

ANÁLISIS DE RIESGOS GEOMORFOLÓGICOS DE LA PARTE ALTA DE LA
SUBCUENCA RÍO MONQUIRÁ, SOGAMOSO, BOYACA

HALDERS AMAURY ESCORCIA SALCEDO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
ESPECIALIZACIÓN EN ORDENAMIENTO Y GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS
BOGOTÁ
2018

ANÁLISIS DE RIESGOS GEOMORFOLÓGICOS DE LA PARTE ALTA DE LA
SUBCUENCA RÍO MONQUIRÁ, SOGAMOSO, BOYACA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TITULO DE
ESPECIALISTA EN ORDENAMIENTO Y GESTION INTEGRAL DE CUENCAS
HIDROGRAFICAS

DIRECTOR
MG. SONIA YAMILE RODRÍGUEZ MURCIA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
ESPECIALIZACIÓN EN ORDENAMIENTO Y GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS
BOGOTÁ
2018

1 INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia del municipio, más concreto en la parte alta del Subcuenca, Río Monquirá, se han producido numerosos represamientos debido a los diferentes fenómenos de remoción en masa, originados por los procesos morfodinámicos de las zonas superficiales del territorio, con base a la geología del sector, acompañados de la presencia antrópica (minería, cultivos), que han sido detonantes de los represamientos, desastres y catástrofes naturales, a menor escala ocasionando pérdidas humanas y materiales, en las últimas décadas los daños originados por estos eventos.

Se han disparado como consecuencia del vertiginoso crecimiento de la población y actividad minera sin manejos ambientales y de la ocupación por parte de ésta de espacios sumamente peligrosos.

En lo que se refiere a los riesgos geomorfológicos, geológicos, movimientos de ladera, hundimientos, subsidencias, arcillas expansivas y erosión, no parecen haberse incrementado el número anual de sucesos, pero sin embargo tanto los daños económicos como las pérdidas materiales han experimentado un crecimiento.

A pesar de los avances científico-tecnológicos estamos muy lejos de controlar dichos eventos, pero podemos analizar las causas que generan estos procesos con el fin de determinar sus posibles riesgos (plasmando los resultados en diversos documentos cartográficos), vulnerabilidad y exposición.

Una vez determinado el riesgo asociado a cada uno de los eventos, podremos establecer las herramientas y recursos adecuados para la prevención (la predicción es en muchos casos imposible), mitigación y protección de sus efectos

Para este conjunto de elementos se describieron sus características principales y su relación de susceptibilidad respecto a fenómenos de amenaza.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	ANTECEDENTES	7
2.1	ANTECEDENTES REGIONALES	7
2.2	ANTECEDENTES LOCALES	8
3	FORMULACION DE LA INVESTIGACION.....	10
3.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
3.2	JUSTIFICACION	10
4	OBJETIVOS.....	12
4.1	OBJETIVO GENERAL	12
4.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	12
5	MARCO TEORICO	13
5.1	DEFINICIÓN DE AMBIENTES MORFOGENÉTICOS.....	14
5.2	GEOMORFOESTRUCTURA (ESCALA < 1:2.500.000).....	16
5.2.1	Provincia Geomorfológica (Escala 1:1000.000 A 1:500.000).....	16
5.2.2	Región Geomorfológica (Escala 1:250.000 A 1:500.000).....	16
5.2.3	Subunidad Geomorfológica (Escala 1:10.000 a 1:25.000)	17
5.2.4	Componente o Elemento Geomorfológico (Escala 1:2000 A 1:10.000)	17
5.3	PROCESOS MORFODINÁMICOS NATURALES	17
5.3.1	Mapas Geomorfológicos Analíticos	19
5.3.2	Mapas Geomorfológicos Pragmáticos	19
5.4	ATRIBUTOS DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO.....	19
5.4.1	Insumos Básicos Necesarios Y Lineamientos Para La Elaboración Del Mapa Geomorfológico	20
5.5	FASES DE ELABORACIÓN DEL COMPONENTE GEOMORFOLÓGICO.....	20
5.6	INTERPRETACIÓN DE SENSORES REMOTOS.....	21
5.7	RIESGOS GEOMORFOLÓGICOS.....	21
5.8	PROCESOS GEOLÓGICOS EXTERNOS.....	22
6	MARCO LEGAL	28
6.1	GESTIÓN DEL AGUA.....	31
7	METODOLOGIA	32
7.1	METODOLOGIA EMPLEADA PARA ANALISIS DE RIESGOS GEOMORFOLOGICOS	32
7.1.1	Análisis Heurístico (Zona Rural).....	32
7.2	METODOLOGIA DE TRABAJO	34
7.2.1	Recopilación y análisis de la información bibliográfica y cartográfica.....	34
7.2.2	Fotointerpretación geológica y estructural.....	34
7.2.3	Verificación de información en campo.....	34
7.2.4	Procesamiento de Información.	35
8	CARACTERIZACION BASICA DE LA CUENCA ALTA DEL RIO MONQUIRÁ ..	36
8.1	LOCALIZACIÓN, CONTEXTO TERRITORIAL.....	36
8.2	DIVISION POLITICO ADMINISTRATIVA.....	37
8.2.1	Oferta institucional.....	37

8.3	HIDROGRAFÍA.....	38
8.3.1	Tipos de unidades hidrográficas	38
8.4	MARCO GEOLÓGICO LOCAL	44
8.4.1	Estratigrafía.....	45
8.4.2	Geología Estructural	51
8.4.3	Pliegues	52
9	ANÁLISIS DE RIESGOS GEOMORFOLÓGICOS.....	53
9.1	MORFOMETRÍA.....	53
9.1.1	Pendiente del terreno.....	53
9.1.2	Rugosidad Del Terreno	55
9.1.3	Acuenca.....	56
9.2	MORFOGÉNESIS.....	58
9.2.1	Geoformas de origen denudacional	61
9.2.2	Geoformas de Origen Fluvial.....	65
9.2.3	Geoformas de origen glacial.	66
9.2.4	Geoformas de origen estructural	68
9.2.5	Susceptibilidad Morfogenetica	76
9.2.6	Morfodinámica.....	77
9.3	ANÁLISIS UNIVARIADO DE MOVIMIENTOS EN MASA.....	81
9.3.1	Cálculo de la densidad de número (Dn).....	81
9.3.2	Densidad de superficie.....	82
10	SUSCEPTIBILIDAD GENERAL POR GEOMORFOLOGÍA.....	84
10.1	ANÁLISIS DE DETONANTES.....	86
10.1.1	Datos Meteorológicos.....	86
10.1.2	Precipitación	86
10.1.3	Sismos.....	90
11	AMENAZA TOTAL POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA.....	93
11.1	ZONAS DE INTERÉS EN CONDICIÓN DE AMENAZA ALTA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA	95
12	CONCLUSIONES.....	98
13	DOCUMENTOS CITADOS	100

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1.	Antecedentes Regionales	7
FIGURA 2.	Antecedentes Locales	9
FIGURA 3.	Esquema de jerarquización geomorfológica propuesto para INGEOMINAS.....	16
FIGURA 4.	Mapa geomorfológico para análisis de riesgos	18
FIGURA 5.	Insumos mapa geomorfológico.....	20
FIGURA 6.	Riegos climáticos y geomorfológicos.....	22
FIGURA 7.	Tipos de movimientos de ladera	25
FIGURA 8.	Normatividad	28
FIGURA 9.	Metodología SGC	32
FIGURA 10.	Susceptibilidad geomorfológica.....	33
FIGURA 11.	Clasificación de la susceptibilidad.....	34
FIGURA 12.	Localización Área de la cuenca del río Monquirá	36
FIGURA 13.	Diagrama de frecuencia porcentual división administrativa	37
FIGURA 14.	Microcuenca rio Chorreano	39
FIGURA 15.	Microcuenca Inter rio Monquirá.....	40
FIGURA 16.	Microcuenca Quebrada el Hatillo	41
FIGURA 17.	Microcuenca quebrada Honda	42
FIGURA 18.	Microcuenca quebrada Pinturas	43
FIGURA 19.	Análisis cuenca rio Monquirá	43
FIGURA 20.	Formación Chipaque (Ksc) Sector Rejoya quebrada la carbonera.....	46
FIGURA 21.	Formación Plaeners (Ksgp) Vereda Pedregal alto sector Alto los cinco grandes, eje anticlinal de Pilar y Seibita. 47	47
FIGURA 22.	Formación Los Pinos Sector La Senda	47
FIGURA 23.	Formación labor y tierna (Ksgt) vereda pedregal alto sector la esperanza.....	48
FIGURA 24.	Mapa geológico.....	50
FIGURA 25.	Leyenda temática mapa geológico.....	51
FIGURA 26.	Distribución de las unidades geológicas dentro de la cuenca del Río Monquirá	51
FIGURA 27.	Mapa de pendiente de la Cuenca del Río Monquirá	54
FIGURA 28.	Mapa de rugosidad de la cuenca del rio Monquirá	56
FIGURA 29.	Mapa de Acuenca de la cuenca del rio Monquirá	58
FIGURA 30.	Ambientes morfogenéticos y distribución porcentual.....	61
FIGURA 31.	Loma Denudada (Dld)	62
FIGURA 32.	Cerro Residual (Dcrs).....	63
FIGURA 33.	Cono de Talud (Dct)	64
FIGURA 34.	Ladera Erosiva (Dle).....	64
FIGURA 35.	Escarpe de línea de Falla (Slfe)	68
FIGURA 36.	Sierra Anticlinal (Ssan).....	70
FIGURA 37.	Sierra Sinclinal (Sss).....	71
FIGURA 38.	Mapa Geomorfológico	74
FIGURA 39.	Mapa de Susceptibilidad Morfogenetica de la cuenca del rio Monquirá	76
FIGURA 40.	Ilustración de estadísticas focalizadas en vecindad rectangular.....	78
FIGURA 41.	Relieve relativo	79
FIGURA 42.	Mapa inclinación de ladera de la cuenca de rio Monquirá.....	80
FIGURA 43.	Mapa de Susceptibilidad por Geomorfología	84
FIGURA 44.	Descripción de la Susceptibilidad por Geomorfología para la cuenca alta del Río Monquirá.....	85
FIGURA 45.	Precipitación Media Mensual Multianual.....	87
FIGURA 46.	Mapa de isoyetas precipitación media mensual	88
FIGURA 47.	Mapa de isoyetas precipitación media en tiempo seco	89
FIGURA 48.	Mapa de escenario de amenaza relativa por lluvias	90
FIGURA 49.	Mapa de escenario de amenaza relativa por sismo	92
FIGURA 50.	Amenaza general por fenómenos de remoción en masa	93

FIGURA 51.	Mapa de Amenaza Por Fenómenos de Remoción en Masa	94
FIGURA 52.	Nivel de Amenaza por FRM en la Cuenca del Río Monquirá	95
FIGURA 53.	Flujo de lodos sector Alto el Volador	96
FIGURA 54.	Reptación de suelos sector cuchilla Mortiñal.....	96
FIGURA 55.	Deslizamiento traslacional	96
FIGURA 56.	Obstrucción del canal por pérdida de material vegetal	97

LISTADO DE TABLAS

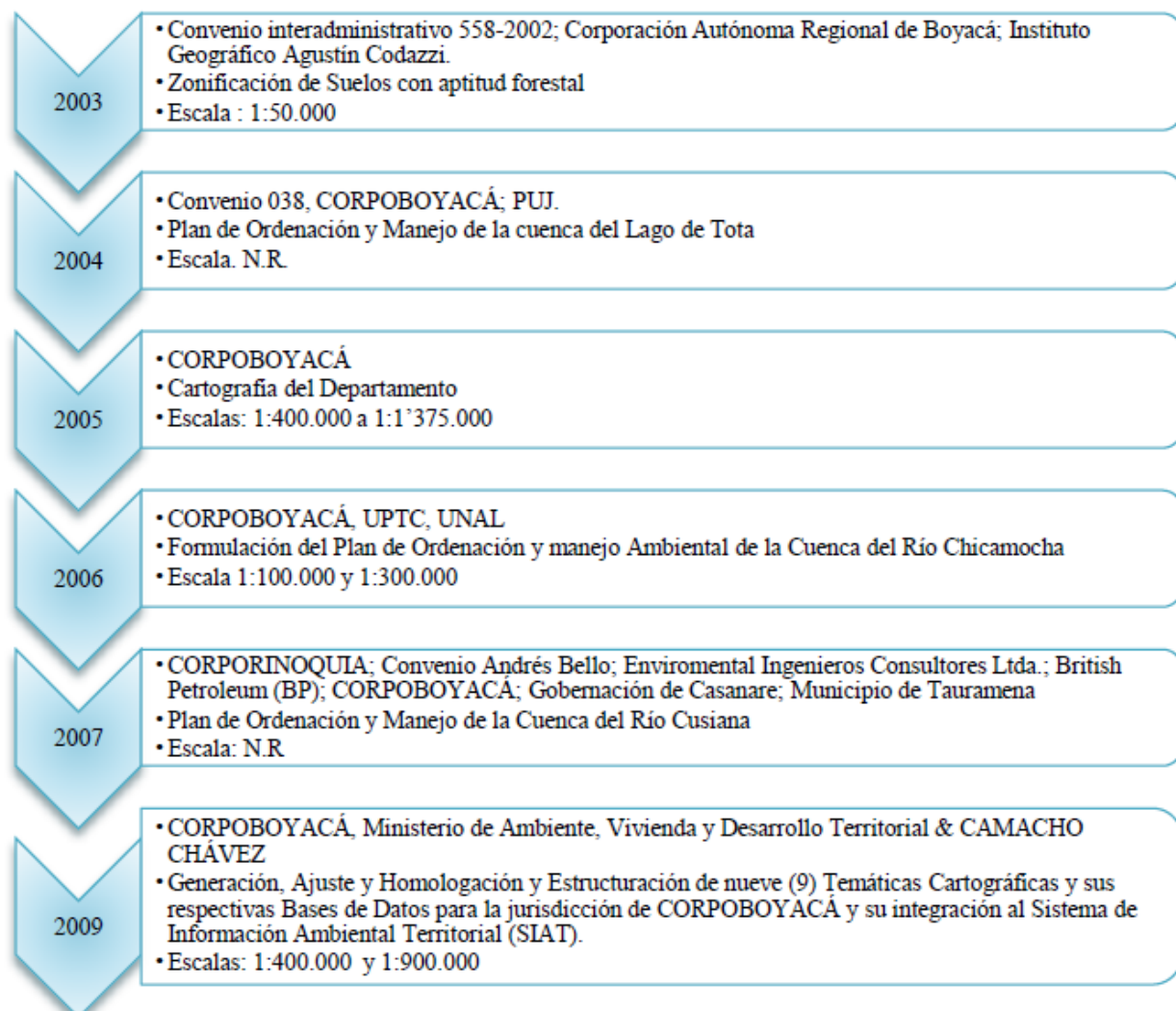
TABLA 1.	Division política.....	37
TABLA 2.	Extensión Microcuenca rio Chorreano	38
TABLA 3.	Extensión Microcuenca Inter rio Monquirá	39
TABLA 4.	Extensión microcuenca Quebrada el Hatillo.....	40
TABLA 5.	Extensión microcuenca quebrada Honda.....	41
TABLA 6.	Extensión Microcuenca quebrada Pinturas	42
TABLA 7.	Clasificación por rango de Pendientes	54
TABLA 8.	Clasificación de Acuenca.....	57
TABLA 9.	criterios para la calificación del atributo morfogenético de las unidades geomorfológicas.....	59
TABLA 10.	calificación de las unidades geomorfológicas.....	59
TABLA 11.	Ambiente Denudacional.....	65
TABLA 12.	Ambiente de Origen fluvial	66
TABLA 13.	Ambiente de Origen Glacial	67
TABLA 14.	Ambiente de Origen Estructural	72
TABLA 15.	Unidades geomorfológicas y calificación morfo genética	72
TABLA 16.	Unidades geomorfológicas.....	75
TABLA 17.	Unidades geomorfológicas en condición de susceptibilidad alta	77
TABLA 18.	cálculo de la densidad de número por cada una de las unidades cartográficas	81
TABLA 19.	Densidad de superficie para cada unidad cartográfica	82
TABLA 20.	Estaciones Meteorológicas Utilizadas IDEAM	86
TABLA 21.	Calificación del detonante sismo	91

2 ANTECEDENTES

2.1 ANTECEDENTES REGIONALES

Se tienen en cuenta los estudios realizados en zonas departamentales o de cuencas hidrográficas que contienen total o parcialmente al municipio de Sogamoso. A continuación, se presentan en orden cronológico los documentos entregados por la alcaldía de Sogamoso y clasificados en este tipo de antecedentes.

FIGURA 1. Antecedentes Regionales



Fuente: Autor

De estos estudios se retoma el marco geográfico referencial de la cuenca a nivel regional, a fin de obtener un punto de partida, que permitiera visualizar la problemática regional actual y sus influencias respecto a la zona de estudio.

A pesar de no ser escalas detalladas estos estudios pueden extrapolar similitudes entre los diferentes componentes entorno al análisis de riesgos, como de elementos expuestos así mismo para factores detonantes.

Estos últimos fueron estudiados en el año 2011 por la corporación autónoma de Boyacá en la elaboración de la zonificación por inundación a escala 1:50000, de este se observaron datos hidroclimatológicos que pudieran ajustarse más para un espacio específico.

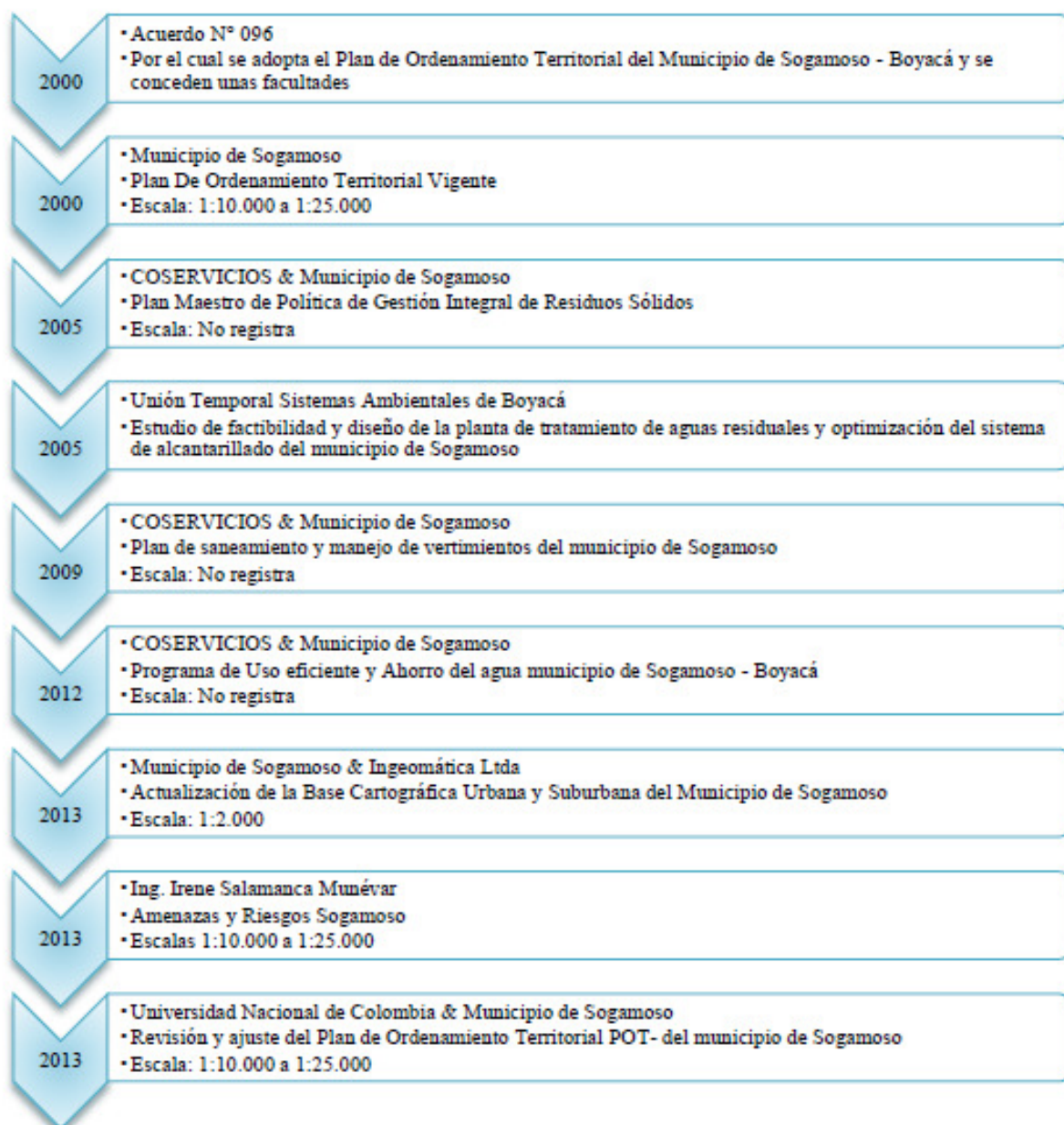
Por otro lado, los planes de manejo de cuenca del río Chicamocha y Río Cuasina dejan entre ver la alta susceptibilidad de las rocas en la región ante procesos erosivos y de meteorización intensa, que fomentan el desprendimiento de masas importantes de suelo.

Como es de entender este estudio enfoca esfuerzos de manera general que permitieron inferir comportamientos geo mecánicos que más tarde fueron ratificados en salidas de campo de reconocimiento. Así se determinaron zonas de alto interés ambiental por FRM para cauces importantes de la cuenca.

2.2 ANTECEDENTES LOCALES

Dentro de los antecedentes locales se nombra el resumen de estudios como marco de referencia técnico y legal, los cuales hacen referencia a estudios efectuados dentro del área de la cuenca o sus alrededores.

FIGURA 2. Antecedentes Locales



Fuente: Autor

De estos antecedentes se extrajo el marco local geográfico, datos político administrativos así como cartografía básica y algunos referentes en gestión del recurso hídrico, que permitieran establecer un punto de partida, o fundamento básico en materia técnica.

Del mismo modo se evidenciaron escenarios de contaminación de cauces, que permitirán establecer futuros planes de mitigación y control ambiental

3 FORMULACION DE LA INVESTIGACION

3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La cuenca hidrográfica del Rio Monquirá constituye la principal unidad ambiental del municipio de Sogamoso ocupando el 34.54% del área total de este. Se extiende territorialmente desde la alta montaña hasta el casco urbano, siendo esta el principal corredor ambiental de la zona.

En su parte alta propende el desarrollo socio cultural y agropecuario del municipio, suministrando bienes naturales y servicios ambientales como acueductos veredales, maderas, minerales etc.

Por lo cual la cuenca se ha convertido en un modelo fundamental de sostenibilidad y desarrollo.

Actualmente la ronda hídrica del Rio Monquirá está declarada en el POT (2016) como patrimonio ambiental y de protección, sin embargo, se ha visto vulnerada debido al aumento en la expansión urbana y a la transformación del espacio físico ambiental, que ha modificado las características y afectando la conservación de todos sus elementos naturales

Por otro lado, la actividad agropecuaria intensa ha contribuido a la fragmentación de las propiedades geomecánicas del suelo, a la pérdida de capacidad portante conlleva a la ocurrencia de masas susceptibles a deslizarse, por otro lado características litológicas donde predominan rocas arcillosas blandas favorecen a la acción de agentes erosivos, los cuales derivan en la ocurrencia de zonas de desgaste rocoso e inestabilidad, derivando en la ocurrencia de amenazas de tipo socio-natural.

De igual forma la falta de conocimiento de las características básicas de la cuenca, el fallo en la sensibilización pública en términos de sostenibilidad, e identificación de escenarios de amenazas, reducen en gran magnitud la capacidad de respuesta y resiliencia de una comunidad.

Es por esto que la identificación de riesgos geomorfológico, y un análisis específico de zonas de amenaza provee un punto de partida en la orientación de medidas idóneas de administración y planificación del territorio hidrográfico, y de los recursos naturales enfocadas a la preservación de la biomasa y conservación de las fuentes hídricas en conjunto con la disminución de la vulnerabilidad ambiental y social.

3.2 JUSTIFICACION

La individualización y evaluación de amenazas asociadas a procesos erosivos y fenómenos de remoción en masa ya sean naturales o antrópicos de la cuenca, provee un punto de partida en la

orientación de medidas idóneas de administración y planificación del territorio hidrográfico, y de los recursos naturales enfocadas a la preservación de la biomasa y conservación de las fuentes hídricas en conjunto con la disminución de la vulnerabilidad ambiental y social.

Una correcta caracterización aumenta la capacidad de gestión prospectiva y preventiva de los posibles eventos que amenazan tanto a comunidades como al componente ambiental. Adicionalmente se debe integrar la gestión del riesgo en la planificación territorial y del desarrollo; en los POMCA desde la fase de aprestamiento hasta la fase de formulación, considerando la gestión del riesgo, como un condicionante para el uso y ocupación del territorio de forma segura, procurando de esta forma evitar la configuración de nuevas condiciones de riesgo, es así como este componente se hace imprescindible en la planificación territorial conservación de la biodiversidad y los servicios eco sistémicos, los asentamientos humano, la infraestructura estratégica y las áreas donde se desarrollan actividades productivas, se busca establecer las medidas necesaria para evitar el deterioro de los recursos naturales, la afectación del desarrollo económico y social procurando una ocupación del territorio de forma segura, de esta forma evitar la configuración de nuevas condiciones de vulnerabilidad y riesgo.

Por lo tanto este componente se orienta al análisis geomorfológico, geológico, y uso del suelo así como su relación y comportamiento en parámetros como Morfodinámica, Morfometria, morfogénesis, que generen riesgos y amenazas de origen natural.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el riesgo geomorfológico de la subcuenca del río Monquirá, Sogamoso, Boyacá.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Elaborar el componente geológico y geomorfológico de la cuenca alta del río Monquirá a fin de establecer características litológicas y evolutivas del terreno
- Identificar los principales procesos de fenómenos de remoción en masa activos que intervienen en la evolución y seguridad de las laderas y las posibilidades de afectación en la cuenca.
- Realizar una valoración cualitativa del grado de actividad de los fenómenos de remoción en masa.
- Establecer aquellas zonas de terreno, que bien por la ocurrencia de fenómenos de remoción actuales o bien por el grado de actividad de los mismos, constituyan áreas de mayor susceptibilidad a la inestabilidad.

5 MARCO TEORICO

La Geomorfología es la ciencia que trata la descripción y el estudio de la génesis, clasificación, procesos y evolución de las formas antiguas y recientes de terreno (tanto terrestres como submarinas) y su relación con las estructuras infrayacentes. Esta ciencia está enfocada al análisis de la superficie de la tierra en donde interactúan la litosfera, la hidrósfera, la atmósfera y la biosfera (Carvajal, 2008).

La geomorfología involucra, comprende y relaciona el paisaje con los procesos erosivos, acumulativos, o tectónicos que han ocurrido a lo largo del tiempo para su modelado o evolución. Según esto, la interpretación de la geomorfología tiene por finalidad la descripción de las formas del terreno, y la explicación de su génesis (origen), evolución a través del tiempo geológico, la definición de la naturaleza de los materiales, la clasificación de los paisajes según el proceso o agente natural dominante, composición, edad, y la explicación de la magnitud de los agentes y procesos geomorfológicos modeladores.

Por consiguiente es necesario plasmar la geoinformación adquirida en mapas temáticos que reflejen la realidad del terreno con el fin de realizar la evaluación de amenazas naturales, elaboración de Planes de Ordenamiento Territorial, considerar el desarrollo de obras de infraestructura, y establecer zonificaciones geo mecánicas entre otras. Para este propósito existen varias metodologías con el fin de categorizar las unidades del terreno a nivel geomorfológico, pero para el caso de estudio se empleara la metodología por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) del mismo modo se exponen metodologías utilizadas a nivel nacional por entidades estatales, estas son la empleada.

La metodología del SGC, (Carvajal, 2011; CARVAJAL, 2008) la categoriza las Unidades del Terreno por los “contrastes morfológicos y morfométricos que relacionan el tipo de material o la disposición estructural de estos con la correspondiente topografía del terreno”, como “Subunidades”, que corresponden a formas particulares del terreno consideradas en un ambiente morfogenético y morfodinámico específico.

La metodología IGAC, (Zinck, Noviembre de 2012) categoriza las Unidades de Terreno y las ordena con base a un juicio experto y experiencia de campo en dos grupos: “las formas de terreno predominantemente controladas por la estructura geológica (geodinámica interna) y las formas de terreno predominantemente controladas por los agentes morfogenéticos (geodinámica externa)”. Para el propósito del análisis geomorfológico en el presente estudio, se utilizó la metodología del SGC, la cual surge o es retomada del ITC de Holanda (Verstappen y Van Zuidam (1975), Verstappen, 1983 y Van Zuidam; con modificaciones y jerarquización geomorfológica adoptada por INGEOMINAS (2002) con base en la propuesta hecha por Velásquez, (1999), ajustada por Carvajal (2002), Carvajal (2003), Carvajal y otros (2003) y Carvajal (2005), y propuesta Carvajal (2011) la cual relaciona las escalas de trabajo con la génesis de las geoformas asociadas a los diferentes ambientes morfogenéticos y cuya aplicación es variada de acuerdo a los objetivos del trabajo donde se incluye un glosario de unidades geomorfológicas.

Parte de estas clasificaciones distinguen a la geomorfología como el conjunto de aspectos dinámicos, genéticos y estructurales que es de gran importancia resaltar.

5.1 DEFINICIÓN DE AMBIENTES MORFOGENÉTICOS

Para cumplir con el propósito del proyecto, la información geomorfológica del Municipio de Sogamoso, se representa en un mapa ó plano escala 1: 25.000, el cual está relacionado con una base de datos planteada para ser manejada con un sistema de información geográfica (SIG). Para tal efecto se siguen los lineamientos generales establecidos en la metodología I.T.C (VERSTAPPEN Y VAN ZUIDAM, 1992, DAMEN). Cada elemento cartográfico está representado, por símbolos; convenciones y colores usados en estándares de uso internacional (Metodología I.T.C – Verstappen y Van Zuidam 1992) con modificaciones establecidas por Carvajal (2002) de acuerdo con la experiencia del Servicio Geológico Colombiano (SGC).

El levantamiento geomorfológico está dirigido a proporcionar información precisa y debidamente jerarquizada de las geoformas observadas y cartografiadas en el municipio así como la definición y caracterización de los procesos morfodinámicos y los fenómenos naturales conexos. Para su caracterización se considera la metodología de trabajo que desarrollan las entidades del Estado cuya misión es el avance del conocimiento y la evaluación de las amenazas naturales (Carvajal, 2011).

En la elaboración de este componente, se siguen los lineamientos de jerarquización propuestos por Carvajal (2008) y Carvajal (2011), quien plantea enfocar el análisis geomorfológico de un sitio o lugar, siguiendo un proceso analítico del terreno desde un punto de vista regional hasta llegar a uno local. En donde, se relaciona la escala aplicada la cual es 1:25.000.

