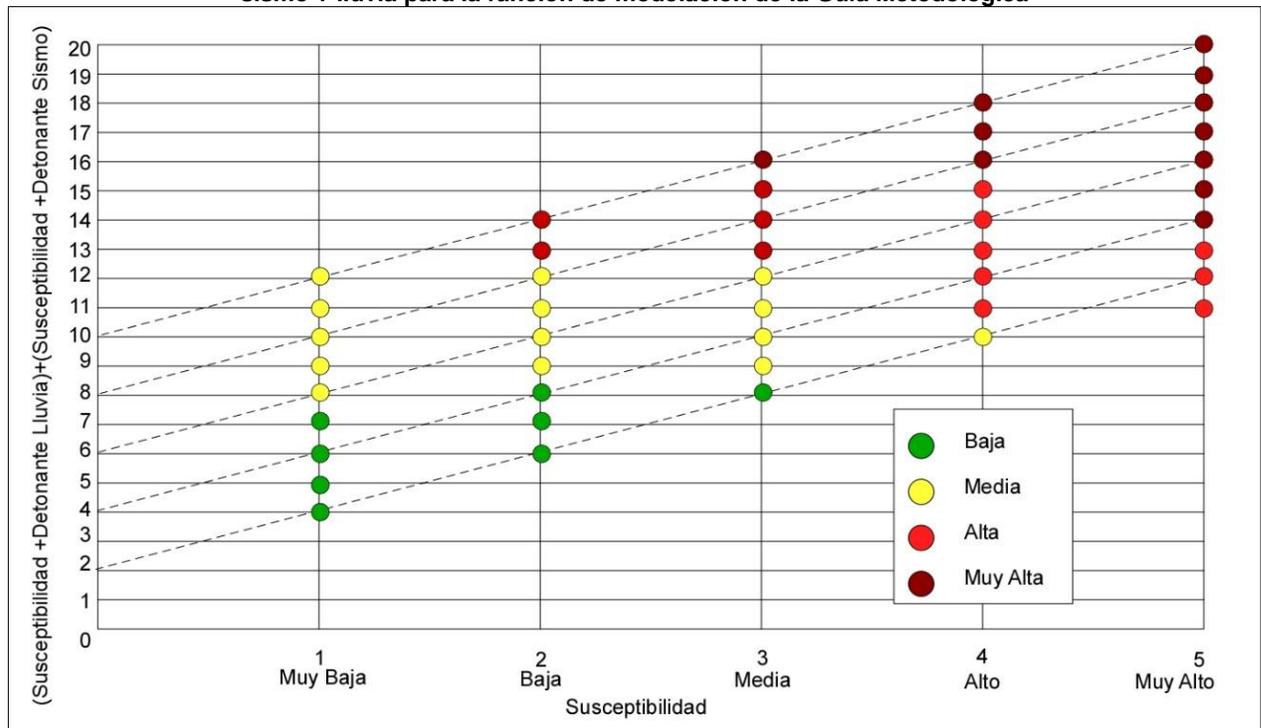
$$AT = Ac + As \quad \text{Ec.3}$$

Donde:

AT = Amenaza Total; Ac = Amenaza por detonante clima clasificado y As = Amenaza por detonante sismo clasificado.

La clasificación del mapa de amenaza total se propone tal como aparece en la **Figura 2.18**, con cuatro categorías de amenaza Baja, Media, Alta y Muy Alta, adaptada de (INGEOMINAS, 2009).

Figura 2.18 Clasificación del mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa detonados por sismo + lluvia para la función de modelación de la Guía Metodológica



Fuente: INGEOMINAS (2009).

2.3.3 Detonantes

2.3.3.1 Lluvia

Generalmente los movimientos en masa están asociados a las lluvias, es por esto que diversos autores han abordado el tema desde diferentes puntos de vista, tal como se describe en (Guzetti et al., 2007) quien recopiló los parámetros tenidos en cuenta para el cálculo de los umbrales por diferentes autores. Algunos presentan ecuaciones universales independientemente de las condiciones geomorfológicas, litológicas y de uso del suelo, como los propuestos por (Caine, 1980), otros autores han definido distribuciones espaciales de lluvia como umbrales que detonan eventos relacionados con movimientos en masa. Por tanto, 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).

En el caso de la región Andina se ha evaluado la lluvia antecedente como detonante de movimientos en masa por autores como (Valencia, 2004) en la cuenca de la quebrada la Iguana de la ciudad de Medellín, (INGEOMINAS, 2009) en la cuenca del río Combeima y (Moreno et al., 2006) en el

departamento de Antioquia, siendo común entre estos la relación entre la lluvia antecedente de 15 días y los movimientos en masa detonados.

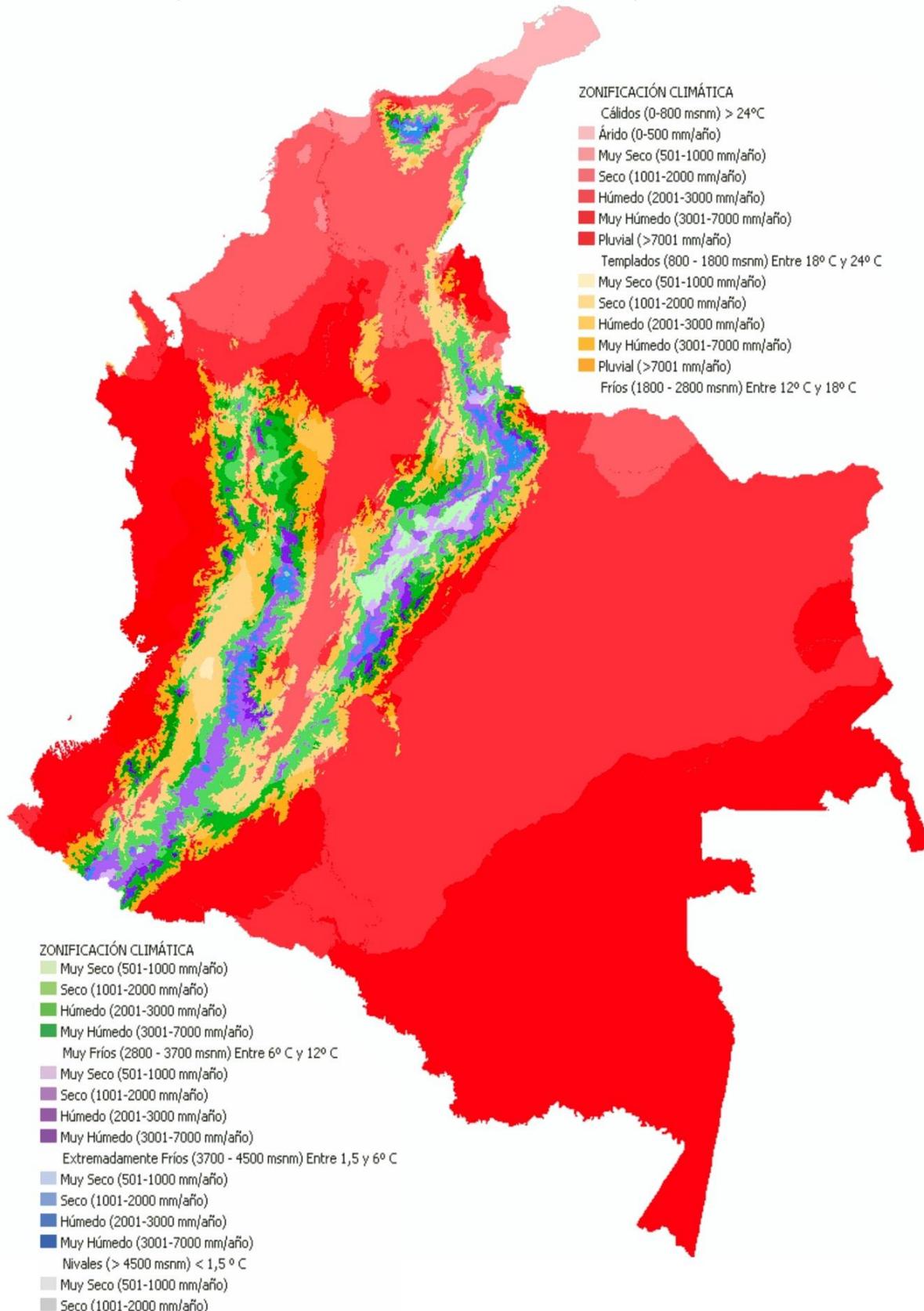
La evaluación de la lluvia aplicada a la cartografía de susceptibilidad por (Mora y Varson., 2004) en el mapa de amenazas global por movimientos en masa se realizó con base en la Precipitación Media Anual, la cual se considera como un indicativo de la humedad antecedente del suelo en el momento en que se presentan las lluvias máximas diarias.

En el caso que nos ocupa y teniendo en cuenta la escala de trabajo se consideró adecuado el uso de una zonificación climática, **Figura 2.19**, propuesta por (IDEAM, 2001), la cual es el resultado de la caracterización de los regímenes térmicos y de lluvia propios de la geografía colombiana y las lluvias máximas diarias evaluadas para un periodo de retorno de 25 años, partiendo de las siguientes hipótesis:

- Los movimientos en masa pueden ser detonados por lluvias máximas diarias cuyo valor de umbral variará de acuerdo con la susceptibilidad y la humedad antecedente del suelo.
- A menor temperatura, menor evaporación y mayor contenido de humedad en el suelo, lo cual contribuye a la generación de movimientos en masa.

Región Andina y la Costa Norte y se realizó un análisis estadístico de regresión que permitió expresar los valores de temperatura en función de la altura sobre el nivel del mar, como un mapa continuo de todo el país. El mapa de precipitación se calculó a partir de 2990 estaciones, la mayoría de las cuales se concentran en la Región Andina y la Costa Norte, por interpolación geoestadística con los valores medios anuales de dicha variable de manera que se obtuvo una superficie continua para el campo de precipitación. Para el análisis Local se utilizaron las estaciones climáticas disponibles CAR e IDEAM.

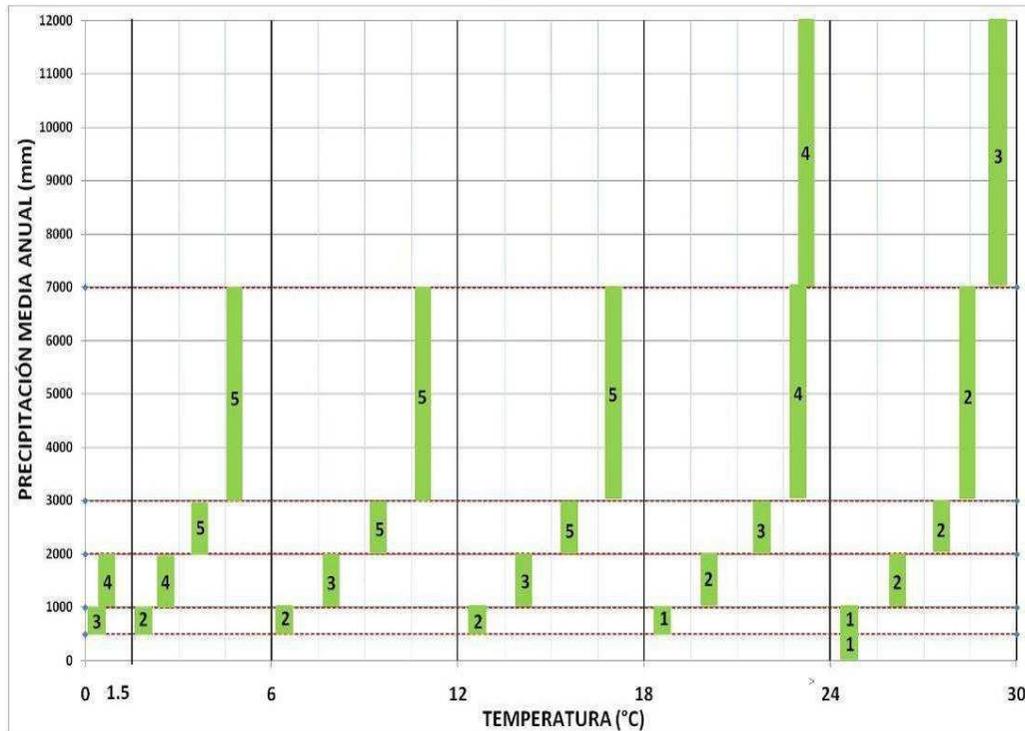
Figura 2.19 Zonificación climática del Atlas Climatológico de Colombia



Fuente: IDEAM (2001).

El Mapa a obtener a partir de la información de las estaciones presentes en el área de trabajo permitirá construir un mapa de polígonos por intersección espacial calificado de 1 a 5 con base en las variables temperatura y precipitación media anual a espacializar, tal como se muestra en la **Figura 2.20**. Este mapa de zonificación climática es el resultado de la relación entre un rango de precipitaciones con uno de temperaturas calificado según su contribución a los movimientos en masa, de acuerdo las hipótesis antes descritas:

Figura 2.20 Calificación del Mapa de Zonificación Climática con base en su contribución a los movimientos en masa



Fuente: SGC, Ingeominas (2011)

La lluvia máxima diaria especializada como detonante de movimientos en masa se obtiene para un periodo de retorno de 25 años, evaluado en la totalidad de estaciones pluviográficas o pluviométricas contenidas dentro de la plancha a zonificar y aún por fuera de ésta, con el fin de reducir la incertidumbre en el límite de la plancha.

La especialización se obtiene a partir de la interpolación con varios métodos proporcionados por ArcGis, procurando homogeneidad en las áreas interpoladas. El valor de cada pixel corresponde a la lluvia máxima diaria. Partiendo de la hipótesis que a mayor lluvia diaria máxima la probabilidad que se detone un movimiento en masa aumenta, se generó la calificación que se observa en la **Tabla 2.20** y se aplicó al mapa de isoyetas de lluvias diarias máximas diarias.

El mapa de zonificación climática calificado y el mapa de isoyetas de lluvias diarias máximas calificadas dieron lugar a un nuevo mapa de factores climáticos, dentro del cual se evaluaron parámetros de precipitación media anual, temperatura media anual y lluvia máxima diaria para un periodo de retorno de 50 años, los cuales contribuyen a la generación de movimientos en masa.

Tabla 2.24 Calificación de la lluvia máxima diaria según su contribución a los movimientos en masa

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

Fuente: SGC, Ingeominas (2011)

2.3.3.2 Sismo

Los taludes se encuentran en estados que van 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 el sismo. Los daños resultantes pueden ser desde insignificantes a catastróficos dependiendo de la geometría y de las características del material del talud.

Los movimientos en masa inducidos por sismos han sido documentados. En el sismo de Alaska de 1964, se estima que el 56% de los costos totales de los daños fueron causados por movimientos en masa inducidos (Youd, 1978), (Wilson and Keefer., 1985), (Kobayashi, 1981), encontró que más de la mitad de todos los muertos en terremotos en Japón (magnitudes mayor a 6.9) entre 1964 y 1980 fueron causados por movimientos en masa.

Para evaluaciones preliminares de estabilidad, el conocimiento de las condiciones sobre las cuales los movimientos en masa han ocurrido en sismos pasados es muy útil. Es lógico esperar que el grado de actividad pudiera incrementarse con el incremento de la magnitud del sismo y que hubiera una magnitud mínima por debajo de la cual movimientos en masa inducidos por sismos podrían raramente ocurrir. Es igualmente lógico, esperar que el grado de actividad pudiera disminuir con la distancia fuente a sitio y que hubiera una distancia más allá de la cual, los movimientos en masa podrían no ser esperados por sismos de cierto tamaño.

Un estudio de 300 sismos americanos entre 1958 y 1977 mostró que los sismos más pequeños que produjeron movimientos tuvieron magnitud local de alrededor de 4.0 (Keefer, 1984). La máxima distancia, fuente al sitio a la cual movimientos han sido inducidos en sismos históricos, son diferentes de acuerdo al tipo de movimiento generado. Movimientos en masa y caídas, por ejemplo, han sido raramente encontrados más allá de distancias epicentrales de alrededor de 15 Km para sismos de M=5, pero han sido observados hasta alrededor de 200 Km para sismos de M=7. Similarmente, el área afectada también podría incrementarse con el incremento de la magnitud del sismo. Diferencias regionales en el comportamiento de la atenuación tienen una pequeña y aparente influencia sobre el área de los movimientos en masa inducidos por sismos.

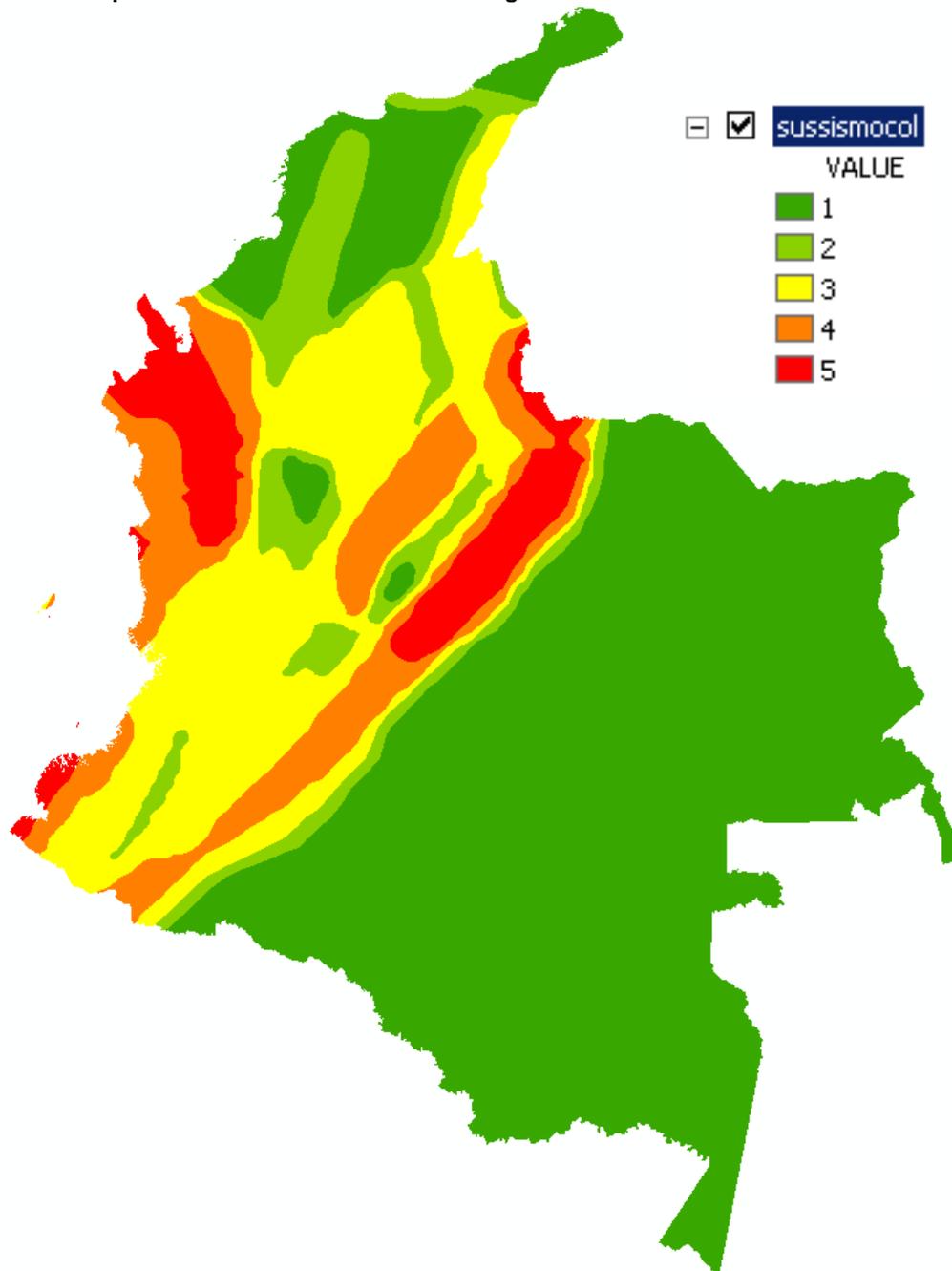
Por lo anterior, la evaluación de estabilidad sísmica de taludes es uno de los más importantes aspectos de la ingeniería sismogeotécnica. Para zonificación regional, como es nuestro caso, se puede considerar suficiente la información del estudio “Actualización del Mapa Nacional de Amenaza Sísmica, el cual proporciona los valores de aceleración máxima horizontal a nivel de terreno firme (PGA) correspondiente a un periodo de 475 años, dispuestas en una grilla cada 0.1 grados conformada por 16872 puntos, e incluyendo adicionalmente 1114 puntos correspondientes a los municipios y capitales en origen Sirgas.

En el marco del mencionado estudio, se ha empleado el método probabilístico, para el cual se han realizado investigaciones geológicas, neotectónicas, sismológicas y de ingeniería sísmica. Los cálculos se han realizado mediante el uso del programa de computador Crisis (Ordaz et al, 2007), el cual tiene en cuenta los aspectos de geometría, recurrencia y ley de atenuación, así como los

parámetros de probabilidad de excedencia y tiempo de exposición, definidos según la Normatividad Sismo resistente vigente (NSR, 2010).

Para el presente trabajo, la variable sismo se calculó a partir de los datos de PGA (en gales), rasterizados y categorizados según la **Tabla 2.25**, permitiendo de esta forma calificar de menor a mayor grado de contribución del sismo a la amenaza por movimientos en masa, tal y como se muestra en la **Figura 2.21**.

Figura 2.21 Mapa calificado de la variable sismo según su contribución a los movimientos en masa



Fuente: INGEOMINAS 2011

Tabla 2.25 Calificación de los valores de PGA de menor a mayor grado de contribución de la amenaza sísmica a su contribución a los movimientos en masa.

Valores de PGA (cm/s^2)	Calificación
< 00	1
100-150	2
150-200	3
200-300	4
> 300	5

Fuente: INGEOMINAS 2011

2.3.4 Escenarios de amenaza relativa

De acuerdo con la metodología descrita se obtienen dos escenarios de amenaza. El primero corresponde a la zonificación de amenaza por movimientos en masa detonados debido a la incidencia del clima y el segundo debido a los sismos, aplicando las ecuaciones 1 y 2.

2.3.4.1 Amenaza relativa total

La zonificación de amenaza total se obtendrá a partir de la Ecuación 3 (ítem anterior) y se calificará de acuerdo con la **Figura 2.18**.

Estos escenarios muestran la contribución que cada uno de los detonantes tiene sobre las zonas susceptibles a los movimientos en masa y es indicativo del tipo de procesos que se pueden generar y por consiguiente de los daños que estos puedan acarrear.

2.3.4.2 Validación del Mapa de Amenaza Relativa Total

El SGC (antiguo INGEOMINAS) adelantó un sistema denominado SIMMA (Sistema de Información de Movimientos en Masa), en la cual se ingresa, recopila, organiza y estandariza toda la información referente a los movimientos en masa. El sistema está dividido en dos tipos de datos, el primero conformado por un Catálogo de Movimientos en Masa del cual en general se conocen atributos como la fecha de ocurrencia, localización y daños causado, cuya fuente proviene de diferentes entidades o medios de comunicación del país; mientras que el segundo, corresponde al Inventario de Movimientos en Masa y se diferencia del anterior en que cada evento contiene una descripción técnica detallada de la localización, magnitud, tipo de movimiento en masa, entre otros. Tanto el Catálogo como el Inventario del SIMMA conforman una base de datos con la cual se comparan los resultados de la Zonificación de Amenazas por Movimientos en Masa de la plancha correspondiente. Las zonas con alta densidad de movimientos o con movimientos en masa de gran magnitud deben coincidir con zonas de Amenaza Alta y Muy Alta.

2.3.5 Análisis y resultados

2.3.5.1 Análisis Cualitativo

El grupo interdisciplinario deberá evaluar la congruencia de los resultados de acuerdo con el conocimiento experto del área analizada desde cada una de las temáticas abordadas.

2.3.5.2 Análisis cuantitativo

A partir de la base de datos que contiene el valor de la susceptibilidad, las calificaciones dadas a cada uno de los detonantes y el valor de la amenaza obtenido, se pueden calcular las diferentes áreas, en porcentaje, según el tipo de amenaza y el grado de afectación del detonante, según su contribución a los movimientos en masa, sobre la susceptibilidad del terreno.

Lo anterior permitirá construir la leyenda del mapa con el fin de describir de una manera acertada, la incidencia de los detonantes sobre los diferentes tipos de susceptibilidad, su relación con los

procesos que la zona de estudio se evidencian y los posibles daños y afectaciones sobre las personas, las viviendas y en general infraestructura que pueda verse expuesta.

2.3.6 Leyenda de amenaza

La leyenda de amenaza debe contener para cada clase de amenaza (Muy alta, alta, media, baja y muy baja) una descripción de los tipos de procesos que pueden generarse como consecuencia de factores climáticos y sismos, en particular para cada plancha y de los daños que se deriven de la ocurrencia de estos. Es importante evaluar la incidencia del factor antrópico en las zonas de amenaza alta y muy alta y las posibles consecuencias en los cambios de uso del suelo en zonas de amenaza media y baja. La posibilidad de ocurrencia deberá ser expresada, al menos en términos de posibilidad alta, media o baja o cuantitativamente en términos de frecuencia o probabilidad.

