

**APOYO AL COMPONENTE RURAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DENTRO DEL
CONTRATO MBB-CDM-201412-001 MUNICIPIO DE BELÉN, BOYACÁ - GPS,
PARA LA REVISIÓN Y FORMULACIÓN DEL ESQUEMA DE ORDENAMIENTO
TERRITORIAL**

PROYECTO DE GRADO

ADRIAN YECID GUTIÉRREZ VARGAS

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLOGÍA DE COLOMBIA
FACULTAD SEDE SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2015**

**APOYO AL COMPONENTE RURAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DENTRO DEL
CONTRATO MBB-CDM-201412-001 MUNICIPIO DE BELÉN, BOYACÁ - GPS,
PARA LA REVISIÓN Y FORMULACIÓN DEL ESQUEMA DE ORDENAMIENTO
TERRITORIAL**

ADRIAN YECID GUTIÉRREZ VARGAS

Trabajo de Grado en la Modalidad de Monografía
Para Optar al Título de Ingeniero Geólogo

Director
LUIS DAVID MESA RÍOS
Ingeniero Geólogo

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLOGÍA DE COLOMBIA
FACULTAD SEDE SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2015

Nota de aceptación

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

El autor del estudio expresar sus agradecimientos:

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia por permitirme pertenecer a tan prestigiosa entidad donde me forje como persona y profesional, adquiriendo un sin número de conocimientos y saberes.

A la escuela de Ingeniería Geológica y a todos los profesores e ingenieros, que en el transcurso de mi formación profesional me acompañaron y brindaron sus conocimientos.

Al Director del proyecto, Luis David Mesa Ríos por su incondicional y desinteresada colaboración, del cual aprendí mucho no solamente en el campo laboral sino como persona.

A la Empresa Grupo Proyectamos Soluciones, A la Representante Legal Claudia Johana Chiquillo, a la Ingeniera Lady Patricia Rodríguez Albarracín y a todo el cuerpo de trabajo, por dejarme pertenecer a esta empresa y permitirme adquirir grandes conocimientos.

A mis compañeros y amigos que fueron testigos del sudor y sacrificio que conlleva esto, y que estuvieron a mi lado apoyándome y ayudándome a superar todos esos obstáculos que en algún momento se presentaron.

A los Ingenieros Fabián Fonseca y Omar Pérez por su apoyo incondicional y colaboración a lo largo de este proceso.

A una persona muy especial, Karen Arias, que estuvo en todo momento a mi lado, que me apoyo en las duras y en las mansas, que aprendió al igual que yo a crecer como persona y profesional al trabajar de mi lado, logrando superar las metas que nos propusimos y finalmente completar el objetivo.

A mis padres German, Alcira, y mi hermana Xiomara, por sus constantes apoyos y sacrificios para que yo lograra superarme profesionalmente y como persona, dándome un constante aliento cuando yo más lo necesitaba para pararme y seguir adelante.

Dedico este logro a mi familia los cuales son la fuerza que me motivan a superarme cada día más.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
3. OBJETIVOS	4
3.1 OBJETIVO GENERAL	4
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
4. JUSTIFICACIÓN	5
5. GENERALIDADES	6
5.1 LOCALIZACIÓN	6
5.2 DIVISIÓN POLÍTICA	7
5.2.1 Veredas Belén	7
5.3 VÍAS DE ACCESO	8
5.4 HIDROGRAFÍA	8
5.5 CLIMA	9
6. GEOLOGÍA	11
6.1 LITOESTRATIGRAFÍA.....	11
6.1.1 Unidades del Paleozóico inferior.....	11
6.1.1.1 Cuarzomonzonitas de Santa rosita (O?cs)	11
6.1.1.2 Stock de Otengá (pD?so)	12
6.1.2 Unidades del Paleozoico superior.....	13
6.1.2.1 Formación Tibet (Dt)	13
6.1.2.2 Formación Floresta (Df)	14
6.1.2.3 Formación Cucho (Cc).....	15
6.1.3 Unidades del Mesozoico	16
6.1.3.1 Formación Montebel (TrJm).....	16
6.1.3.2 Formación Rusia (Jr)	17
6.1.3.3 Formación Tibasosa (Kit).....	18
6.1.3.4 Formación Une (Kiu).....	19
6.1.3.5 Formación Chipaque (Ksc)	20
6.1.3.6 Formación Plaeners (Kg2)	21
6.1.3.7 Formación Labor y Tierna (Kg1)	22
6.1.4 Unidades sin consolidar del neógeno	23
6.1.4.1 Cuaternario Aluvial:	23
6.1.4.2 Cuaternario Coluvial:	23
6.1.4.3 Cuaternario Fluvioglacial:	24
6.1.4.4 Cuaternario de Morrena.....	24
6.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	24
6.2.1 Fallas	24
6.2.1.1 Falla de Soapaga:.....	24
6.2.1.2 Falla Tutazá:	25

6.2.1.3	Falla de Boyacá:	25
6.2.2	Pliegues	25
6.2.2.1	Anticlinal de Floresta:.....	25
6.2.2.2	Sinclinal de Floresta:.....	26
6.3	EVOLUCIÓN GEOLÓGICA.....	26
7.	GEOMORFOLOGÍA	29
7.1	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS	29
7.2	METODOLOGÍA	29
7.2.1	Subunidad geomorfológica (escala 1:10.000 a 1:25.000)	30
7.2.2	Obtención Mapa de Geomorfología	31
7.2.2.1	Pendientes:.....	31
7.2.2.2	Índice de relieve:.....	32
7.3	SUBUNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	33
7.3.1	AMBIENTE ANTROPOGÉNICO	36
7.3.2	AMBIENTE DENUDACIONAL	36
7.3.3	AMBIENTE FLUVIAL	37
7.3.4	AMBIENTE ESTRUCTURAL	37
8.	COBERTURA VEGETAL O USO ACTUAL	38
8.1	METODOLOGÍA	38
8.2	TIPOS DE COBERTURA VEGETAL o uso actual	39
9.	ANÁLISIS HIDROLÓGICO	41
9.1	PRECIPITACIONES MÁXIMAS	41
9.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO GUMBEL TIPO 1 POR PERIODOS DE RETORNO PARA PRECIPITACIONES MÁXIMAS	45
9.2.1	Método Gumbel tipo 1.....	45
9.2.2	Caudales máximos de microcuencas y subcuencas por el método racional	47
9.2.2.1	Coeficiente de escorrentía	47
9.2.2.2	Definición de microcuencas y subcuencas	49
9.2.2.3	Caudales totales	50
10.	ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS	54
10.1	ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	55
10.1.1	Antecedentes	55
10.1.2	Metodología	61
10.1.2.1	Pendientes.....	63
10.1.2.2	Conflicto de Uso del suelo	64
10.1.2.2.1	Zonas de vida:	65
10.1.2.2.2	Uso potencial:	66
10.1.2.2.3	Conflicto de uso:	67
10.1.2.3	Intensidad de erosión.....	69
10.1.2.4	Densidad de drenaje.....	71
10.1.2.5	Morfogénesis	72
10.1.2.6	Ingeniería geológica	74

10.1.2.7	Antecedentes y zonas inestables	78
10.1.2.8	Densidad de fracturamiento.....	79
10.1.3	Zonificación por susceptibilidad a movimientos en masa.....	82
10.1.4	Factores detonantes	85
10.1.4.1	Amenaza por detonante sismicidad.....	85
10.1.4.2	Amenaza por detonante precipitación	91
10.1.5	Amenazas totales por movimientos en masa.....	93
10.1.5.1	Normalización de variables de amenaza	94
10.2	ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR AVENIDAS TORRENCIALES	97
10.2.1	Antecedentes	97
10.2.2	Metodología	98
10.2.2.1	Pendientes.....	101
10.2.2.2	Conflicto de uso	102
10.2.2.3	Morfometría de la cuenca	102
10.2.2.3.1	Índice de Gravelius o compacidad:.....	103
10.2.2.3.2	Ancho de la cuenca:	104
10.2.2.3.3	Desnivel altitudinal:.....	104
10.2.2.3.4	Pendiente promedio:.....	105
10.2.2.3.5	Densidad de drenaje.....	105
10.2.2.3.6	Morfometría de la cuenca:	106
10.2.2.4	Morfogenesis	107
10.2.2.5	Ingeniería Geológica.....	108
10.2.2.6	Antecedentes.....	110
10.2.2.7	Transito Hidraulico.....	111
10.2.2.8	Velocidad de flujo	113
10.2.3	Amenaza total por avenidas torrenciales	115
10.3	ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR inundaciones	118
10.3.1	Hidrografía del valle de Belén	118
10.3.2	Método de análisis	120
10.3.3	Antecedentes	120
10.3.4	Metodología	122
10.3.4.1	Fase A Hec Geo Ras Arcgis:	122
10.3.4.2	Fase B Hec-Ras:	123
10.3.4.3	Fase C Importación Arcgis por Hec Geo Ras:.....	128
	CONCLUSIONES	133
	RECOMENDACIONES	135
	BIBLIOGRAFÍA.....	136

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Localización del área de estudio.....	6
Figura 2. División política Municipio de Belén.....	7
Figura 3. Vías de acceso municipio de Belén	8
Figura 4. Hidrografía municipio de Belén.....	9
Figura 5. Climatología en el Municipio de Belén	10
Figura 6. Mapa de Geología Municipio de Belén.	28
Figura 7. Esquema de Jerarquización geomorfológica	30
Figura 8. Clasificación de pendientes en Arcgis	31
Figura 9. Clasificación de índice de relieve en Arcgis.....	32
Figura 10. Ambientes morfogenéticos	33
Figura 11. Mapa de geomorfología.....	35
Figura 12. Gráfico de distribución de porcentajes de la cobertura	39
Figura 13. Mapa de Cobertura vegetal.	40
Figura 14. Mapas de isoyetas Anual y a 24 Horas.....	42
Figura 15. Histogramas de precipitación Mensual en (mm/Año) en las estaciones meteorológicas.....	43
Figura 16. Histogramas de precipitación a 24 horas en (mm/24 horas) en las estaciones meteorológicas.	44
Figura 17. MOPU (1987) coeficientes de escorrentía para aguacero de 50mm	48
Figura 18. Microcuencas generadas.....	49
Figura 19. Subcuencas del esquema de ordenamiento del municipio	50
Figura 20. Ejemplo de ponderación del caudal de un tramo del río Minas – Soapaga.....	52
Figura 21. Movimientos en masa tomados en campo.....	60
Figura 22. Metodología aplicada a la zonificación de amenazas por movimientos en masa.....	62
Figura 23. Rangos utilizados para Mapa de Pendientes.....	63
Figura 24. Mapa de susceptibilidad de pendientes	64
Figura 25. Superposición de mapas conflicto de uso.....	65
Figura 26. Uso potencial	67
Figura 27. Mapa de susceptibilidad por conflicto de uso	69
Figura 28. Mapa de susceptibilidad por intensidad de erosión.	70
Figura 29. Mapa de susceptibilidad por densidad de drenaje.....	72
Figura 30. Mapa de susceptibilidad geomorfológica	74
Figura 31. Resistencia de los materiales	75
Figura 32. Mapa de susceptibilidad ingeniería geológica.	78
Figura 33. Mapa de Susceptibilidad de zonas inestables	79
Figura 34. Tiempo vs Desplazamiento.....	80
Figura 35. Algoritmo Density de ArcInfo	80
Figura 36. Susceptibilidad densidad de fracturamiento	81

Figura 37.	Mapa de susceptibilidad total por movimientos en masa.....	83
Figura 38.	Distribución de la susceptibilidad a movimientos en masa en el municipio.....	84
Figura 39.	Momento de magnitud	86
Figura 40.	Grafica momento de magnitud modificada	87
Figura 41.	Magnitudes Richter	88
Figura 42.	Aceleración sísmica horizontal de ondas superficiales.....	89
Figura 43.	Mapa de detonante sismo.....	90
Figura 44.	Mapa de amenazas por detonante sismo	91
Figura 45.	Mapa de detonante lluvia.....	92
Figura 46.	Mapa de amenazas por detonante lluvia	93
Figura 47.	Mapa de amenaza total por movimientos en masa	95
Figura 48.	Distribución de la amenaza por movimientos en masa en el municipio.....	96
Figura 49.	Diagrama de reconocimiento de amenazas por avenidas torrenciales.....	99
Figura 50.	Metodología aplicada a la zonificación de amenazas por avenidas torrenciales.....	100
Figura 51.	Mapa de la variable pendientes totales	101
Figura 52.	Mapa de la variable conflicto de uso.....	102
Figura 53.	Generación de morfometría de cuencas.....	103
Figura 54.	Longitud y perímetro de cuenca	104
Figura 55.	Mapa de la variable morfometría de cuencas	106
Figura 56.	Mapa de la variable morfogénesis	108
Figura 57.	Mapa de la variable ingeniería geológica.....	110
Figura 58.	Mapa de la variable antecedentes	111
Figura 59.	Transito hidráulico	112
Figura 60.	Mapa de la variable transito hidráulico.....	113
Figura 61.	Mapa de la variable velocidad de flujo.....	114
Figura 62.	Mapa de amenaza total por avenidas torrenciales	116
Figura 63.	Distribución de la amenaza por avenidas torrenciales en el municipio.....	117
Figura 64.	Hidrografía del valle de Belén.....	119
Figura 65.	Metodología reconocimiento huella de inundación	120
Figura 66.	Antecedentes de inundación en el municipio de Belén.....	121
Figura 67.	Hec Geo Ras Arcgis	122
Figura 68.	Proceso Hec Geo Ras	123
Figura 69.	Mapa de secciones transversales por inundaciones.	123
Figura 70.	Programa Hec-Ras	124
Figura 71.	Valores n Maninng's	125
Figura 72.	Secciones transversales	126
Figura 73.	Condición de frontera del rio y Condiciones de flujo.....	127
Figura 74.	Modelación y análisis de flujo	128

Figura 75.	Modelo de niveles críticos en perspectiva X, Y, Z	128
Figura 76.	Mapa de amenazas por inundación del municipio.....	129
Figura 77.	Mapa de amenazas por inundación del valle de Belén.....	130
Figura 78.	Distribución de la amenaza por inundaciones en el municipio.....	131

ÍNDICE DE FOTOS

	pág.
Foto 1. Cuarzomonzonitas de Santa Rosita en deslizamiento Traslacional.....	11
Foto 2. Formación Tibet en deslizamiento	13
Foto 3. Formación Floresta en corte de carretera que conduce a municipio de Beteitiva.....	14
Foto 4. Formación Cucho en corte de carretera que conduce a municipio de Beteitiva.....	15
Foto 5. Formación Montebel en Cauce de quebrada EL Toral.....	16
Foto 6. Vista de formación Rusia en Carretera a San José de la Montaña.....	17
Foto 7. Vista formación Tibasosa antiguamente explotado por cementos Samper.....	18
Foto 8. Formación Une en vereda Montero.....	19
Foto 9. Formación Chipaque en vereda Tuaté Alto.....	20
Foto 10. Formación Plaeners visto en carretera que conduce a la vereda Tuaté Alto.....	21
Foto 11. Formación Arenisca Tierna en vereda Tuaté.....	22
Foto 12. Cuaternario Aluvial en curso del Rio Salguera.	23
Foto 13. Imagen Landsat 7 ETM RGB 742 Falso color.	38

ÍNDICE DE TABLAS

		pág.
Tabla 1.	Límites de clima.....	10
Tabla 2.	Clasificación de pendientes para geomorfología	31
Tabla 3.	Índice de relieve.....	32
Tabla 4.	Áreas ambientes morfogenéticos	33
Tabla 5.	Subunidades por ambiente morfogenético	34
Tabla 6.	Subunidades Antropogénico.....	36
Tabla 7.	Subunidades denudacionales.....	36
Tabla 8.	Subunidades fluviales.....	37
Tabla 9.	Subunidades estructurales	37
Tabla 10.	Tipos de cobertura.....	39
Tabla 11.	Estaciones meteorológicas IDEAM utilizadas en el área de estudio	41
Tabla 12.	Variables de frecuencia de precipitación estación Cerinza.....	45
Tabla 13.	Precipitación máxima por periodos de duración y periodos de retorno estación Cerinza	46
Tabla 14.	Intensidad de lluvias según periodo de retorno estación Cerinza.....	46
Tabla 15.	Coeficientes de escorrentía según cobertura	47
Tabla 16.	Caudales de las microcuencas por quebrada en un periodo de retorno de 50 añ.....	51
Tabla 17.	Caudales ponderados por tramo del Rio Soapaga en periodo de retorno de 25 años.....	52
Tabla 18.	Caudales ponderados por tramo del Rio Soapaga en periodo de retorno de 50 años.....	53
Tabla 19.	Caudales ponderados por tramo del Rio Minas en periodo de retorno de 25 años.....	53
Tabla 20.	Caudales ponderados por tramo del Rio Minas en periodo de retorno de 50 años.....	53
Tabla 21.	Formato inventario de movimientos en masa.....	56
Tabla 22.	Movimientos en masa por número.....	57
Tabla 23.	Formato movimiento en masa BLA-001.....	59
Tabla 24.	Susceptibilidad de la Pendiente.....	63
Tabla 25.	Rangos para zonas de vida	66
Tabla 26.	Rangos para uso potencial	66
Tabla 27.	Sistema de comparación de conflicto de uso.....	68
Tabla 28.	Valores de Susceptibilidad grado de conflicto de uso.....	68
Tabla 29.	Susceptibilidad de erosión	70
Tabla 30.	Susceptibilidad de densidad de drenaje	71
Tabla 31.	Susceptibilidad geomorfológica	73
Tabla 32.	Calificación resistencia de los materiales	75
Tabla 33.	Textura de las rocas	76
Tabla 34.	Calificaciones de depósitos	76

Tabla 35.	Grado de susceptibilidad Ingeniería geológica.	77
Tabla 36.	Calificación de susceptibilidad por formación.	77
Tabla 37.	Susceptibilidad de zonas inestables	78
Tabla 38.	Tasa de desplazamiento.....	80
Tabla 39.	Susceptibilidad de densidad de fracturamiento	81
Tabla 40.	Porcentajes y áreas de susceptibilidad total	84
Tabla 41.	Aceleraciones y atenuaciones sísmicas	85
Tabla 42.	Valores de momento de magnitud, MS y MI para la creación de la gráfica y ecuación.	87
Tabla 43.	Análisis de aceleración sísmica por las tres ecuaciones	88
Tabla 44.	Clasificación de aceleraciones para detonante sismo	89
Tabla 45.	Calificación de la lluvia máxima diaria según su contribución a movimientos en masa.	92
Tabla 46.	Grado de amenazas según el grafico de calificación de amenazas .	94
Tabla 47.	Porcentajes y áreas de Amenaza total por movimientos en masa ...	96
Tabla 48.	Formato de avenidas torrenciales sector concordia vereda el Bosque.....	98
Tabla 49.	Calificación pendientes	101
Tabla 50.	Calificación por índice de Gravelius.....	104
Tabla 51.	Calificación por ancho de la cuenca.	104
Tabla 52.	Calificación por desnivel altitudinal por cuenca	105
Tabla 53.	Calificación por pendiente promedio.....	105
Tabla 54.	Rangos de calificación por densidad de drenaje	105
Tabla 55.	Calificación por morfogénesis.....	107
Tabla 56.	Calificación de longitud de drenaje.	109
Tabla 57.	Calificación por formación.....	109
Tabla 58.	Calificación por Velocidad de flujo	114
Tabla 59.	Porcentajes y áreas de Amenaza total por avenidas torrenciales ..	117
Tabla 60.	Porcentajes y áreas de Amenaza total por avenidas torrenciales ..	131

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1	Glosario geomorfológico
ANEXO 2	Glosario de cobertura vegetal o uso actual
ANEXO 3	Inventario de movimientos en masa
ANEXO 4	Inventario de avenidas torrenciales
ANEXO 5	Puntos de control de inundaciones
ANEXO 6	Mapa Geológico
ANEXO 7	Mapa Geomorfológico
ANEXO 8	Mapa de amenazas por movimientos en masa
ANEXO 9	Mapa de amenazas por avenidas torrenciales
ANEXO 10	Mapa de amenazas por inundaciones
ANEXO 11	Mapas de la metodología de movimientos en masa
ANEXO 12	Mapas de la metodología de avenidas torrenciales
ANEXO 13	Mapas de la metodología de inundaciones

INTRODUCCIÓN

En el marco del contrato MBB-CDM-201412-001 suscrito con el municipio de Belén, donde se planea la revisión y formulación del esquema de ordenamiento territorial, el cual es un instrumento técnico de gran importancia para los gobiernos municipales con el fin de propiciar desarrollos sostenibles al igual que una planificación a mediano y largo plazo. El esquema de ordenamiento territorial propone un mejor uso y ocupación del territorio, además plantea estrategias para mejorar las condiciones de vida de la población tanto rural como urbana.

El esquema de ordenamiento territorial se divide en tres componentes: general, rural y urbano, este estudio se enfoca únicamente en parte del componente rural, donde se contempla propósitos tales como la ocupación del suelo, señalamiento de condiciones de protección de los recursos existentes, conservación y mejoramiento de las zonas de producción (agropecuarias, mineras, industriales y forestales), determinación de sistemas para servicios públicos y saneamiento, teniendo como base la gestión del riesgo.

La gestión del riesgo enmarca varios aspectos en los cuales el estudio enfatiza en los que tienen que ver con la interacción del hombre con el ambiente, definiéndose como un proceso de reconocimiento y valorización de las amenazas a los que están expuestos la población en relación con éste. En consecuencia se formulan planes, políticas y estrategias para un manejo y control adecuado de las amenazas existentes para evitar riesgos. Los entes municipales se encargaran de la gestión correctiva, mientras que este estudio se encaminara solo en la gestión prospectiva.

La gestión del riesgo concierne a toda la población y no solamente es responsabilidad de la alta dirección, así que debemos participar y exigir el compromiso de todos.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el departamento de Boyacá se encuentra el municipio de Belén donde se formuló en el año 2000 el esquema de ordenamiento territorial, y en cumplimiento de la Ley 388 de 1997 en el artículo 28 párrafo 1 el cual menciona: “*El contenido estructural del plan tendrá una vigencia de largo plazo, que para este efecto se entenderá como mínimo el correspondiente a tres períodos constitucionales de las administraciones municipales y distritales,...*”¹; por lo tanto, es necesario la actualización inmediata de dicho esquema. Además durante el transcurso de los tres periodos constitucionales se han presentado diversos cambios en aspectos que enmarcan este esquema, como el crecimiento de la población y la expansión del casco urbano ya que se han dado a un ritmo acelerado, requiriendo más terreno para la construcción de viviendas, vías, escuelas, acueductos, puentes, centros de salud, entre otros y por ultimo para el uso de las actividades diarias de la población. Por aspectos como éste, se realiza la observación y evaluación del entorno para identificar las amenazas que han afectado y que pueden llegar a afectar a dicha población, con base a esto, se debe condicionar y replantear el uso anterior del suelo.

¹ Ley 388 de 1997 en el artículo 28 párrafo 1/ Congreso de Colombia

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En Boyacá, en el municipio de Belén es una prioridad el ordenamiento del territorio para el bienestar de sus habitantes, es por ello que es necesario mitigar situaciones de desastre y emergencia, así como la de tener mayor efectividad en su manejo cuando se presentan. Haciendo cumplimiento a lo estipulado en el artículo 40 de la Ley 1523 del 2012, el propósito final es la identificación, delimitación, descripción, zonificación, información, divulgación y recomendación de un buen manejo de las zonas en amenaza², derivadas de fenómenos naturales y fenómenos Antropogénico, así mismo la transformación del uso asignado para evitar reasentamiento y posibles nuevas zonas de amenaza; además asegurar la constitución de tierras para hacer posibles esos reasentamientos y los que se puedan llegar a proyectar.

² Ley 388 de 1997 en el artículo 28 parágrafo 1/ Congreso de Colombia

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar apoyo al componente rural de gestión del riesgo en la localización de amenazas ocasionadas por fenómenos de movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en el municipio de Belén, Boyacá para la revisión y formulación del esquema de ordenamiento territorial.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar la información necesaria y existente del municipio.
- Realizar la visita técnica para observar y analizar el estado del municipio en cuanto a geología, geomorfología, cobertura vegetal, y creando un inventario de las zonas con antecedentes de inundaciones, movimientos en masa, avenidas torrenciales, levantando puntos de control y delimitando zonas de posibles amenazas.
- Procesar y comparar la información recopilada en campo con la ya existente como las imágenes satelitales, para así obtener un diagnóstico del municipio.
- Realizar los mapas temáticos para los fenómenos de movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, de acuerdo a metodologías bases y a nuevas propuestas o modificadas por el autor.
- Generar mapas de amenazas para cada uno de los fenómenos de movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales.

4. JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta la importancia de la localización y delimitación de amenazas para un buen crecimiento y desarrollo del municipio de Belén, es indispensable la revisión y actualización del esquema de ordenamiento territorial anterior para la formulación de uno nuevo, en cuanto a gestión de riesgos por fenómenos de movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones. A partir de estas amenazas no mitigables el municipio podrá localizar los conflictos de uso y propondrá un mejor uso del suelo, donde deberá reubicar a la población que se encuentre en estas zonas y podrá evaluar la ubicación de nuevos proyectos como los son vías, puentes, acueductos, alcantarillados y diferente infraestructura que pueda verse afectada a futuro por los fenómenos que contempla este estudio.

La población no debe verse afectada por ningún fenómeno natural, por esto; se debe planear en todos los aspectos el crecimiento del municipio para evitar situaciones que vulneren a la población.

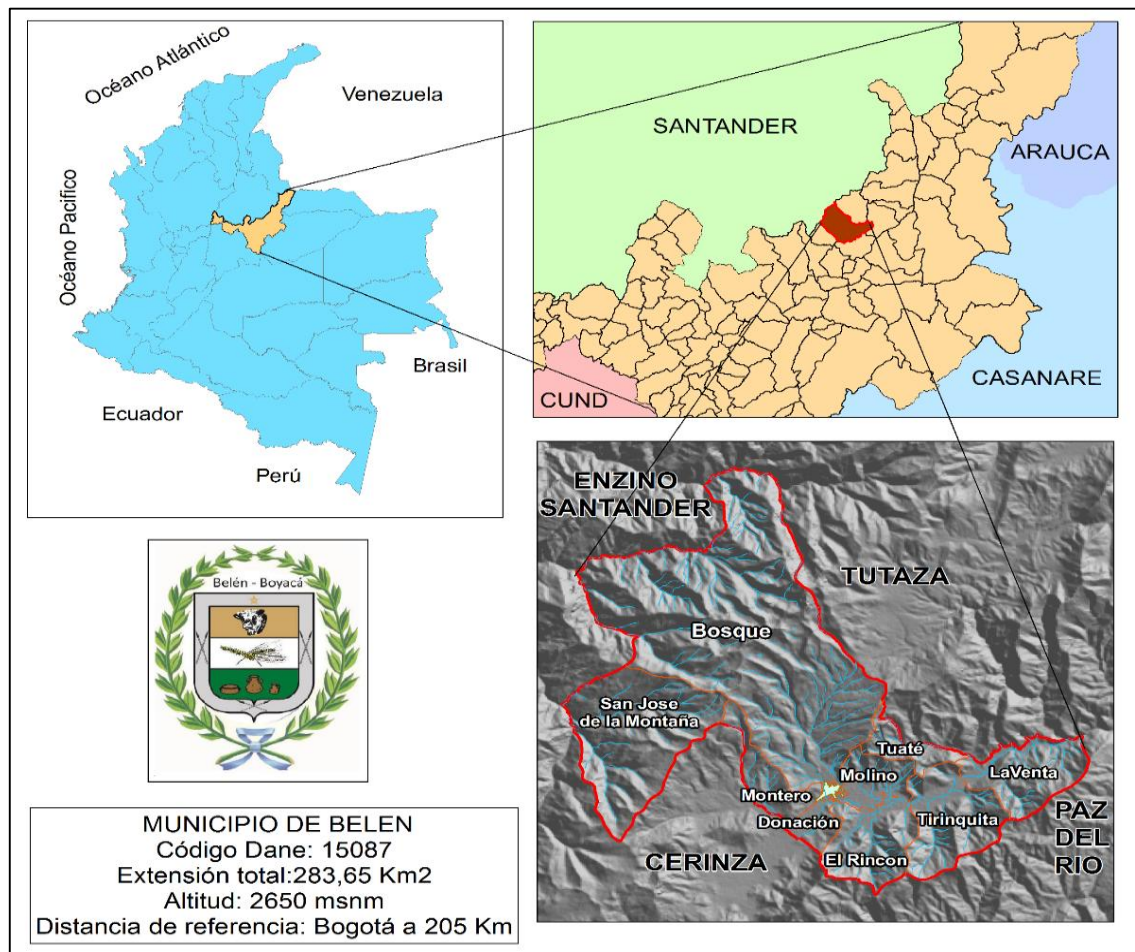
5. GENERALIDADES

5.1 LOCALIZACIÓN

El área de estudio se ubica en el departamento de Boyacá, municipio de Belén, comprendido en toda la jurisdicción del municipio (*Figura 1*) entre coordenadas:

X = 1115000, Y = 1148000; X = 1142400, Y = 1173600 (Origen Magna Colombia Bogotá). El municipio se localiza a una distancia de 85 Km al Noreste de Tunja, la capital del departamento de Boyacá y a 234 Km al Noreste de la capital del país. Este se encuentra ubicado en la parte media de la cordillera oriental, hidrográficamente se encuentra entre las Subcuencas de los Ríos Chicamocha y Fonce, formando un gran valle donde discurren los ríos Minas, Salguera y Soapaga.

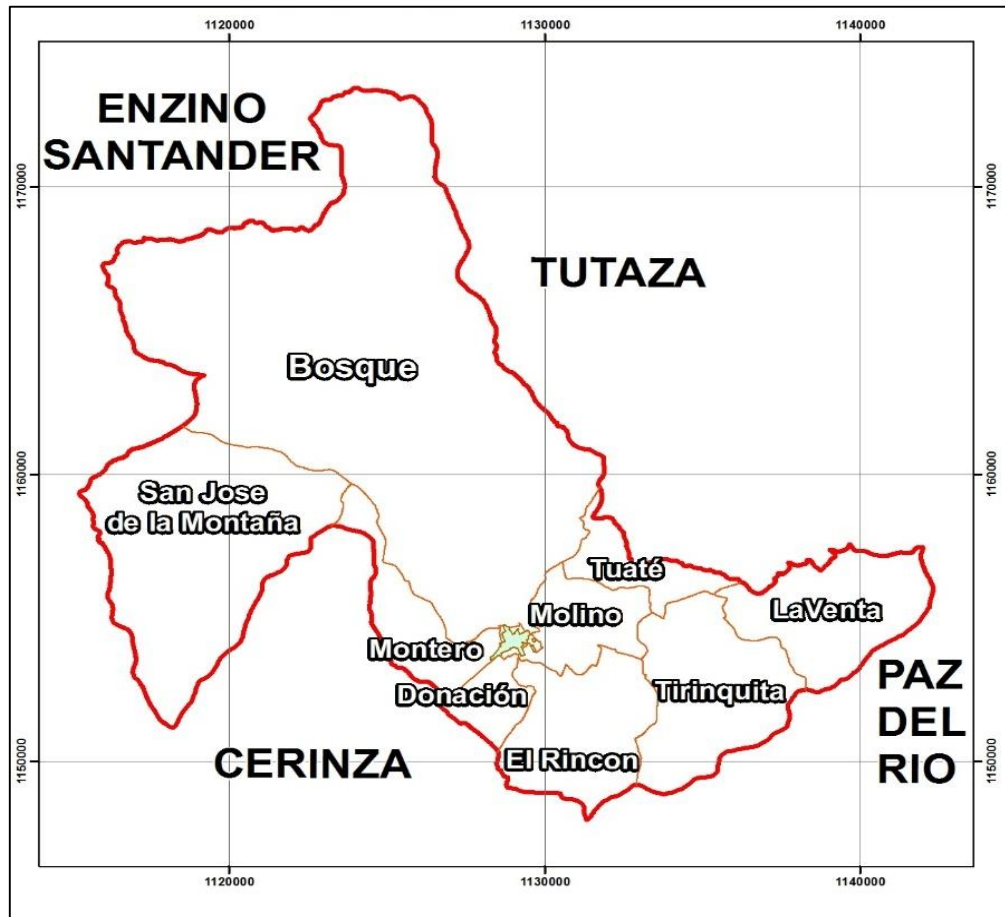
Figura 1. Localización del área de estudio.



Fuente: IGAC, IDEAM, EOT BELÉN 2000.

5.2 DIVISIÓN POLÍTICA

Figura 2. División política Municipio de Belén



Fuente: IGAC, EOT BELÉN 2000.

5.2.1 Veredas Belén

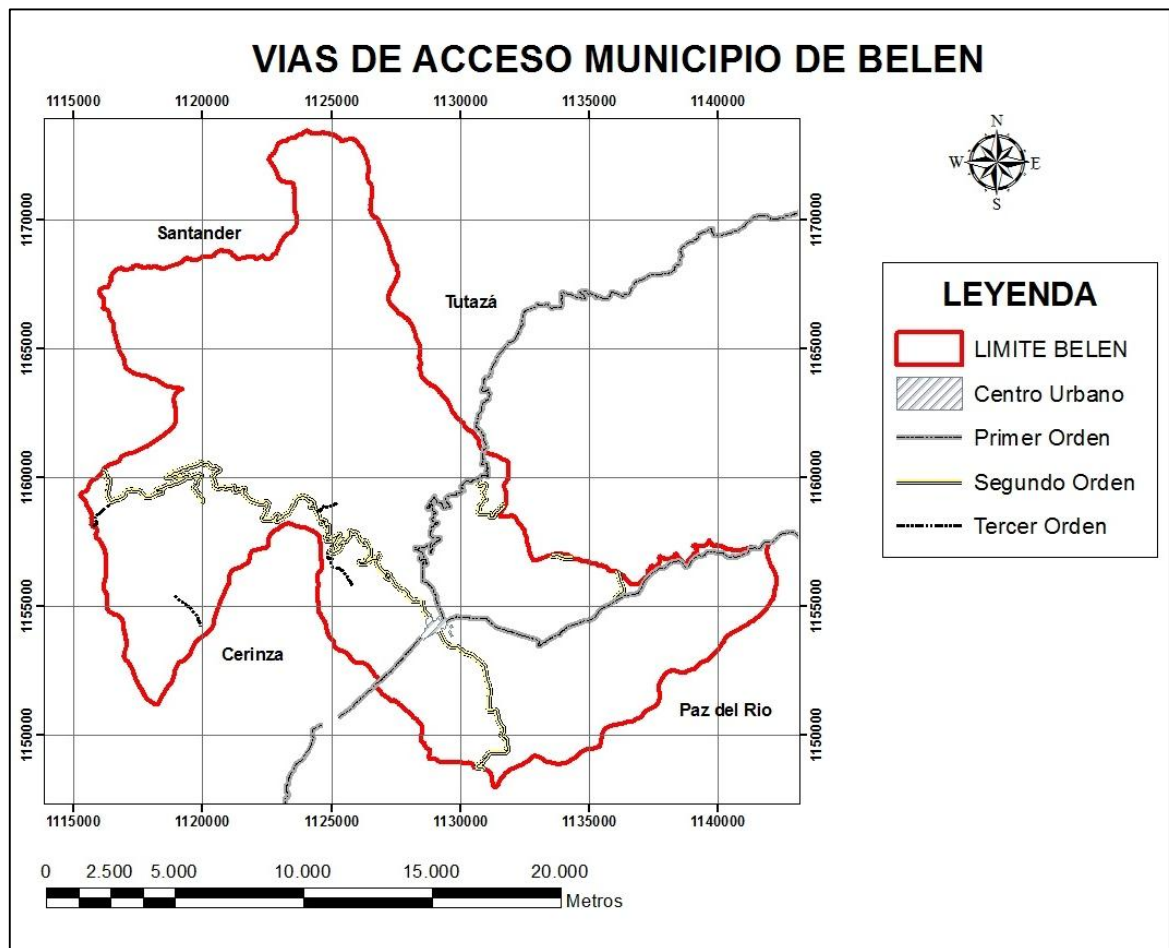
El municipio de Belén está dividido en 9 veredas:

- Montero
- Bosque
- Tuaté
- El Rincón
- Donación
- Tiringuita
- La Venta
- Molino
- San José de La Montaña

5.3 VÍAS DE ACCESO

El municipio de Belén presenta actividades variadas entre estas agropecuarias, por lo cual debe contar con una buena red vial, además de que sus vecinos como lo es Paz del Rio el cual tiene actividad industrial, Soata y Santander influyen drásticamente en la movilidad del mismo. El municipio cuenta con redes viales de primer orden tales como las que conducen de Duitama a Soata, Duitama a Paz del rio; de segundo y tercer orden las cuales permiten la movilidad y comunicación entre veredas (Figura 3).