Un ambiente morfogenético, agrupa las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas bajo las cuales se formaron las geoformas. Se determina con base en la expresión e interpretación de los procesos geomorfológicos registrados en el terreno, que dieron lugar a la formación, evolución y modificación de las geoformas. Según la clasificación propuesta por Carvajal 2008 y teniendo en cuenta los ambientes morfogenéticos existen las siguientes categorías de ambientes a nivel nacional de los cuales se simplificara y utilizaran los existentes en el municipio de Sogamoso.

Teniendo en cuenta la metodología empleada por Carvajal (2008), se plantea enfocar el análisis geomorfológico de un sitio o lugar, siguiendo un proceso analítico del terreno desde un punto de vista regional hasta llegar a uno local. Para tal efecto desarrolla una propuesta de jerarquización geomorfológica, en la cual relaciona las escalas de trabajo con las jerarquías geomorfológicas, donde la base regional está fundamentada en la génesis geológica de las geoformas y los ambientes morfogenéticos, así como el detalle basado en los ambientes morfogenéticos, expresión morfológica, litología y procesos morfodinámicos.

Agrupa las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas bajo las cuales se formaron las geoformas. Se determina con base en la expresión e interpretación de los procesos geomorfológicos registrados en el terreno, que dieron lugar a la formación, evolución y modificación de las geoformas. Los ambientes morfogenéticos se agrupan en:

Ambiente morfoestructural: corresponde a las geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra, especialmente las asociadas a plegamientos y fallamientos. Incluye el ambiente neotectónico (Geoformas originadas por la actividad tectónica activa y que se ha prolongado durante el Cuaternario). El color utilizado en la cartografía para estos paisajes es el púrpura.

Ambiente volcánico: asociado en las regiones donde predominan los procesos que generan geoformas volcánicas por la extrusión de materiales fundidos procedentes del interior de la tierra. Color recomendado el rojo de acuerdo con Verstappen y Van Zuidam (1992).

Ambiente Denudacional: determinado por la actividad de procesos de meteorización, y predominantemente de procesos erosivos hídricos y de fenómenos de transposición o de remoción en masa actuantes sobre geoformas pre-existentes. Para este tipo de regiones el color adoptado es el marrón.

Ambiente fluvial: corresponde a las geoformas generadas por los procesos relacionados con la actividad fluvial. Se propone el color azul para estas regiones.

Ambiente marino profundo y costero: determinado por las geoformas construidas por la actividad de las corrientes marinas y el oleaje costero del mar. El color propuesto para este tipo de región es el verde.

Ambiente glaciar: definido por las geoformas originadas por la acción glacial, tanto de los casquetes polares, como en altas montañas. Color de la simbología para la cartografía de este tipo de ambiente natural es el gris.

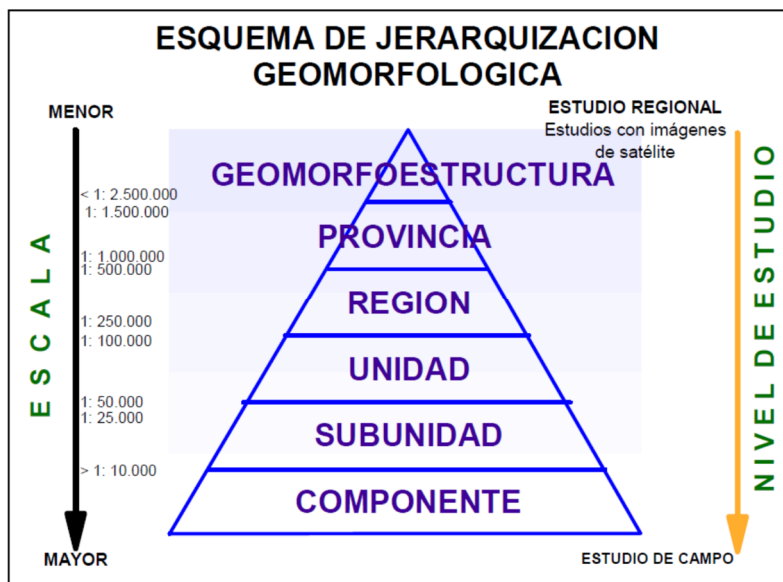
Ambiente eólico: geoformas formadas por la acción del viento, como agente modelador del paisaje en zonas desérticas principalmente. Las geoformas de este ambiente se identifican con color amarillo de acuerdo al sugerido por Verstappen y Van Zuidam (1992).

Ambiente karstico: definido por las formas producto de la meteorización y dilución de rocas y materiales de fácil dilución en ambientes húmedos y cálidos, tales como las calizas y sal. Este tipo de geoformas se recomienda utilizar simbología en color naranja de acuerdo a la metodología ITC. (Verstappen y Van Zuidam, 1992).

Ambiente antropogénico y/o biológico: morfologías formadas por la actividad del hombre que modifica la superficie del terreno. Geoformas cartografiadas en tramas de color negro.

Del estudio de ambiente morfogenético se pretende enfocar el análisis geomorfológico de un lugar de manera general a lo particular. Identificar un ambiente predominante en un lugar permite establecer un indicio de las geoformas resultantes. Para tal efecto desarrolla una propuesta de jerarquización geomorfológica, en la cual relaciona las escalas de trabajo con las jerarquías geomorfológicas, donde la base regional está fundamentada en la génesis geológica de las geoformas y los ambientes morfogenéticos, y el detalle basado en los ambientes morfogenéticos, expresión morfológica, litología y procesos morfodinámicos.

FIGURA 3. Esquema de jerarquización geomorfológica propuesto para INGEOMINAS



Fuente: Ingeominas

5.2 GEOMORFOESTRUCTURA (ESCALA < 1:2.500.000)

Corresponde a grandes áreas geográficas o amplios espacios continentales o intracontinentales, caracterizados por estructuras geológicas y topográficas regionales. Ejemplo de esta categoría son cratones, escudos, plataformas, grandes cuencas, cinturones orogénicos y valles en rift.

5.2.1 Provincia Geomorfológica (Escala 1:1000.000 A 1:500.000)

Son conjuntos de regiones con geoformas parecidas y definidas por un macro relieve y una génesis geológica similar. Localmente, se corresponden con las regiones naturales y con los terrenos geológicos de Colombia, los cuales están demarcados por fallas regionales y continentales definidas o inferidas. Se definen en términos tales como: cinturones montañosos, llanuras, peniplanicies, cordilleras y serranías. (BREÑA A & JACOBO.M)

5.2.2 Región Geomorfológica (Escala 1:250.000 A 1:500.000)

Involucra a las geoformas relacionadas a la génesis de los paisajes, y definidas por un marco de ambiente morfogenético definido y afectados por procesos dinámicos parecidos. Aquí se pueden agrupar áreas equivalentes a vertientes que estén contenidas dentro de una provincia geomorfológica y que representen un ambiente morfogenético particular con condiciones climáticas homogéneas. Se constituyen de Unidades geomorfológicas (Escala 1:50.000 a 1:100.000), definidas como una geoformas individual genéticamente homogénea, generada por un proceso geomorfológico construccional o destruccional de un ambiente geomorfológico particular. Corresponde a los elementos básicos que componen un paisaje o modelo geomorfológico, los

cuales están definidos con criterios genéticos, morfológicos y geométricos en función de la escala el proceso natural que lo conformó.

5.2.3 Subunidad Geomorfológica (Escala 1:10.000 a 1:25.000)

Esta categoría está definida fundamentalmente por contrastes morfológicos y morfométricos que relacionan el tipo de material o la disposición estructural de los mismos. Igualmente, está definida por el contraste dado por las formaciones superficiales asociadas a procesos morfodinámicos actuales de meteorización, erosión, transporte y acumulación bien definidos. (IDEAM, 2004)

5.2.4 Componente o Elemento Geomorfológico (Escala 1:2000 A 1:10.000)

Esta subdivisión representa el máximo nivel de detalle en la jerarquización. Determina 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. (IDEAM, 2004)

5.3 PROCESOS MORFODINÁMICOS NATURALES

Los procesos geomorfológicos son dinámicos y por lo tanto corresponden a todos los movimientos que ha experimentado la tierra desde sus inicios, tanto aquellos que se originan en su interior (Geodinámica interna, o Los procesos geodinámicos externos (exógenos), están representados por los fenómenos que actúan en la superficie terrestre, y contribuyen a remodelar y reducción del relieve inicial; la acción de los procesos exógenos se traduce en la meteorización de las rocas, la erosión y transporte de materiales y los fenómenos de remoción en masa. Estos procesos que son destructores modificadores de las geoformas iniciales, son a la vez constructores de nuevos paisajes mediante la sedimentación o depositación de materiales productos. En Tabla se presenta esquemáticamente los diferentes procesos geodinámicos, tanto endógenos como exógenos y su relación e influencia en la conformación morfológica de una vertiente o ladera y por ende en la generación de movimientos en masa. (Verstappen y Van Zuidam, 1992)

El estudio morfodinámico de la cuenca, contribuye a un mayor conocimiento de los eventos que afectan la estabilidad del terreno que ocurren en la región, su modelamiento activo así como la zonificación de áreas susceptibles a fenómenos de remoción en masa, la morfodinámica se analizó como parte de la geomorfología que estudia la interpretación, identificación, cualificación, cuantificación y cartografía de los procesos de remoción en masa potenciales, actuales o antiguos que ocurren en diferentes sectores del área municipal teniendo en cuenta el relieve asociado a las características de los materiales, la topografía ya que es muy variada y la litología y estructuras geológicas algo diversas compuestas por diferentes tipos de materiales algunos poco o nada consolidados y otros con características muy compactas como los macizos rocosos donde cada formación geológica se caracteriza por los diferentes grados de respuesta a los procesos erosivos.

la actividad antrópica del municipio de la cuenca se encuentra focalizada en diferentes sectores como las riveras de las quebradas con intervención humana donde se han ubicado algunos asentamientos, así como a lo largo de las vías de comunicación por medio de cortes de taludes, algunas zonas de minería a cielo abierto y minería subterránea, en general teniendo en cuenta el área del municipio se presentan procesos erosivos de escasa intensidad, pero la erosión potencial puede variar en caso de una deforestación o aumento de la intervención humana para sus procesos productivos como cultivos, pastoreos, ganadería o siembra de bosques de tipo comercial.

FIGURA 4. Mapa geomorfológico para análisis de riesgos

PROCESOS GEODINÁMICOS (AGENTES)		PROCESOS MORFOGENÉTICOS	CATEGORÍAS GEOMORFOLÓGICAS MAYORES	CATEGORÍAS GEOMORFOLÓGICAS MENORES
INTERNOS (Endógenos)	MORFOESTRUCTURAL	Magmatismo (intrusión Volcanismo)	Cadenas montañosas (Cordilleras).	Gravens, Horst
Deriva Continental Tectónica de Placas		Tectonismo: Compresión, distensión, Plegamiento, Fallamiento.	Altillanuras (Llanos orientales)	Valles Sinclinales
		Sísmicos	Piedemonte	Laderas estructurales Anticlinales
EXTERNOS (Exógenos)	DENUDACIONAL (Marino, Fluvial, Glaciar, Eólico, Lacustre, antrópico). (Degradacional)	Meteorización	Valles Intramontanos (Valle Magdalena y Cauca)	Planicies, colinas, mesetas y laderas denudadas
Agua, Hielo, Viento, Gravedad, fenómenos Meteorológicos, Corrientes Fluviales y Marinas, Lluvias Actividad biológica y del hombre.		Erosión: fluvial, glaciar, hídrica y marina	Altiplanicies	Valles con cañones pronunciados
		Fenómenos de Remoción en Masa.	Planicies Marinas	Valles amplios antiguos
		Excavaciones antrópicas	Superficies Antrópicas	Valles aluviales
	AGRADACIONAL (Marino, Fluvial, Glaciar, Eólico, Lacustre, Antrópico).	Formación de: Suelos	Llanuras aluviales;	Cerros de deyección
		Depósitos (Residuales; coluviales, aluviales, glaciares, fluvio glaciares, marinos, lacustres).	Sabanas Llanuras costeras	Abanicos aluviales
		Actividad Humana y/o Biológica	Llanuras lagunares	Abanicos Glaciar y Fluvio glaciares
			Campos de duna	Llanuras de inundación
			Planicies antrópicas	Espigas
				Planos aluviales
				Terrazas
				Montículos de basura
				Planos de relleno

Fuente: Tomado de metodología elaboración de mapas geomorfológicos IDEAM

El propósito de la cartografía geomorfológica es proporcionar información concisa y sistemática sobre las formas del terreno; su origen, los procesos naturales que han ocurrido y los fenómenos naturales activos. En ese sentido los mapas geomorfológicos deben ser herramientas útiles, que permiten evaluar el comportamiento de los terrenos, inventariar los movimientos en masa y sus aplicaciones en la evaluación de amenazas naturales, elaboración de Planes de Ordenamiento Territorial, considerar el desarrollo de obras de infraestructura, y establecer zonificaciones geomecánicas entre otras.

La información geomorfológica se presenta generalmente en mapas óplanos, junto con una tabla de datos para su manejo, empleando un sistema de información geográfica (SIG).Los mapas geomorfológicos con sus elementos de convenciones y símbolos deben ir acompañados de un cuidadoso análisis encaminado a la reconstrucción de los eventos que afectaron, modificaron y establecieron un paisaje, bajo la influencia de factores endógenos y exógenos. De tal manera que se debe establecer la sumatoria de la información morfo métrica, morfogenético y descriptiva. La

primera para evaluar y delimitar volúmenes, áreas y órdenes de magnitudes; las segundas para establecer la condición evolutiva, los procesos ambientales dominantes y el orden de los acontecimientos.

Se han considerado tres tipos de mapas de acuerdo a la información que se requiera y se consigne para diferentes aspectos de acuerdo con la metodología I.T.C (Verstappen y van Zuidam, 1992). Un primer mapa denominado analítico en donde se consigna la información básica y de orden natural; un segundo mapa denominado sintético, donde se relaciona la información complementaria e interdisciplinaria; y un tercer mapa denominado como pragmático, que comprende la unión o superposición de la información obtenida en los mapas anteriores.

5.3.1 Mapas Geomorfológicos Analíticos

Estos mapas dan información sobre formas del relieve y procesos con énfasis en la morfogénesis y la morfocronología. Incluyen información geológica (Litológica y estructural). Estos mapas que son el producto de estudios geomorfológicos mono disciplinarios se constituyen en los mapas geomorfológicos básicos y contienen la información en orden jerárquico iniciando con La Morfogénesis, Morfología, Morfometría y morfocronología y parcialmente Morfoestructura.

5.3.2 Mapas Geomorfológicos Pragmáticos

Son el resultado de investigaciones geomorfológicas que están guiadas desde el principio por un propósito específico, frecuentemente en el contexto de un proyecto de planificación del desarrollo. Tanto el contenido del mapa como la leyenda son entonces diseñados usando los datos analíticos y sintéticos. Actualmente existen varios mapas de este tipo. Los levantamientos analítico y sintético son claramente complementarios. El levantamiento analítico proporciona las unidades de mapeo y la información geomorfológica detallada; el levantamiento sintético aporta el contexto medio ambiental y las relaciones ecológicas del paisaje. De cualquier manera, para propósitos específicos (por ejemplo, para la zonificación de amenazas y riesgos naturales), no siempre es necesario recabar toda la información analítica y sintética. Con frecuencia se utiliza un camino más corto, efectuando un levantamiento pragmático con propósitos específicos. De acuerdo con lo anterior y con la escala de trabajo, se plantea obtener un mapa analítico, en el cual el análisis de las unidades geomorfológicas debe incluir los siguientes atributos para la caracterización de éstas: Morfología, Morfogénesis, Ambientes morfogenéticos, Morfo estructura y Morfodinámica.,

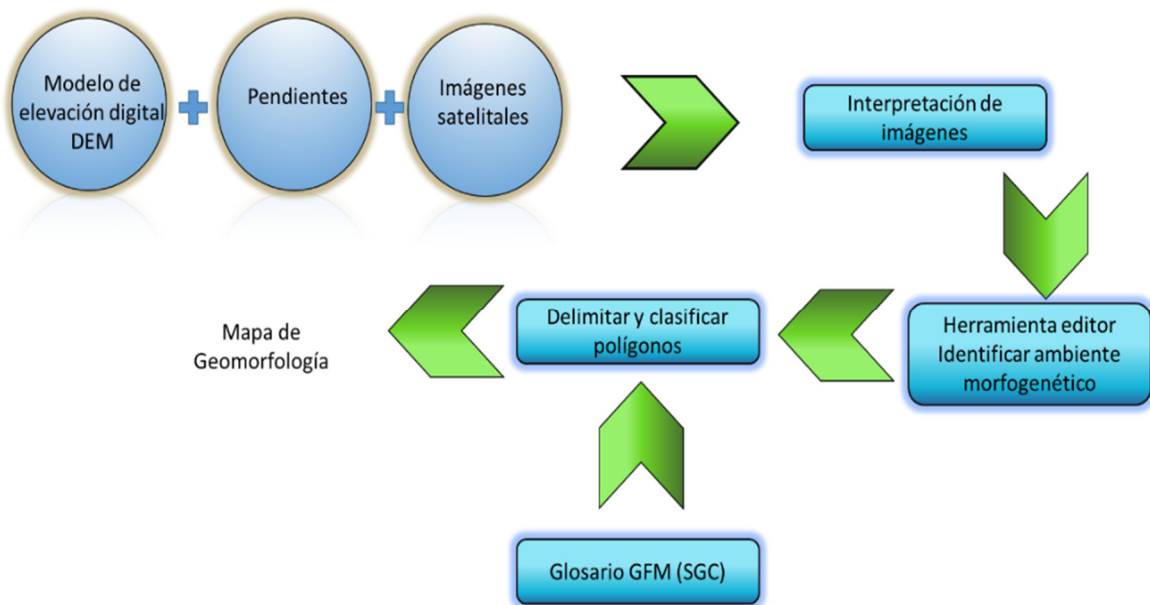
5.4 ATRIBUTOS DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO

La valoración del relieve a través de atributos cuantificables permite caracterizar un ambiente geomorfológico, agruparlo en sus similitudes y posteriormente calificarlo en cuanto a la susceptibilidad o predisposición a generar movimientos en masa. Adicionalmente disminuye la subjetividad en las conclusiones derivadas de dichos atributos y permiten hacer una valoración espacial y numérica. A continuación se describen los parámetros principales evaluados en la estandarización de los elementos componentes del terreno (Carvajal 2008 – Padilla y otros 2001).

5.4.1 Insumos Básicos Necesarios Y Lineamientos Para La Elaboración Del Mapa Geomorfológico

El paso inicial para la elaboración del mapa geomorfológico es la búsqueda de información o insumos básicos de diferentes fuentes tanto públicas como privadas que permitan ayudar a determinar las zonas más susceptibles de ser afectadas por procesos de inestabilidad del terreno. En esta etapa es importante contar con un modelo digital del terreno, imágenes de satélite, fotografías aéreas, cartografía Básica a escala 1:25.000, mapa de pendientes, mapa geológico estructural y estándares cartográficos así como información temática relacionada con la génesis de las formas del terreno con el fin de obtener una visión general de la geomorfología del área de estudio.

FIGURA 5. Insumos mapa geomorfológico



Fuente: Autor

5.5 FASES DE ELABORACIÓN DEL COMPONENTE GEOMORFOLÓGICO

Las siguientes son las actividades realizadas para determinar las Subunidades Geomorfológicas de la zona, las cuales se describen a continuación:

- Recopilación de la información temática: Se consultaron las entidades del orden oficial y privado como La alcaldía Municipal, La Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, el SGC y el IGAC así como algunas empresas privadas para coleccionar la

información disponible en cuanto a cartografía geológica, geomorfología, topografía, imágenes de satélite, fotografías aéreas.

- Revisión de imágenes de satélite y fotografías aéreas del área de estudio, realizándose una interpretación preliminar para determinar las geoformas asociadas a las formaciones geológicas, unidades de roca, suelos residuales y transportados, procesos morfodinámicos y rasgos estructurales, entre otros.
- Reconocimiento, verificación, ajuste y complementación de la información geomorfológica mediante trabajo de campo; descripción y cartografía de las geoformas asociadas a las unidades geológicas superficiales; caracterización de los elementos estructurales como son las fallas, pliegues, lineamientos y discontinuidades menores.
- Evaluación y procesamiento de la información de campo, elaboración de las bases de datos y mapa de la temática geomorfología.

5.6 INTERPRETACIÓN DE SENSORES REMOTOS

Se realizó una actividad de fotointerpretación de Sensores Remotos a escala 1:25.000, de Imágenes tipo QuickBird, Áster, ortofotos y fotografías aéreas así como del modelo digital dl terreno, se definen y delimitan cartográficamente los procesos morfodinámicos existentes en el municipio de Sogamoso así como las geoformas con rasgos específicos del relieve (escarpes naturales o antrópicos , relieves internos de laderas o flancos, crestas, formas de valle), determinados por la morfometría detallada del terreno dentro de un determinado sistema o paisaje geomorfológico así como el ambiente de formación que relaciona características particulares del relieve con un patrón de componentes de Subunidades del Terreno tomando en cuenta la metodología planteada, ej.: Escarpes, relieves internos de laderas o flancos, crestas, lomas, laderas, glaciares coluvial, planos de inundación, terrazas, cerros, lomos de falla. Geoformas que reflejan características internas y externas del relieve o el modelado, denominadas Unidades de Terreno o Subunidades geomorfológicas

5.7 RIESGOS GEOMORFOLÓGICOS

El riesgo geomorfológico se traduce a riesgo natural con potencial de afectación no solo al hombre sino también a la infraestructura creada por el, así como al medio físico (ISAT, 2010). No obstante el modelo físico, la naturaleza por sí sola no representa el riesgo, al contrario este es el resultado de la unión de varios factores.

Por lo tanto el riesgo natural abarca tanto la lucha humana por mitigar prevenir los eventos naturales y por otro lado los esfuerzos para afrontar aquellos eventos que por su magnitud exceden la capacidad humana.

Por este último contexto se hace imprescindible el estudio del entorno geográfico, a fin de generar esquemas de emergencia que salvaguarden vidas ante amenazas más comunes. Por tanto sería

conveniente diferenciar entre riesgos, pues bien se pueden catalogar entre riesgos climáticos y riesgos geomorfológicos.

FIGURA 6. Riesgos climáticos y geomorfológicos

riesgos climáticos	riesgos geomorfológicos
ventiscas y nieve	terremotos
nieblas	erosión
heladas	desprendimientos
pedrisco	deslizamientos
olas de calor	
sequías	
inundaciones	

Fuente: Autor

Sin embargo no solo basta categorizar el riesgo, sumarle su espacialización requiere de un completo trabajo, y es aquí donde se suscita el problema principal. La percepción del riesgo en una comunidad es limitada, existen comunidades asentadas sobre terrenos potencialmente peligrosos. Si bien esto no es un problema actual ya que ha quedado sujeto al desarrollo histórico de una región donde en sus inicios se desconocían este tipo de peligros, no se puede ignorar la necesidad de implementar herramientas que articulen el ordenamiento territorial y ambiental. A medida que aumenta la población también lo hacen las prácticas de ocupación de nuevos territorios, prácticas que van de la mano con la alteración y transformación del paisaje natural. La transformación implica cambiar las características de aspectos complejos como suelo, cobertura y sistema biótico, parte de estas prácticas no siempre obedecen a los métodos más idóneos.

Cada uno de los rasgos y características del relieve, así como de sus expresiones corresponde al accionar de agentes geomorfológicos. El paisaje experimenta cambios que van modificando el relieve de la superficie terrestre, debido a la alteración de las rocas por la acción de los agentes geológicos externos (el agua en sus diferentes estados, los seres vivos y los agentes atmosféricos). Estos cambios se producen con tanta lentitud que pasan casi inadvertidos ante nuestros ojos. (Intituto de Hidrología, metereología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2012)

5.8 PROCESOS GEOLÓGICOS EXTERNOS

La meteorización es el conjunto de modificaciones que experimentan las rocas por efecto de los gases que contiene el aire atmosférico y de las variaciones de temperatura. Se distinguen dos tipos de meteorización:

Meteorización física: rompe la roca en fragmentos más pequeños sin alterar los minerales que la forman. Es característica de climas fríos, desérticos y de zonas costeras. Se puede producir por varios procesos: Dilatación-contracción de la roca, por la acción en cuña del agua al congelarse en las hendiduras. Este fenómeno se conoce como gelifracción, Acción de los seres vivos, como las raíces y los animales, que perforan la tierra (lombrices, hormigas o topes) y, especialmente, la actividad humana.

Meteorización química: disgrega la roca provocando cambios en los minerales que la constituyen, debido a las reacciones químicas entre los gases atmosféricos y los minerales de la roca. Es característica del clima ecuatorial y templado húmedo. Los principales procesos químicos son, entre otros:

Carbonatación o acción del CO₂ atmosférico con el carbonato de calcio (CaCO₃) en las rocas calcáreas.

Oxidación o acción del O₂ atmosférico disuelto en el agua sobre las rocas, como ocurre en aquellas que tienen un alto contenido en hierro.

Erosión: desgaste y rotura de las rocas superficiales por la acción de los agentes geológicos externos. El viento y el agua, en todas sus formas, erosionan la morfología del paisaje.

Transporte: proceso mediante el que los fragmentos erosionados se transportan hacia zonas más bajas. Lo puede realizar el mismo agente que erosionó u otro distinto. Por la naturaleza de los agentes responsables, el transporte siempre lleva consigo erosión.

Sedimentación: depósito de los fragmentos y de los productos resultantes de su alteración en zonas bajas de los continentes y, sobre todo, en los océanos. Los depósitos acumulados dan lugar a sedimentos, dispuestos en capas generalmente horizontales, denominadas estratos. Después de millones de años los estratos darán lugar a las rocas sedimentarias mediante un proceso conocido como litificación o diagénesis.

Los procesos externos destruyen el relieve, ya que contribuyen a erosionar las zonas altas de los continentes, transportando los materiales y acumulándolos en las zonas bajas, y el paisaje se modifica. Por ende es necesario reconocer los procesos y mecanismos de degradación del suelo.

La pérdida de suelo se debe a factores naturales como fuertes lluvias en zonas tropicales, incendios, inundaciones y tormentas de viento o factores de intervención humana como la introducción de especies invasoras, eliminación de árboles o sobreexplotación de suelos. La actividad humana que elimina la cubierta vegetal que protege al suelo lo deja expuesto a la erosión, de manera que puede ser arrastrado por la lluvia y el viento. La desaparición de grandes masas de arbolado (incendios) está provocando un aumento de la desertización, que puede comportar graves consecuencias, pues los bosques y la vegetación, en general, regulan el ciclo del agua y protegen los suelos.

Los fenómenos más graves de degradación de suelo y paisaje corresponden a movimientos en masa. Estos desplazamientos se producen hacia el exterior de las laderas y en sentido descendente como consecuencia de la fuerza de la gravedad. Las laderas que han permanecido estables por

muchos años pueden fallar en forma imprevista debido a cambios topográficos, sismicidad, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, meteorización o factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad. A continuación se identifican cuatro tipos de movimientos que serán tenidos en cuenta en el análisis.

Deslizamiento: En este tipo de movimiento de ladera el desplazamiento del terreno se produce sobre una o varias superficies de rotura bien definidas. La masa generalmente se desplaza en conjunto, comportándose como una unidad, prácticamente sin deformación interna, en su recorrido. La velocidad suele ser variable e implican a volúmenes grandes en general, aunque no siempre. En función de la geometría de la superficie de rotura se puede discernir entre deslizamiento traslacional o planar, cuando la superficie es un plano con una inclinación más o menos constante, y deslizamiento rotacional, cuando la superficie de rotura es de una superficie cóncava. Los deslizamientos rotacionales se producen fundamentalmente en materiales homogéneos o en macizos rocosos muy fracturados (Antoine, 1992) y se suelen diferenciar por una inclinación contrapendiente de la cabecera. Por el contrario, los deslizamientos traslacionales suelen producirse sobre materiales heterogéneos con superficies de discontinuidad bien definidas. Cuando los movimientos de ladera tienen una superficie de rotura con una geometría mixta se denominan deslizamientos compuestos (Antoine, 1992). En el área de estudio los deslizamientos rotacionales son prácticamente despreciables frente a los traslacionales. (ERN-CAPRA, 2009)

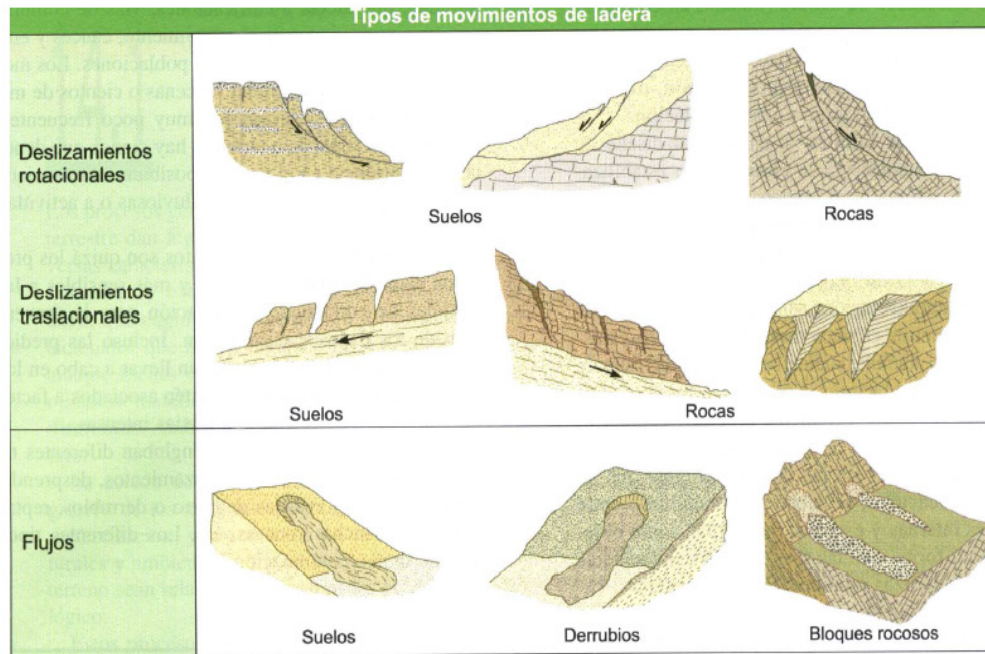
Flujo: Bajo este sustantivo se agrupan a diferentes movimientos de ladera que tienen en común la deformación interna y continua del material y la ausencia de una superficie neta de desplazamiento (Varnes, 1978). En algunos casos la superficie de rotura se puede asimilar a toda una franja de deformación. Las diferencias estriban en el material implicado, su contenido en agua y la velocidad de desarrollo, de lenta (reptación) a súbita (flujos de rocas). Los más comunes son los movimientos en suelo (flujos o coladas de tierra o barro), movimientos de derrubios (flujos de derrubios) o bloques rocosos (flujos de bloques). En el área de estudio son predominantes los flujos de derrubios, que son movimientos que engloban a fragmentos rocosos, bloques, cantos y gravas en una matriz fina de arena, limo y arcilla (en general los gruesos representan un porcentaje superior a 50%). Este tipo de movimientos tienen lugar en laderas cubiertas por material no consolidado y el agua es un motor principal en el proceso. Son movimientos muy rápidos y frecuentemente están relacionados con tormentas. (ERN-CAPRA, 2009)

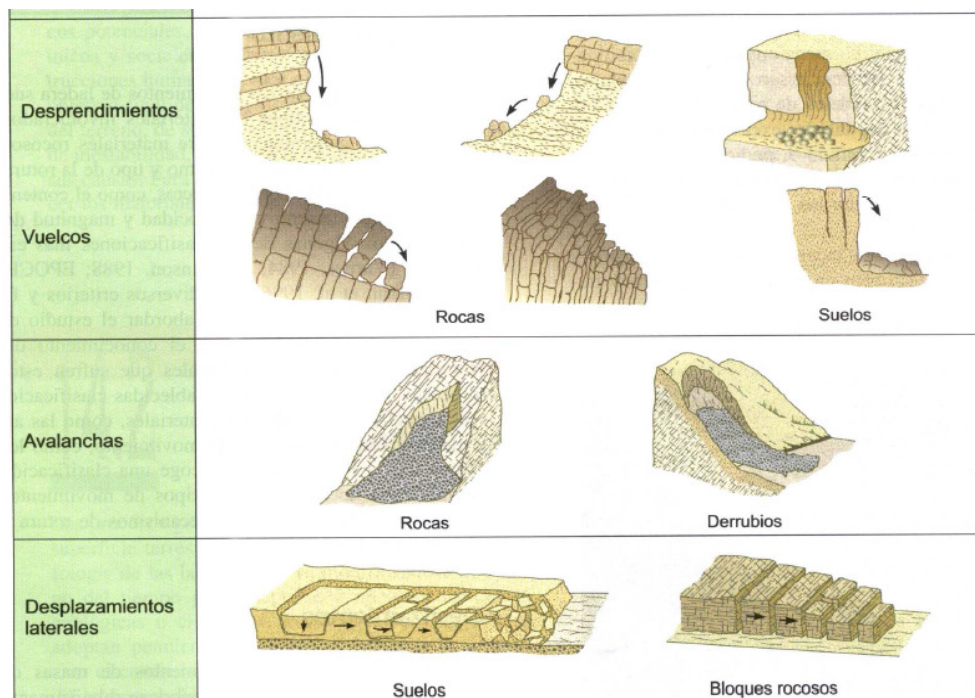
Desprendimiento: Corresponde al rápido movimiento de una masa de cualquier tamaño de roca o de suelo en forma de bloques aislados o material masivo. Los desplazamientos se producen principalmente en sentido vertical por caída libre, son típicos en macizos rocosos y generalmente están controlados por las discontinuidades. Este tipo de movimientos requiere una topografía como escarpes o pendientes fuertes y se caracterizan por la acumulación de bloques de tamaño variable en el pie de ladera. (ERN-CAPRA, 2009)

Movimientos complejos: Son aquellos que resultan de la combinación de dos o más tipos de movimientos elementales descritos anteriormente. Estos movimientos alcanzan generalmente gran tamaño (Antoine, 1992) afectando, a veces, a laderas completas. En la zona de estudio los más frecuentes son los conformados por un movimiento traslacional en cabecera y un flujo al pie.