La leyenda para cada tipo de amenaza debe además contener recomendaciones generales, especialmente en cuanto al uso del suelo y la conservación de aquellas coberturas que se consideren importantes para la estabilidad de los taludes.

CAPITULO III. VULNERABILIDAD SOCIAL

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Recopilar información primaria originada por las instituciones municipales (Umatas, planeación) sobre incendios forestales y su influencia desde el punto de vista de la amenaza para las comunidades de los municipios: Quebrada Negra, Villeta, Beltrán, Bituima, Changuaní, Pulí, san Juan de río seco, Vianí, El Peñón, La Palma, Pacho, Paima, San Cayetano, Topaipí, Villagómez, Yacopí, Zipaquirá, Subachoque, Pasca, Sylvania, La Mesa, Ubaté, Supatá, y Vergara, en el departamento de Cundinamarca. (Demografía rural, densidad poblacional, organización sociopolítica JAC, historia reciente de atención de desastres por incendios forestales, evidencias fotográficas). Adicionalmente recopilar información secundaria que permita un acercamiento a la vulnerabilidad por exposición a amenazas por inundación, deslizamientos, avenidas torrenciales e incendios forestales de los hogares en los cascos urbanos y en centros rurales poblados de los municipios de interés para CAR, información que permita una aproximación al análisis de vulnerabilidad social.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar entrevistas semiestructuradas a líderes comunitarios y actores institucionales claves, para conocer la vulnerabilidad percibida y el riesgo percibido en el lugar de ubicación de familias o comunidades ubicadas en escenarios de riesgo por incendios forestales y fenómenos de remoción en masa en el sector rural de los municipios de interés.
- Realizar mesas de trabajo de cartografía social o mapeo comunitario del riesgo y mapas parlantes, con actores sociales claves (líderes comunitarios, secretarios de planeación, presidente de la oficina de gestión del riesgo de desastre municipal) para hacer una aproximación a la vulnerabilidad por exposición y niveles percibidos de peligrosidad estructural (vías rurales, vías interveredales, puentes, escuelas, redes eléctricas, viviendas etc. que resulten afectadas por incendios forestales y fenómenos de remoción en masa en cada municipio,
- Evaluar la capacidad de respuesta municipal a eventos estresores causados por incendios forestales y fenómenos de remoción en masa (funcionamiento de alertas tempranas, equipos, personal capacitado, tiempos de respuesta etc.) lo anterior permite evaluar la vulnerabilidad institucional de cada municipio. (mesa de trabajo)
- Recopilar información primaria y secundaria relevante del sector rural a nivel de demografía, valor patrimonial y cultural, organización sociopolítica (JAC), principales actividades económicas de subsistencia familiar, de la población más vulnerable por amenaza de incendios forestales en los municipios de interés.
- Realizar cartografía social con actores sociales institucionales y comunitarios claves para espacializar amenazas y describir afectaciones en infraestructura colectiva (vías, viviendas, escuelas, redes eléctricas, acueductos etc.)
- Realizar ejercicio de memoria histórica de siniestros ambientales de mayor recordación por su impacto
- Realizar entrevistas semi estructuradas a actores sociales claves
- Recopilar información poblacional de las bases del SISBEN municipal, y bases de datos de población afectada por siniestro ambientales, censo 2005 de población de vivienda y agropecuario.
- Recopilar información en la oficina para la gestión del riesgo municipal (actas de siniestros ambientales de los últimos años)

2 METODOLOGÍA

Es un estudio descriptivo basado en el análisis de información primaria y secundaria. Las fuentes secundarias permiten conocer hechos o fenómenos a partir de documentos o datos recopilados por otros estudios. Se tendrán en cuenta las categorías propuestas por (Wilches Chaux, 1998), (Lavell A. , Cuadernos de Geografía. (2002). Facultad De Ciencias Humanas, 1993) y (Thomas y Suavita., 2000), autores que agrupan en cuatro categorías las variables que a su parecer permiten evaluar integralmente la vulnerabilidad social, estas son: a) Nivel de Exposición por Localización Poblacional (NELP), Nivel de Exposición de Infraestructura e Instalaciones Vitales y críticas (NEIVC), y Nivel de Exposición por Organización Institucional frente a la Amenaza (NEOI) y la vulnerabilidad económica.

2.1 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la evaluación de la vulnerabilidad social, se tienen en cuenta técnicas cualitativas y cuantitativas de investigación social, estas son: la entrevista semiestructurada, mesas de trabajo con actores sociales clave de cartografía social y mapas parlantes, y la observación directa recopilación de documentos de importancia (actas comité de gestión del riesgo, base de datos damnificados por siniestros ambientales, base de datos SISBEN, archivos fotográficos, censo (DANE, 2005). Las técnicas y metodología del estudio están sujetas a la base teórica planteada.

2.2 POBLACIÓN

El foco de estudio es la población asentada en el sector rural en escenarios de riesgo por incendios forestales de los municipios Quebradanegra, Villeta, Beltrán, Bituima, Changuaní, Pulí, San Juan de Río seco, Vianí, El Peñón, La Palma, Pacho, Paime, San Cayetano, Topaipí, Villagómez, Yacopí, Zipaquirá, Subachoque, Pasca, Silvania, La Mesa, Ubate, Supatá, y Vergara, en el departamento de Cundinamarca.

3 PROCEDIMIENTO

3.1 PRIMERA FASE

- Recolección de información secundaria de eventos históricos más importantes por su magnitud densidad de la población y población afectada por siniestros ambientales específicos, en este caso incendios forestales y fenómenos de remoción en masa en el sector rural
- Mesa de trabajo con actores sociales claves institucionales y comunitarios para espacializar las amenazas en los sectores rural y urbano del municipio y diligenciar la información en una matriz que permita observar los siniestros ambientales por sectores, fechas y afectaciones.
- Generación del mapa de vulnerabilidad poblacional para interpretar la vulnerabilidad de la población a partir del indicador de ocupación o grado de presencia de la población que puede darse en un determinado territorio, Se evaluará a partir de la densidad de población tanto urbana como municipal, según la información del censo nacional de población del 2005, generada por el DANE.
- Generación del mapa de vulnerabilidad de la infraestructura: Mediante este proceso se zonifican los posibles peligros para instalaciones, edificaciones e infraestructuras que influyen en la mayor o menor gravedad potencial que puede alcanzar un incendio forestal, se interpretan a través de la presencia o no de determinados elementos tales como vías férreas, aeropuertos, helipuertos, instalaciones de comunicaciones, polductos, líneas eléctricas y zonas de recreación, entre otras. Para llevar a cabo la generación de este mapa se siguen los procesamientos realizados en la definición del mapa de amenazas por accesibilidad, sobre la cartografía de infraestructura que se tenga disponible para la región, departamento o municipio.
- Generación del mapa de vulnerabilidad patrimonial: Para la realización de este proceso, es necesario contar con los diferentes mapas de áreas protegidas (Parques Nacionales Naturales, Reservas Forestales Nacionales, Reservas Regionales, Departamentales y Municipales), mapas de ecosistemas estratégicos, mapas de áreas de manejo especial (DMI, etc.).
- Elaboración del mapa de vulnerabilidad institucional: Atendiendo a la disponibilidad de información, se incluirá dentro de la vulnerabilidad institucional, la evaluación de la capacidad gubernamental para la reconstrucción post-evento (rehabilitación y restauración de áreas degradadas), analizadas a partir de la asignación de presupuesto para estos fines. De igual manera, se debe especializar (hasta donde sea posible), el área de cobertura que sobre la región tienen los diferentes organismos de socorro (Bomberos, Defensa Civil, Policía, Ejército, Cruz Roja, etc.), así como la generación de isócronas o tiempos de respuesta o de desplazamiento de estos organismos a las zonas con mayor.
- Elaboración de informes

3.2 SEGUNDA FASE ENTREGABLES

- Mapa de vulnerabilidad de la infraestructura colectiva
- Mapa de vulnerabilidad patrimonial
- Mapa de vulnerabilidad institucional
- Mapa de vulnerabilidad poblacional (probablemente se pueda generar un mapa multi-vulnerabilidades)
- Un informe general con el análisis de vulnerabilidad social de cada municipio.
- Presentación de resultados

A continuación instrumentos para la recolección de la información.

Tabla 3.1 Cuestionario de vulnerabilidad social

CUESTIONARIO DE VULNERABILIDAD INSTITUCIONAL												
Municipio:										Fecha:		
Responda SI o NO a las siguientes preguntas												
Comprendiendo mejor las cosas										SI	NO	
1	¿Existe un sistema de alerta temprana en el municipio para el caso de incendios forestales, quienes lo conforman?											
2	¿Se cuenta con un comité de alerta temprana?											
3	¿El comité se reúne regularmente? Temas prioritarios:											
4	¿El sistema de alerta temprana funciona bien, está en funcionamiento, se hacen pruebas del funcionamiento?											
5	¿La comunidad sabe cómo funciona el sistema de alertas tempranas, conoce el sistema?											
6	¿La comunidad se ha capacitado para activar el sistema de alertas tempranas?											
7	¿Existen actualmente planes de emergencia por incendios forestales?											
8	¿Otras organizaciones privadas apoyan el sistema de alertas tempranas? ¿El comité de alerta temprana presenta reportes a las autoridades gubernamentales?											
9	¿Existen lugares de albergue para familias damnificadas por siniestros ambientales?											
10	Observaciones											
En cualquiera de los casos el impacto de los siniestros ambientales extremos puede provocar												
Destrucción de las viviendas		Pérdida de cultivos		Destrucción de escuelas centros de salud e infraestructura colectiva y de viviendas		Daño psicológico, heridos, muertes		Crisis económicas		Pérdida de empleo		
SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
Municipio:				Observaciones:								
Veredas /sectores:												

Fuente: UT AVR CAR, 2014

4 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

4.1 ASPECTOS GENERALES

La búsqueda para mejorar la calidad de vida y el bienestar de la población Colombiana, a lo largo de la historia ha sido entorpecida por diferentes situaciones, entre las cuales los desastres han sobresalido en la última década. Es notorio como en la dinámica municipal se manifiestan alteraciones que son desencadenadas por la ocurrencia de fenómenos naturales y antrópicos, que incorporan daños los cuales agudizan crisis sociales, que la mayoría de las veces propician crisis institucionales.

En Colombia, cada día es mayor el número de municipios y habitantes soportando crisis sociales generadas por la pérdida de vidas humanas, viviendas y medios de subsistencia; perdidas asociadas con eventos como inundaciones, deslizamientos de tierra y sismos entre otros.

Estas situaciones vienen demandando cada vez más recursos, que en la mayoría de los casos están destinados a la inversión social. Fue así como en el 2008 entre otras medidas tomadas por el gobierno nacional y dada la magnitud de la segunda temporada invernal, algunos recursos públicos del sector educativo, fueron orientados hacia la reparación de establecimientos afectados principalmente por inundaciones.

En este contexto, los desastres son situaciones que retrasan el desarrollo municipal ya que incorporan daños y pérdidas sociales, económicas y ambientales, más la necesidad de ayuda inmediata a la población y el gasto de la recuperación.

De otro lado, las condiciones socioeconómicas del municipio como las organizaciones institucionales políticas, educativas, culturales y de pobreza, definen la idoneidad de la ocupación del territorio y del proceso de urbanización.

Además, la calidad individual de las edificaciones e infraestructuras, dadas por sus materiales y técnicas de construcción disponibles, definen su propensión al daño frente a eventos como los sismos, inundaciones, incendios, entre otros. Así mismo las condiciones socioeconómicas influyen en mayor o menor grado en la degradación que puedan causar en el medio natural.

En este contexto, el riesgo plantea retos de gestión municipal, que requieren ser enfrentados a partir de su conocimiento y entendimiento, decisión política y participación activa de la comunidad; con miras a la erradicación de la pobreza extrema, la sostenibilidad del medio ambiente, entre otros objetivos de desarrollo del milenio propuestos por las naciones unidas. De lo anterior, emergen necesidades de estudios de vulnerabilidad, que revelen problemas centrales en el proceso de generación de riesgos y recuperación de siniestros ambientales.

El presente estudio, mostrará el nivel de vulnerabilidad que en la actualidad presentan el municipio objeto de análisis a nivel socioeconómico, organizacional e institucional ante un fenómeno específico amenazante.

4.2 MARCO CONCEPTUAL

4.2.1 Riesgo y vulnerabilidad social. Una visión de futuro.

La magnitud de los daños y pérdidas tanto humanas como materiales asociadas con el impacto del Huracán Mitch en América Central, y con los terremotos en El Salvador en 2001, tuvo como consecuencia una reflexión seria y un álgido debate sobre los factores ajenos a los eventos físicos en sí, que podrían ayudar a explicar los niveles de destrucción y el desquiciamiento sufrido en la

economía y sociedad. En Colombia específicamente los desastres, mediáticos y que impactaron a la sociedad, se remontan a 1974, cuando numerosos vehículos que viajaban entre Bogotá y Villavicencio quedaron atrapados el 28 de Julio a causa del derrumbe de una montaña con problemas de estabilidad. Murieron cerca de 200 personas según cifras no oficiales; un Tsunami el 12 de diciembre de 1979 dejó 500 muertos en Tumaco Nariño, posteriormente en el Guavio en 1983, 150 obreros que trabajaban en la represa del Guavio murieron bajo cien metros de tierra. Una brigada de rescate murió al caer la segunda parte del deslizamiento. El 31 de marzo de 1983 un sismo en la ciudad de Popayán mato a 283 personas, y dejó miles de damnificados, en 1985 un flujo de lodo que se desprendió de la erupción del volcán nevado del Ruiz mato entre 20.000 y 25.000 personas. El 27 de septiembre de 1987 el cerro Pan de Azúcar se desplomó sobre el barrio Villatina ocasionando la muerte de 500 personas y dejando más de 1700 damnificadas; Los terremotos de Murindó, el río Páez, el terremoto del eje cafetero y sus más de 1185 muertos, y más recientemente la ola invernal de los años 2011 – 2011 que afectaron toda la geografía nacional, han dejado una estela de enseñanzas e inquietudes en los cuales el estado ha querido prepararse, no solo desde el punto de vista de los fenómenos físicos (la amenaza) por sí mismo, sino de la vulnerabilidad de las construcciones, infraestructura y más importante los seres humanos, análisis que son muy importantes para poder analizar los posibles escenarios de riesgo. Vinculando tanto el elemento natural, y estructural con el social y el impacto que se genera sobre las comunidades.

Pocos analistas se amarran hoy en día a la idea de que es la magnitud, intensidad o duración de los eventos físicos, lo que permite explicar por sí solo el nivel de daño sufrido. Más bien, la tendencia dominante ha sido la de encontrar una explicación en el conjunto de las condiciones económicas, sociales y ambientales existentes, en el momento del impacto. De ahí, el constante debate y reflexión que se ha dado en torno a la llamada vulnerabilidad social o humana como factor explicativo del daño.

El desastre se concibe entonces, más en términos de la concreción o actualización de condiciones de riesgo preexistentes, que como una manifestación de la "furia" de la naturaleza y de impactos inevitables. La inquietud en cuanto al riesgo y vulnerabilidad preexistentes, se expresa de forma indiscutible en la manifiesta búsqueda de una estrategia de desarrollo basada en procesos de reconstrucción con "transformación". Esta idea implica como componente fundamental, la reducción de la vulnerabilidad existente y la promoción de esquemas de transformación de la sociedad que impiden la construcción en el futuro de nuevas condiciones de vulnerabilidad para la población.

La reducción en el control de la construcción de vulnerabilidad, consecuentemente del riesgo, y la opción de reducir así los futuros daños asociados con el impacto de diversos fenómenos físicos de origen natural o antropogénico, constituye un elemento fundamental y uno de los factores que deberían definir el "desarrollo". Difícilmente se podría pensar en desarrollo si esto se acompaña por un aumento en los niveles de riesgo en la sociedad y en consecuencia, en las posibilidades de daños y pérdidas para la población. (Lavell A. , La gestión del riesgo, 1998 -1999).

Esto no solamente atañe a la problemática particular de los desastres, sino también al riesgo asociado con la enfermedad y la desnutrición, el analfabetismo, el desempleo y la falta de ingresos, la violencia, la drogadicción, la marginación y la exclusión social, entre otras condiciones objeto de intervención y cambio en una sociedad en busca del desarrollo. Una definición restringida de desarrollo lo plantea de forma muy sucinta como "la reducción de vulnerabilidades (o de riesgo) y el aumento de las capacidades" de la sociedad (Anderson and Woodrow., 1989). Aunque no abarca en toda su extensión los procesos que el desarrollo involucra, esta definición tuvo el mérito de introducir el riesgo como parte consustancial al desarrollo y señalar el camino a seguir en el proceso de comprensión cabal del problema.

El proceso a través del cual una sociedad, o subconjuntos de una sociedad, influyen positivamente en los niveles de riesgo que sufren, o podrían sufrir, está captado en la idea o noción genérica de la

“Gestión del Riesgo” o, más precisamente, la “Gestión de la Reducción del Riesgo” (Wilches Chau, 1998). Esta gestión, que tendrá sus características, estrategias e instrumentos particulares, debe ser considerada en su esencia como un componente intrínseco y esencial de la gestión del desarrollo y del desarrollo territorial y ambiental. Todo proceso de desarrollo, de transformación territorial y ambiental debe ser informado por un proceso de análisis y control sobre los factores de riesgo existentes o posibles. La gestión de la reducción de riesgo comprende un componente esencial de una nueva visión del tema de los desastres, una visión que debe convertirse en una acción y enfoque permanente. En este sentido, el factor de riesgo debe transformarse en un punto de referencia y parámetro que informa la planificación e instrumentación de todo proyecto de desarrollo. Por lo tanto, debe asumir la misma posición e importancia que durante los últimos años se ha dado en la gestión del desarrollo, el enfoque de género y la consideración del impacto ambiental de nuevos proyectos.

El territorio designa el espacio de vida de una colectividad, un espacio en el que ésta se proyecta, que modela, a veces desde tiempos muy lejanos, con el que vive en simbiosis, un espacio más o menos homogéneo desde el punto de vista de sus condiciones naturales, de su historia y de su poblamiento, de sus actividades, de los comportamientos de sus habitantes, un espacio que confiere al grupo humano que lo ocupa rasgos originales que le diferencian de los otros colectivos. El territorio es así soporte e ilustración de la identidad compartida de esa colectividad. Así definido el territorio, se aplica pues a humanos enraizados en este o aquel espacio, que ellos delimitan con más o menos intensidad y visibilidad...”. (Hérin, 2006).

4.2.2 Riesgo, desastre y desarrollo

Con referencia a la problemática particular de los desastres, el “riesgo” se refiere a la probabilidad de pérdidas y daños en el futuro, desde las físicas hasta las psicosociales y culturales. El riesgo constituye una posibilidad y una probabilidad de daños relacionados con la existencia de determinadas condiciones en la sociedad, o en el componente de la sociedad bajo consideración (individuos, familias, comunidades, ciudades, infraestructura productiva, vivienda etc.).

El riesgo es, en consecuencia, una condición latente que capta una posibilidad de pérdidas hacia el futuro. Esa posibilidad está sujeta a análisis y medición en términos cualitativos y cuantitativos.

La existencia de riesgo, y sus características particulares, se explica por la presencia de determinados factores de riesgo; Estos se clasifican en general, en factores de amenaza y factores de vulnerabilidad. Una “amenaza” refiere a la posibilidad de la ocurrencia de un evento físico que puede causar algún tipo de daño a la sociedad. La “vulnerabilidad” se refiere a una serie de características diferenciadas de la sociedad, o subconjuntos de la misma, que le predisponen a sufrir daños frente al impacto de un evento físico externo y que dificultan su posterior recuperación. Es sinónimo de debilidad o fragilidad, y la antítesis de capacidad y fortaleza. La vulnerabilidad es en fin, la propensión de una sociedad de sufrir daño o de ser dañada, y de encontrar dificultades en recuperarse posteriormente.

La variedad de amenazas que potencialmente enfrenta la sociedad es muy amplia y tiende a aumentar constantemente. Incluye las que son propias del mundo natural, como son las asociadas con la dinámica geológica, geomórfica, atmosférica y oceanográfica (por ejemplo, sismos, deslizamientos de tierra, huracanes y tsunamis); las que son de naturaleza seudo o socio-natural, producidas como resultado de la intersección o relación del mundo natural con las prácticas sociales, como son muchos casos las inundaciones, deslizamiento y sequía. En estas, la deforestación, los cambios en los patrones de uso del suelo u otros procesos sociales, crean o amplían las condiciones de amenaza; y la antropogénica, producto de la actividad humana, como son los casos de explosiones, conflagraciones, derrames de materiales tóxicos, contaminación de aire, tierra y agua por productos industriales, etc.

Así por ejemplo, la amenaza sísmica o la asociada con huracanes y tormentas tropicales pueden concatenarse y ser detonador potencial en un tiempo y espacio particular de la ruptura de presas, deslizamientos e inundaciones, conflagraciones y el derrame de sustancias peligrosas. A pesar de los orígenes diversos de los fenómenos físicos que se clasifican como amenazas, es importante destacar que toda amenaza es construida socialmente.

Es decir, la transformación de un potencial evento físico en una amenaza solamente es posible si un componente de la sociedad está sujeto a posibles daños o pérdidas. De lo contrario, un potencial evento físico, por grande que sea, no se constituye en una “amenaza” propiamente dicha, aunque con la introducción de distintas dinámicas sociales puede evolucionar para constituir una amenaza en el futuro. La vulnerabilidad de la sociedad puede manifestarse a través de distintos componentes o elementos, cada uno resultado de un proceso social particular.

Algunas de las manifestaciones o dimensiones prevaletentes de la vulnerabilidad, se encuentran en la ubicación de: población, producción e infraestructura en áreas de potencial impacto, la inseguridad estructural de las edificaciones, la falta de recursos económicos de autonomía y de capacidad de decisión de la población, las familias, las comunidades o las unidades de producción, que les permiten hacer frente a contextos de amenaza o de recuperarse después del impacto de un evento físico determinado, la falta de una sociedad organizada y solidaria, la existencia de ideologías fatalistas y la ausencia de educación ambiental adecuada, la ausencia de instituciones u organizaciones que velen por la seguridad ciudadana y que promuevan la reducción y control de riesgo. Todas estas expresiones de la vulnerabilidad y otras, se interrelacionan para producir una serie ilimitada de matrices de vulnerabilidad y riesgo global, escenarios diferenciados en el tiempo, en el espacio y con referencia a grupos, sectores o estratos sociales distintos. (Wilches Chau, 1998).

El riesgo solo puede existir al concurrir una amenaza y determinadas condiciones de vulnerabilidad. El riesgo se crea en la interacción de amenaza con vulnerabilidad, en un espacio y tiempo particular. De hecho, amenazas y vulnerabilidades son mutuamente condicionadas o creadas, no puede existir una amenaza sin la existencia de una sociedad vulnerable y viceversa.

De la misma manera hablar de la existencia de vulnerabilidad o condiciones inseguras de existencia es solamente posible con referencia a la presencia de una amenaza particular. O sea, la amenaza es la posibilidad de ocurrencia de un evento, no el evento en sí, y la vulnerabilidad es la propensión de sufrir daño, no el daño en sí.

Todas las categorías se refieren a una potencialidad o condición futura, aunque su existencia es real como condición latente. El riesgo debe entenderse como la probabilidad que pueda suceder un evento dañino causante de pérdidas y perjuicios sociales, psíquicos, económicos o ambientales.

El riesgo puede tener diversos grados y afectar diversos aspectos. Puede tenerse un alto riesgo de sufrir daños materiales, pero un bajo riesgo de destrucción de la red de apoyo social; Incluso el alto riesgo frente al daño material podría implicar, si es conocido y comprendido, un mejoramiento sustancial en el nivel de riesgo, es decir una reducción de este en relación con los impactos psicosociales que pueda sufrir en un plazo determinado o en el ciclo de la vida un individuo, familia, comunidad, ciudad, país o región. Riesgo es también una ‘apuesta a futuro’, es decir la escogencia de convivir con determinadas condiciones que pueden producir o producen beneficios múltiples y altos, a sabiendas de que podría perderse en un momento, o luego de un período, no solo los beneficios que se obtendrían, sino también parte de lo que se invirtió.

El riesgo, producto de la interrelación de amenazas y vulnerabilidades es, al final de cuentas, una construcción social, dinámica y cambiante, diferenciado en términos territoriales y sociales. Aun cuando los factores que explican su existencia pueden encontrar su origen en distintos procesos

sociales y en distintos territorios, su expresión más nítida es en el nivel micro social y territorial o local. Es en estos niveles que el riesgo se concreta, se mide, se enfrenta y se sufre, al transformarse de una condición latente en una condición de pérdida, crisis o desastre.