Figura 3. Vías de acceso municipio de Belén



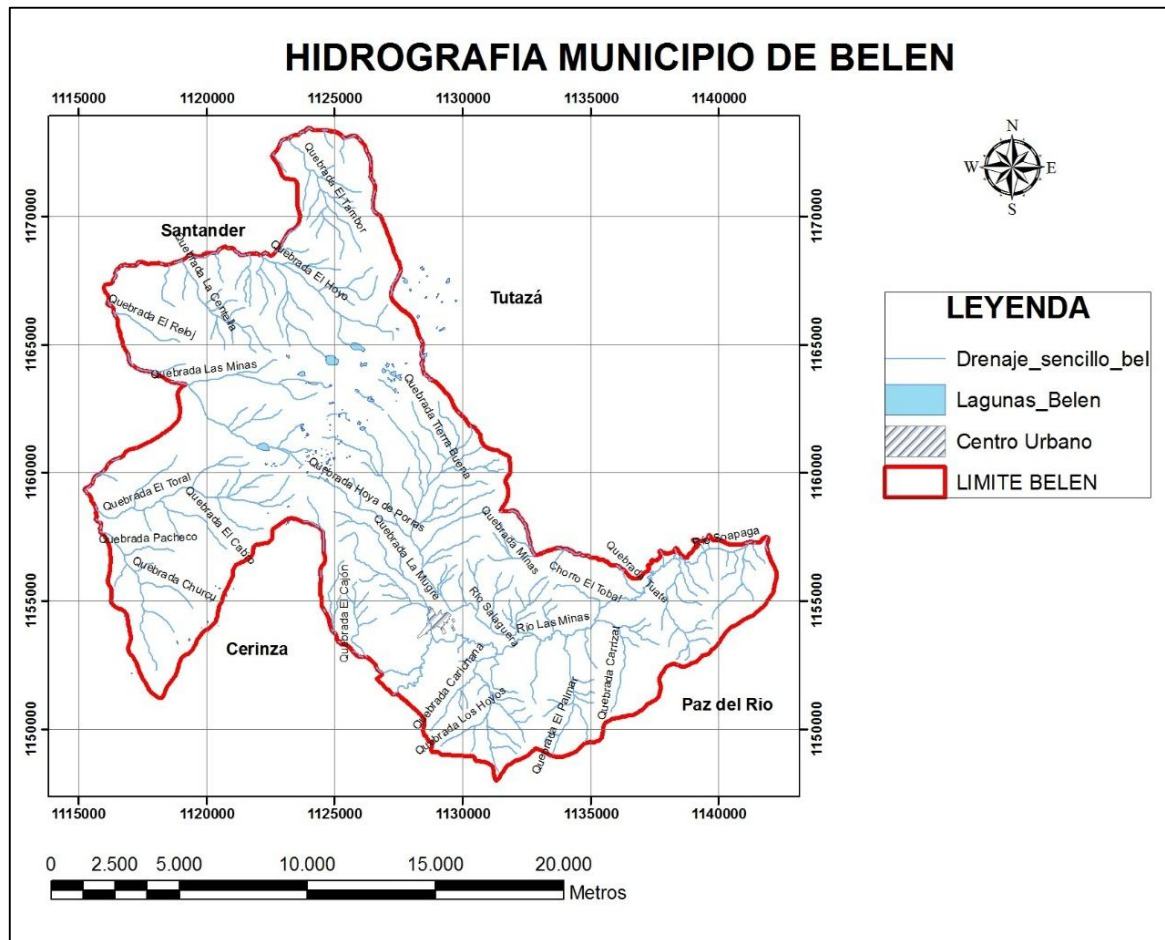
Fuente: IDEAM, EOT BELÉN 2000.

5.4 HIDROGRAFÍA

El municipio de Belén es rico en el recurso hídrico, tiene vertientes de los ríos Fonce y Chicamocha, Salguera, Minas, Soapaga y Paragua, correspondientes a cuerpos

loticos. Hacia el área del páramo del Vasto se tiene la presencia de lagunas como El Alcohol, La Chicha, Lagunetas, Negra entre otras que son los cuerpos lenticos.

Figura 4. Hidrografía municipio de Belén



Fuente: Cartografía IDEAM e información EOT Belén 2000.

5.5 CLIMA

El clima del municipio es característico de la zona ecuatorial determinado por aspectos geográficos en donde prima la altura y los agentes atmosféricos. Se presentan climas variados desde muy frío a páramo.

El mapa de clima del municipio de Belén Boyacá, se realizó a partir de un DEM (Modelo digital de Elevación), en el software ArcGis 9,3®, donde al DEM se le aplica una clasificación de alturas donde dependiendo a cada altura se le da un tipo de clima que va de muy frío a Páramo, clasificación que da el Instituto de Hidrología y meteorología y estudios ambientales IDEAM y se muestra en la tabla 1.

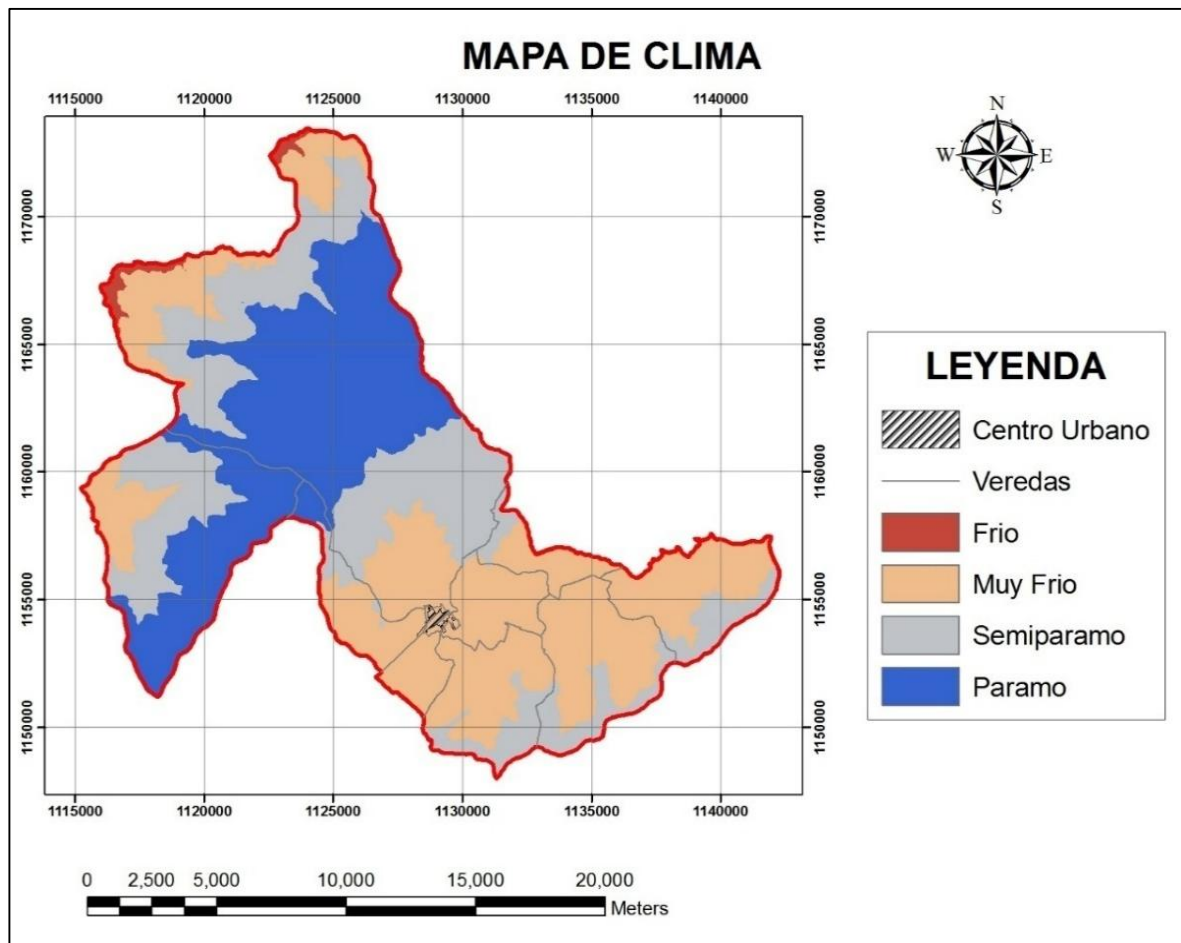
Tabla 1. Límites de clima

CLIMA	ALTURA (msnm)
FRÍO	2000-2500
MUY FRÍO	2500-3000
SEMIPÁRAMO	3000-3500
PÁRAMO	> 3500

Fuente: IDEAM

La distribución de los diferentes climas presentes en el municipio es apreciable en la siguiente imagen:

Figura 5. Climatología en el Municipio de Belén



Fuente: DEM SRTM, IDEAM.

6. GEOLOGÍA

6.1 LITOESTRATIGRAFÍA

6.1.1 Unidades del Paleozóico inferior

6.1.1.1 Cuarzomonzonitas de Santa rosita (O?cs)

Foto 1. Cuarzomonzonitas de Santa Rosita en deslizamiento Traslacional.



Fuente: Autor.

Periodo: Ordovícico temprano y Silúrico medio

Las Cuarzomonzonitas de Santa Rosita fueron observadas principalmente en el Alto de Canutos y en cerro Morro Cabezón, extendiéndose de manera alargada en la parte sur del Municipio con un ancho máximo de 4 Km. En su borde noroccidental la Cuarzomonzonitas está cubierta por rocas cretácicas de la formación Tibasosa la cual reposa discordante sobre ella. El borde suroriental se presenta hacia el norte de Belén donde está fallado contra las rocas sedimentarias de la formación Tibet³.

³http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf

Su composición, como su nombre lo indica, es cuarzomonzonítica la cual presenta variaciones a granito y granodiorita, (INGEOMINAS 2001). Presenta porcentajes de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y mica que indican una roca de composición variando entre cuarzomonzonita y granito insistiendo en el hecho de que la roca está muy alterada⁴.

6.1.1.2 Stock de Otengá (pD?so)

Periodo: Pre devónico

Estos tipos de rocas se encuentran en La vereda Tirinquita con límites al municipio de Busbanzá, se presenta un difícil acceso, no carretable, por lo tanto no fue tomada una zona donde este aflorara. El Stock se prolonga hacia el sur - este del municipio con un ancho máximo de 1.8 km. El Stock de Otengá fue incluido como parte de una unidad denominada Batolito de Otengá por Ulloa & Rodríguez (1982), conformado por dos cuerpos que afectaban a la secuencia metamórfica y sedimentaria del Paleozoico. Se separó la franja oriental del Batolito de Otengá de Ulloa & Rodríguez (1982), la que se redefinió como Stock de Otengá, debido a las diferencias en composición, la extensión geográfica (menos de 100 km²), las relaciones con las unidades adyacentes, la orientación hacia el Oriente La composición del Stock varía desde cuarzosienita, a granito y granodiorita, con color blanco verdoso a gris y rosado en estado fresco y genera suelos rojizos por alteración. Texturalmente es fanerítica, hipidiomórfica y en sectores es porfírica (INGEOMINAS, 2001).⁵

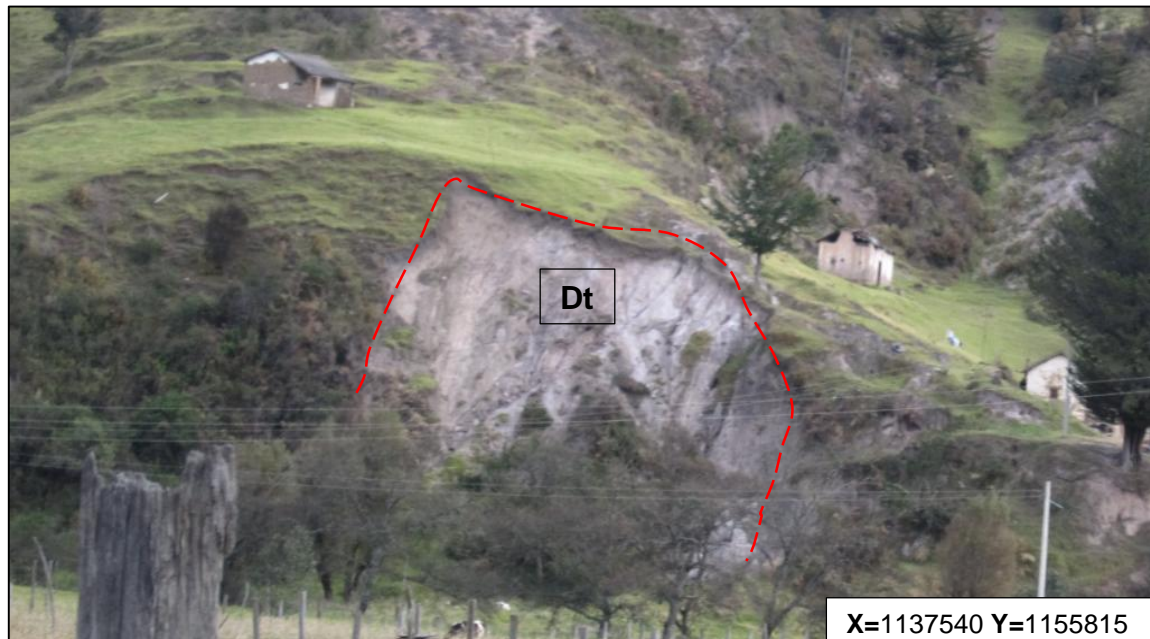
⁴ <http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Tesis/CARTOGRAFIA%20GEOLOGICA%20SOAPAGA-C.ORIENTAL%202005.pdf>

⁵ http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf

6.1.2 Unidades del Paleozoico superior

6.1.2.1 Formación Tibet (Dt)

Foto 2. Formación Tibet en deslizamiento



Fuente: Autor

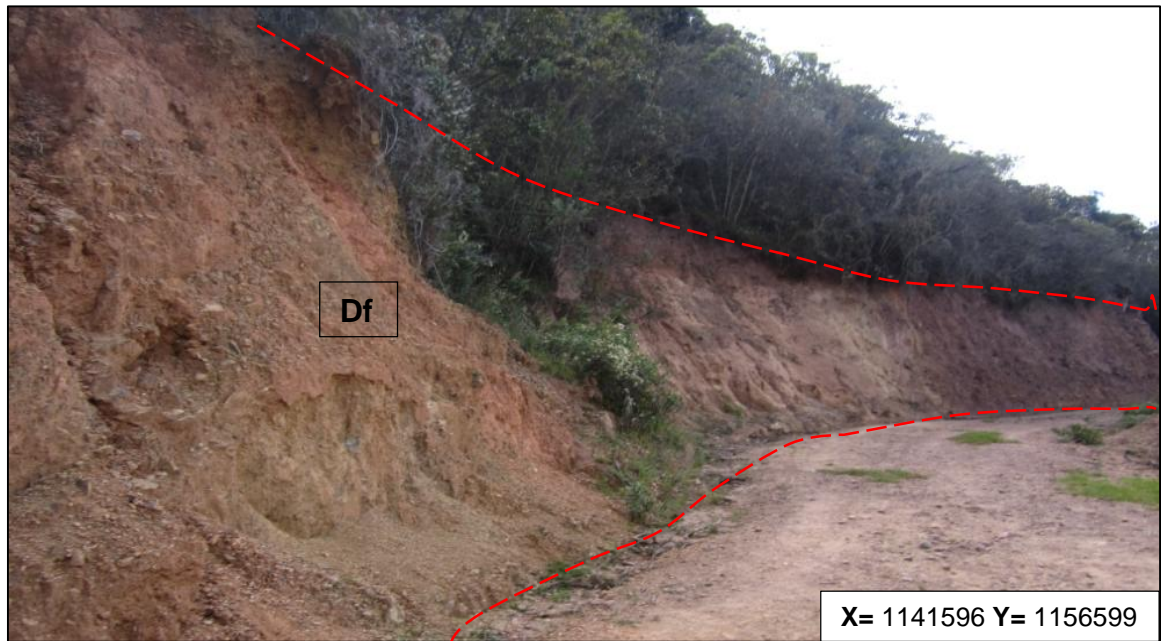
Periodo: Devónico inferior

La formación se aprecia en la vía que del municipio de Belén conduce al municipio de Tutazá, atravesando el valle del río Minas al este del municipio de Belén y continuando hacia el noreste para salir de la zona de trabajo. Según INGEOMINAS (2001), está formada, en su parte media y superior, por conglomerados, arenitas cuarzosas, feldespáticas, en capas gruesas a muy gruesas con intercalaciones menores y esporádicas de limolitas rojas, y en su parte inferior; por arenitas cuarzosas, feldespáticas y conglomerados con guijos de cuarzo en capas muy gruesas en donde los planos de estratificación no se diferencian con claridad. Más al sur en el Cerro El Tíbet, la formación puede tener unos 400 m de espesor. En toda su extensión la formación, da relieves abruptos. La franja está limitada, en la parte sur, con las rocas de la formación Cucho en un contacto fallado, más al norte aparece discordante sobre la Cuarzomonzonita de Santa Rosita, en el Cerro Cabezón (sur de Belén) y hacia la parte norte del área aparece en contacto fallado

con la misma Cuarzomonzonita. Por su borde oriental aparece casi siempre superpuesta por la formación Floresta⁶.

6.1.2.2 Formación Floresta (Df)

Foto 3. Formación Floresta en corte de carretera que conduce a municipio de Beteitiva



Fuente: Autor

Periodo: Devónico medio

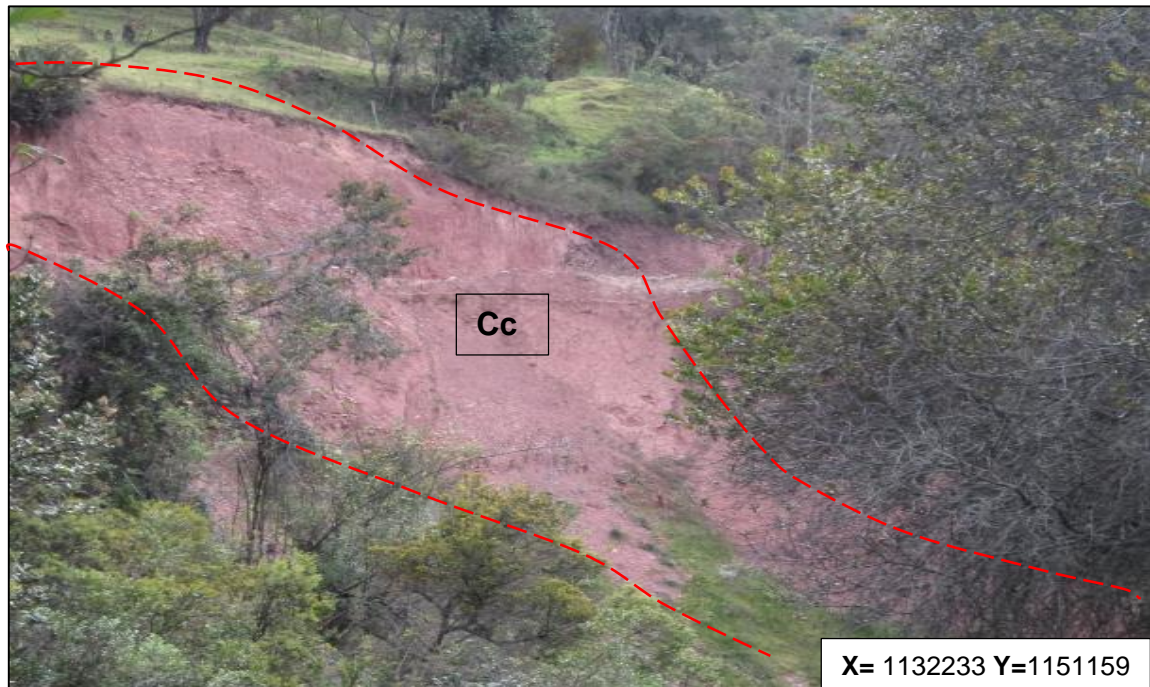
El término Floresta fue utilizado por Olsson & Caster (1937), bajo la denominación de Series del Floresta para designar la secuencia comprendida entre las unidades metamórficas y el Grupo Girón. Posteriormente, Botero (1950, p. 258) ascendió el término al rango de formación, para representar tres conjuntos sedimentarios: el inferior, areno conglomerático de 30 m de espesor; el intermedio, arcillolítico, de tonos amarillentos a morados, con un espesor de 530 m, y el superior, arenoso, de 150 m de espesor. Esta unidad reposa de manera discordante sobre rocas metamórficas o concordantemente sobre la Formación Tíbet. Su límite superior con la Formación Cucho es localmente discordante, según Botero (1950). La edad de la formación es considerada a partir de los trabajos efectuados por Caster (1939),

⁶ http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf

Royo y Gómez (1942), quienes determinaron para la Formación Floresta, una edad devónica medio⁷

6.1.2.3 Formación Cucho (Cc)

Foto 4. Formación Cucho en corte de carretera que conduce a municipio de Beteitiva



Fuente: Autor

Periodo: Pre-Permiano

Botero (1950) le dio el nombre a esta formación e indica que se encuentra sobre la Formación Floresta unas veces concordantemente y otras en forma de discordancia. Conjuntamente con las formaciones Floresta y Tíbet, el Cucho forma parte esencial de las rocas sedimentarias pre Cretácicas que constituyen el Macizo de Floresta. La formación aflora entre las veredas Tirinquita y La Venta, en límites con el municipio de Beteiteva en el sector oriental, la formación se extiende desde el sitio conocido como Cerro el Chulo, formando una franja muy angosta de unos 100 m. El Cucho está superpuesto discordantemente por la Formación Girón y en las cabeceras del río Minas por las rocas Cretácicas de la Formación Tibasosa. INGEOMINAS (2001) indica que la formación muestra tres conjuntos: el inferior de limolitas rojizas, el intermedio compuesto por arenitas y el superior por limolitas

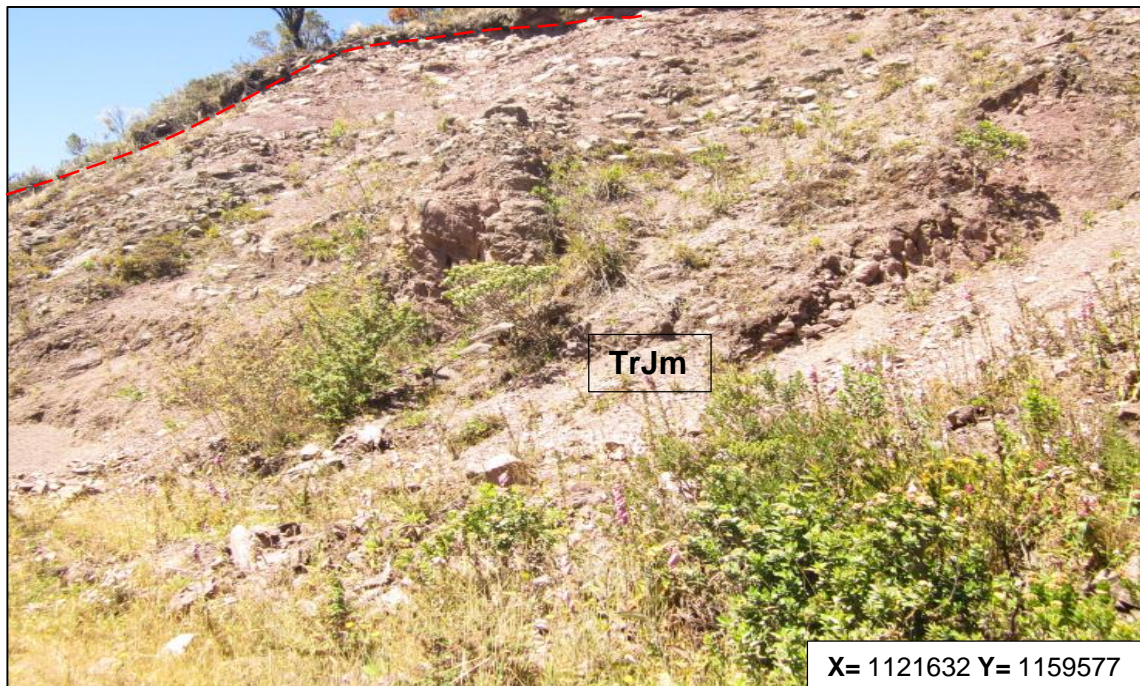
⁷ <http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Tesis/CARTOGRAFIA%20GEOLOGICA%20SOAPAGA-C.ORIENTAL%202005.pdf>

moradas cuarzoarenitas de grano fino a medio en capas delgadas a gruesas de color gris pardo a ocre, macizas⁸.

6.1.3 Unidades del Mesozoico

6.1.3.1 Formación Montebel (TrJm)

Foto 5. Formación Montebel en Cauce de quebrada EL Toral.



Fuente: Autor

Periodo: Triásico- Jurásico

El término Montebel fue empleado por primera vez por Trumpy (1943), bajo la denominación de Series de Montebel, para designar la secuencia estratigráfica que aflora en los alrededores de Montebel (carretera Duitama - Charalá). Esta sucesión yace sobre la Formación Palermo, la cual no aflora en el área de la Plancha 172 Paz de Río, y está por debajo de la Formación La Rusia, Es notable encontrar esta formación entre la vereda el Bosque, en el sector del Páramo del vasto. Está compuesta por arcillolitas laminadas negras, limonitas rojizas y verdes, areniscas arcillosas y feldespáticas y algunos niveles conglomeráticos. La edad de la Formación Montebel, de acuerdo con Trumpy (1943), es de finales del Triásico. Langenheim (1960) basado en datos paleontológicos, la considera "Rético –

⁸ http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf

Liásico”, y Bürgl (1964), desde mediados hasta finales del “Liásico”. Según lo anterior, se puede apreciar que no existe un consenso sobre la edad de esta unidad⁹.

6.1.3.2 Formación Rusia (Jr)

Foto 6. Vista de formación Rusia en Carretera a San José de la Montaña



Fuente: Autor

Periodo: Jurásico

Renzoni (1981) propuso el término Formación La Rusia, para designar así a una sucesión compuesta por conglomerados, arenitas y limolitas rojas, que descansa sobre la Formación Montebel y por debajo de la Formación Arcabuco, en el área del páramo de La Rusia, y que alcanza allí espesores que varían entre 682 y 344 m. La Formación La Rusia presenta una morfología escarpada que contrasta con las dos unidades litoestratigráficas cretácicas contiguas que afloran más al Oriente, esto se puede observar en La vereda San José de la montaña.

La edad de esta formación no se ha definido con exactitud; sin embargo, por encontrarse sobre la Formación Montebel y por debajo de la Formación Arcabuco, se sugiere que pudo depositarse a finales del Jurásico. Las características

⁹ http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf

litológicas de esta unidad, tales como la presencia de conglomerados gruesos a muy gruesos, con estratificación cruzada e intercalaciones de capas rojas, sugieren que su deposición ocurrió en un ambiente continental¹⁰.

6.1.3.3 Formación Tibasosa (Kit)

Foto 7. Vista formación Tibasosa antiguamente explotado por cementos Samper.



Fuente: Autor

Periodo: Cretácico inferior

El Conjunto Inferior consta de una sucesión de cuarzoarenitas de grano fino, medio y grueso hasta conglomerática, con colores que varían desde gris claro a blanco, gris verdoso y rojizo por meteorización, cemento silíceo, en capas medias a gruesas, con láminas inclinadas tangenciales e intercalaciones esporádicas de lodolitas arenosas, grises verdosas y amarillentas, cuyos espesores varían entre 20 y 30 cm. El Conjunto Inferior descansa en forma paraconforme sobre la Formación

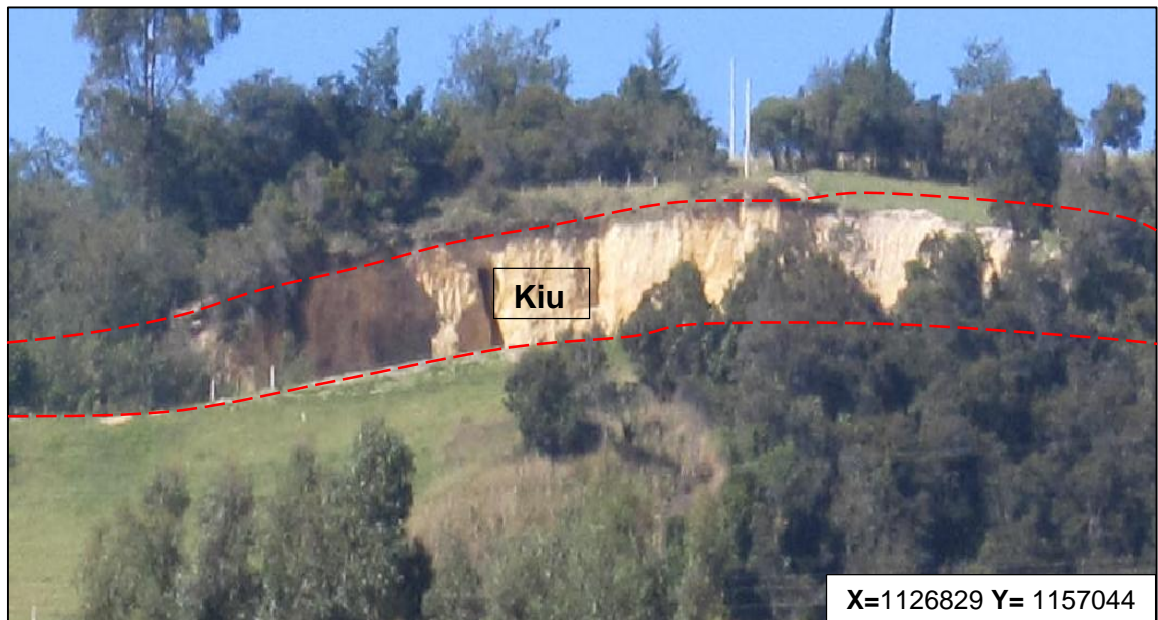
¹⁰ http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf

Girón y discordantemente sobre la Formación Cucho y la Cuarzomonzonita de Santa Rosita. Esta se puede apreciar en la Vereda el Bosque, sector Caracoles¹¹.

El Conjunto Superior (Kit2) tiene un espesor total de 481 m. De la Formación Tibasosa, Renzoni (1981) cita fauna colectada en el Miembro calcáreo Inferior (Kit3) y Miembro calcáreo superior (Kit1), que indican una edad probable de Hauteriviano y mediados o finales del Albiano, respectivamente. Esta formación se correlaciona cronológicamente con las formaciones Arenisca de Las Juntas y Fómeque¹².

6.1.3.4 Formación Une (Kiu)

Foto 8. Formación Une en vereda Montero.



Fuente: Autor

Periodo: Cretácico Inferior

La localidad tipo de esta formación se encuentra sobre la carretera Bogotá Villavicencio, cerca del Municipio de Cáqueza, en donde fue descrita por Hubach (1931), como parte media del Grupo Villeta. INGEOMINAS (2001), describe una secuencia de la formación al norte de Belén, en las quebradas Salvias y Monterredondo encontrando allí un espesor de 316 m. sin observar la base ni el techo y dice que la secuencia está formada por arenitas de cuarzo, de grano fino,

¹¹ <http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Tesis/CARTOGRAFIA%20GEOLOGICA%20SOAPAGA-C.ORIENTAL%202005.pdf>

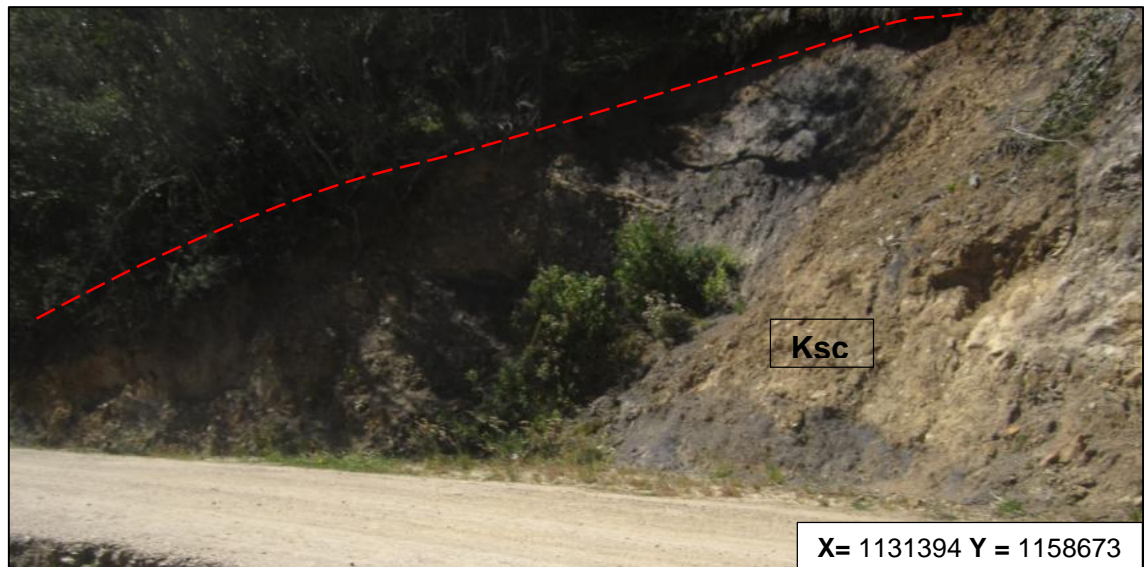
¹² http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf

medio a conglomerático, hacia el techo, de color gris claro a amarillento, en capas gruesas a muy gruesas, con cemento silíceo, con intercalaciones frecuentes de lodolitas micáceas, grises oscuras¹³.

La formación Une se ha reconocido al oeste del Macizo de Floresta en sectores menores sobre varias colinas que se extienden al este de la falla de Boyacá en el sector entre el sur de Cerinza y Belén y luego formando afloramientos importantes al norte de este último municipio. En todo el sector la formación descansa concordantemente sobre la Formación Tibasosa y está suprayacida por la Formación Chipaque igualmente en forma concordante. Al norte de Belén sobre una amplia superficie monoclinal que se extiende hasta el Páramo del Vasto, con: cuarzoarenitas intercaladas con limolitas y arcillolitas negras a gris oscuras, en capas gruesas, tabulares, con cemento silíceo, de grano fino, gris claras, limolitas arenosas a limolitas, en capas finas, tabulares, con laminación ondulosa, plano paralela, color marrón a rojizo¹⁴.

6.1.3.5 Formación Chipaque (Ksc)

Foto 9. Formación Chipaque en vereda Tuaté Alto.



Fuente: Autor

Periodo: Cretácico Superior

¹³ <http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Tesis/CARTOGRAFIA%20GEOLOGICA%20SOAPAGA-C.ORIENTAL%202005.pdf>

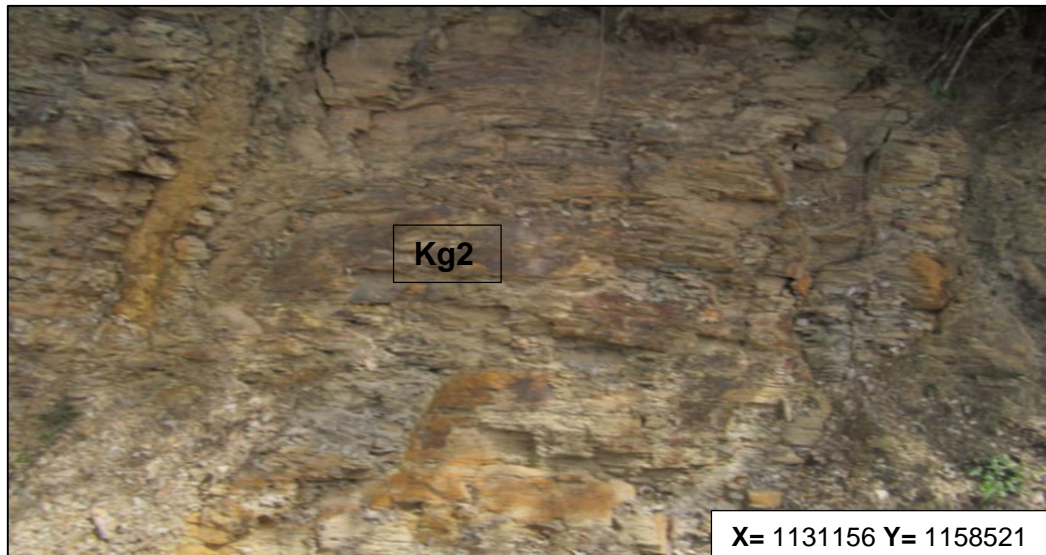
¹⁴ http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf

El término Chipaque fue empleado por primera vez por Hubach (1931) bajo la denominación de Conjunto Chipaque y, posteriormente, como Formación Chipaque, para representar la parte superior del Grupo Villeta¹⁵.

La Formación Chipaque forma zonas con topografía relativamente suave. Se encuentran lutitas lodosas negras e intercalaciones delgadas de areniscas finas, cuarcíticas oscuras. Las lodolitas son bastante oscuras con pequeños nódulos areno-ferruginosos, y contienen siempre un contenido de materia orgánica. A menudo se presenta sobre los planos de estratificación y dentro de la capa misma una red rectangular de grietas rellenas por óxidos de hierro. El afloramiento en el Municipio de Belén se encuentra en la vereda Tuaté Alto.

6.1.3.6 Formación Plaeners (Kg2)

Foto 10. Formación Plaeners visto en carretera que conduce a la vereda Tuaté Alto.



Fuente: Autor

Periodo: Cretácico Superior

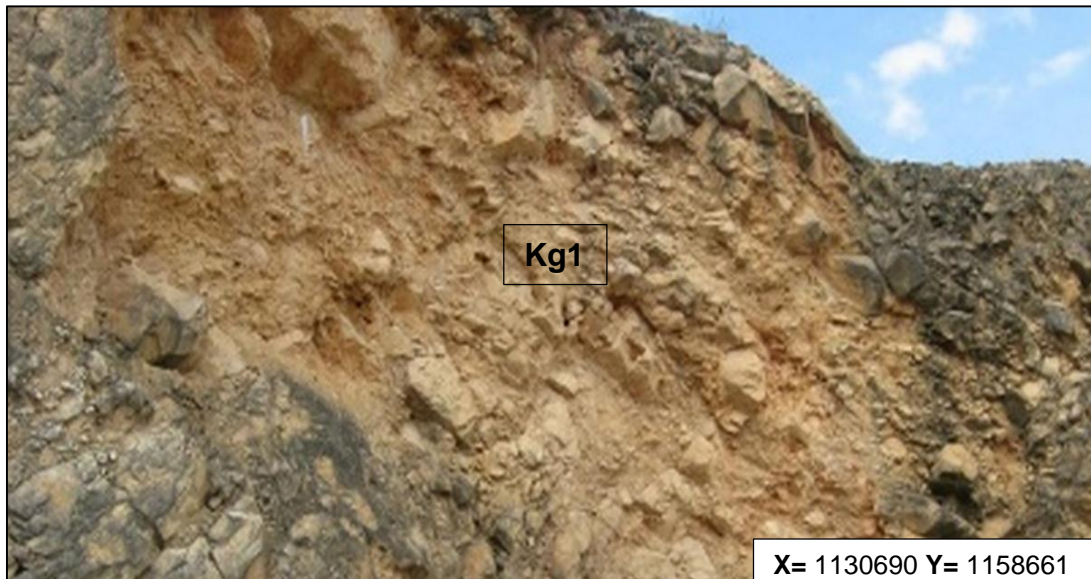
Se presenta en la vereda Tuaté Alto, en límites con el municipio de Tutazá. En la zona se manifiesta en algunos remanentes del curso de la carretera que conduce a la vereda Tuaté, se caracteriza por presentar capas silíceas, representada esencialmente por lilitas de colores generalmente amarilla clara y café las cuales se fracturan en planos paralelos. Por la composición litológica y los fósiles de la Formación Plaeners se supone que fue depositada en una zona menos somera que para la Formación Conejo y próxima a la margen continental. La edad de esta

¹⁵ http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf

formación es Campaniano y su ambiente de depositación es marino poco profundo (zona nerítica)¹⁶.