Derivas o extensiones laterales: Este término hace referencia al movimiento de bloques rocosos o masas de suelo muy coherente sobre un material blando y deformable. Como consecuencia de esta diferencia de competencia entre el material suprayacente y el infrayacente, se produce la fragmentación de las capas superiores y los desplazamientos diferenciales. Los bloques se desplazan lateral y lentamente a favor de pendientes muy bajas. No son movimientos frecuentes y suelen ser bastante extensos. No se ha definido ninguna deriva lateral en el área de estudio. (ERN-CAPRA, 2009)

FIGURA 7. Tipos de movimientos de ladera





Fuente: (MIN AMBIENTE, 2014)

De la misma manera se presentan algunos conceptos importantes en el desarrollo de este informe, los cuales son mostrados a continuación:

Amenaza: Es un factor de riesgo externo, representado por el peligro latente de que un fenómeno físico de origen natural o antrópico se manifieste produciendo efectos adversos a las personas, a los bienes y al ambiente. (ERN-CAPRA, 2009)

Riesgo: Es la probabilidad de que se presente un daño sobre un elemento o componente determinado, el cual tiene una vulnerabilidad intrínseca, a raíz de la presencia de un evento peligroso, con una intensidad específica. Se relaciona con una situación potencial, con algo que aún no ha sucedido. Dentro del objeto de este documento, se puede definir como las posibles consecuencias desfavorables económicas, sociales y ambientales que pueden presentarse a raíz de la ocurrencia de un evento dañino en un contexto de debilidad social y física ante el mismo. (ERN-CAPRA, 2009)

Vulnerabilidad: es el factor de riesgo interno que tiene una población, infraestructura o sistema que está expuesto a una amenaza y corresponde a su disposición intrínseca de ser afectado o susceptible de sufrir daños. La probabilidad de que se produzcan daños sobre un sistema por la acción de un fenómeno natural o antrópico será mayor cuanto más sea su intensidad y la vulnerabilidad del mismo, y viceversa. (ERN-CAPRA, 2009)

Gestión correctiva del riesgo: Se realiza mediante la zonificación y reglamentación de las áreas ya ocupadas consideradas en alto riesgo, determinando los tratamientos a seguir de acuerdo con la posibilidad técnica, económica y social de intervenirlo o de mitigarlo, dentro de los cuales se encuentra la recuperación urbanística, el mejoramiento integral de barrios y la reubicación de familias en alto riesgo. (ERN-CAPRA, 2009)

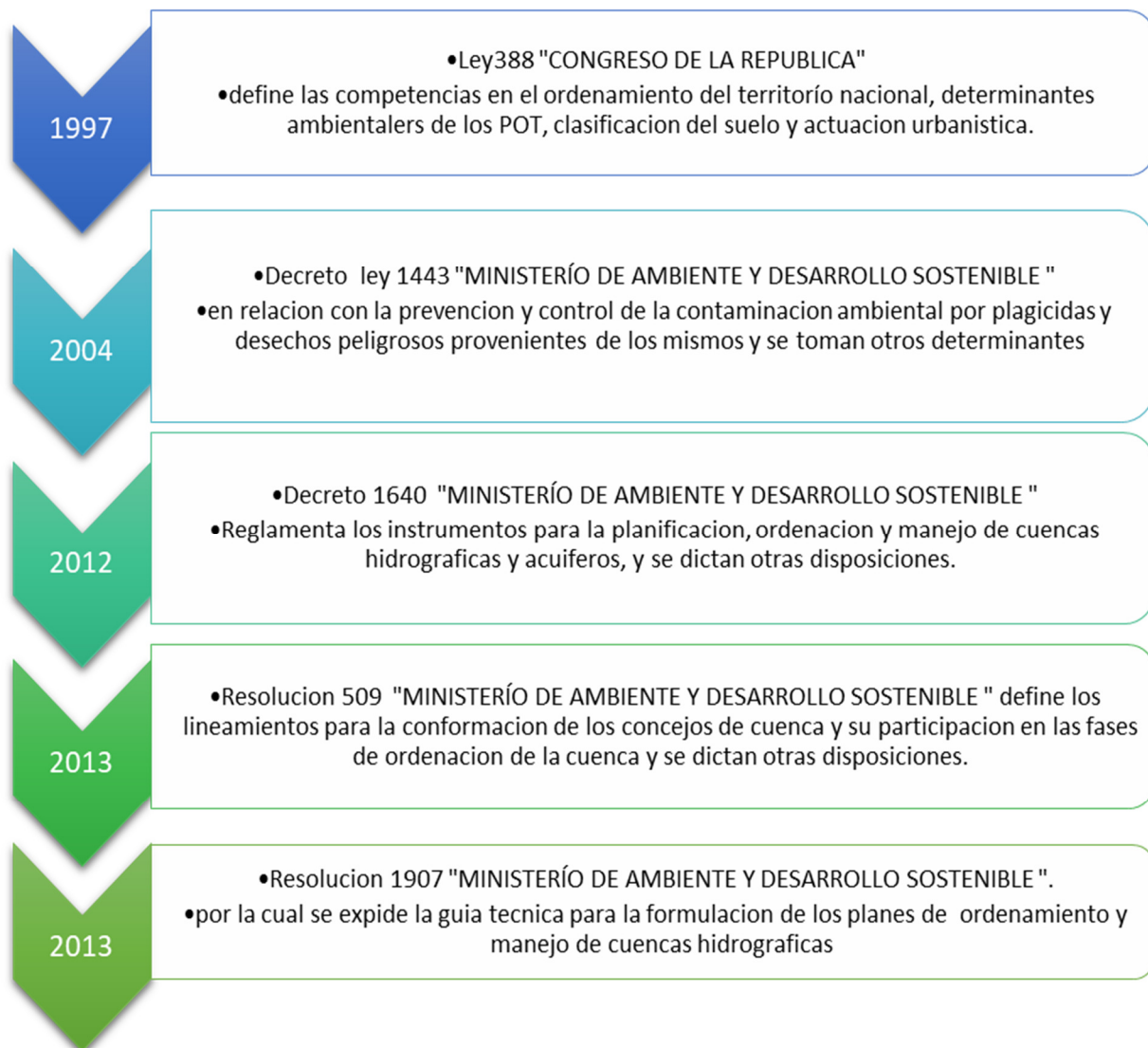
Gestión prospectiva del riesgo: está dirigida a las áreas no desarrolladas, con el fin de determinar formas de ocupación seguras, en el sentido que se evite y/o se regule la ocupación de áreas propensas a la ocurrencia de amenazas. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005).

6 MARCO LEGAL

El presente estudio tiene como objeto caracterizar biofísicamente y analizar las amenazas naturales de la cuenca hidrográfica del río Monquirá como insumo en la fase de diagnóstico del POMCA, que posteriormente podrán ser vinculados al desarrollo total de la guía de planeación del recurso hídrico. El desarrollo de esta guía está fundamentado en el marco normativo y legal de Colombia el cual se presenta a continuación en orden cronológico.

FIGURA 8. Normatividad





La normativa legal en relación a la gestión del territorio y sus recursos tiene sus inicios en la ley 135 donde se pretende reglamentar el uso de los territorios rurales.

Asegurar la conservación, defensa, mejoramiento y adecuada utilización de los recursos naturales (Ley 135 Congreso de Colombia, 1961)

No incorporar en las aguas cuerpos o sustancias sólidas, líquidas o gaseosas tales como basuras, desechos, desperdicios, o cualquier sustancia tóxica, o lavar en ellas utensilios, empaques o envases que los contengan o hayan contenido (Artículo 2 de la ley anteriormente nombrada).

Posteriormente a la expedición de la ley 135 el gobierno en uso de sus facultades constitucionales y legales define que es deber del estado proteger la diversidad e integridad

del ambiente. Señala que para la protección de la flora silvestre se pueden tomar medidas tales como: intervenir el manejo, uso aprovechamiento y comercialización de especies e individuos de la flora silvestre y sus derivados frutales. (Ley 2811 , 1974)

De la misma forma establece que le corresponde a las corporaciones autónomas regionales, bajo la coordinación del Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, realizar la clasificación ordenamiento y zonificación así como de determinar el régimen de usos de las áreas forestales en el territorio nacional.

En el 2001 se establece el **PLAN NACIONAL DE DESARROLLO FORESTAL** (Documento conpes3125) apoya y busca, entre otros aspectos, la conservación, la ordenación, el manejo y el aprovechamiento de los bosques naturales, incluyendo programas como restauración de ecosistemas forestales, programa de ampliación de la oferta forestal.

PROGRAMA PARA EL USO EFICIENTE Y AHORRO DEL AGUA. Todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Se entiende por programa el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje. (Ley 373 de 1997).

Dentro del mismo documento se encuentra el **ARTICULO 5 REUSO OBLIGATORIO DEL AGUA.**

Las aguas utilizadas serán de origen superficial, subterráneo o lluvias, en cualquier actividad que genere afluentes líquidos, deberán ser utilizadas en actividades primarias y secundarias cuando el proceso técnico y económico así lo ameriten.

El ordenamiento del territorio se fundamenta en los principios de: función social ecológica de la propiedad, la prevalencia del interés general sobre el particular, la distribución equitativa de las cargas y los beneficios (Artículo 2º -Ley 388 de 1997).

Por consiguiente, en la misma ley de dicho año también se consideraron los objetos del ordenamiento del territorio municipal comprendidos en el **ARTÍCULO 6** en el cual se encamina a la intervención sobre el territorio orientando el aprovechamiento sostenible.

En el año 1993 se reglamenta la ley 99 por la cual se crea el ministerio del medio ambiente encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y de los recursos naturales renovables.

6.1 GESTIÓN DEL AGUA

Mediante la ley 99 de 1993 se creó el Ministerio del Medio Ambiente, como organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales, encargado de realizar, entre otras tareas, las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo y uso, adicionalmente con el Informe Nacional sobre la Gestión del Agua en Colombia y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente de la Nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible, Se establece como objetivo del Ministerio el de coordinar el Sistema Nacional Ambiental (SINA) constituido por el conjunto de normas, recursos, entidades estatales y organizaciones comunitarias y no gubernamentales con responsabilidades en esta materia. Para determinar las jerarquías del SINA, se establece el siguiente orden descendente: Ministerio del Medio Ambiente, corporaciones autónomas regionales (35 en total), departamentos y distritos o municipios. Estos organismos tienen la responsabilidad de ejecutar las políticas, programas, planes y proyectos definidos por el Ministerio.

Aunque erróneamente se ha pensado que la gestión del recurso hídrico es meramente competencia del gobierno nacional, en la formulación de políticas conservacionistas, la realidad es que la gestión del recurso es una tarea conjunta y descentralizada que incluye actores públicos, privados y en general a toda la sociedad civil. A todo este conjunto de elementos se conoce como gestión integral del recurso hídrico, cuyo fin es de asegurar la calidad de los ecosistemas y la oferta de agua.

Desde este punto de vista la gestión del agua se entiende como una tarea en conjunto de todos los individuos, estructuras, ideas, leyes etc. que de una u otra manera tienen relación con el aprovechamiento del agua, una tarea llena de responsabilidad y confianza con un seguimiento constante y objetivo.

Partiendo del concepto de cuenca hidrográfica se entiende a esta por el espacio territorial delimitado por una línea divisoria de aguas, sobre la cual se encuentra un sistema hídrico de tributarios y canales que llevan el agua a un río principal, un lago o el mar. Adicionalmente a esto se tiene en consideración las aguas subterráneas que vierten su cauce a los canales o tributarios ya nombrados, teniendo como resultado caudales continuos o intermitentes. (IDEAM, 2012)

Sobre este territorio se desarrolla una gran variedad de recursos naturales, flora y fauna, así como la infraestructura creada por el hombre para su beneficio. De esta manera la cuenca favorece al desarrollo del mismo, ya sea suministrando bienes primarios para actividades económicas, o como elementos de bienestar social.

Dentro de la cuenca se desarrollan un sin fin de actividades que constituyen un ciclo de entradas y salidas, que componen el entorno vital de elementos físicos, naturales, sociales, culturales y económicos, todos en continuo vínculo tanto para el individuo como para comunidad. se desarrollan relaciones eco sistémicas entre los seres vivos y las especies vegetales, relaciones de dependencia e interdependencia de estos con el medio químico o biológico presente. A lo que se podría nombrar como conjunto dinámico de comunidades.

7 METODOLOGIA

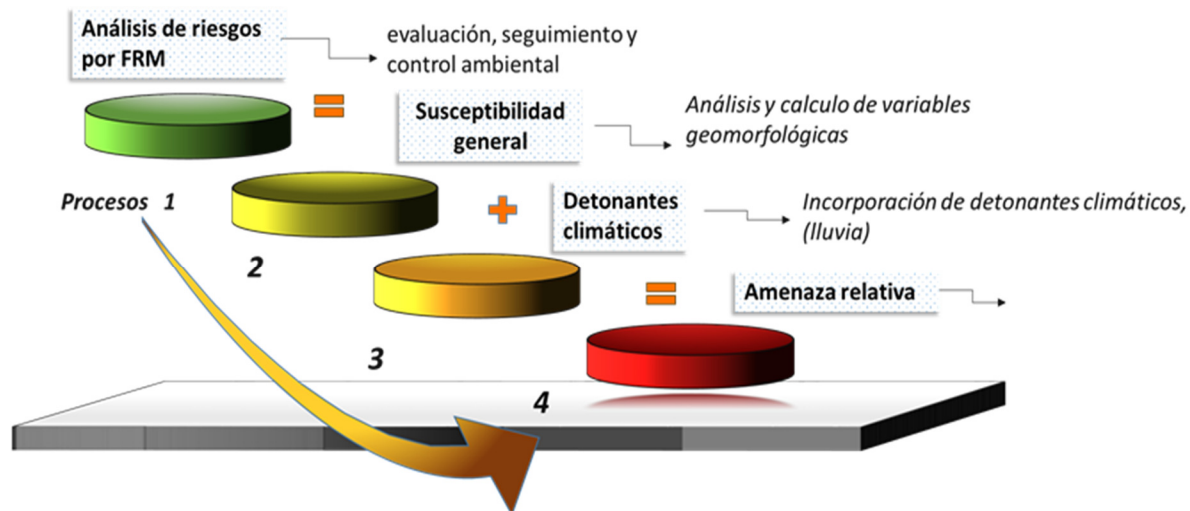
7.1 METODOLOGIA EMPLEADA PARA ANALISIS DE RIESGOS GEOMORFOLOGICOS

7.1.1 Análisis Heurístico (Zona Rural)

La metodología utilizada para establecer los riesgos asociados a los procesos geomorfológicos se basa en una adaptación de los métodos heurísticos, se hincan en la categorización y ponderación de los factores de inestabilidad según la influencia esperada de éstos en la generación de - movimientos en masa. Son métodos conocidos como indirectos, cuyos resultados pueden ser extrapolados a zonas sin movimientos en masa con una combinación similar de factores. (SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO, 2014)

Cabe aclarar que la metodología empleada es la del Servicio Geológico Colombiano de 2014, la cual está diseñada para una escala 1:100.000, por esta razón esta metodología se adapta a una escala 1:25.000, al mejorar la definición espacial.

FIGURA 9. Metodología SGC

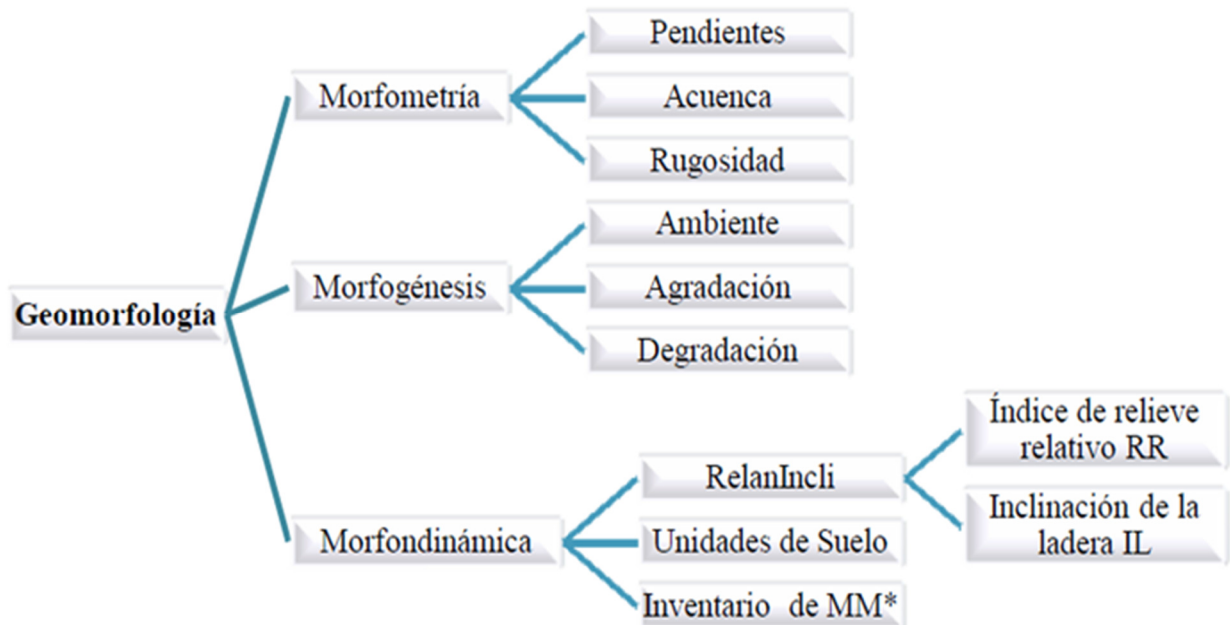


Fuente: Autor

Los métodos geomorfológicos presentan el problema de la correlación no univoca entre formas y caudal, pero constituyen testigos reales de la dinámica de desbordamiento, base necesaria para los modelos numérico-teóricos. En este estudio se propuesto la clasificación de las unidades morfosedimentarias a partir de los depósitos originados en el desbordamiento del Arroyo Rivillas en 1977 en que se han clasificado 18 formas, bien sedimentarias o erosivas, de acuerdo con su ambiente genético, lo que ha aportado datos para definir su tipología y delimitar a grandes rasgos los campos de estabilidad de las formas.)

La geomorfología es una rama de la Geología que estudia las diferentes formas de la superficie terrestre. Para la cuenca, se evalúa a escala 1:25.000, donde se tienen en cuenta tres parámetros: morfometría, morfogénesis y morfodinámica, cada uno de ellos nos muestra las formas del relieve presentes en el municipio.

FIGURA 10. Susceptibilidad geomorfológica



Fuente: Autor

Para el análisis de riesgos geomorfológicos se determinara la susceptibilidad general por este componente, el cual se entiende bajo un enfoque retrospectivo y cualitativo como la probabilidad o potencial de ocurrencia de un evento amenazante bajo ciertas condiciones de terreno, en otras palabras la susceptibilidad representa la predisposición de un terreno a presentar fenómenos de amenaza de variable magnitud.

Para esto se asignaron pesos a las diferentes variables del componente geomorfológico y estas a su vez contienen una sub calificación para variables menores.

A continuación se muestra los rangos de calificación de susceptibilidad geomorfológica empleados en el estudio.

FIGURA 11. Clasificación de la susceptibilidad

ID	COLOR	SUSCEPTIBILIDAD
1		Muy Baja
2		Baja
3		Moderada
4		Alta
5		Muy Alta

Fuente: Autor

7.2 METODOLOGIA DE TRABAJO

7.2.1 Recopilación y análisis de la información bibliográfica y cartográfica.

La base investigativa consiste en la consideración bibliográfica de diferentes documentos. En principio, se genera una búsqueda sobre metodologías de zonificación aplicadas a nivel internacional y nacional para los fenómenos de remoción en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, con el objetivo de seleccionar la más apropiada teniendo en cuenta el criterio ingenieril y llegado el caso, implementar una metodología combinada para un mejor resultado. Adicionalmente se realiza una revisión de los documentos suministrados por la Alcaldía del municipio de Sogamoso referente a estudios anteriores que podrían tener incidencia en el presente trabajo. Finalmente se consultan diferentes informes técnicos, artículos de periódicos o secciones de libros como soporte de los capítulos pertinentes a zonificación.

7.2.2 Fotointerpretación geológica y estructural.

Se identifican principales variables de tipo geológico formaciones geológicas, lineamientos y fallas, así como delimitación previa de fenómenos morfo dinámicos como erosiones, deslizamientos, flujos etc., con el objetivo de generar una cartografía preliminar para reconocimiento y validación en campo

7.2.3 Verificación de información en campo.

Se realizan diferentes salidas de campo con el objetivo de indagar si la población ha sido afectada por algún tipo de evento (fenómenos de remoción en masa, inundaciones, etc) y de ser así obtener información por medio de encuestas en formatos realizados con anterioridad, sobre las características de los sucesos, y la vulnerabilidad de la comunidad referente a una potencial amenaza.

7.2.4 Procesamiento de Información.

La información cartográfica obtenida ha sido organizada, digitalizada, analizada y actualizada, con el fin de tener una base cartográfica precisa y con el mayor detalle posible, la cual se utiliza como pilar para cada uno de los mapas de susceptibilidad y riesgo obtenidos en el estudio. Los datos recolectados en campo son organizados en mapas y bases de datos, de manera diaria para obtener y almacenar información enmarcada en georreferenciación y sin recurrencia, registrando lugares carentes de datos, para generar un registro global de los procesos producidos en el municipio y finalmente almacenar los datos recolectados en una base de datos georreferenciada completa. Adicionalmente se generan cálculos estadísticos descriptivos de los diferentes datos reunidos para obtención de resultados concretos y un análisis fácilmente identificable.

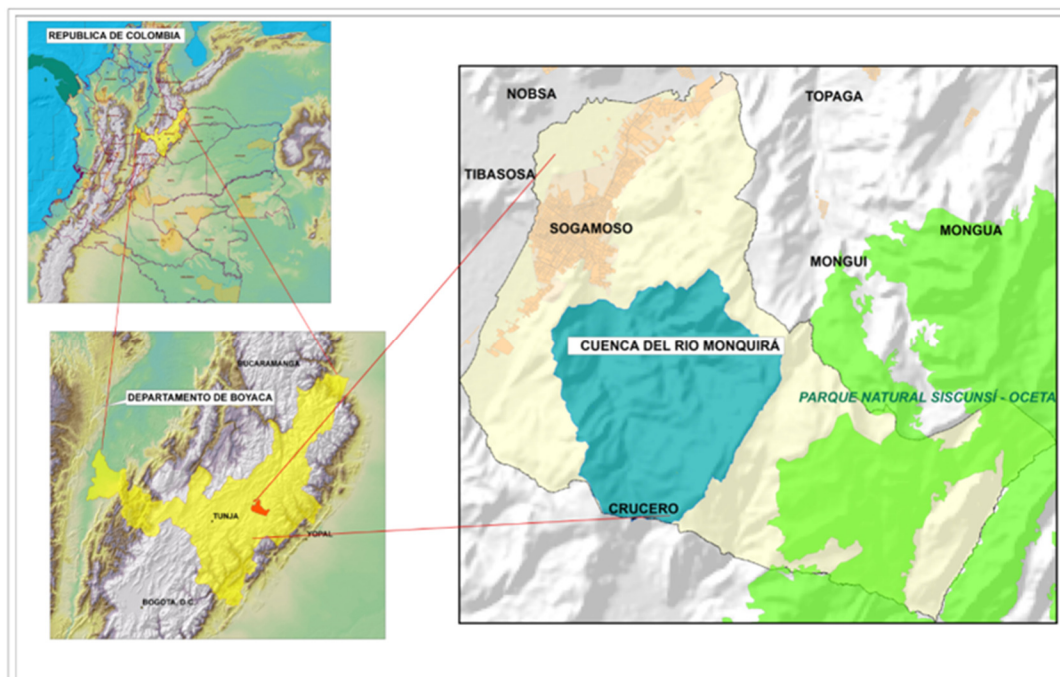
8 CARACTERIZACION BASICA DE LA CUENCA ALTA DEL RIO MONQUIRÁ

8.1 LOCALIZACIÓN, CONTEXTO TERRITORIAL

Sogamoso está ubicado en el centro oriente del departamento de Boyacá, en la República de Colombia, a una latitud de 5° 42' 57" Norte, y a una longitud de 72° 55' 38" Oeste. Se encuentra a una altitud cercana a los 2.600 metros sobre el nivel del mar. La altitud del municipio oscila entre los 2.500 y los 4000. Metros sobre el nivel del mar. Encontrándose el punto más bajo en la vereda San José sector San José Porvenir (Cementos Argos) a 2.490 m.s.n.m. y el punto más alto en el pico Barro Amarillo en la vereda Mortiñal, que comparte con el Pico de Oro en la vereda las Cañas, ubicados ambos a 3.950 m.s.n.m. este último pico sirve de límite a los municipios de Monguí, Mongua y Sogamoso.(Secretaria Local de Salud, 2011)

Límites del municipio: El municipio de Sogamoso se localiza en la Provincia de Sugamuxi, limita al norte con los municipios de Nobsa y Tópaga; al oriente con los municipios de Tópaga, Monguí y Aquitania; al sur con los municipios de Aquitania, Cuitiva e Iza; y al occidente con los municipios de Tibasosa, Firavitoba e Iza. Extensión total: 208.54 Km² Extensión área urbana: 30.54 Km² Extensión área rural: 178 Km² Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 2569 Temperatura media: 17° C

FIGURA 12. Localización Área de la cuenca del río Monquirá



Fuente: Autor

8.2 DIVISION POLITICO ADMINISTRATIVA

8.2.1 Oferta institucional

La cuenca del río Monquirá hace parte de la cordillera oriental de Colombia en la región fisiográfica del altiplano cundiboyacense, presenta algunos escarpes a la parte alta donde nace su cauce principal, se extiende sobre el costado este desde el casco urbano y cuenta con un área de 5317,902 Ha.

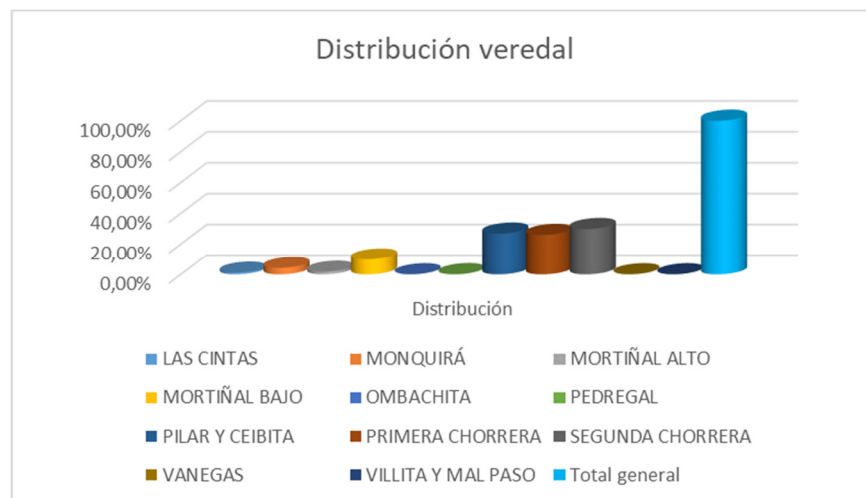
Adicionalmente está compuesta parcialmente por las veredas: las Cintas, Villita y Mal paso, Primera Chorrera, Pedregal, Vanegas, Mortiñal, Monquirá, Morca, Ombachita, Pilar y Ceibita, Segunda Chorrera.