Un desastre es el fin de un proceso, a veces muy largo, de construcción de condiciones de riesgo en la sociedad. Esta realización ocurre en el momento en que un determinado evento físico, sea este un huracán, sismo, explosión, incendio, inundación u otro ocurre y con ello muestra las condiciones de vulnerabilidad existentes, revela el riesgo latente y lo convierte en un producto, con consecuencias en términos de pérdidas y daños.

Con el impacto y la generación de las condiciones de desastre automáticamente se conforman otros escenarios de riesgo en las zonas y poblaciones afectadas que difieren sustancialmente de aquellos existentes con anterioridad, aun cuando incorporan elementos y componentes importantes de los mismos. La dinámica y la expresión particular del riesgo existente con anterioridad han sido modificadas y presentaran nuevos desafíos para la sociedad. El riesgo, las amenazas y vulnerabilidades son dinámicas y cambiantes a lo largo del tiempo, y no pueden ser objetos de análisis y de acciones estáticas.

4.2.3 La construcción social del riesgo: procesos sociales y transformación de la sociedad.

Las condiciones inseguras de vida, reflejadas en múltiples contextos particulares asociados con la localización de la población y la producción, son productos de procesos sociales concretos e históricos. (Wilches Chaux, 1998). Entre ellas se pueden indicar las características físicas de las estructuras, la falta de ingresos, la desnutrición y la enfermedad, el desconocimiento del medio ambiente circundante y de su comportamiento, la falta de principios de organización solidaria y procesos de participación en la toma de decisiones que afectan la vida de las personas, las ideologías fatalistas que inmovilizan u obstaculizan la búsqueda de alternativas seguras y las expresiones culturales inadaptadas a las realidades modernas.

De acuerdo con el modelo de vulnerabilidad propuesto por Blaikie et al, estas condiciones son producto de procesos dinámicos que derivan de los modelos dominantes de organización, ordenamiento y transformación de la sociedad, o lo que comúnmente se denominan “estilos” o “modelos” de desarrollo. Los procesos dinámicos se concretan en modalidades particulares de transformación rural, urbanización, crecimiento y distribución poblacional, explotación de los recursos naturales, organización y participación social, acceso y distribución del ingreso, entre otros; Las condiciones inseguras de vida y vulnerabilidades se construyen o se generan como producto de estos procesos dinámicos. El problema de riesgo es entonces, un problema íntimamente relacionado con el desarrollo o la falta del desarrollo. Los desastres son indicadores de insostenibilidad en los procesos de gestión del desarrollo y de gestión ambiental (Cuny, 1983), (Wilches Chaux, 1998) y (Lavell A. , La gestión del riesgo, 1998 -1999).

Ninguna de estas situaciones que fomentan las vulnerabilidades y amenazas son producto del azar o la falta de información y conocimiento. Son construidos por la sociedad en el curso de sus procesos de cambio y transformación.

4.2.4 Riesgo y Territorio

Los desastres tienen una expresión territorial definido que varía entre lo muy local hasta cubrir vastas extensiones de un país o varios países. En el caso de los grandes desastres asociados con eventos como la ola invernal 2010-2011, es interesante verlos no como un sólo desastre sino más bien como un número grande de pequeños o medianos desastres, afectando de forma diferenciada a numerosas comunidades, familias, zonas o sitios, todas relacionadas con el mismo macro fenómeno físico (un huracán, sismo, inundación, etc.), pero mostrando diferencias importantes, producto de la

forma particular en que el evento físico interactúa con la vulnerabilidad local. La vulnerabilidad es diferenciada en el territorio con relación a grupos humanos distintos. (Maskrey, 1998); (Lavell, 2000).

A pesar de que él o los desastres, tienen una circunscripción territorial definida, que puede denominarse el "territorio del impacto" y que el riesgo se manifiesta en esos mismos espacios, los factores causales del riesgo y de desastre, tanto eventos físicos como los componentes distintos de la vulnerabilidad, no tienen necesariamente la misma circunscripción territorial. El "territorio de la causalidad" tiende a diferir sustancialmente muchas veces del territorio del impacto, aun cuando frente a otros factores particulares sí coinciden.

En el caso de las amenazas hacemos referencia a procesos como la deforestación de las altas cuencas de los ríos que contribuyen a las inundaciones en las cuencas bajas, las descargas de las presas río arriba con los mismos efectos, la creación de presas artificiales en las montañas por depósitos de maderas las cuales, al romperse, causan inundaciones repentinas río abajo, o la contaminación industrial de los cauces fluviales con impactos negativos, a muchos kilómetros de la fuente de la contaminación. En el caso de la vulnerabilidad la incidencia de políticas nacionales forjadas en las ciudades capitales o fuera del país, referidas a asuntos como la inversión pública, el manejo ambiental, los estímulos a la producción y la reconversión, la descentralización y el fortalecimiento municipal, los fondos de inversión social, la participación popular, etc., tienen impactos en los ámbitos locales y familiares, lejos de los centros de decisión política.

Una consideración de los niveles territoriales, diferenciados en cuanto a la causalidad y el impacto reviste gran importancia en términos de la gestión de soluciones tendientes a la reducción del riesgo y la vulnerabilidad. Significa una intervención, negociación y decisión política que desborda los niveles locales afectados, llegando a los niveles regionales, nacionales o hasta internacionales. Significa que avances sustantivos en la reducción solamente pueden lograrse considerando un marco territorial amplio y adecuados niveles de coordinación intersectorial. Lo local enfrenta severas limitaciones en lo que se refiere a la reducción del riesgo global y el riesgo de desastre por eventos físicos determinados.

La mayoría de los eventos peligrosos pueden seguirse y predecir su actividad futura, basándose en la frecuencia de sucesos pasados, pautas de su incidencia y tipos de sucesos precursores, siendo por lo general predecibles a partir de una evaluación científica. El sociólogo Ulrich Beck señala que el riesgo es consustancial a las sociedades industriales y post-industriales. La sociedad del riesgo es un estadio de la sociedad moderna (Beck, 2000), en síntesis que el riesgo es el resultado de procesos históricos de modernización donde se observa un incremento de la alarma social. (Calvo, 2003).

4.2.5 Vulnerabilidad.

En 1988, Gustavo Wilches Chaux publica su célebre ensayo "La Vulnerabilidad Global", en el cual distingue diez tipos o niveles de vulnerabilidad, que en su conjunto contribuyen a determinar la propensión de un elemento de la estructura social a sufrir daños y encontrar dificultades en su recuperación o reconstrucción autónoma. Wilches Chaux habla, en ese momento, de la vulnerabilidad localizacional, económica, social, organizacional, institucional, ecológica, educativa, cultural, estructural y política. Cada uno de estos componentes o niveles capta características diferentes, de orígenes distintos, pero con altos grados de interrelación entre sí; lo que nos permiten hablar de la vulnerabilidad global de una comunidad, ciudad, zona, conjunto de edificaciones, etc.

Posteriormente, (Mary Anderson y Peter Woodrow., 1989) publican el libro titulado *Rising from the ashes. Development strategies in times of crisis* (Levantándose de las cenizas. Estrategias de desarrollo en tiempos de crisis), en el que toman el tema de la vulnerabilidad, distinguiendo tres niveles o tipos compuestos: (I) lo social y económico, (II) lo físico y estructural, y (III) lo cultural y político.

A la vez que desarrollan nociones en torno a estos tres niveles y su aplicabilidad en el análisis de entornos sociales y de grupos humanos, abogan por el análisis paralelo de lo que llaman capacidades humanas, las cuales son la antítesis de las vulnerabilidades. Proponen una metodología para el análisis de vulnerabilidades y capacidades que es aplicable de forma sencilla en entornos afectados por crisis, con la intencionalidad de identificar áreas de intervención en aras de la reconstrucción, y oportunidades existentes que favorecen este proceso de forma participativa.

Wisner et al., basándose en ideas desarrolladas particularmente por Terry Cannon, abogan por su uso de forma más restringida en el tema del riesgo de desastre, aplicándose solamente a seres humanos, conjuntos de seres humanos, grupos sociales y sus livelihoods (medios de vida) y de sostenimiento o sustentación, como entes productores y consumidores. Extrapolando las ideas de Wisner et al., los seres humanos son vulnerables en un sentido físico (propensión a la muerte, quedar discapacitado o enfermar) o en el sentido que enfrentan un desafío a su sobrevivencia y desarrollo social y humano (la propensión de sufrir daños y pérdidas en los satisfactores de sus vidas materiales y espirituales, sus fuentes de empleo, la infraestructura y base material de su producción y vidas cotidianas, etc.).

En lugar de entrar al problema por el lado del ser humano o las colectividades humanas tomadas como unidades de análisis, entramos por el lado de aquellas estructuras productivas y sus expresiones territoriales que dan sustento a las vidas de las personas.

La ventaja de restringir la noción de vulnerabilidad a seres humanos y sus livelihoods, es que nos ayuda a recuperar la esencia de por qué los desastres son importantes o significativos; ya que pérdidas y daños no son por sí mismos necesariamente desastres. Lo que define una condición de desastre es la afectación directa o indirecta a seres humanos, y esto se manifiesta en la pérdida de su condición o seguridad física y en la afectación a sus medios sustantivos de vida.

4.2.6 Factores Protectores

Al considerar de forma clasificatoria los distintos factores o componentes explicativos de la vulnerabilidad, Wisner et al., identifican cinco tipos genéricos que al conjugarse e interactuar permitirán entender la vulnerabilidad particular sufrida por un ser humano, una colectividad humana o sus bases de existencia material y económica. Éstos son:

4.2.6.1 Las condiciones de bienestar existente.

Incluye, entre otros, el estatus nutricional, de salud física y mental, moral, de estrés de las personas, los niveles y sentido de seguridad e identidad que poseen las personas.

4.2.6.2 Resiliencia.

Este concepto incluye las bases de la existencia social y económica, incluye entre otros el capital o financiamiento que manejan las personas, sus posesiones materiales, su nivel de desarrollo humano, el capital natural (o sea los recursos naturales de los que se apropian), La resiliencia de las relaciones entre personas y su empleo (su estabilidad en el empleo), la resiliencia de las relaciones entre el patrimonio de las personas y sus flujos de ingresos.

4.2.6.3 Autoprotección.

Incluye, entre otros, los niveles de ingreso individual o familiar y sus excedentes para garantizar la seguridad ambiental, el aseguramiento financiero, etc.; la disponibilidad de materiales adecuados de construcción y conocimientos técnicos para la construcción; la disposición de tomar los pasos necesarios para auto protegerse.

4.2.6.4 La protección social.

Incluye, entre otros, el grado en que gobiernos u otras instancias velan por la seguridad de las personas y sus bases de existencia; las normas y controles institucionalizados por el gobierno y los mecanismos y modos de protección que por su costo y escala, solamente pueden proveerse por gobiernos y otras instancias privadas, económicamente fuertes y socialmente comprometidas.

4.2.6.5 Sociedad civil y ambientes e instituciones participativos.

Incluye, entre otros, el capital social y político de personas, el grado de apertura de los procesos políticos en un país.

5 VARIABLES DE ESTUDIO

A continuación se expone las variables que guiarán el estudio de vulnerabilidad social en el municipio, de acuerdo a WILCHES en su artículo “Vulnerabilidad Global” y por (Thomas y Suavita., 2000) y en consenso con (Lavell A. , Cuadernos de Geografía. (2002). Facultad De Ciencias Humanas, 1993).

Estos autores agrupan en cuatro categorías las variables que, a su parecer, permiten evaluar integralmente la vulnerabilidad.

- Nivel de exposición por localización poblacional (NELP)
- Nivel de exposición por empatía con la amenaza (NEEA)
- Nivel de exposición de infraestructura e instalaciones vitales y críticas (NEIVC)
- Nivel de exposición por organización institucional frente a la amenaza (NEOI)
- Nivel de vulnerabilidad económica (NVE)

5.1 TIPOS DE VULNERABILIDAD

5.1.1 Vulnerabilidad económica

Se refiere al nivel de exposición de una sociedad o grupo frente a la capacidad de recuperarse de un desastre, de forma que pueda garantizar su supervivencia. Se evalúa a nivel familiar dependiendo del nivel de ingresos familiares y estabilidad laboral, número de personas que trabajan y número de personas que compone cada hogar. Información que se puede obtener a través de encuestas, entrevistas, datos estadísticos de información secundaria (SISBEN, CENSOS) siempre y cuando estén discriminado por unidad de análisis: vereda, barrio, comuna etc. Dentro de este tipo de vulnerabilidad se considera importante también la existencia de redes de soporte comunitario y/o familiar, ligado con la vulnerabilidad sociopolítica. Este tipo de vulnerabilidad puede ser considerado a diversas escalas donde se tienen en cuenta problemas estructurales como el desempleo, el desplazamiento, conflicto armado entre otros. Las categorías sugeridas para la vulnerabilidad económica son: alta, media y baja. **Tabla 2.2.**

Tabla 5.1 Categorización de la Vulnerabilidad Económica

Vulnerabilidad	Caracterización
Alta	Cuando la mayor parte de la población no puede garantizar una convivencia digna: consumo mínimo de los requerimientos alimenticios, producto de un bajo, inconstante y variable nivel de ingresos económicos familiares, incrementada cuando el número de personas de en el hogar o en la familia es mayor a cinco y solo una persona puede trabajar; Condiciones que no permiten que la familia acumule “capital de reserva” para imprevistos y al ser una situación generalizada en toda el área, la situación se pone más crítica
Media	Cuando el porcentaje de personas que no garantizan su supervivencia es menor (tal vez 50%) y hay más posibilidades de tener un “ahorro” para imprevistos, pues hay más personas en la capacidad de trabajar y la estabilidad laboral puede ser mayor.
Baja	Cuando la mayoría de las personas pueden satisfacer las necesidades más apremiantes, tienen reservas suficientes e incluso ingresos paralelos, tienen oportunidad de vincularse a empleos más estables y mejor remunerados.

5.1.2 Vulnerabilidad técnica y colectiva

Que es similar a la llamada vulnerabilidad física de (Wilches Op Cit.), y es a la que en general, se refieren los estudios de riesgos. La familiar se refiere al tipo de construcción de vivienda, donde se tienen en cuenta los materiales que se utilizan, calidad de redes de servicios públicos; y la colectiva a la dotación de cada barrio, vereda, municipio o unidad de análisis considerada en cuenta a

cobertura y calidad de redes de servicios públicos, distribución de servicios vitales (Hospitales, servicios de emergencia, albergues etc.) y calidad de las redes de acceso. Como estas variables son materiales, la categorización puede establecerse a partir de porcentajes definidos como lo sugieren a Thomas y Suavita Para la infraestructura colectiva, se realiza una categorización para cada variable, como lo muestra a continuación. **Tabla 5.2.**

Tabla 5.2 Categorización de la vulnerabilidad Técnica y Colectiva

Vulnerabilidad	Servicios públicos	Accesibilidad	Servicios vitales
Alta	La mayor parte de las redes está construida con materiales inadecuados, débiles, y que puedan generar peligros adicionales (caída de postes, ruptura de acueducto, gaseoducto etc.)	La mayor parte de la unidad no posee el sistema vial o de acceso vehicular que permita que organismos de atención acudan oportunamente.	Hay dotación insuficiente de centros de salud, centros educativos y áreas verdes (puntos de encuentro comunitario), que a la vez puedan servir como albergues en caso de emergencias, están localizadas en zona de amenaza y su construcción es inadecuada.
Media	Aunque las redes puedan estar construidas con materiales buenos () se pueden presentar algunas deficiencias localizadas.	Hay un aceptable sistema de acceso en términos de cantidad, pero muchas de estas vías son intransitables en épocas de lluvia.	Es mayor la cantidad de estos servicios, pero la calidad y la cobertura no es la óptima. Aunque estén en zona de amenaza, su construcción es adecuada.
Baja	No hay problema con la calidad de las redes	Posee buena infraestructura de acceso aunque algunas no sean pavimentadas.	La calidad cobertura y capacidad es buena así como su localización

Fuente: UT AVR – CAR, 2014

5.1.3 Vulnerabilidad sociopolítica

Corresponde a una síntesis de las vulnerabilidades social y política de (Wilches Chaux, 1998) Se relaciona al grado de autonomía, que tiene una comunidad para auto gestionar su desarrollo, ligado con el nivel de cohesión interna de la comunidad, su estimación se hace considerando:

- El nivel de organización y participación comunitaria, tanto al interior del barrio, como de su influencia dentro del municipio.
- El nivel de identidad y pertenencia al lugar y las prácticas políticas en el municipio: politiquería, gamonalismo, etc.

Este tipo de vulnerabilidad es muy importante pero su determinación es complicada, por cuanto no es una variables material o fácilmente cuantificable. Las técnicas utilizadas son las entrevistas, talleres, recorridos con los habitantes para identificar tendencias y establecer comparaciones. **Tabla 5.3.**

Tabla 5.3 Caracterización de vulnerabilidad Sociopolítica

Vulnerabilidad	Caracterización
Alta	Poca participación de la comunidad, poco nivel de identificación con la JAC y de influencia en la política municipal, no existen otros comités o asociaciones civiles diferentes
Media	Si bien no hay identidad con la JAC, el sentido de pertenencia convoca a la comunidad en eventos sociales específicos y pueden existir grupos que trabajan por los problemas locales.
Baja	Existe una relativa representatividad de la JAC, la comunidad participa activamente en eventos sociales para mejorar la infraestructura y representan un gran “gancho” político para la administración.

Fuente: UT AVR – CAR, 2014

5.1.4 Vulnerabilidad institucional

Se refiere al grado de preparación de las instituciones y a las imágenes (o construcciones mentales) que estas crean sobre los riesgos y las comunidades afectadas; pero al mismo tiempo, al grado de aprehensión estatal; es decir como los pobladores ven la acción de la administración. Se tiene en cuenta: las entidades que conforman el Comité Local de Emergencias, la existencia o no de planes específicos para las zonas amenazadas y con población vulnerable, y la forma en que la administración concibe los riesgos.

Aunque la información sobre las instituciones y los planes puede adquirirse con la administración, la metodología considera que para este tipo de vulnerabilidad es importante confrontar mediante entrevistas con la comunidad y los funcionarios; la finalidad realizar planes y programas gubernamentales para desarrollar actividades de prevención, contingencia, mitigación.

5.1.5 Vulnerabilidad por Empatía con la Amenaza

Se refiere a si existe una coexistencia consciente con la amenaza o no. Para ello se plantean básicamente dos variables: conocimiento del funcionamiento natural de los eventos y percepción frente a la amenaza de acuerdo a: distancia, memoria histórica, razones para el tipo de construcción. (Thomas y Suvita Op Cit.) Proponen la determinación de esta a partir del porcentaje de pobladores que conocen y perciben la amenaza en una unidad de estudio.

Finalmente, la metodología planteada busca establecer un conjunto de procedimientos que den cuenta de la realidad “objetiva” y “subjetiva” de las familias que habitan en zonas de alto riesgo en el municipio.

5.2 PERCEPCIÓN DEL RIESGO

Del mismo modo, La percepción hace parte del análisis de vulnerabilidad, entendiendo por percepción, la forma en que los individuos construyen imágenes de su entorno y que pueden o no aumentar la vulnerabilidad, pero que también ayuda a evaluar parcialmente el grado de organización comunitaria. La percepción se toma en cuenta como variable que permite estimar consideraciones intangibles sobre la forma como los individuos se relacionan con su entorno, como lo significan.

Para comprender las causas de algunos comportamientos de riesgo y la razón por la que algunas intervenciones son más aceptables y eficaces que otras hay que considerar tanto los riesgos como los beneficios. Es primordial además, prestar atención a los factores sociales, culturales y económicos para saber cómo percibe y comprende una persona los riesgos que corre. Análogamente, los factores estructurales pueden influir en la adopción de una u otra política de control de un riesgo dado y en el impacto final de las intervenciones destinadas a prevenir los factores de riesgo. La prevención de los riesgos deberá planificarse en el contexto de la sociedad local.

La definición propuesta por (Pidgeon et al, 1992) en la segunda revisión de la Royal Society sobre este campo de estudio, resulta precisa. A la luz de esta definición, enfoque que esta tesis comparte y defiende, el estudio de la percepción del riesgo desde la perspectiva de las ciencias sociales supone el estudio de las creencias, actitudes, juicios y sentimientos, así como el de los valores y disposiciones sociales y culturales más amplios que las personas adoptan frente a las fuentes de peligro.

(Puy, 1995), considera que la mayoría de los estudios desarrollados sobre la percepción del riesgo, adolecen de un interés real por incorporar a los modelos de percepción del riesgo factores de tipo social, cultural y/o contextual. Los primeros acercamientos a este campo de estudio asumían, según la autora, que la percepción del riesgo se podía entender como una mera percepción física de estímulos "objetivos", sólo recientemente se ha venido a considerar el riesgo como una construcción

social, de ahí que, si tanto el contenido como el proceso de esa percepción son de naturaleza social, de lo que se trata no es de una simple percepción física, sino de una percepción social.

Los resultados y conclusiones de los trabajos abordados por (Puy, 1995) sirven para poner de relieve el alto grado de subjetividad de los juicios sobre el riesgo, y la tremenda complejidad de un fenómeno que puede ser en parte explicado por las características de los riesgos, pero no de forma exclusiva, sino que también está vinculado a las características socioculturales del sujeto que "percibe", y del contexto en el que se producen y expresan esos juicios perceptivos.

Se admite por lo general que antes de interpretar los riesgos y de planear cualquier tipo de comunicación o intervención, deben comprenderse bien las percepciones básicas de la gente y sus marcos de referencia. No se puede dar por supuesto que el público general piensa en los términos y con las categorías mentales adoptados sistemáticamente por los profesionales y otros expertos en riesgos. Aunque evidente, éste es un error común al formular estrategias de intervención. La línea divisoria entre "los expertos" y "el público" no es tan nítida como puede parecer a primera vista. El público general se compone de diferentes segmentos y cada uno de esos segmentos puede tener percepciones y marcos de referencia válidos y diferentes para riesgos similares.

CAPITULO IV. INUNDACIONES

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento presenta la metodología que se seguirá para el desarrollo del estudio de riesgo por inundación en 24 municipios de la jurisdicción del CAR.

De acuerdo con la ley 1523 de 2012 El Plan de Gestión del Riesgo es el instrumento mediante el cual el municipio prioriza, formula, programa y hace seguimiento a la ejecución de las acciones que concretan los procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y de manejo de desastres, de forma articulada con los demás instrumentos de planeación municipal como: plan de ordenamiento territorial, plan de desarrollo, agendas ambientales, planes de acción de las diferentes entidades, instituciones y organizaciones que con su misión contribuyen al desarrollo social y económico del municipio.

De acuerdo a lo anterior el desarrollo del presente estudio no pretende definir obras específicas, o comportamientos de los cuerpos de agua de una manera detallada, ni define con detalle los niveles de inundación de un sitio específico, se entiende que se desarrollará un estudio general de zonificación, a partir del cual se pueden definir acciones a tomar que para cada caso específico se tendrá que desarrollar un estudio de precisión más detallado para conocer el alcance de las obras. El estudio comprende tres fases:

- Definición de amenaza.
- Definición de Vulnerabilidad física.
- Riesgo asociado a estos dos componentes como resultado de su multiplicación.

Para la definición de la escala se seguirá la norma, la evaluación normalmente requiere el uso de información, modelos de análisis y procedimientos técnicos, que en relación con la amenaza varían según el fenómeno (inundación, sismo, incendio, etc.) y en la vulnerabilidad según el tipo de elementos en riesgo (población, vivienda, puentes, bosques, etc.) y sus factores (sociales, económicos, organizacionales, etc.). Igualmente, los modelos y procedimientos requeridos varían según el nivel de detalle de la evaluación, o sea el detalle con el que se levanta y se procesa la información. El nivel de detalle de las evaluaciones de riesgos normalmente se señala por la escala de la cartografía utilizada para registrar y procesar la información de campo; se conoce como escala de trabajo.

La selección de la escala de trabajo con que se hace la evaluación de riesgos depende principalmente del tipo y costo de las decisiones que se espera adoptar. Por ejemplo, el nivel de detalle que se requiere para una zonificación de amenazas y riesgo destinada a la reglamentación del uso del suelo no es suficiente para decidir sobre el reasentamiento de familias en riesgo y mucho menos sobre la construcción de obras.

Si ha definido para este estudio escala de trabajo 1:25.000 para sectores rurales y 1:2.000 para zonas urbanas.

2 ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA

Para la zonificación de la amenaza se utilizará la cartografía suministrada por la corporación, esta se encuentra en escala 1:25.000. Para las zonas urbanas se mejorará el detalle mediante la restitución cartografía por medio de fotointerpretación, alcanzando un detalle 1:2000.

2.1 FORMATO DE TRABAJO.

El formato para el desarrollo del estudio será raster, se generarán píxeles de 15x15, a partir de la cartografía general cuyo detalle en la zona urbana será mejorado por medio de fotointerpretación.

2.1.1 Zonificación de Amenaza por precipitación.

La primera zonificación que se desarrollará será la amenaza por precipitación, se analizará la precipitación máxima en 24 horas, se obtendrá el promedio de este valor para un periodo continuo de como mínimo 10 años. Se obtendrá la diferencia entre los valores extremos en la zona y se obtendrán tres niveles, identificando zonificación alta, media y baja.