6.1.3.7 Formación Labor y Tierna (Kg1)

Foto 11. Formación Arenisca Tierna en vereda Tuaté.



Fuente: Autor

Periodo: Cretácico superior

Formalizada por Pérez y Salazar (1978); al oriente de Bogotá, la Arenisca de Labor presenta algunos remanentes en la carretera que conduce a la Vereda Tuaté, este produce unos escarpes evidentes en las partes más altas vistas desde la vereda. Comienza por capas muy gruesas de arenisca que se intercalan con capas muy delgadas de arcillolitas.

La Formación Arenisca de Labor es separada de la Formación Arenisca Tierna por niveles de arcillolitas y lodolitas; la Arenisca Tierna, se diferencia de la Arenisca de Labor por presentar capas muy gruesas de arenisca con tamaño de grano más grueso. Las Formaciones Arenisca de Labor y Arenisca Tierna y el segmento que los separa, se agrupan como una sola unidad cartográfica dada su similitud litológica y su expresión morfológica, se establece desde el techo de la Formación Plaeners Hasta la base de la Formación Guaduas¹⁷.

¹⁶ <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/DocumentosPDF/eot-boyaca-geologiaysuelos.pdf>

¹⁷ http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/bibliotecaTesisDeGrado/Analisis_facial_de_las_secuencias_del_Cretaceo_Superior_aflorantes_en_sectores_aleda%C3%B1os_a_Villa_de_Leyva.pdf

6.1.4 Unidades sin consolidar del neógeno

Estas unidades corresponden a depósitos sedimentarios recientes, acumulados posiblemente en el Holoceno y que se encuentra cubriendo discordantemente a las rocas del cretácico; los depósitos más importantes son cuaternario aluvial, cuaternario coluvial, cuaternario fluvioglacial y Cuaternario de morrena.

6.1.4.1 Cuaternario Aluvial:

Foto 12. Cuaternario Aluvial en curso del Rio Salguera.



Fuente: Autor.

Depósitos aluviales que se ubican hacia las márgenes de los drenajes principales tales como el Rio Salguera, Minas, Soapaga o quebradas como cuchilla larga y el Toral, que consisten de bloques redondeados a subredondeados, principalmente de arenitas, en una matriz areno arcillosa. Presentan una morfología plana.

6.1.4.2 Cuaternario Coluvial:

Se han incluido dentro de esta categoría una Llanura aluvial de Piedemonte que por definición corresponde a una planicie inclinada con topografía de pendiente entre el 1 y 7% que se extiende al pie de sistemas montañosos, serranías o escarpes de altiplanicies y que se han formado por sedimentación de las corrientes de agua que emergen de los terrenos más elevados¹⁸, la cual se observa claramente arriba de

¹⁸ <http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Tesis/CARTOGRAFIA%20GEOLOGICA%20SOAPAGA-C.ORIENTAL%202005.pdf>

Belén. La conforman materiales de composición heterogénea y de tamaños arena a limos, excepcionalmente niveles de bloques y cantos en una matriz arcillosa

6.1.4.3 Cuaternario Fluvioglacial:

Corresponden a depósitos formados hacia la parte baja de las morrenas que descienden de la parte alta del Páramo. Son depósitos mixtos con elementos traídos por los glaciares y luego arrastrados levemente por escorrentías. Forman especies de conos en el borde más noroccidental del área y están constituidos por bloques de diversos tamaños englobados en una matriz arenosa y arcillo-arenosa.

6.1.4.4 Cuaternario de Morrena

Corresponde a retazos de morrenas que se presentan en el borde más noroccidental del área y cuyos cuerpo principales se prolongan hacia la parte alta del Páramo del Vasto, por fuera de la zona trabajada. Están compuestos de bloques angulares de conglomerados y arenitas provenientes principalmente de la Formación La Rusia, distribuidos caóticamente y englobados en una matriz arenosa o arenoarcillosa.

6.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En el municipio de Belén y a sus alrededores se presentan estructuras muy influyentes, como lo son fallas y plegamientos generados por las intrusiones del macizo de Floresta. La falla de Soapaga divide la zona en dos bloques, el área occidental donde está ubicado el municipio está controlada por fallas heredadas del Paleozoico superior y Jurásico inferior.

6.2.1 Fallas

El municipio de Belén está delimitado por fallas como la Boyacá (Oeste), Tutazá (Centro) y Soapaga (Este)

6.2.1.1 Falla de Soapaga:

Estructura con fuertes implicaciones en la conformación estructural del área teniendo en cuenta que separa dos provincias morfoestructurales muy diferentes y es clara su intervención en el control de las facies de los depósitos sedimentarios principalmente durante el Terciario.

Presenta un rumbo constante NNE – SSW, con una leve variación de este al norte de Paz de Río adquiriendo rumbo NE – SW, con ángulo incierto, pero asumiéndose

buzamientos de 60° a subverticales para el plano de falla (Kammer 1996, Cardozo & Zúñiga, 1994).¹⁹

6.2.1.2 Falla Tutazá:

Estructura de gran importancia que atraviesa el bloque de sur a norte con una longitud de aproximadamente 30 Km. desde las cercanías a la Población de Tobasía hasta el límite norte en inmediaciones de la quebrada Guina. Posee un rumbo predominante N30°E con ligeras variaciones. Su componente principal es vertical de tipo inverso buzando 50° a 60° al occidente en el sector sur del área donde afecta rocas de la serie Paleozoica, con un desarrollo hacia el norte donde el desplazamiento es mayor y pone en contacto rocas pre – Devónicas ígneas del Stock de Santa Rosita con la Formación Tíbet con aumento del ángulo de buzamiento a 70°. ²⁰

6.2.1.3 Falla de Boyacá:

De carácter regional, de tipo inverso, convergencia al NW y sobresale como un lineamiento de tendencia N45E. La falla afecta sedimentos antiguos Jurasitriásicos y rocas Cretácicas, y constituye una barrera natural que delimitó la sedimentación del Terciario en la Depresión del Río Chicamocha. La Falla de Boyacá posee un trazo nítido en las fotografías aéreas, y presenta numerosas expresiones geomórficas y evidencias geológicas que confirman este accidente tectónico. Escarpes degradados de falla y un intenso brechamiento son comunes. En el sector de Paipa no se hallaron evidencias claras de actividad neotectónica, pero algunos indicios geomórficos (figura I.4) sugieren actividad durante el Cuaternario.²¹

6.2.2 Pliegues

Se presentan generados por la influencia del macizo de floresta

6.2.2.1 Anticlinal de Floresta:

Simétrico y abierto, lo constituyen rocas de las rocas de la sucesión Paleozoica con núcleo conformado por la Formación Floresta, tiene una longitud aproximada de 10 Km. con rumbo Cartografía Geológica Cuenca Cordillera Oriental-Sector SOAPAGA 202 que varía entre N20°E y N30°E con ligero cabeceo al NE. Este pliegue hace

¹⁹⁻²⁰ Cartografía Geológica Cuenca Cordillera Oriental-Sector SOAPAGA/ANH/ GEOESTUDIOS LTDA., Bogotá, D.C., Julio de 2006

²¹ [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pot%20-%20paipa%20-%20geologia\(21%20pag%20-%20168%20kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pot%20-%20paipa%20-%20geologia(21%20pag%20-%20168%20kb).pdf)

parte del gran anticlinorio que es el Macizo de Floresta, siendo posiblemente su zona axial.²²

6.2.2.2 Sinclinal de Floresta:

Estructura contigua al anticlinal del mismo nombre, corresponde a un pliegue abierto y concéntrico que afecta la secuencia Paleozoica presentando su eje en las rocas de la Formación Floresta. Con una extensión en superficie de 5 a 6 Km. con rumbo predominante N40°E y amplitud que no sobrepasa los 2 Km.

6.3 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA

En la cordillera oriental se tiene una amplia franja de formaciones que vienen de edades desde el Precámbrico hasta el cuaternario, en este estudio se observaron a partir desde el Ordovícico. Se debe tener en cuenta en específico el macizo de floresta, puesto a que este hace parte e influye en la evolución geológica de la zona de estudio. El macizo forma parte de la cadena de macizos antiguos y está delimitado por las fallas de Boyacá, al occidente y Soapaga²³, fallas presentes o cerca de Belén.

Durante el Paleozoico Medio y Superior, la margen Pacífica de las Américas fue modificada por el crecimiento de diferentes orógenos acrecionales, asociados a la subducción continua de la placa oceánica del Pacífico y a la aproximación de masas continentales y de diferentes terrenos continentales, para construir el Supercontinente Pangea (Nance et al.,2010 ; Cawood y Buchan,2007).²⁴

Hacia el Devónico en donde se presentaba una gran actividad tectónica, puesto a que Gondwana y Laurasia se estaban acercando, se presentaron dos orogenias, de allí colisionan los dos continentes y se presenta la primera orogenia, la segunda se genera de tipo accesimal en la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. En el Macizo de Floresta, la secuencia sedimentaria suprayace discordantemente al basamento ígneo-metamórfico e incluye aproximadamente 2000m de espesor de depósitos marinos y continentales de las Formaciones El Tíbet, Floresta y Cucho (Cediel, 1969).

²² Cartografía Geológica Cuenca Cordillera Oriental-Sector SOAPAGA/ANH/ GEOESTUDIOS LTDA., Bogotá, D.C., Julio de 2006

²³ Cartografía Geológica Cuenca Cordillera Oriental-Sector SOAPAGA/ANH/ GEOESTUDIOS LTDA., Bogotá, D.C., Julio de 2006

²⁴ Análisis integrado de procedencia en areniscas cuarzosas del devónico-carbonífero de la formación floresta/

En el Jurásico inferior el mar no tubo notables cambios donde se depositó la formación Montebel, a cambio del superior que tubo cambios más rápidos generando secuencias de materiales gruesos y finos de la formación Rusia.

Desde el Palealto de Floresta (Hauteriviano), comienza a ser cubierto progresivamente por el mar Cretácico comenzando una sedimentación (Etayo, F. 1969), una vez terminada la actividad de las fallas de Boyacá y Soapaga (Aptiano), se realiza sobre una plataforma somera de baja pendiente y de margen continental que es propicia para la sedimentación y conservación de rocas con importante contenido en materia orgánica (Paleoceno inferior), (Guiza, S., Barbosa, W., Peña, L., & Díaz, M 1996).²⁵

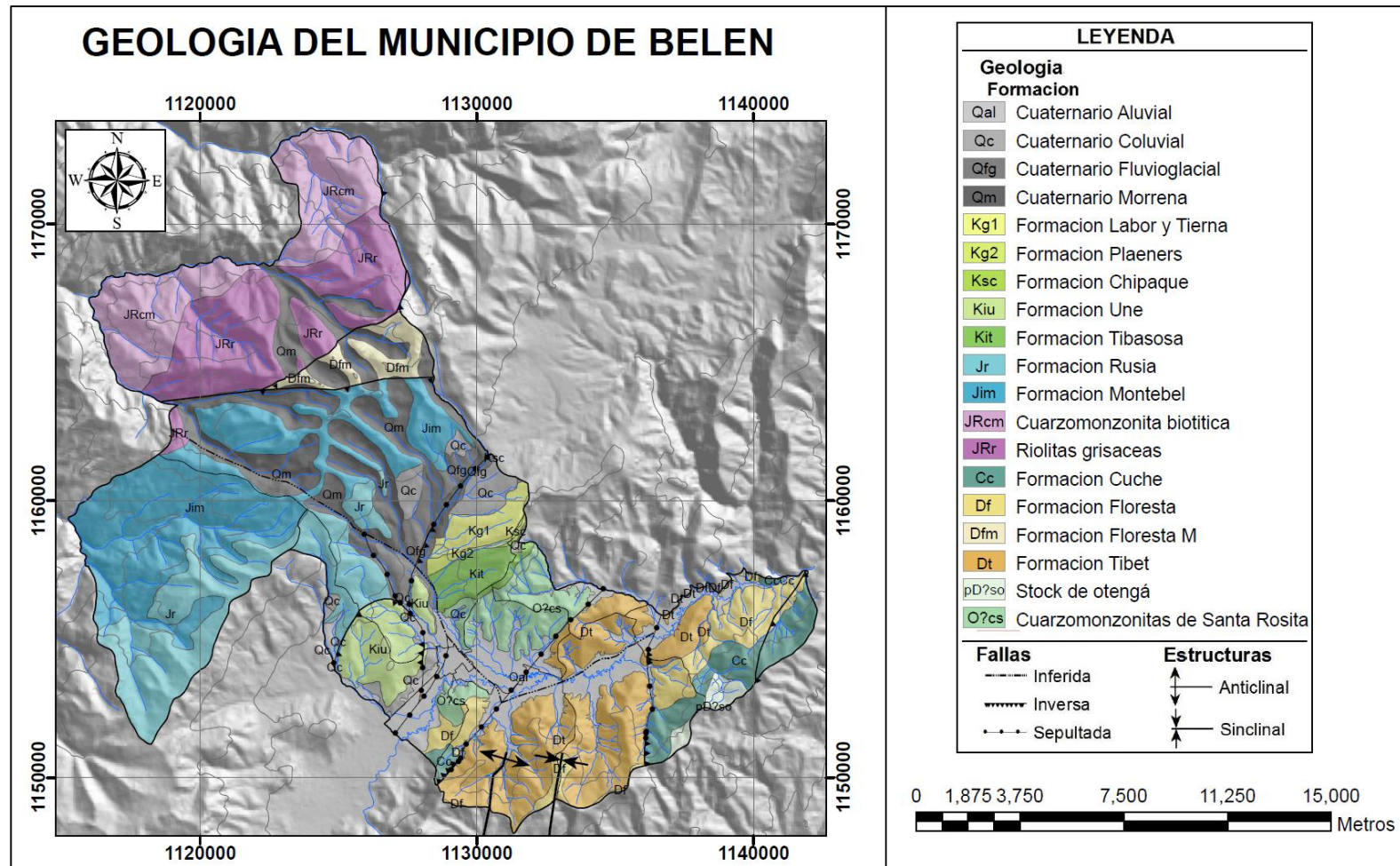
Durante el Cretácico inferior (Hauteriviano-Aptiano) se deposita a formación Tibasosa sobre rocas plegadas del macizo de floresta y el intrusivo de Cuarzomonzonitas de Santa rosita quedando en un contacto discordante. Estudios identifican dos miembros de Tibasosa de distintos ambientes de deposición, uno inferior de tipo litoral y la parte superior de tipo plataforma, evidenciando así un avance marino.

En el Aptiano comienza el descenso del mar generando una regresión en donde la línea costera es desplazada y predomina un ambiente continental depositando la formación Une, dividido en estratos de diferentes ambientes desde canales activos y cambios de llanuras de inundación.

En el Cenomaniano asciende de nuevo el mar y el ambiente de deposición cambia de continental a marino somero presentando alternancia de capas de facies de llanura mareal, canales de llanura mareal y lagoons. En secuencia prosigue y aumenta el nivel del mar, la depositación de la formación Chipaque se da en un ambiente marino de transición con nivel bajo del mar en ambientes submareal de barrera y plataforma externa. Luego se presenta un ascenso del mar (Trasgresión) hasta el Turioniano.

²⁵ Cartografía Geológica Cuenca Cordillera Oriental-Sector SOAPAGA/ANH/ GEOESTUDIOS LTDA., Bogotá, D.C., Julio de 2006

Figura 6. Mapa de Geología Municipio de Belén.



Fuente: Autor.

7. GEOMORFOLOGÍA

7.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

Dentro de esta región se resalta como una de las estructuras más representativas el Anticlinorio de La Floresta, puesto que corresponde a una estructura regional formada por las rocas más antiguas. El núcleo de la estructura involucra rocas metamórficas anteriores al Devónico, rocas ígneas emplazadas antes del Devónico y durante el Triásico - Jurásico, así como también rocas sedimentarias comprendidas desde el Devónico al Jurásico tardío, y sus flancos los constituyen rocas sedimentarias cretácicas. Esta estructura está limitada al occidente por la Falla de Boyacá y al oriente por la Falla de Soapaga, esta última de tipo inverso, con orientación NNE-SSW, y plano de falla que buza hacia el occidente con una inclinación que varía entre 20° y 30°.

Adicionalmente en esta región, se encuentra un sistema de pliegues definido por el Anticlinal y el Sinclinal de Floresta, en el cual estas estructuras son relativamente simétricas de dirección N15°E y con una extensión entre 10 y 12 km, con truncamiento al norte por la acción de la Falla Topón. En los alrededores de la población de Busbanzá, la Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá se presenta replegada, con ejes de estructuras menores de dirección general N5°E.

7.2 METODOLOGÍA

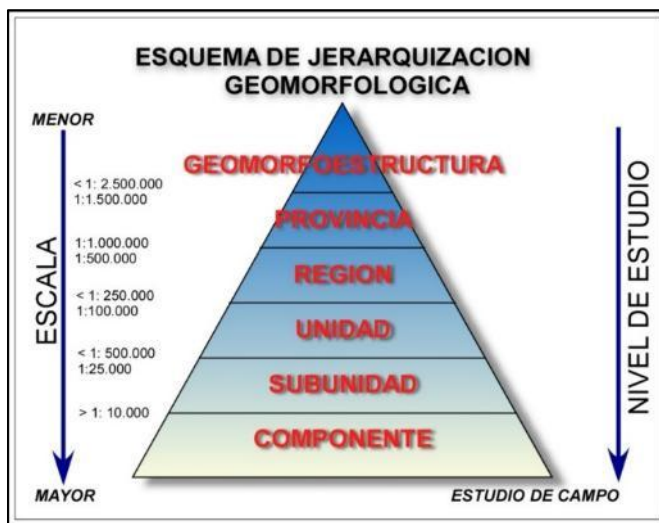
La intención de la cartografía geomorfológica es suministrar información veraz y sistemática sobre las formas del terreno, a partir de su origen, tipos de materiales, morfometría del terreno y distintos procesos tanto antiguos como recientes que afectan las rocas.

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 de INGEOMINAS y publicadas en el glosario geomorfológico del Servicio Geológico Colombiano.

En la elaboración de este trabajo, se siguen los lineamientos de jerarquización propuestos por Carvajal (2008), 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.

Para tal efecto, relaciona las escalas de trabajo con las jerarquías geomorfológicas, donde la base regional está fundamentada en la génesis geológica de las geoformas, los ambientes morfogenéticos, y el detalle basado en los ambientes morfogenéticos, expresión morfológica, litología y procesos morfodinámicos.

Figura 7. Esquema de Jerarquización geomorfológica



Fuente: Carvajal (2003) con base en Velásquez (1999), Ingeominas (2000)

De acuerdo con el esquema de jerarquización geomorfológica se tiene que para una escala 1:25000 se deben tomar y delimitar subunidades.

7.2.1 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.

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

7.2.2 Obtención Mapa de Geomorfología

El mapa de geomorfología se realiza a partir de varias herramientas y materiales interpretando las geformas existentes en el paisaje. Se crea a partir del programa Arcgis 9.3® y con ayuda de un modelo digital de elevación (DEM) con el que se crea una imagen sombreada (Hillshade) que indica la topografía del terreno y un mapa de pendientes (Slope) que nos indica los grados de pendiente del terreno, el mapa geológico que nos muestra la orientación y disposición de los estratos. Además, se verifica la geomorfología con el programa Google Earth el cual es una herramienta muy grande ya que une una imagen satelital de alta resolución con el modelo de elevación permitiendo así correlacionar varios aspectos.

Se tienen varios factores en cuenta para delimitar las subunidades geomorfológicas los cuales se presentan a continuación en las siguientes tablas y gráficos.

7.2.2.1 Pendientes:

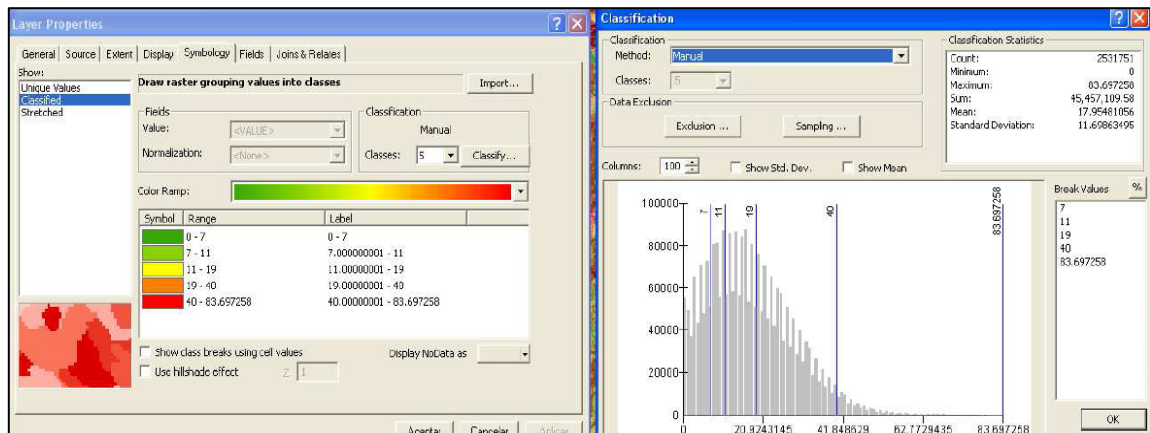
Se define como el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal. Su valor se expresa en grados de 0° a 90°. En Arcgis se realiza con la herramienta Slope.

Tabla 2. Clasificación de pendientes para geomorfología

Pendientes	Valor en grados (°)
Plana a suavemente inclinada	0-7
Inclinada	7-11
Muy inclinada	11-19
Abrupta	19-40
Escarpada	>40

Fuente: Servicio geológico colombiano 2013.

Figura 8. Clasificación de pendientes en Arcgis



Fuente: Servicio geológico colombiano 2013, Autor.

7.2.2.2 Índice de relieve:

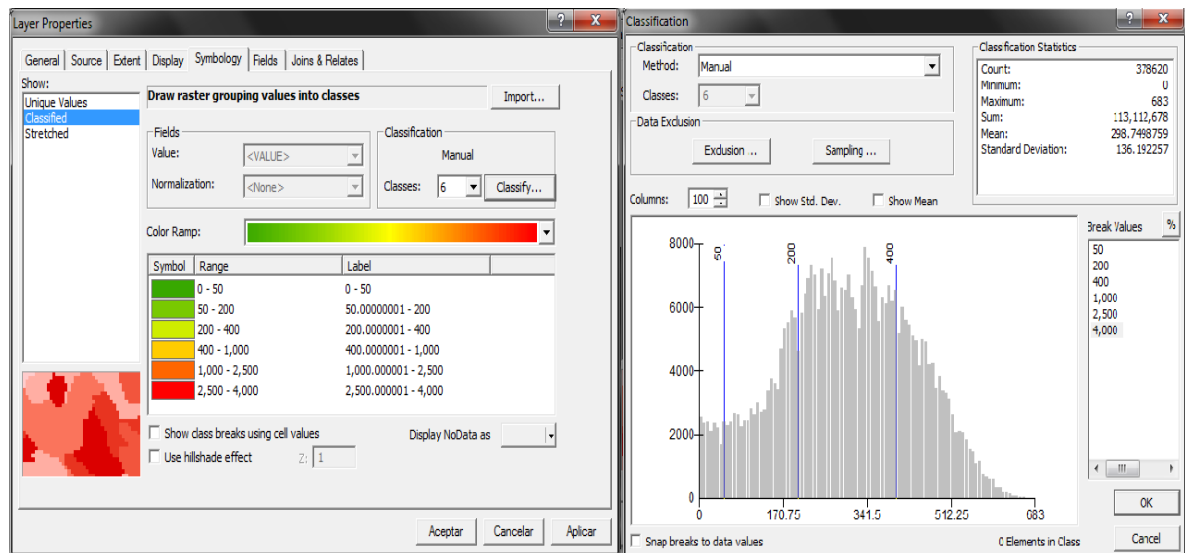
Se define como la diferencia entre lo más alto con la base de una ladera o montaña. En Arcgis se realiza con la herramienta Focal intervale Range.

Tabla 3. Índice de relieve

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

Fuente: Servicio geológico colombiano 2011

Figura 9. Clasificación de índice de relieve en Arcgis



Fuente: Servicio geológico colombiano 2013, Autor.

7.3 SUBUNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

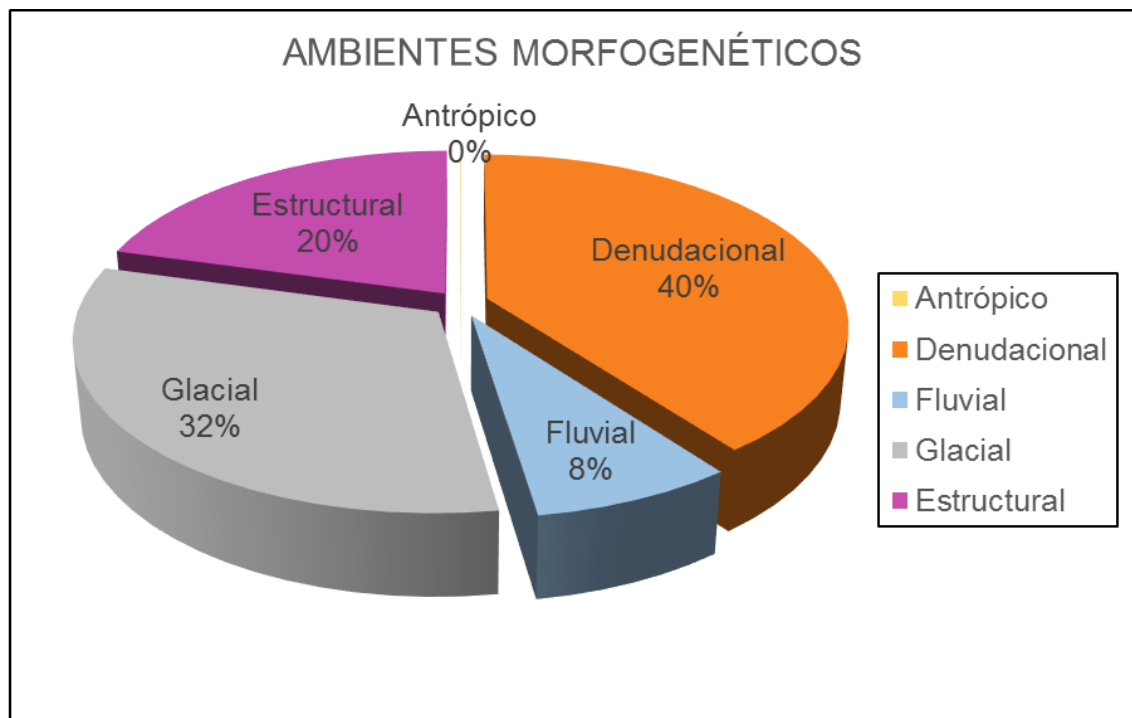
En el municipio de Belén por expresión de génesis se identificaron cinco ambientes morfogenéticos; antrópico, denudacional, fluvial, glacial y estructural. A continuación, se muestra la distribución de estos ambientes. La expresión morfológica, ha sido continuamente modificada por los agentes climáticos, los cuales han interactuado durante muchos años, además la evolución geológica también ha modificado el paisaje. Para la apreciación de las definiciones de las subunidades dirigirse al *Anexo No 1 Glosario Geomorfológico*.

Tabla 4. Áreas ambientes morfogenéticos

Ambiente	Área (m ²)	Porcentaje
Antrópico	103857,311	0,037%
Denudacional	112876279,574	40%
Fluvial	22235551,642	8%
Glacial	90139290,336	32%
Estructural	58841141,412	21%
Total	284196120,275	100%

Fuente: Autor.

Figura 10. Ambientes morfogenéticos



Fuente: Autor.

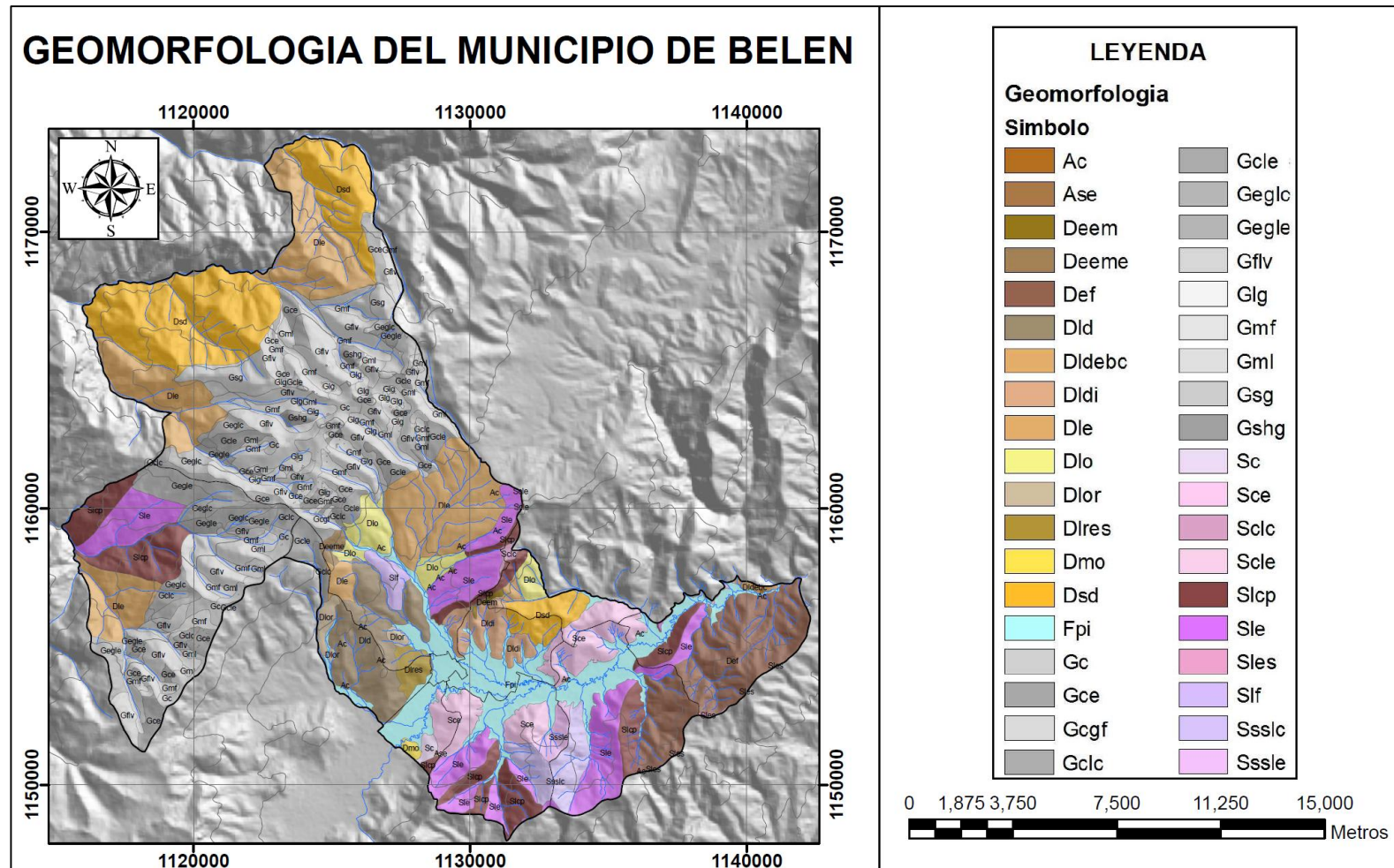
Se determinaron y delimitaron las siguientes subunidades geomorfológicas:

Tabla 5. Subunidades por ambiente morfogenético

Símbolo	Ambiente	Área (m ²)	Nombre
Ac	Antrópico	93350,68	Cantera
Ase	Antrópico	10506,63	Excavaciones
Deem	Denudacional	281465,27	Escarpe de erosión mayor
Deeme	Denudacional	743126,34	Escarpe de erosión menor
Def	Denudacional	18287940,12	Escarpe facetado
Dld	Denudacional	11301675,57	Loma denudada
Dldebc	Denudacional	336750,44	Lomo denudado bajo de longitud corta
Dldi	Denudacional	4085115,03	Lomeríos disectados
Dle	Denudacional	37909217,13	Ladera erosiva
Dlo	Denudacional	5383802,85	Ladera ondulada
Dlor	Denudacional	1515996,56	Loma residual
Dlres	Denudacional	1747306,44	Lomo residual
Dmo	Denudacional	379729,27	Montículo y ondulaciones denudacionales
Dsd	Denudacional	30904154,55	Sierra denudada
Fpi	Fluvial	22235551,64	Plano o llanura de inundación
Gc	Glacial	8041060,57	Circo glacial y de nivación
Gce	Glacial	7176795,48	Cuesta glaciada
Gcgf	Glacial	106724,87	Conos glaciofluviales
Gclc	Glacial	2997495,86	Ladera Contrapendiente de cuesta glaciada
Gcle	Glacial	5034561,89	Ladera estructural de cuesta glaciada
Geglc	Glacial	4532767,54	Ladera de contrapendiente de espinazo glaciado
Gegle	Glacial	8264641,68	Ladera estructural de espinazo glaciado
Gflv	Glacial	29811554,87	Flancos de valle Glacial
Glg	Glacial	808943,91	Laguna Glacial
Gmf	Glacial	15607594,11	Morrena de fondo
Gml	Glacial	1873327,81	Morrena lateral
Gsg	Glacial	4881125,92	Sierra Glaciada
Gshg	Glacial	1002695,83	Sierra homoclinal glaciada
Sc	Estructural	545324,61	Cuesta
Sce	Estructural	11216412,06	Cerro estructural
Sclc	Estructural	332073,54	Ladera de contrapendiente de cuesta
Scle	Estructural	6767,15	Ladera estructural de cuesta
Slcp	Estructural	17098524,23	Ladera contrapendiente
Sle	Estructural	21232968,11	Ladera estructural
Sles	Estructural	240568,52	Ladera escalonada
Slf	Estructural	1536218,64	Lomo de falla
Ssslc	Estructural	5148407,52	Ladera de contrapendiente sierra sinclinal
Sssle	Estructural	1483877,03	Ladera estructural de sierra sinclinal

Fuente: Glosario geomorfológico, SGC. Distribución de áreas autor.

Figura 11. Mapa de geomorfología



Fuente: Autor.

7.3.1 AMBIENTE ANTROPOGÉNICO

En este ambiente se incluyen las geoformas resultantes de las actividades del hombre en la superficie, con el objetivo bien de construir infraestructura para su propio uso y/o explotar los recursos que se encuentran en el suelo o subsuelo.²⁶

Tabla 6. Subunidades Antropogénico

Símbolo	Ambiente	Área (m ²)	Nombre
Ac	93350,68	93350,68	Cantera
Ase	10506,63	10506,63	Excavaciones
Total		103857,31	

Fuente: Glosario geomorfológico, SGC. Distribución de áreas autor.

7.3.2 AMBIENTE DENUDACIONAL

Se incluyen las geoformas cuya expresión morfológica no depende del plegamiento de la corteza, ni tampoco por el vulcanismo, sino exclusivamente a los procesos exógenos degradacionales y está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de lluvia-escorrentía, meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que han remodelado y dejado remanentes de las geoformas morfoestructurales preexistentes donde se generan nuevas subunidades por acumulación de sedimentos.²⁷

Tabla 7. Subunidades denudacionales

Sím	Ambiente	Área (m ²)	Nombre
Deem	Denudacional	281465,27	Escarpe de erosión mayor
Deeme	Denudacional	743126,34	Escarpe de erosión menor
Def	Denudacional	18287940,12	Escarpe facetado
Dld	Denudacional	11301675,57	Loma denudada
Dldebc	Denudacional	336750,44	Lomo denudado bajo de longitud corta
Dldi	Denudacional	4085115,03	Lomeríos disectados
Dle	Denudacional	37909217,13	Ladera erosiva
Dlo	Denudacional	5383802,85	Ladera ondulada
Dlor	Denudacional	1515996,56	Loma residual
Dlres	Denudacional	1747306,44	Lomo residual
Dmo	Denudacional	379729,27	Montículo y ondulaciones denudacionales
Dsd	Denudacional	30904154,55	Sierra denudada
Total		112876279,5	

Fuente: Glosario geomorfológico, SGC. Distribución de áreas autor.

²⁶ MEMORIA EXPLICATIVA DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO APLICADO A MOVIMIENTOS EN MASA ESC 1:100.000. PLANCHA 186 – RIOSUCIO. / SGC, 2015

²⁷ MEMORIA EXPLICATIVA DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO APLICADO A MOVIMIENTOS EN MASA ESC 1:100.000. PLANCHA 263 – ORTEGA. / SGC 2015

7.3.3 AMBIENTE FLUVIAL

Las subunidades se originan por el efecto combinado de las corrientes de agua superficiales que, a medida que van erosionando los materiales por donde discurren también transportan estos materiales hacia zonas de menores pendientes para conformar depósitos de tipo aluvial y por tanto geoformas del mismo tipo. Los drenajes que se incluyen como contribuyentes en el desarrollo de estas geoformas son los ríos Salguera, Minas, Soapaga y Paragua. Las dimensiones de las subunidades generadas, son directamente proporcionales a la capacidad erosiva, de transporte de carga y de arrastre de las corrientes que las genera.