TABLA 1. División política

Vereda	Área Ha	Distribución
LAS CINTAS	58,031	1,09%
MONQUIRÁ	226,513	4,26%
MORTIÑAL ALTO	90,884	1,71%
MORTIÑAL BAJO	528,562	9,94%
OMBACHITA	1,548	0,03%
PEDREGAL	4,978	0,09%
PILAR Y CEIBITA	1430,764	26,90%
PRIMERA CHORRERA	1385,762	26,06%
SEGUNDA CHORRERA	1589,814	29,90%
VANEGAS	0,221	0,00%
VILLITA Y MAL PASO	0,825	0,02%
Total general	5317,902	100,00%

Fuente: Autor

FIGURA 13. Diagrama de frecuencia porcentual división administrativa



Fuente: Autor

8.3 HIDROGRAFÍA

El valle de Sogamoso donde se ubica la cuenca posee una riqueza hídrica considerable, el sistema hidrográfico hace parte de dos grandes cuencas la del Río Magdalena (vertiente norte) y la del Río Orinoco (vertiente oriental)

Río Monquirá: Es la cuenca más importante del Municipio, su recorrido es corto de sur a norte y sus afluentes principales las quebradas Honda, El Hatillo, El Vino, La Chorrera y Ombachita, además de otras corrientes menores; finalmente y luego de pasar por el área urbana de Sogamoso entrega sus aguas al río Chicamocha. A continuación se nombran en orden jerarquico las unidades hidrográficas que podrían emplearse en caracterización.

8.3.1 Tipos de unidades hidrográficas

Cuenca: Unidad hidrográfica que no recibe drenaje de ninguna otra área, pero si contribuye con flujo a otra unidad de drenaje.

Subcuenca: Los afluentes son los ríos secundarios que desaguan en el río principal. Cada afluente tiene su respectiva cuenca, denominada sub-cuenca, el conjunto de microcuencas forman una subcuenca.

Microcuencas: Área mínima fisiográfica con drenaje principal. Son los afluentes a los ríos secundarios, entiéndase por caños, quebradas, riachuelos que desembocan y alimentan a los ríos secundarios.

Intercuenca: Área que recibe el drenaje de otra unidad que se ubica aguas arriba, mediante el curso del río principal, y permite el drenaje del flujo propio. Es una unidad de drenaje o de transito del río principal al cual también aporta sus propios caudales. (Ruiz & Torres, 2008)

8.3.1.1 Subcuenca Río Chorreano

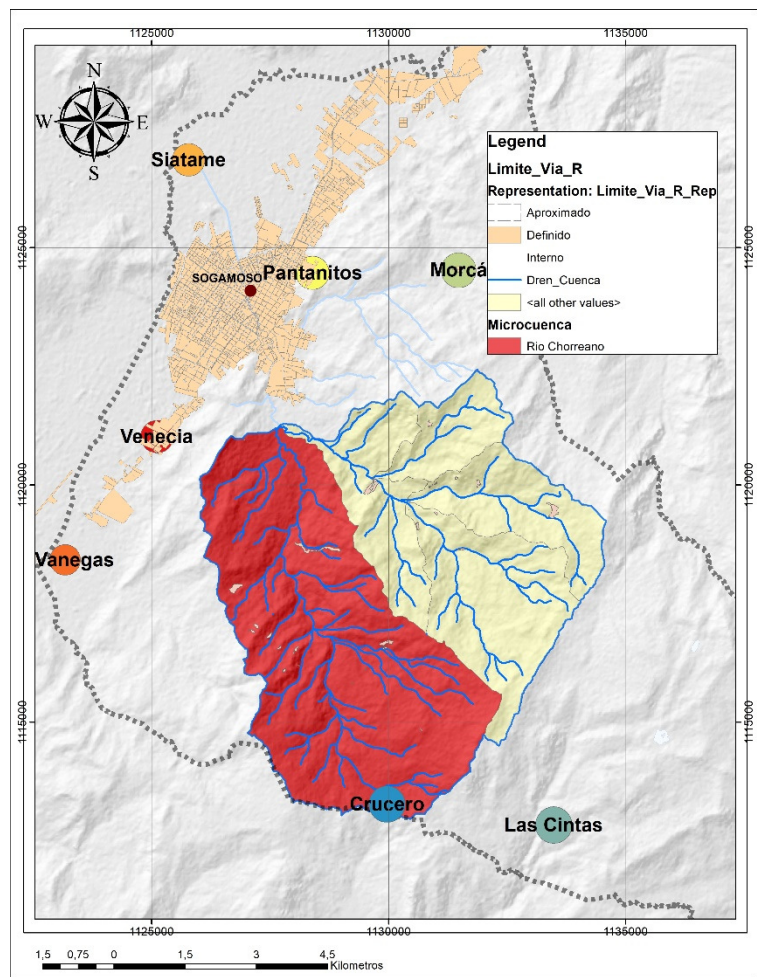
La subcuenca del río Chorreano recorre el municipio de occidente a oriente. Nace en el alto el Toldo a una altura de 3650 m.s.n.m. Sus aguas discurren las veredas Primera y Segunda Chorrera, comprende un área de 2896.45Ha, Está integrada por las Microcuencas de la quebrada Helechal, quebrada El Vino, quebrada Alumbre, quebrada Arrayan, quebrada El Tejar e Intercuenca quebrada Pantano Hondo.

TABLA 2. Extensión Microcuenca rio Chorreano

Microcuenca	Área Ha
Rio Chorreano	2896,45987

Fuente: Autor

FIGURA 14. Microcuenca rio Chorreano



8.3.1.2 Intercuenca río Monquirá

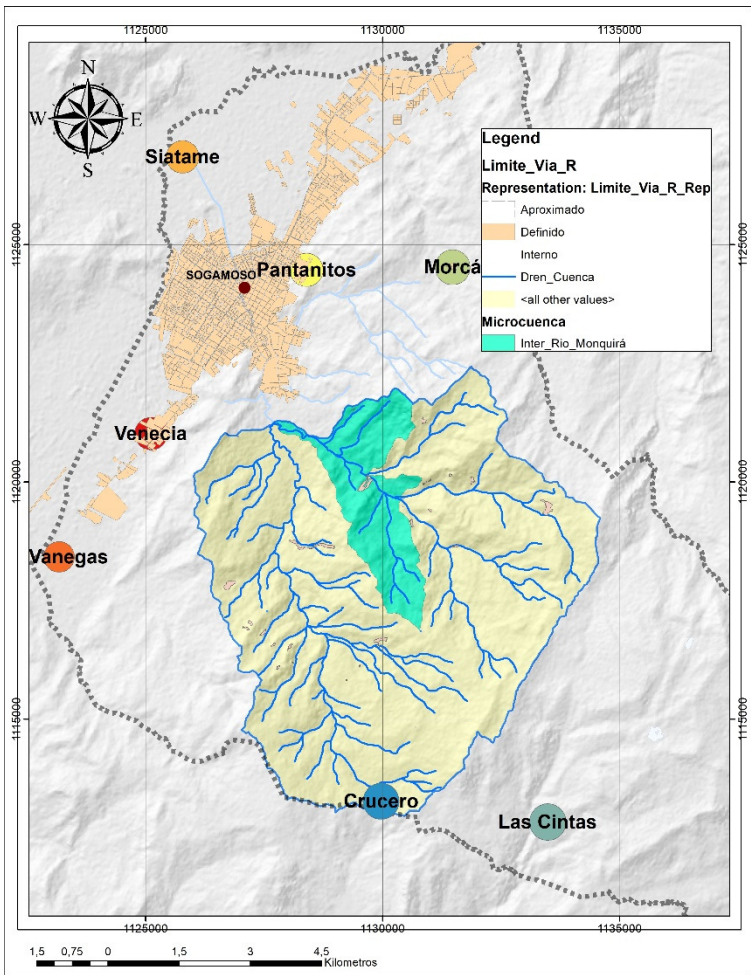
Consta de una serie de vertientes la mayoría intermitentes las cuales aportan su aguas al río Monquirá, sin embargo estos drenajes no presentan una dinámica importante para delimitarlos individualmente como una microcuenca .El área de esta intercuenca es de 620.32Ha y abarca la extensión de la vereda Monquirá y parte de la vereda Pilar y Ceibita y la zona sub-urbana.

TABLA 3. Extensión Microcuenca Inter río Monquirá

Microcuenca	Área Ha
Inter_Rio_Monquirá	620,324659

Fuente: Autor

FIGURA 15. Microcuenca Inter rio Monquirá



Fuente: Autor

8.3.1.3 Subcuenca Quebrada el Hatillo

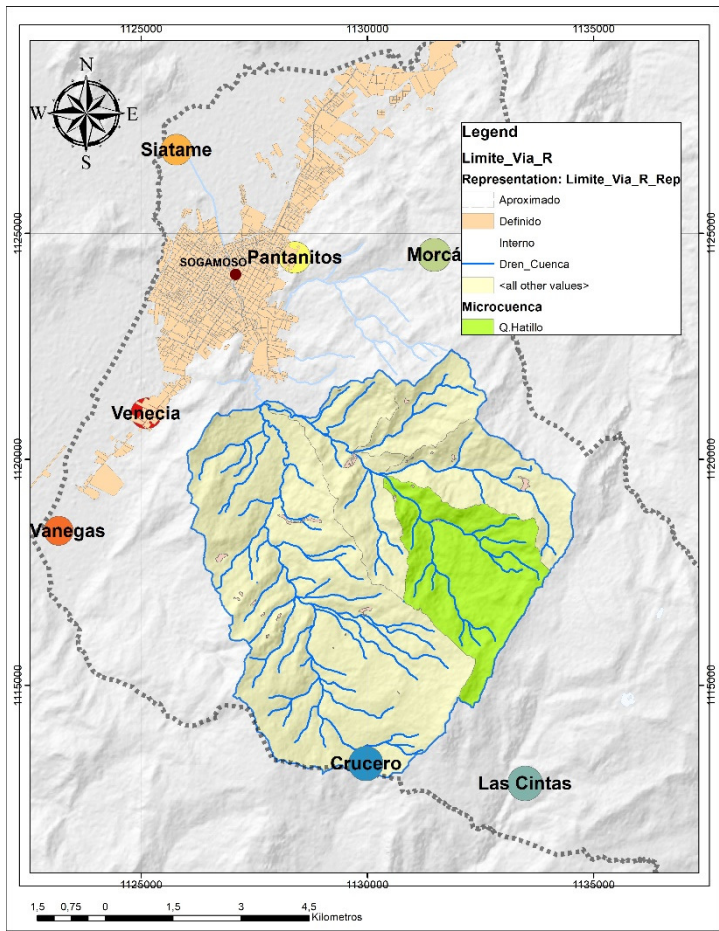
La quebrada el Hatillo se forma por la unión de la quebrada La Carbonera y la quebrada La Rejoja provenientes de peña Alta y loma Larga en la parte noreste del municipio de Sogamoso. La subcuenca de la quebrada el Hatillo es uno de los principales afluentes del río Monquirá, tiene una longitud de drenaje principal de 4.6 Km, y una extensión de 914.22Ha.

TABLA 4. Extensión microcuenca Quebrada el Hatillo

Microcuenca	Área Ha
Q.Hatillo	914,222236

Fuente: Autor

FIGURA 16. Microcuenca Quebrada el Hatillo



Fuente: Autor

8.3.1.4 Subcuenca quebrada Honda

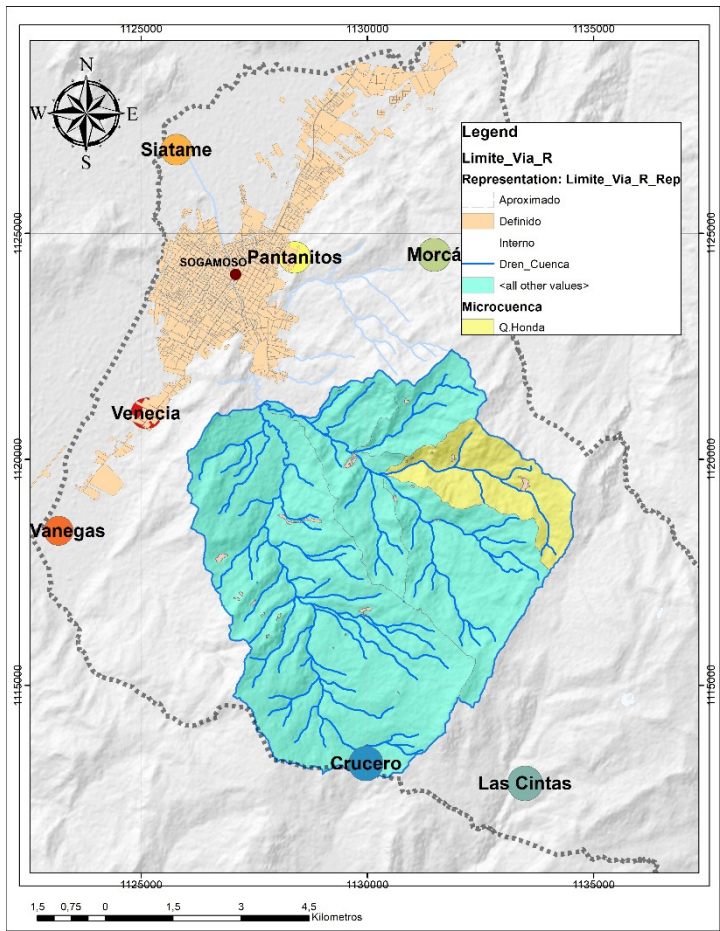
Con un área aproximada de 5.68 Km², está compuesta por varias vertientes de un patrón de drenaje subparalelo, de primer y segundo orden y sus corrientes son de tipo transitorio. La quebrada Honda tiene una longitud de 3.8 Km y nace en la cuchilla Peña Negra a una altura de 3600 m.s.n.m. sirve como límite natural de las veredas Morca, San José y La Ramada.

TABLA 5. Extensión microcuenca quebrada Honda

Microcuenca	Área Ha
Q.Honda	561,81958

Fuente: Autor

FIGURA 17. Microcuenca quebrada Honda



Fuente: Autor

8.3.1.5 Subcuenca quebrada Pinturas

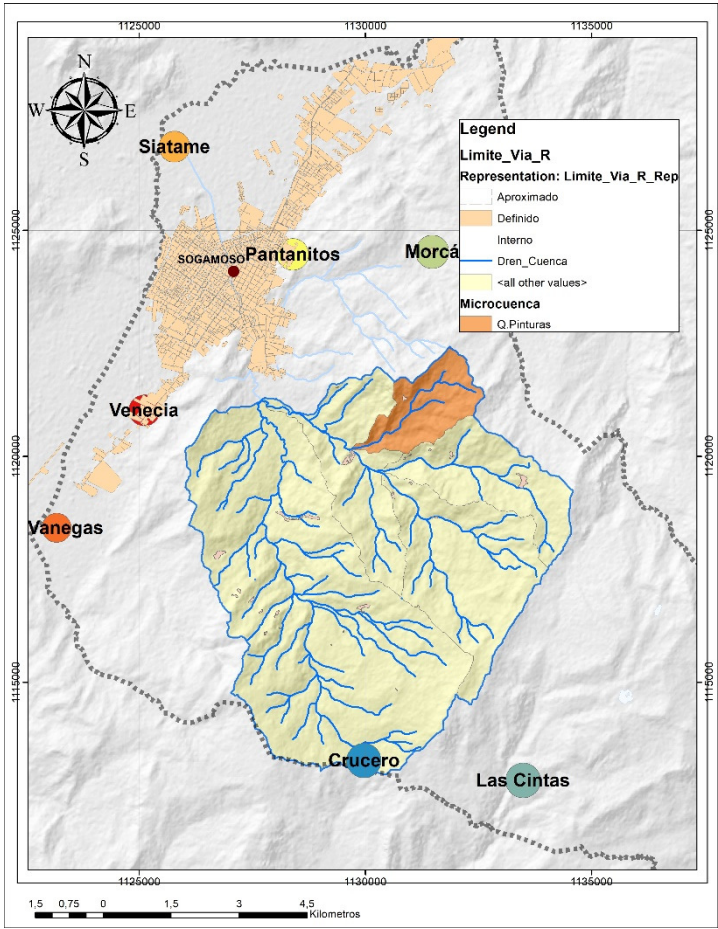
Cubre un área aproximada de 3.30 Km2 con una longitud de 3.11 Km. Nace en el alto el Arenal a 3100 m.s.n.m. Su corriente principal es la quebrada Pinturas que corre en dirección aproximada NE- SE, confluyendo al río Monquirá. La mayor parte de esta subcuenca pertenece a la vereda Mortiñal, sin embargo en la parte baja sirve como límite natural entre las veredas Pilar y Ceibita con la vereda Monquirá

TABLA 6. Extensión Microcuenca quebrada Pinturas

Microcuenca	Área Ha
Q.Pinturas	328,577905

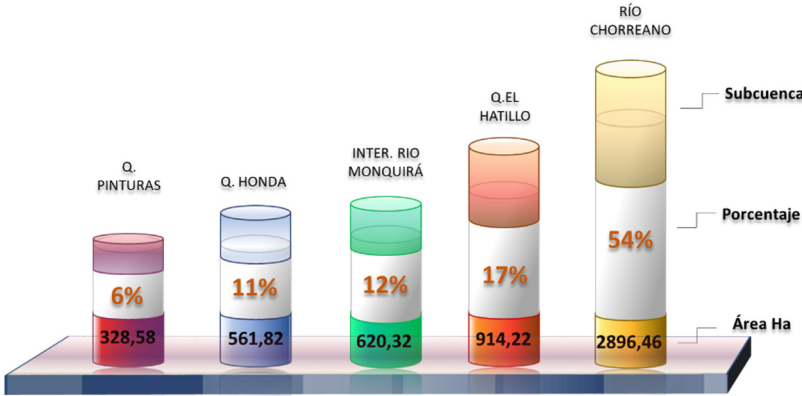
Fuente: Autor

FIGURA 18. Microcuenca quebrada Pinturas



Fuente: Autor

FIGURA 19. Análisis cuenca rio Monquirá



Fuente: Autor

8.4 MARCO GEOLÓGICO LOCAL

La cuenca del Río Monquirá hace parte de la provincia geológica central, donde las formaciones geológicas contenidas en la cuenca, conforman la historia geológica de la cordillera oriental de Colombia, cuyo indicio de levantamiento se dió en el cretácico inferior con el descenso en el nivel del mar y la aparición de arcos de islas. En el Cretácico Superior-Paleoceno se generó una primera fase de deformación (Cooper, et. al., 1995) debido a la acreción de la Cordillera Occidental, que determinó la finalización de la sedimentación marina, para dar lugar a depósitos continentales de la mayoría de formaciones de la cuenca, caracterizada por ambientes de ríos meandriiformes y trenzados representados en la parte alta de la Formación Guaduas.

Finalmente, posterior a este evento se generaron cuencas intracordillera que dieron lugar más tarde a la depositación de sedimentos cuaternarios producidos por glaciares, ríos y lagos.

Con base en lo anterior las unidades geológicas representadas se limitaron exclusivamente al área de la cuenca, así mismo con las fallas y estructuras más representativas.

Por otro lado referente a la geología histórica y entendiendo que esta describe los eventos más relevantes ocurridos a lo largo del tiempo y cuyo fin es suscitar una explicación a los complejos procesos que moldearon y construyeron el paisaje actual, se describen eventos a escalas de tiempo en millones de años, así por ejemplo al hablar de rocas cretácicas se habla de sedimentos depositados hace 144 a 66.4 m.a (GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA, 1983), por otra parte es de igual importancia reconstruir los ambientes donde se dio la sedimentación, de esta manera se tendrá el croquis de la evolución geográfica de la cuenca; siendo así a continuación se expondrán los eventos y procesos ocurridos en la cuenca de manera resumida, adicionalmente se incluyen procesos ocurridos en regiones aledañas que puedan tener influencia sobre el territorio.

Para la elaboración del mapa geológico local de la cuenca se partió desde el marco geológico escala 1:100000 del servicio geológico colombiano adicionalmente se introdujo aspectos y puntos de control en campo para la validación de las unidades lito estratigráficas y lineamientos estructurales, a continuación se muestra el diagrama de flujo para su obtención así como las herramientas empleadas

El rasgo tectónico principal del área es la Falla de Soapaga, que aunque no aflora en el área del proyecto si tuvo influencia en la misma por pasar muy cerca. Paralela a está gran disturbación regional corren otras fallas de tipo regional como las Fallas de Gámeza, Tópaga y Monguí, las cuales cortan bruscamente el área hacia el oriente de la misma manifestándose por la creación de truncamientos de los escarpes principalmente de las Formaciones arenosas.(Municipio de Sogamoso, 2000)El municipio de Sogamoso, se localiza cerca al límite entre las zonas de amenaza sísmica alta e intermedia (Estudio de Amenaza Sísmica, Ingeominas,1995); según el Mapa de riesgo sísmico del Instituto Geofísico de los Andes (1977) en la zona puede ocurrir un sismo de intensidad Mercalli mayor de 7 ¼ cada siglo (poco daño a edificios bien diseñados, daño leve a moderado para edificaciones regulares de buena construcción, considerable daño a edificaciones mal diseñadas o construidas, rotura de chimeneas. Perceptible para personas que se encuentren conduciendo vehículos a motor (Municipio de Sogamoso, 2000).

8.4.1 Estratigrafía

La cuenca del río Monquirá está compuesta por unidades que abarcan edades desde el Cretáceo Inferior hasta el Paleógeno consiste en rocas sedimentarias depositadas en ambientes marinos a continentales, esta transición paleogeográfica es evidencia de una gran dinámica en la evolución geológica de la zona. Las unidades aflorantes descritas yacen inmediatamente sobre otros potentes conjuntos que suprayacen a un basamento ígneo metamórfico de filitas y esquistos del cambro-otdoviciano, e intruidas por granitos y sienitas cuarzosas post y predevonianas (Jairo Mojica, 1984). en orden geocronológico fueron denominadas así: la Formación Chipaque (Ksc), seguida de la Formación Plaeners (Ksgp), la Formaciones Labor y Los Pinos (Ksgpi), la Formación Arenisca Tierna (Ksgt), la Formación Guaduas (KPgg), la Formación Areniscas del Socha (Pgars), la Formación Arcillas de Socha (Pgas), la Formación Picacho (Pgp), la Formación Concentración (Pgc) y los Depósitos cuaternarios.

8.4.1.1 Formación Chipaque (Ksc)

El término Chipaque fue empleado por primera vez por Hubach (1931) lo forma la caliza de Chipaque o Nivel de Exogyra squamata, el cual es una especie de bivalvo extinto. En su base está limitada por el miembro arenoso de la Formación Une y en el techo por el miembro Arenisca Dura de la Formación Arenisca Tierna. La unidad está constituida por delgadas capas de lodolitas negras, intercalaciones de cuarzoarenitas, en la base lutitas y limolitas negras, en la parte media superior lutitas con intercalaciones de areniscas de 3 a 4 m de espesor. Localmente presenta un nivel calcáreo en la parte media de la formación. Localmente la formación se extiende al costado sur oriental de la cuenca ocupando el 40% de esta, aflorando en las veredas, Mortiñal Alto, Mortiñal Bajo, Primera Chorrera, Pilar y Ceibita, Segunda Chorrera, y Monquirá. De acuerdo con la posición estratigráfica de la Formación Chipaque, su base se considera de edad Cenomaniano, su techo se considera del Coniaciano o Santoniano. Hacia el sector Rejoa aflora el segmento basal de arcillolitas grises, con intercalaciones de capas de areniscas, las cuales han sido sometidas a intensa actividad tectónica, pues en esta zona se presenta la confluencia de dos estructuras plegadas de tipo sinclinal (sinclinal de Pilar y Seibita) seguida de una de tipo anticlinal (Anticlinal de Alarcón). Este tipo de convergencia de esfuerzos compresivos sobre rocas blandas adicionalmente la coyuntura entre flancos ha generado plegamientos menores en el tránsito de estas dos estructuras, como continuación se observa.

FIGURA 20. Formación Chipaque (Ksc) Sector Rejoya quebrada la carbonera



Fuente: Autor

8.4.1.2 Grupo Guadalupe

Hubach (1931) considera a este conjunto a las formaciones que fueron definidas por encima del nivel de caliza de la formación chipaque, este grupo queda dividido en dos conjuntos, Guadalupe Inferior Arcilloso y Guadalupe Superior Arenoso, de igual forma subdivide a esta ultima de base a techo en los miembros: Arenisca Dura, Plaeners y Arenisca Tierna. Posteriormente Renzoni (1962) Redefine englobando al Guadalupe inferior como Formación Chipaque y eleva a la categoría de formación los miembros Arenisca Dura y Planers, y agrupa los niveles Arenisca de Labor, Arenisca Tierna y el Horizonte Arcilloso.

8.4.1.3 Formación Plaeners (Ksgp)

El término Plaeners con el carácter de unidad lito estratigráfica fue introducido por Hubach (1931). Bajo la denominación horizonte Plaeners y posteriormente “Miembro Plaeners” Hubach (1957) Está constituida en la parte inferior por un conjunto de cuarzo arenitas de grano fino, color gris claro, en capas gruesas a muy gruesas, estratificación plano paralela a plano no paralela, la parte media y superior está constituida por paquetes de limolitas silíceas, gris claras en capas delgadas con intercalaciones de chert y lodolitas gris claras fisibles con una edad de Campaniano hasta Maestrichtiano. (Ministerio de minas y energía, 2003) Geográficamente se distribuye sobre las veredas Las Cañas, Las Cintas, Primera Chorrera, Pedregal, Mortiñal Alto, Segunda Chorrera, Pilar y Ceibita. La figura a continuación mostrada revela el fractura miento típico de la formación en planos paralelos y continuos, este registro fotográfico corresponde al eje del anticlinal de pilar y ceibita, localmente las rocas presentar buzamientos de 32°, adicionalmente son empleadas como material granular de recebo para vías aledañas.

FIGURA 21. Formación Plaeners (Ksgp) Vereda Pedregal alto sector Alto los cinco grandes, eje anticlinal de Pilar y Seibita.



Fuente: Autor

8.4.1.4 Formación Los Pinos (Ksgpi)

Para la región de la plancha geológica 172 se agrupa con la unidad labor en una sola formación. El nombre de la formación es dado por Ulloa & Rodríguez (1979b) al conjunto que en el departamento de Boyacá yace sobre la Arenisca de Labor, que en algunos municipios las facies de la Arenisca Labor se interdigitan con las de la formación los pinos. Aflora sobre las veredas Las Cañas, Las Cintas, Primera Chorrera, Segunda Chorrera, Mortiñal Alto, Pilar y Ceibita, Pedregal, Bajo, Monquirá, Ombachita y Morca. . (Rodríguez, Ulloa, & Rodríguez , 2003)

La unidad está constituida por arcillolitas, lodolitas fisiles, limolitas silíceas con intercalaciones de areniscas, en la parte superior areniscas de grano fino a medio, cuarzosos”. Y es considerada como Campaniano hasta Maestrichtiano inicial”. (Ministerio de minas y energía, 2003)

FIGURA 22. Formación Los Pinos Sector La Senda



Fuente: Autor

8.4.1.5 Formación Arenisca Tierna

Hubach fue el primero en utilizar este término para denominar al techo del grupo Guadalupe, dentro de la cuenca cuenta con un espesor de 43.40 m La unidad está constituida por cuarzo arenitas de grano fino a grueso, con colores grises claros, grises oscuros a amarillentas, algo friables, en estratos delgados a gruesos con estratificación plano paralela, ondulosa e inclinada. La formación adicionalmente comprende variados niveles de icnofósiles, y bioturbados generalmente se observan paquetes de cuarzo arenitas grano creciente, a calcáreos consideraron de edad Maestrischtiano.

Esta formación se extiende al costado oriental de la cuenca en las veredas Pilar y Ceibita, Monquirá, Morca, Segunda Chorrera, Primera Chorrera, con un rumbo Noreste y formando estructuras como el Anticlinal de Pilar y Ceibita, el Anticlinal de Morcá.

FIGURA 23. Formación labor y tierna (Ksgt) vereda pedregal alto sector la esperanza



Fuente: Autor

8.4.1.6 Formación Guaduas (KPgg)

Hubach restringe el término Guaduas, con categoría de formación y establece como localidad tipo el área de Guatavita. Van der Hammen (1957) sobre la cuenca se distribuye en las veredas Las Cañas, Las Cintas, Mortiñal Alto, Pedregal, Primera Chorrera, Segunda Chorrera, Villita y Malpaso, Mortiñal Bajo, Morca, Ombachita, San José y Monquirá. Compuesta por arcillolitas grises oscuras a negras, en capas delgadas con esporádicas intercalaciones de cuarzoarenitas de grano fino, grises claras, amarillento y rojizo, arcillas abigarradas con intercalaciones de areniscas hacia la parte inferior y media, frecuentes mantos de carbón. (Rodríguez, Ulloa, & Rodríguez , 2003)

Localmente esta formación es fundamental en la actividad minera, siendo la productora en la explotación de carbón.