2.1.1.1 Análisis de consistencia de datos.

Para cada estación en estudio se adelantará una consistencia de datos y una selección a nivel anual de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la siguiente manera:

- Se observarán los datos de los años con registros completos.
- De estos datos se seleccionará el registro más bajo como referencia.
- Se ingresaran en el promedio los datos mayores al dato de referencia así no se tengan registros en algún mes.

Una vez seleccionados los datos se procederá a hacer un análisis de distribución, se hará una prueba de bondad de ajuste por Smirnov Kolmogorov, determinado las variaciones teóricas y comparándolas con las tabulares, se proponen distribuciones normal, Gumbel y log Gumbel, la de mejor ajuste se utilizará para las proyecciones necesarias.

Una vez realizado este proceso se procede a generar un mapa continuo correspondiente a riesgo por precipitación, e generará píxeles de 10x10 metros.

2.1.2 Zonificación por niveles de fuentes hídricas.

La zonificación de la amenaza por niveles de las fuentes hídrica se realizará por periodos de retorno así; amenaza alta niveles alcanzados para un T_r 12.5 años, amenaza media para un T_r entre 12.5 años y 50 años y amenaza baja para T_r mayores a 50 años.

2.1.2.1 Estimación de los niveles

a) Fuentes con instrumentación de niveles (Estación Limnimétrica).

Para estas fuentes, se adelantará un análisis estadístico de niveles, se desarrollará el análisis de consistencia de datos explicado en el punto anterior. Luego teniendo en cuenta las características topográficas se zonificará la amenaza con el criterio de periodos de retorno.

b) Fuentes sin instrumentación de niveles.

Para la zonificación de estas fuentes se desarrollaran modelos precipitación escorrentía, aquí se empleará software hec Geo Ras y modelo hidrológico por método de la SCS, aquí se utilizarán las curva número desarrolladas para la car en formato raster.

En esta metodología, para elaborar los mapas de peligro por inundación se considera que debe cumplirse una serie de requerimientos de programas de cómputo e insumos informáticos:

- ArcGIS 10.0 ó mayor
- Spatial Analyst 10.0 ó mayor
- Hydrology Modelling (Extensión)
- Xtools Pro for ArcGIS2.2.0 ó mayor
- Modelos Digitales del Terreno3 (MDT)

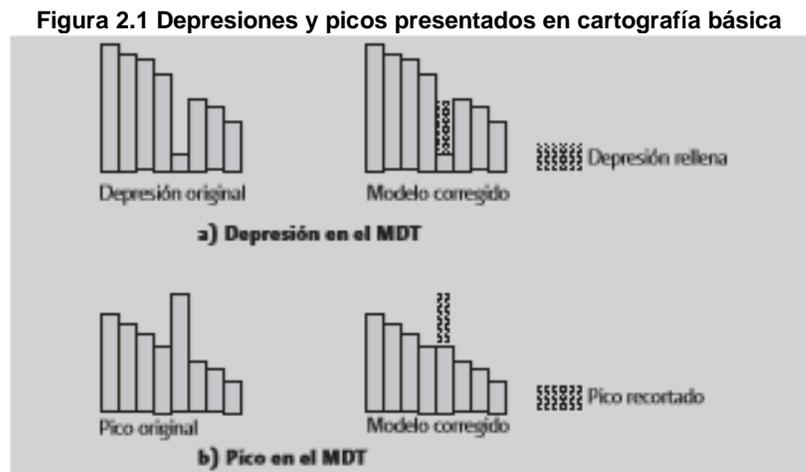
Para iniciar el análisis, debe iniciarse el programa ArcGIS para cargar los MDT que sean necesarios para cubrir el área correspondiente a la cuenca hidrológica que drena hacia el sitio de interés, el cual puede ser una población.

La calidad de los resultados dependerá de la calidad del modelo digital de elevación, para las zonas urbanas se complementará el detalle en cuervas de nivel mediante restitución de fotografías aéreas.

2.1.2.2 Identificación de depresiones.

Uno de los principales problemas al usar MDT es la calidad de los datos, sobre todo en zonas planas, debido a que pequeñas variaciones en la elevación del terreno pueden generar cambios significativos en el análisis hidrológico. Una depresión o foso se define como aquella celda cuyos vecinos tienen una elevación mayor a la propia, como se muestra en la **Figura 2.1** por lo tanto, las depresiones tienen vecinos que apuntan en dirección a ellas, mientras que un pico es el caso contrario, es decir, vecinos con elevaciones menores o iguales a los de ellas. En caso de pasar por alto esta situación, es posible que la red de drenaje generada sea defectuosa, por lo que es importante que primero se corrija, usando la herramienta llenado de depresiones.

Para solucionar el problema anterior, se usa la herramienta llamada Hydrology Modelling Sample Extensión, la cual define las principales variables del análisis hidrológico.



Fuente: Manual ArcGis

A pesar que se hará un ejercicio de generación de cuencas y drenajes de manera automática, se utilizará las cuencas definidas por la CAR y suministradas con formato shape.

2.2 CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS DE LAS CUENCAS.

Para cada cuenca se calcularán los parámetros morfométricos que servirán para obtener los tiempos de concentración y posteriores cálculos.

2.3 CÁLCULOS DE CAUDALES.

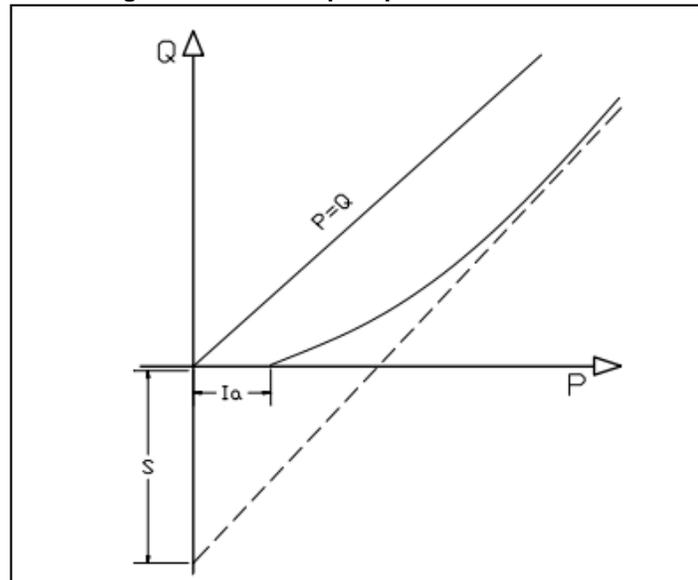
Se utilizará la metodología del Hidrograma unitario de la SCS.

Este método, desarrollado por el SCS, también llamado del “número de curva” consta de dos partes. En la primera de ellas se hace una estimación del volumen de escorrentía resultante de una precipitación - escurrimiento directo, en la segunda se determina el tiempo de distribución del escurrimiento, incluyendo el caudal de punta.

La estimación del escurrimiento correspondiente a una lluvia, se hace con el siguiente procedimiento:

Los datos de lluvia generalmente disponibles son los totales medidos en pluviómetros y para tales datos se ha desarrollado la relación lluvia - escorrentía. Esos datos son los totales de una o más tormentas que ocurren en un día del calendario, y nada se sabe acerca de su distribución en el tiempo, por eso es que la relación excluye al tiempo como la variable explícita. Relacionando el escurrimiento con la lluvia se obtiene generalmente una relación como la que indica la **Figura 2.2**.

Figura 2.2 Relación precipitación escorrentía.



Fuente: SCS

Para precipitaciones (P) menores que I_{α} , no tiene lugar el escurrimiento superficial (Q). I_{α} consiste principalmente en pérdidas por interceptación, almacenamiento en depresiones e infiltración, antes de que se produzca el escurrimiento.

Para cantidad de lluvia en aumento, la curva Q en relación con P se aproxima asintóticamente a una línea recta paralela (S) se llama retención potencial máxima, que es la máxima cantidad de lluvia que la cuenca puede absorber. Como hay muchas curvas que cumplen la condición de pasar por el punto (I_{α}, Q) y aproximarse asintóticamente a $Q = P - S$, se necesita definir otra condición para establecer la forma de la curva.

Esto se hace estableciendo que la relación entre la retención real ($P - I_{\alpha} - Q$), y la retención potencial máxima (S) es igual a la relación entre la escorrentía real (Q) y la escorrentía potencial máxima ($P - I_{\alpha}$):

$$\frac{P - I_a - Q}{S} = \frac{Q}{P - I_a}$$

La experiencia práctica ha demostrado que I_a es aproximadamente el 20% de la retención potencial máxima, así $I_a = 0.2 S$, por lo que la ecuación de escurrimiento puede escribirse como:

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

El valor de S (en pulgadas) se relaciona con el número de curva de escurrimiento (CN) por la definición:

$$CN = \frac{1000}{10 + S}$$

De lo cual se deduce que para zonas pavimentadas S será igual 0 y CN = 100, mientras que las condiciones en que no se produce escurrimiento superficial S se hace infinito y CN = 0.

Para determinar el volumen de escurrimiento, debe hacerse una estimación del valor de CN, el cual depende de características de la cuenca tales como uso de la tierra, condiciones del suelo y condiciones de humedad de la cuenca en el momento de ocurrir, la precipitación. La CAR cuenta con estas curvas para la jurisdicción, estos valores serán implementados en este proceso.

Se conocen y aceptan tres clases de condiciones de humedad antecedentes para una cuenca, según el SCS, como se muestra en cuadro siguiente:

Tabla 2.1 Condiciones de humedad

Clases de condiciones de humedad antecedentes	Lluvia total de los 5 días anteriores (milímetros)	
	Estación sin desarrollo vegetativo	Estación de crecimiento vegetativo
I	Menos de 12,7mm	Menos de 35,6mm
II	12,7 a 27,9mm	35,6 a 53,3mm
III	Más de 27mm	Más de 53,3mm

Fuente: SCS

Los grupos hidrológicos de suelo se clasifican según su capacidad para transmitir agua (infiltración): el grupo A tiene una intensidad alta de transmisión de agua, el grupo B moderada, el C lenta, y el D muy lenta.

Con ayuda de la **Tabla 2.1** y de datos experimentales de la cuenca, el número de curva para humedad precedente Clase II puede estimarse para un punto particular o para toda la cuenca de drenaje y así, utilizando se obtiene la cantidad de escurrimiento correspondiente a una cantidad de lluvia dada.

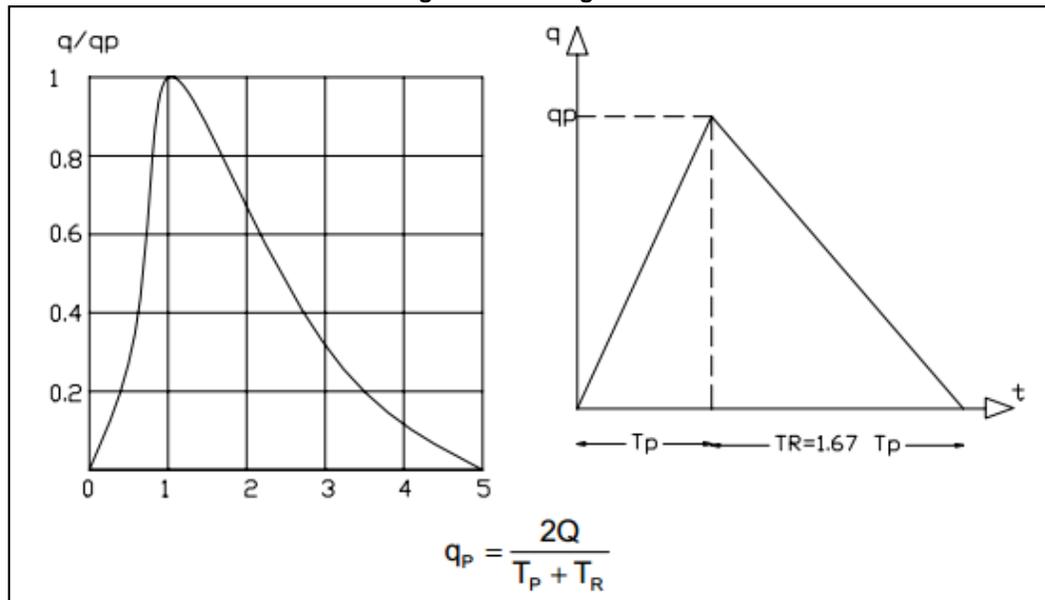
Luego, con la utilización de la pueden transformarse los valores de CN de humedad precedente del suelo de Clase II a humedad precedente de suelo de Clase I o III, para los casos en que ello resulte necesario.

Para la distribución en el tiempo de la escurrimiento, se procede así: se hace uso del hidrograma unitario adimensional desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos cuya forma está

predeterminada. La escala de tiempo del hidrograma se expresa en unidades del período de ascenso (T_p) del mismo y los caudales de escurrimiento se expresan en unidades del caudal de escurrimiento de punta (q_p).

Para convertir las ordenadas adimensionales del hidrograma en valores reales, debe conocerse el período de elevación (T_p) y el caudal pico o de punta (q_p). Este último se obtiene utilizando la relación obtenida del hidrograma triangular sintético, como se muestra en el paso siguiente:

Figura 2.3 Hidrogramas



Fuente: SCS

Donde, q_p = caudal pico o de punta; Q = volumen de escurrimiento directo (mm); T_p = período de elevación o tiempo hasta el caudal pico; T_R = tiempo desde el caudal pico hasta el final del escurrimiento directo - recesión.

Analizando un gran número de hidrogramas se encontró que en general se verifica ($T_R = 1,67 T_p$), de manera que si se lo introduce en la ecuación anterior, queda:

$$q_p = 0.75 \frac{Q}{T_p}$$

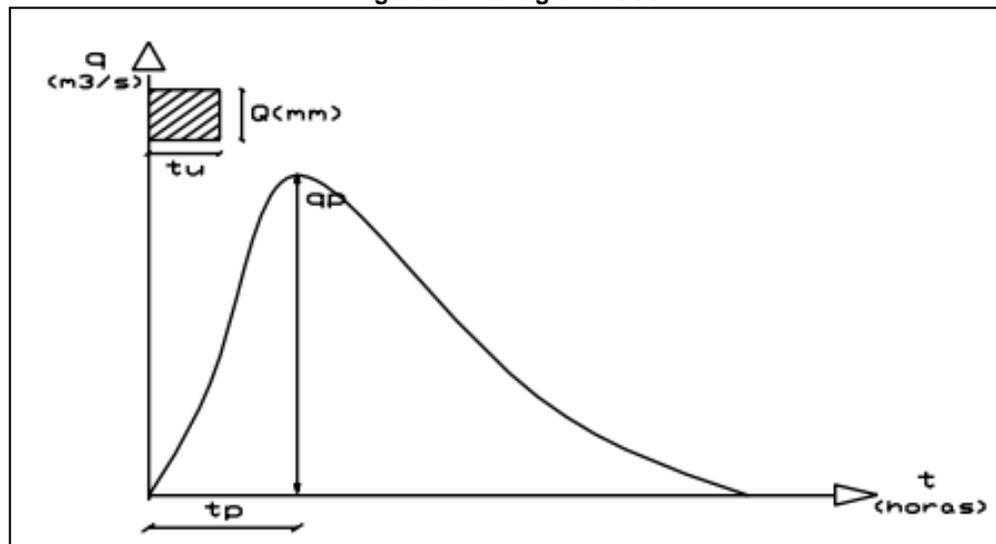
Introduciendo el área de aporte en Km², de manera de llevar el valor puntual a un valor representativo para toda la cuenca, el escurrimiento directo en mm, el tiempo de elevación en horas, el caudal de punta queda expresado en m³/s, de la siguiente forma:

$$q_p = 0,208 \frac{A \times Q}{T_p} (m^3 / s)$$

Dentro, de esta metodología, se toma normalmente como período de tiempo unitario $t_u = t_p/4$. El periodo de elevación puede estimarse a partir del tiempo de concentración, según la relación empírica $t_p = 0.70 \times t_c$, mientras que el tiempo de concentración se propone calcularlo por formulaciones empíricas.

Con todos los valores ya calculados, se gráfica finalmente el hidrograma de escurrimiento directo producido por la tormenta dato, quedando una representación como la siguiente:

Figura 2.4 Hidrograma SCS



Teniendo en cuenta que no se realizarán aforos en las zonas de estudio, se realizará un proceso de optimización y/o calibración y verificación con la información de estaciones que se cuente a nivel de cuenca.

2.3.1 Calibración del modelo

Para la calibración del modelo es necesario tener datos de caudal y datos de precipitación para la misma fecha, como esta situación no la tendremos, lo que se hará es una optimización de los parámetros de cálculo, para este caso específico, el tiempo de concentración.

La optimización se realizará a nivel de cuenca, esto donde se encuentre registros, para ello se utilizará las estaciones limnimétricas, la más cercana a este del municipio de interés.

El procedimiento es el siguiente:

Definir el área hasta el sitio de la estación limnimétrica seleccionada. Esto se realizó con la herramienta de acumulación definiendo el área hasta este punto.

Se aplica la fórmula de transposición de caudales propuesta en el manual de drenaje de INVIAS, aquí se menciona que se pueden transferir caudales máximos instantáneos anuales de diferentes periodos de retorno de esta estación hasta el sitio de proyecto, mediante relaciones de áreas de drenaje, así:

$$Q_{SP} = Q_{EH} \times (A_{SP} / A_{EH})^X$$

Q_{SP} = Caudal en el sitio del proyecto (m³/seg).

Q_{EH} = Caudal en la estación (m³/seg).

A_{SP} = Área hasta el sitio del proyecto. (km²)

A_{EH} = Área hasta la estación. (km²)

El exponente x es un valor que fluctúa usualmente entre 0.5 y 0.75. A falta de datos de investigación, se acostumbra tomar un valor igual a 0.5

2.4 GENERACIÓN DE NIVELES.

Los programas empleados en esta parte de la metodología han sido seleccionados debido a su facilidad de uso y, aunque es software libre, cuentan con un buen soporte técnico. El modelo hidráulico propuesto para ser usado es HecRas, propuesto por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos debido a que:

- Es un modelo ampliamente reconocido y por ende está validado
- Es público, lo que significa que no tiene ningún costo.
- Pese a que es un modelo unidimensional, en la mayoría de los casos esta hipótesis no tiene mayores repercusiones

A continuación se presentan los requerimientos para esta parte de la metodología:

- ArcGis 10.0 ó mayor
- HecRas 4.1. ó mayor
- Spatial Analyst
- Hec GeoRAS4.1 (Extensión)
- Hydrology Modelling (Extensión)
- Modelos Digitales del Terreno (MDT)
- Xtools Pro for ArcGIS.

De manera general el uso de la herramienta Hec GeoRAS se resume así:

- Extracción desde un SIG de los datos básicos
- Importación de los resultados obtenidos en HecRas para su interpretación en ArcGIS.

Hec Ras.

- El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis de flujo permanente unidimensional gradualmente variado en l
- Permanente unidimensional gradualmente variado en lámina libre de agua para distintos gastos circulantes.
- Se introducirá información de flujo permanente, con el caudal para diferentes periodos de retorno variándolo de acuerdo a las cuencas aportantes.
- Condiciones de contorno.
- Se analizará la información existente y se seleccionará la condición teniendo en cuenta la disponibilidad de información:
- Nivel de agua conocido. (Known W.S)
- Profundidad crítica. Si existe una sección de control,
- Profundidad Normal. Donde el flujo se aproxime a uniforme. Se requiere la pendiente del tramo de influencia.
- Curva de gasto. Adecuado si se tiene estación donde se pueda hacer la relación altura – caudal.

3 VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad que aquí se analiza se refiere a vulnerabilidad física, y corresponde al análisis de las viviendas en la localidad de estudio para conocer qué tan susceptibles son a las inundaciones.

3.1 TIPOLOGÍA DE LA VIVIENDA

Los materiales usados para la construcción de una vivienda representan una variable muy importante en la estimación de la vulnerabilidad de ésta. Por ello, primero se enlistan los diferentes tipos de materiales que se utilizan en el sector y, posteriormente, las combinaciones que resultan entre los materiales de construcción usados en los muros o en el techo de la vivienda serán tipificadas y evaluadas en función de su comportamiento ante una inundación.

De acuerdo con las características generales los posibles materiales usados para muros son 8, y de techo 6, estos se resumen en las siguientes tablas:

Tabla 3.1 Materiales de vivienda.

Tipo	Material	Tipo	Material
M1	Material de desecho	T1	Material de desecho
M2	Lámina de cartón	T2	Lámina de cartón
M3	Lámina de asbesto o metálica	T3	Lamina de asbesto o metálica
M4	Bambú o palma	T4	Palma o madera
M5	Bareque		
M6	Madera	T5	Teja
M7	Adobe		
M8	Ladrillo, Cemento, Concreto	T6	Concreto

Fuente: INGEOMINAS 2011

Para obtener esta información se definieron unos formatos para el registro (**Figura 3.1**), las personas que registraran la información recibirán un GPS, flexómetro, cámara y plano.

En la **Figura 3.2** se muestra el formato de registro en el cual se consignaran las coordenadas, la dirección y el nivel registrado.

Una vez recolectada la información se clasificará el tipo de vivienda en grupos de acuerdo a su combinación de techos y muros.

Figura 3.3 Cuadro de combinaciones

		M U R O S							
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
T E C H O	T1	1	X	X	X	X	X	X	X
	T2	X	2	4	5	7	10	12	16
	T3	X	3	X	6	8	11	13	17
	T4	X	X	X	X	9	X	14	18
	T5	X	X	X	X	X	X	15	19
	T6	X	X	X	X	X	X	X	20

Fuente: UT AVR CAR., 2014

.Las diferentes combinaciones se agrupan en cuatro grupos de la siguiente manera:

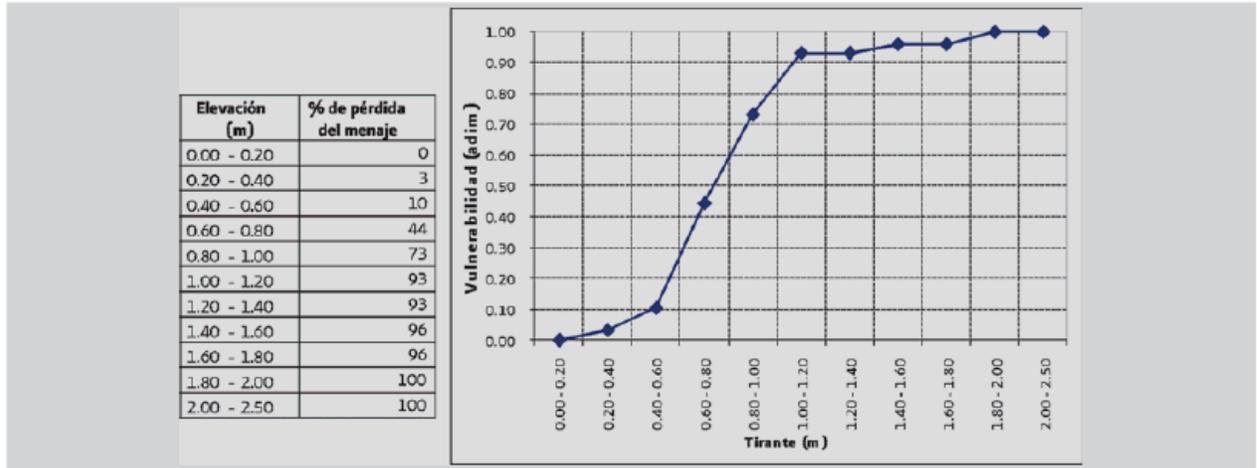
Figura 3.4 Agrupaciones de tipo de vivienda.

1	I	Vivienda con muros y techo de material de desecho
2	I	Vivienda con muros y techo de lámina de cartón
3	I	Vivienda con muros de lámina de cartón y techo de lámina de asbesto o metálica
4	II	Vivienda con muros de lámina de asbesto o metálica y techo de lámina de cartón
5	II	Vivienda con muros de carrizo, bambú o palma y techo de lámina de cartón
6	II	Vivienda con muros de carrizo, bambú o palma y techo de lámina de asbesto o metálica
7	II	Vivienda con muros de embarro o bajareque y techo de lámina de cartón
8	II	Vivienda con muros de embarro o bajareque y techo de lámina de asbesto o metálica
9	II	Vivienda con muros de embarro o bajareque y techo de palma, tejamanil o madera
10	II	Vivienda con muros de madera y techo de lámina de cartón
11	III	Vivienda con muros de madera y techo de lámina de asbesto o metálica
12	II	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de cartón
13	III	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de asbesto o metálica
14	III	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de palma, tejamanil o madera
15	III	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de teja
16	II	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de lámina de cartón
17	III	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de lámina de asbesto o metálica
18	III	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de palma, tejamanil o madera
19	III	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de teja
20	IV	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de losa de concreto, tabique, ladrillo o terrado con vigería

Fuente: UT AVR CAR., 2014

Ya con el grupo de vivienda se obtiene la vulnerabilidad por manzanas de acuerdo a las curvas establecidas por Marco Antonio Salas Salinas, director de riesgos por inundación estado federal de México.