Tabla 8. Subunidades fluviales

Símbolo	Ambiente	Área (m ²)	Nombre
Fpi	Fluvial	22235551,64	Plano o llanura de inundación

Fuente: Glosario geomorfológico, SGC. Distribución de áreas autor.

7.3.4 AMBIENTE ESTRUCTURAL

El ambiente estructural dentro del municipio de Belén es producto del levantamiento cordillerano de La Cadena de los Andes. Estos procesos generaron zonas de compresión y de distensión, además de plegamiento y fallamiento de las rocas del sector, que ayudado con las diversas intrusiones de cuerpos ígneos, permitieron configurar el paisaje estructural de la zona. Además muchos rasgos estructurales se deben a fallas como la Boyacá, Tutazá, complejo de fallas de Soapaga.

Tabla 9. Subunidades estructurales

Símbolo	Ambiente	Área (m ²)	Nombre
Sc	Estructural	545324,61	Cuesta
Sce	Estructural	11216412,06	Cerro estructural
Sclc	Estructural	332073,54	Ladera de contrapendiente de cuesta
Scle	Estructural	6767,15	Ladera estructural de cuesta
Slcp	Estructural	17098524,23	Ladera contrapendiente
Sle	Estructural	21232968,11	Ladera estructural
Sles	Estructural	240568,52	Ladera escalonada
Slf	Estructural	1536218,64	Lomo de falla
Ssslc	Estructural	5148407,52	Ladera de contrapendiente sierra sinclinal
Sssle	Estructural	1483877,03	Ladera estructural de sierra sinclinal
Total		58841141,41	

Fuente: Glosario geomorfológico, SGC. Distribución de áreas autor.

8. COBERTURA VEGETAL O USO ACTUAL

8.1 METODOLOGÍA

La cobertura vegetal es la expresión integral de la interacción entre los factores bióticos y abióticos sobre un espacio determinado, es decir es el resultado de la asociación espacio-temporal de elementos biológicos vegetales característicos, los cuales conforman unidades estructurales y funcionales.²⁸

Para la caracterización y agrupación de las coberturas vegetales se realizó con una clasificación supervisada en un SIG, a partir de una composición de una imagen Landsat 7 ETM RGB 742 en falso color con bandas térmico cercano, infrarrojo cercano y verde. Esta imagen es una herramienta muy útil pues nos da una variedad de colores y nos separa los distintos tipos de vegetación. La clasificación supervisada se realiza en el programa Idrisi Taiga en donde se toman muestras de píxeles de cada cobertura vegetal con respecto a puntos de control tomados en campo, luego se realiza un tratamiento el cual selecciona y agrupa las coberturas, por último se hace un procedimiento de limpieza a la imagen generada para suavizar y quitar píxeles isla.

Foto 13. Imagen Landsat 7 ETM RGB 742 Falso color.



Fuente: Usgs explorer.

²⁸ http://datateca.unad.edu.co/contenidos/Biodiversidad/leccion_21_cobertura_vegetal_y_definicion.html

8.2 TIPOS DE COBERTURA VEGETAL O USO ACTUAL

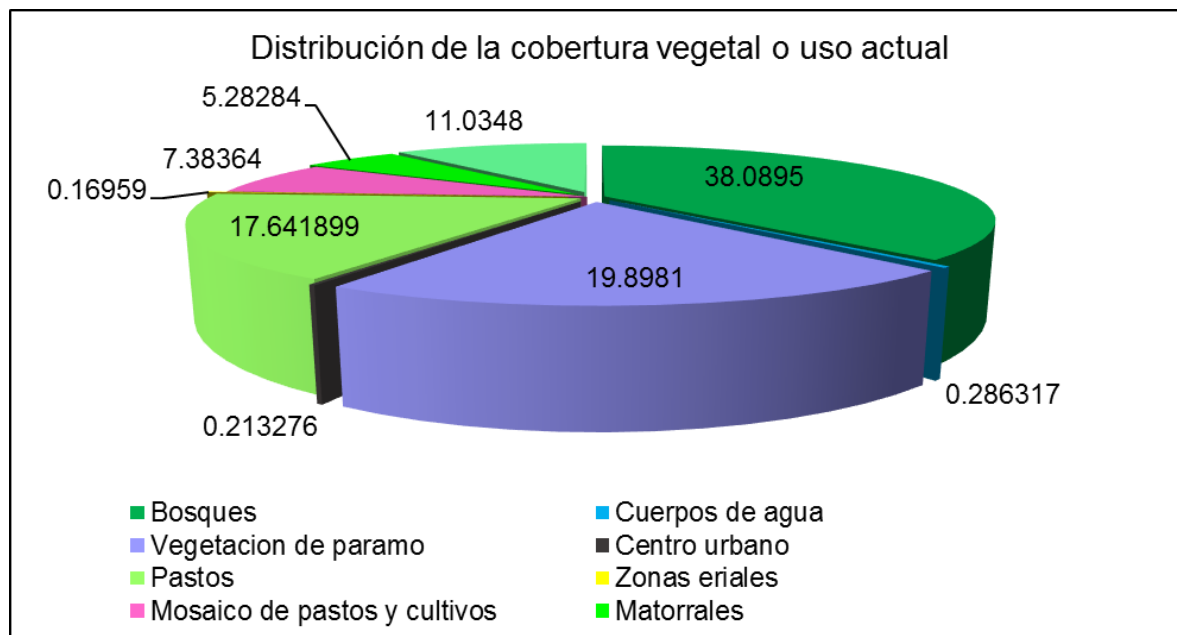
En el municipio de Belén se encuentran las coberturas que se muestran en la siguiente tabla para mejor apreciación diríjase al *Anexo No 2 Cobertura vegetal o uso actual del suelo*.

Tabla 10. Tipos de cobertura

Tipo de Cobertura	Distribución
Bosques	38.0895
Cuerpos de agua	0.286317
Vegetación de paramo	19.8981
Centro urbano	0.213276
Pastos	17.641899
Zonas eriales	0.16959
Mosaico de pastos y cultivos	7.38364
Matorrales	5.28284
Rastrojos	11.0348
Total	100%

Fuente: Autor.

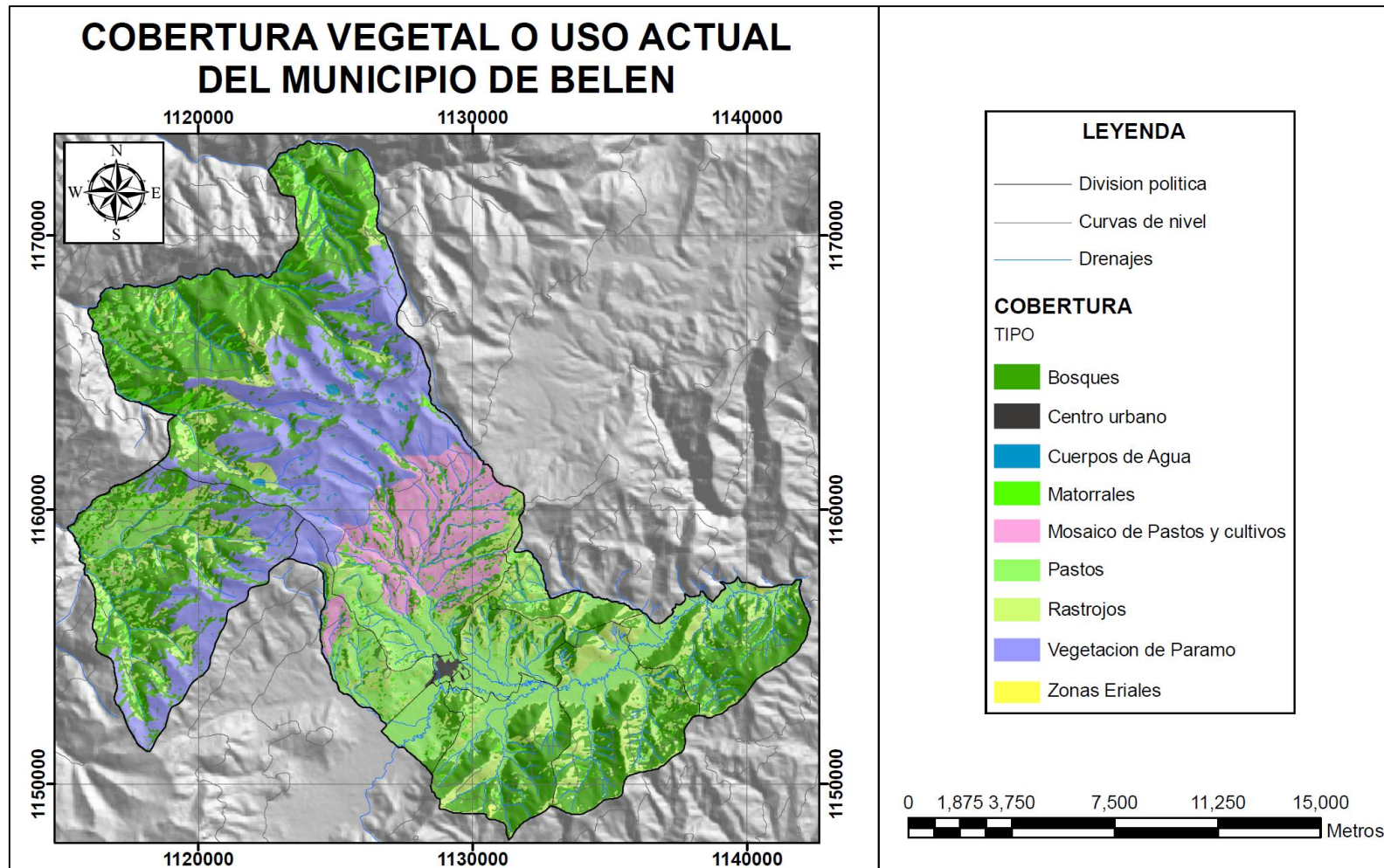
Figura 12. Gráfico de distribución de porcentajes de la cobertura



Fuente: Autor.

A partir de la clasificación monitoreada se generó la siguiente imagen.

Figura 13. Mapa de Cobertura vegetal.



Fuente: Autor.

9. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Para la elaboración de la Zonificación de amenazas por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, es necesario realizar el estudio hidrológico de los cursos de agua que discurren a lo largo de la zona de estudio. El objetivo principal es calcular las precipitaciones máximas probables en varios periodos de retorno para así aplicar el método racional en busca de los caudales de las microcuencas, los ríos y tramos de estos considerados importantes en el municipio de Belén; por lo que es necesario realizar una recopilación de la información meteorológica del Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM.

9.1 PRECIPITACIONES MÁXIMAS

Los datos meteorológicos comprenden precipitación diaria y anual. Las estaciones que se tuvieron en cuenta son:

Tabla 11. Estaciones meteorológicas IDEAM utilizadas en el área de estudio

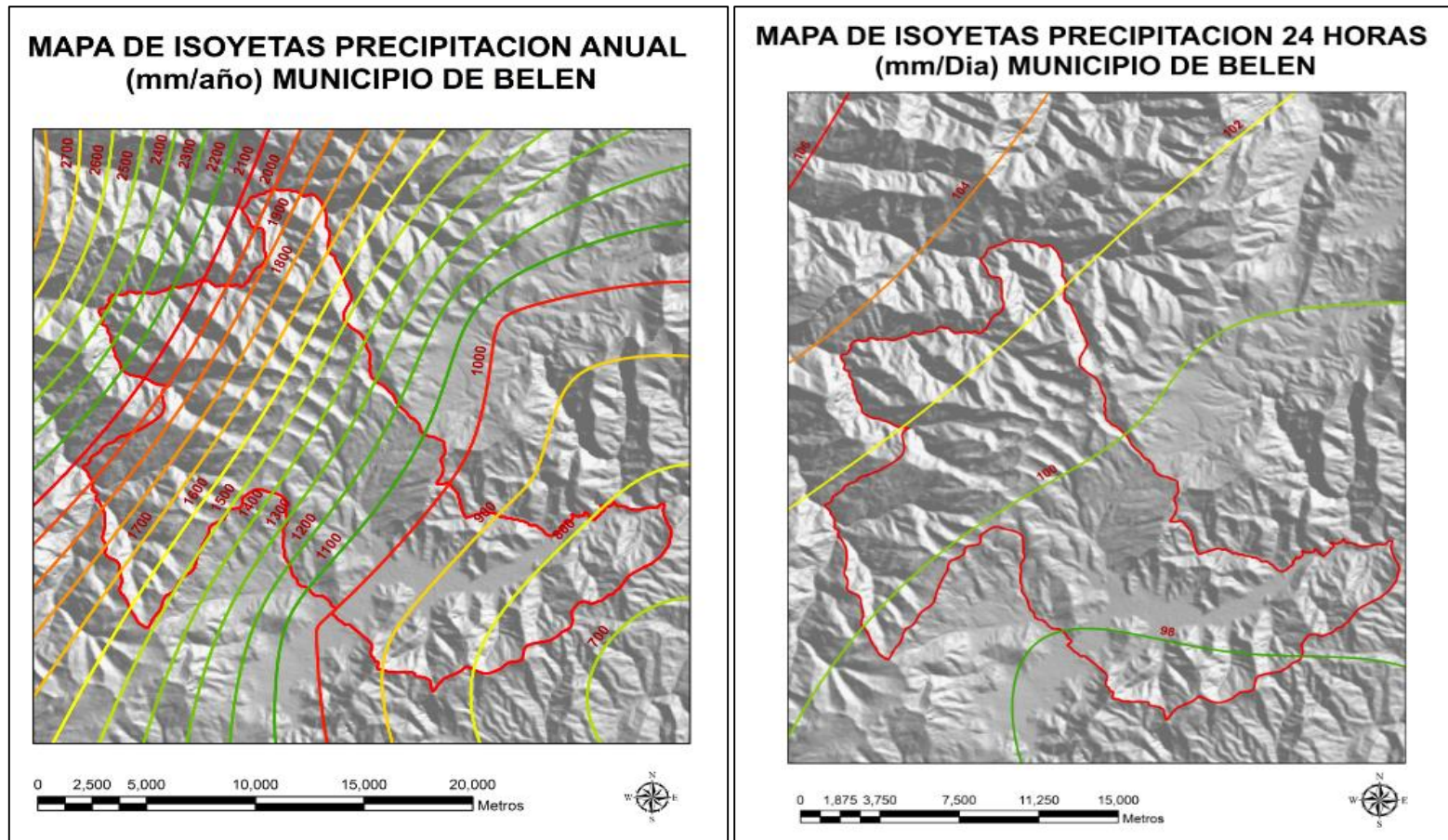
LONGITUD °W	LATITUD °N	ESTACIÓN	No ESTACIÓN	PRECIPITACIÓN 24 HORAS	PRECIPITACIÓN 1 AÑO
-72.86	6.1007	LA CAPILLA	24030860	17.55952381	969.6171429
-72.8106	5.9072	BETEITIVA	24035020	17.67246377	634.573913
-72.8556	6.0336	TUTAZÁ	24030650	22.98373984	926.3390244
-73.0447	6.29944	COROMORO	24020120	42.13194444	2623.288095
-72.9385	5.96225	CERINZA	24030590	18.92136752	992.6333333
-73.098	6.13833	ENCINO	24020040	50.08763889	3174.013333

Fuente: Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM.

A continuación se muestran los mapas de isoyetas, tanto anual, como a 24 horas, los cuales se realizaron a partir de sus coordenadas de latitud y Longitud y un valor Z que corresponde a la precipitación se realiza una interpolación de datos con el método estadístico IDW de ArcGis®, lo cual crea un raster de datos de precipitación en la zona de estudio. A partir del Raster de Precipitación con la herramienta CONTOUR se generan las Isoyetas en ciertos intervalos. Los mapas de isoyetas muestran los niveles de precipitación en la zona, son apreciables en la *figura 14*.

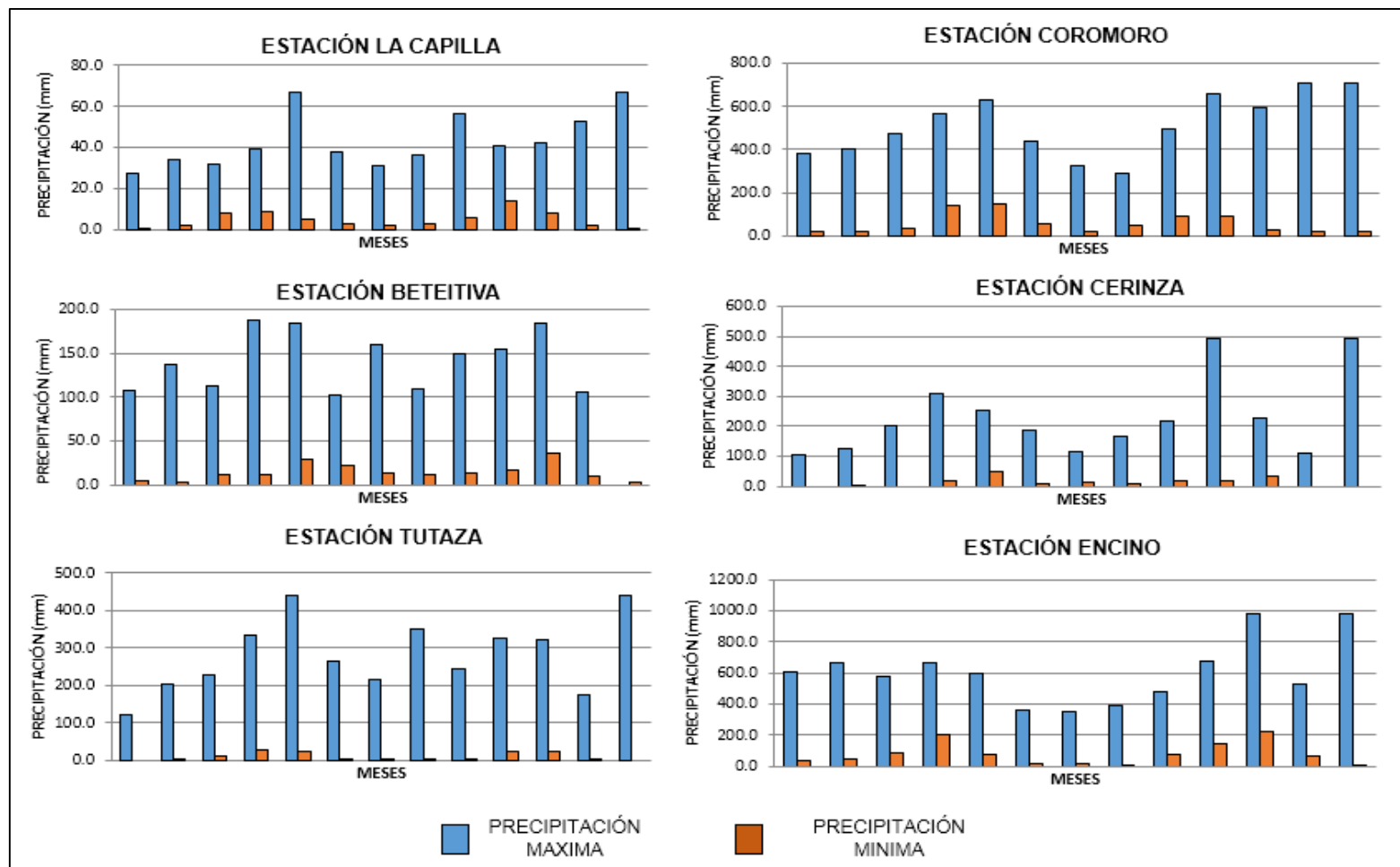
Además se muestran histogramas mensuales de precipitaciones a 24 horas y al año de los máximos, mínimos y medios registrados por las estaciones del IDEAM. De estos histogramas se puede evidenciar los periodos de mayo ocurrencia en el año como son Abril-Mayo y Octubre-Diciembre. En este orden de ideas se evidencia un comportamiento bimodal en todas las estaciones circundantes al municipio de Belén.

Figura 14. Mapas de isoyetas Anual y a 24 Horas



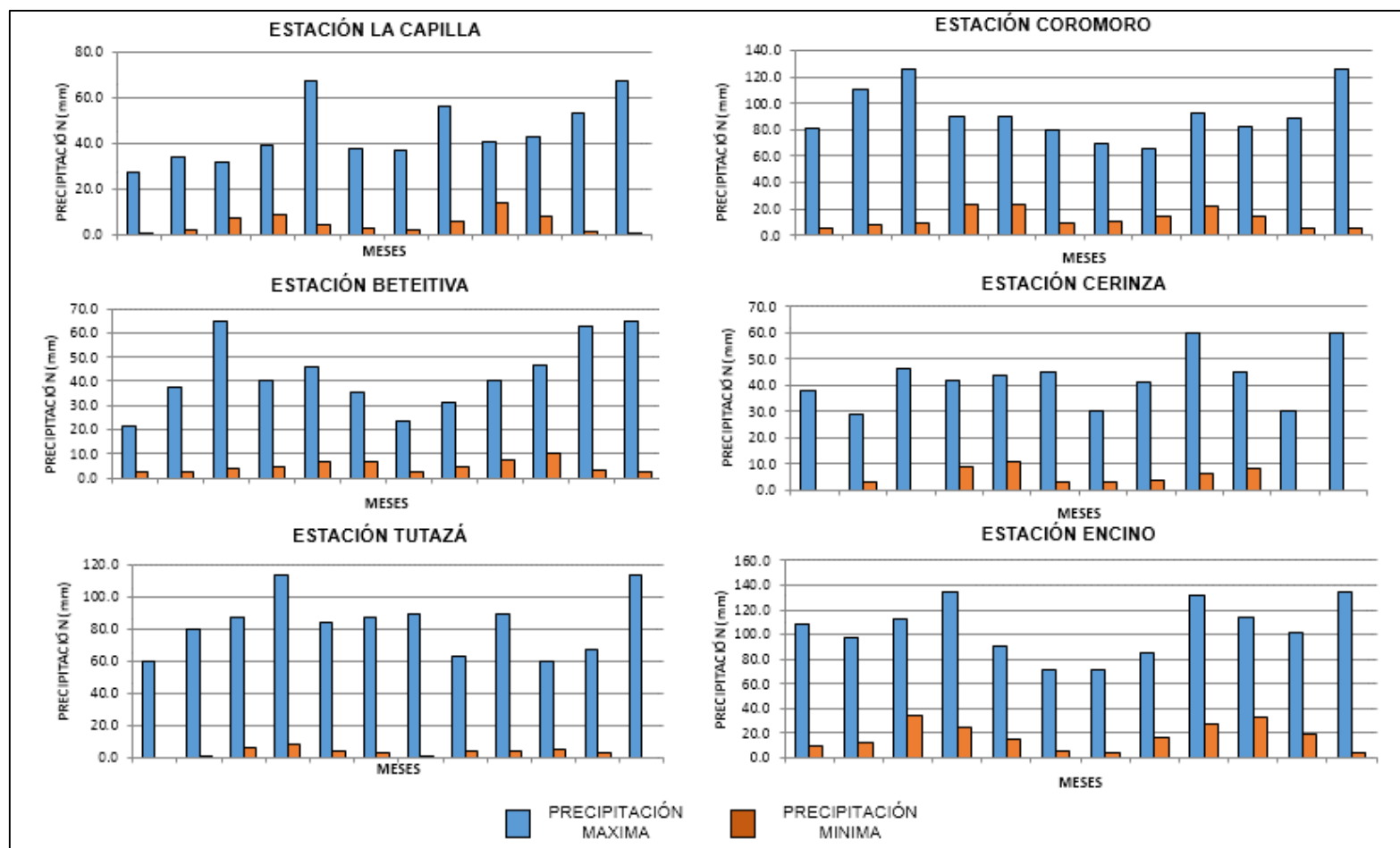
Fuente: Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM, DEM SRTM, Limite EOT Belén.

Figura 15. Histogramas de precipitación Mensual en (mm/Año) en las estaciones meteorológicas.



Fuente: Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM.

Figura 16. Histogramas de precipitación a 24 horas en (mm/24 horas) en las estaciones meteorológicas.



Fuente: Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM

Con los datos anteriores se genera los datos de precipitación máxima (Pd) para tiempos de duración, teniendo en cuenta los valores máximos de precipitación diaria obtenidos por las estaciones a lo largo de su funcionamiento.

Tabla 13. Precipitación máxima por periodos de duración y periodos de retorno estación Cerinza

Tiempo de Duración	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de Retorno		
	25 años	50 años	100 años
24 hr	55.3422	66.4649	69.6678
18 hr	44.2738	60.4830	63.3977
12 hr	44.2738	53.1719	55.7342

Fuente: HidrojING y Autor

A continuación se halla el valor de intensidad entre periodos de tiempo de 24 a 12 horas.

$$I = \frac{P [mm]}{t_{duración} [hr]}$$

Tabla 14. Intensidad de lluvias según periodo de retorno estación Cerinza

Tiempo de duración Hr	Intensidad de la lluvia (mm /hr) según Periodos de Retorno		
	25 años	50 años	100 años
24 hr	2.4912	2.7694	3.2294
18 hr	2.6572	3.3602	3.9183
12 hr	3.9859	4.4310	5.1670

Fuente: HidrojING y Autor

Luego de realizar el análisis de Gumbel a todas las estaciones dependiendo del fenómeno a estudiar se utilizan los resultados de los periodos más críticos. En movimientos en masa se utiliza el periodo de 25 años para el detonante de precipitación según la metodología del Servicio Geológico Colombiano, para avenidas torrenciales se evalúa entre los periodos de 50 a 100 años dependiendo de la zona donde se evalué en el caso de Belén se toma el de 50 años, y por último en inundaciones se tomas periodos de 25 y 50 años evaluando al igual el de 100 años.

9.2.2 Caudales máximos de microcuencas y subcuencas por el método racional

Para la obtención de los caudales por microcuenca de cada quebrada y ríos a evaluar se utilizó el método racional, el cual evalúa el caudal que genera una precipitación en casos extremos o críticos. Se supone que una precipitación constante (mm/día) cae homogéneamente sobre una cuenca (m²), Si toda el agua caída produjera escorrentía, el caudal generado sería²⁹:

$$Q \left(\frac{m^3}{s} \right) = C * P \left(\frac{mm}{dia} \right) * Ac (m^2) * \frac{1}{86400000} \left(\frac{m^3 * dia}{s} \right)$$

Como se sabe que un mm de lluvia equivale a 1lt/m² en unidades se cancelaría el m² del área y al dividir por 24 horas por 3600 minutos que tiene un día y 1000 litros que tiene un metro cubico, el resultado queda en m³/s. Siendo C un coeficiente de escorrentía de la cuenca, P la precipitación máxima de la cuenca y Ac área de la cuenca.

9.2.2.1 Coeficiente de escorrentía

Se definen a partir de la cobertura vegetal teniendo en cuenta la tabla del MOPU (1987) para una lluvia de 50 mm, donde se califica según el tipo de cobertura en condiciones de humedad y precipitación previstas por la tabla.

Tabla 15. Coeficientes de escorrentía según cobertura

Tipo	Coeficiente escorrentía
Bosques	0.37
Mosaico de Pastos y cultivos	0.39
Pastos	0.21
Rastrojos	0.13
Matorrales	0.34
Vegetación de Paramo	0.24
Zonas Eriales	0.69
Cuerpos de Agua	0.00
Centro urbano	0.42

Fuente: Autor, MOPU.

Luego de calificar cada cobertura se genera un raster de coeficiente de escorrentía y luego con un zonal statistics donde se realiza el promedio por cada cuenca de coeficiente. Con este coeficiente (C) se usa en el proceso de hallar los caudales como factor multiplicados y va de valores de 0 a 1.

²⁹ F. Javier Sánchez San Román--Dpto. Geología--Univ. Salamanca (España) (2012)

Figura 17. MOPU (1987) coeficientes de escorrentía para aguacero de 50mm

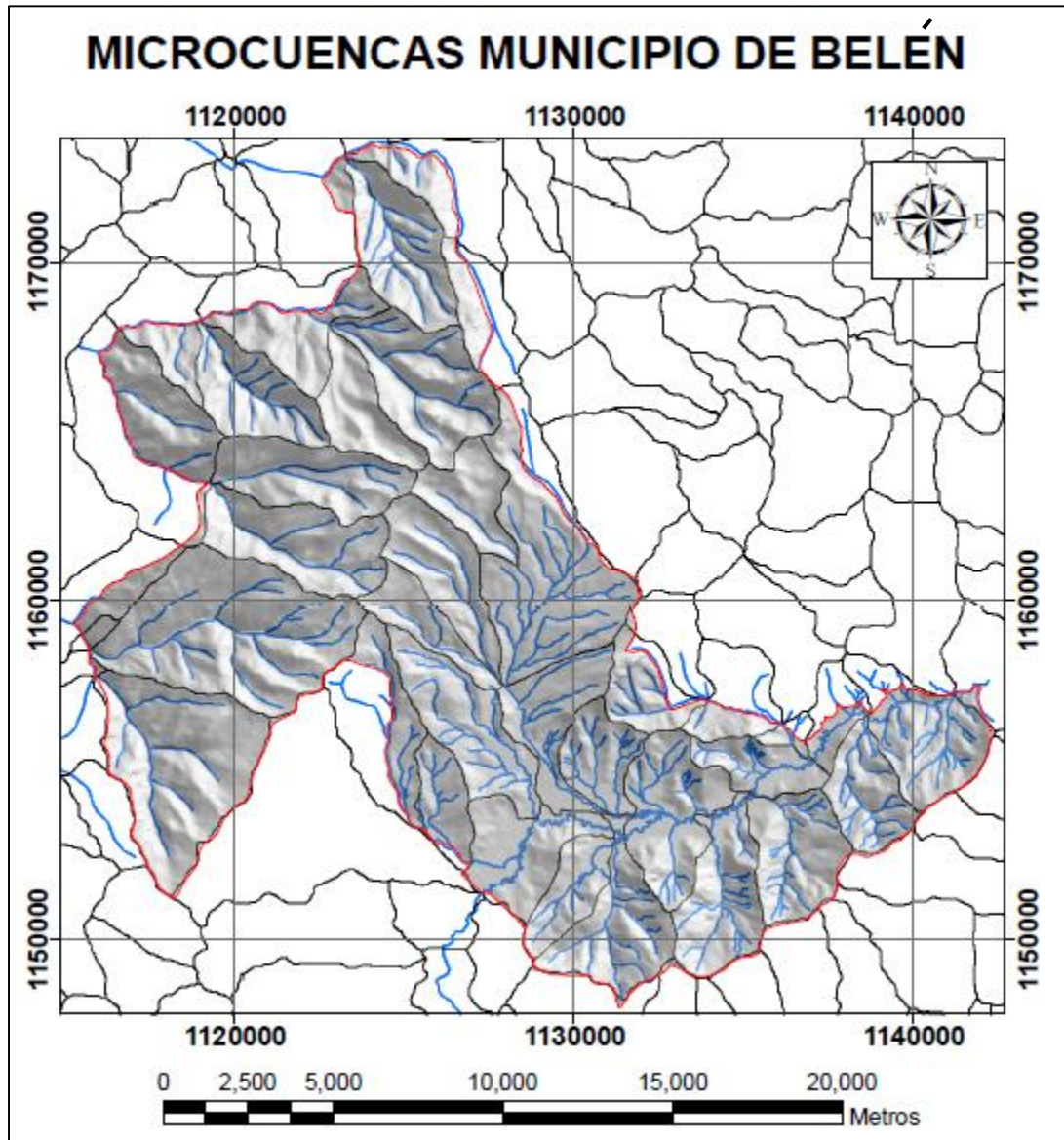
TIPO DE VEGETACIÓN	TRATAMIENTO	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	TIPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	Desnudo	-	0,02	0,13	0,28	0,43
	CR	Pobre	0,01	0,11	0,24	0,37
	CR	Buena	≈ 0	0,08	0,18	0,24
Cultivos alineados	R	Pobre	≈ 0	0,05	0,18	0,28
	R	Buena	0	0,02	0,11	0,21
	R + CR	Pobre	0	0,04	0,15	0,24
	R + CR	Buena	0	≈ 0	0,06	0,11
	C	Pobre	0	0,03	0,10	0,18
	C	Buena	0	0,01	0,06	0,13
	C + CR	Pobre	0	0,02	0,08	0,15
	C + CR	Buena	0	≈ 0	0,05	0,11
	C + T	Pobre	0	≈ 0	0,04	0,06
	C + T	Buena	0	0	0,02	0,05
	C + T + CR	Pobre	0	≈ 0	0,03	0,05
C + T + CR	Buena	0	0	0,02	0,04	
Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobre	0	0,01	0,1	0,18
	R	Buena	0	0,01	0,08	0,15
	R + CR	Pobre	0	0,01	0,08	0,13
	R + CR	Buena	0	≈ 0	0,04	0,09
	C	Pobre	0	≈ 0	0,06	0,11
	C	Buena	0	≈ 0	0,05	0,09
	C + CR	Pobre	0	≈ 0	0,05	0,09
	C + CR	Buena	0	≈ 0	0,04	0,08
	C + T	Pobre	0	≈ 0	0,03	0,06
	C + T	Buena	0	0	0,02	0,05
	C + T + CR	Pobre	0	0	0,02	0,05
C + T + CR	Buena	0	0	0,01	0,04	
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	R	Pobre	0	0,01	0,11	0,21
	R	Buena	0	≈ 0	0,05	0,11
	C	Pobre	0	0,01	0,08	0,11
	C	Buena	0	0	0,02	0,08
	C + T	Pobre	0	≈ 0	0,04	0,08
	C + T	Buena	0	0	0,01	0,04
Pastizales o pastos naturales	-	Pobres	0	0,03	0,13	0,21
	-	Regulares	0	0	0,03	0,10
	-	Buenas	0	0	≈ 0	0,04
Pastizales	C	Pobres	0	0	0,05	0,18
	C	Regulares	0	0	0,01	0,08
	C	Buenas	0	0	0	0,03
Prados permanentes	-	-	0	0	0	0,02
Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante	-	Pobres	0	0	0,02	0,08
	-	Regulares	0	0	0	0,02
	-	Buenas	0	0	0	≈ 0
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Pobres	0	≈ 0	0,06	0,13
	-	Regulares	0	0	0,01	0,06
	-	Buenas	0	0	≈ 0	0,03
Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales)	-	Pobres	0	0	0,02	0,08
	-	Regulares	0	0	≈ 0	0,03
	-	Buenas	0	0	0	0,02
Bosques	-	I Muy pobre	0	≈ 0	0,13	0,28
	-	II Pobre	0	0	0,02	0,09
	-	III Regular	0	0	0	0,01
	-	IV Buena	0	0	0	0
	-	V Muy buena	0	0	0	0
Caseríos	-	-	0	≈ 0	0,06	0,13
Caminos en tierra	-	-	≈ 0	0,06	0,15	0,21
Caminos en firme	-	-	≈ 0	0,09	0,24	0,32

Fuente: Método de los coeficientes de escorrentía / Andrés Martínez de Azagra Paredes (2006)

9.2.2.2 Definición de microcuencas y subcuencas

Para la generación de microcuencas se utilizó el módulo Watershed de Idrisi utilizando el dem SRTM con un umbral de área de 50000.

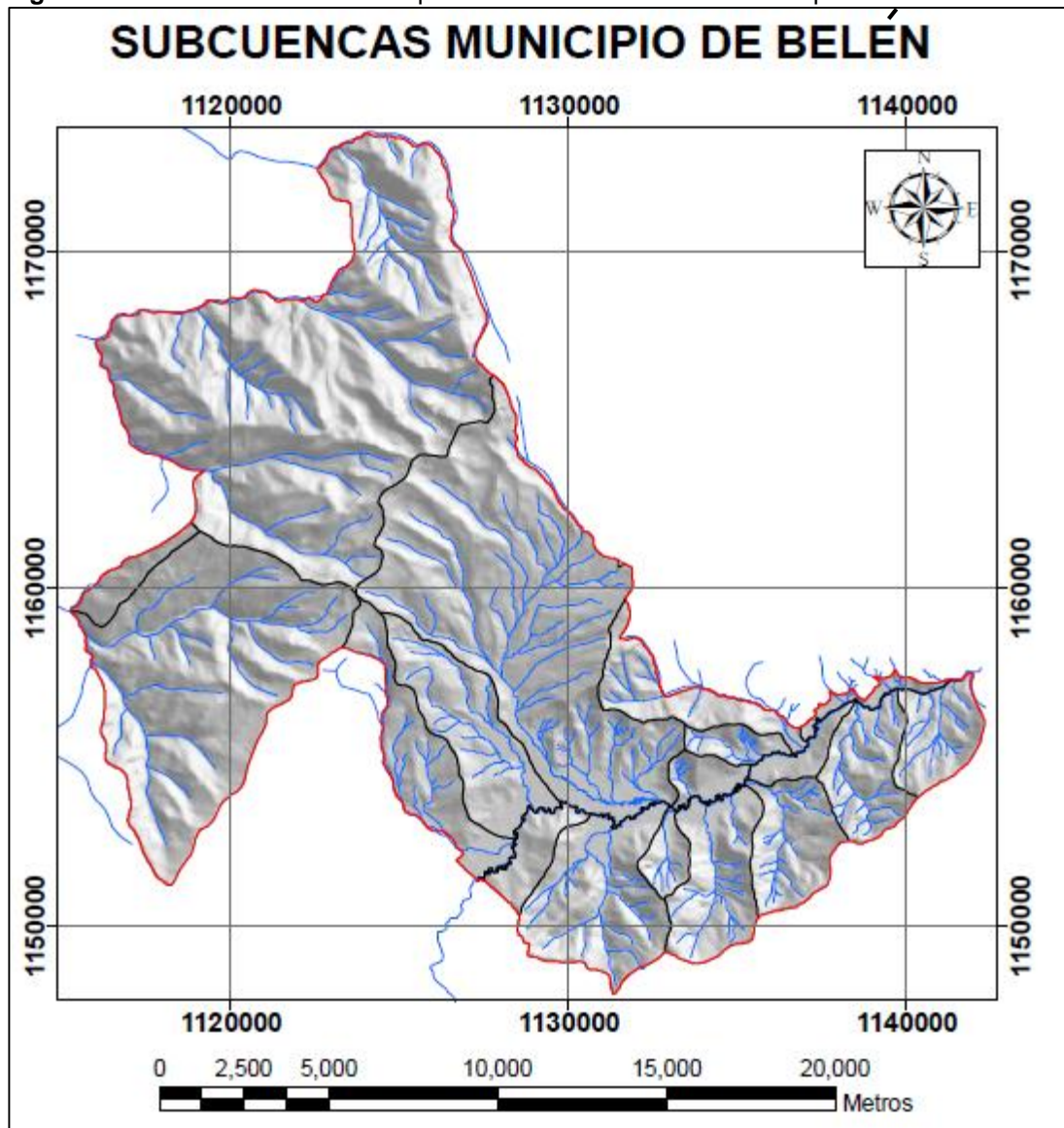
Figura 18. Microcuencas generadas



Fuente: Autor

Las subcuencas se tomaron del Esquema de Ordenamiento territorial del municipio.