Estratigráficamente se encuentra en contacto en la parte superior con la Formación Arenisca de Socha el cual corresponde a una inconformidad (Sarmiento 1944), Su edad de acuerdo con estudios

palinológicos efectuados por van der Hammen (1957b), es del Maastrichtiano – Paleoceno. Sarmiento (1994) establece una edad Maastrichtiano superior - Paleoceno inferior. (Ulloa, Rodriguez, Fuquen, & Acosta, 2001) (Ministerio de minas y energia, 2003)

8.4.1.7 Formaciones areniscas del Socha (Pgars)

La Formación Areniscas de Socha propuesta por Alvarado & Sarmiento (1944) aflora en las veredas Las Cintas, Mortiñal Alto, Pedregal, Vanegas, Villita y Malpaso, La Ramada. Localmente se compone de capas de cuarzoarenitas de grano fino a medio, blancas, grises pardas y grises amarillentas, cemento silíceo, en capas delgadas a muy gruesas, con esporádicas intercalaciones de arcillolitas grises claras y rojizas”. Estratigráficamente se encuentra infra yaciendo a la Formación Guaduas y supra yaciendo a la Formación Arcillas de Socha, se le asigna una edad con base en estudios palinológicos de van der Hammen (1957), del Paleoceno inferior y de acuerdo a los estudios palinológicos efectuados por Sarmiento en Osorno (1994), es del Paleoceno superior. (Ulloa, Rodriguez, Fuquen, & Acosta, 2001)

8.4.1.8 Depósitos cuaternarios

En el área estudiada se diferenciaron los siguientes tipos de depósitos cuaternarios:

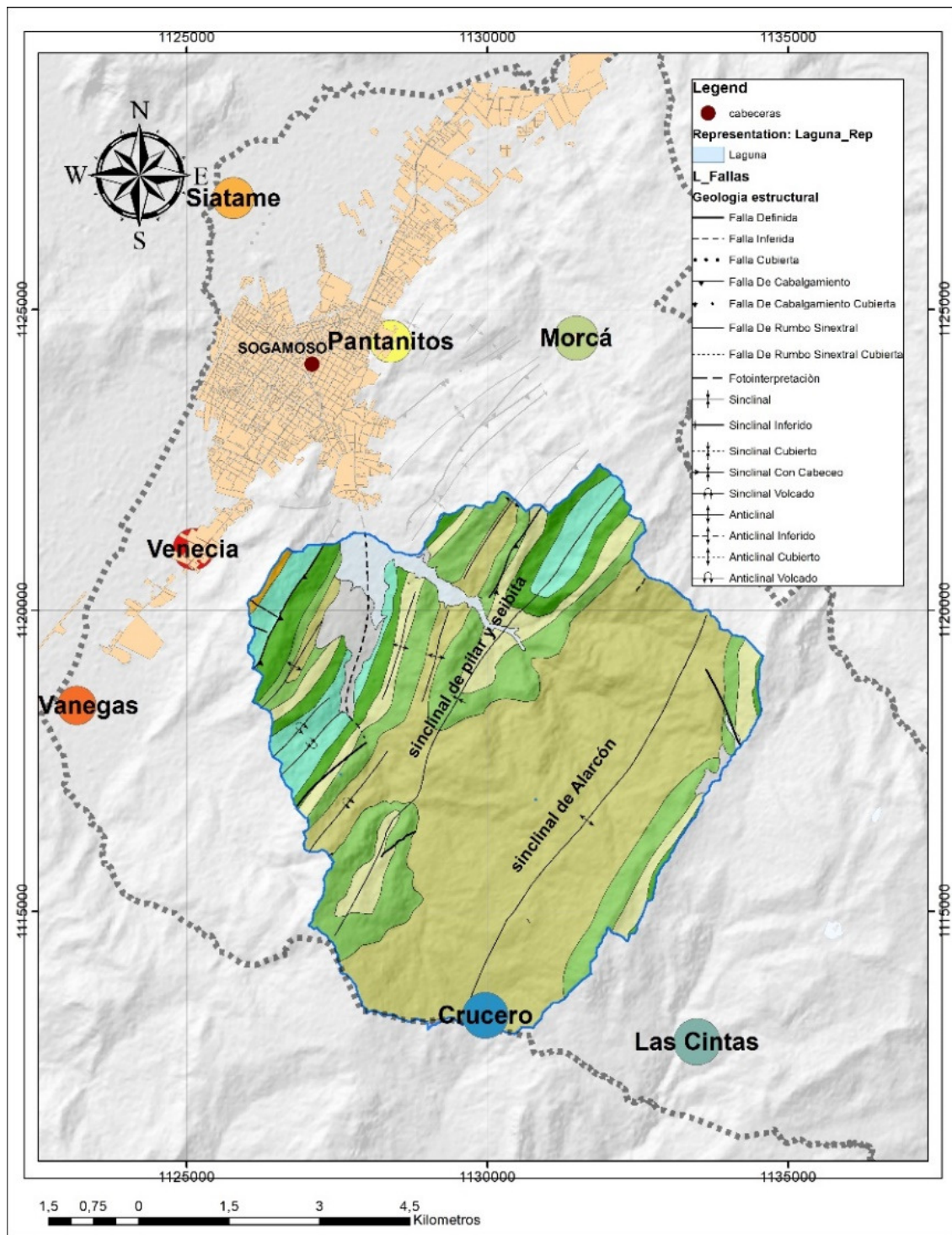
Coluviales (Qc)

Con el término coluviales se incluyen los depósitos de talud y derrubios; están constituidos por acumulaciones de materiales de composición heterogénea y de tamaño variable, predominantemente bloques angulares. Se localizan en las veredas Las Cintas, Las Cañas, Segunda Chorrera, Mortiñal Alto, Primera Chorrera, Monquirá, al costado SE del Área Urbana.

Aluviales (Qal)

Depósitos aluviales se ubican hacia las márgenes de los drenajes principales y consisten de bloques redondeados a subredondeados, principalmente de arenitas, en una matriz areno arcillosa. Presentan una morfología plana. Se localizan en las Veredas Siatame, La Manga, San José, en gran parte del Área Urbana, Villita y Malpaso, Venecia, Villita y Malpaso, Vanegas, La Ramada, Mortiñal y Las Cintas.

FIGURA 24. Mapa geológico



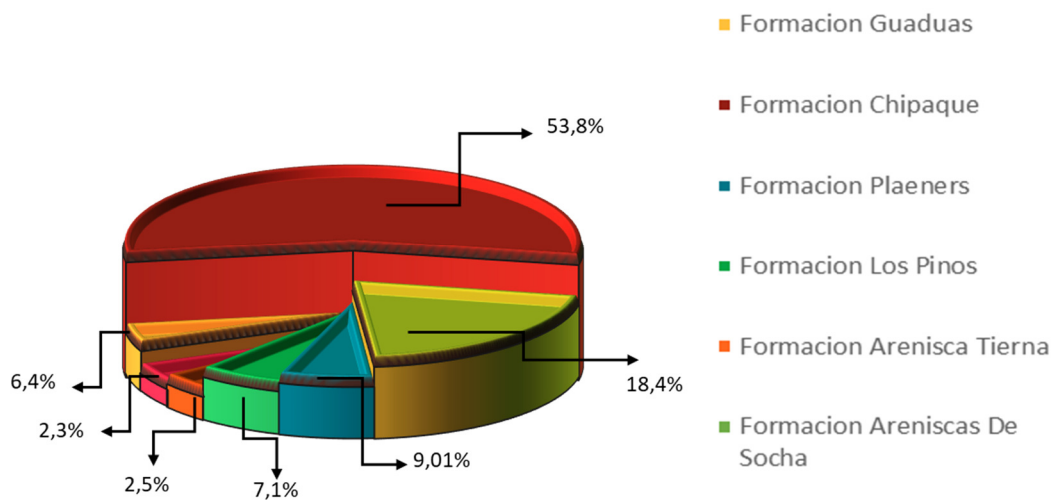
Fuente: Autor

FIGURA 25. Leyenda temática mapa geológico

FORMACIÓN	CODIGO
Formacion Guaduas	Kpgg
Formacion Chipaque	ksc
Formacion Plaeners	Ksgp
Formacion Los Pinos	Ksgpi
Formacion Arenisca Tierna	Ksgt
Formacion Areniscas De Socha	Pgars
Formacion Arcillas De Socha	Pgas
Formacion Picacho	Pgp
Cuaternario Aluvial	Qal
Cuaternario Coluvial	Qc

Fuente: Autor

FIGURA 26. Distribución de las unidades geológicas dentro de la cuenca del Río Monquirá



Fuente: Autor

8.4.2 Geología Estructural

Dentro de las características estructurales de la cuenca se destaca la acción de un fuerte régimen compresivo producto de la orogenia andina, este margen indujo flexura en las rocas de la corteza, generando cambios significativos en el espesor de algunas unidades, y en los ambientes de sedimentación.

Como primer evento tectónico que actuó sobre la cuenca, se tiene el levantamiento de la cordillera central, la aparición de arcos de islas, e intrusiones magmáticas que provocaron la retirada del mar cretácico y configuraron un sistema de esfuerzos compresivos al oriente del país que generó fallas

de tipo inverso de extensión regional, posteriormente la acreción de la cordillera oriental durante el Eoceno tardío (Victor Caballero, 2010) afecto localmente a la secuencia sedimentaria que compone la cuenca, forjando estructuras plegadas de tipo anticlinal y sinclinal y estructuras falladas inversas de extensión municipal y regional.

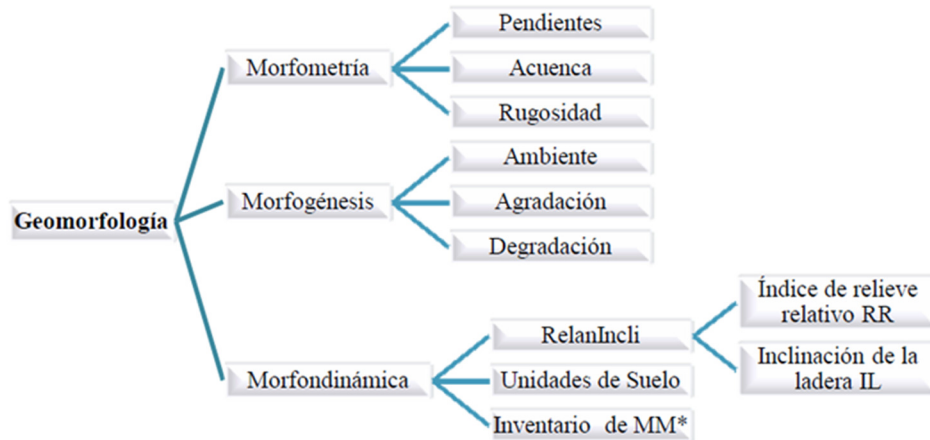
Está representada por fallas y plegamientos donde su principal característica es la presencia de sinclinales y anticlinales. Sinclinal del pilar, anticlinal chorrera, sinclinal de San Miguel, anticlinal de Morca, con direcciones, N-E. El municipio de Sogamoso se ubica entre importantes fallas como: La falla de Soapaga en el Oeste y la falla del Chicamocha

8.4.3 Pliegues

8.4.3.1 Sinclinal de Pilar y Seibita

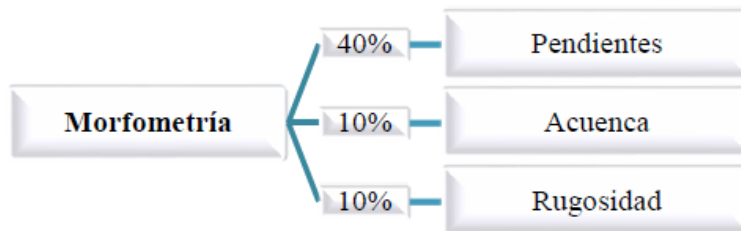
Es el último de una serie de pliegues menores que se extienden al costado oriental de la cuenca, sobre la vereda Mortiñal. El núcleo lo componen las arcillolitas grises oscuras, y areniscas friables de la formación Guaduas (Kpgg). Comprende una dirección Noreste, extendiéndose a lo ancho de la cuenca en la misma dirección, sin embargo se ha bifurcado en dos unidades por la erosión de gran parte de su núcleo, en la vereda Pedregal alto, lo cual ha dejado un remanente de este pliegue hacia ese sector.

9 ANÁLISIS DE RIESGOS GEOMORFOLÓGICOS



Fuente: Autor

9.1 MORFOMETRÍA



Fuente: Autor

9.1.1 Pendiente del terreno

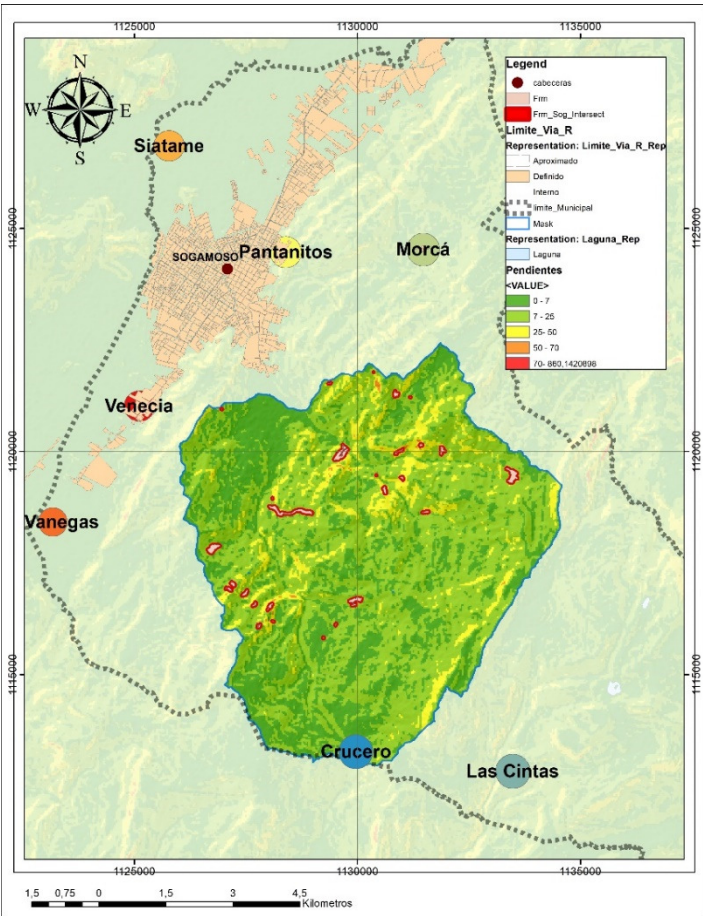
Esta variable guarda relación cercana con el relieve geomorfológico. Por ende se hace necesario realizar el cálculo de esta variable, para esto entendemos que la pendiente es una forma de medir el grado de inclinación del terreno. A mayor inclinación mayor valor de pendiente. La pendiente se mide calculando la tangente de la superficie. La tangente se calcula dividiendo el cambio vertical en altitud entre la distancia horizontal, Normalmente la pendiente se expresa en planimetría como un porcentaje de pendiente que equivale al valor de la tangente (pendiente) multiplicado por 100, sin embargo esta forma de expresar la pendiente es muy común, aunque puede ser algo confusa porque por ejemplo un valor de pendiente del 100% se corresponde con un ángulo de 45 grados ya que la altura y la base de un ángulo de 45 grados coinciden y al dividirlos da como resultado 1 que si se multiplica por 100 es igual a una pendiente del 100%. Otra forma de expresar la pendiente es en grados. Para calcular los grados se utiliza el valor de arco tangente de la pendiente: (Geogra, s.f.).

TABLA 7. Clasificación por rango de Pendientes

Rangos en %	Clasificación	Pendiente
>-75	5	Muy Alta
50 – 75	4	Alta
50 – 25	3	Media
7 – 25	2	Baja
0 – 7	1	Muy Baja

Fuente: Autor

FIGURA 27. Mapa de pendiente de la Cuenca del Rio Monquirá



Fuente: Autor

De este mapa según el rango de clasificación para riesgos geomorfológicos la pendiente revela que para susceptibilidad alta tenemos rangos que van desde el 25-50% en colores amarillos, aquellos se ubican al centro de la cuenca alta del río Monquirá, estos terrenos presentan altos escarpes en rocas blandas. Es importante resaltar que para estas zonas se encontraron la mayoría de procesos erosivos y de remoción en masa, la problemática más relevante consiste en que estas áreas propician la movilización y pérdida superficial de suelos hasta llegar a saturar capas más profundas y alteradas, adicionalmente las pendientes altas imprimen un gradiente de gravedad y energía cinética considerable para los desplazamientos de grandes masas.

La correlación de deslizamientos con valores de pendientes deja entre dicho zonas de alta susceptibilidad por este componente, sumado a esto la presencia de rocas blandas y alteradas reúnen uno de los factores condicionantes para la ocurrencia de deslizamientos.

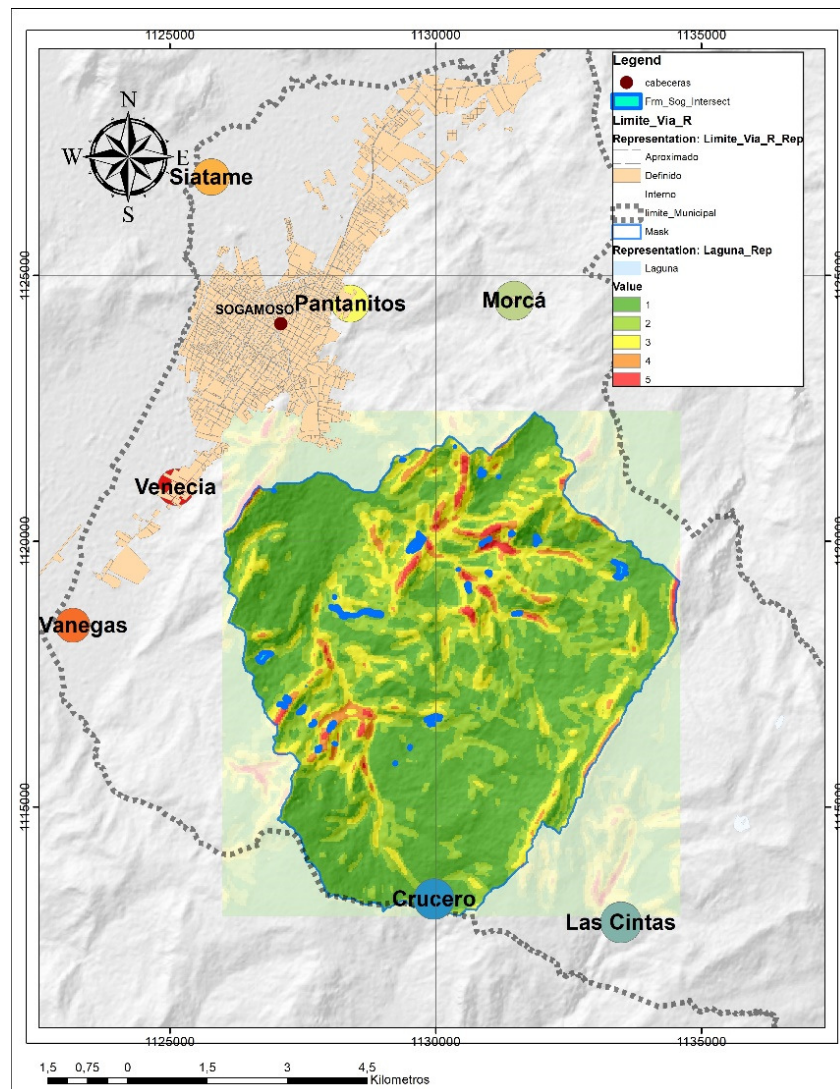
9.1.2 Rugosidad Del Terreno

La rugosidad del terreno constituye un parámetro poco estudiado en la implicación de deslizamientos, este elemento permite identificar las irregularidades del terreno, así mismo condicionan aspectos de flujo o concentración.

Tradicionalmente se ha considerado que la forma del área de captación tiene influencia en el tiempo de concentración de las aguas al punto de salida, ya que modifica el hidrograma y las tasas de flujo máximo, por lo que para una misma superficie y una misma tormenta, los factores mencionados se comportan de forma diferente entre un área de forma redondeada y una alargada. Los volúmenes escurridos en zonas alargadas son más uniformes a lo largo del tiempo, en cambio, en zonas redondeadas el agua tarda menos en llegar a la salida, en donde se concentra en un tiempo relativamente corto.

Siendo más susceptible a deslizamiento las áreas de captación redondeada por acumular de manera más rápida el agua lo cual puede generar inestabilidad de los taludes (ideam frm).

FIGURA 28. Mapa de rugosidad de la cuenca del río Monquirá



Fuente: Autor

Nótese de la figura la congruencia de los fenómenos de remoción en masa en tonos azules con zonas de alta rugosidad, dejando en claro la influencia de la escorrentía para estas zonas. En esencia para estas zonas la cuenca presenta alto grado de riesgo dada su condición de concentrar flujos de fuerza erosiva considerable según este parámetro, consecuentemente con lo registrado en campo y la evidencia de fenómenos de remoción en masa activos, el gradiente de rugosidad imprime turbulencia de flujo sobre la precipitación saturando los materiales provenientes de formaciones blandas.

9.1.3 Acuenca

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, el agua acumulada sobre las laderas saturara al suelo perdiendo capacidad cohesiva. Por consiguiente el mecanismo detonador está relacionado a la acumulación de agua en zonas geotécnicamente susceptibles.

Al igual que el mapa de pendientes, las cuencas se calculan a partir del modelo de Elevación digital (DEM), utilizando el programa ArcGIS, se realiza el cálculo de la dirección del flujo mediante el comando FLOW DIRECCION, así como la valoración de flujos acumulados con FLOW ACUMULATION. Finalmente se realiza el cálculo de cuenca y se genera la reclasificación mediante la asignación de atributos. A continuación se presenta el mapa de Cuenca

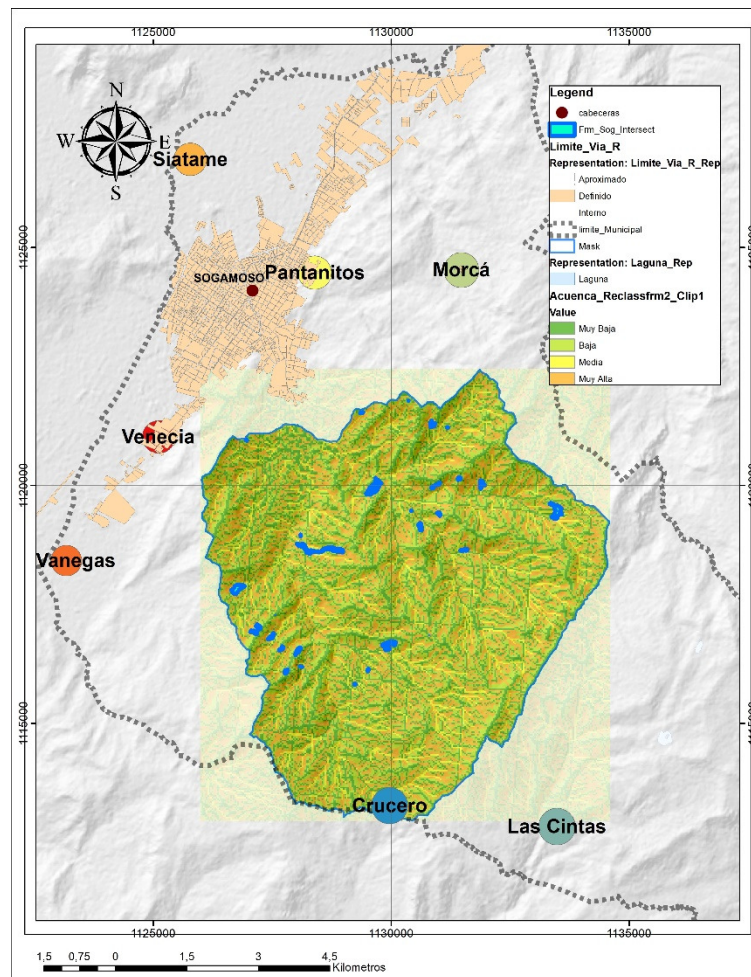
TABLA 8. Clasificación de Cuenca

RANGOS	CLAS.	DESCRIPCIÓN	SUSCEPTIBILIDAD
0	1	Divisoria de Aguas o Lomos	Muy Baja
0 - 3,500	2	Escorrentía Lenta	Baja
3,500.000001 - 40,000	5	Flujo Acumulado	Muy Alta
40,000.00001 - 1,000,000	3	Drenaje no permanente	Media
1,000,000.001 - 27,990,488	1	Quebradas, Ríos	Muy Baja

Fuente: Autor

Según Santacana (2001), el flujo de las aguas a través de la superficie es siempre en la dirección de máxima pendiente, una vez que la dirección de flujo (flow direction) es conocida es posible determinar cuáles y cuántas celdas fluyen hacia una celda particular, la sumatoria de estas se denomina flujos acumulados (flow accumulation). Los valores de los flujos acumulados multiplicados por el área del pixel crean la variable ACUENCA o sea el área de la cuenca.

FIGURA 29. Mapa de Acuenca de la cuenca del rio Monquirá



Fuente: Autor

9.2 MORFOGÉNESIS



La morfogénesis corresponde al origen de las formas del terreno, es decir, las causas y procesos que dieron la forma al paisaje. El origen del paisaje depende de los procesos endogenéticos y la modificación de los agentes exogenéticos (agua, viento, hielo), que actúan sobre la superficie

terrestre en diferentes proporciones e intensidades, y durante intervalos de tiempos geológicos, modelando el terreno La calificación de la morfogénesis se da sobre cada geoforma, garantizando una calificación particular de los atributos morfogenéticos: Procesos genéticos, modelado del relieve y ambiente de formación, los cuales, a pesar de tener un ambiente en común, pueden variar entre sí y modificar las condiciones de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa De este modo a continuación se muestran las unidades geomorfológicas contenidas dentro de la cuenca así como su clasificación de susceptibilidad.

En la siguiente tabla se muestran los criterios para la calificación del atributo morfogenético de las unidades geomorfológicas presentes:

TABLA 9. criterios para la calificación del atributo morfogenético de las unidades geomorfológicas

Ambiente	Origen	Proceso Genético	Modelo		Rango de calificación	
			Agradacional	Degradacional	Agradacional	Degradacional
Costero	0	1	1	0	2	1
Fluvial	0	1	1	0	2	1
Eólico	1	1	1	0	3	2
Kárstico	1	1	1	0	3	2
Volcánico	2	0	1	0	3	2
Antrópico	2	1	1	0	4	3
Denudacional	2	1	1	0	4	3
Glacial	2	1	1	0	4	3
Estructural	3	0	1	0	4	3
Exógeno	1	Agradacional	1			
Endógeno	0	Degradacional	0			

Fuente:SGC

Tomando como referencia la tabla de atributos propuesta por el Servicio Geológico Colombiano, se realizó la siguiente calificación de las unidades geomorfológicas

TABLA 10. calificación de las unidades geomorfológicas

Ambiente	Unidad	P_GENETICO	MODELADO	Calificación Morfo genética
Denudacional	Ladera erosiva	1	0	3
	Ladera ondulada	1	0	3

	Cono de talus	1	1	4
	Ladera ondulada	1	0	3
	Cerro residual	1	0	3
	Ladera ondulada	1	0	3
	Cono de talus	1	1	4
	Ladera ondulada	1	0	3
	Ladera ondulada	1	0	3
Estructural	Ladera de contrapendiente sierra homoclinal	0	1	4
	Sierra sinclinal	0	1	4
	Ladera de contrapendiente sierra anticlinal	0	1	4
	Ladera estructural de sierra anticlinal	0	1	4
	Ladera de contrapendiente sierra anticlinal	0	1	4
	Sierra anticlinal	0	1	4
	Sierra anticlinal	0	1	4
	Ladera de contrapendiente sierra sinclinal	0	1	4
	Loma denudada	1	1	4
	Ladera de contrapendiente sierra anticlinal	0	1	4
	Sierra anticlinal	0	1	4
	Sierra sinclinal	0	1	4
	Sierra sinclinal	0	1	4
	Ladera de contrapendiente sierra sinclinal	0	1	4
	Escarpe de linea de falla	0	1	4
	Sierra sinclinal	0	1	4
	Ladera de contrapendiente sierra anticlinal	0	1	4
	Ladera estructural de sierra anticlinal	0	1	4
	Ladera estructural de sierra sinclinal	0	1	4
	Cono de talus	1	1	4
	Ladera estructural de sierra sinclinal	0	1	4
	Ladera estructural de sierra sinclinal	0	1	4
Fluvial	Terraza de acumulación antigua	1	1	2
Glacial	Ladera de contrapendiente sierra anticlinal glaciada	1	1	4
	Ladera estructural sierra anticlinal glaciada	1	1	4
	Ladera estructural sierra anticlinal glaciada	1	1	4
	Conos glaciofluviales	1	1	4

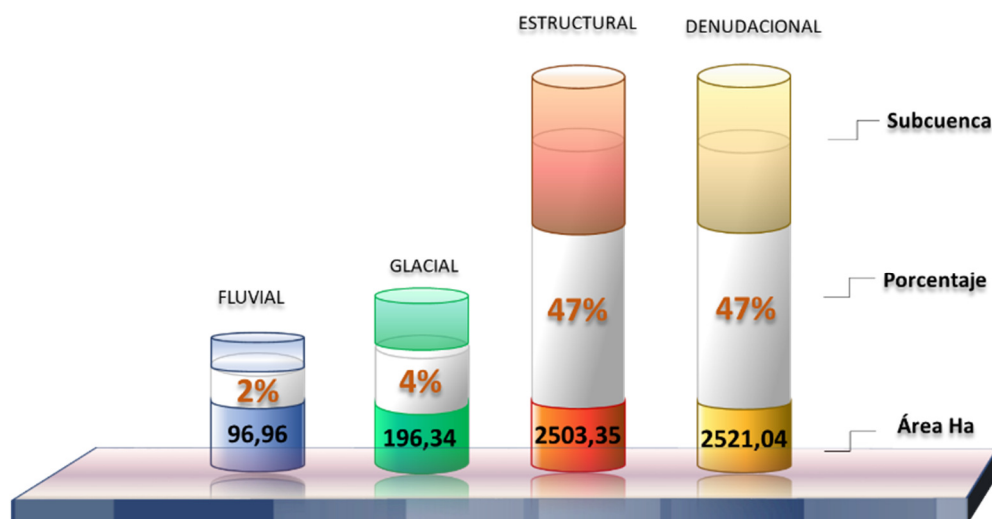
	Ladera estructural sierra anticlinal glaciada	1	1	4
	Ladera estructural sierra anticlinal glaciada	1	1	4
	Ladera estructural de cuesta glaciada	1	1	4

Fuente: Autor

De acuerdo a lo anterior el diagnostico geomorfológico de la cuenca del Río Monquirá busca dejar a la comunidad técnica y en general un precedente específico en cuanto al estado actual del relieve, eventos morfo-dinámicos, que identifiquen las formas como resultado de la acción de varios factores entre los cuales merecen especial atención, el material del cual están constituidas las unidades litológicas con base en la historia geológica evolutiva y el proceso que las originó, sea estructural, Denudacional, erosionar, o mixto. Así se produjo un mapa que delimito las unidades de la cuenca

Un ambiente morfo genético, agrupa las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas bajo las cuales se formaron las geoformas. Se determina con base en la expresión e interpretación de los procesos geomorfológicos registrados en el terreno, que dieron lugar a la formación, evolución y modificación de las geoformas. Según la clasificación propuesta por Carvajal 2008 y teniendo en cuenta los ambientes morfo genéticos existentes a nivel nacional. Se han relacionado el porcentaje de área que ocupan en la cuenca y el número de unidades cartografiadas como se muestra a continuación.

FIGURA 30. Ambientes morfogenéticos y distribución porcentual



Fuente: Autor

9.2.1 Geoformas de origen denudacional

Se incluyen las geoformas cuya expresión morfológica no depende del plegamiento de la corteza, sino exclusivamente a los procesos exógenos degradacionales y está definida por la acción

combinada de procesos moderados a intensos de lluvia-escorrentía, de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que han remodelado y dejado remanentes de las unidades preexistentes y de igual manera, crean nuevas unidades por la acumulación de sedimentos.

Presenta 8 unidades correspondientes al ambiente denudacional las cuales han sido generadas por la acción combinada de los procesos exógenos anteriormente mencionados, este ambiente abarca 35.1% del total del Área correspondiente a la cuenca.

9.2.1.1 Loma Denudada (Dld)

Geoforma localizada al Este del Municipio de Sogamoso en la Vereda el Hatillo sector conocido como Loma en Medio, esta geoforma se encuentra limitada por las quebradas la Carbonera y Honda, se ha desarrollado sobre rocas del Cretáceo Inferior exactamente sobre la formación Chipaque (Ksc), la geoforma se caracteriza por ser una prominencia topográfica con una altura menor de 200 metros sobre su nivel base local, con una morfología alomada y elongada, de laderas cortas, convexas y pendientes muy inclinadas a abruptas, Su origen es relacionado a procesos intensos de meteorización y erosión diferencial. Se caracteriza por presentar movimientos en masa y procesos erosivos intensos.