Figura 3.5 Curva vulnerabilidad para viviendas tipo I



Fuente: Marco Antonio Salas Salinas.

4 GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO

Teniendo en cuenta que se ha trabajado en formato raster, se cruzarán los mapas de amenaza y vulnerabilidad obteniendo así el producto final de mapa de riesgo.

CAPITULO V. INCENDIOS FORESTALES

1 INTRODUCCIÓN

En Colombia como en otros países del trópico, los incendios forestales hacen parte de una problemática que ha alterado los ciclos naturales afectando el potencial de producción de bienes y servicios ecosistémicos; según Parra (2011), los incendios y conatos de incendios son temas muy comunes debido al aumento de los registros dados por su incremento en frecuencia y área afectada, así como en los impactos generados.

Según Bianchini *et al.* (2006) determinar el comportamiento de un incendio y aquellas regiones donde el inicio de combustión es más factible, depende de diversos factores tales como la vegetación (tipo, contenido de humedad), la topografía (pendiente, relieve, altitud, exposición), el tiempo atmosférico (temperatura, viento, humedad, precipitación), el uso de la tierra, la red vial y las poblaciones cercanas, por tal razón el análisis en conjunto resulta ser difícilmente evaluado.

Por tal razón, tanto a nivel internacional como nacional se han desarrollado documentos que han buscado sintetizar y generar las pautas necesarias para la elaboración de mapas de riesgo por incendio forestal que han servido para la construcción de planes de contingencia en los departamentos y municipios de todo el país. Tal es el caso de los Departamentos de Caldas, Cesar, Quindío y Tolima, donde las Corporaciones Autónomas Regionales (CORPOCALDAS, CORPOCESAR, CRQ y CORTOLIMA, respectivamente) han generado documentos¹ con importantes aportes para la zonificación del riesgo por incendios forestales.

En el año 2008 el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) actualmente Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) en asociación con la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF), presentaron la “*Guía para la formulación de planes de contingencia en incendios forestales*” que sirvió como base para la elaboración del “*Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal, escala 1:100.000*” en el año 2011 por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Estos documentos enmarcan los principales aspectos metodológicos que se han seguido en la elaboración de mapas de riesgo por incendios forestales en el país a gran escala.

Pese a esto, en Bogotá D.C. se han realizado estudios más específicos para determinar el riesgo por incendio forestal (principalmente en los Cerros Orientales de la ciudad donde resultan ser más recurrentes) de los cuales se destaca el documento “*Zonificación de riesgo por incendio forestal y diseño de medias preventivas y operativas para los Cerros Orientales de Bogotá*” realizada por el Fondo de Prevención y Atención de emergencias de Bogotá -FOPAE- en febrero del año 2010, del cual se consideraron diferentes aspectos que permitieron aumentar el nivel de detalle para la elaboración de los mapas de riesgo a escala 1:25.000 del presente estudio.

La amplia revisión bibliográfica realizada para el estudio, permitió identificar documentos de talla internacional principalmente de países como México, España y Uruguay los cuales aportaron aspectos conceptuales, metodológicos y de análisis que se relacionan a lo largo del documento y que permiten entender de forma más específica el comportamiento del fuego según el material

¹**CORPOCALDAS. 2009.** *Plan de Prevención, Mitigación y Contingencias de Incendios Forestales del Departamento de Caldas.* Corporación Autónoma Regional de Caldas. **132**

CORPOCESAR. 2011. *Mapa de Riesgo por Incendios Forestales en el Departamento del Cesar.* Cesar : Corporación Autónoma Regional del Cesar e INGCORMAP LTDA.

CRQ – CONIF. 2011. *Plan de ordenación forestal del Quindío.* Corporación Autónoma Regional del Quindío y Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal.

CORTOLIMA. 2011. *Plan de contingencia para incendios forestales municipio de Ibagué - Tolima.* Cuerpo Oficial de Bomberos de Ibagué – Corporación Autónoma Regional del Tolima.



combustible, las condiciones climáticas, el relieve, las ocurrencias históricas y los criterios de accesibilidad.

Los anteriores factores evalúan la amenaza que luego de identificar los elementos vulnerables permite determinar los diferentes escenarios de riesgo que, posteriormente, harán parte de los planes de contingencia para la prevención control y mitigación de incendios en los municipios. Finalmente, a partir de la revisión de los documentos anteriormente mencionados, se realizó la identificación, evaluación y espacialización de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo por incendios forestales en los municipios priorizados de la jurisdicción CAR, siguiendo la metodología que se describe en el presente documento..

2 OBJETIVOS

2.1 GENERAL

Describir la metodología propuesta para la elaboración del estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por incendios forestales a escala 1:25.000, en los municipios priorizados de la jurisdicción CAR.

2.2 ESPECÍFICOS

- Presentar las principales leyes y normas bajo las cuales se rige la gestión del riesgo por incendios forestales a nivel nacional.
- Desarrollar el marco conceptual sobre el cual se fundamentará la elaboración del mapa de riesgo por incendios forestales.
- Describir la metodología desarrollada por el IDEAM (2011), para la zonificación del riesgo por incendios forestales, ajustada a la escala de trabajo según la disponibilidad de información y otras metodologías consultadas.

3 GENERALIDADES

3.1 MARCO LEGAL

En materia de incendios forestales, a lo largo de los años se han creado diferentes normas nacionales e internacionales que rigen y direccionan las acciones frente a este tipo de eventos (Tabla 3.1). En la actualidad las Corporaciones Autónomas Regionales en cumplimiento de sus funciones, siguen lo establecido por la Ley 1523 del 2012, donde aparecen como los entes encargados de verificar el cumplimiento de la inclusión de la gestión del riesgo en los Planes de Ordenamiento Territorial de los municipios bajo su jurisdicción.

Tabla 3.1. Marco legal que rige los aspectos relacionados con el riesgo por Incendios Forestales.

MARCO LEGAL		DESCRIPCIÓN
Directrices Internacionales	OIMT, 1997.	“Directrices sobre el manejo de incendios en los bosques tropicales” Organización Internacional de Maderas Tropicales.
	FAO, 2007.	“Directrices de carácter voluntario para el manejo del fuego” Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
Leyes nacionales	Ley 57 de 1887	“Código Civil”: en sus Artículos 2038 y 2341 obligan a la protección contra los incendios forestales, mediante la conservación de los árboles y bosques.
	Ley 46 de 1988	Crea y organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.
	Ley 99 de 1993	Crea el Ministerio del Medio Ambiente y se organiza el sistema nacional ambiental “SINA”.
	Ley 599 del 2000	“Código Penal”: Artículo 189 modificado por el artículo 14 de la Ley 491 de 1999 tipifica al incendio forestal como un delito ecológico.
	Ley 1021 de 2006	Establece que se debe adoptar el Plan Nacional de Prevención, Control de Incendios Forestales y Restauración de áreas afectadas.
	Ley 1523 de 2012	Adopta la “Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres”, se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.
Decretos Nacionales	Decreto 919 de 1989	Organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, y considera que los Planes de Desarrollo de todas las entidades territoriales deben incorporar el componente de prevención de desastres.
	Decreto 2340 de 1997	Por el cual se dictan medidas para la organización en materia de prevención y mitigación de incendios forestales y se dictan otras disposiciones.
	Decreto 93 de 1998	Por el cual se adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres en Colombia.
	Decreto 903 de 1998	Instaura la responsabilidad del Ministerio del Medio Ambiente de establecer las condiciones técnicas para la ejecución de quemas con el fin de controlar el riesgo de incendios forestales y emisiones atmosféricas.
	Decreto 291 de 2004	Establece las funciones de la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental, las relacionadas con coberturas vegetales e incendios.

Fuente: Revisión Bibliográfica.

Las leyes y decretos presentados, constituyen la base para la gestión del riesgo por incendios forestales a nivel nacional a partir de las cuales se definen los lineamientos, las instituciones y acciones a seguir.

4 MARCO CONCEPTUAL

La unificación de los criterios relacionados con los incendios forestales requiere de una amplia revisión y análisis de información consignada en un sin número de documentos que explican este fenómeno, pese a esto, a continuación se presentan algunas de las definiciones más acertadas y sobre las cuales se desarrollará el presente estudio.

4.1 GESTIÓN DEL RIESGO

Con el propósito de contribuir al desarrollo sostenible y la seguridad, bienestar y calidad de vida de las personas, la gestión del riesgo en incendios forestales hace referencia al proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas para el conocimiento, la reducción, el control y restauración de áreas afectadas por este riesgo (Ley 1523, 2012).

Según el MAVDT & CONIF (2008), la gestión del riesgo es un eje transversal e integrador que involucra la prevención, la mitigación de desastres, la respuesta a la emergencia, la rehabilitación y la reconstrucción, concentrándose en el antes del fenómeno natural extremo.

4.1.1 Amenaza

Es el factor de riesgo externo expresado como la probabilidad de que se presente un fenómeno con intensidad en un sitio específico y en un tiempo determinado (CORPOCALDAS, 2009); Estos fenómenos, según CORPOCESAR (2011), pueden generar daños o pérdidas al ser de origen natural, antrópico o socio-natural. La amenaza, en términos de incendios forestales, es un factor de riesgo sobre la vegetación (IDEAM, 2011; MAVDT & CONIF, 2008).

4.1.1.1 Susceptibilidad

Según el IDEAM (2011), este concepto se incluye dentro del análisis de la amenaza ya que ha de integrarse en ella, la susceptibilidad definida por Parra (2011), hace referencia a las características intrínsecas de la vegetación y los ecosistemas (carga de combustibles, disposición y combustibilidad), que le brindan cierto grado de probabilidad de incendiarse, propagar y mantener el fuego, generalmente estas se analizan mediante la identificación y valoración de la condición pirogénica de la vegetación (CORPOCESAR, 2011; Parra A., 2011).

4.1.2 Vulnerabilidad

El MAVDT & CONIF (2008), establecen que la vulnerabilidad es un factor de riesgo interno de un sujeto o sistema que está expuesto a una amenaza; en el caso específico de la vegetación y los ecosistemas, esta se expresa como la susceptibilidad física dada por las características propias de la vegetación a ser afectada o sufrir daños por un factor externo.

Según el IDEAM (2011), la vulnerabilidad también considera la dificultad que tiene la vegetación y los ecosistemas para recuperarse de un fenómeno peligroso de origen natural o antrópico. Esta situación es consecuencia de un bajo sistema de protección y/o una mala gestión del territorio, lo que en términos de incendios forestales, es esencial dado que un evento puede afectar a la población social y económicamente, pero también al territorio cambiando drásticamente las características del mismo (Fernández, 2009).

4.1.3 Riesgo

Definido como la probabilidad de que se presente un nivel de consecuencias económicas, sociales o ambientales, en un lugar y momento determinados, por la acción de un evento adverso de origen

natural o antrópico que se obtiene al relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos. Es importante considerar que la vegetación es un factor de riesgo presente en la amenaza en cuanto provee la carga de combustible y en la vulnerabilidad ya que sobre ella ocurren las principales consecuencias (IDEAM, 2011).

Según Torres et al. (2006), en términos de incendio forestal, riesgo es la pérdida probable debido a la intensidad del fuego en un lugar específico que puede ser establecido por el valor de los recursos forestales, agrícolas y ganaderos que se pierden. En este sentido, el riesgo por incendio forestal se entiende como la posibilidad de perder la flora y los servicios ambientales que estos generan, así como la afectación de los bienes del hombre (SDP, Tomo VII, 2010).

4.2 INCENDIOS FORESTALES

Según el MAVDT & CONIF (2007), la Comisión Nacional Asesora para la Prevención y Mitigación de Incendios Forestales, define como incendio forestal *“un fuego que se extiende libremente sin control ni límites preestablecidos, consumiendo material vivo o muerto en áreas rurales, terrenos de aptitud preferiblemente forestal, o en aquellos que sin serlo están destinados a actividades forestales o que cumplen una función ambiental, superando las 0.5 ha”*. Parra (2011), utiliza el término “Incendios de la Cobertura Vegetal” como una categoría amplia, que ha de incluir los incendios forestales, que son definidos como el fuego que se propaga, sin control sobre la cobertura vegetal, cuya quema no estaba prevista según define el IDEAM (2011).

Se estima que en Colombia el 95% de los incendios forestales son originados por el hombre (MAVDT & CONIF, 2008), en actividades como: prácticas agrícolas, recreación, accidentalidad, ociosidad, omisiones o descuidos, criminalidad y otras asociadas. En muy baja proporción se reconocen causas naturales de los incendios forestales y se asocian por ejemplo a erupciones volcánicas o fenómenos mucho más complejos como la combustión espontánea de materiales y tormentas eléctricas (CORPOCALDAS, 2009).

Las consecuencias de los incendios son de una amplia variedad, pues se ubican desde efectos puntuales (sobre suelo, bosques, agua, biodiversidad) asociados al sitio donde se presenta el fenómeno, hasta efectos globales como la contaminación atmosférica y la consecuente contribución al calentamiento global y la alteración de los regímenes climáticos (CRQ - CONIF, 2011).

Los efectos generados por los incendios forestales en Colombia se han manifestado en el deterioro y pérdida de la flora y la fauna del país, la contaminación del aire y el agua, la contribución al efecto invernadero, la reducción de las fuentes de agua, la degradación de los suelos, la disminución de la oferta alimentaría, el aumento de la escorrentía, el potencial de erosión y por ende el incremento de situaciones de emergencia por deslizamientos, avalanchas e inundaciones, además de los efectos negativos directos en la vida humana por muerte, lesiones o enfermedad y la pérdida o deterioro de bienes y del medio ambiente, entre otros efectos (MAVDT & CONIF, 2008).

4.2.1 Comportamiento del fuego

Según Rodríguez (1996), el *comportamiento del fuego* se determina por la velocidad de propagación, intensidad y dirección del mismo, siendo el resultado de la interacción entre el material combustible presente en el bosque, las condiciones del tiempo atmosférico y las condiciones topográficas (Morfin-Ríos, P., C., & Michel-Fuentes., 2012).

Estas condiciones dependen de factores que han de configurar directa o indirectamente los escenarios para el desarrollo de los incendios, Parra (2011) describe estos factores, agrupándolos de la siguiente forma:

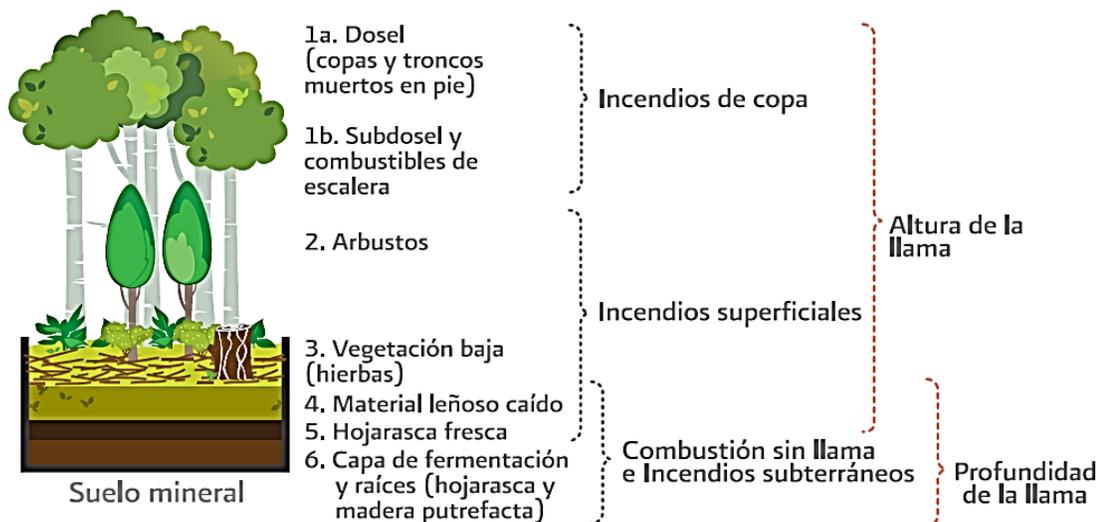
- c) Condiciones meteorológicas locales de la época (humedad ambiental, temperatura, vientos, etc).
- d) Características de los combustibles involucrados (humedad, cantidad, compactación, distribución horizontal y vertical, inflamabilidad, relación de combustibles vivos/muertos).
- e) Características físicas del sitio (pendiente, orientación dominante, ubicación en el paisaje, tipo de suelo).
- f) Características del ecosistema afectado (fase sucesional; estructura y composición; grado de fragmentación; tamaño, forma y conectividad de los fragmentos; características y demandas ecológicas de las especies vegetales presentes en el área afectada; adaptación de las especies al fuego).
- g) Antecedentes de eventos meteorológicos o ecológicos locales graves o catastróficos (huracanes y tormentas, deslizamientos de tierra, vulcanismo, plagas).
- h) Régimen histórico de perturbaciones (dinámica espacio-temporal y sus tendencias, recurrencia espacial, alteración antrópica del régimen natural de fuego).
- i) Prácticas culturales asociadas a procesos productivos (uso no racional del fuego, manejo descuidado de desechos forestales).
- j) Proximidad a centros poblados, a sitios de interés arqueológico y a infraestructura de servicios o de producción.

4.2.2 Combustibles forestales

Siendo el combustible el único factor de la gran triada (Triángulo del fuego: oxígeno + calor + combustible) sobre el cual se puede actuar directamente ya que ni las condiciones meteorológicas ni topográficas pueden modificarse (CORTOLIMA, Plan de contingencia para incendios forestales municipio de Ibagué - Tolima. , 2011), se comprende que los combustibles forestales son el factor primordial para el inicio y la propagación del fuego por lo que su conocimiento es primordial para definir la susceptibilidad de la vegetación.

Morfin-Ríos *et al.* (2012), establecen que el material combustible se configura en función de los estratos presentes en una cobertura vegetal específica, determinando el potencial de propagación de distintos tipos de incendios (de copa, superficiales y subterráneos) tal como se muestra en la **Figura 4.1.**

Figura 4.1. Clasificación del combustible por estratos.



Fuente: Morfin-Ríos et al. 2012, pág. 19.

Los combustibles forestales, generalmente, son caracterizados de función al **tipo** que describe las especies ó grupos vegetales encontradas en la cobertura (coníferas, latifoliadas, gramíneas) (Téllez, 2004); **duración** que está en función del tiempo que tarda el proceso de ignición para determinar la capacidad pirogénica de la vegetación (Parra A. , 2011); finalmente la **carga** que se expresa en función de la altura, cobertura, biomasa aérea total y húmeda de la vegetación (MAVDT & CONIF , 2008).

5 METODOLOGÍA

En el presente documento se muestra el desarrollo de la metodología propuesta por el IDEAM en el año 2011 para la elaboración de mapas de riesgo por incendio forestal a escala 1:100.000, con algunas modificaciones basadas en las metodologías seguidas por las Corporaciones Autónomas de los departamentos del Cesar (CORPOCESAR), Quindío (CRQ), Caldas (CORPOCALDAS) y Tolima (CORTOLIMA) y el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá (FOPAE) actualmente Instituto Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático (IDIGER), para aumentar el nivel de detalle a escala 1:25.000.

CORPOCALDAS (2009), establece que las distintas metodologías disponibles ofrecen una estructura básica y fundamental conformada por los siguientes elementos:

1. Definición de la susceptibilidad
2. Evaluación de la amenaza
3. Análisis de la vulnerabilidad
4. Determinación del riesgo

La metodología desarrollada por el IDEAM (2011), se fundamenta en la evaluación de cada uno de los componentes del riesgo, esto es la amenaza y la vulnerabilidad, a través de una metodología paramétrica, con enfoque espacial apoyada en sistemas de información geográfica; ésta aproximación metodológica se basa en la ponderación y calificación secuencial de los diversos factores generadores de amenaza y vulnerabilidad a incendios forestales, para así llegar a la identificación del riesgo.

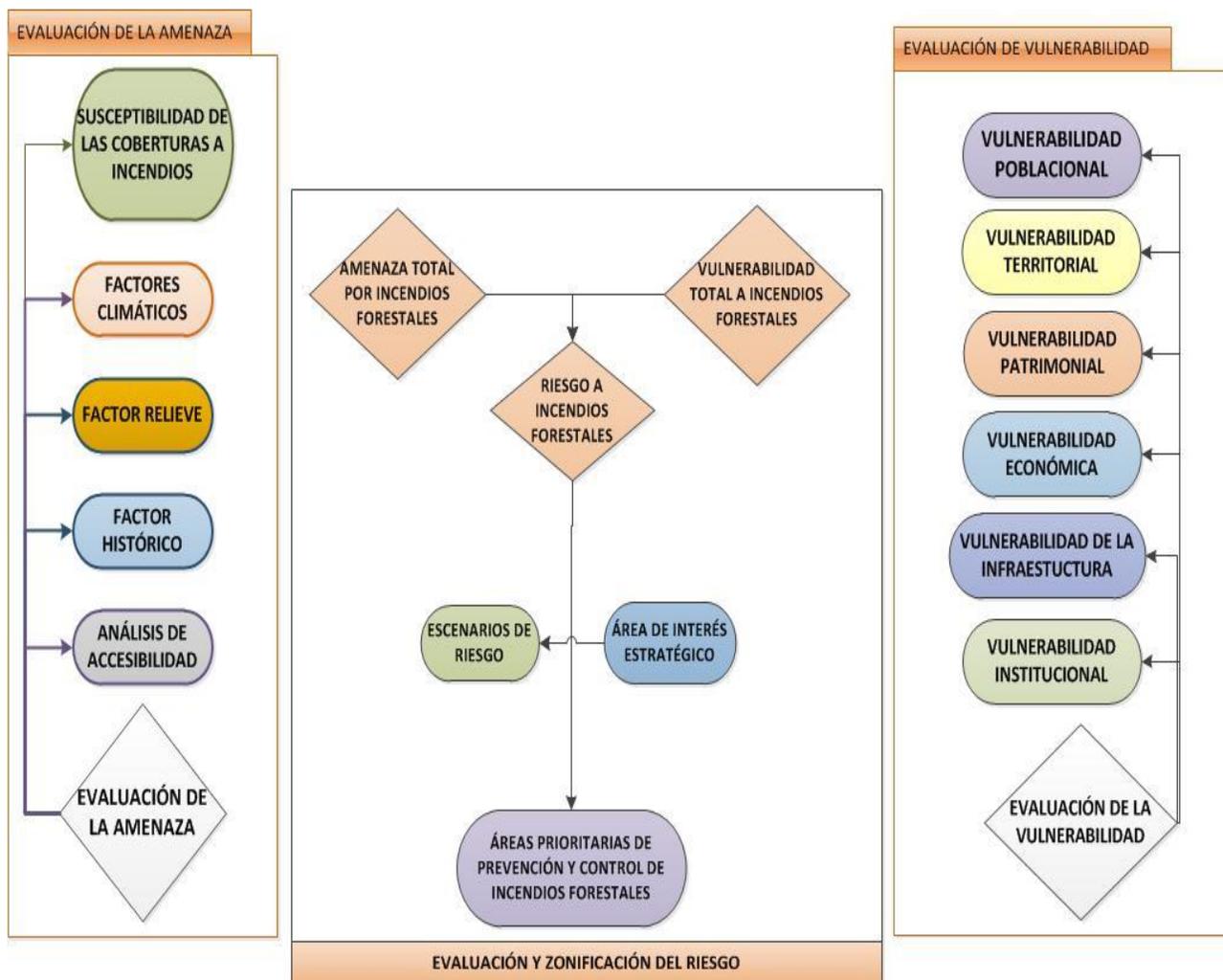
Según el protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos de incendios forestales (IDEAM, 2011), en la realización de la cartografía de riesgos por incendios forestales y de la cobertura vegetal, se deben considerar como mínimo dos escenarios de riesgo posibles: bajo condiciones normales de precipitación y temperatura, y bajo condiciones del Fenómeno de El Niño.

Dado que la metodología del IDEAM (2011), se fundamenta en la elaboración de mapas de riesgo por incendios forestales a escala 1:100.000, el presente estudio aumento el nivel de detalle considerando los elementos de amenaza y vulnerabilidad entre los rangos y valores que corresponden al municipio, calificando y categorizando en muy alta, alta, media, baja y muy baja las características biofísicas propias del territorio.

A partir de la metodología aquí descrita y conforme a la disponibilidad, calidad y pertinencia de la información presente en los municipios, se generó el mapa de riesgo por incendios forestales de los municipios priorizados de la jurisdicción CAR, la cual se modifica de acuerdo a las variables y factores propios de cada municipio.

En la **Figura 5.1**, se muestran de manera gráfica los elementos que componen la evaluación de la amenaza y la vulnerabilidad para generar la zonificación del riesgo por incendios forestales.

Figura 5.1. Esquema metodológico para el estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por Incendios Forestales.



Fuente: UT AVR CAR, 2014, a partir de información del IDEAM (2011) y MAVDT & CONIF (2008).