Figura 19. Subcuencas del esquema de ordenamiento del municipio



Fuente: Eot Belén.

9.2.2.3 Caudales totales

Se generaron caudales según el método racional anteriormente descrito, por microcuena para la modelación en HecRas de avenidas torrenciales y por subcuencas para Inundaciones. A continuación se muestra una tabla con el nombre de las quebradas de cada cuena y su valor de caudal.

Tabla 16. Caudales de las microcuencas por quebrada en un periodo de retorno de 50 años

Drenaje	Microcuenca	
	Área Km2	Caudal m3/s
Quebrada Carichana	4.946786	1.643257
Quebrada Cuchilla larga	8.391741	3.193022
Quebrada Duga	6.527545	2.66257
Quebrada el cajón	1.143202	4.517804
Quebrada El cedro	10.582891	2.677933
Quebrada El Palmar	10.717738	3.932456
Quebrada El Tambor	10.031809	4.250144
Quebrada La Centella	8.162761	3.45829
Quebrada la Minas	40.109153	16.992915
Quebrada la Mugre	10.635022	2.758731
Quebrada Laguna Grande	11.146913	4.722576
Quebrada los Colorados	21.316862	8.110977
Quebrada Peñablanca	9.648416	3.205076
Quebrada Piedrancha	6.469069	2.62879
Quebrada Romeral	19.748446	6.463797
Quebrada Toral	24.683879	8.079184
Quebrada Tuate	15.908868	5.451055
Quebrada Ture-Hoyos	45.046	19.084812
Rio Salguera	55.832898	21.244185
Rio Minas-Soapaga		
Quebrada Carrizal	8.413009	2.868615

Fuente: Autor

Las subcuencas son divididas por los ríos principales a los cuales se les realizara la evaluación de amenazas por inundación se debe hacer un procedimiento para establecer la aportación de caudal de las diferentes quebradas que llegan al rio, así que se debe realizar una ponderación con respecto a el área de cada cuenca aportante.

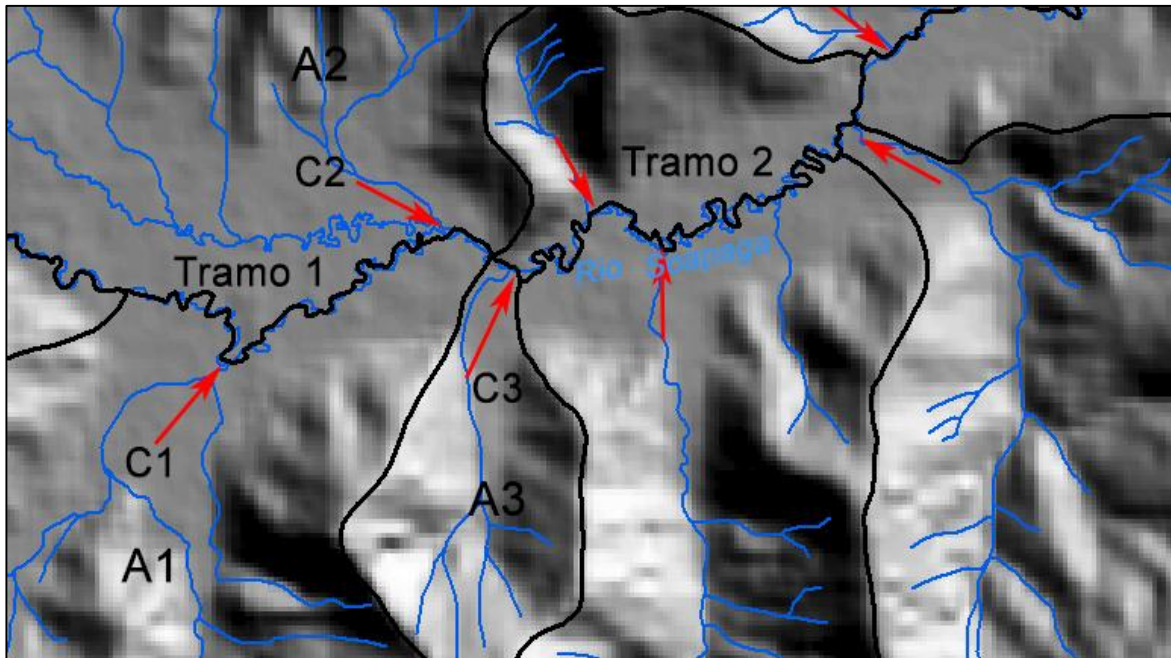
$$Q_{total} = \frac{\Sigma(Qc * Ac)}{\Sigma(At)}$$

Siendo $\Sigma(Qc*Ac)$ la sumatoria de las multiplicaciones de caudal y área de cada cuenca aportante al tramo del rio, y $\Sigma(At)$ la sumatoria de las áreas de las cuencas aportantes.

Por ejemplo en la figura a continuación mostrada se observa un tramo del río Minas – Soapaga donde recibe el aporte del río Salguera y varias quebradas, para establecer el caudal del tramo se realiza la ponderación de la siguiente forma:

$$Q_{total \ tramo \ 1} = \frac{(Q1 * A1) + (Q2 * A2) + (Q3 * A3)}{(A1 + A2 + A3)}$$

Figura 20. Ejemplo de ponderación del caudal de un tramo del río Minas - Soapaga



Fuente: Autor

Tabla 17. Caudales ponderados por tramo del Río Soapaga en periodo de retorno de 25 años

Tramo	C1	A1	C2	A2	C3	A3	C4	A4	C5	A5	C6	A6	Caudal Total
1	2.5	10.7	0.9	3.9	3.1	13.2	4.7	15.8	18.9	55.8			12.0
2	12.0	99.5	0.7	2.5									11.8
3	12.0	99.5	0.7	2.5	0.6	2.7							11.5
4	12.0	99.5	0.7	2.5	0.6	2.7	3.5	10.7					10.7
5	12.0	99.5	0.7	2.5	0.6	2.7	3.5	10.7	2.6	8.4			10.2
6	12.0	99.5	0.7	2.5	0.6	2.7	3.5	10.7	2.6	8.4	0.7	2.6	10.0
7	10.7	126.4	0.8	2.5	2.3	7.5	3.0	8.2					9.7
8	10.7	126.4	0.8	2.5	2.3	7.5	3.0	8.2	0.4	1.7			9.5
9	10.7	126.4	0.8	2.5	2.3	7.5	3.0	8.2	0.4	1.7	2.4	6.5	9.2

Fuente: Autor

Tabla 18. Caudales ponderados por tramo del Rio Soapaga en periodo de retorno de 50 años

Tramo	C1	A1	C2	A2	C3	A3	C4	A4	C5	A5	C6	A6	Caudal Total
1	2.7	10.7	1.0	3.9	3.4	13.2	5.3	15.8	21.2	55.8			13.5
2	13.5	99.5	0.8	2.5									13.2
3	13.5	99.5	0.8	2.5	0.7	2.7							12.9
4	13.5	99.5	0.8	2.5	0.7	2.7	3.9	10.7					12.1
5	13.5	99.5	0.8	2.5	0.7	2.7	3.9	10.7	2.9	8.4			11.5
6	13.5	99.5	0.8	2.5	0.7	2.7	3.9	10.7	2.9	8.4	0.8	2.6	11.2
7	11.2	126.4	1.0	2.5	2.6	7.5	3.3	8.2					10.2
8	11.2	126.4	1.0	2.5	2.6	7.5	3.3	8.2	0.4	1.7			10.0
9	11.2	126.4	1.0	2.5	2.6	7.5	3.3	8.2	0.4	1.7	2.7	6.5	9.7

Fuente: Autor

Tabla 19. Caudales ponderados por tramo del Rio Minas en periodo de retorno de 25 años

Tramo	C1	A1	C2	A2	C3	A3	C4	A4	Caudal Total
1	2.5	10.7	0.9	3.9					2.1
2	2.5	10.7	0.9	3.9	3.1	13.2			2.6
3	2.5	10.7	0.9	3.9	3.1	13.2	4.7	15.8	3.3
4	18.9	1.0							18.9

Fuente: Autor

Tabla 20. Caudales ponderados por tramo del Rio Minas en periodo de retorno de 50 años

Tramo	C1	A1	C2	A2	C3	A3	C4	A4	Caudal Total
1	2.7	10.7	1.0	3.9					2.3
2	2.7	10.7	1.0	3.9	3.4	13.2			2.8
3	2.7	10.7	1.0	3.9	3.4	13.2	5.3	15.8	3.7
4	21.2	1.0							21.2

Fuente: Autor

10. ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS

Los Gobiernos e Instituciones del mundo han intentado durante décadas evaluar la distribución espacial de la amenaza y el riesgo a fin de constituirla en una herramienta adecuada para el ordenamiento del territorio, tanto en países desarrollados como en desarrollo. Para tal fin se han propuesto y aplicado diferentes métodos en diversos entornos fisiográficos con distintos resultados, ventajas y limitaciones, pero en general pueden constituirse en una adecuada y rentable herramienta de decisión en la planificación del territorio³⁰.

De acuerdo con la escala de representación de la zonificación de amenazas se define el uso que puede dársele, la metodología y las variables que pueden aplicarse y las limitaciones y bondades de los resultados obtenidos³¹.

Según el Servicio Geológico Colombiano, recomienda usar las definiciones que se presentan a continuación:

Movimiento en masa: Movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991).

Zonificación: Varnes (1984) define zonificación como la división de la superficie del terreno en áreas y la clasificación de acuerdo con el grado actual o potencial de amenaza por deslizamientos u otros movimientos en masa en las laderas.

Susceptibilidad de Deslizamiento: Evaluación cuantitativa o cualitativa de una región en la que existen o pueden existir deslizamientos. Esta evaluación considera la clasificación, volumen (o área) y distribución espacial de los movimientos en masa; también puede incluir una descripción de la velocidad e intensidad de los movimientos potenciales o existentes.

Amenaza: Evento, fenómeno o actividad humana que puede causar daño, pérdida de vidas, daños a la propiedad, interrupción de las actividades sociales y económicas o degradación ambiental (EIRD, 2002). La descripción de amenaza por movimientos en masa debería incluir la localización, volumen (área), clasificación y velocidad del movimiento, posibles materiales desprendidos de la masa fallada y la probabilidad de su ocurrencia dentro de un periodo de tiempo dado. Fell, *et al.* (2008).

³⁰ Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, Servicio geológico Colombiano, 2013

³¹ Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, Servicio geológico Colombiano, 2013

10.1 ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA

La zonificación de amenaza por movimientos en masa en el país se le considera una prioridad frente a un escenario tan particularmente propenso a este tipo de procesos, dadas las condiciones geológicas, geomorfológicas, climáticas, suelos y de uso del suelo que prevalecen en nuestro país.

De acuerdo con Hartlen y Viberg (en Soeters y Van Westen, 1996), un mapa ideal de amenaza por inestabilidad de laderas debería suministrar información sobre la probabilidad espacial y temporal de ocurrencia, el tipo, la magnitud, la velocidad, la distancia de viaje y el límite de avance retrogresivo de los movimientos en masa. No obstante, este ideal rara vez se logra por costo y tiempo que se requeriría para obtener la información para un análisis de estabilidad detallado de todas las laderas³². Por lo tanto se ha optado por una metodología más adecuada y conveniente para trabajar en el área de estudio.

Los movimientos en masa son los desplazamientos de masas de suelo, causados por exceso de agua en el terreno y por efecto de la fuerza de gravedad, así como de factores detonantes como sismos y cargas adicionales a las laderas.

10.1.1 Antecedentes

Para facilitar el manejo de los datos en el trabajo de campo, se utilizó el siguiente formato para inventario de movimientos en masa:

³² Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa, INGEOMINAS, Corporación Autónoma Del Valle del Cauca, Escuela colombiana de Ingeniería, 2001.

Tabla 21. Formato inventario de movimientos en masa.

FORMATO MODIFICADO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA																				
Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas																				
DATOS DE REGISTRO										IMPORTANCIA*										
ENCUESTADOR*		FECHA EVENTO*		FECHA REPORTE*		INSTITUCIÓN*		Alta <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/>												
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA				REFERENTES GEOGRÁFICOS				DOCUMENTACIÓN												
Departamento*				PLANCHAS AÑO ESCALA EDITOR				FOTOGRAFÍAS AERIAS Año Escala Editor												
Municipio*																				
Vereda*																				
ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO																				
EDAD			ESTADO			DESTRUCCIÓN			DESCRIPCIÓN			LITOLOGÍA Y ESTRUCTURA								
<input type="checkbox"/> < 1 año <input type="checkbox"/> 1-5 años <input type="checkbox"/> 6-10 años <input type="checkbox"/> 11-15 años <input type="checkbox"/> 16-20 años			<input type="checkbox"/> Activo <input type="checkbox"/> Reactivado <input type="checkbox"/> Suspenso <input type="checkbox"/> Inactivo <input type="checkbox"/> Latente <input type="checkbox"/> Abandonado <input type="checkbox"/> Estabilizado <input type="checkbox"/> Reacto			<input type="checkbox"/> Compuesto <input type="checkbox"/> Múltiple <input type="checkbox"/> Simple <input type="checkbox"/> Único			<input type="checkbox"/> Retrogrado <input type="checkbox"/> Avanzado <input type="checkbox"/> Ensamblado <input type="checkbox"/> Confinado <input type="checkbox"/> Creciente <input type="checkbox"/> Decreciente <input type="checkbox"/> Móvil			ESTRUCTURA: <input type="checkbox"/> Planes de Estratificación, <input type="checkbox"/> Foliación, <input type="checkbox"/> Discontinuidades, <input type="checkbox"/> Falla, <input type="checkbox"/> Discordancia, <input type="checkbox"/> Estratificación			ORIENTACIÓN: <input type="checkbox"/> DR, <input type="checkbox"/> BZ, <input type="checkbox"/> N2, <input type="checkbox"/> 2-0-6, <input type="checkbox"/> 0-6-0-3, <input type="checkbox"/> 0-3-0-06, <input type="checkbox"/> <0-06					
CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO																				
TIPO MOVIMIENTO		SUBTIPO MOVIMIENTO		TIPO MATERIAL		HUMEDAD		PLASTICIDAD		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN*										
<input type="checkbox"/> Caída <input type="checkbox"/> Volcanismo <input type="checkbox"/> Deslizamiento <input type="checkbox"/> Flujos <input type="checkbox"/> Propagación Lateral <input type="checkbox"/> Represión <input type="checkbox"/> Odfarm, Gravit., Profundas		<input type="checkbox"/> Caída de roca <input type="checkbox"/> Caída de detritos <input type="checkbox"/> Caída de tierras <input type="checkbox"/> Volcan. Resaca de roca <input type="checkbox"/> Volcan. de roca <input type="checkbox"/> Volcan. masco resaca <input type="checkbox"/> Desliz. rotacional		<input type="checkbox"/> Desliz. tradicional <input type="checkbox"/> Desliz. en cuña <input type="checkbox"/> Desliz. tradicional en cuña <input type="checkbox"/> Desliz. tradicional planar <input type="checkbox"/> Aralancha de rocas <input type="checkbox"/> Flujos de detritos <input type="checkbox"/> Desliz. Rotación de arena <input type="checkbox"/> Desliz. Rotación de lodo		<input type="checkbox"/> Roca <input type="checkbox"/> Detritos <input type="checkbox"/> Tierra <input type="checkbox"/> Lodos <input type="checkbox"/> Turba		<input type="checkbox"/> Húmedo <input type="checkbox"/> Muy Húmedo <input type="checkbox"/> Húmedo <input type="checkbox"/> Liger. Húmedo <input type="checkbox"/> Seco		<input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/> No plástico		<input type="checkbox"/> Hutchinson, 1988 <input type="checkbox"/> Varnes, 1978 <input type="checkbox"/> Cruden y Varnes, 1966 <input type="checkbox"/> Hungr et al., 2001								
ORIGEN, VELOCIDAD Y DEFORMACIÓN																				
ORIGEN SUELO			TIPO DEPOSITO (origen tectónico)			VELOCIDAD			DEFORMACIÓN TERRENO											
<input type="checkbox"/> Residual <input type="checkbox"/> Sedimentario			<input type="checkbox"/> Volcánico <input type="checkbox"/> Aluvial <input type="checkbox"/> Eólico <input type="checkbox"/> Glacial			<input type="checkbox"/> Ext. rápido (>4 m/d) <input type="checkbox"/> Muy rápido (>3 m/d) <input type="checkbox"/> Rápido (>1.8 m/d)			<input type="checkbox"/> Moderado (<13 m/d) <input type="checkbox"/> Lento (>1.6 m/d) <input type="checkbox"/> Muy lento (>16 mm/d)			<input type="checkbox"/> Excr. Lento (<16 mm/d)								
DIMENSIONES DEL TERRENO																				
Diferencia de altura corona a punta (m) Longitud horizontal corona a punta (m) Faldobertura (grados) Pendiente de ladera en Pre-falla (grados) Pendiente de ladera en Post-falla (grados) Dirección del movimiento (grados) Azimut del talud (grados)				Ancho de la masa desplazada Wd (m) Ancho de la superficie de ruptura Ws (m) Longitud de la masa desplazada Ld (m) Longitud de superficie de ruptura Ls (m) Espesor de la masa desplazada Dd (m) Profundidad de superficie de ruptura Ds (m) Longitud total L (m)				Volumen inicial (m ³) Volumen desplazado (m ³) Área inicial (m ²) Área total afectada (m ²) Run up (m) Distancia de viaje (km)				Onda Escalonamiento Severidad Nivel Media Severa								
CAUSAS DEL MOVIMIENTO																				
MATERIALES				CONTRIBUYENTES - DETONANTES				OTROS EFECTOS												
<input type="checkbox"/> Material plástico débil <input type="checkbox"/> Material sensible <input type="checkbox"/> Material cohesivo <input type="checkbox"/> Material menor, fricción <input type="checkbox"/> Material menor, químicamente <input type="checkbox"/> Material fallado por corte				<input type="checkbox"/> Material fríasido y agrietado <input type="checkbox"/> Orientación desfav. de discontinuidades <input type="checkbox"/> Contraste de permeabilidad de materiales <input type="checkbox"/> Contraste de rigidez de materiales <input type="checkbox"/> Meteorici. por descomponimiento/deshielo <input type="checkbox"/> Meteorici. por expansión/contracción				<input type="checkbox"/> Movimiento tectónico <input type="checkbox"/> Sismo M E De P <input type="checkbox"/> Erupción volcánica <input type="checkbox"/> Límite 2ah 48h 72h Mes <input type="checkbox"/> Viento <input type="checkbox"/> Deshielo <input type="checkbox"/> Avance/Retraso de glaciares <input type="checkbox"/> Rompimiento de lagos en crateres <input type="checkbox"/> Rompimiento de presas				<input type="checkbox"/> Desembalse rápido de presas <input type="checkbox"/> Erosión para del talud por glaciares <input type="checkbox"/> Socavación para del talud por corriente agua <input type="checkbox"/> Socavación para del talud por oleaje <input type="checkbox"/> Socavación de margenes de rios <input type="checkbox"/> Erosión Fluvial <input type="checkbox"/> Carga en la corona del talud <input type="checkbox"/> Erosión subterránea (dilatación, tubificación) <input type="checkbox"/> Irrigación				<input type="checkbox"/> Mantenimiento deficiente sistema de drenaje <input type="checkbox"/> Escapes de agua de tuberías <input type="checkbox"/> Deforestación o ausencia de vegetación <input type="checkbox"/> Minería <input type="checkbox"/> Disposición deficiente de escombros/combustibles <input type="checkbox"/> Vibración artificial (tráfico, explosiones, trinchado pilones) <input type="checkbox"/> Erosión Fluvial NOTA: C: Concreto, D: Desembo, E: Erosión, J: Jaqueo, L: Lodo, M: Madera, S: Suelo, T: Talud, V: Vegetación				
EFECTOS SECUNDARIOS																				
TIPO (Costa & Schuster, 1988)			MORFOMETRÍA DE LA PRESA			REPRESENTACIÓN MORFOMETRÍA DEL EMBALSE			CONDICIONES DE LA PRESA			OTROS EFECTOS								
<input type="checkbox"/> I <input type="checkbox"/> II <input type="checkbox"/> III <input type="checkbox"/> IV <input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> VI			Longitud (m) Ancho (m) Volumen (m ³) Talud arriba (°) Talud abajo (°)			Longitud (m) Área (m ²) Volumen (m ³) Nivel agua bajo corona (m)			Área coesma (m ²) Caudal entrada Caudal salida Tasa de llenado			<input type="checkbox"/> Obstrucción parcial <input type="checkbox"/> Erosión de la para <input type="checkbox"/> Estabilización artificial <input type="checkbox"/> Ligeramente socavada			<input type="checkbox"/> Moderadamente socavada <input type="checkbox"/> Fuertemente socavada <input type="checkbox"/> Parcialmente fallada <input type="checkbox"/> Fallada			<input type="checkbox"/> Tsunami (m, h) <input type="checkbox"/> Inundación <input type="checkbox"/> Sedimentación <input type="checkbox"/> Sismo		
POBLACION AFECTADA																				
Heridos Víctimas Desaparecidos Personas Familias				DAÑOS																
TIPO				INFRAESTRUCTURA, ACTIVIDADES ECONÓMICAS, DAÑOS AMBIENTALES				TIPO DAÑO												
				CANTIDAD				UNIDAD												
				I E A				DL DM DS DT NC												
				I E A				DL DM DS DT NC												
				I E A				DL DM DS DT NC												
				I E A				DL DM DS DT NC												
				I E A				DL DM DS DT NC												
				I E A				DL DM DS DT NC												
TIPO DE DAÑO: Infraestructura: edificios, carreteras, inst. educativa, puentes, servicios públicos, vía férrea, torre conducción eléctrica, obras lineales, planta eléctrica, torre de energía, capa asfáltica, galpones, tanque almacenamiento, espolones, distrito riego, puentes peatonales, puentes veredales, acueducto. Económico: agricultura, ganadería, cultivos, semovientes, transporte pasajeros y carga. Ambientales: parques, bosques, plantas tratamiento de agua.																				
NOTAS																				
APRECIACIÓN DEL RIESGO				FECHA				FOTOGRAFÍA												
ANEXO GEOGRÁFICO																				
AUTOR/DERECHOS				OBSERVACIONES																
ESQUEMA DEL MOVIMIENTO																				
PLANTA						PERFIL														
OBSERVACIONES																				
FECHA						FECHA														

Fuente: Formato SIMMA para inventario de Movimientos en masa según Cruden y Varnes, 1996. Luego del reconocimiento en campo y la toma de datos, llenado de formatos de campo se modificaron los formatos y se digitalizaron de una forma más simple para el entendimiento de cualquier lector a continuación se presenta la tabla donde nos indica el número y el formato que tiene cada deslizamiento, además de que tipo de deslizamiento corresponde.

Tabla 22. Movimientos en masa por número

Nombre Formato	Tipo	Numero	Área (m²)
N/A	Deslizamiento traslacional.	1	90,81
N/A	Deslizamiento traslacional.	2	415,76
N/A	Flujo de lodos	3	1196,56
N/A	Deslizamiento traslacional.	4	911,35
N/A	Deslizamiento traslacional.	5	214,81
N/A	Deslizamiento rotacional.	6	362,77
N/A	Deslizamiento traslacional	7	212,88
N/A	Deslizamiento traslacional	8	193,28
N/A	Deslizamiento rotacional.	9	760,84
N/A	Deslizamiento traslacional y caída de rocas	10	2792,94
N/A	Reptación de Suelos.	11	29510,8
N/A	Deslizamiento traslacional.	12	288,43
N/A	Deslizamiento traslacional y reptación de suelos	13	5479,62
BLA-001	Deslizamiento traslacional.	14	9478,59
BLA-002	Deslizamiento traslacional.	15	110,16
BLA-003	Deslizamiento Traslacional.	16	640,30
BLA-004	Deslizamiento traslacional.	17	131,85
BLA-005	Reptación de Suelos.	18	1607,67
BLA-006	Deslizamiento rotacional.	19	1665,28
BLA-007	Deslizamiento traslacional.	20	1453,86
BLA-008	Deslizamiento Traslacional.	21	116,97
BLA-009	Flujo de detritos y de Lodos	22	104758,92
BLB-001	Deslizamiento traslacional.	23	408,92
BLB-002	Caída de detritos.	24	2383,38
BLB-003	Deslizamiento traslacional planar y caída de rocas.	25	2295,28
BLB-004	Deslizamiento traslacional planar y caída de rocas.	26	1295,54
BLB-005	Deslizamiento traslacional planar y caída de rocas.	27	1613,38
BLB-006	Deslizamiento traslacional y caída de roca.	28	1626,35
BLB-007	Reptación de suelos y deslizamiento traslacional.	29	21992,53
BLC-001	Deslizamiento traslacional.	30	2756,96
BLC-002	Deslizamiento traslacional.	31	2255,61
BLC-003	Deslizamiento traslacional.	32	554,60
BLC-004	Deslizamiento traslacional.	33	821,08
BLC-005	Deslizamiento Traslacional.	34	3942,98
BLC-006	Deslizamiento Rotacional.	35	1389,94
BLC-007	Deslizamiento Rotacional.	36	832,90
BLC-008	Reptación de suelos y deslizamiento rotacional.	37	14168,41

BLC-009	Reptacion de suelos	38	14589,95
BLD-001	Flujo de detritos	39	3891,96
BLD-002	Deslizamiento rotacional y reptación de suelos.	40	11972,79
BLD-003	Caída de roca y Deslizamiento traslacional.	41	1954,30
BLD-004	Deslizamiento traslacional.	42	175,67
BLD-005	Deslizamiento traslacional.	43	228,90
BLD-006	Caída de detritos	44	822,60
BLD-007	Deslizamiento traslacional.	45	2108,72
BLD-008	Deslizamiento traslacional en cuña.	46	1740,64
BLD-009	Deslizamiento traslacional.	47	758,61
BLD-010	Reptación de suelos.	48	17192,39
BLD-011	Deslizamiento traslacional.	49	163,72
BLE-001	Deslizamiento traslacional.	50	1490,73
BLE-002	Reptación de suelos.	51	127056,77
BLE-003	Deslizamiento rotacional.	52	896,06
BLE-004	Deslizamiento rotacional.	53	4062,50
BLE-005	Deslizamiento rotacional.	54	3295,56
BLE-006	Deslizamiento Traslacional.	55	1066,16
BLE-007	Reptación de Suelos.	56	4865,50

Fuente: Autor.

A continuación se presenta un ejemplo de los formatos de los deslizamientos vistos en campo en el municipio de Belén. El formato fue creado por la Ingeniera Geóloga Lady Patricia Rodríguez (GPS SA.) y modificado por el Autor para una mejor apreciación, *Tabla 23*.

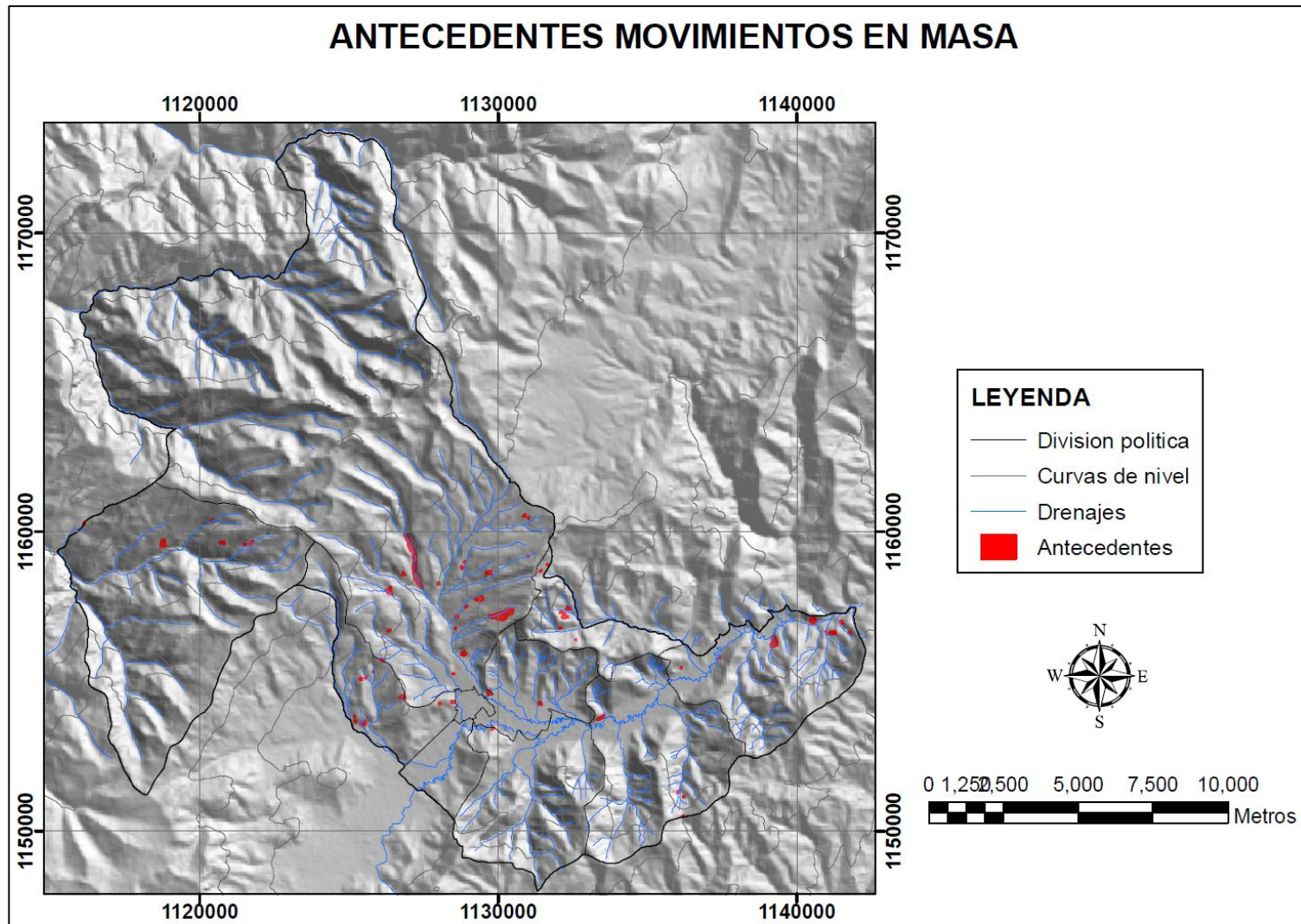
En total se reconocieron en campo 43 movimientos en masa los formatos de estos se pueden apreciar en el *Anexo No 3 Inventario de movimientos en masa*, y 13 en interpretación visual de imágenes satelitales de zonas poco accesibles, todos estos movimientos se presentan en la *figura 30*.

Tabla 23. Formato movimiento en masa BLA-001

EVENTO BLA-001: INESTABILIDAD CANTERA VIA BELEN – SOATÁ KM 1	
<p><i>Fotografía 1. Inestabilidad de la cantera Belén - Soatá</i></p>  <p><i>Fuente: Trabajo de Campo, Grupo Consultor EOT, 2015.</i></p>	
<p>LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA: Vereda El Bosque.</p> <p>COORDENADAS:</p> <p>X: 1128789</p> <p>Y: 1155889</p> <p>ALTURA: 2728 msnm</p> <p>DIMENSIONES GENERALES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diferencia altura corona a punta: 40 m • Longitud horizontal corona a punta: 40m • Pendiente media del deslizamiento: 42° • Dirección del movimiento: SW <p>DIMENSIONES DEL TERRENO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ancho de la corona: 50 m • Ancho de la masa desplazada: 60 m • Espesor de la masa desplazada: 9m • Longitud total: 120 m • Longitud de la masa desplazada: 90 m 	<p>DESCRIPCIÓN: Cantera de recebo explotada durante 40 años, actualmente abandonada, se ha sobre explotado a partir de 2011 sin tener un control del Talud y desde allí se ha venido desestabilizando, teniendo movimiento del material rocoso localizado hacia la parte derecha de esta cantera. Presenta un talud con algunos escalones con pendiente de hasta 45 °.</p> <p>TIPO DE MATERIAL: Recebo (Cuarzomonzonitas altamente meteorizadas)</p> <p>CLASIFICACIÓN DEL FRM: Deslizamiento traslacional.</p> <p>ELEMENTOS EXPUESTOS: Vivienda, Vía principal y vegetación aledaña.</p>
<p>CAUSAS: Explotación sin planeamiento previo, infiltración de aguas lluvias que meteorizan físicamente la roca, deforestación vegetal y de cierto modo la vibración artificial (explosiones y tráfico).</p>	<p>DAÑOS CAUSADOS: Aceleración proceso de erosión por explotación. Aumento del riesgo de inestabilidad y algunos desprendimientos. Degradación estética del paisaje. Desaparición del uso productivo de la tierra.</p>
<p>OBSERVACIONES: Explotación de material de recebo que data de 40 años, sin ninguna medida preventiva que evite la inestabilidad del terreno y al contrario que se suscite un movimiento en cualquier momento.</p> <p><i>Se debe hacer un balance costo beneficio para evaluar la posibilidad de estabilizar y continuar con la explotación de recebo en el Municipio de Belén.</i></p>	<p>MEDIDAS PREVENTIVAS: Reubicación de las personas en vivienda.</p> <p>Canalización de la Corona de deslizamiento para el manejo de aguas de escorrentía.</p> <p>Evitar la extracción de material de recebo hasta que el riesgo sea mínimo.</p> <p>MEDIDAS CORRECTIVAS: Realizar el estudio geotécnico correspondiente y se sugiere realizar un terraceo del talud y revegetalización.</p>

Fuente: Autor.

Figura 21. Movimientos en masa tomados en campo



Fuente: Autor

10.1.2 Metodología

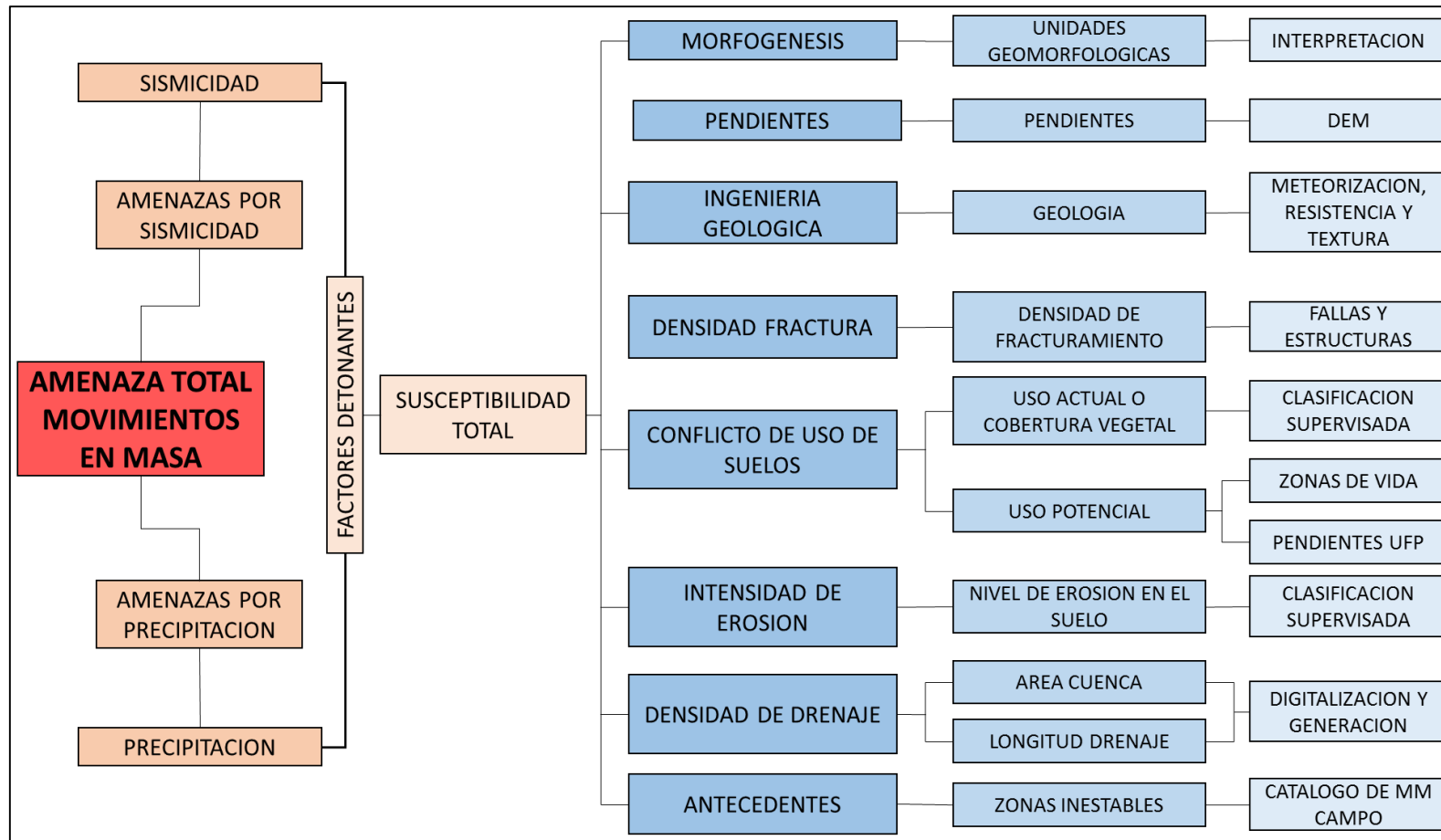
Para la generación de mapas temáticos descriptivos de las condiciones de susceptibilidad a la generación de movimientos en masa se ha establecido la ejecución de una serie de actividades encaminadas a la recopilación, ajuste y procesamiento de información de tal manera que se logre evaluar de forma precisa, cada una de las coberturas conceptuales de hidrometeorología, geología, suelos, erosión, pendientes, conflictos de uso y geomorfología.