FIGURA 31. Loma Denudada (Dld)



Fuente: Autor

9.2.1.2 Cerro Residual (Dcrs)

Unidad geomorfológica localizada en la parte central de la cuenca, exactamente en la Vereda Pilar y Ceibita en el sitio conocido como el Alto del Montón, con un área de 80.79 Ha se desarrolló sobre rocas del Cretáceo como la Formación Plaeners (Ksgp) y parte de la formación Chipaque (Ksc), esta geoforma se origina debido a periodos de denudación y meteorización intensa cuya

configuración se favorece por la litología de las rocas presentes, la geoforma se caracteriza por exhibir una prominencia topográfica sobresaliente y aislada de morfología colinada de cima redondeada, con ondulaciones, de laderas rectas, moderadamente largas, de pendiente muy inclinada.

FIGURA 32. Cerro Residual (Dcrs)



Fuente: Autor

9.2.1.3 Cono de Talud (Dct)

Geoforma localizada al Sur - Oriente en la Vereda Pilar Y Ceibita Sector Quebrada Honda y en la Vereda Primera Chorrera Sector el Papayo, esta unidad tiene un área de 153.37 Ha, y se ha desarrollado sobre el Cuaternario reciente conformado por depósitos coluviales (Qc) conformados por materiales mixtos, y sobre rocas del Cretáceo como la formación Chipaque (Ksc) la estructura de la unidad es en forma de cono o lóbulo localizada a la base de los escarpes. Presenta un ápice angosto y en los cambios de pendiente extremos redondeados, las laderas son de longitudes cortas a medias, cóncavas hacia la parte distal. Su origen es relacionado a procesos de acumulación mecánica de bloques y fragmentos angulares heterométricos que se desprendieron de las partes altas. El tipo de drenaje es paralelo.

FIGURA 33. Cono de Talud (Dct)



Fuente: Autor

9.2.1.4 Ladera Erosiva (Dle)

Geoforma localizada al Sur y Sur - Occidente del municipio de Sogamoso en la Vereda Dichavita, sector Boquerón, sector Rejoya, Hatillo, la Rosita, Palo Blanco y los Arrayanes en la Vereda Alto Pedregal y Pedregal Bajo sector Buena Vista, Las Casas, el Bosque y Callejuelas, esta unidad se ha desarrollado sobre rocas pertenecientes al Cretáceo, esta geoforma se caracteriza por ser una superficie de terreno con pendientes muy inclinadas de longitud extremadamente largas a moderadas, de formas planas a convexas, el patrón de drenaje típico es subparalelo, se observan procesos erosivos como surcos y solifluxión sobre los materiales de suelo o roca, estas laderas no necesariamente se asocian a una geoforma mayor o a una estructura.

FIGURA 34. Ladera Erosiva (Dle)



Fuente: Autor

9.2.1.5 Ladera Ondulada (Dlo)

Unidad geomorfológica localizada en la parte Sur de la cuenca en la Vereda Primera Chorrera sector Dichavita, la Peña y la ladera, al Sur Occidente en la Vereda Pedregal sector el Mortiño. La unidad se ha desarrollado sobre rocas del cretáceo donde la mayor área de esta geoforma recae sobre las formaciones Guaduas (KPgg) y Los Pinos (Ksgpi), esta geoforma se caracteriza por ser una superficie en declive de morfología alomada, de pendiente inclinada, donde la longitud de la ladera varía de corta a muy larga, el patrón de drenaje característico es subparalelo, estas laderas se pueden formar también en suelos residuales así como en depósitos coluviales.

TABLA 11. Ambiente Denudacional

Ambiente	Cod	Unidad	ÁreaHa	Distribución
Denudacional	Dcrs	Cerro residual	80,79	1,5%
	Dct	Cono de talus	153,37	2,9%
	Dle	Ladera erosiva	1509,07	28,4%
	Dlo	Ladera ondulada	777,82	14,6%
Total Denudacional			2521,04	47,4%

Fuente: Autor

9.2.2 Geoformas de Origen Fluvial

Incluye las geoformas que se originan por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y por la acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de las corrientes perennes, durante la época seca. De esta manera, es posible encontrar unidades aledañas a ríos, quebradas y en el fondo de los cauces, cuyos depósitos son transportados y acumulados cuando éstas pierden su capacidad de arrastre.

La tabla No 42 muestra la única unidad correspondiente al ambiente fluvial la cual ha sido generada por la acción combinada de los procesos exógenos arriba mencionados, este ambiente abarca el 11.7% del total del Área correspondiente al municipio de Sogamoso

9.2.2.1 Terraza de acumulación antigua (Ftan)

La unidad se caracteriza por ser una superficie casi plana de varios kilómetros de extensión, de laderas largas y convexas en forma de abanico ampliamente explayado, de pendientes suaves. Se caracteriza por presentar pendientes de 3° a 7° en las partes altas se ve limitada por escarpes de disección en forma de “V”, discordantes sobre rocas recientes pertenecientes a formaciones del paleógeno. Hace parte de la antigua llanura de inundación y planicie aluvial antigua la cual fue algo basculada y sometida a procesos denudativos intensos que dejaron una morfología alomada a plana, Su depósito está constituido por gravas, arenas limos y arcillas.

TABLA 12. Ambiente de Origen fluvial

Ambiente	Cod	Unidad	ÁreaHa	Distribución
Fluvial	Ftan	Terraza de acumulación antigua	96,96946988	1,8%
Total Fluvial			96,96946988	1,8%

Fuente: Autor

9.2.3 Geoformas de origen glacial.

Incluye las geoformas que se originan por procesos relacionados a la erosión intensa ocasionada por el movimiento de grandes masas de hielo en zonas de alta montaña durante épocas glaciales, o igualmente por la acción del enfriamiento intermitente y saturación de sedimentos en zonas periglaciares. Tales eventos esculpieron el sustrato rocoso de origen estructural preexistente y además generaron grandes cantidades de sedimento, acumulados en las laderas adyacentes.

9.2.3.1 Cono Glacio Fluvial (Gcgf)

Geoforma localizada al sur Oriente de la cuenca del Río Monquirá, en la Vereda Mortiñal en el sitio denominado Loma Calicantra, la unidad se ha desarrollado sobre los depósitos cuaternarios Coluviales (Qc), limitando la cuenca con zona de paramo esta geoforma se caracteriza por formar Conos de longitud larga a muy larga, de laderas rectas a convexas y muy inclinadas constituidas de bloques angulares de varios metros de arista, su matriz está constituida de arcilla con bloques de tamaños decimétricos y localmente paleosuelos negros. Su origen está asociado a corrientes torrenciales producto del deshielo de la parte más distal de una masa glacial. Los abanicos glaciofluviales son coalescentes algunas presentan disección longitudinal en asocio de escarpes en forma de “V”

9.2.3.2 Ladera Estructural de Cuesta Glaciada (Gcle)

Geoforma localizada al Sur del la cuenca, en la Vereda las Cintas costado sur occidental, en los sitios conocidos como el Volcán, Villa Rosa, la San Pascual, la unidad se ha desarrollado sobre rocas del Cretáceo y del Paleógeno como las formaciones Plaeners (Ksgp), los Pinos (Ksgpi), Labor y Tierna (Ksgt), Guaduas (KPgg), Areniscas del Socha (Pgars) y Arcillas del Socha (Pgas). La geoforma se caracteriza por exponer laderas con la inclinación de los estratos en favor de la pendiente, producto del basculamiento suave de las capas de rocas duras y blandas, de longitud muy larga, de forma cóncava a irregular, escalonada y con pendiente escarpada, el tipo de drenaje característico es subparalelo.

9.2.3.3 Ladera de contrapendiente de Sierra Anticlinal Glaciada (Gsalc)

Geoforma ubicada tanto al costado Sur – Oriental como Occidental con orientación preferencial nor – este, sur - oeste en límites del área del páramo de Siscunci sobre las Veredas Primera Chorrera sobre un pequeño sector al occidente en el sitio denominado el Mortiño, en la Segunda Chorrera y las Cintas en los sectores el Toldo, al norte en la vereda Pilar y Ceibita y Mortiñal Alto en los sitios conocidos como el Sual, los Encenillos, Peña Negra, sector Peña Lisa, Peña Alta y Peña del Cajón,

esta unidad se ha desarrollado sobre rocas del Cretáceo como la formación Plaeners (Ksgp), Labor y Tierna (Ksgt) y del Paleógeno como la formación Areniscas del Socha (Pgars), esta geoforma se caracteriza por exhibir laderas de longitudes cortas a extremadamente largas, de forma convexa, de pendientes abruptas a escarpadas, sus capas se encuentran dispuestas en sentido opuesto a la pendiente de las laderas. Su origen se asocia al desmantelamiento por erosión glacial y periglacial de los estratos blandos de la cima dejando localmente depresiones de exaración

9.2.3.4 Ladera estructural sierra anticlinal glaciada (Gsale)

Geoforma localizada al suroriente del municipio de Sogamoso en las Veredas Mortiñal, Pilar y Ceibita y las Cintas, con una orientación preferencial Nor – Este, Sur – Oeste, en los sectores conocidos como Peña Lisa, el Sual, el Tobo, Palo Blanco, Peña Alta y Loma Larga, esta unidad se ha desarrollado sobre rocas del Cretáceo como las formaciones Labor y Tierna (Ksgt) y Guaduas (Kpgg), la geoforma se caracteriza por laderas de longitud extremadamente largas a cortas, de forma recta con pendientes abruptas cuyas capas se encuentran dispuestas en el mismo sentido de la pendiente. Se constituyen de rocas competentes afectadas por procesos de gelifracción y extracción (plucking). Son comunes las depresiones de exaración, localmente desarrolladas a circos de nivación y glaciales, se caracteriza por formar patrones de drenaje subparalelo.

TABLA 13. Ambiente de Origen Glacial

Ambiente	Cod	Unidad	ÁreaHa	Distribución
Glacial	Gcgf	Conos glaciofluviales	4,61	0,1%
	Gcle	Ladera estructural de cuesta glaciada	8,94	0,2%
	Gsalc	Ladera de contrapendiente sierra anticlinal glaciada	62,94	1,2%
	Gsale	Ladera estructural sierra anticlinal glaciada	119,86	2,3%
Total Glacial			196,34	3,7%

Fuente: Autor

9.2.4 Geoformas de origen estructural

Incluye las geoformas que se originan por procesos relacionados con la dinámica interna de la tierra, asociados principalmente al plegamiento y el fallamiento de las rocas, cuya expresión morfológica es definida por la tendencia y la variación en la resistencia de las unidades.

En la siguiente tabla se observan 8 unidades correspondientes al ambiente Estructural las cuales han sido generadas por la acción combinada de los procesos de endógenos antes mencionados, este ambiente abarca el 50 % del total del área de la cuenca.

9.2.4.1 Escarpe de línea de Falla (Slfe)

Esta geoforma se localiza al Sur sobre la Vereda Segunda Chorrera con un área de 37.88Ha su dirección predominante es este – oeste y se ha desarrollado sobre rocas del cretáceo en la formación Chipaque (Ksc), esta geoforma se caracteriza por la generación de un plano vertical a subvertical corto de pendiente abrupta, su origen es relacionado al truncamiento de estructuras topográficas y geológicas afectadas por procesos de erosión acentuada y tectonismo.

FIGURA 35. Escarpe de línea de Falla (Slfe)



Fuente: Autor

9.2.4.2 Ladera de Contrapendiente de Sierra Anticlinal (Ssalc)

Esta unidad se localiza al Sur – Occidente y Oriente en el sector conocido como el Alto Unebe o Loma el Tunal, sector casa enterrada y los Rosales, Parte de la Vereda alto Pedregal, en el Alto Monquirá sector el Roble y los Sabanales, en la Vereda Ombachita cerca al sector Santa Teresa y la Loma los Cajones, la dirección predominante es Nor – Este y se han desarrollado sobre rocas

de edad Cretáceo y Paleógeno. Esta geoforma se caracteriza por ser una ladera subvertical de forma irregular a escalonada generalmente denudada, definida por la disposición de los estratos inclinados en contra de la pendiente del terreno, de longitud corta y de formas irregulares escalonadas con pendientes abruptas. Desarrollada en la ladera estructural o en la zona de charnela de una sierra anticlinal debido a la acción de procesos de erosión, meteorización o tectonismo que cortan y moldean la estructura original. El producto de procesos de erosión es debido a la alternancia de rocas blandas a intermedias, con un predominio de drenajes dendríticos a subparalelo asociados a la formación de barrancas profundas.

9.2.4.3 Ladera Estructural de Sierra Sinclinal (Sssle)

Esta unidad se observa en la parte Sur – Occidental del municipio de Sogamoso en el sector conocido como Loma las Panelas y el Alto los Cinco Grandes y la limita la Quebrada Alumbre, También se encuentra en la Vereda Mortiñal haciendo parte de la cuchilla Mortiñal, Loma el Volador, Alto el Arenal y Alto el Mode Llegando hasta el sitio conocido como el Hato, también es evidente al norte del municipio a lo largo de la Cuchilla Santa Bárbara en Dirección predominante Nor – Este. Desde el sector conocido como San Jorge pasando por el Perpetuo Socorro, Barrío el Oasis, la Ladrillera los Alpes, Sector conocido como las Maldivas y Pantanitos esta geoforma está limitada por la ladera de contrapendiente de sierra sinclinal (Ssslc) y ha sido muy intervenida antrópicamente para labores de explotación minera, la unidad se ha desarrollado sobre rocas del cretáceo y del paleógeno. Esta geoforma se caracteriza por estar generalmente denudada, definida por estratos inclinados en favor de la pendiente del terreno, conformando una artesa. Generalmente es de longitud corta, con forma cóncava y pendientes inclinadas. Se ha generado producto de procesos de erosión sobre la alternancia de rocas blandas a intermedias, así como la tectónica que la relaciona al flanco de una estructura sinclinal.

9.2.4.4 Sierra Anticlinal (Ssan)

Geoforma localizada en el municipio de Sogamoso de Sur a Norte con una orientación preferencial al de las estructuras geológicas Nor - Este Sur – Oeste, esta geoforma se observa en las veredas Busaga, Segunda Chorrera, Vereda Mortiñal, Vereda Ombachita y parte de la Vereda Buena Vista. Se ubica sobre rocas de edad cretácea y paleozoica, y se caracteriza por presentar prominencias topográficas elongadas de morfología montañosa, de cimas redondeadas, limitada por sierras sinclinales y laderas estructurales inclinadas a muy abruptas, de forma convexa y de longitud larga. El eje de la estructura es formado por el arqueamiento de los estratos o capas que se inclinan de manera divergente

FIGURA 36. Sierra Anticlinal (Ssan)



Fuente: Autor

9.2.4.5 Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc).

Se ha desarrollado sobre rocas del cretáceo y del paleógeno, esta unidad se caracteriza por las laderas generalmente denudadas, definidas por la inclinación de los estratos en contra de la pendiente del terreno, se relaciona a una sierra homoclinal, es de longitud larga, de formas irregulares y con pendientes abruptas. Se constituye de una interestratificación de rocas duras, intermedias y blandas. Es común la presencia de procesos erosivos

9.2.4.6 Sierra Sinclinal (Sss)

Unidad geomorfológica representada como una franja alargada con dirección predominante Nor – Este, se localiza al Sur - Occidente en la Vereda Pedregal Alto, sector Briceño, la Independencia, el Junco, al Nor - Este sobre la Vereda Monquirá, sector el Rincón y la Vereda Morca, al Norte en parte de La Vereda Buena Vista así como el sector las Maldivas y los Pinos, se ha desarrollado sobre rocas del cretáceo y del paleógeno, la unidad se caracteriza por ser una prominencia topográfica en forma de artesa, se ha formado en el eje de un sinclinal y es limitada por laderas de contrapendiente. La disposición actual obedece a procesos denudativos diferenciales que han desmantelado los flancos de la estructura invirtiendo el relieve original.

FIGURA 37. Sierra Sinclinal (Sss)



Fuente: Autor

9.2.4.7 Ladera de contrapendiente de Sierra Sinclinal (Ssslc)

Geoforma localizada en el municipio de Sogamoso al Sur en las Veredas Chorrera y Dichavita en el sector conocido como Villa Rosita, esta geoforma está limitada por las Quebradas la Unión y Goata, también se observa en la Vereda Pedregal Alto sector Callejuelas con dirección predominante Nor – Este, en la Vereda el Hatillo en la Loma el Volador y hace parte de la cuchilla Mortiñal donde es limitada por la Quebrada Honda, también es evidente al norte del municipio a lo largo de la Cuchilla Santa Bárbara en Dirección predominante Nor – Este desde el sector conocido como San Jorge pasando por el Barrio el Oasis, la Ladrillera los Alpes, Sector conocido como las Maldivas y Pantanitos esta geoforma está limitada con la Terraza de Acumulación Antigua (Ftan), se ubica sobre rocas del cretáceo y del paleógeno. Se caracteriza por ser una superficie vertical a subvertical corta a moderadamente larga, de forma escalonada, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, relacionada al flanco de una sierra sinclinal

9.2.4.8 Ladera Estructural de Sierra Sinclinal (Sssle)

Esta unidad se observa en la parte Sur – Occidental del municipio de Sogamoso en el sector conocido como Loma las Panelas y el Alto los Cinco Grandes y la limita la Quebrada Alumbre, También se encuentra en la Vereda Mortiñal haciendo parte de la cuchilla Mortiñal, Loma el Volador, Alto el Arenal y Alto el Mode Llegando hasta el sitio conocido como el Hato, también es evidente al norte del municipio a lo largo de la Cuchilla Santa Bárbara en Dirección predominante Nor – Este. Desde el sector conocido como San Jorge pasando por el Perpetuo Socorro, Barrio el Oasis, la Ladrillera los Alpes, Sector conocido como las Maldivas y Pantanitos esta geoforma está limitada por la ladera de contrapendiente de sierra sinclinal (Ssslc) y ha sido

muy intervenida antrópicamente para labores de explotación minera, la unidad se ha desarrollado sobre rocas del cretáceo y del paleógeno. Esta geoforma se caracteriza por estar generalmente denudada, definida por estratos inclinados en favor de la pendiente del terreno, conformando una artesa. Generalmente es de longitud corta, con forma cóncava y pendientes inclinadas. Se ha generado producto de procesos de erosión sobre la alternancia de rocas blandas a intermedias, así como la tectónica que la relaciona al flanco de una estructura sinclinal.

TABLA 14. Ambiente de Origen Estructural

Ambiente	Cod	Unidad	ÁreaHa	Distribución
Estructural	Dct	Cono de talus	10,02	0,2%
	Dld	Loma denudada	309,20	5,8%
	Sife	Escarpe de linea de falla	37,88	0,7%
	Ssalc	Ladera de contrapendiente sierra anticlinal	367,45	6,9%
	Ssale	Ladera estructural de sierra anticlinal	61,21	1,2%
	Ssan	Sierra anticlina	620,21	11,7%
	Sshlc	Ladera de contrapendiente sierra homoclinal	118,29	2,2%
	Sss	Sierra sinclinal	559,50	10,5%
	Ssslc	Ladera de contrapendiente sierra sinclinal	204,56	3,8%
	Sssle	Ladera estructural de sierra sinclinal	215,02	4,0%
Total Estructural			2503,36	47,1%

Fuente: Autor

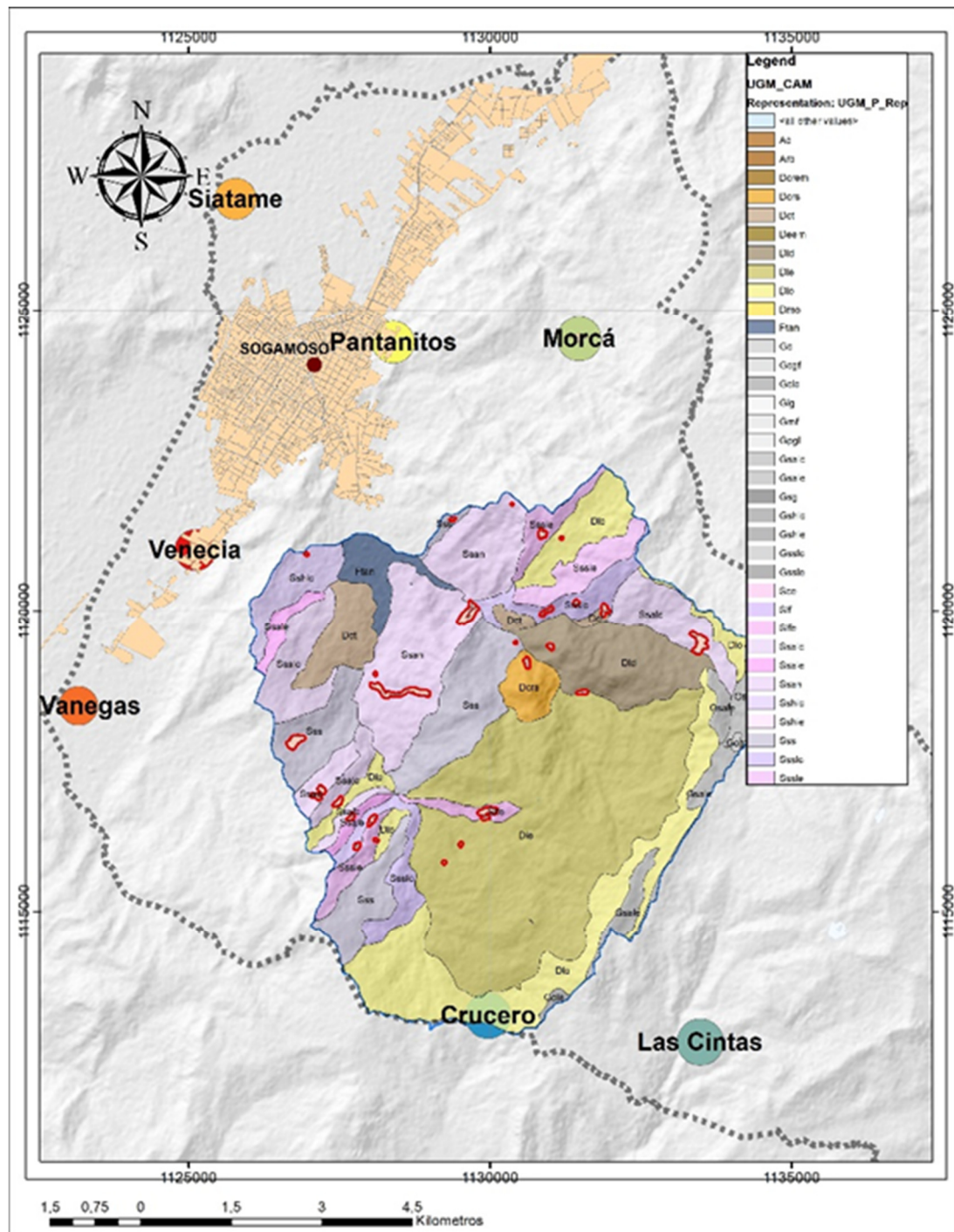
TABLA 15. Unidades geomorfológicas y calificación morfo genética

Ambiente	Cod	Unidad	Área Ha	Distribución	susceptibilidad morfo genética
Denudacional	Dcrs	Cerro residual	80,79	1,5%	3
	Dct	Cono de talus	153,37	2,9%	8
	Dle	Ladera erosiva	1509,07	28,4%	3
	Dlo	Ladera ondulada	777,82	14,6%	15
Total Denudacional			2521,04	47,4%	
Estructural	Dct	Cono de talus	10,02	0,2%	4
	Dld	Loma denudada	309,20	5,8%	4
	Sife	Escarpe de linea de falla	37,88	0,7%	4

	Ssalc	Ladera de contrapendiente sierra anticlinal	367,45	6,9%	16
	Ssale	Ladera estructural de sierra anticlinal	61,21	1,2%	8
	Ssan	Sierra anticlinal	620,21	11,7%	12
	Sshlc	Ladera de contrapendiente sierra homoclinal	118,29	2,2%	4
	Sss	Sierra sinclinal	559,50	10,5%	16
	Ssslc	Ladera de contrapendiente sierra sinclinal	204,56	3,8%	8
	Sssle	Ladera estructural de sierra sinclinal	215,02	4,0%	12
Total Estructural			2503,36	47,1%	
Fluvial	Ftan	Terraza de acumulación antigua	96,97	1,8%	2
Total Fluvial			96,97	1,8%	
Glacial	Gcgf	Conos glaciofluviales	4,61	0,1%	4
	Gcle	Ladera estructural de cuesta glaciada	8,94	0,2%	4
	Gsalc	Ladera de contrapendiente sierra anticlinal glaciada	62,94	1,2%	4
	Gsale	Ladera estructural sierra anticlinal glaciada	119,86	2,3%	16
Total Glacial			196,34	3,7%	
Total general			5317,71	100,0%	147

Fuente: Autor

FIGURA 38. Mapa Geomorfológico



Fuente: Autor

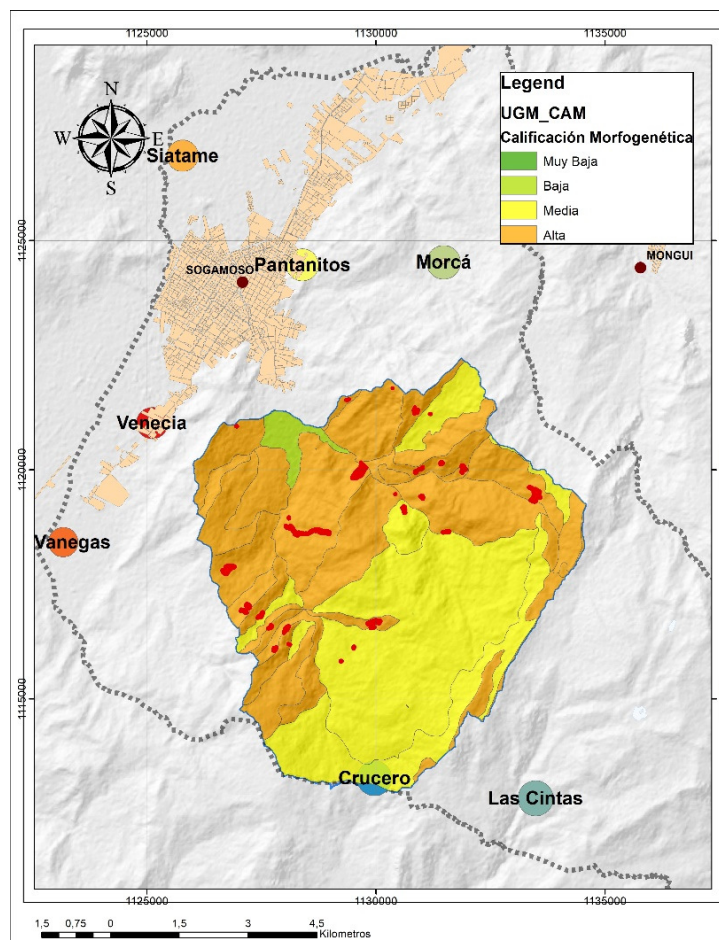
TABLA 16. Unidades geomorfológicas

Cod	Unidad
Dle	Ladera erosiva
Gsalc	Ladera ondulada
Gsale	Cono de talus
Gsale	Ladera ondulada
Gcgf	Cerro residual
Gcle	Ladera ondulada
Dlo	Ladera ondulada
Ftan	Ladera de contrapendiente sierra homoclinal
Dct	Sierra sinclinal
Sshlc	Ladera de contrapendiente sierra anticlinal
Sss	Ladera estructural de sierra anticlinal
Ssalc	Ladera de contrapendiente sierra anticlinal
Ssale	Sierra anticlina
Ssalc	Sierra anticlina
Ssan	Ladera de contrapendiente sierra sinclinal
Ssan	Loma denudada
Ssslc	Ladera de contrapendiente sierra anticlinal
Dld	Sierra anticlina
Dcrs	Sierra sinclinal
Slfe	Cono de talus
Dct	Ladera estructural de sierra sinclinal

Fuente: Autor

9.2.5 Susceptibilidad Morfogenetica

FIGURA 39. Mapa de Susceptibilidad Morfogenetica de la cuenca del rio Monquirá



Fuente: Autor

De la calificación por susceptibilidad morfo-genética se observa la ocurrencia de procesos de remoción en masa sobre unidades geomorfológicas en condición alta, estas geoformas se asocian a ambiente estructural y Denudacional en menor proporción. Ambientes donde las fuerzas tectónicas y los agentes morfo dinámicos como lluvia, viento actúan sobre el material rocoso meteorizándolo y fracturándolo, facilitando los procesos erosivos.

A continuación se muestra una tabla resumen de las unidades geomorfológicas en condición de susceptibilidad alta que presentan procesos de remoción en masa así como la cantidad de movimientos registrados por unidad.

TABLA 17. Unidades geomorfológicas en condición de susceptibilidad alta

Ambiente	Unidad	N° de movimientos
Denudacional	Cerro residual	1
	Ladera erosiva	4
	Ladera ondulada	2
Total Denudacional		7
Estructural	Cono de talus	1
	Escarpe de linea de falla	1
	Ladera de contrapendiente sierra anticlinal	3
	Ladera de contrapendiente sierra homoclinal	1
	Ladera de contrapendiente sierra sinclinal	10
	Ladera estructural de sierra anticlinal	2
	Ladera estructural de sierra sinclinal	3
	Loma denudada	1
	Sierra anticlinal	9
	Sierra sinclinal	3
Total Estructural		34
Total general		41

Fuente: Autor

9.2.6 Morfodinámica

9.2.6.1 Índice de relieve relativo

Representa la diferencia de altitud de la geoforma, independientemente de su altura absoluta o nivel del mar. Se mide por la diferencia de alturas entre la parte más baja y alta, ya sea en colinas, montañas, mesetas, terrazas y otros.

La variación entre alturas implica niveles altimétricos y gradientes de energía que a su vez varían en potencialidad erosiva, teniendo así que para relieves altos propios de alternancias entre materiales blandos y duros propician la susceptibilidad física del terreno.

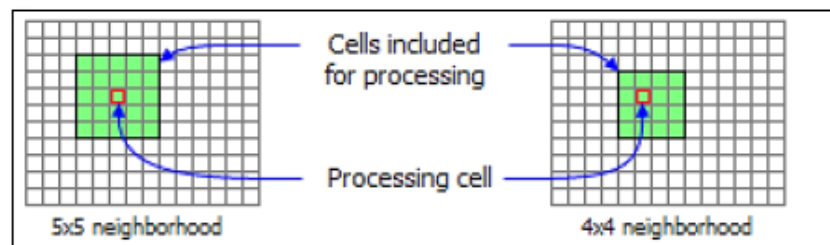
Por esto se empleó la calificación de la metodología de zonificación de FRM del servicio geológico colombiano. El FocalRange es una herramienta estadística de ArcGIS, la cual realiza una operación de vecindad que calcula un ráster de salida en donde el dato para cada celda de salida es una función de los valores de todas las celdas de entrada que están en una vecindad específica alrededor de esa ubicación. La función que se realiza en la entrada es una estadística, como el máximo, el promedio o la suma de todos los valores que se encuentran en esa vecindad. Conceptualmente, en la ejecución, el algoritmo visita cada celda en el ráster y calcula la estadística específica con la vecindad identificada. La celda para la cual se calcula la estadística se denomina celda de procesamiento. El valor de la celda de procesamiento, como todos los valores de celda en la vecindad identificada, es incluido en el cálculo de las estadísticas de vecindad. Las vecindades se

pueden superponer de modo que las celdas en una vecindad también se pueden incluir en la vecindad de otra celda de procesamiento.