5.1 ETAPA PREPARATORIA

La definición de las variables que hacen parte del análisis de amenaza y vulnerabilidad por incendios forestales, responden a los criterios de zonificación para la determinación de áreas de riesgo, para tal fin se hizo necesaria la identificación de información cartográfica por etapas, como se muestra en la Tabla 5.1. La información base aquí estipulada fue analizada y validada para las zonas de estudio.

Tabla 5.1. Requerimientos cartográficos para la elaboración del mapa de riesgo por Incendios Forestales.

ETAPA	VARIABLES Y FACTORES DE RIESGO	CARTOGRAFÍA REQUERIDA
Etapa preparatoria	Identificación de la información cartográfica base necesaria.	Mapa de límites político-administrativos y centros poblados
		Mapa de redes y estructuras
		Mapa hidrográfico
		Mapa Topográfico (curvas de nivel)
		Mapa de Cobertura y uso actual de la tierra, según clasificación CORINE LAND COVER (nivel 4)
Evaluación de la amenaza	Factores climáticos (Escenarios: Fenómeno del niño y condiciones normales)	Mapa de isoyetas de precipitación media anual multianual en mm
		Mapa de isotermas de temperatura media anual multianual en grados centígrados
		Mapa de Brillo Solar (media anual multianual) y Humedad relativa
	Factor histórico ²	Mapa de frecuencia de incendios y análisis de puntos de calor.
	Factor relieve	Mapa de Pendientes
	Susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios.	Mapa de Tipo de combustibles vegetales (Capacidad pirogénica)
		Mapa de Duración de combustibles vegetales (Pruebas de conflagración)
		Mapa de Carga Total de combustibles vegetales (Humedad del combustible -NDVI-)
		Mapa de Susceptibilidad de combustibles vegetales
	Accesibilidad	Mapa de Accesibilidad
Evaluación de la vulnerabilidad	Vulnerabilidad de la población	Mapa de distribución espacial de la población
		Mapa de Densidad de la Población urbana y rural.
	Vulnerabilidad territorial	Mapa de Vulnerabilidad de los Ecosistemas a los Incendios Forestales y de la Cobertura Vegetal (Vulnerabilidad ecológica y física)
	Vulnerabilidad de la infraestructura	Mapa vial
		Mapa de ubicación de aeropuertos, helipuertos, puertos fluviales y/o marítimos.
		Mapa de infraestructura energética (líneas de alta tensión, oleoductos, poliductos, gasoductos) Ubicación de bocatomas, etcétera.
	Vulnerabilidad patrimonial	Mapa de límites de PNN, Reservas regionales y municipales.
		Mapa de Resguardos.
	Vulnerabilidad económica	Mapas de sitios de interés por importancia histórica, arqueológica, turística, mítico-religiosa, etc.
		Mapa de Cobertura y uso actual de la tierra, según clasificación CORINE LAND COVER (Áreas de importancia económica – agropecuarias, mineras, forestales).

Fuente: UT AVR CAR, 2014, a partir de información del IDEAM (2011).

² Este factor se desarrolla conforme a la disponibilidad de información de cada municipio, mediante el cual se obtiene un análisis para corroborar que los datos obtenidos respondan a lo reportado.



5.1.1 Normalización, ponderación y categorización de variables

Definidas las variables y factores de riesgo estas se clasificaron según una escala numérica de riesgo donde se definieron las categorías: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Así, dadas las diferencias entre las escalas sobre las cuales se medirán las variables y factores, éstas fueron estandarizadas para posteriormente combinarlas y transformarlas de tal forma que fueran correlacionadas. La estandarización de los datos según el IDEAM (2011), se basa en el criterio de normalización por lógica difusa utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Factor normalizado} = \left(\frac{(x - \text{Min})}{(\text{Max} - \text{Min})} \right)$$

Donde,

x: Valor que adquiere puntualmente en el espacio el factor.

Min: Valor mínimo del factor en toda el área de estudio.

Max: Valor máximo presentado por el factor en toda el área de estudio.

De esta forma las variables normalizadas se agruparon bajo una distribución de frecuencias en 5 rangos (categorías), generando el tamaño de cada rango a partir de la amplitud de los valores generados mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Amplitud del rango} = \left(\frac{(\text{Max}_1 - \text{Min}_1)}{n} \right)$$

Donde,

Max₁: Valor mínimo normalizado del factor en toda el área de estudio.

Min₁: Valor máximo normalizado del factor en toda el área de estudio.

n: Número total de datos de cada factor.

Posteriormente, los rangos adquirieron una calificación categórica (Tabla 5.2), que permitió generar los mapas en los que se representan las categorías de riesgo por amenaza o vulnerabilidad conforme a las calificaciones obtenidas.

Tabla 5.2. Categorización para la calificación de las variables y factores de riesgo.

CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
Muy baja	1
Baja	2
Media	3
Alta	4
Muy alta	5

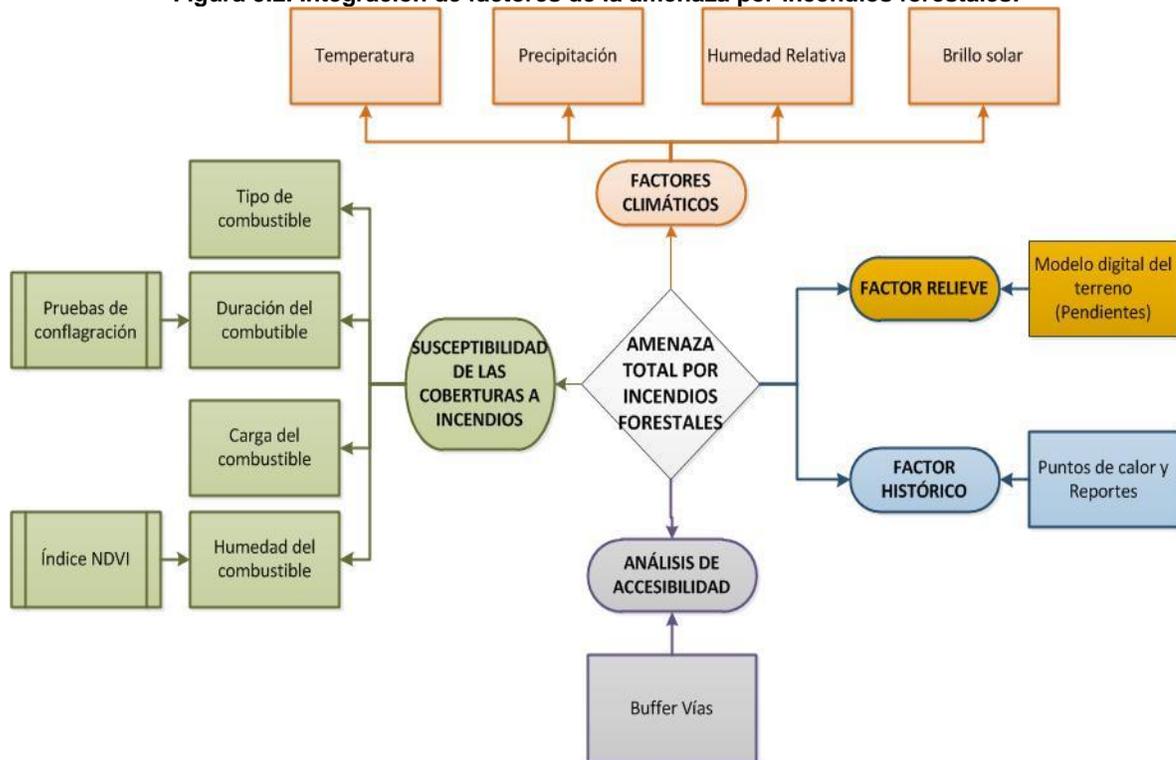
Fuente: UT AVR CAR, 2014, a partir de información del IDEAM (2011).

Finalmente, se realizó la ponderación de las variables, es decir, se identificaron cuales deben tener mayor peso al ser correlacionadas, para tal fin se tomó como base el resultado obtenido por el IDEAM (2011), al realizar la consulta de expertos y presentar las ecuaciones para la evaluación de la amenaza y la vulnerabilidad que se modificaron conforme a la información específica de la consulta hecha dentro de los municipios y lo establecido en sus Esquemas de Ordenamiento Territorial.

5.2 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

Para el análisis de la amenaza se tienen en cuenta los factores climáticos, de relieve, históricos, de accesibilidad y la susceptibilidad de las coberturas vegetales a incendios como se muestra en la Figura 5.2.

Figura 5.2. Integración de factores de la amenaza por incendios forestales.



Fuente: UT AVR CAR, 2014, a partir de información del IDEAM (2011).

Estos elementos que configuran la amenaza, se describen de acuerdo a la disponibilidad de información en cada municipio, pese el factor histórico es uno de los más complejos de compilar dado que los registros son escasos y poco puntuales, por tal razón este elemento, en los municipios en donde está disponible, será tomado como elemento de verificación de resultados de áreas de amenaza y riesgo.

A partir de estos elementos y siguiendo la metodología descrita por el IDEAM (2011), la ponderación que se presenta para los diferentes factores que componen la amenaza, se resume en la siguiente fórmula:

$$A = (0,17)Sc + (0,25)Pp + (0,25)T + (0,03)Pd + (0,05)F + (0,03)Ac$$

Donde

A: Amenaza

Sc: Susceptibilidad de la vegetación

Pp: Precipitación

T: Temperatura

Pd: Pendientes

F: Frecuencia

Ac: Accesibilidad

Como se observa, en la fórmula propuesta por el IDEAM (2011) la suma de la ponderación da tan solo un 78%, por lo que esta deberá ser modificada conforme a las condiciones específicas y criterios de cada municipio evaluado.

5.2.1 Análisis de susceptibilidad de las coberturas vegetales

Mediante la identificación y valoración de la condición pirogénica de las coberturas según el modelo de combustibles desarrollado por Paramo (2007) para Colombia y el trabajo de campo, se realizó la calificación de las características intrínsecas de la vegetación en función al tipo, la duración y carga del material combustible de las coberturas vegetales presentes en los municipios, considerando la leyenda Corine Land Cover para Colombia presentada por el IDEAM (2011) (**Anexo 5.1**) y con base en la leyenda del mapa elaborado por el IGAC en el año 2006 "Levantamiento Cobertura vegetal y Uso actual del suelo del área de Jurisdicción CAR" escala 1:25.000 (**Anexo 5.2**).

La susceptibilidad de las coberturas se considera dentro del análisis de la amenaza dada su naturaleza como elemento amenazado y amenazante durante las conflagraciones por la posibilidad que tiene de incendiarse, propagar y mantener el fuego. El tipo de combustible describe una primera categoría de susceptibilidad de las coberturas el cual se complementa al considerar el tiempo que tardan en alcanzar la temperatura de ignición y consumirse (duración) y los valores promedio de biomasa en toneladas por hectárea (carga).

De esta forma, el mapa de cobertura vegetal del área de estudio en escala 1:25.000 bajo leyenda Corine Land Cover para Cundinamarca (IGAC, 2006), luego de la verificación en campo, se homologa con la leyenda Corine Land Cover para Colombia (IDEAM, 2011) (**Anexo 5.3**), con el fin de calificar conforme a las equivalencias de características del combustible vegetal (**Tabla 5.3**) las condiciones de tipo, duración y carga que componen el mapa de susceptibilidad de las coberturas (**Anexo 5.4**).

Tabla 5.3. Equivalencias de características del combustible vegetal (Vista previa).

Equivalencias de características del combustible vegetal a las categorías del nivel 3 del sistema Corine Land Cover para Colombia							
CODIGO CORINE LAND COVER	COBERTURA (CLASIFICACIÓN CORINE LAND COVER -NIVEL 3-)	TIPO DE COMBUSTIBLE	CALIFICACIÓN TIPO DE COMBUSTIBLE	DURACIÓN DEL COMBUSTIBLE	CALIFICACIÓN DURACIÓN DEL COMBUSTIBLE	CARGA TOTAL DE COMBUSTIBLE	CALIFICACION CARGA TOTAL DE COMBUSTIBLE
1.1.1.	Tejido urbano continuo	Áreas urbanas	1	Áreas urbanas	1	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	2
1.1.2.	Tejido urbano discontinuo	Áreas urbanas	1	Áreas urbanas	1	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	2
1.2.1.	Zonas industriales o comerciales	No combustibles	1	No combustibles	1	No combustibles	1
1.2.2.	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	Áreas urbanas	1	Áreas urbanas	1	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	2
1.2.3.	Zonas portuarias	No combustibles	1	No combustibles	1	No combustibles	1
1.2.4.	Aeropuertos	No combustibles	1	No combustibles	1	No combustibles	1
1.2.5.	Obras hidráulicas	Áreas urbanas	1	Áreas urbanas	1	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	2
1.3.1.	Zonas de extracción minera	No combustibles	1	No combustibles	1	No combustibles	1
1.3.2.	Zonas de disposición de residuos	No combustibles	1	No combustibles	1	No combustibles	1
1.4.1.	Zonas verdes urbanas	Pastos	5	1 hora	4	Baja (1-50 ton/ha)	3
1.4.2.	Instalaciones recreativa	Pastos	5	1 hora	4	Baja (1-50 ton/ha)	3
2.1.1.	Otros cultivos transitorios	Hierbas	4	10 horas	3	Baja (1-50 ton/ha)	3
2.1.2.	Cereales	Hierbas	4	10 horas	3	Baja (1-50 ton/ha)	3
2.1.3.	Oleaginosas y leguminosas	Hierbas	4	10 horas	3	Baja (1-50 ton/ha)	3
2.1.4.	Hortalizas	Hierbas	4	10 horas	3	Baja (1-50 ton/ha)	3
2.1.5.	Tubérculos	Hierbas	4	10 horas	3	Baja (1-50 ton/ha)	3
2.2.1.	Cultivos permanentes herbáceos	Hierbas	4	10 horas	3	Baja (1-50 ton/ha)	3
2.2.2.	Cultivos permanentes arbustivos	Arbustos	4	10 horas	3	Moderada (50-100 ton/ha)	4
2.2.3.	Cultivos permanentes arbóreos	Arboles	2	100 horas	2	Muy alta (más de 100 ton/ha)	5
2.2.4.	Cultivos agroforestales	Pastos	5	1 hora	4	Baja (1-50 ton/ha)	3
2.2.5.	Cultivos confinados	Hierbas	4	10 horas	3	Baja (1-50 ton/ha)	3
2.3.1.	Pastos limpios	Pastos	5	1 hora	4	Baja (1-50 ton/ha)	3
2.3.2.	Pastos arbolados	Pastos	5	1 hora	4	Baja (1-50 ton/ha)	3
2.3.3.	Pastos enmalezados	Pastos	5	1 hora	4	Baja (1-50 ton/ha)	3
2.4.1.	Mosaico de cultivos	Hierbas	4	10 horas	3	Baja (1-50 ton/ha)	3
2.4.2.	Mosaico de pastos y cultivos	Pastos/hierbas	5	1 hora	4	Moderada (50-100 ton/ha)	4
2.4.3.	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Pastos/hierbas	5	1 hora	4	Moderada (50-100 ton/ha)	4
2.4.4.	Mosaico de pastos con espacios naturales	Pastos/hierbas	5	1 hora	4	Moderada (50-100 ton/ha)	4
2.4.5.	Mosaico de cultivos y espacios naturales	Pastos/hierbas	5	1 hora	4	Moderada (50-100 ton/ha)	4
3.1.1.	Bosque denso	Arboles	2	100 horas	2	Muy alta (más de 100 ton/ha)	5

Fuente: UT AVR CAR, 2014, a partir de información del IDEAM (2011 -Anexos-).

5.2.1.1 Verificación de campo y Pruebas de conflagración

Con el fin de corroborar las calificaciones establecidas por el IDEAM (2011) en cuanto al material combustible que predomina por unidad de cobertura (Tipo de combustible) y la duración del combustible, se realizaron visitas de campo enfocadas a las zonas con mayor reporte de incendios y frecuencia de punto de calor en función de las zonas de vida presentes en los municipios priorizados de la jurisdicción CAR.

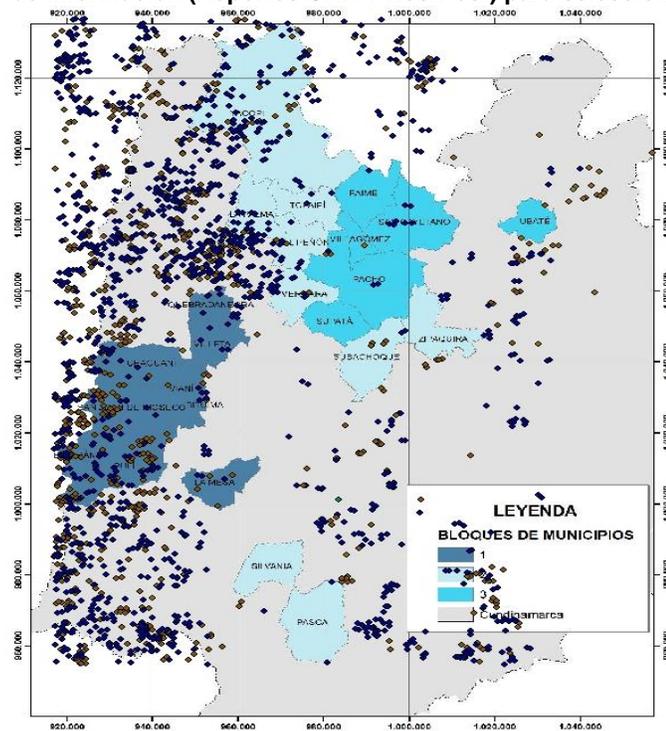
La determinación de la duración del combustible requiere de técnicas destructivas que indican con veracidad este comportamiento, así, las pruebas de conflagración se convierten en la técnica más común y por lo tanto, con el fin de identificar las principales especies vegetales presentes en coberturas con reporte de incendios en los últimos meses, se contó con la colaboración de habitantes de las zonas que permitieron establecer las especies de mayor probabilidad de conflagración por su potencial dendroenergético y su ubicación, teniendo en cuenta la representatividad dentro de la cobertura, la distribución local y el uso dado por la comunidad.

Esta información permitió la determinación de las variaciones de temperatura del material combustible incluyendo el valor promedio de la temperatura de ignición por especie, también se obtuvo la altura máxima que alcanza la llama durante la conflagración, estas características contribuyen posteriormente a la determinación de tiempos de respuesta y a la forma de control del fuego para la atención de posibles conflagraciones de emergencia en los municipios.

A continuación se describen los pasos seguidos para la verificación en campo de las coberturas vegetales y la realización de las pruebas de conflagración por zona de vida en los lugares de mayor reporte, según la información cartográfica.

a) Selección de áreas de visita

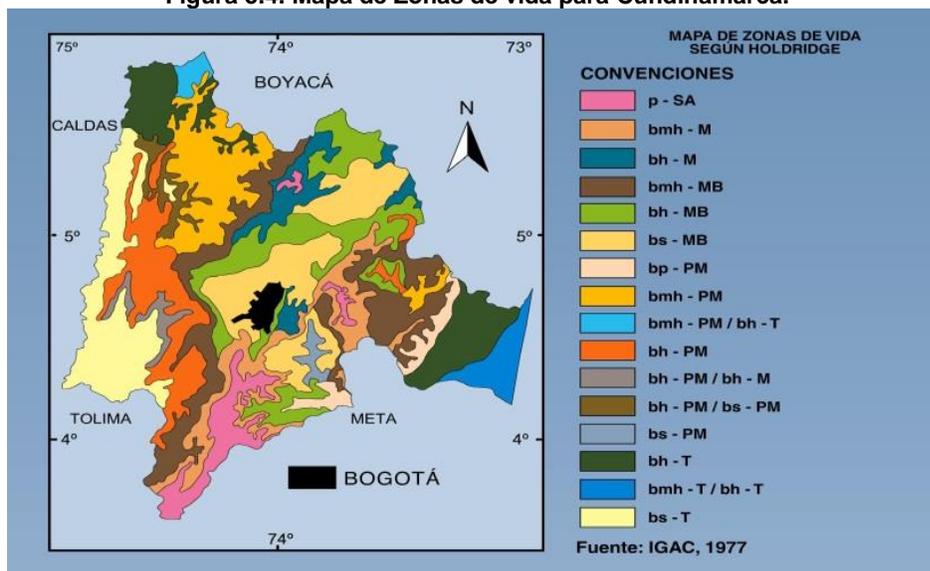
Figura 5.3. Cruce de información (Reportes CAR + HostPost) para seleccionar áreas de visita.



Fuente: UT AVR CAR, 2014.

Considerando los registros de incendios forestales reportados por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) para el periodo comprendido entre los años 2011 – 2014, la información de estadísticas históricas de incendios evaluadas a través de la información disponible en la WEB (FIRMS), y el Mapa de Zonas de Vida³ para Cundinamarca, se realizó el conteo de puntos de calor (Hostpost) registrados por municipio para determinar las áreas de mayor afectación por incendios forestales en los municipios de los Bloques I – II – III (Figura 5.3 y Figura 5.4).

Figura 5.4. Mapa de Zonas de vida para Cundinamarca.



Fuente: UT AVR CAR, 2014, a partir de información del IGAC (2000).

Los municipios, el número reportes y las zonas de vida, determinaron la ruta a seguir para realizar pruebas de conflagración con el fin de corroborar y obtener datos más precisos en la determinación de la duración del combustible. En la Tabla 5.4, se muestran los datos para los municipios del Bloque I.

Tabla 5.4. Municipios Bloque I, número de reportes y zonas de vida para la determinación de las áreas a visitar en donde se realizarán pruebas de conflagración.

	Municipio	Reportes/Puntos de calor	Zona de vida
BLOQUE I	Pulí	55	Bosque seco tropical (bs-T)
			Bosque seco pre-montano (bs-PM)
			Bosque húmedo pre-montano (bh-PM)
	Beltrán	69	Bosque seco tropical (bs-T)
			Bosque seco tropical (bs-T)
	San Juan de Rio Seco	48	Bosque seco pre-montano (bs-PM)
			Bosque húmedo pre-montano (bh-PM)
			Bosque húmedo pre-montano (bh-PM)
	Chaguaní	9	Bosque seco tropical (bs-T)
			Bosque húmedo pre-montano (bh-PM)
	Quebrada negra	7	Zona de transición bh-PM / bs-PM
			Bosque muy húmedo pre-montano (bmh-PM)
La mesa	6	Bosque seco pre-montano (bs-PM)	
		Bosque húmedo pre-montano (bh-PM)	
Bituima	4	Bosque húmedo pre-montano (bh-PM)	
Villeta	5	Zona de transición bh-PM / bs-PM	
		Bosque muy húmedo pre-montano (bmh-PM)	
Viani	0	Bosque húmedo pre-montano (bh-PM)	

Fuente: UT AVR CAR, 2014.

³ IGAC, 1977. Zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá D.C.

Con los datos que se presentan, se lograron identificar las zonas de vida representativas:

1. Bosque seco tropical (bs-T)
2. Bosque seco pre montano (bs-PM)
3. Bosque húmedo pre montano (bh-PM)

Teniendo en cuenta las zonas de vida, se identificaron lo municipios con mayor representatividad (% de área) y que en conjunto con los puntos de calor resultan ser áreas específicas para muestrear, los municipios seleccionados para el Bloque I, respectivamente, son:

1. Beltrán
2. Pulí
3. Quebrada negra

De esta misma forma se identificaron para los Bloques II y III, las zonas de vida que predominan por cobertura y los municipios que las representan teniendo en cuenta el número de eventos que registraron (Tabla 5.6 y Tabla 5.7).

Tabla 5.5. Municipios Bloque II, número de reportes y zonas de vida para la determinación de las áreas a visitar en donde se realizarán pruebas de conflagración.

	Municipio	Reportes/Puntos de calor	Zona de vida
BLOQUE II	Silvania	0	Bosque muy húmedo Montano Bajo
			Bosque húmedo Pre montano
	Pasca	2	Bosque muy húmedo montano
			Bosque muy húmedo Montano Bajo
	Subachoque	6	Bosque húmedo montano bajo
			Bosque húmedo montano
	Zipaquirá	1	Bosque húmedo montano bajo
			Bosque húmedo montano
	Vergara	16	Bosque muy húmedo montano
			Bosque muy húmedo Pre montano
	El Peñón	11	Bosque muy húmedo Pre montano
	La Palma	64	Bosque muy húmedo Pre montano
Topaipí	3	Bosque muy húmedo Pre montano	
		Bosque húmedo tropical	
Yacopí	75	Bosque húmedo tropical	
		Bosque muy húmedo Pre montano	

Fuente: UT AVR CAR, 2014.

Zonas de vida predominantes:

1. Bosque húmedo tropical (bh-T)
2. Bosque muy húmedo pre montano (bmh-PM)
3. Bosque húmedo montano bajo (bh-MB)

Municipios seleccionados:

1. Yacopí
2. La Palma
3. Subachoque

Tabla 5.6. Municipios Bloque III, número de reportes y zonas de vida para la determinación de las áreas a visitar en donde se realizarán pruebas de conflagración.