Las actividades que se desarrollaron para el procesamiento de esta información, comprendió actividades referentes a fotointerpretación, captura de datos en campo, construcción de modelos digitales de elevación y modelación a partir de cálculos probabilísticos para periodos de retorno. Los datos y registros básicos de análisis se procesaron mediante análisis geoestadístico donde los resultados de la correlación se plasmaron en los mapas representativos de factores detonantes dentro de la generación de fenómenos de movimientos en masa (deslizamiento, derrumbes, flujo de lodos, desprendimiento de rocas).

Para el manejo de los datos los que hallan que interpolar y generar en raster posteriormente deberán ser reclasificados y convertidos a formato shape (Vector) para su fácil manejo.

En la *figura 22*, esquematiza la secuencia metodológica seguida en cada una de las fases con el ánimo de lograr la zonificación de amenazas por movimientos en masa, que posteriormente se puede usar para la identificación de los elementos Vulnerables, los Escenarios de Riesgo, la aptitud para uso urbano, entre otros.

Figura 22. Metodología aplicada a la zonificación de amenazas por movimientos en masa.



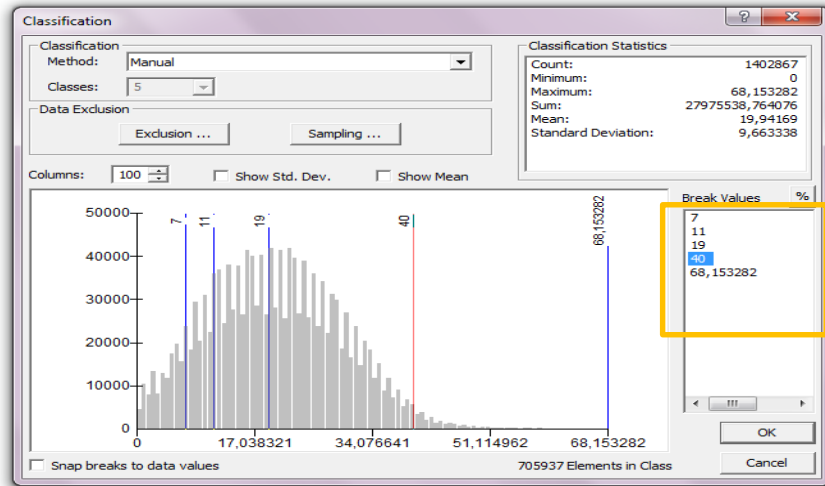
Fuente: Zonificación de amenazas en el municipio de Yopal Casanare. UPTC, 2007. Reconstruido por el autor.

10.1.2.1 Pendientes

La pendiente se define como el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal. Su valor se expresa en grados de 0° a 90° o en porcentaje, se relaciona con los movimientos en masa de manera que; a mayor el grado de pendiente aumenta la susceptibilidad a los movimientos en masa³³.

Se realiza un proceso de análisis de triangulación del Dem SRTM, para hallar los grados de pendiente con el módulo de Slope de ArcGis. Seguido de este se realiza una reclasificación en los cuales se dan determinados rangos, propuestos por la metodología del Servicio geológico colombiano, los cuales se pueden observar en la *figura 23*, para luego convertirlos en formato Vector.

Figura 23. Rangos utilizados para Mapa de Pendientes.



Fuente: Autor.

Del mapa resultante del procedimiento anterior, se llega a evaluar la susceptibilidad teniendo en cuenta la siguiente Clasificación:

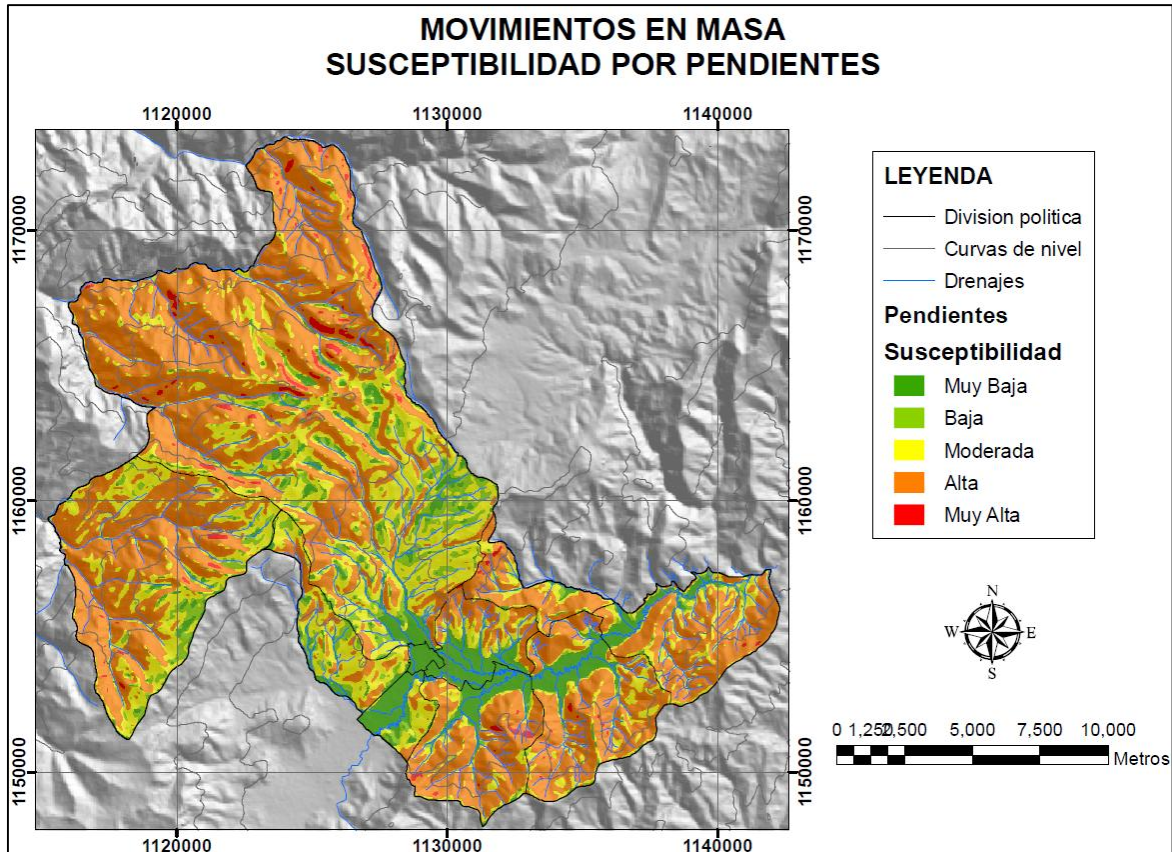
Tabla 24. Susceptibilidad de la Pendiente.

Calificación	Descripción	Susceptibilidad	Pendiente en Grados
1	Plana a suavemente Inclinada	Muy Baja	0 - 7
2	Inclinada	Baja	7 - 11
3	Muy Inclinada	Moderada	11 - 19
4	Abrupta	Alta	19 - 40
5	Escarpada	Muy Alta	> 40

Fuente: INGEOMINAS, 2009

³³ Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, Servicio geológico Colombiano, 2013

Figura 24. Mapa de susceptibilidad de pendientes



Fuente: Autor.

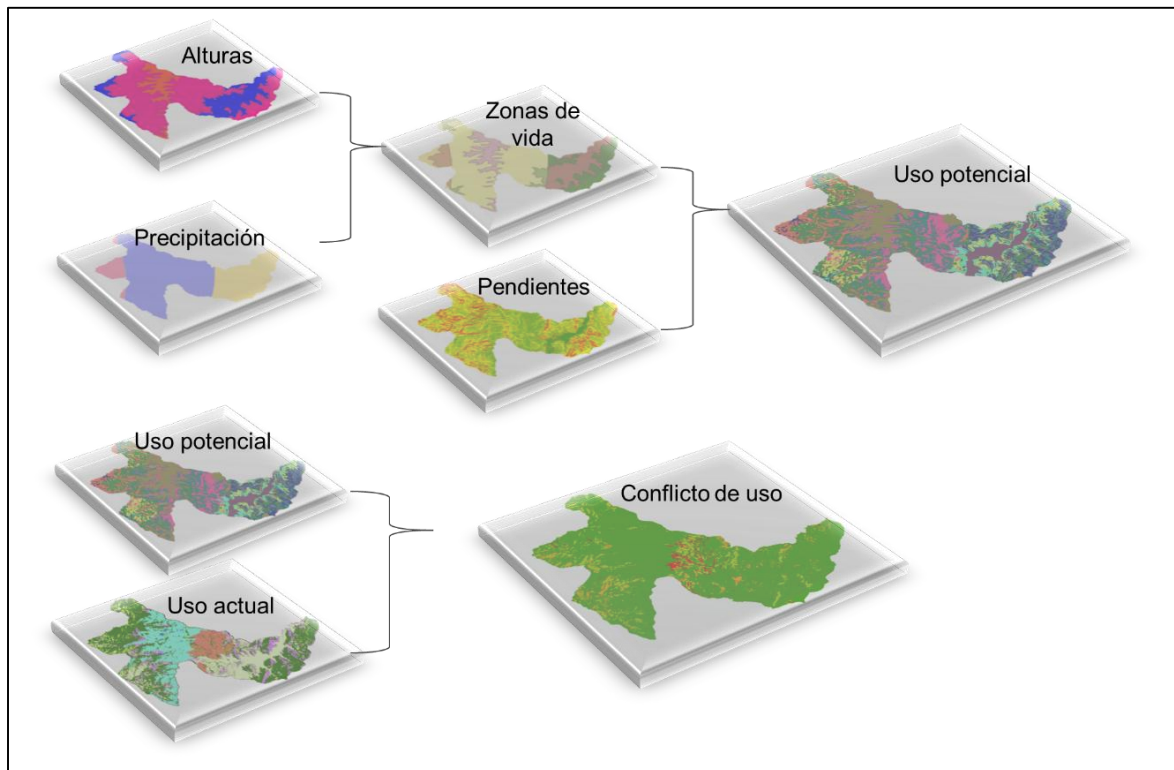
10.1.2.2 Conflicto de Uso del suelo

El mapa de conflicto de uso es muy importante en lo que tiene que ver con las diversas actividades humanas con respecto al manejo y uso del suelo, es por ello que este mapa se obtiene a partir de la relación del Uso Actual y Uso Potencial. Como producto de esta relación es necesario realizar el respectivo análisis en el cual se determina discrepancias o similitudes.

Al realizar la respectiva comparación, se obtiene la identificación de áreas que pueden verse afectadas por degradación y también el estado de los recursos naturales. Para realizar los conflictos de usos se debe hacer un proceso de superposición de mapas, teniendo en cuenta varios aspectos como la precipitación, la altura sobre el nivel del mar, las pendientes y la profundidad de suelos.

Para la generación de conflicto de uso se es necesario hacer un procedimiento lógico de suma de mapas, en donde se tienen diferentes variables las cuales zonifican el uso potencial y a partir de una comparación con el uso actual y/o Cobertura vegetal se analiza que conflictos hay. Para la generación de estos mapas se tomó en cuenta la metodología empleada en la Guía de planificación de unidades familiares de producción de la meseta de Bucaramanga, aquí no se describirá a profundidad.

Figura 25. Superposición de mapas conflicto de uso



Fuente: Autor, Guía de planificación de unidades familiares de producción de la meseta de Bucaramanga.

10.1.2.2.1 Zonas de vida:

El sistema de clasificación fue establecido por L.R. Holdridge, es usado para establecer las diferentes áreas terrestres según su comportamiento global bioclimático (Alturas, Precipitación y Temperatura para un ambiente ecuatorial).

En este estudio no se tendrá en cuenta la temperatura. A continuación se muestra la tabla de zonas de vida que aparecen en el municipio y sus respectivos rangos según Holdridge.

Tabla 25. Rangos para zonas de vida

Precipitación	Alturas	Zona de Vida
500-1000 mm	2800-3800 m	Bosque húmedo montano
1000-2000 mm	2000-2800 m	Bosque húmedo montano bajo
1000-2000 mm	2800-3800 m	Bosque muy húmedo montano
2000-4000 mm	2000-2800 m	Bosque muy húmedo montano bajo
2000-4000 mm	800-2000 m	Bosque muy húmedo premontano
2000-4000 mm	2800-3800 m	Bosque pluvial montano
500-1000 mm	2000-2800 m	Bosque seco montano bajo
2000-4000 mm	3800-4500 m	Paramo pluvial subalpino
500-1000 mm	3800-4500 m	Paramo subalpino

Fuente: Guía de planificación de unidades familiares de producción de la meseta de Bucaramanga. Este mapa se realizó en el programa Arcgis 9.3 donde primero se reclasificó el modelo digital de elevación (DEM) y el raster de precipitación anual con los rangos respectivos mostrados en la *Tabla 26*. A continuación se superponen estos mapas y se clasifica según los intervalos dándole su respectivo nombre de la zona de vida.

10.1.2.2.2 Uso potencial:

Se define como la capacidad natural que poseen las tierras para producir o mantener una cobertura vegetal. Esta capacidad natural se puede ver limitada por la presencia de procesos erosivos severos y muy severos, por la profundidad efectiva, por el grado de pendiente, por las características químicas y físicas de cada suelo, por niveles freáticos fluctuantes, por el régimen de lluvias, entre otras.³⁴ A continuación se muestra la tabla de los rangos de uso potencial los cuales varían según su zona de vida.

Tabla 26. Rangos para uso potencial

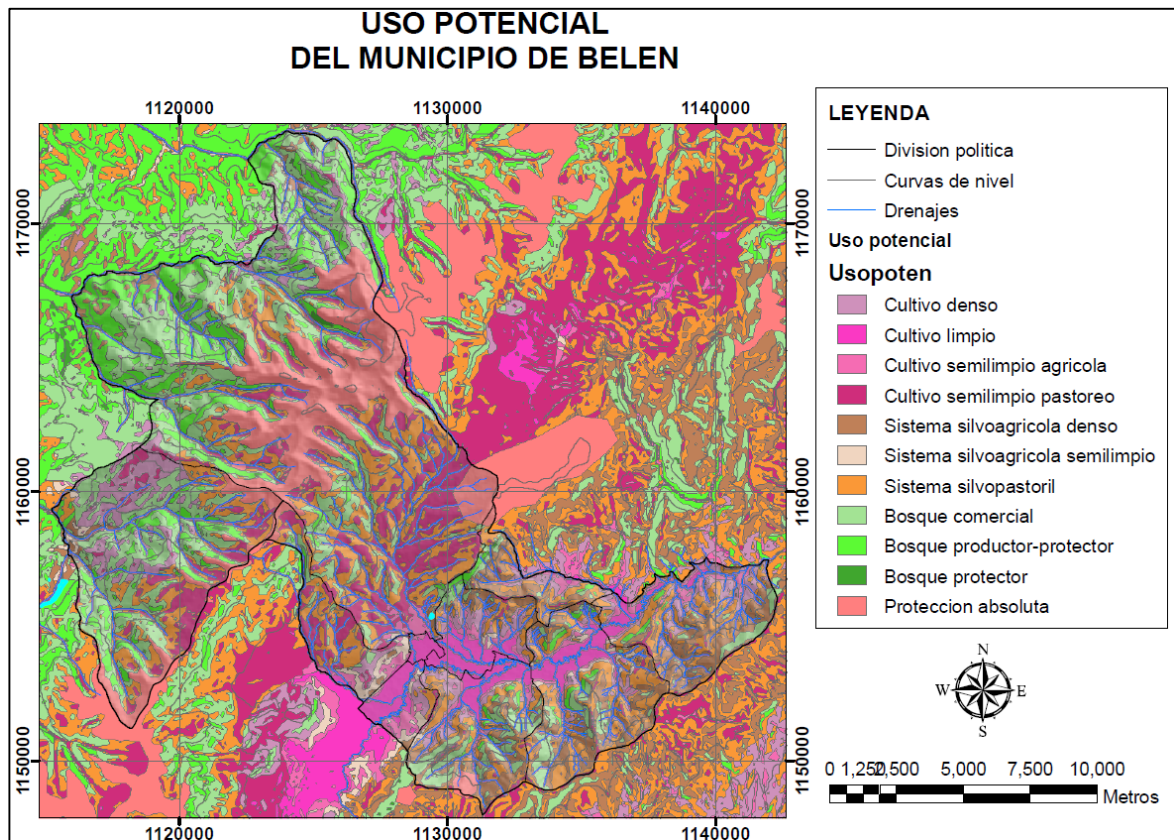
<i>Zona de Vida: Bosque Húmedo Tropical</i>			
Profundidad	Pendiente (%)	Profundidad	Uso Potencial
Superficial <25 cm.	—————▶		Protección Absoluta
Mod. Profundo a Muy Profundo >25cm.	0 - 12		Cultivo Limpio
	13 - 30		Cultivo Semilimpio (Agrícola)
	31 - 50	Profundo > 60 cm	Cultivo Semilimpio (Pastoreo)
		Mod. Profundo 25 - 60 cm	Cultivo Denso
	51 - 70		Sistema Silvopastoril
	70 - 100		Bosque Comercial o Cacao
> 100	Bosque Protector		

Fuente: Guía de planificación de unidades familiares de producción de la meseta de Bucaramanga.

³⁴ Grupo Sistema De Información Ambiental Guía Rápida Temática Para El Usuario Sig Corporativo Uso Potencial Y Zonificación Forestal / GeoCVC.

Para la generación del uso potencial se generó una triangulación del modelo digital de elevación (DEM SRTM) para generar pendientes del terreno con la herramienta Slope de Arcgis luego se clasifico con los rangos anteriormente mostrados, teniendo en cuenta la profundidad del suelo, se cruza con las zonas de vida, además de agregar las zonas de protección como lo son las rondas de agua. En la metodología UFP de la meseta de Bucaramanga especifica por cada zona de vida una tabla con los rangos de pendientes para la clasificación de cada uso potencial.

Figura 26. Uso potencial



Fuente: Autor.

10.1.2.2.3 Conflicto de uso:

Se obtuvo de la superposición y análisis de las temáticas de Uso Actual y Uso potencial del Suelo para determinar su grado de discrepancia o similitud. En el estudio de amenazas por movimientos en masa las zonas de conflicto indican el efecto que tiene la actividad antrópica sobre los suelos.

El conflicto de uso permite establecer una comparación en el uso real y el uso potencial, con el fin de evaluar el estado de los recursos naturales e identificar áreas que pueden degradarse como consecuencia de uso inadecuados.³⁵

Se realizó el cruce de las coberturas de uso actual y uso potencial en Arcgis y se compararon mediante el sistema de clasificación establecido en la guía de planificación de unidades familiares de producción de la meseta de Bucaramanga que califica el grado de conflicto de uso.

Tabla 27. Sistema de comparación de conflicto de uso

Uso Actual	Uso Potencial													
	CL	CSL (a)	SA (l)	CSL (p)	SA (sl)	CD	SP	SA (d)	SA (cf)	BC	BPP	BP	PT	
CL	ADECUADO							MUY INADECUADO						
CSL(a)	ADECUADO							MUY INADECUADO						
SA (l)	ADECUADO							MUY INADECUADO						
CSL (p)	ADECUADO							MUY INADECUADO						
SA (sl)	ADECUADO							MUY INADECUADO						
CD	ADECUADO							MUY INADECUADO						
SP	ADECUADO							MUY INADECUADO						
SA (d)	ADECUADO							MUY INADECUADO						
R	ADECUADO							MUY INADECUADO						
SA (cf)	ADECUADO							MUY INADECUADO						
BC	ADECUADO							MUY INADECUADO						
BPP	SUBUTILIZADO							MUY INADECUADO						
BP	SUBUTILIZADO							MUY INADECUADO						
PA	SUBUTILIZADO							MUY INADECUADO						

Fuente: Guía de planificación de unidades familiares de producción de la meseta de Bucaramanga.

Posteriormente, se procede a calificar la susceptibilidad a la generación de movimientos en Masa con la siguiente tabla:

Tabla 28. Valores de Susceptibilidad grado de conflicto de uso.

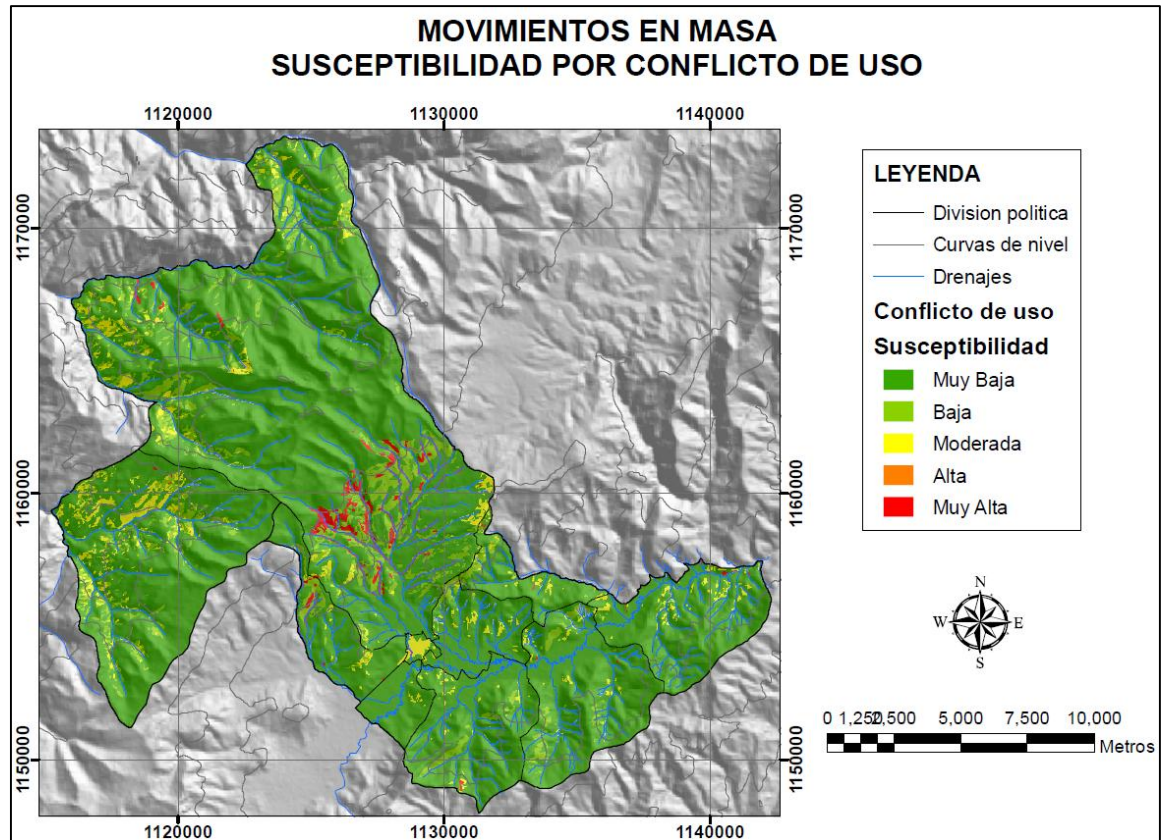
Susceptibilidad	Grado De Conflicto
1	Muy Bajo
2	Bajo
3	Medio
4	Alto
5	Muy Alto

Fuente: Autor.

Con la tabla anterior se analiza el grado de conflicto y se califica la susceptibilidad del suelo a presentar movimientos en masa.

³⁵ Conflictos de uso del suelo y zonas ambientalmente críticas en la zona costera-marina de Lima metropolitana. / Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG

Figura 27. Mapa de susceptibilidad por conflicto de uso



Fuente: Autor.

10.1.2.3 Intensidad de erosión

La erosión es la degradación y el transporte del suelo o roca que producen distintos procesos en la superficie de la Tierra. Entre estos agentes está la circulación de agua o hielo, el viento, o los cambios térmicos. La erosión implica movimiento, transporte del material, en contraste con la disgregación de las rocas, fenómeno conocido como meteorización y es uno de los principales factores del ciclo geográfico. Puede ser incrementada por actividades humanas o antropogénicas.³⁶

Esta indica el grado de degradación del suelo y pérdida de cobertura vegetal, y a mayor intensidad de erosión mayor susceptibilidad a presentar movimientos en masa. Para la generación del mapa de intensidad de erosión se utilizó el programa IDRISI TAIGA con herramientas de clasificación supervisada de una imagen Landsat 7 ETM de las bandas RGB742, a partir de puntos de control tomados en

³⁶ <http://es.wikipedia.org/wiki/Erosion>

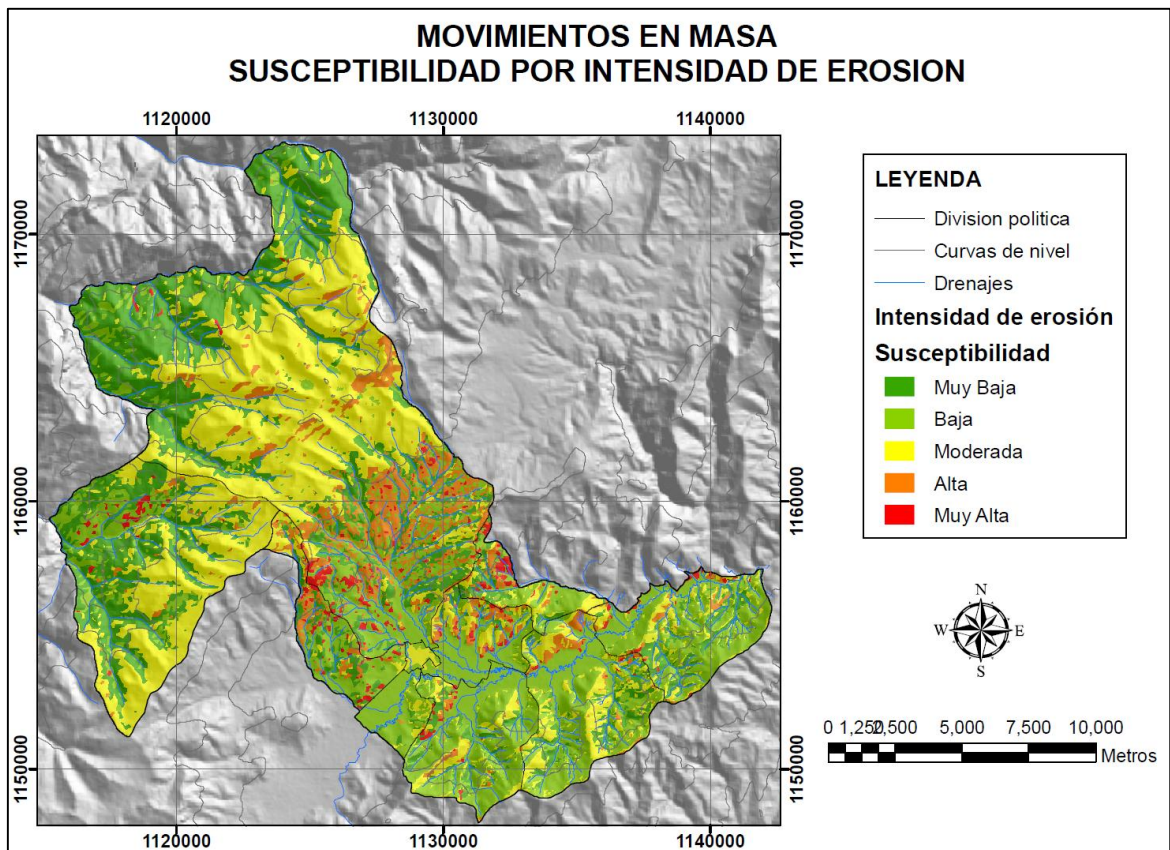
campo y de imágenes de alta definición se clasifica en 5 rangos de intensidad. La intensidad baja se presenta en zonas donde se encuentran bosques y matorrales altos, moderada en zonas de pastos y rastrojos, y alta en zonas donde ya se ha perdido la cobertura vegetal.

Tabla 29. Susceptibilidad de erosión

Susceptibilidad	Intensidad
1	Muy Baja
2	Baja
3	Moderada
4	Alta
5	Muy Alta

Fuente: Zonificación de amenazas del municipio de Yopal Uptc

Figura 28. Mapa de susceptibilidad por intensidad de erosión.



Fuente: Autor.

10.1.2.4 Densidad de drenaje

La densidad de drenaje se define como la longitud de drenajes en una cuenca dividida en el área de la misma cuenca. La densidad me indica y se asocia con el tipo de material a nivel superficial, vegetación dispersa y tipo de relieve, además me indica la cantidad de agua que se puede a llegar a encontrar en una cuenca.

Para la generación de este insumo se hizo a partir de un proceso estadístico el cual me indica la longitud total de drenajes por cuenca y el área de cada una de las cuencas, esto se realizó en el programa Arcgis con la herramienta Calculate Geometry, luego de hallar el área se clasifico en los rangos mostrados en la *tabla 30*. La fórmula de densidad de drenaje se muestra a continuación donde Lt es la longitud total de drenajes por cuenca (Km) y A es el área de la cuenca respectiva (Km²).

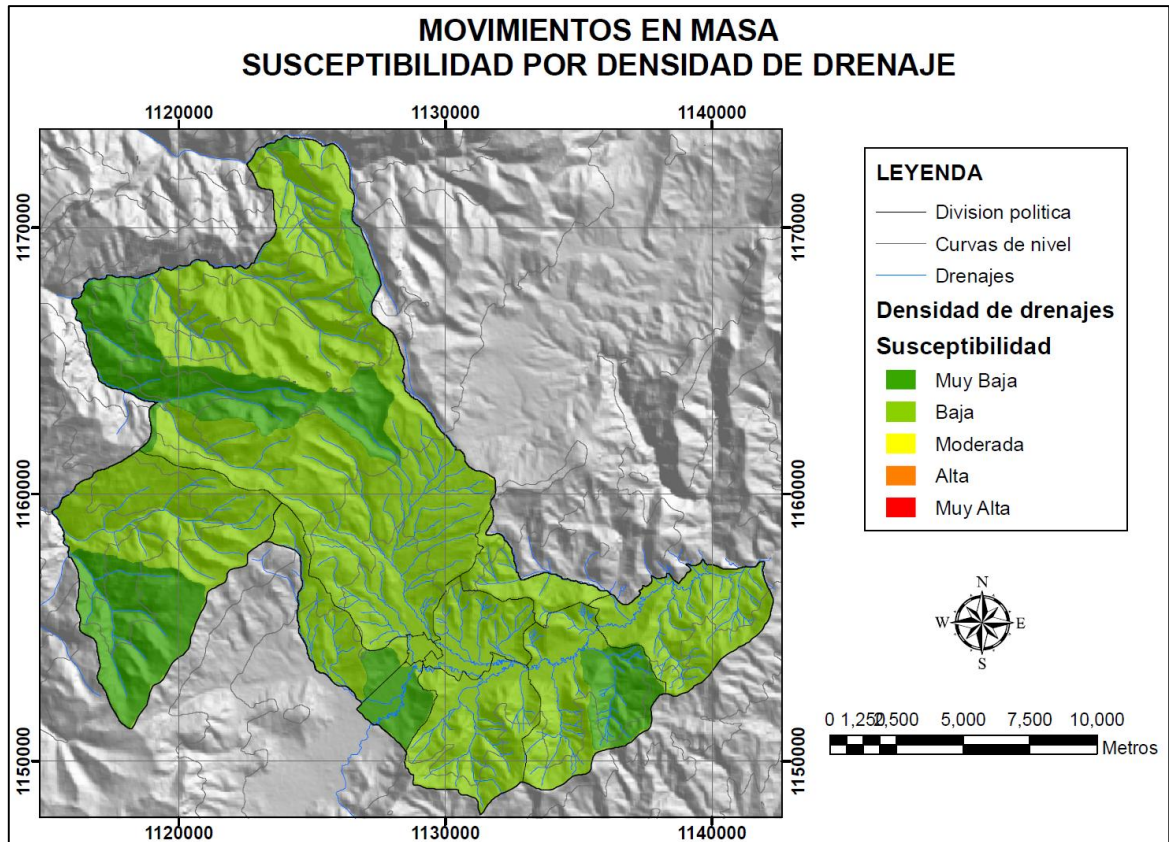
$$D_d = \frac{L_t}{A}$$

Tabla 30. Susceptibilidad de densidad de drenaje

Susceptibilidad	Densidad De Drenaje
1	0-1 Km/Km2
2	1-2 Km/Km2
3	2-2.5 Km/Km2
4	2.5-3 Km/Km2
5	>3 Km/Km2

Fuente: Autor, modificado de Delgadillo y Páez 2008

Figura 29. Mapa de susceptibilidad por densidad de drenaje.



Fuente: Autor.

10.1.2.5 Morfogénesis

Las unidades geomorfológicas anteriormente descritas, clasificadas por génesis u origen es un enfoque a determinar los factores que afectan la resistencia de los materiales. Evidencian que zonas son más dispuestas a ser afectadas por los factores climáticos dependiendo de su intensidad, mostrando así la susceptibilidad a presentar un movimiento en masa.

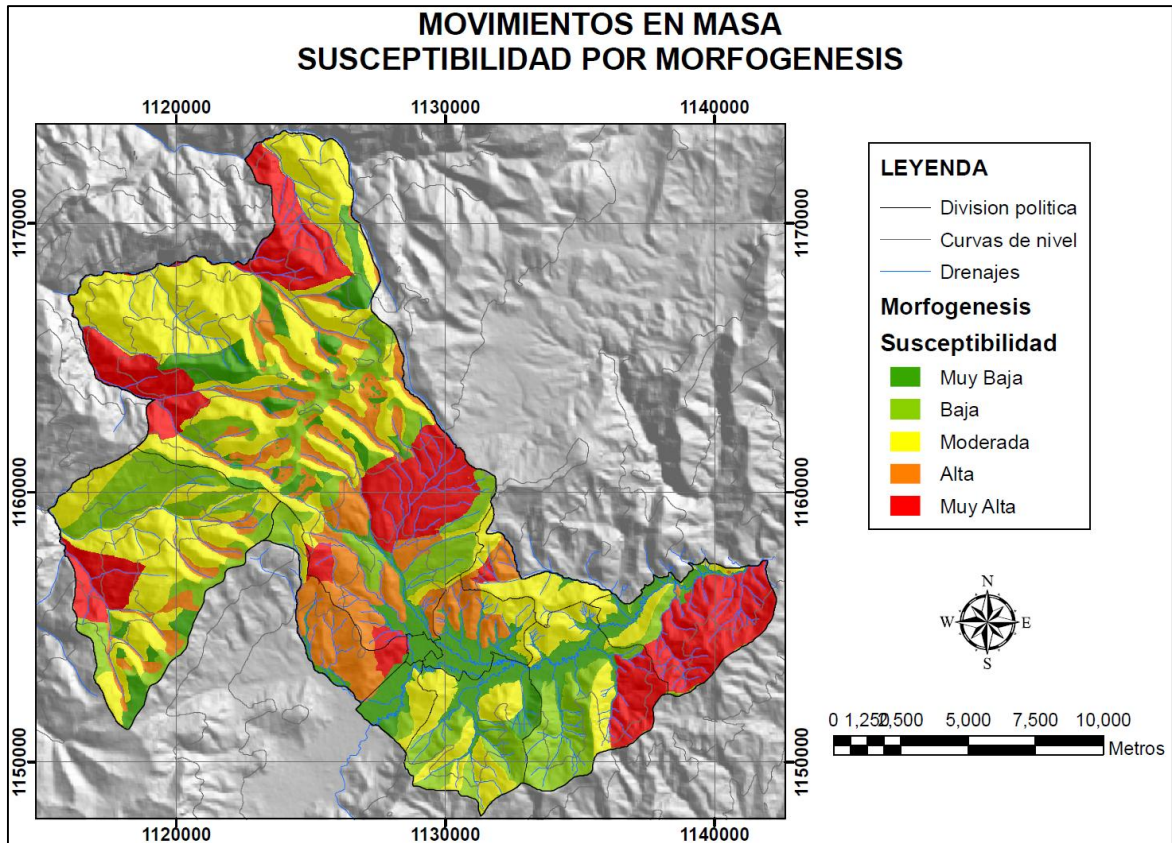
Para la calificación de la susceptibilidad geomorfológica se tuvieron en cuenta varios factores entre las cuales están el origen del material, la degradación del mismo, las características de las geoformas y por último la recurrencia de movimientos en masa de las diferentes geoformas. A continuación se muestra la tabla de calificación de susceptibilidad ordenada según el origen de la geoforma y su susceptibilidad.