9.2.6.2 Tipo de Vecindad

Para la evaluación del Índice Relativo utilizamos una vecindad Rectangular con una matriz 3*3, la cual se especifica proporcionando el ancho y la altura en unidades de celda o de mapa. Ilustración de estadísticas focalizadas en vecindad rectangular.

FIGURA 40. Ilustración de estadísticas focalizadas en vecindad rectangular



Fuente: (Resources)

La posición de x, y para la celda de procesamiento dentro de la vecindad, con respecto a la esquina superior izquierda de la vecindad, se determina por las siguientes ecuaciones

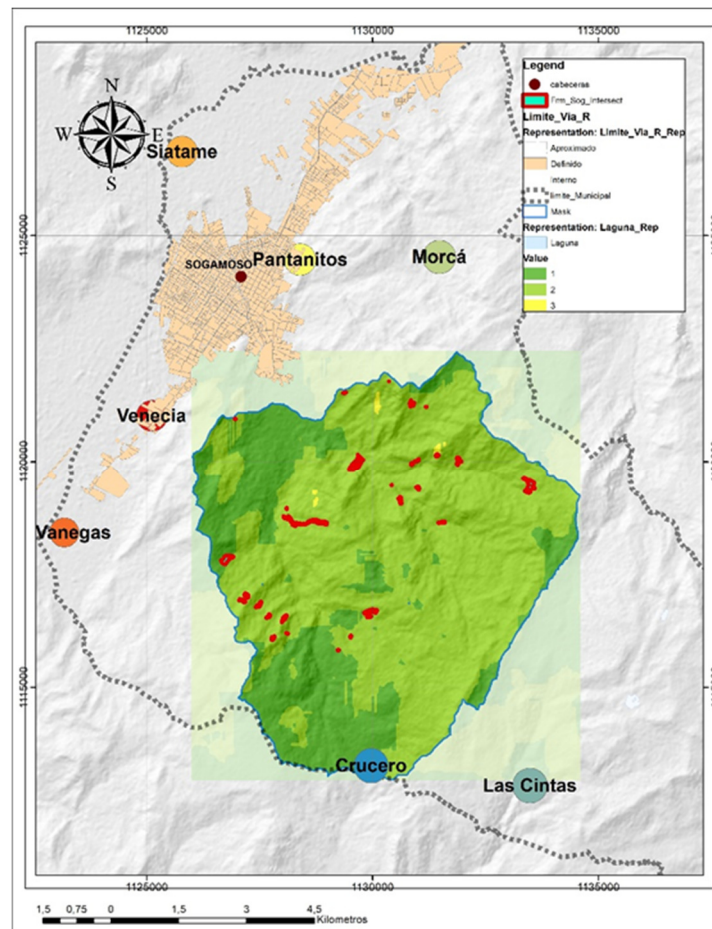
$$x = \frac{\text{Ancho de la vecindad} + 1}{2}$$

$$y = \frac{\text{Altura de la vecindad} + 1}{2}$$

Adicionalmente, se calcula el rango (diferencia entre los valores superior e inferior) de las celdas en la vecindad

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

FIGURA 41. Relieve relativo



Fuente: Autor

El relieve relativo permite establecer variaciones entre niveles altimétricos, así como establecer los tipos de relieves contenidos en la cuenca indicando que esta predomina un relieve tipo moderado blando con alta erosión. Estos relieves conforman zonas altamente disectadas de alto flujo de escorrentía, en estas zonas se identificaron todos los procesos erosivos tanto reptaciones como deslizamientos, así se puede evidenciar en la Figura 40.

9.2.6.3 Inclínación de la ladera

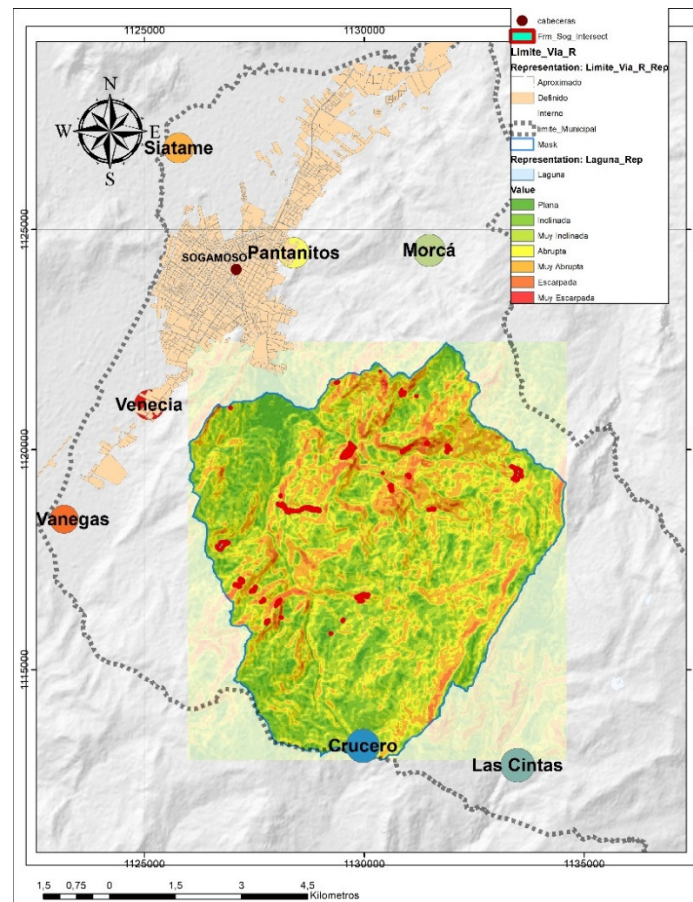
Se hace referencia a la inclinación de la ladera porque generalmente está relacionada Con el tipo de material que conforma la unidad morfológica y con la susceptibilidad de dicha unidad a la formación de los movimientos en masa. En general se puede afirmar que existe una relación directa y proporcional. Aunque si es un factor Dinámico importante, esta relación no siempre es correlacionable y depende Principalmente del tipo de material. La inclinación de ladera es un factor dinamico que influye en la exposición entre la cuenca y los procesos denudacionales. Una inclinación bastante alta favorece a la acción de la gravedad, tanto como para transporte como para

acción de agentes erosivos. A continuación se muestra la tabla utilizada para clasificar la inclinación de ladera.

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

Fuente: Autor

FIGURA 42. Mapa inclinación de ladera de la cuenca de río Monquirá



Fuente: Autor

Como se observa en el mapa la inclinación de la ladera relaciona las zonas en rojo correspondientes a movimientos en masa con laderas en clasificación inclinada a muy inclinada, lo cual refleja la influencia de este parámetro como ya se ha dicho ante los procesos morfodinámicos que afectan la cuenca, en general se puede observar que en su mayoría la cuenca comprende inclinaciones altas a muy altas en la totalidad de su territorio.

9.3 ANÁLISIS UNIVARIADO DE MOVIMIENTOS EN MASA

El análisis se hace en base al método estadístico propuesto por Vargas 1995. En el análisis estadístico de las variables se establece la densidad de movimientos en masa por unidad cartográfica de parámetro (UCP), de la siguiente manera

9.3.1 Cálculo de la densidad de número (Dn)

$$Dn = Nx/S$$

Dónde:

Nx= Número total de movimientos en masa presentes en la UCP

S= Superficie total acumulada de la UCP

De esta manera y siguiendo las pautas establecidas en el método se realiza el cálculo de la densidad de número por cada una de las unidades cartográficas de parámetro presentes en el área, obteniendo los siguientes resultados

TABLA 18. cálculo de la densidad de número por cada una de las unidades cartográficas

NMG	Movimientos por cada UCP (Nx)	Área total de cada UCP (S)	Densidad de número por movimientos en masa
Cuaternario Aluvial	1	133,279	0,00750
Formación Arenisca Tierna	8	378,811	0,02112
Formación Chipaque	11	2865,652	0,00384
Formación Guaduas	3	342,034	0,00877
Formación Los Pinos	7	479,191	0,01461
Formación Plaeners	9	979,132	0,00919

Fuente: Autor

De este parámetro se puede identificar a la formación arenisca tierna como la unidad con mayor densidad por número de movimientos en masa, lo cual indica la predisposición de esta litología a desarrollar fenómenos de remoción en masa. Pese a que no es la unidad con mayor número de fenómenos de remoción si desarrolla un número considerable respecto a otras unidades con áreas aproximadas.

9.3.2 Densidad de superficie

Este parámetro se obtiene de la relación de la superficie total acumulada de movimientos en masa presentes en cada unidad cartográfica de patrón, y la superficie total acumulada de cada UCP.

Cálculo de la densidad de superficie.

$$Ds = s/S$$

Dónde:

s= superficie total acumulada de movimientos en masa presentes en la UCP

S= Superficie total acumulada de la UCP

De acuerdo a la metodología, se realiza el cálculo de densidad de superficie para cada unidad cartográfica identificada en el municipio de Sogamoso, obteniendo los siguientes resultados.

TABLA 19. Densidad de superficie para cada unidad cartográfica

NMG	Área de FRM presente en cada UCP(s)	Área total de cada UCP (S)	Densidad por superficie (Ds)
Cuaternario Aluvial	0,504609467	133,279	0,00379
Formación Arenisca Tierna	1,409835885	378,811	0,00372
Formación Chipaque	11,21482818	2865,652	0,00391
Formación Guaduas	2,760056393	342,034	0,00807
Formación Los Pinos	2,752567272	479,191	0,00574
Formación Plaeners	3,865725949	979,132	0,00395

Fuente: Autor

De estos resultados se puede concluir que la densidad por superficie corresponde a la formación guaduas, esta registra la mayor densidad debido a el área acumulada de los fenómenos de remoción respecto al área de la formación geológica, entonces se tiene que a mayor área de superficie de remoción en masa en formaciones de baja extensión y consistencia litológica arrojaran mayor número de densidad.

Finalmente la densidad de movimientos en masa por unidad cartográfica de parámetro (D) está dada por

$$D = Dn * Ds$$

Donde:

Dn: Densidad por número de movimientos en masa

Ds: Densidad de superficie

NMG	Densidad de número por movimientos en masa (Dn)	Densidad por superficie (Ds)	Densidad por movimientos en masa para cada UCP
Cuaternario Aluvial	0,007503057	0,003786113	0,000028407
Formación Arenisca Tierna	0,021118711	0,00372174	0,000078598
Formación Chipaque	0,003838568	0,003913535	0,000015022
Formación Guaduas	0,008771052	0,008069533	0,000070778
Formación Los Pinos	0,014607943	0,005744192	0,000083911
Formación Plaeners	0,009191819	0,003948117	0,000036290

Nuevamente después de efectuado el cálculo de la densidad de movimientos en masa por unidad cartográfica de parámetro se evidencia que la unidad de mayor densidad efectiva es para la formación los pinos. Con un peso de 0.000083 pese a que ya se había mencionado esta unidad no es la que más registra movimientos en masa en su superficie total acumulada, el resultado de tener la mayor densidad se debe a la relación inversamente proporcional que existe entre los dos parámetros a evaluar, tanto para el numero de movimientos como para la superficie total acumulada de estos respecto a la densidad.

Es decir a menor extensión de formación y mayor área acumulada de fenómenos de remoción en masa, mayor número de densidad en análisis univariado.

Aunque este análisis permite establecer cuantitativamente que formaciones son más propensas a desarrollar fenómenos de remoción en masa no es un parámetro único y exacto para establecer susceptibilidades puesto que no toma factores adicionales como clima, cobertura, detonantes etc.

Por otra parte el análisis permite evaluar parámetros individuales como la densidad por número de movimientos en masa, el cual relaciona el área de la formación geológica con la cantidad y ocurrencia de fenómenos de remoción, así mismo el parámetro densidad por superficie relaciona el área afectada total acumulada por movimientos en masa y el área de la formación geológica.

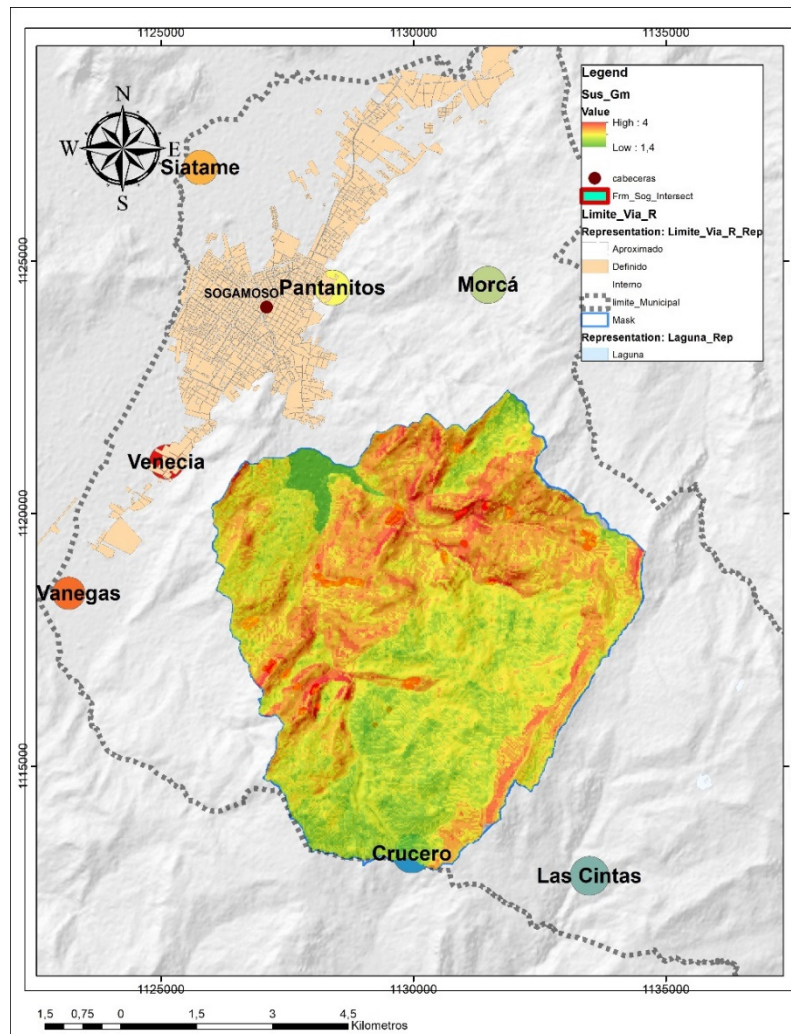
En conclusión estos dos parámetros permiten identificar formaciones que en relación a su área son capaces de concentrar cantidades considerables de área y numero de eventos de remoción en masa.

10 SUSCEPTIBILIDAD GENERAL POR GEOMORFOLOGÍA

Teniendo en cuenta las variables morfometría, morfodinámica y morfogénesis descritas anteriormente se evalúa la variable geomorfológica y se obtiene un mapa de susceptibilidad por dicho parámetro para la cuenca alta del río Monquirá, el cual muestra que en las zonas más planas, es decir aquellas que poseen menor pendiente, presentan susceptibilidad baja a eventos de fenómenos de remoción en masa, mientras las zonas de mayor pendiente presenta susceptibilidades altas a muy altas.

De acuerdo a la parametrización de las sub variables geomorfológicas el mapa confeccionado revela que la susceptibilidad general que aborda aspectos tanto genéticos como morfométricos y dinámicos, aquellos aspectos inciden en diferente magnitud en la predisposición a generar fenómenos de movimientos en masa. Dentro de la evaluación previa se describieron y analizaron cada uno de los parámetros y su influencia en el fenómeno erosivo, llegando al siguiente resultado.

FIGURA 43. Mapa de Susceptibilidad por Geomorfología



Fuente: Autor

De este mapa se puede apreciar que la mayor susceptibilidad en tonos rojos y naranjas se encuentra distribuidos al costado norte de la cuenca y parte del borde oriental, limitando su divisoria de aguas, esta calificación obedece y resalta zonas de altas pendientes y mayor densidad de drenaje, así como zonas donde predominan modelados denudacionales y ambientes morfogenéticos de alto grado de alteración litológica.

Del mismo modo los puntos críticos en susceptibilidad alta coinciden con fenómenos incipientes o relictos que han afectado o afectan estos puntos.

FIGURA 44. Descripción de la Susceptibilidad por Geomorfología para la cuenca alta del Río Monquirá

Susceptibilidad	Sectores
Muy Baja	Esta calificación se da en algunos sectores límites del casco Urbano del municipio de Sogamoso y en algunos sectores de las Veredas Vanegas, Monquirá y San José. Se caracteriza por presentar una superficie plana, de pendiente suave entre el 0 y 7%
Baja	Se presenta en algunos sectores de las veredas Siatame, Villita y Malpaso, la Manga, Vanegas, Pedregal, Primera y Segunda Chorrera, las Cintas, Las Cañas, El Mortiñal y Las Cañas. Presentan prominencias topográficas elongadas de morfología montañosa, con pendientes suaves a inclinadas entre el 7 y el 25%.
Moderada	Se encuentra distribuida en la zona rural del municipio, en sectores donde las pendientes son moderadas e inclinadas, con un drenaje no permanente. Las geoformas allí presentes se caracterizan por ser montañosa de laderas del ambiente estructural y glacial, largas a cortas y que presentan procesos de erosión acentuados en sustratos rocosos.
Alta	Se encuentra distribuida por la zona rural del municipio, se presenta en los sectores donde las pendientes son altas, empinadas y abruptas. Está representado por unidades Geomorfológicas de origen glacial, antropogénico, estructural y denudacional, determinado por procesos de erosivos y de remoción en masa actuantes sobre dichas geoformas.
Muy Alta	Se presenta en las veredas Primera y Segunda Chorrera, Pilar y Ceibita, el Mortiñal y las Cañas. Son sectores puntuales donde las pendientes son muy altas con unos rangos de inclinación de la ladera escarpados a muy escarpados, con flujos acumulados, está representado por unidades geomorfológicas de depósito poco consolidadas.

10.1 ANALISIS DE DETONANTES

10.1.1 Datos Meteorológicos

Para la elaboración de la caracterización hidrometeorológica fue necesario obtener una serie de datos meteorológicos de 28 años de 8 estaciones hidrometeorológicas suministradas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM, las cuales están cercanas a la zona de estudio. Estas estaciones utilizadas son de tipo climatológicas ordinarias, climatológica principal y pluviométricas, las cuales proporcionaron datos de precipitación. Se muestra a continuación la tabla donde se relaciona cada una de las estaciones utilizadas y la ubicación en el área.

TABLA 20. Estaciones Meteorológicas Utilizadas IDEAM

Nº	ESTACION	CORRIENTE	TIPO
1	Monguí	Monguí	PM
2	Apto Lleras	Chicamocha	CP
3	Las Cintas	Qda Las Cintas	PM
4	Nobsa	Chicamocha	PM
5	Sena	Chicamocha	PM
6	Tibasosa	Chicamocha	CO
7	Firavitoba	Pesca	PM
8	Iza	Pesca	PM

Fuente: Autor

10.1.2 Precipitación

Se denomina precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida y sólida. Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico continental. (Ordoñez Galvez, 2011, pág. 9)

Este es uno de los parámetros de mayor importancia debido a que determina la entrada de mayor aportación de agua a una cuenca, junto con la cantidad y frecuencia que esta tiene. Para el análisis de la precipitación se contó con los datos de las estaciones meteorológicas y que fueron relevantes para el cálculo de la precipitación media y mapa de isoyetas de la zona estudiada.

En el procesamiento de la serie de datos de precipitación, fue necesario encontrar los valores faltantes por medio de la ecuación del método simplificado para zonas montañosas. (A. A. Sokolov, 1981)

$$P_x = (P_x') / N(PA/(PA') + PB/(PB') + PC/(PC'))$$

Donde

N: Número de estaciones pluviométricas

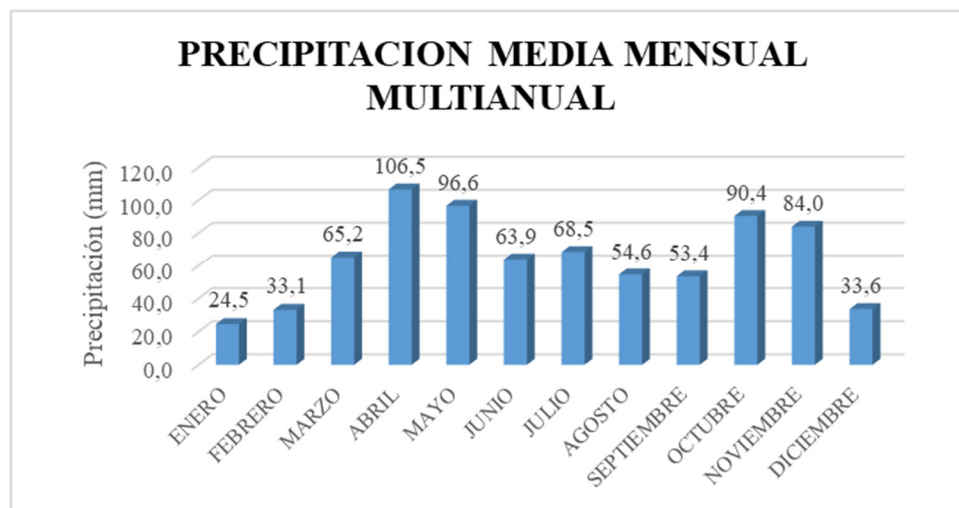
PX: Precipitación de la estación X durante el período de tiempo por completar

PX', PA', PB', PC': Promedio de precipitaciones anuales registradas en las estaciones A, B, C, y X de un período común.

PA, PB, PC: Precipitaciones de las estaciones A, B, y C durante el período que falta en X.

Se contó con una serie de datos meteorológicos con los cuales se elaboraron los histogramas de frecuencia, en estos se observa el comportamiento bimodal de la precipitación media anual desde el año 1990-2017, presentando fluctuaciones importantes, este régimen bimodal se caracteriza por presentar períodos de lluvia mayor en los meses de Abril y Mayo y en el segundo régimen en los meses de octubre y noviembre, se presenta una similitud en las estaciones utilizadas.

FIGURA 45. Precipitación Media Mensual Multianual



Fuente: Autor

En la Figura correspondiente a la precipitación media mensual multianual desde 1990-2017 se puede apreciar el comportamiento bimodal de los regímenes de lluvia de la cuenca, el primero de ellos entre los meses de abril – mayo y el segundo entre los meses de octubre y noviembre, cuyos valores registrados están entre los 84 mm/mes y 106,5mm/mes; En general en el transcurso del año los valores de precipitación media mensual oscilan entre los 24 mm/mes – 106 mm/mes, registrando los valores más bajos en el mes de enero y los más altos han sido registrados en el mes de abril. En cuanto a la distribución geoespacial, se observa que las precipitaciones son mayores hacia el sureste de la cuenca, concordando con las zonas de mayores alturas sobre las veredas las cintas y las cañas.

FIGURA 46. Mapa de isoyetas precipitación media mensual

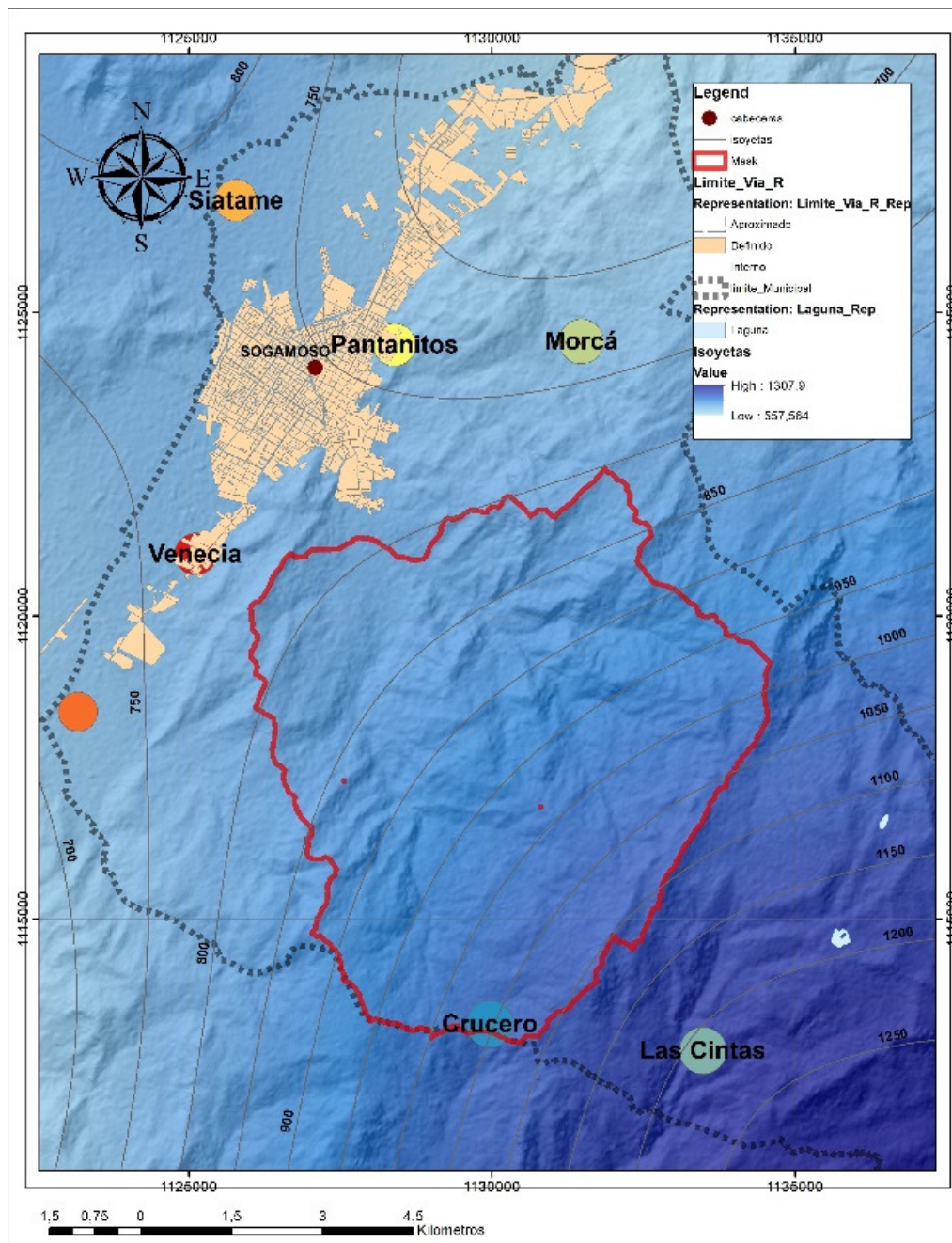
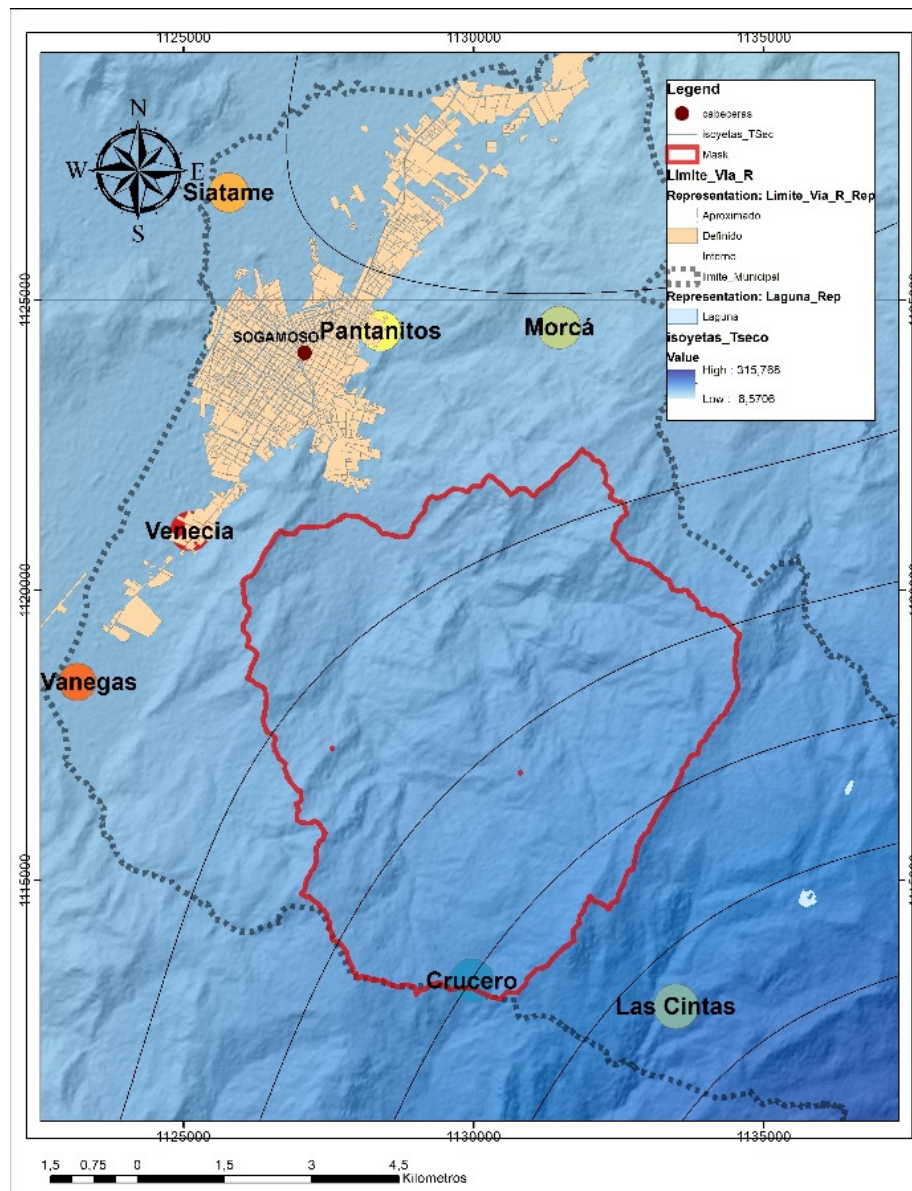


FIGURA 47. Mapa de isoyetas precipitación media en tiempo seco

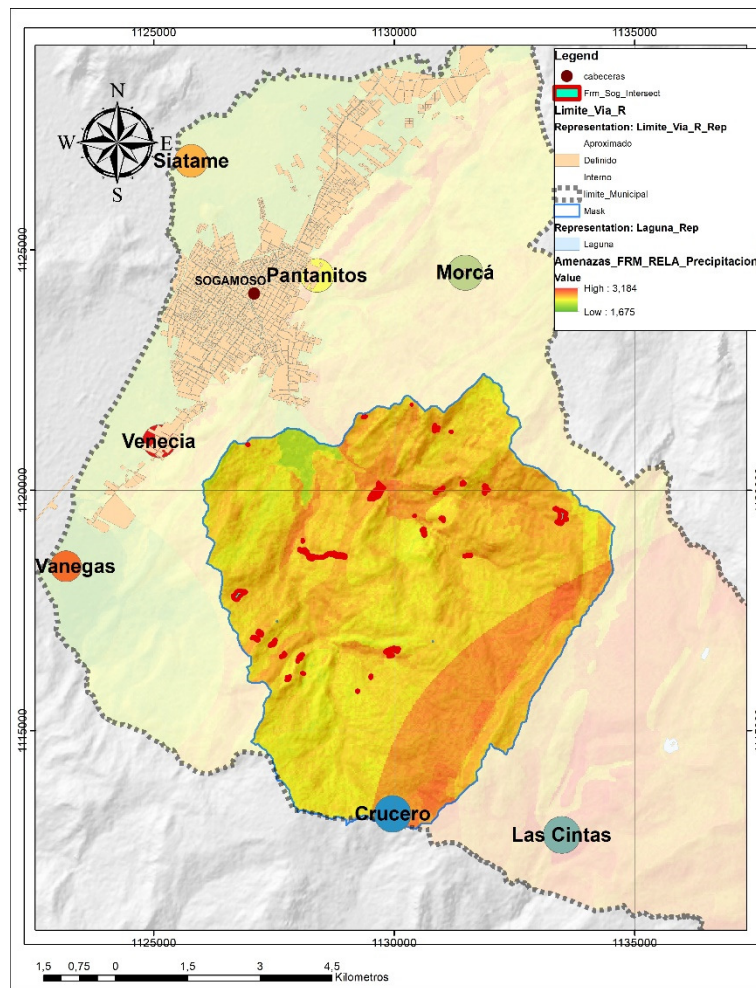


Para complementar el análisis de precipitación se elaboró el mapa de isoyetas para el mes de marzo el cual corresponde a un tiempo seco. Así se observó que la distribución de las mayores precipitaciones se desplazó en sentido sureste a mayores altitudes como se puede observar en la figura anterior.