	Municipio	Reportes/Puntos de calor	Zona de vida
BLOQUE III	Ubaté	1	Bosque muy húmedo montano
			Bosque muy húmedo Montano Bajo
	Paime	1	Bosque húmedo tropical
			Bosque muy húmedo Pre montano
	San Cayetano	7	Bosque muy húmedo Montano Bajo
			Bosque muy húmedo Pre montano
	Villa Gómez	1	Bosque muy húmedo Montano Bajo
			Bosque muy húmedo Pre montano
	Pacho	2	Bosque muy húmedo Montano Bajo
			Bosque muy húmedo Pre montano
Supatá	0	Bosque muy húmedo Pre montano	
		Bosque húmedo montano	

Fuente: UT AVR CAR, 2014.

Zonas de vida predominantes:

1. Bosque húmedo montano (bh-M)
2. Bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB)

Municipios seleccionados:

1. Pacho
2. San Cayetano

Esta información también permitió identificar las unidades de cobertura que presentan mayor grado de afectación, según el Mapa de coberturas vegetales y uso actual del suelo del área de jurisdicción CAR (IGAC, 2006), donde predominaron:

1. Pastos enmalezados o enrastrados
2. Pastos naturales y sabanas herbáceas
3. Pastos limpios
4. Rastrojos y arbustales
5. Bosque secundario
6. Arroz y otros cultivos
7. Caña panelera, pastos y otros cultivos

Las unidades de cobertura fueron observadas considerando que existe una relación directa entre las coberturas donde predominan pastos y los puntos de calor, así, en los municipios se identificaron las especies de pastos dominantes y los cultivos con los cuales se asocian. A nivel de bosques secundarios se observaron las familias y se identificaron individuos representativos. Esta información valido lo concerniente al tipo de combustible y fue complementada con revisión bibliográfica de composición y estructura disponible para cada municipio.

b) Selección e identificación de especies

Durante el reconocimiento de campo se identificaron las principales especies, que según la composición y estructura de la vegetación por municipio y el conocimiento de la población, son las de mayor potencial de ignición y combustión durante un posible evento de incendio forestal (**Fotografía 5.1**). Los municipios restantes se incluyen en la base de datos con la actualización respectiva pero no cuentan con visita de campo al carecer de incendios recientes.

Fotografía 5.1. Selección y búsqueda de especies.



Nota: Arriba a la izquierda: identificación, selección y toma del material combustible en el Municipio Pulí. Arriba a la derecha: Árbol cucharo *Myrsine guianensis* en el Municipio Beltrán. Abajo: Toma del material combustible, chusque *Chusquea angustifolia* Municipio Subachoque. Agosto de 2014. Foto: A. Gutiérrez UT AVR-CAR, 2014.

Para seleccionar las especies de prueba se establecieron tres criterios: representatividad dentro de la cobertura observada, distribución local y usos dados por parte de los campesinos.

De esta forma, en los municipios se contó con la colaboración de personal de la región y propietarios de predios quienes suministraron el material vegetal (madera o leña) para las pruebas y estuvieron presentes durante las mismas.

La **Tabla 5.7** resume la información concerniente a los sitios donde se desarrollaron las pruebas de conflagración y las especies utilizadas.

Tabla 5.7. Especies conflagradas por municipio y zona de vida.

Municipio	Zona de vida	Especies conflagradas	Colaborador local
Beltrán	Bosque seco tropical	Guamo (<i>Inga edulis</i>)	Elías Muñoz
		Guácimo (<i>Guazuma ulmifolia</i>)	
		Cují (<i>Prosopis juliflora</i>)	
		Mó (<i>Cordia alliodora</i>)	
Pulí	Bosque húmedo Pre-montano	Congo	William Salguero
	Bosque seco Pre-montano	Cucharó (<i>Myrsine guianensis</i>)	
		Flor morado (<i>Tabebuia rosea</i>)	
		Arrayán (<i>Myrcianthes leucoxylla</i>)	
Quebrada negra	Bosque muy húmedo Pre-montano	Helecho (<i>Pteridium aquilinum</i>)	Raudel Barragán
		Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	
		Pino (<i>Pinus patula –radiata</i>)	
	Zona de transición bh-PM / bs-PM	Caña (<i>Saccharum officinarum</i>)	
		Guadua (<i>Guadua angustifolia</i>)	
		Pomaroso (<i>Syzygium jambus</i>)	
Yacopí	Bosque húmedo tropical	Guarumo (<i>Cecropia</i> sp.)	Yheimer Suarez
		Cascarillo (<i>Tibouchina</i> sp.)	
		Susacá (<i>Piptocoma discolor</i>)	
La Palma	Bosque muy húmedo pre montano	Lancillo (<i>Vismia baccifera</i>)	Olman Vasquez
		Guayabo (<i>Psidium guajava</i>)	
		Opachiro (<i>Cinnamomum triplinerve</i>)	
		Naranja (<i>Citrus x aurantium</i>)	
		Muche (<i>Albizia carbonaria</i>)	
Pacho	Bosque muy húmedo montano bajo	Pasto brachiaria (<i>Brachiaria</i> sp.)	Fabián Rincón
		Escobillo (<i>Sida</i> sp.)	
		Hojas de Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	
		Pasto kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>)	
San Cayetano	Bosque húmedo montano	Pasto yaragua (<i>Melinis minutiflora</i>)	Yesid Molina
		Roble (<i>Quercus humboldtii</i>)	
		Chilco (<i>Ageratina fastigiata</i>)	
		Cipres (<i>Cupressus lucitánica</i>)	
Subachoque	Bosque húmedo montano bajo	Encenillo (<i>Weinmania tomentosa</i>)	Ferney Camargo
		Chusque (<i>Chusquea angustifolia</i>)	
		Uvo (<i>Macleania rupestris</i>)	
		Uvito (<i>Cavendishia cordifolia</i>)	

Fuente: UT AVR CAR, 2014.

c) Pruebas de conflagración

Finalmente, al tener los sitios y especies seleccionadas se procedió a tomar las muestras del material combustible al cual se tomaron datos de peso inicial y se procedió a realizar la quema. En cada punto de prueba se pesó con una báscula digital (Dinamómetro de 40Kg) cierta cantidad de material combustible seco, correspondiente a las especies mencionadas en la **Tabla 5.7**, y sugeridas por los lugareños como pirogénicas o muy utilizadas como combustible (dendroenergéticas) en los hogares.

Una vez iniciada la quema se tomó la temperatura inicial, y en la medida que esta se fue desarrollando se tomaron varios registros de temperatura, lo anterior con el propósito de conocer la máxima temperatura de quema por cada especie. De igual forma se registró un tiempo inicial y un tiempo final con el propósito de establecer el tiempo de tarda la muestra de madera o ramas en ser consumidas por el fuego. Finalmente, y una vez terminada la quema se procedió a pesar las cenizas y carbones obtenidos para cada especie.

Finalmente en la **Fotografía 5.2**, se muestran los pasos que se siguieron para la realización de las pruebas de conflagración, a partir de los cuales se obtuvo la información necesaria que validó la calificación del tipo y a duración del combustible propuesta por el IDEAM (2011).

Fotografía 5.2. Pasos realizados durante las pruebas de conflagración.



1. Selección y reconocimiento del material vegetal



2. Preparación de la muestra seleccionada



3. Registro de Peso inicial



FASE INICIAL



4. Inicio de la conflagración



5. Registro de temperaturas



6. Registro peso final



DURACIÓN DE LA CONFLAGRACIÓN

Fuente: UT AVR CAR, 2014.

Para tal fin, se elaboró un formato de campo (Figura 5.5) el cual se diligenció durante cada prueba por municipio.

Figura 5.5. Formato de campo- Pruebas de conflagración.

FORMATO DE CAMPO - PRUEBAS DE CONFLAGRACIÓN

Zona de vida
Municipios

Altitud
Temperatura
Cobertura vegetal

Fecha
Responsable
Colaborador

No. Foto	Nombre común	Nombre científico	Peso inicial (Kg)	Peso final (Kg)	Temperatura de ignición (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Tiempo total de conflagración (min)	Altura de la llama (m)

Fuente: UT AVR CAR, 2014.

5.2.1.2 Generación del mapa de tipo de combustible

Considerando la reclasificación generada a partir de la interpretación de las unidades de cobertura según el tipo de combustible dominante y las equivalencias de las características del combustible, se generó el mapa de tipo de combustible siguiendo las categorías de la Tabla 5.8, donde se muestra la calificación para las categorías de amenaza según el tipo de combustible, el cual define la *Capacidad Pirogénica* de la vegetación (CORPOCESAR, 2011), donde las coberturas de mayor amenaza resultan ser las más susceptibles.

Tabla 5.8. Calificación del tipo de combustible.

TIPO DE COMBUSTIBLE	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
No combustibles - Áreas urbanas	Muy baja	1
Árboles	Baja	2
Árboles y arbustos	Media	3
Arbustos – Hierbas	Alta	4
Pastos – hierbas	Muy alta	5

Fuente: UT AVR CAR, 2014, a partir de información del IDEAM (2011).

5.2.1.3 Generación del mapa de duración de combustibles

La duración del combustible define el tiempo que tarda el mismo en alcanzar su temperatura de ignición y consumirse, este fue clasificado por Paramo (2008), según el tipo de combustible mas representativo por unidad de cobertura de acuerdo a la leyenda Corine Land Cover. A partir del mapa de cobertura vegetal previamente reclasificado de acuerdo a la duración en horas del tiempo de ignición de los combustibles, y los resultados del trabajo de campo con las pruebas de conflagración se calificó la susceptibilidad como se muestra en la Tabla 5.9.

Tabla 5.9. Calificación de la susceptibilidad por duración del combustible.

DURACIÓN DEL TIPO DE COMBUSTIBLE	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
No combustibles - Áreas urbanas	Muy baja	1
100 Horas (Predominio árboles)	Baja	2
10 Horas (Predominio arbustos – hierbas)	Media	3
1 Hora (Predominio pastos)	Alta	4

Fuente: UT AVR CAR, 2014, a partir de información del IDEAM (2011).

5.2.1.4 Generación del mapa de carga de combustibles

Siguiendo la reclasificación del mapa de cobertura, se tienen categorizadas las coberturas con valores aproximados de biomasa aérea en Ton/ha, que representan la carga total de combustible como se muestra en la **Tabla 5.10**, donde la calificación de las categorías de amenaza responde a la relación de a mayor carga mayor amenaza por el aumento de material combustible disponible para la combustión.

Tabla 5.10. Calificación de la carga total de combustible.

CARGA DEL COMBUSTIBLE	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
No combustibles - Áreas urbanas	Muy baja	1
< 1 Tn/ha	Baja	2
1 a 50 Tn/ha	Media	3
50 a 100 Tn/ha	Alta	4
> 100 Tn/ha	Muy alta	5

Fuente: UT AVR CAR, 2014, a partir de información del IDEAM (2011).

La información de carga de combustible se corrobora y sustenta con base en el trabajo realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (IDEAM - CAR, 2014), “Mapa de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal en el Departamento de Cundinamarca” -Escala 1:100.000-.

5.2.1.5 Generación del mapa de humedad del combustible según Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

Este índice sirve para establecer las áreas donde la actividad clorofílica es mayor, es decir, donde la biomasa y volumen consecuentemente con el contenido de humedad serán mayores, el NDVI puede llegar a identificar las áreas que sufren los mayores cambios y qué relación tienen con las áreas de mayor biomasa en el análisis de incendios, según CORPOCESAR (2011), estas áreas de mayor biomasa en el departamento del Cesar, mostraron una clara correlación con la frecuencia de los puntos de calor.

Bajo este contexto, se plantea que podrán ser verificados los resultados obtenidos en la reclasificación según las equivalencias propuestas del modelo de combustibles de Paramo (2008) citado por el IDEAM (2011), donde la correlación de la altura en metros, la cobertura en valores porcentuales, la biomasa aérea en Ton/ha y la humedad media de la vegetación definieron el modelo de combustible por unidades determinadas de vegetación a través de una distribución cualitativa de los rangos obtenidos del *Índice de vegetación de diferencia normalizada* (NDVI).

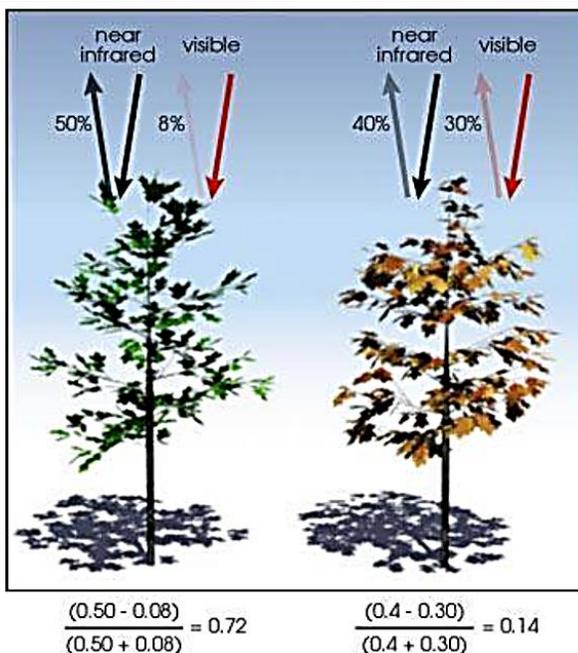
Los cálculos de este índice se realizan por pixel, y sus resultados se traducen en un número que oscila entre menos uno (-1) y uno (+1), que según el Instituto Cartográfico y Geológico de Catalunya (ICGC, 2014) se interpreta de la siguiente forma:

1. NDVI < 0: agua o cubiertas artificiales.
2. 0 < NDVI < 0,2: suelo desnudo o vegetación muerta.
3. 0,2 < NDVI < 0,4: vegetación dispersa o poco vigorosa.

4. $0,4 < NDVI < 0,6$: vegetación abundante y vigorosa.
5. $NDVI > 0,6$: vegetación muy densa y vigorosa.

Por ende el mayor contenido de humedad corresponde a aquellos pixeles con valores superiores a 0.2, el esquema de funcionamiento del NDVI se representa en la **Figura 5.6**.

Figura 5.6. Esquema de funcionamiento del NDVI.



Fuente: Simmon R. citado por CORPOCESAR, 2011.

5.2.1.6 Generación del mapa de susceptibilidad de la vegetación a incendios

Finalmente, por álgebra de mapas y a partir de los mapas de tipo, duración y carga se generó el mapa de susceptibilidad de las coberturas vegetales ante incendios siguiendo la ecuación que se describe a continuación.

$$Susc = (0,35)Tc * (0,35)Dc * (0,3)Cc$$

Donde,

Susc: Susceptibilidad de la vegetación .

Tc: Calificación por tipo de combustible.

Dc: Calificación de la duración de los combustibles.

Cc: Calificación de la carga total de combustibles.

Los resultados de aplicar esta fórmula genera valores entre 1 y 4,65, lo cuales se agruparon y categorizaron de acuerdo cinco categorías de susceptibilidad como se muestra en la **Tabla 5.11**.

Tabla 5.11. Calificación de susceptibilidad de las coberturas vegetales ante incendios forestales.

RANGOS DE SUSCEPTIBILIDAD	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
1 – 1,73	Muy baja	1
1,74 – 2,46	Baja	2
2,47 – 3,19	Media	3
3,20 – 3,92	Alta	4
3,93 – 4,65	Muy alta	5

Fuente: UT AVR CAR, 2014.

5.2.2 Análisis de factores climáticos

La importancia de este análisis radica en la influencia que tiene el clima sobre la generación y propagación de incendios forestales al determinar la duración y severidad de las temporadas secas que afectan directamente las condiciones de humedad y cantidad del material combustible disponible para la ignición.

Por tal razón se considera necesario generar una calificación de susceptibilidad bajo condiciones normales y del fenómeno del niño, para las principales variables climáticas tal y como se realizó para la determinación de la susceptibilidad, donde se deberán normalizar, estandarizar y categorizar las variables para finalmente correlacionarlas y generar unas categorías de amenaza según condiciones climáticas (MAVDT & CONIF , 2008).

Pese que los factores climáticos de mayor influencia son la temperatura media multianual y la precipitación media multianual, se buscó hacer una caracterización climática que permitiera conocer el comportamiento de las principales variables climatológicas, es decir, incluyendo humedad relativa, brillo solar, vientos y de ser posible algunas variables referidas al balance hídrico con el fin de obtener parámetros esenciales para la definición de la amenaza (CORPOCESAR, 2011). Pese a esto, la disponibilidad de la información solo permitió evaluar lo concerniente a precipitación, temperatura, brillo solar y humedad relativa.

Las clasificaciones propuestas para calificar y categorizar el grado de amenaza por factores climáticos según el IDEAM (2011), se modificaron en función a los valores máximos y mínimos de cada municipio, dado que esta propuesta es favorable en escalas 1:100.000, pero en 1:25.000 fue necesario ser más específicos y calificar en función del comportamiento que tienen los elementos (precipitación, temperatura, brillo solar y humedad relativa) en el área de cada municipio.

5.2.2.1 Precipitación

La precipitación es una de las principales variables a considerar, ya que afecta la velocidad de propagación y la intensidad calórica de los incendios dado que cambia rápidamente los valores de contenido de humedad del suelo y la vegetación (Arce C. , 2005). Según Ossa (2003), la disminución de la lluvia en conjunto con altas temperaturas aumenta las probabilidades de ocurrencia para un incendio, por tal razón siguiendo esta relación se calificó la amenaza conforme a los valores medios de precipitación mensual multianual obtenidos por municipio, atendiendo inicialmente la clasificación que propone el IDEAM (2011) como se muestra en la **Tabla 5.12**.

Tabla 5.12. Calificación de la precipitación.

PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (MM)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Árido (0 – 500)	Muy baja	1
Pluvial (> 7000)	Baja	1
Muy húmedo (3000 – 7000)	Moderada	2
Húmedo (2000 – 3000)	Moderada	3
Seco (1000 – 2000)	Alta	4
Muy seco (500 – 1000)	Muy alta	5

Fuente: IDEAM, 2011.

A partir de esta categorización se generaron calificaciones más específicas para los municipios, en donde de acuerdo al valor de precipitación media anual y su categoría según IDEAM, se reclasificaban los valores se siguiendo los siguientes parámetros:

- Para los municipios en categoría Alta - Muy alta:
 - Media 3
 - Alta 4
 - Muy alta 5

- Para los municipios en categoría Media:
 - Bajo 2
 - Medio 3
 - Alto 4

- Para los municipios en categoría Baja - Muy baja
 - Bajo 1
 - Medio 2
 - Alto 3

Estos parámetros se retoman para la categorización de la temperatura, brillo solar y humedad relativa. Dado que el protocolo del IDEAM (2011), no presenta categorías para brillo solar y humedad relativa estos se toman de acuerdo a lo obtenido en temperatura y precipitación respectivamente.

5.2.2.2 Temperatura

Siendo una de las variables de mayor importancia dado el papel que cumple al desecar el material combustible acercándolo a su punto de ignición, los altos valores de temperatura aumentan las posibilidades de ocurrencia de un incendio, además, cuando el fuego ya se ha iniciado aumenta también, la velocidad de propagación alistando el material adyacente (Denham M. , 2007). Bajo este contexto se calificó la amenaza en función de los valores de temperatura media multianual reportada por municipio, teniendo en cuenta las calificaciones del IDEAM (2011) como se muestra en la **Tabla 5.13** y los parámetros anteriormente mencionados.

Tabla 5.13. Calificación de la temperatura.

TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	CATEGORIA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Nival (<1.5)	Muy baja	1
Extremadamente frío (1.5 – 6)	Baja	1
Muy frío (6 – 12)	Moderada	2
Frío (12 -18)	Moderada	3
Templado (18 – 24)	Alta	4
Cálido (>24)	Muy alta	5

Fuente: IDEAM, 2011.

5.2.2.3 Brillo solar

Determinado por factores como la latitud del lugar, la orientación de la pendiente, la cobertura de nubes, el mes y la hora del día, el brillo solar influye de forma diferente en la generación y propagación de incendios al variar estas condiciones. Ejemplo de esto son zonas de alta pendiente expuestas a los rayos solares tendrán mayor probabilidad de ocurrencia de incendios que aquellas que se encuentran bajo sombra.

Es así, como la información concerniente a este factor también resulta útil en la determinación de la amenaza por factores climáticos por lo que conforme a los valores reportados para el municipio se calificaron las categorías de amenaza, considerando la categoría de amenaza según el IDEAM (2011) para temperatura y teniendo en cuenta los valores de brillo solar medido en horas/mes.

5.2.2.4 Humedad relativa

Siendo la cantidad real aproximada de vapor de agua que contiene el aire, esta influye (en conjunto con la temperatura y velocidad del aire) en la pérdida de agua de la vegetación incrementando su vulnerabilidad, al seguir la relación a mayor temperatura mayor grado de sequedad del aire y por

ende pérdida de humedad de los combustibles (MMA, 2001c). Según Arce (2005), valores de humedad relativa altos también han de influir en la disponibilidad de oxígeno para la combustión.

La calificación de las categorías de amenaza de esta variable se estableció teniendo en cuenta la categoría de amenaza por precipitación establecida por el IDEAM (2011) y conforme a los valores máximos y mínimos reportados por municipio.

5.2.2.5 Generación del mapa de amenaza por factores climáticos

Con el fin de no castigar a los municipios que por su naturaleza tienen una alta amenaza en toda su área de acuerdo a la clasificación del IDEAM (2011) para precipitación y temperatura, siguiendo las calificaciones definidas anteriormente se establecieron tres categorías base teniendo en cuenta el grado de amenaza por municipio, así, las categorías de amenaza se reducen a tres rangos que responden al comportamiento propio del clima en cada municipio, como se observa en la **Tabla 5.14**.

Tabla 5.14. Ajuste para la calificación de la amenaza para los diferentes factores climáticos.

Municipios con Alta y Muy alta amenaza según IDEAM, 2011		Municipios con Moderada amenaza según IDEAM, 2011		Municipios con Baja y Muy baja amenaza según IDEAM, 2011	
Categorías	Calificación	Categorías	Calificación	Categorías	Calificación
Media	3	Bajo	2	Bajo	1
Alta	4	Medio	3	Medio	2
Muy alta	5	Alto	4	Alto	3

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

Dado que los factores de brillo solar y humedad relativa no son clasificados por el IDEAM (2011), estos se definen siguiendo el comportamiento de los resultados obtenidos para temperatura y precipitación respectivamente.

Al generar los mapas asociados al comportamiento de las variables y factores climáticos con las calificaciones pertinentes de amenaza, estos se correlacionan para obtener calificaciones de amenaza generales del análisis climático, así, teniendo en cuenta la siguiente ecuación, estos datos se normalizaron y categorizaron para la obtención del mapa de amenaza por factores climáticos bajo condiciones normales y de fenómeno del niño.

$$F_c = (0,3)T^{\circ} + (0,3)P_p + (0,15)B_s + (0,25)HR\%$$

Donde,

F_c: Factores climáticos

P_p: Precipitación

T: Temperatura

B_s: Brillo solar

HR: Humedad relativa

Al aplicar esta fórmula se obtienen valores, que varían de acuerdo a las condiciones propias de los municipios, a manera de ejemplo, si se obtuvieran valores ente 1 – 5 estos se agruparán para definir las categorías de amenaza y su calificación, como se observa en la **Tabla 5.15**.

Tabla 5.15. Calificación de amenaza total por factores climáticos.

RANGOS DE AMENAZA POR FACTORES CLIMÁTICOS	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
1,0 – 1,8	Muy baja	1
1,9 – 2,6	Baja	2
2,7 – 3,4	Media	3
3,5 – 4,2	Alta	4
4,3 – 5	Muy alta	5

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

5.2.3 Análisis del factor de relieve

La importancia de considerar los aspectos topográficos y de relieve del terreno para el análisis de amenaza por incendios forestales, radica en el papel determinante que adquiere la pendiente en la definición del comportamiento del fuego. Un claro ejemplo sucede con la vegetación situada más arriba de las llamas ya que se va secando por el calor y aumentando progresivamente su capacidad para empezar arder. También, los terrenos de alta pendiente favorecen la continuidad vertical y por ende la aparición de vientos aumentando la velocidad de propagación del incendio.

La pendiente es el elemento más importante para la planeación del control dado que las labores dependen en gran forma y aumentan su peligrosidad según el porcentaje de pendiente.

Este análisis se realizó con base en el mapa de curvas de nivel del área de estudio, a partir del cual se generó un modelo digital del terreno para conocer las pendientes en porcentaje las cuales se clasifican y califican, según el IDEAM (2011), como se muestra en la **Tabla 5.16**.

Tabla 5.16. Calificación de amenaza por pendiente.

RANGOS DE AMENAZA POR PENDIENTE (%)	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
0 – 7	Muy baja	1
7 – 12	Baja	2
12 – 25	Media	3
25 – 75	Alta	4
>75	Muy alta	5

Fuente: UT AVR CAR, 2014, a partir de información del IDEAM (2011).