Tabla 31. Susceptibilidad geomorfológica

Simb	Ambiente	Nombre	Suscep.
Dmo	Denudacional	Montículo y ondulaciones denudacionales	1
Fpi	Fluvial	Plano o llanura de inundación	1
Gce	Glacial	Cuesta glaciada	1
Glg	Glacial	Laguna Glacial	1
Gsg	Glacial	Sierra Glaciada	1
Gshg	Glacial	Sierra homoclinal glaciada	1
Sssle	Estructural	Ladera estructural de sierra sinclinal	1
Gc	Glacial	Circo glacial y de nivación	2
Gcle	Glacial	Ladera estructural de cuesta glaciada	2
Gegle	Glacial	Ladera estructural de espinazo glaciado	2
Sc	Estructural	Cuesta	2
Scle	Estructural	Ladera estructural de cuesta	2
Sle	Estructural	Ladera estructural	2
Sles	Estructural	Ladera escalonada	2
Slf	Estructural	Lomo de falla	2
Ssslc	Estructural	Ladera de contrapendiente sierra sinclinal	2
Ase	Antrópico	Excavaciones	3
Dcred	Denudacional	Colina remanente disectada	3
Deeme	Denudacional	Escarpe de erosión menor	3
Dldebc	Denudacional	Lomo denudado bajo de longitud corta	3
Dsd	Denudacional	Sierra denudada	3
Gcgf	Glacial	Conos glaciofluviales	3
Gclc	Glacial	Ladera Contrapendiente de cuesta glaciada	3
Geglc	Glacial	Ladera de contrapendiente de espinazo glaciado	3
Gflv	Glacial	Flancos de valle Glacial	3
Sce	Estructural	Cerro estructural	3
Sclc	Estructural	Ladera de contrapendiente de cuesta	3
Slcp	Estructural	Ladera contrapendiente	3
Ac	Antrópico	Cantera	4
Deem	Denudacional	Escarpe de erosión mayor	4
Dld	Denudacional	Loma denudada	4
Dldi	Denudacional	Lomeríos disectados	4
Dlo	Denudacional	Ladera ondulada	4
Dlor	Denudacional	Loma residual	4
Gmf	Glacial	Morrena de fondo	4
Gml	Glacial	Morrena lateral	4
Def	Denudacional	Escarpe facetado	5
Dle	Denudacional	Ladera erosiva	5
Dlres	Denudacional	Lomo residual	5

Fuente: Autor y Servicio Geológico Colombiano.

Figura 30. Mapa de susceptibilidad geomorfológica



Fuente: Autor

10.1.2.6 Ingeniería geológica

Es importante complementar la geología (litología, estructuras) con información tomada en campo como: Grado de meteorización, localización de depósitos, aptitud estructural y resistencia de las rocas que componen las diferentes formaciones encontradas en el municipio para establecer unidades de Ingeniería Geológica que agrupen a los diferentes materiales litológicos superficiales encontrados en el área en grupos de similar comportamiento geomecánico con el objetivo de aportar información sobre la estabilidad de los materiales presentes en la zona de estudio, aportando así información índice en la conformación del SIG.

Las unidades geológicas encontradas en el área, fueron calificadas teniendo en cuenta la resistencia (Res), textura (Tex) y meteorización (Met, calificada según en campo) en rangos de 1-5 (Ver tabla). Los valores más altos, hacen referencia a las formaciones más susceptibles a fenómenos de inestabilidad.

Figura 31. Resistencia de los materiales

Grade*	Term	Uniaxial Comp. Strength (MPa)	Point Load Index (MPa)	Field estimate of strength	Examples
R6	Extremely Strong	> 250	>10	Specimen can only be chipped with a geological hammer	Fresh basalt, chert, diabase, gneiss, granite, quartzite
R5	Very strong	100 - 250	4 - 10	Specimen requires many blows of a geological hammer to fracture it	Amphibolite, sandstone, basalt, gabbro, gneiss, granodiorite, limestone, marble, rhyolite, tuff
R4	Strong	50 - 100	2 - 4	Specimen requires more than one blow of a geological hammer to fracture it	Limestone, marble, phyllite, sandstone, schist, shale
R3	Medium strong	25 - 50	1 - 2	Cannot be scraped or peeled with a pocket knife, specimen can be fractured with a single blow from a geological hammer	Claystone, coal, concrete, schist, shale, siltstone
R2	Weak	5 - 25	**	Can be peeled with a pocket knife with difficulty, shallow indentation made by firm blow with point of a geological hammer	Chalk, rocksalt, potash
R1	Very weak	1 - 5	**	Crumbles under firm blows with point of a geological hammer, can be peeled by a pocket knife	Highly weathered or altered rock
R0	Extremely weak	0.25 - 1	**	Indented by thumbnail	Stiff fault gouge

* Grade according to Brown (1981).
 ** Point load tests on rocks with a uniaxial compressive strength below 25 MPa are likely to yield high ambiguous results.

Fuente: Metodología de zonificación de amenazas escala 1:100000, SGC.

Tabla 32. Calificación resistencia de los materiales

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

Fuente: Metodología de zonificación de amenazas escala 1:100000, SGC.

Tabla 33. Textura de las rocas

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

Fuente: Metodología de zonificación de amenazas escala 1:100000, SGC.

A cada parámetro de la unidad geológica, se le dio un peso que fue después reclasificado, asignando finalmente un valor de susceptibilidad de unidades de Ingeniería Geológica representado por los límites estratigráficos de cada una de las unidades geológicas correspondientes. Para el caso de los depósitos (Dep) se les asigno una calificación de susceptibilidad directamente teniendo en cuenta que por su naturaleza no es posible asignar calificación de textura ni de resistencia.

Tabla 34. Calificaciones de depósitos

Ambiente	Deposito	Geoforma Asociada	Ambiente geológico	Calif.
Denudacional	Depósitos coluviales	Cono y lóbulo coluvial y de soliflucción y Conos de deyección, Glacis de acumulación	Qc/Qd/Q2v/ Qt1/Q/Q2c/ Qdp/Qcol/Q dt/Qac/Qtf/ Qgd1/Qgd2	5
	Depósitos de detritos	Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional de detritos, Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional de detritos.	Qco/Q/Qdt	4
	Depósitos de tierras	Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional de tierras, Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional de tierras	Qco	5
	Depósitos de terraza sobre elevada	Terraza sobreelevada o colgada	Qt1	4
	Depósitos costras ferruginosas o calcáreas	Planos aterrazados o duricostras, Terrazas o mesas calcretas o silicretas	Qcf	1
	Depósitos lodos	Cono o lóbulo de flujo de lodo	Qfl	5

Fuente: Metodología de zonificación de amenazas escala 1:100000, SGC.

Tabla 35. Grado de susceptibilidad Ingeniería geológica.

Susceptibilidad	Categoría
Muy Bajo	1
Bajo	2
Moderada	3
Alto	4
Muy Alto	5

Fuente: Autor

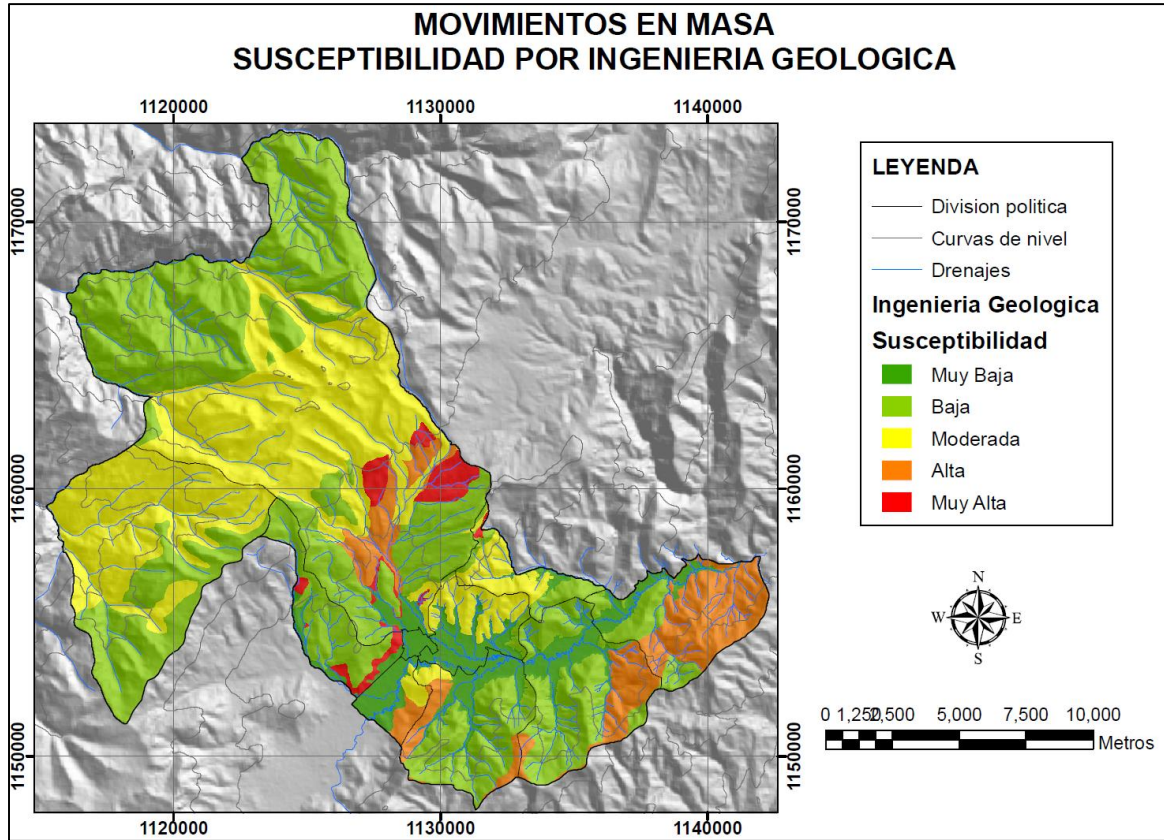
Con las formaciones presentes en la zona se tiene la siguiente Calificación:

Tabla 36. Calificación de susceptibilidad por formación.

Simb.	Nombre	Met	Res	Tex	Dep	Suscep.
Qal	Cuaternario Aluvial				1	1
Kg1	Formación Labor y Tierna	2	2	3		2
Kg2	Formación Plaeners	1	2	4		2
Kiu	Formación Une	2	1	3		2
Kit	Formación Tibasosa	3	1	1		2
Jr	Formación Rusia	2	2	3		2
Dt	Formación Tibet	2	2	3		2
JRcm	Cuarzomonzonita biotítica	3	1	1		2
JRr	Riolitas grisáceas	3	1	1		2
pD?so	Stock de Otengá	3	1	1		2
Qm	Cuaternario Morrena				3	3
Ksc	Formación Chipaque	3	3	4		3
Jim	Formación Montebel	3	3	4		3
Dfm	Formación Floresta M	3	3	4		3
O?cs	Cuarzomonzonitas de Santa Rosita	5	2	1		3
Qfg	Cuaternario Fluvioglacial				4	4
Cc	Formación Cuche	4	3	4		4
Df	Formación Floresta	4	3	4		4
Qc	Cuaternario Coluvial				5	5

Fuente: Autor y Servicio Geológico Colombiano.

Figura 32. Mapa de susceptibilidad ingeniería geológica.



Fuente: Autor.

10.1.2.7 Antecedentes y zonas inestables

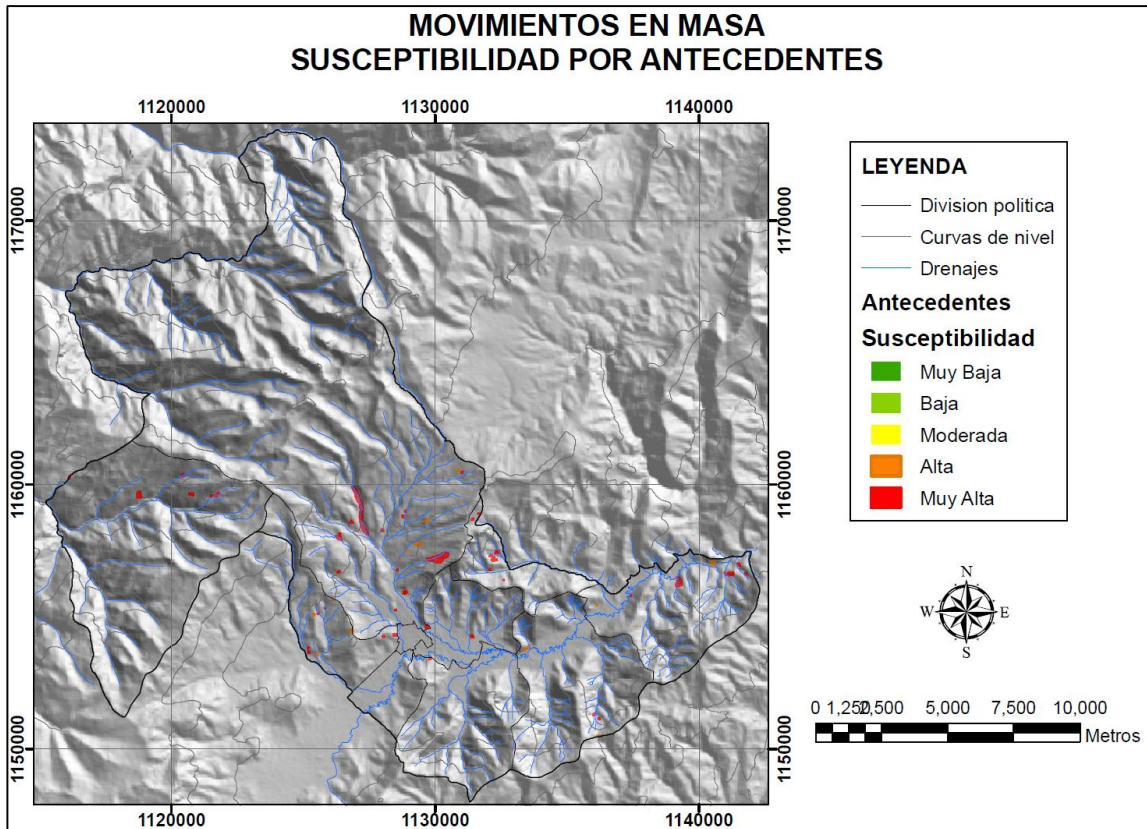
Se realiza a partir del inventario de movimientos en masa identificados en campo y por interpretación visual de imágenes. Se califica con respecto al tipo de zona inestable de la siguiente forma:

Tabla 37. Susceptibilidad de zonas inestables

Tipo de zona inestable	Susceptibilidad
Cantera	4
Movimiento en masa	5

Fuente: Autor.

Figura 33. Mapa de Susceptibilidad de zonas inestables



Fuente: Autor.

10.1.2.8 Densidad de fracturamiento

La variable densidad de fracturamiento se utilizó la cartografía de densidad de fractura del proyecto “Zonificación de la Amenaza por Movimientos en Masa escala 1:500.000”. La información original se tomó de las estructuras contenidas en el mapa geológico de Colombia (MGC, 2007) escala 1:500.000, la cual incluye el trazado de las fallas y lineamientos estructurales, así como los ejes de los pliegues mayores más persistentes que afectan las rocas. Se toma como base las tasas de desplazamiento de las estructuras con deformaciones en el Cuaternario, determinadas por Paris et al. (2000) y el grupo de Amenazas Sísmica de INGEOMINAS. Se asume que a mayor tasa de desplazamiento hay un mayor grado de fracturamiento. La figura indica el grado de actividad de las fallas a partir de la relación tiempo – desplazamiento (Page y Cline, 1981), la cual también se utiliza para inferir el grado de fracturamiento.³⁷

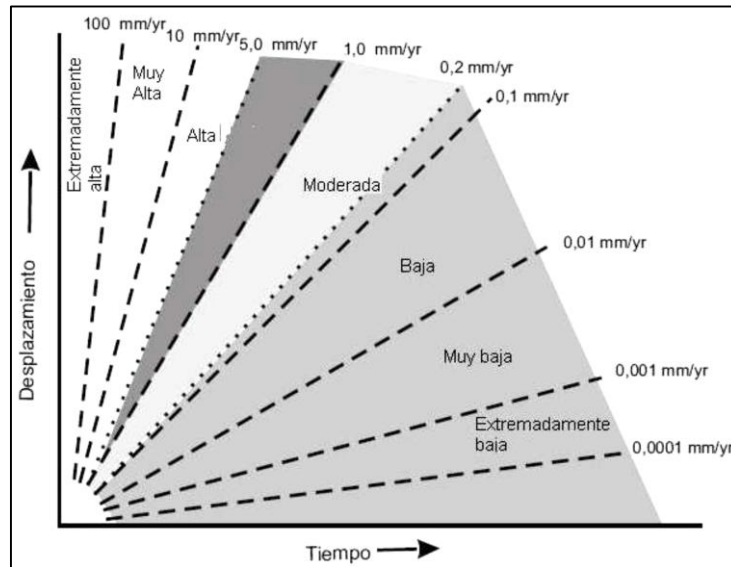
³⁷ Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, SGC, 2013.

Tabla 38. Tasa de desplazamiento

Desplazamiento	Peso asignado
Fallas con tasas de desplazamiento > 1.0 mm/yr	10
Fallas con tasas de desplazamiento entre 0.2 – 1.0 mm/yr	9
Fallas con tasas de desplazamiento < 0.2 mm/yr	8
fallas de las cuales no se conoce su tasa de desplazamiento	7
Pliegues	6

Fuente: INGEOMINAS 2009

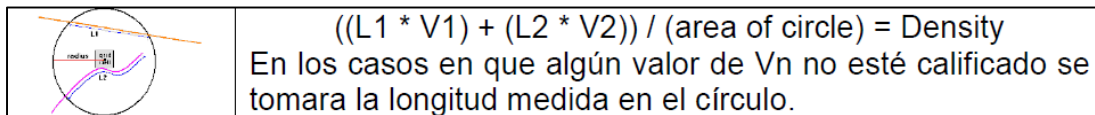
Figura 34. Tiempo vs Desplazamiento



Fuentes: Paris, G. Machette, M., Dart, R., Haller, K. 2000.

El método utilizado para calcular la densidad de fracturamiento es el algoritmo line Density de ArcInfo, el cual es expresado en metros por kilómetro cuadrado, este método calcula la densidad de líneas en la vecindad de cada pixel definida por un radio de búsqueda, para esto a partir de cada centro se dibuja un círculo de radio R, se toma la longitud de la línea de falla (L1...Ln) que cae dentro de este círculo y se multiplica por el peso de la actividad (V1...Vn), la suma total se divide entre el área del círculo, tal como se muestra a continuación.

Figura 35. Algoritmo Density de ArcInfo



Fuente: Documento metodológico de la zonificación. Servicio Geológico Colombiano, 2013.

Para generar el mapa de densidad de fracturamiento a escala 1:100.000 se utilizó un tamaño de pixel de 250 metros y un radio de 1250 metros. Para la clasificación de los resultados de Density se utilizó el método estadístico Natural Breaks en 5

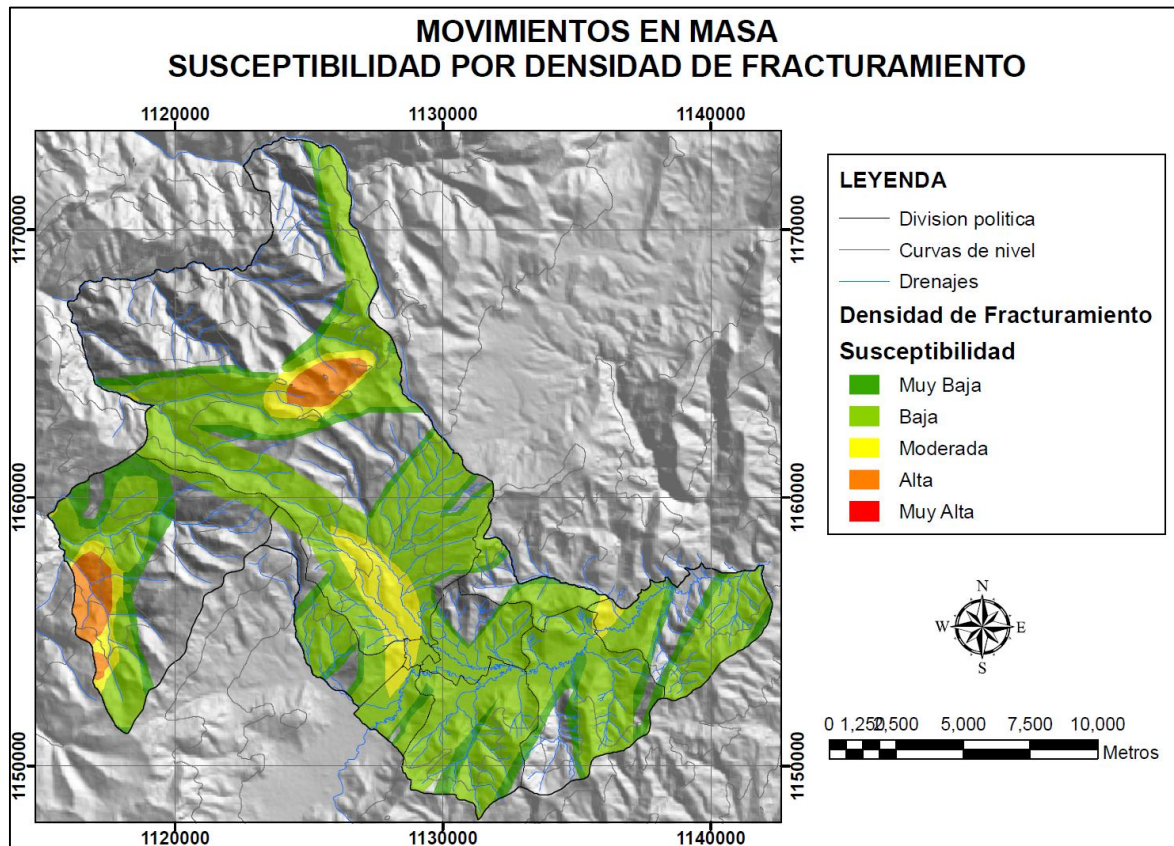
categorías. Como se está trabajando a una escala 1:25000 se agregaron las fallas locales encontradas.

Tabla 39. Susceptibilidad de densidad de fracturamiento

Susceptibilidad	Densidad
1	Muy Baja
2	Baja
3	Moderada
4	Alta
5	Muy Alta

Fuente: Documento metodológico de la zonificación. Servicio Geológico Colombiano, 2013.

Figura 36. Susceptibilidad densidad de fracturamiento



Fuente: Zonificación de la Amenaza por Movimientos en Masa escala 1:500.000 y Autor.

10.1.3 Zonificación por susceptibilidad a movimientos en masa

A partir de la generación de los mapas anteriormente explicados se procede a generar el mapa de susceptibilidad total por movimientos en masa. El procedimiento a seguir es la superposición de las ocho variables, cada una con un valor de importancia, con la intención de ajustar los resultados finales a la realidad, teniendo en cuenta las apreciaciones que fue posible obtener en campo y en general los antecedentes que enmarcan este evento, sin despreciar por supuesto las zonas potenciales a desarrollar nuevos episodios.

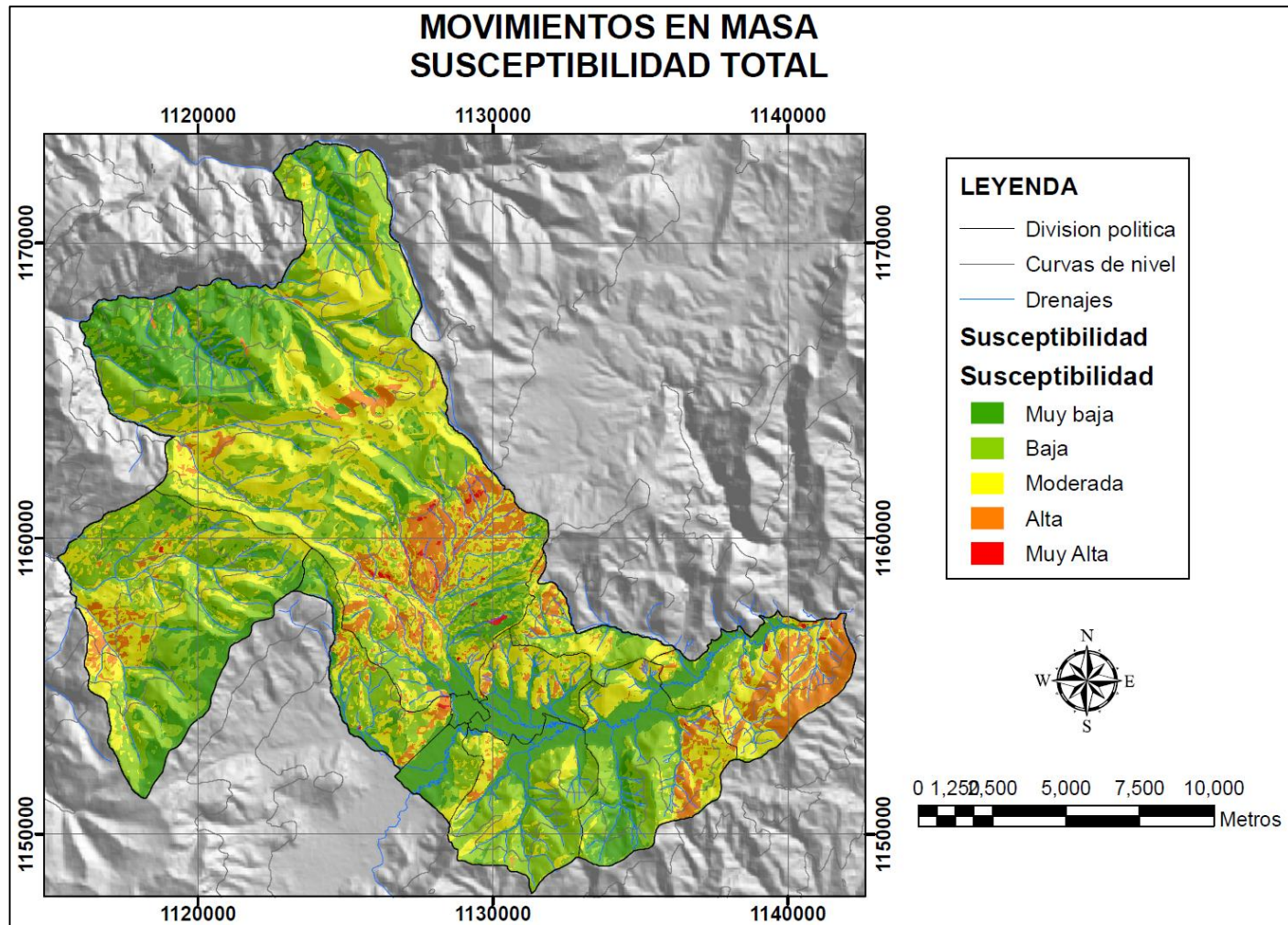
$$\text{Sus MM (Smm)} = 14\text{Sp} + 9\text{Sc} + 14\text{Se} + 9\text{Sdd} + 14\text{Smg} + 14\text{Sig} + 17\text{Sant} + 9\text{Sdf}$$

Donde, Smm: Susceptibilidad total de movimientos en masa, Sp: Susceptibilidad por pendientes, Sc: Susceptibilidad por conflicto de uso, Se: Susceptibilidad por intensidad de erosión, Sdd: Susceptibilidad por densidad de drenaje, Smg: Susceptibilidad por morfogénesis, Sig: Susceptibilidad por ingeniería geológica, Sant: Susceptibilidad por antecedentes, Sdf: Susceptibilidad por densidad de fracturamiento.

Esta operación se realiza en el programa Arcgis superponiendo mapas vector con la herramienta Union, la cual une los atributos de una entidad con otra basada en la relación espacial. Las entidades de destino y los atributos unidos de las entidades de unión se escriben en la clase de entidad de salida. Luego la suma de todas las susceptibilidades de cada uno de los polígonos generados en la unión será la susceptibilidad total que se tendrá en cuenta para la evaluación de amenazas, para la visualización de la susceptibilidad se realiza un proceso estadístico de normalización de datos donde tiene en cuenta los valores máximos y mínimos, y a partir de estos reagrupa los datos en nuevas cinco categorías.

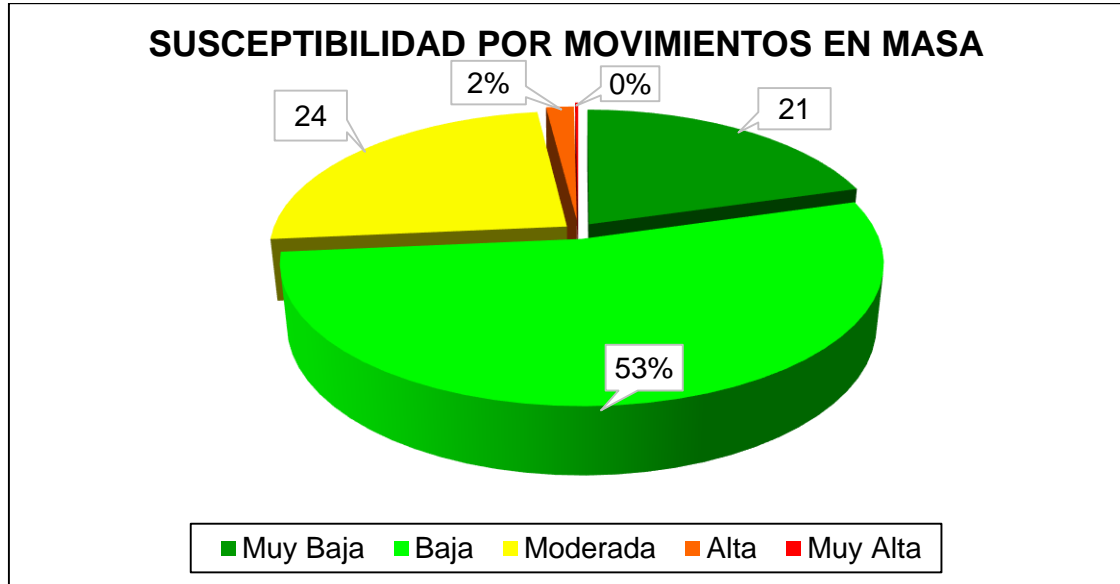
$$\text{Normalizacion} = \frac{(\text{Valor de la variable} - \text{valor minimo})}{\text{Valor maximo} - \text{Valor minimo}} * 5 \text{ Categorías}$$

Figura 37. Mapa de susceptibilidad total por movimientos en masa



Fuente: Autor

Figura 38. Distribución de la susceptibilidad a movimientos en masa en el municipio



Fuente: Autor

Tabla 40. Porcentajes y áreas de susceptibilidad total

Categoría	Área (Km ²)	Susceptibilidad	Porcentaje
1	58370207.44	Muy Baja	20.54%
2	150649672.55	Baja	53.01%
3	69530913.06	Moderada	24.47%
4	5082621.55	Alta	1.79%
5	570764.94	Muy Alta	0.20%
Total	284204179.55		

Fuente: Autor

Al observar la distribución de porcentajes de susceptibilidad en el municipio, se observa la predominancia de susceptibilidad baja, seguido de la moderada, muy baja, alta y muy alta. Las zonas de susceptibilidad alta y muy alta que alcanzan el 2% son representadas por áreas con antecedentes de movimientos y con altas pendientes, además de presentar una alta erosión y presencia de depósitos, estas zonas están presentes en la vereda el Bosque y la Venta. Además en las veredas Tirinquita y San José de la Montaña presentan susceptibilidades altas.

Susceptibilidades Altas: Se presentan en formaciones como Floresta, Montebel, Cuarzomonzonitas de Santa Rosita y en depósitos coluviales y fluvio-glaciales.

Susceptibilidades Muy altas: Se presentan más que todo en los depósitos coluviales, fluvio-glaciales y morrenicos, y en las formaciones Cuarzomonzonitas de Santa rosita y algunas en la formación Tibasosa.

10.1.4 Factores detonantes

El análisis anterior contemplaba la susceptibilidad para presentar un movimiento en masa basado en los factores condicionantes del terreno, pero para realizar la zonificación de amenazas hay que tener en cuenta otros factores como lo son los detonantes, entre ellos la sismicidad y la precipitación.

Los factores detonantes (externos) son aquellos que desencadenan la inestabilidad de un terreno, además aumentan la probabilidad de ocurrencia y magnitud de un suceso.

Se requiere analizar cada detonante por separado comparándolo con la susceptibilidad del fenómeno, para así tener certeza de que en cualquier de los casos la amenaza sea desencadenada por cualquier detonante.

10.1.4.1 Amenaza por detonante sismicidad

El factor sismicidad es muy importante a la hora de evaluar el desencadenamiento de un suceso, ya que cuando un sismo se presenta genera fuerzas inerciales tanto verticales como horizontales en el talud, por lo cual se aumentan los esfuerzos cortantes provocando un aumento en la energía y así desprendimientos, movimientos, caídas de material, flujo de detritos y avalanchas, dependiendo de las características intrínsecas del talud ósea la susceptibilidad a presentar un suceso.

Para la generación del detonante sismo se tuvieron en cuenta datos de movimientos sísmicos de los departamentos de Boyacá y Santander aproximadamente 26883 eventos de 22 años con magnitudes máximas hasta 6.6 y mínimas de 0.3 en la escala de Richter, a los cuales se les debe realizar un tratamiento estadístico para generar la aceleración sísmica que se le debería hallar a un periodo de retorno 472 años (NSR-10) por el método Log-Gumbel pero por la poca información histórica (solo 22 años) es un trabajo muy extenso y no muy apreciable pues el periodo de datos es muy inferior al de retorno. Luego se realiza un procedimiento de ponderación por el método de inversa distancia (IDW) para así ser clasificado en raster para luego convertirlo en vector para su manejo.

Tabla 41. Aceleraciones y atenuaciones sísmicas

Referencia	Ecuación
Ecuación de Atenuación de Donovan (Donovan 1 – D1)	$a_h = 1320e^{0.580M} (r + 25)^{-1.520}$
Ecuación de Atenuación de Donovan (Donovan 2 – D2)	$a_h = 1080e^{0.500M} (r + 25)^{-1.320}$
Ecuación de Atenuación de Mac Guire (Mac Guire - MG)	$a_h = 472.3e^{0.640M} (r + 25)^{-1.301}$

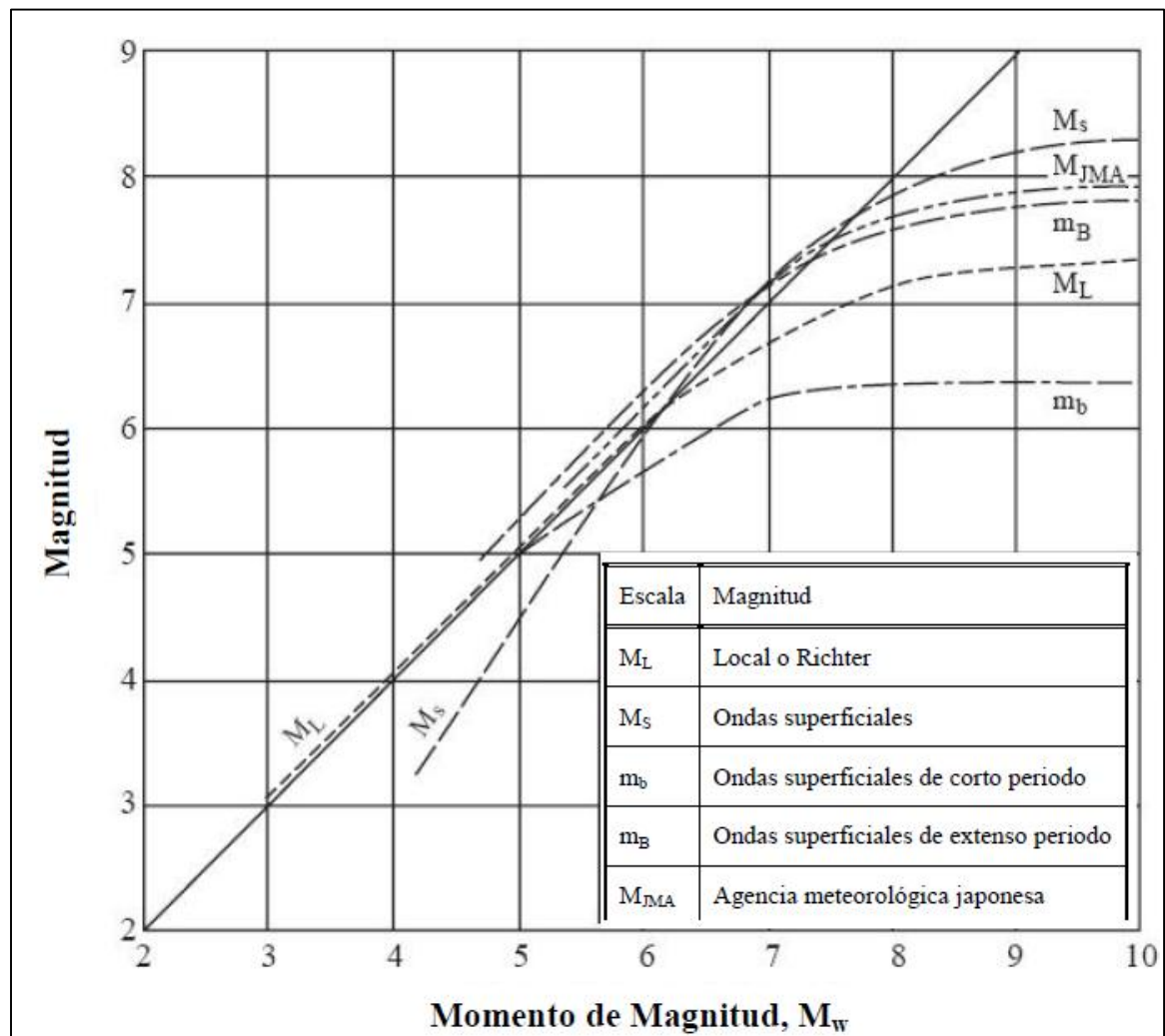
Fuente: Evaluación de la Amenaza Sísmica de Colombia de la Universidad Nacional de Colombia.