Finalmente la precipitación como detonante de fenómenos de remoción en masa desempeña un papel significativo y de latente estudio, pues es este aspecto el que favorece al mecanismo de falla en las laderas, puesto que la lluvia actúa como agente denudativo, que erosiona socava y transporta partículas desprendidas. Es así como se vincula este parámetro meteorológico con esta amenaza, en muchas ocasiones estas amenazas se suscitan o se acrecientan por periodos prolongados de altas

precipitaciones. De este modo la precipitación de mayor intensidad en la cuenca alta del Río Monquirá se ve distribuida al costado sureste esta zona seria afectada en mayor medida durante dos periodos de precipitaciones identificados para la cuenca, durante estos dos periodos la cuenca se ve influenciada por niveles de agua que generan erosión superficial, erosión interna, escurrimiento e infiltración aumentando el nivel freático saturando la superficie y aumentando la presión de poros y por ende la masa en punto crítico a fallar.

FIGURA 48. Mapa de escenario de amenaza relativa por lluvias



Fuente: Autor

10.1.3 Sismos

Por lo anterior y con base en los procesos y evidencias de inestabilidad que se han documentado en estudios de sismicidad histórica, así como en sismos recientes ocurridos en el territorio colombiano, la influencia del detonante sismo obedece a la hipótesis de que a mayor aceleración sísmica horizontal basal (a nivel de roca), se incrementarán las fuerzas actuantes y se reducirán las fuerzas resistentes debido al incremento de las presiones de poros, lo cual no solamente depende

del entorno sismotectónico considerado, sino de otras condiciones como la topografía del terreno y la disposición, espesor y propiedades dinámicas de los materiales que conforman el subsuelo, aspectos locales que están fuera del alcance del presente estudio.

De esta manera, el cálculo del detonante sismo se generó a partir de los datos de PGA (cm/seg²) correspondientes a un periodo de retorno de 475 años, los cuales fueron rasterizados y categorizados cada 50 gales, permitiendo de esta forma calificar, de forma cualitativa, el grado de contribución del sismo a la ocurrencia de movimientos en masa.

TABLA 21. Calificación del detonante sismo

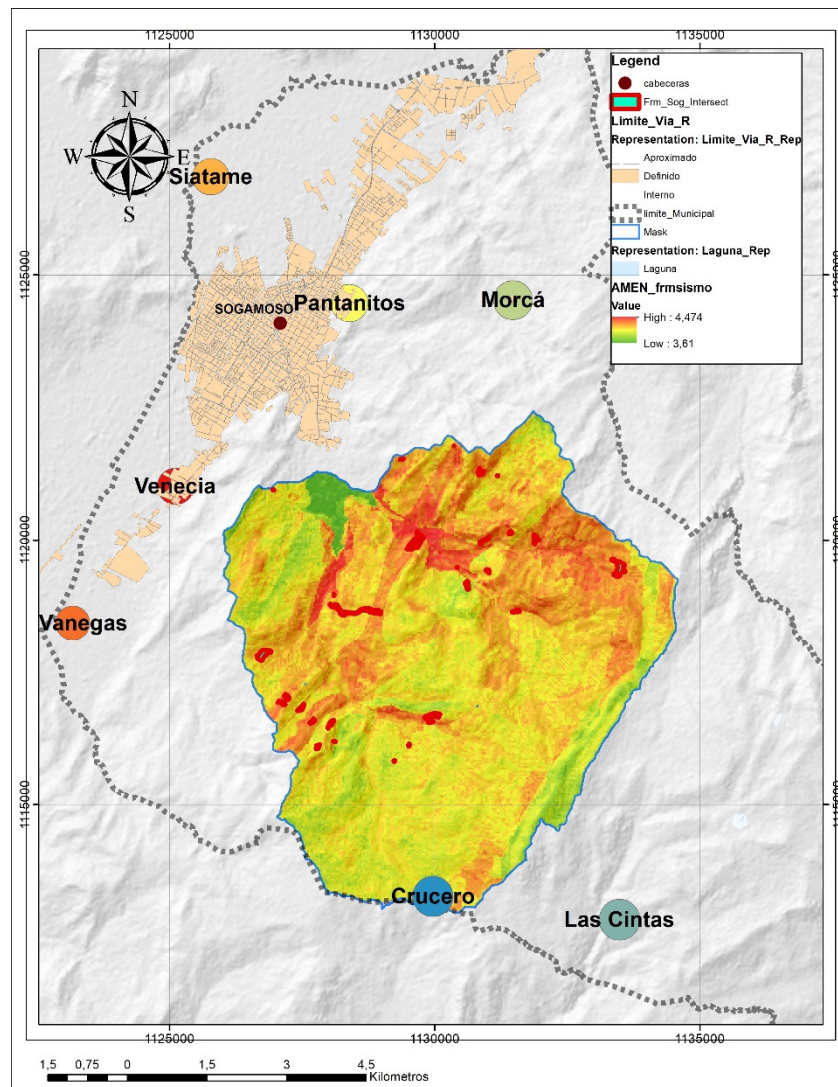
Valores de PGA (cm/seg ²)	Calificación
10 – 100	1
100 – 150	2
150 – 200	3
200 – 300	4
>300	5

Fuente: Servicio Geológico colombiano.

La cuenca alta del Rio Monquirá se encuentra localizado en una zona catalogada como compleja de alta sismicidad por la presencia de fallas activas de tipo regional y local. Cabe resaltar que la ocurrencia de un sismo depende de la existencia de una fuente sismogénica, que en esta región corresponde a tectónica debido a la gran cantidad de fallas presentes, como son las de Soapaga y Gámeza, y a nivel local influenciada por fallas como las de Santa Bárbara, Monguí, Cristo Rey y Monquirá.

La compilación de sismicidad histórica de la región realizada por los estudiantes Gómez y Marcucci, afirma que Sogamoso se encuentra en una zona donde se pueden presentar temblores de alta intensidad, por lo cual es prudente tomar medidas preventivas. La intensidad de los movimientos telúricos registrados corresponde al rango entre 3 y 4 grados en la escala de Richter y en los últimos años dicha intensidad se ha incrementado a 5 y 6 grados. El 21 de julio de 1993, a las 11:55 de la noche, se registró un movimiento telúrico de 5.6 grados, el cual ocasionó daños en algunos automotores y edificaciones. (Periódico El Tiempo, 2015).

FIGURA 49. Mapa de escenario de amenaza relativa por sismo



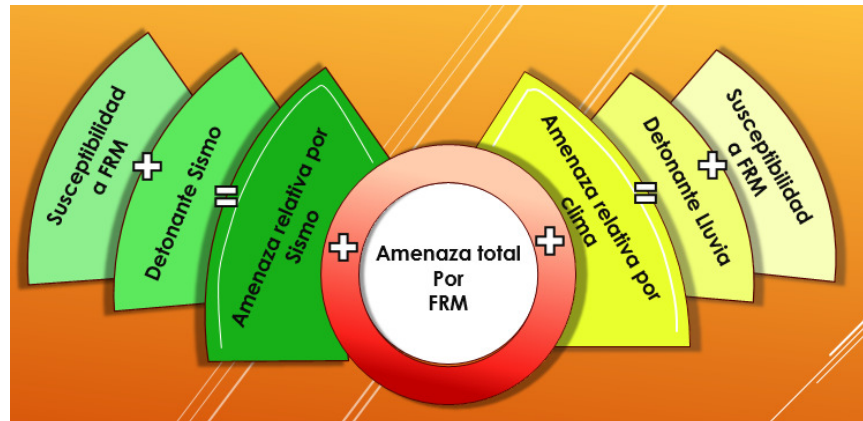
Fuente: Autor

Luego del análisis por sismicidad como detonante relativo se observa que la mayor amenaza se distribuye en la zona central donde predominan altas pendientes y zonas de actividad tectónica en un ambiente morfo estructural, las rocas se ven sometidas a grandes esfuerzos de deformación. Los sismos afectan tanto suelos como material rocoso, en los primeros los sismos para el caso de la cuenca del Rio Monquirá las formaciones arcillosas, como la formación Guaduas Chipaque desarrollan horizontes edáficos de considerable espesor, aquellos reposan sobre pendientes inclinadas y en acción de sismos de intensidades $\geq$ o iguales a 3.5 superan la cohesión y el Angulo de fricción de la ladera. Del mismo modo en materiales rocosos se propaga los planos de discontinuidad o diaclasas que representan superficies de falla o ruptura, esto podría apreciarse en formaciones compactas como las areniscas del Socha.

11 AMENAZA TOTAL POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA

La amenaza total se genera a partir del cruce entre la Amenaza Relativa (por clima y sismo), la Susceptibilidad por Fenómenos de Remoción en Masa y por los detonantes (Precipitación y aceleración máxima horizontal).

FIGURA 50. Amenaza general por fenómenos de remoción en masa



Fuente: Autor

Los principales niveles de amenaza registrados en la cuenca del río Monquirá corresponden a amenaza muy baja, baja, media y alta.

De manera general en orden de priorización la cuenca del Río Monquirá cuenta con una amenaza alta sobre las veredas Mortiñal costado sur oriental, La Cintas, vereda Segunda Chorrera costado norte sobre el cauce del Río Monquirá, vereda Primera Chorrera costado sur este en total la amenaza alta ocupa el 0.97% equivalente a 409.167 Ha.

Así mismo la amenaza alta se registra en mayor proporción al centro de la cuenca sobre la vereda Pilar y Ceibita con un área de afectación del 125.438 Ha equivalente al 0.30% del área total de la vereda.

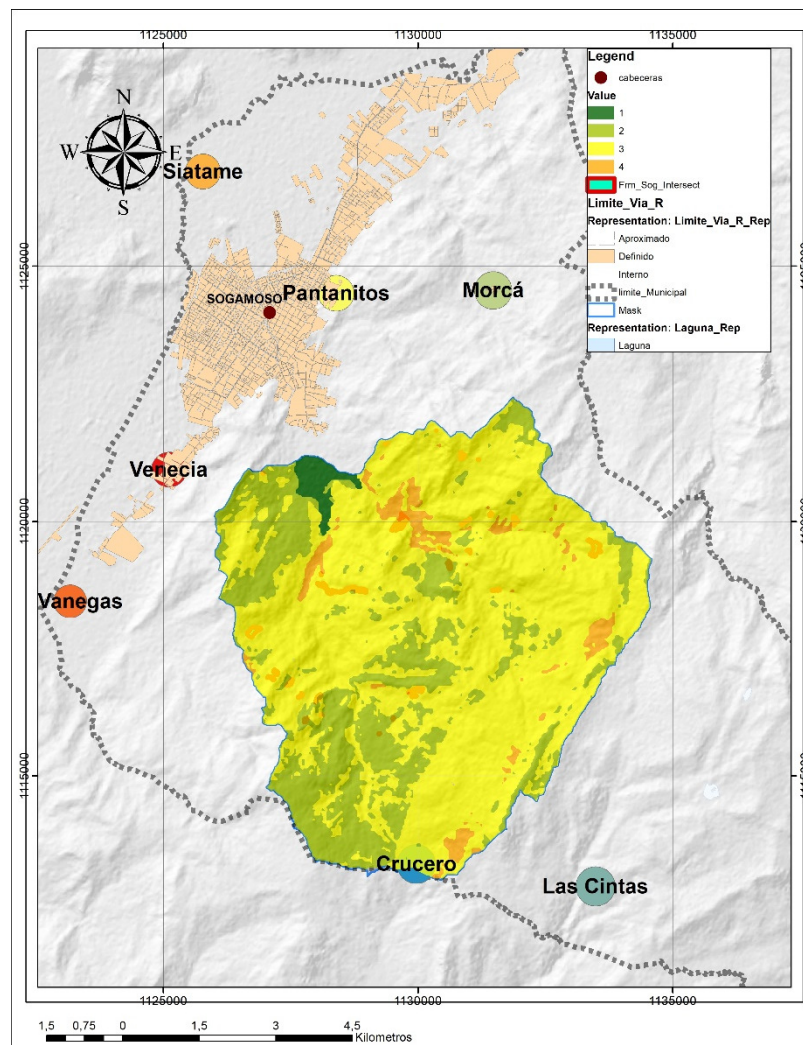
En límites con la vereda Monquirá se encuentra la mayor zona afectada más exactamente al margen del cauce del río Monquirá, esta zona afecta directamente el cauce del río por la presencia de deslizamientos aportando material directamente a este. Al mismo tiempo el cauce del río Chorreano se ve afectado a la altura del sector el papayo por la presencia de algunas reptaciones y flujos. Posteriormente cerca al casco urbano sobre los cerros orientales que dividen el área rural de la urbana se presenta un área de 43.30 Ha. Esta área resalta especial importancia ya que en algunos caseríos como santa Bárbara, esta zona denota vulnerabilidad tanto intrínseca por el tipo de roca y suelo, a afectación antrópica por subsidencia producto de actividad minera.

En cuanto a la amenaza media esta registra una extensión total 36563,87Ha equivalente al 86.91% del territorio de la cuenca, lo cual denota que la mayoría de esta se encuentra en amenaza relativa media, principalmente se puede observar en mayor expresión al costado oriental de la cuenca.

Por otra parte en menor valor las áreas de amenaza baja cubren una extensión de 4873,06Ha esto es el 11.58% del total de la cuenca, se encuentra estas áreas en la veredas Primera y Segunda Chorrera en cercanías al sector crucero, así mismo en las veredas Monquirá, Villita y Mal Paso, Vanegas, área sub-urbana y parte de Pantanitos.

Finalmente y de acuerdo a la metodología utilizada en la zonificación, la amenaza muy baja la registra mayor concentración sobre el área sub urbana y parte de la vereda Monquirá sumando un área total de influencia de 225,14Ha el 0.54% de la cuenca. Esto en concordancia a las características del relieve, bajas pendientes, cabe señalar que esta zona constituye el vínculo geográfico y el puente de transición entre la parte urbana y el suelo rural; extensión bajo la cual actualmente se llevan a cabo procesos de expansión del suelo urbano y donde más influencia tienen las actividades antrópicas con el medio físico.

FIGURA 51. Mapa de Amenaza Por Fenómenos de Remoción en Masa

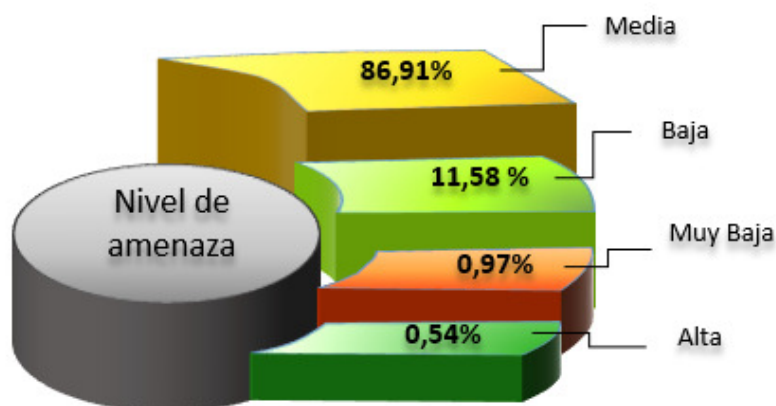


Fuente: Autor

11.1 ZONAS DE INTERÉS EN CONDICIÓN DE AMENAZA ALTA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

De acuerdo al objetivo primordial de la gestión del riesgo e incorporación en los POMCA se pretende analizar e identificar las condiciones actuales de este componente sobre la cuenca y su influencia directa sobre los elementos físico- bióticos y de recursos naturales a fin de considerar futuras implicaciones. Para este fin se analizara las zonas de mayor relevancia en cuanto al nivel de amenaza y su relación con las características intrínsecas de los componentes descritos en la caracterización, enfocándose en su aporte a la ocurrencia de eventos amenazantes y su grado de vulnerabilidad frente a estos.

FIGURA 52. Nivel de Amenaza por FRM en la Cuenca del Río Monquirá



Fuente: Autor

De lo anteriormente expuesto las áreas de mayor relevancia en la ocurrencia de Fenómenos De Remoción En Masa corresponde a las encontradas al margen del río Monquirá, siguiendo la metodología utilizada en la zonificación y en concordancia con lo registrado en campo para esta temática se evidencia que para las características físicas de las rocas, su resistencia y génesis presentan alto grado de susceptibilidad, predominan rocas blandas de tipo arcilloso, Limolíticas, intercalaciones de areniscas y arcillolitas y algunos depósitos coluviales de baja cementación que han sido afectadas por tectonismo intenso bajo el anticlinal de Pilar y Seibita análogamente el ambiente geomorfológico de tipo estructural denotan alta influencia en la generación de fenómenos de remoción en masa, contribuyendo a la deformación de las rocas.

Esta zona bordea un tramo aproximadamente de 1.5 km sobre el cauce del río donde se encontraron algunos deslizamientos que depositan directamente al cauce como se observa a continuación.

FIGURA 53. Flujo de lodos sector Alto el Volador



Fuente: Autor

FIGURA 54. Reptación de suelos sector cuchilla Mortiñal



Fuente: Autor

FIGURA 55. Deslizamiento traslacional



Fuente Autor

Estos puntos críticos responden a eventos activos que afectan no solo la esorrentía y su obstrucción al canal con pérdida de la calidad del agua, si no que de igual modo contribuyen a la degradación del suelo y desgaste de la cobertura vegetal, la cual tiene predominancia en pastos cultivos y espacios naturales para esta zona.

FIGURA 56. Obstrucción del canal por pérdida de material vegetal



Fuente: Autor

Esta degradación afecta el patrimonio ambiental de la cuenca con posibles daños colaterales sobre la biodiversidad, dentro de este mismo punto se hace evidente la presencia de marcas de tracción sobre la ladera e indicios de reptaciones.

La congruencia de elementos geológicos asociados a rocas susceptibles de meteorización y alteración, como elementos geomorfológicos en conjunto con el relieve y la presencia de coberturas vegetales que faciliten la infiltración y alteración del subsuelo, constituyen un escenario potencial a deslizamientos.

Así mismo ocurre para el sector santa Bárbara, Santa Teresa cerros orientales. En esta zona el principal detonante y causa es la actividad minera, sobre esta zona recaen factores tanto naturales como antrópicos, puesto que la poca vegetación asociada a la actividad extractiva conlleva a la pérdida de estabilidad del sub suelo.

12 CONCLUSIONES

A partir del proceso de espacialización y delimitación de la cuenca del río Monquirá se pudo identificar los elementos político administrativo de orden municipal como zonas de influencia y el principal afluente hídrico que cruza el perímetro urbano funcionando de eje para regadío de sectores rurales, la cuenca del río Monquirá constituye el proveedor central de bienes y recursos del municipio.

Así partiendo de la identificación lito estratigráfica y descripción de rocas aflorantes la presencia de recursos minerales obedece a la congruencia de procesos activos desde la formación de la cuenca en un ambiente marino con la sedimentación de bancos fosfóricos pasando por un ambiente transicional y la acumulación de mantos de carbón, la cuenca a grandes rasgos es el producto de una dinámica activa que aun hoy en día continua actuando

Muchos de los terrenos localizados a lo largo de la cuenca presentan características topográficas y altimétricas muy variadas, estas variaciones de altitud resultan en la presencia de desniveles, para este caso el valor cualitativo predominante en la cuenca según su pendiente recurrente es ligeramente escarpado.

Sumado a esto los cauces principales registran rangos desde ligeramente escarpados y en menor medida fuertemente escarpados, dando un indicio de la fuerza incipiente de estos sobre el terreno y del tiempo de concentración de la escorrentía

Geomorfológicamente la cuenca está dominada por un ambiente estructural y Denudacional los cuales ocupan cada uno 47% del área de la cuenca este se caracteriza por presentar procesos de dinámica interna conformando pliegues, asociado al fallamientos de las rocas y a la resistencia que estas representan, las rocas de esta zona mostraron mayor afectación y susceptibilidad ante procesos de meteorización

Morfometricamente se destaca la alta predisposición por rugosidad del terreno que la cuenca posee para generar movimientos en masa, puesto que en la región central de la cuenca el terreno presenta índices de rugosidad altos típicos de concentraciones de flujo turbulentos y mayores tiempos de concentración de agua en los sistemas de drenaje el gradiente de rugosidad imprime turbulencia de flujo sobre la precipitación saturando los materiales provenientes de formaciones blandas.

Asi mismo la cuenca presenta en toda su extensión superficies convexas de mayor captación de agua superficial el agua acumulada sobre las laderas saturara al suelo perdiendo capacidad cohesiva. Por consiguiente el mecanismo detonador está relacionado a la acumulación de agua en zonas geotécnicamente susceptibles

La variación entre alturas implica niveles altimétricos y gradientes de energía que a su vez varían en potencialidad erosiva, teniendo así que para relieves altos propios de alternancias entre materiales blandos y duros propician la suceptibilidad física, para este caso la influencia radica en niveles que van desde blandos erosionables a moderados erosionables

De igual forma la zona de estudio presenta alta inclinación de ladera natural propendiendo mayor fuerza gravitacional en la ocurrencia y dinámica de los movimientos en masa, es decir a mayor inclinación mayor energía potencial de la masa desplazada

Por otra parte el análisis univariado permite evaluar parámetros individuales como la densidad por número de movimientos en masa, el cual relaciona el área de la formación geológica con la cantidad y ocurrencia de fenómenos de remoción, así mismo el parámetro densidad por superficie relaciona el área afectada total acumulada por movimientos en masa y el área de la formación geológica estos dos parámetros permiten identificar formaciones que en relación a su área son capaces de concentrar cantidades considerables de área y numero de eventos de remoción en masa

La mayor susceptibilidad en tonos rojos y naranjas se encuentra distribuidos al costado norte de la cuenca y parte del borde oriental, limitando su divisoria de aguas, esta calificación obedece y resalta zonas de altas pendientes y mayor densidad de drenaje, así como zonas donde predominan modelados denudacionales y ambientes morfogeneticos de alto grado de alteración litológica.

Las áreas de mayor relevancia en la ocurrencia de Fenómenos De Remoción En Masa corresponde a las encontradas al margen del río Monquirá, siguiendo la metodología utilizada en la zonificación y en concordancia con lo registrado en campo para esta temática se evidencia que para las características físicas de las rocas, su resistencia y génesis presentan alto grado de susceptibilidad, predominan rocas blandas de tipo arcilloso.

análogamente el ambiente geomorfológico de tipo estructural denotan alta influencia en la generación de fenómenos de remoción en masa, contribuyendo a la deformación de las rocas.

13 DOCUMENTOS CITADOS

- Universidad nacional de colombia. (17 de junio de 2014). *UNAL, NOTICIAS*. Obtenido de <http://www.manizales.unal.edu.co/index.php/noticias/36-ano-2014/4130-cuencas-urbanas-claves-en-la-planeacion-territorial>
- (IGAC), I. A., & MAVDT, M. y. (2010). *Metodología de Zonificación Ambiental de Cuencas Hidrográficas (Propuesta)*.
- A. A. Sokolov. (1981). *Métodos de cálculo del balance hídrico: guía internacional de investigación y métodos Volumen 17 de Studies and reports in hydrology*. Instituto de Hidrología de España, .
- ALMEDA A & QUINTER I. (s.f.). *Introducción a la Hidrogeología Cap 1*.
- Ambiente, Ministerio medio. (2016). *Atlas de paramos de Colombia*. Bogota.
- BREÑA A & JACOBO.M. (s.f.). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial; Capítulos 2*.
- Breña Puyol, A. F., & Jacobo Villa, M. A. (2006). *Principios y fundamentos de la hidrología superficial*. Mexico: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Cardona, G. A. (2013). *LA CUENCA URBANA COMO UNIDAD TERRITORIAL*. Manizales .
- CARLOS LONDOÑO ARANGO. (s.f.). *Cuencas Hidrográficas, Bases Conceptuales y Caracterización. Capítulo 7*.
- Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza, Costa Rica. (s.f.). *Curso de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza, Costa Rica. Capítulo 1*.
- CORPOBOYACA. (2016). *Servicios ambientales y ecosistémicos*. Tunja.
- CORPOBOYACA, UNAL, UPTC. (2006). *POMCA Cuenca Alta Río Chicamocha*. TUNJA.
- Decreto 1640* . (2012). Bogota.
- DELGADILLO A, & MORENO A. (s.f.). *Morfometría De Cuencas, Venezuela. Capítulo 1* .
- ERN-CAPRA. (2009). *ERN-CAPRA-TI-2 Descripción general de Amenazas Naturales*. América latina.
- GASPARI F, RODRIGUEZ A, SENISTERRA G, DELGADO M. (2013). *Elementos Metodológicos Para El Manejo De Cuencas Hidrográficas. Capítulo 1*. Universidad Nacional De La Plata.
- GASPARI F. RODRIGUEZ A. (s.f.). *Morphometric characterization of the upper watershed of the Sauce Grande river, Buenos Aires, Argentina*. Buenos Aires.
- Geogra*. (s.f.). Obtenido de http://www.geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/AnalisisTerreno/DEMModule/DEM_T_SI.htm
- GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA. (1983).
- Ibañez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. (2012). (USLE), Factor C de la ecuación universal de la pérdida del suelo.
- IDEAM. (2004). *GUÍA TÉCNICO CIENTÍFICA PARA LA ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS EN COLOMBIA* . BOGOTÁ.
- IDEAM. (2012). *Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia*. BOGOTÁ: Publicaciones IDEAM.
- IDEAM. (2014). *Guía técnica para la formulación de los planes de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas* . BOGOTÁ.
- IDEAM, I. d. (2010). *Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia* . Bogota.
- Instituto de Hidrología, meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2012). *Metodología para la Zonificación de Susceptibilidad General del Terreno a los Movimientos En Masa*. Bogotá.
- ISAT. (2010). *El ordenamiento territorial en la gestión de cuencas*. LIMA.
- ISAT. (2010). *El ordenamiento territorial en la gestión de cuencas*. LIMA.
- (1961). *Ley 135 Congreso de Colombia*. Colombia.
- (1974). *Ley 2811* . Bogota: Presidente ALFONSO LÓPEZ MICHELSEN.
- Londoño Arango, C. (2001). *Cuencas hidrográficas: Bases conceptuales – Caracterización - Planificación - Administración* . Colombia: Universidad del Tolima.
- LLORENTE ISIDRO, M., DIEZ HERRERO, A., & LAIN HUERTA, L. (2008). Mapas de peligrosidad de Avenidas e inundaciones . *Serie Medio Ambiente, Riesgos Geológicos*, 7.
- MESA M, R. A. (2014). *Morphometric Analysis Of Micro Watersheds Affected For Debris Flows Caused By Heavy rains in The Camiña* . Chile.

- MIN AMBIENTE. (2014). *GUÍA TÉCNICA PARA LA FORMULACIÓN DE LOS PLANES DE ORDENAMIENTO Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS*. BOGOTÁ.
- Ministerio de minas y energía, I. d. (2003). *Memoria explicativa geología de la plancha 172 Paz del río escala 1:100000*. Bogotá.
- Ministerio del medio ambiente . (s.f.). Obtenido de Minambiente: <http://www.minambiente.gov.co/>
- Moreno, V. M. (2013). *Hidrología Superficial-PENDIENTES DEL CAUCE PRINCIPAL*. Chilpancingo: Instituto tecnologico Chilpancingo.
- Mosquera, Ángela Marcela Rentería. (2013). *ANÁLISIS DE LA COHERENCIA, DEL USO SUELO, DE LOS INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN POT Y POMCA*. BOGOTÁ.
- ONU. (2001). *El ordenamiento territorial como opción de políticas urbanas y regionales en america latina y el caribe* . Santiago de chile .
- Ordoñez Galvez, J. J. (2011). *Cartilla técnica Balance Hídrico Superficial*. lima: Sociedad Geográfica de Lima.
- OSE. (2008). *Observatorio de la sostenibilidad en España :Agua y sostenibilidad funcionalidad de las cuencas*.
- POT Sogamoso. (2013). *Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Sogamoso*. Sogamoso: Alcaldia Municipal de Sogamoso.
- Rodríguez, G. I., Ulloa, C., & Rodríguez , E. (2003). *Memoria explicativa Plancha 172 Paz de Rio*. Bogotá D.C.
- Ruiz, R., & Torres, H. (2008). *MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE DELIMITACIÓN Y CODIFICACIÓN DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS*. UICN SUR.
- Salamanca, U. d. (2015). *Conceptos Fundamentales de Hidrogeología*. Salamanca-España .
- Ulloa, C. E., Rodriguez, E., Fuquen, J. A., & Acosta, J. E. (2001). *Geología de la plancha 192 Laguna de Tota, Escala 1:100.000*. Bogota: INGEOMINAS.
- Victor Caballero, M. P. (2010). Levantamiento de la cordillera oriental de colombia durante el eoceno tardio y oligoceno temprano, proveniencia sedimentaria en el sinclinal de nuevo mundo. cuenca valle medio del magdalena. *Boletín de Geología*, 33.