5.2.4 Análisis del factor histórico

La información concerniente a las estadísticas históricas sobre incendios ocurridos siempre resulta ser de difícil análisis debido al poco control y reporte que existe de las mismas, una forma de contar con información que represente la ocurrencia de incendios es a través de la información disponible en la WEB (FIRMS), en la cual se pueden encontrar los reportes de **Puntos de Calor** por fecha y hora del evento, que mediante un análisis sencillo de frecuencia cruzado con la superficie de interés, permite determinar las áreas con mayor frecuencia de eventos.

Dado que no todos los municipios cuentan con reportes oficiales o datos de puntos de calor, este elemento de análisis, para dicho caso, será considerado como elemento de corroboración para los resultados obtenidos en la evaluación de la amenaza.

5.2.5 Análisis de accesibilidad

Este análisis hace referencia a la densidad vial y a la probabilidad de que la población pueda llegar a áreas forestales y generar focos de incendio (MAVDT & CONIF, 2008), por tal razón es considerada como un factor dentro de la amenaza.

Su análisis parte del mapa vial y de la generación de cinco zonas buffer para todas las vías del municipio; según el IDEAM (2011), la calificación a las categorías de amenaza representa el mayor o menor efecto que tiene la posibilidad de acceso y se propone un buffer de 500m a escalas 1:100.000 que para efectos del presente estudio se redujo proporcionalmente a la escala de trabajo (1:25.000) a 125 m como se muestra en la **Tabla 5.17**.

Tabla 5.17. Calificación de amenaza por accesibilidad.

RANGOS DE AMENAZA POR ACCESIBILIDAD (BUFFER -M-)	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
>375	Sin amenaza	1
250,1 – 375	Baja	2
125,1 – 250	Media	3
< 125	Alta	4

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

Pese a esto, IDEAM (2011), se contradice ya que además indica que el mapa de amenaza por accesibilidad se obtiene a partir de la generación de buffers que representan el área de influencia de las vías sobre los territorios aledaños, estableciendo buffers de 250m para vías primarias, 100m para vías secundarias y 50m para vías terciarias. Dado que el mapa de vías para los municipios de estudio no cuenta con una clasificación por tipo de vía, se decidió aplicar los buffer de 125 metros, en general para todas las vías presentes en los municipios.

5.2.6 Mapa de amenaza por incendios forestales

Para efectos del presente estudio la fórmula presentada por el IDEAM (2011), fue modificada para garantizar la inclusión del 100% de los elementos definidos como los factores que componen la amenaza, así, se reestructuraron los valores de ponderación, que dada la importancia del material combustible este adquiere el mayor valor de seguido por las condiciones climáticas y el factor de accesibilidad que hace referencia al componente de causalidad más importante.

De esta forma, y considerando la información del trabajo de campo y opiniones de expertos, se obtuvieron los factores de multiplicación y las fórmulas que se describen a continuación. La segunda fórmula considera el factor histórico debido a que no todos los municipios cuentan con reportes de incendios ni puntos de calor dentro de su área, lo que hizo necesario generar dos fórmulas independientes las cuales pueden estar sujetas a cambios según las condiciones propias de los municipios de estudio.

$$A = (0,3)Sc + (0,25)Fc + (0,2)Fr + (0,25)Ac \quad (1)$$

$$A = (0,3)Sc + (0,2)Fc + (0,15)Fr + (0,2)Ac + (0,15)Fh \quad (2)$$

Donde

A: Amenaza total

Sc: Susceptibilidad de la vegetación

Fc: Factores climáticos

Fr: Factor relieve

Ac: Accesibilidad

Fh: Factor histórico

Al aplicar la fórmula (1) se obtienen valores entre 1 – 4.75, los cuales se agrupan como se muestra en la Tabla 5.18.

Tabla 5.18. Calificación de la amenaza total por incendios forestales.

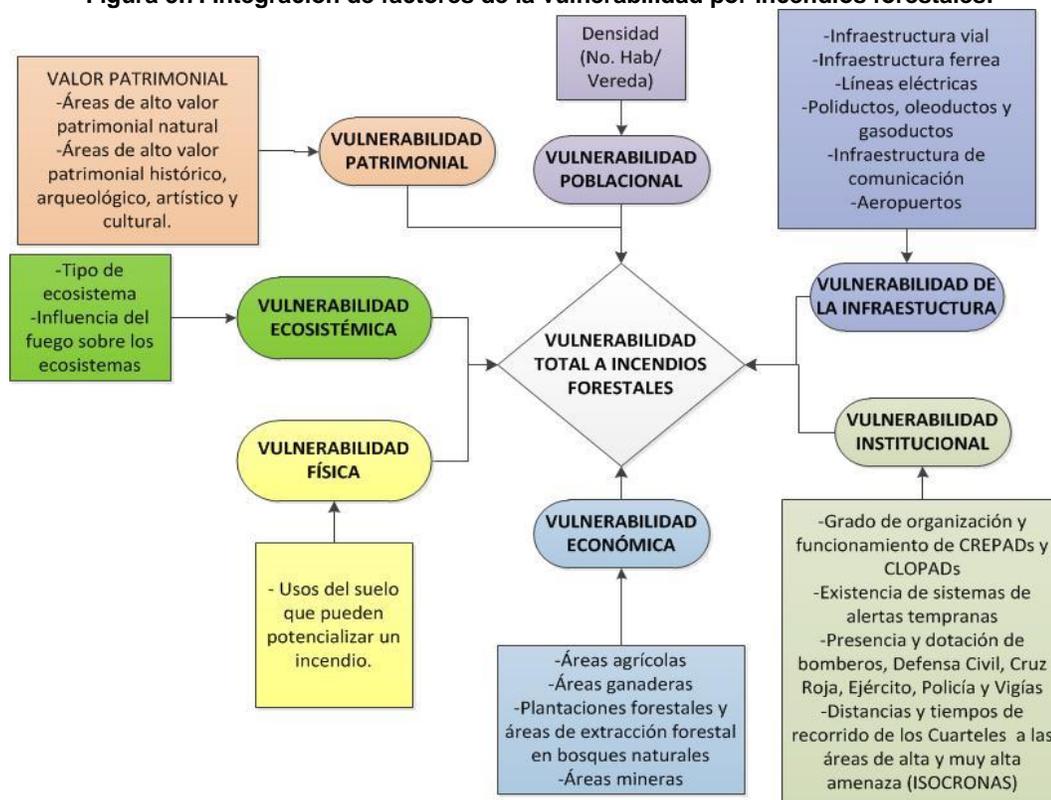
RANGOS DE AMENAZA TOTAL	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
1.0 – 1.75	Muy baja	1
1.76 – 2.5	Baja	2
2.51 – 3.25	Media	3
3.26 – 4.0	Alta	4
4.1 – 4.75	Muy alta	5

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

5.3 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

El análisis cuantitativo de las consecuencias generadas por un incendio forestal está en función de los elementos vulnerables expuestos: la vida y la seguridad de las personas, los valores de protección de infraestructuras, instalaciones y zonas habitadas, el valor económico de los sistemas forestales y el patrimonio histórico, natural y artístico. Considerando la presencia o no, de estos elementos en área del municipio, y los resultados del análisis de vulnerabilidad realizada por el equipo de trabajo, se estableció el análisis de vulnerabilidad en función a los componentes que se muestran en la Figura 5.7.

Figura 5.7. Integración de factores de la vulnerabilidad por incendios forestales.



Fuente: UT AVR CAR, 2014, a partir de información del IDEAM (2011).

A partir de estos elementos y siguiendo la metodología descrita por el IDEAM (2011), la ponderación que se presenta para los diferentes factores que componen la amenaza, se resume en la siguiente fórmula, la cual será modificada conforme a la disponibilidad de información dentro de los municipios y los criterios en orden de importancia para los valores de ponderación de cada factor señalados como más importantes por la comunidad y conocedores de la región.

$$Vul = (0,05)VIns + (0,2)VPat + (0,31)VPob + (0,2)Vt + (0,06)VInf + (0,18)Ve$$

Donde,

Vul: Vulnerabilidad ante incendios de la cobertura vegetal.

VIns: Vulnerabilidad institucional.

VPat: Vulnerabilidad patrimonial.

VPob: Vulnerabilidad poblacional.

Vt: Vulnerabilidad territorial (Física + Ecológica).

VInf: Vulnerabilidad de infraestructura.

Ve: Vulnerabilidad económica.

5.3.1 Análisis de la vulnerabilidad poblacional

En busca de analizar cuál es la población expuesta a sufrir algún tipo de efecto durante un incendio forestal, se revisó la cantidad de población concentrada, la cual, evaluada a través de la densidad poblacional generó un mapa de densidad poblacional para conocer la vulnerabilidad de la población.

El mapa de vulnerabilidad poblacional se procesa mediante la normalización, categorización y calificación de los datos resultantes para así obtener la información espacial de la población vulnerable.

A partir de los valores normalizados del número de habitantes por veredas se calcularon los rangos y calificaron las categorías, según lo establecido en la Tabla 5.19.

Tabla 5.19. Calificación de vulnerabilidad poblacional.

Rangos de Población (No. de habitantes / vereda) Valor normalizado	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
0 – 0,19	Muy baja	1
0,2 -0,39	Baja	2
0,40 – 0,59	Media	3
0,60 – 0,79	Alta	4
0,80 – 1	Muy alta	5

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

5.3.2 Análisis de vulnerabilidad física

Evaluada a partir de los usos del suelo que pueden potencializar un incendio, se categorizaron y clasificaron aquellos usos que hacen más o menos vulnerable el territorio considerando la opinión de expertos y concedores de la región.

Bajo este contexto y considerando aquellas coberturas que dada su naturaleza incluyen prácticas de quema para la preparación, instalación, manejo y/o mantenimiento de los terrenos, se identificaron cartográficamente las coberturas asociadas a esta práctica y que por ende tienen una alta vulnerabilidad física.

Tabla 5.20. Calificación de vulnerabilidad física.

PRÁCTICA DE QUEMAS	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
Nulo	Muy baja	1
Poco Frecuente	Baja	2
Medianamente frecuente	Media	3
Frecuente	Alta	4
Muy frecuente	Muy alta	5

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

5.3.3 Análisis de vulnerabilidad ecológica

Evaluada como el grado de afectación que pueden sufrir los distintos tipos de cobertura ante la probabilidad de que se presente un incendio, la vulnerabilidad ecológica se calificó en función a la importancia ecosistémica de los bosques y áreas naturales representados en las diferentes unidades de cobertura presentes en el municipio, la calificación se muestra en la Tabla 5.21.

Tabla 5.21. Calificación de vulnerabilidad ecológica.

IMPORTANCIA ECOLÓGICA	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
Nula	Muy baja	1
Poco significativa	Baja	2
Medianamente significativa	Media	3
Significativa	Alta	4
Muy significativa	Muy alta	5

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

5.3.4 Análisis de vulnerabilidad de la infraestructura

Este análisis consiste en el zonificación de los posibles peligros que existen sobre las instalaciones, edificaciones e infraestructuras que influyen en la mayor o menor gravedad potencial que puede alcanzar un incendio forestal; en donde la presencia o no de elementos tales como vías férreas, aeropuertos, helipuertos, instalaciones de comunicaciones, poliductos, líneas eléctricas, zonas de recreación, entre otras, permite identificar, según la cartografía disponible por municipio, la cantidad de infraestructura expuesta.

Dado que estos elementos se encuentran a lo largo de toda el área rural del municipio y los efectos del fuego sobre estas depende en gran medida del material de construcción y el tiempo de exposición al fuego, la vulnerabilidad se analiza de forma espacial generando un buffer cada 50 m, como se muestra en la **Tabla 5.22**.

Tabla 5.22. Calificación de vulnerabilidad por infraestructura.

Buffer (m)	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
150	Muy baja	1
100	Media	2
50	Alta	3

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

5.3.5 Análisis de vulnerabilidad patrimonial

Consiste en la determinación de los posibles efectos que puede ocasionar un incendio forestal sobre áreas de importancia patrimonial ya sean naturales, históricos, artísticos, culturales y/o religiosos.

Para tal fin es necesario contar con los diferentes mapas de áreas protegidas (Parques Nacionales Naturales, Reservas Forestales Nacionales, Áreas de Páramo, Ecosistemas estratégicos, Reservas de la biosfera, Reservas Regionales, Departamentales y Municipales, etc.), mapas de cuencas abastecedoras de acueductos y mapas de áreas de manejo especial (Resguardos y Reservas indígenas, Consejos comunitarios de comunidades afrocolombianas, etc.).

Estas áreas deberán calificarse por su valor de importancia para lograr espacializar estos atributos y generar el mapa de vulnerabilidad patrimonial, como se indica en la **Tabla 5.23**.

Tabla 5.23. Calificación de vulnerabilidad patrimonial.

AREAS DE PATRIMONIO	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
Nula	Muy baja	1
Poco importante	Baja	2
Medianamente importante	Media	3
Importante	Alta	4
Muy importante	Muy alta	5

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

5.3.6 Análisis de vulnerabilidad económica

Este análisis consiste en la generación de cartografía a partir del mapa de uso actual de la tierra, el cual se reclasificó con el fin de calificar las áreas de importancia de producción de bienes y servicios que pueden ser afectadas por la incidencia de un incendio forestal, tales como, áreas de producción agrícola, ganadera, forestal, minera, etc.

De acuerdo a lo establecido en la metodología del IDEAM (2011), para la elaboración de mapas de riesgo por incendio forestal, se generaron cinco categorías como se muestra en la **Tabla 5.24**.

Tabla 5.24. Calificación de vulnerabilidad económica.

IMPORTANCIA ECONOMICA	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
Muy baja producción de bienes y servicios	Muy baja	1
Baja producción de bienes y servicios	Baja	2
Moderada producción de bienes y servicios	Media	3
Alta producción de bienes y servicios	Alta	4
Muy alta producción de bienes y servicios	Muy alta	5

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

5.3.7 Análisis de vulnerabilidad institucional

Por medio de este análisis se identifican las debilidades institucionales para la atención de contingencias en incendios forestales, las cuales son relacionadas con la falta de organización y eficiencia de las instituciones que se encuentran a cargo de la gestión del riesgo. Por lo tanto, ha de describirse la cobertura de dichos organismos de control y asistencia de desastres, así como las dotaciones de equipos especializados para la atención de emergencias que estos poseen, dicha cobertura, en la medida de lo posible, deberá espacializarse.

También podrán ser considerados los tiempos de desplazamiento terrestre desde los cuarteles o estaciones (Bomberos, Defensa civil, Cruz roja, etc) hasta las áreas de mayor amenaza mediante la generación de isócronas, considerando el estado de las vías y la distancia a estas áreas.

5.3.8 Mapa de vulnerabilidad por incendios forestales

De esta forma y siguiendo la metodología descrita por el IDEAM (2011), la ponderación que se presenta para los diferentes factores que componen la vulnerabilidad, de acuerdo a la información general de campo y los criterios de conocedores de la región, se observan en las siguientes fórmulas, donde dado que no todos los municipios reportaron tener elementos de patrimonio vulnerables, los valores de ponderación cambian.

$$V = (0,2)Vp + (0,15)Vf + (0,2)VE + (0,1)VInf + (0,2)Ve + (0,15)VIns$$

$$V = (0,2)Vp + (0,1)Vf + (0,15)VE + (0,1)VInf + (0,2)Ve + (0,1)VIns + (0,15)VPat$$

Donde,

V: Vulnerabilidad total

Vp: Vulnerabilidad poblacional.

Vf: Vulnerabilidad física.

VE: Vulnerabilidad ecológica

VInf: Vulnerabilidad de infraestructura.

Ve: Vulnerabilidad económica.

VIns: Vulnerabilidad institucional.

VPat: Vulnerabilidad patrimonial.

De esta forma, una vez obtenidos los mapas de los factores de vulnerabilidad calificados y categorizados según grados de vulnerabilidad (Muy bajo, Bajo, Moderado, Alto, Muy alto) se procede a aplicar la fórmula y realizar la suma ponderada de los factores para realizar una nueva normalización y categorización de los resultados y así reagrupar los datos en los cinco rangos definidos de calificación (Tabla 5.25), el mapa resultante representa la vulnerabilidad total ante incendios forestales del área de estudio.

Tabla 5.25. Calificación de la vulnerabilidad total por incendios forestales.

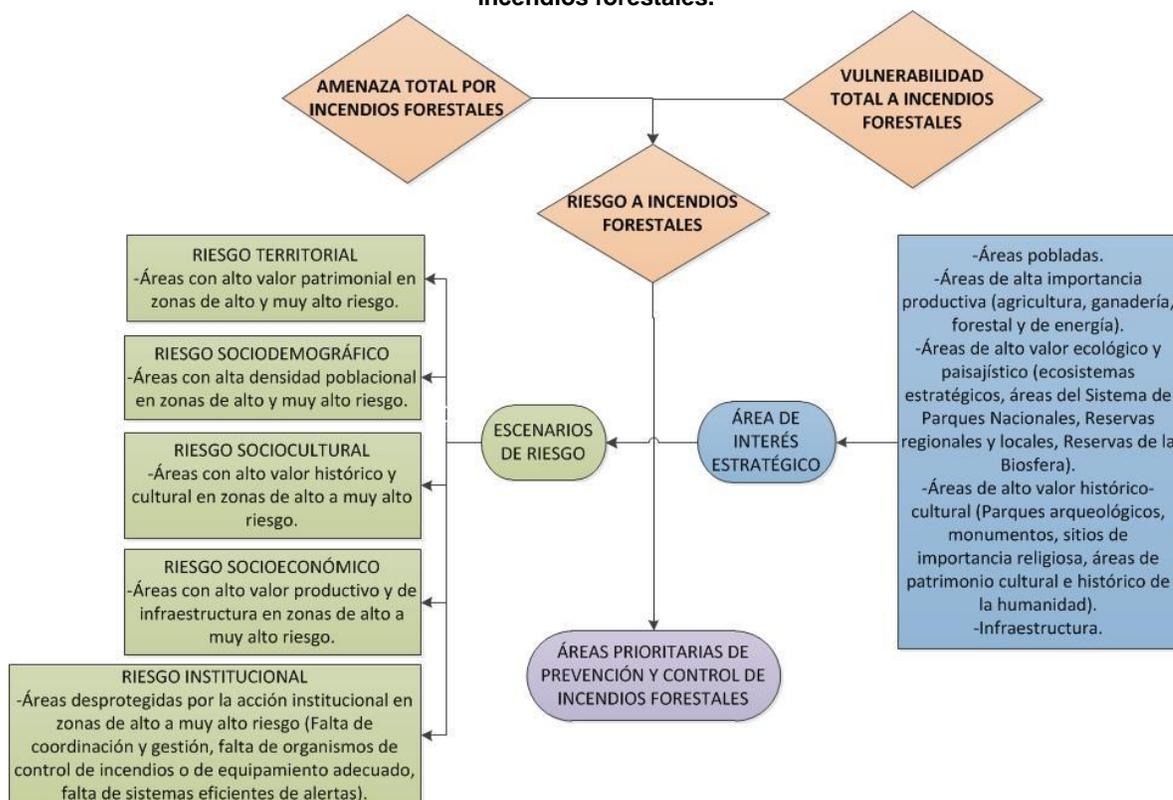
RANGOS DE VULNERABILIDAD TOTAL	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
1.0 – 1.74	Muy baja	1
1.75 – 2.48	Baja	2
2.49 – 3.22	Media	3
3.23 – 3.96	Alta	4
3.97 – 4.7	Muy alta	5

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

5.4 EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DEL RIESGO

El riesgo es la probabilidad de ocurrencia de consecuencias o de daños producto de la interacción de los elementos dinámicos y cambiantes que constituyen la amenaza y la vulnerabilidad. Por tal razón, para entender el comportamiento del riesgo es necesario expresarlo en el territorio a través de diferentes escenarios, como se muestra en la Figura 5.8.

Figura 5.8. Integración de la amenaza y la vulnerabilidad para la determinación de escenarios de riesgo por incendios forestales.



Fuente: UT AVR CAR, 2014, a partir de información del IDEAM (2011).

A partir de la obtención de escenarios de riesgo y mediante la superposición con las áreas consideradas de interés estratégico se definen las áreas prioritarias para la prevención y control de incendios de la cobertura vegetal, estas pueden ser:

1. Áreas pobladas (asentamientos)
2. Áreas de alta importancia productiva (agricultura, ganadería, forestal y de energía)
3. Áreas de alto valor ecológico y paisajístico (ecosistemas estratégicos, áreas del Sistema de Parques Nacionales, Reservas Regionales y locales, Reservas de la biosfera)
4. Áreas de alto valor histórico cultural (Parques arqueológicos, monumentos, sitios de importancia religiosa, áreas de patrimonio cultural e histórico de la humanidad)
5. Áreas con presencia de infraestructura estratégica (redes eléctricas, comunicación, aeropuertos, asentamientos humanos, etc.).

5.4.1 Mapa de riesgo por incendios forestales

La cartografía de riesgo define los escenarios que aportan de forma diferente a la gestión urbana y rural del riesgo por incendio forestal, donde el riesgo está en función de la amenaza y la vulnerabilidad, siguiendo la expresión:

$$Riesgo = f(Amenaza * Vulnerabilidad)$$

De esta forma, una vez obtenidos los mapas de amenaza y vulnerabilidad calificados y categorizados (Muy bajo, Bajo, Moderado, Alto, Muy alto) se procede a aplicar la fórmula y obtener el producto para realizar una nueva normalización y categorización de los resultados y así reagrupar los datos en los cinco rangos definidos de calificación (Tabla 5.26), el mapa resultante representa el riesgo total por incendios forestales de los municipios priorizados de la jurisdicción CAR.

Tabla 5.26. Calificación del riesgo por incendios forestales.

RANGOS DE RIESGO TOTAL	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
0,25 – 1,45	Muy baja	1
1,46 – 2,65	Baja	2
2,66 – 3,85	Media	3
3,86 – 5,05	Alta	4
5,06 – 6,25	Muy alta	5

Fuente: UT AVR-CAR, 2014.

La evaluación del riesgo se realiza mediante la generación de los siguientes escenarios:

1. *Riesgo sociodemográfico*: Áreas con alta densidad poblacional en zonas de alto a muy alto riesgo.
2. *Riesgo territorial*: Áreas con alto valor patrimonial en zonas de alto a muy alto riesgo.
3. *Riesgo sociocultural*: Áreas con alto valor histórico y cultural en zonas de alto a muy alto riesgo.
4. *Riesgo socioeconómico*: Áreas con alto valor productivo y de infraestructura en zonas de alto a muy alto riesgo.
5. *Riesgo institucional*: Áreas desprotegidas por la acción institucional en zonas de alto a muy alto riesgo (falta de coordinación y gestión, falta de organismos de control de incendios o de equipamiento adecuado, falta de sistemas eficientes de alertas).

3 FUENTES DE CONSULTA

CANTILLO R., CARLOS. 1999. Fundamentos Conceptuales sobre Riesgos y Desastres. Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia.

CANTILLO R., CARLOS. 1998. Propuesta Metodológica para la Evaluación de Riesgos por Remoción en Masa a Escala Local. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.

CANTILLO Y ASOCIADOS LTDA. 2013 para DGP – HVM Ingenieros – Fondo Adaptación. Consultoría para la Incorporación del Componente de Amenaza y Riesgo en los Estudios Previos de los Proyectos del Sector Educativo del Fondo Adaptación en los Departamentos de Cesar, Magdalena y Guajira. Bogotá, Colombia.

CARDONA A., OMAR D. 2003. Memorias Curso Virtual de Gestión de Riesgos. Structuralia y Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.

Corporación Autónoma de Cundinamarca, CAR. 2013. Anexo Técnico.

Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá, FOPAE. 2000., hoy Instituto de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, IDIGER. Resolución 364 de 2000. Bogotá, Colombia.

GONZÁLEZ, A. J., ZAMUDIO, E, CASTELLANOS, R. 1999. Relación de Precipitación – Duración de Lluvias que Disparan Movimientos en Masa en Santafé de Bogotá, Colombia.

RODRÍGUEZ, CARLOS E. 2001. *Hazard Assessment of Earthquakes induce Landslides on Natural Slopes. Ph. D. Tesis, Imperial College. London, U. K.*

WILCHES CH., GUSTAVO. 1993. La Vulnerabilidad Global, incluido en “Los Desastres no son Naturales”, compilación de Andrew Maskrey, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Bogotá, Colombia.

SALAS S., Marco A (2011). Metodología para la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones en zonas urbanas. Dirección de Investigación Subdirección de Riesgos por Inundación Mexico.

VILLÓN B., Máximo (2012). Cálculos Hidrológicos Hidro Esta 2. Escuela de Ingeniería Agrícola. Costa Rica.

MOLERO Emilio. (2007) Manual Básico Hec Ras y Geo Ras – Universidad Granada. Fuente nueva, España.

UNIDAD NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO, (2012). Formulación del Plan de Gestión del Riesgo. Bogotá, Colombia.

GRUPO DE CONSULTORÍA DEL PROYECTO DE ASISTENCIA TÉCNICA. (2009). Guía municipal para la gestión del riesgo, Bogotá, Colombia.

LEY 1523 de 2012. Plan de Gestión del Riesgo.