Donde, a_h : máxima aceleración horizontal del terreno en cm/seg^2 , M : magnitud superficial del sismo, r : distancia más corta entre el lugar y la zona de ruptura, en km que se define a continuación,

$$r = 111.11 \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$$

Donde 111.11 km equivalen a un grado aproximadamente, los factores X & Y se manejan con las coordenadas en grados decimales y la profundidad Z en Km. Para la evaluación de la aceleración horizontal a nivel de roca se debe realizar una conversión de magnitudes Richter o local a Magnitud superficial, se generó una fórmula logarítmica a partir de la gráfica de momento de magnitud From NCEER Workshop Summary (1998), donde se relacionan las magnitudes local (M_L) y la de ondas superficiales (M_S) con el momento de magnitud.

Figura 39. Momento de magnitud



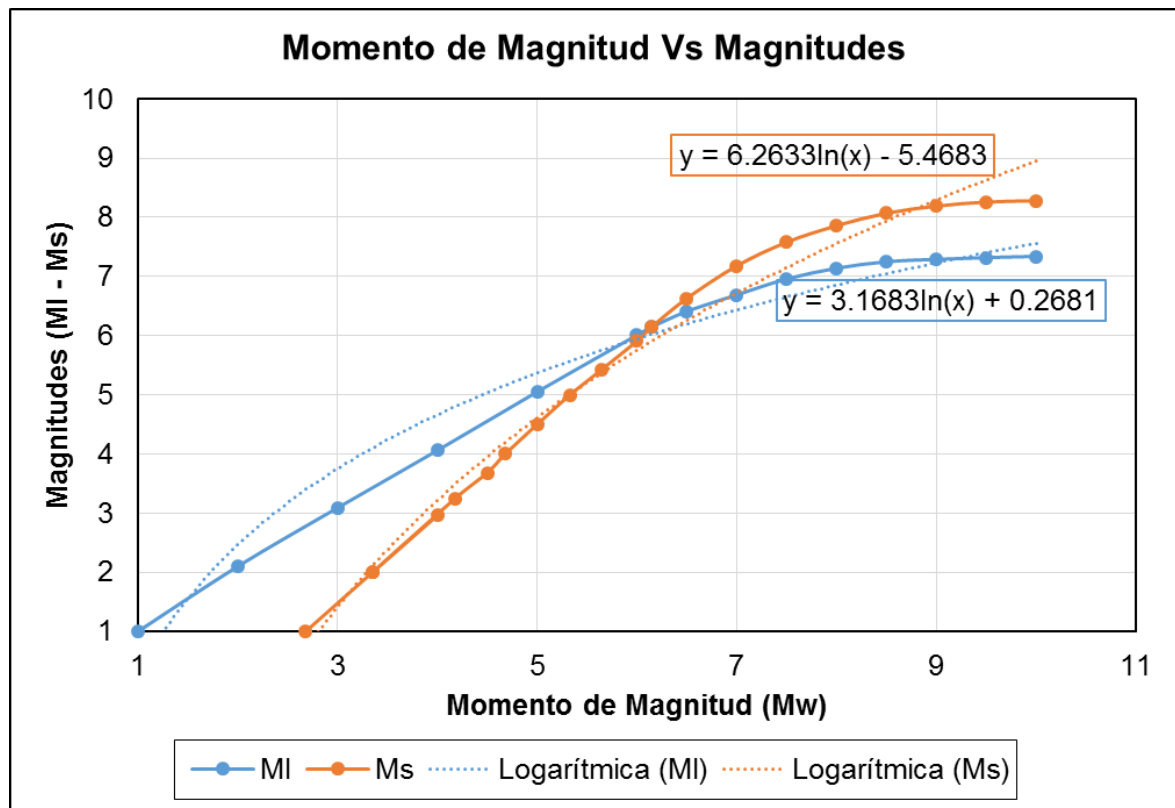
Fuente: NCEER Workshop Summary, 1998.

Tabla 42. Valores de momento de magnitud, MS y MI para la creación de la gráfica y ecuación.

Momento de Magnitud Vs Magnitudes			
MI		Ms	
Magnitud local o Richter		Magnitud superficial	
Mw	MI	Mw	Ms
1	1	2.68	1
2	2.1	3.35	2
3	3.09	4	2.96
4	4.06	4.5	3.68
5	5.05	5	4.5
6	6.01	6	5.91
7	6.69	7	7.18
8	7.14	8	7.86
10	7.34	10	8.28

Fuente: NCEER Workshop Summary, 1998.

Figura 40. Grafica momento de magnitud modificada



Fuente: Autor modificada de NCEER Workshop Summary, 1998.

A partir de las ecuaciones de cada curva las cuales se igualan por Mw se genera una nueva ecuación para el despeje Ms:

$$\frac{M_s + 5.4683}{6.2633} = \frac{M_l - 0.2681}{3.2683}$$

Despejando Ms:

$$M_s = \left(\left(\frac{M_l - 0.2681}{3.2683} \right) * 6.2633 \right) - 5.4683$$

Simplificando:

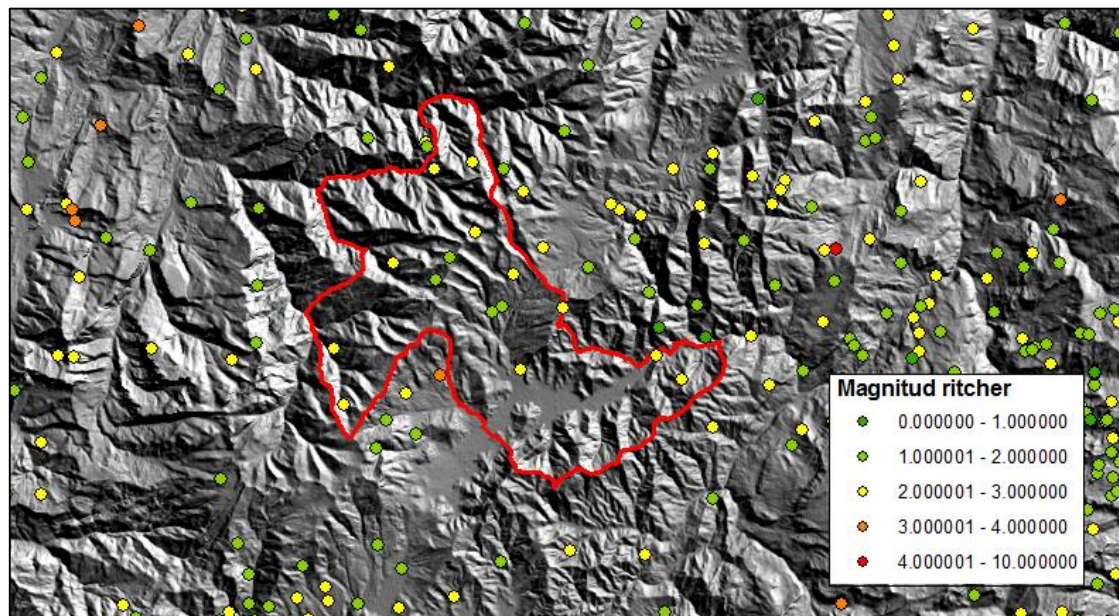
$$M_s = (1.9138 * M_l) - 5.98208$$

Tabla 43. Análisis de aceleración sísmica por las tres ecuaciones

Long	Lat	Año	ML	MS	Dep	Prof KM	Dist r	Ah Donovan D1	Ah Donovan D2	Ah Mac Guirre
-73.9	5.62	1993	2.1	-1.847	BOY	122	13555.98	0.0023	0.0108	0.0076
-72.5	5.57	1993	3	-0.069	BOY	0	61.95	8.4829	13.3358	9.6619
-73.9	5.63	1993	2.8	-0.464	BOY	116.4	12933.80	0.0038	0.0163	0.0126
-72.9	5.79	1993	2.3	-1.452	BOY	4	445.00	0.4348	1.0132	0.6872
-74.3	5.62	1994	4	3.903	BOY	97	10778.96	0.0094	0.0440	0.0907

Fuente: Historial sísmico, Servicio Geológico Colombiano y autor.

Figura 41. Magnitudes Richter

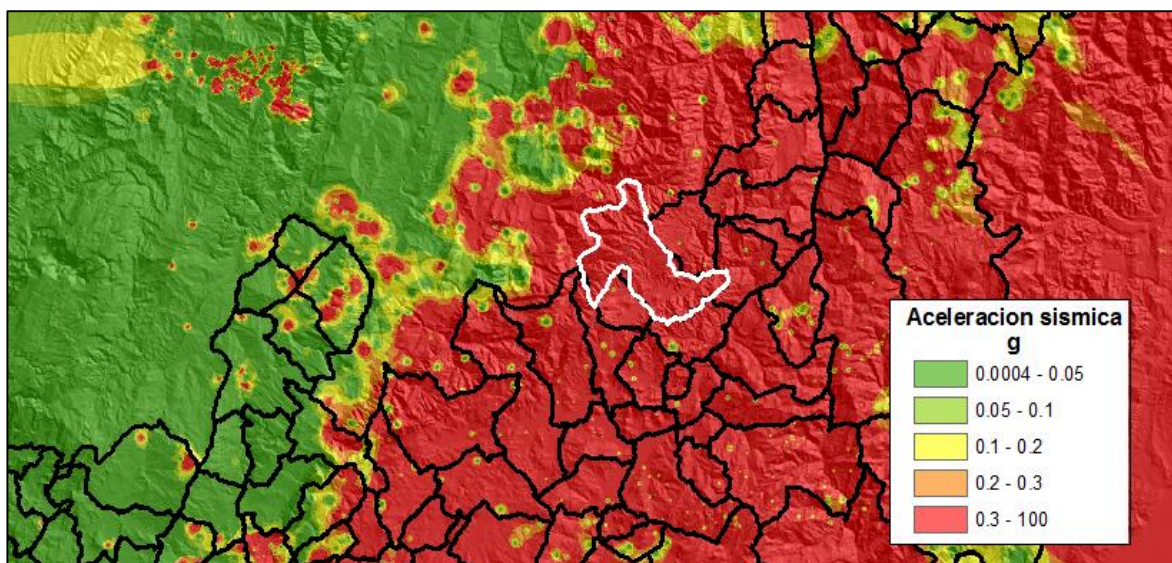


Fuente: Historial sísmico, Servicio Geológico Colombiano y autor.

Para el manejo de los datos se interpolaron los datos con longitud (X), latitud (Y) y aceleración sísmica a nivel de roca de ondas superficiales (Z), en ArcGis con la herramienta IDW generando un raster.

La aceleración sísmica está controlada por uno de sus factores la distancia al punto a evaluar, entre más profundo y lejos el sismo menos va a afectar a el municipio, de este modo se observa que hacia el norte en Santander se presenta una barrera que impide que en ciertas zonas los sismos de la mesa de los santos no afecten en gran medida al municipio. Al sur se observa que todas las raíces montañosas están interconectadas influenciándose una a la otra.

Figura 42. Aceleración sísmica horizontal de ondas superficiales



Fuente: Autor.

Para la calificación del detonante de sismo se tuvo en cuenta la metodología de Evaluación de la Amenaza Sísmica de Colombia mediante análisis de valores extremos históricos de la Universidad Nacional por Pablo Antonio Garzón Casares en el 2011, donde se clasifica por los siguientes rangos:

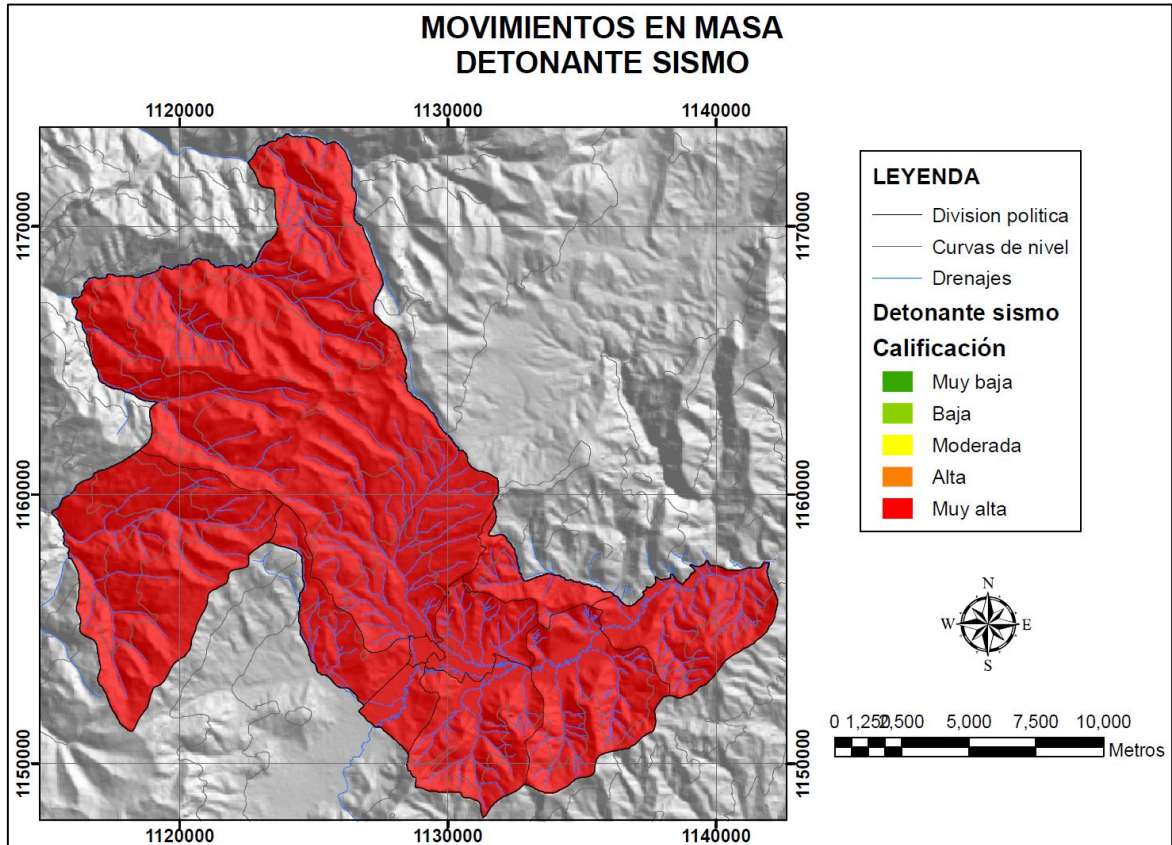
Tabla 44. Clasificación de aceleraciones para detonante sismo

Valores de Aceleración g		
Categoría	Intervalo	Calificación
Muy baja	< 0.05 g	1
Baja	0.05 - 0.1 g	2
Moderada	0.1 - 0.2 g	3
Alta	0.2 - 0.3 g	4
Muy Alta	> 0.3 g	5

Fuente: Evaluación de la Amenaza Sísmica de Colombia mediante análisis de valores extremos históricos de la Universidad Nacional de Colombia.

Se clasifico la aceleración sísmica y los resultados arrojaron una calificación de 5 ósea muy alta en todo el municipio, el detonante sismo es constante en todo el municipio.

Figura 43. Mapa de detonante sismo



Fuente: Autor

Para el desarrollo de la amenaza relativa por detonante de sismicidad se superpuso los mapas de detonante de sismos y el de susceptibilidad total por movimientos en masa de la siguiente forma:

$$\text{Amenaza por detonante sismo (As)} = \text{Smm} + \text{Ds}$$

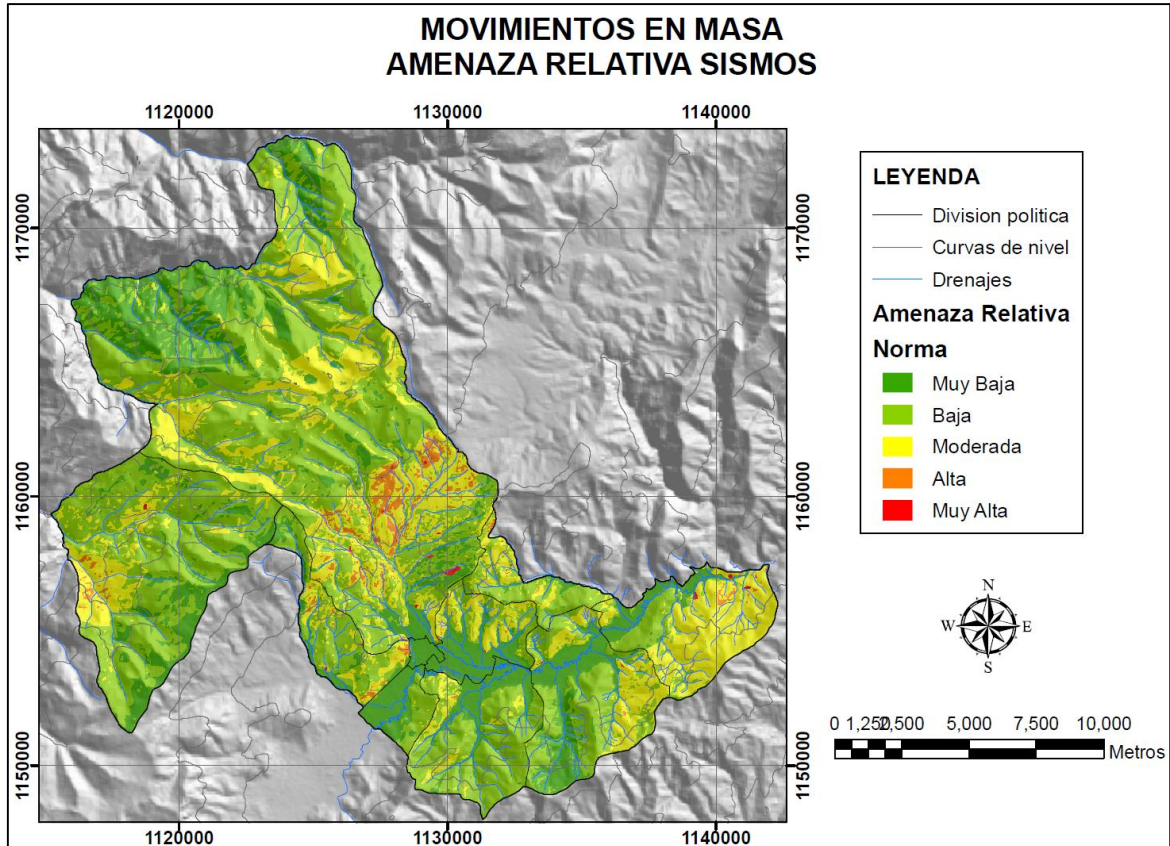
Donde, Smm: Susceptibilidad por movimientos en masa, Ds: Detonante sismo.

$$\text{Normalizacion} = \left(\frac{\text{Valor de la variable} - \text{valor minimo}}{\text{Valor maximo} - \text{Valor minimo}} \right) * 5 \text{ Categorías}$$

Se realizó la normalización de datos para la visualización de la amenaza relativa por detonante sismo, donde se categoriza en cinco variables luego de la suma de los dos mapas.

En la amenaza total se tiene en cuenta el valor total de la suma de las dos variables.

Figura 44. Mapa de amenazas por detonante sismo



Fuente: Autor

10.1.4.2 Amenaza por detonante precipitación

Es los movimiento en masa, es muy importante tener conocimiento acerca de las precipitaciones que se dan en la zona, en especial en las laderas de áreas montañosas, ya que cuando estas se dan de una manera prolongada pueden significar grandes cantidades de agua que pueden generar saturación en el terreno, un aumento en la presión de poros y posteriormente el colapso del terreno.

Para el análisis de precipitación como detonante el servicio geológico colombiano tienen en cuenta los valores de lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 25 años, se calculó a partir de una distribución Gumbel Tipo I – Extremo (Se especifica en el numeral 9 Análisis Hidrológico) para el periodo de análisis (1987-2011) y se especializó con ArcGis utilizando el método de interpolación IDW, siguiendo la recomendación hecha por Piazza (2011) para la interpolación de

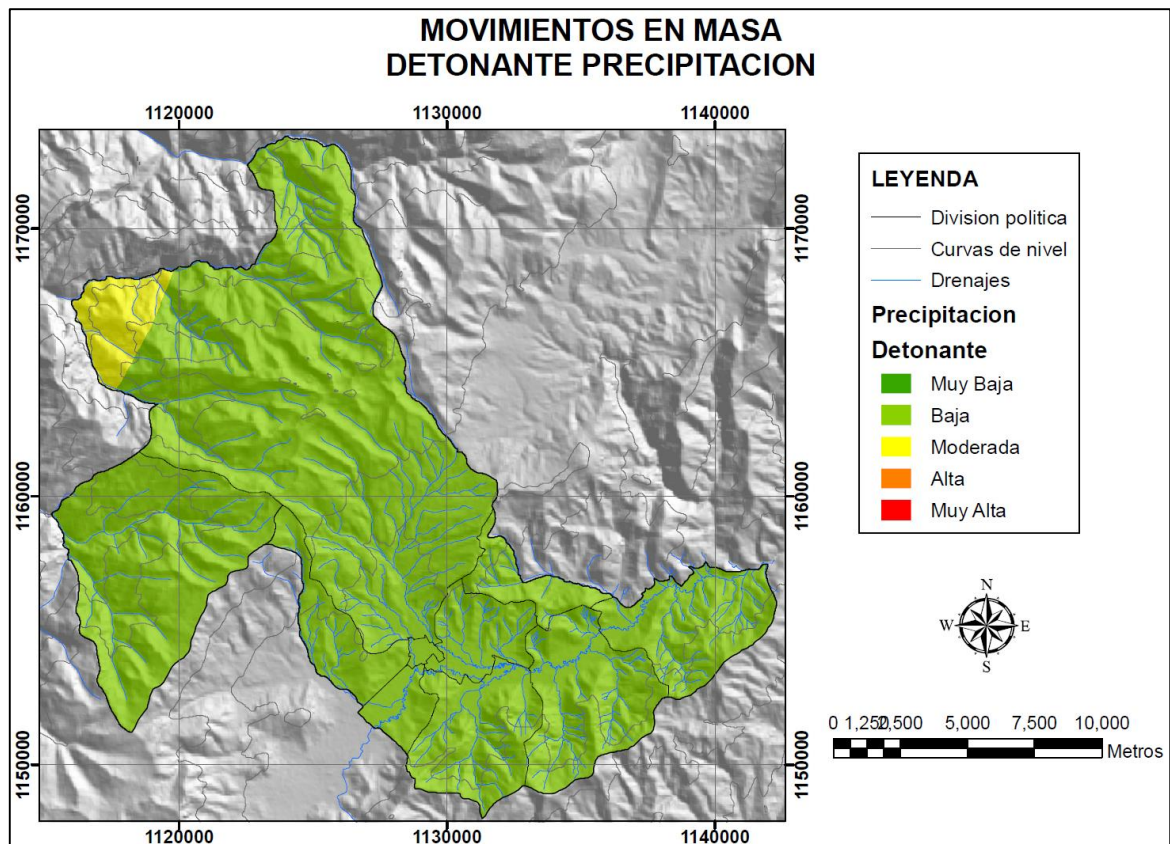
valores climáticos como la precipitación.³⁸ Teniendo en cuenta los rangos de Calificación de la lluvia máxima diaria según su contribución a los movimientos en masa, para la generación del detonante de lluvia en el municipio se tienen en cuenta la *tabla 45*.

Tabla 45. Calificación de la lluvia máxima diaria según su contribución a movimientos en masa.

Valores De Lluvia Máxima (Mm)	Calificación
0 – 50	1
50 – 100	2
100 - 150	3
150 – 220	4
> 220	5

Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2013.

Figura 45. Mapa de detonante lluvia



Fuente: Autor

³⁸ Documento Metodológico De La Zonificación De Susceptibilidad Y Amenaza Por Movimientos En Masa Escala 1:100.000 /SGC, 2013.

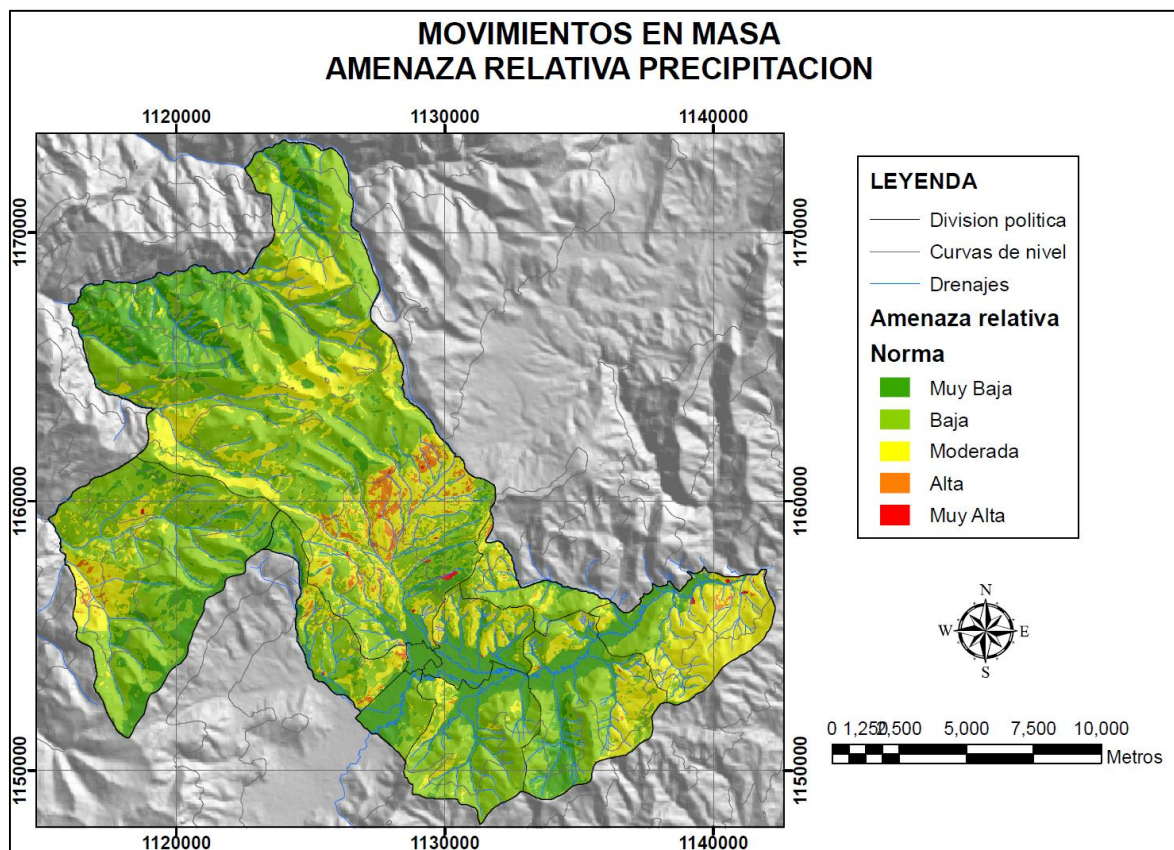
Para el desarrollo de la amenaza relativa por detonante de precipitación se superpuso los mapas de detonante de sismos y el de susceptibilidad total por movimientos en masa de la siguiente forma, luego se normalizo:

$$\text{Amenaza por detonante precipitacion (Ap)} = \text{Smm} + \text{Dp}$$

Donde, Smm: Susceptibilidad por movimientos en masa, Ds: Detonante lluvia.

$$\text{Normalizacion} = \left(\frac{\text{Valor de la variable} - \text{valor minimo}}{\text{Valor maximo} - \text{Valor minimo}} \right) * 5 \text{ Categorias}$$

Figura 46. Mapa de amenazas por detonante lluvia



Fuente: Autor

10.1.5 Amenazas totales por movimientos en masa

Es imprescindible generar el mapa de amenazas por movimientos en masa considerando los escenarios de ocurrencia de los factores detonantes, pero se debe tener mucho cuidado pues existen varias formas de calificar la amenaza total como lo son por rangos, ponderados, normalizaciones, promedios, entre otros, cada calificador generara un resultado diferente y se debe tener en cuenta que algunos

métodos son generales y no dependen del estudio local. El mapa final de amenazas se generó a partir de cruzar los mapas de amenazas relativas por lluvias y por sismos.

$$\text{Amenaza por movimietos en masa (AT)} = A_p + A_s$$

10.1.5.1 Normalización de variables de amenaza

Luego de la suma de los mapas se procede a realizar la calificación que en este estudio se utilizara la normalización, la cual tiene en cuenta las variaciones de valores máximos y mínimos del municipio, transformando las variables aleatorias de la suma de las amenazas relativas de sismo y precipitaciones a una nueva variable normal clasificada en cinco rangos.

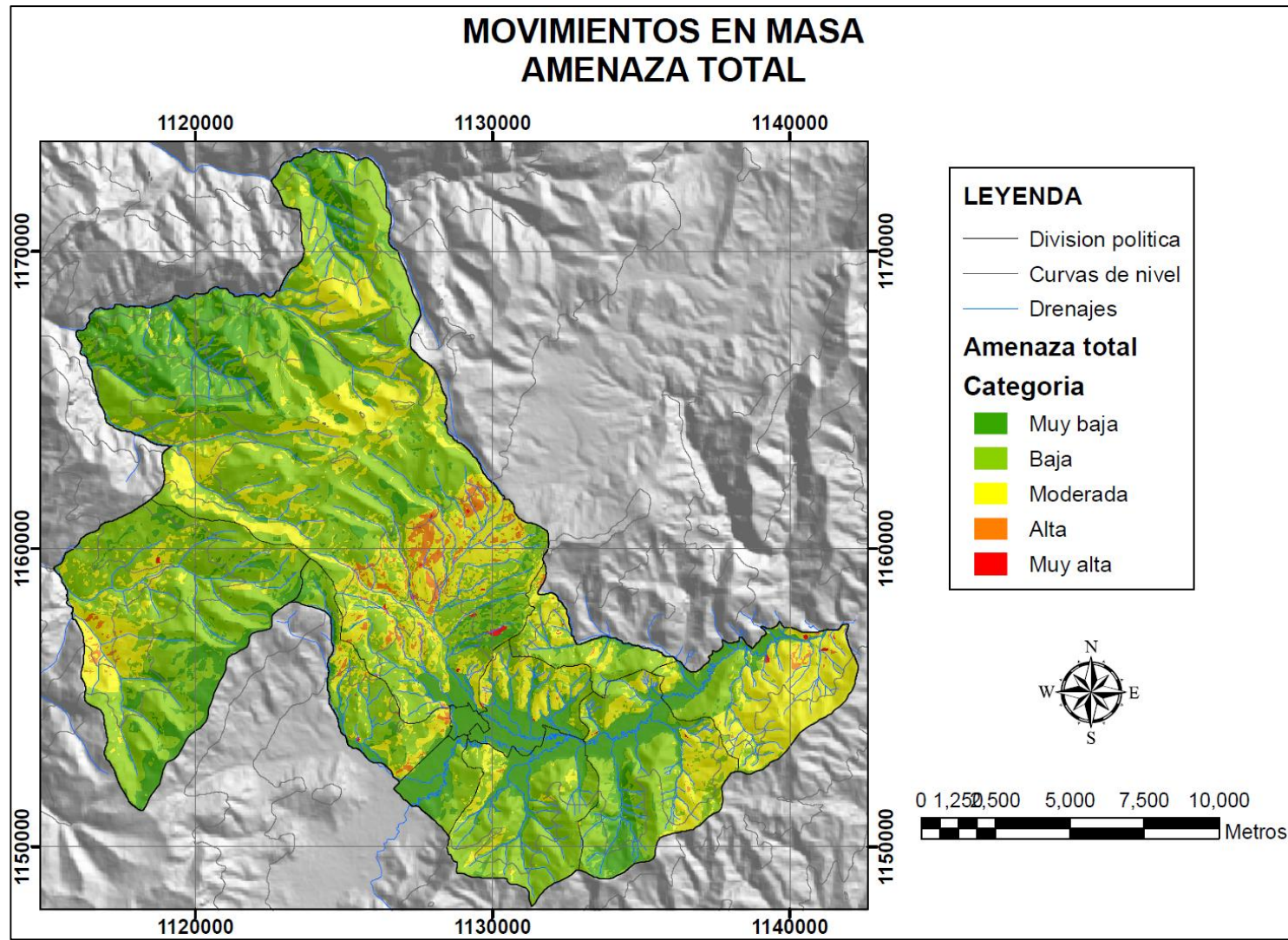
$$\text{Normalizacion} = \left(\frac{\text{Valor de la variable} - \text{valor minimo}}{\text{Valor maximo} - \text{Valor minimo}} \right) * 5 \text{ Categorias}$$

Tabla 46. Grado de amenazas según el grafico de calificación de amenazas

Grado de amenaza	Categoría
Muy Baja	1
Baja	2
Moderada	3
Alta	4
Muy Alta	5

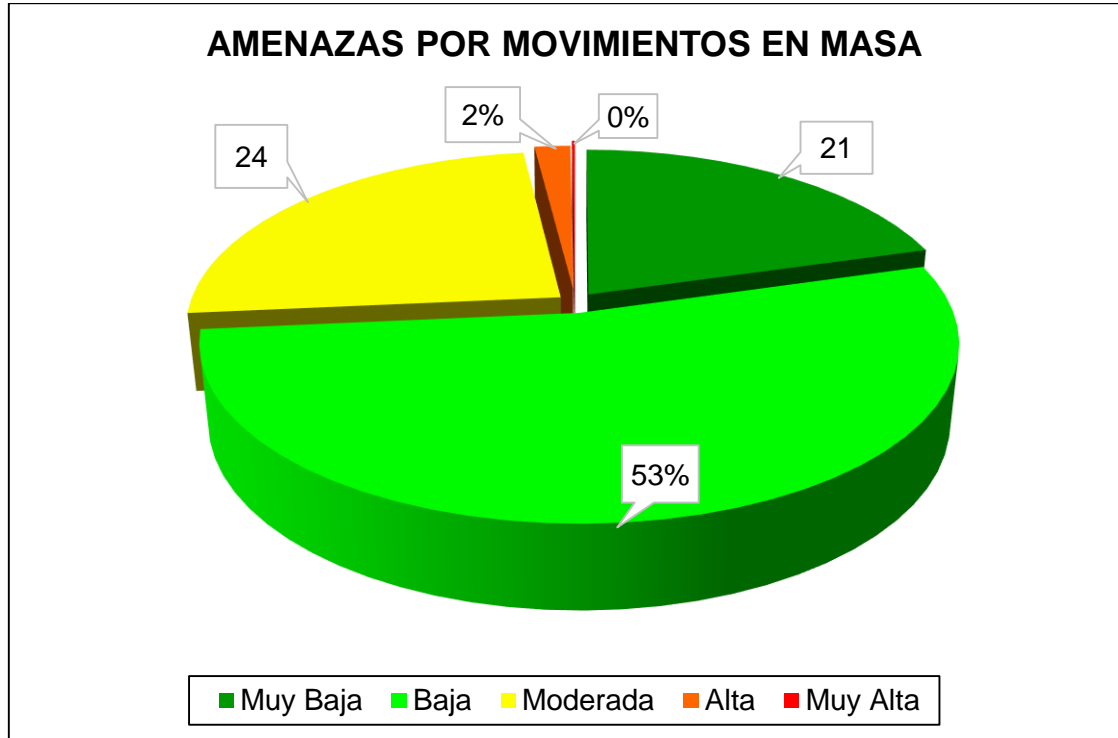
Fuente: Autor

Figura 47. Mapa de amenaza total por movimientos en masa



Fuente: Autor

Figura 48. Distribución de la amenaza por movimientos en masa en el municipio



Fuente: Autor

Tabla 47. Porcentajes y áreas de Amenaza total por movimientos en masa

Categoría	Área	Porcentaje	Amenaza
1	58.44	20.56%	Muy Baja
2	150.58	52.98%	Baja
3	69.53	24.46%	Moderada
4	5.21	1.83%	Alta
5	0.44	0.16%	Muy Alta
Total	284.20		

Fuente: Autor

Amenaza Muy Baja: Se presenta en zonas con pendientes muy bajas como en la llanura de inundación, no presenta ningún movimiento en masa, se presenta en una quinta parte de la superficie del municipio. Además de presentarse en el valle se presenta al norte del municipio donde favorece el tipo de cobertura vegetal ya que se presentan grandes bosques.

Amenaza Baja: Estas zonas predominan ya que un poco más de la mitad de la superficie del municipio está en esta categoría de amenaza. Se presenta en zonas

ligeramente inclinadas, con buena cobertura vegetal y en las rocas más competentes como las areniscas.

Amenaza Media: Equivalen a una cuarta parte de la superficie del municipio, en formaciones fácilmente erosionables como la formación Floresta, presentan coberturas bajas como matorrales y rastrojos, se evidencian en algunas laderas con pendientes medias a altas dependiendo de las demás variables.

Amenaza Alta: Tan solo se presenta el 2 por ciento en el municipio, se presenta preferencialmente en los depósitos altos como los fluvioglaciales y morrenas, y en las pendientes altas.

Amenaza Muy alta: Solo el 0.16 por ciento se encuentra en esta categoría, se presenta en zonas con constantes movimientos (antecedentes) y en zonas potencialmente inestables por pérdida de cobertura. Algunas de estas zonas son de tipo antrópico es decir que el hombre favoreció para la generación del movimiento como por ejemplo la mala proyección de una vía, la sobrecarga de las laderas, el desecho de aguas directamente en los taludes, entre otros.

10.2 ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR AVENIDAS TORRENCIALES

Las avenidas torrenciales son un tipo de movimiento en masa, las cuales se desplazan por los cauces de las quebradas, generadas a partir de un represamiento del lecho de la misma, pueden llegar a transportar grandes volúmenes de material entre sedimentos y materia vegetal con velocidades grandes y extenderse ampliamente. Estas pueden poner en peligro a la población y la infraestructura del municipio, ubicados en las zonas de acumulación, de cuencas de montaña susceptibles de presentar este tipo de fenómenos³⁹.

10.2.1 Antecedentes


En el recorrido realizado y con información de las personas del municipio se identificaron 3 antecedentes de avenidas torrenciales, ocasionadas por 2 quebradas: La Mugre y El Guirre. Se delimitaron según lo apreciado en campo y por la información suministrada por la gente, a continuación se muestra un ejemplo y en el *Anexo No 4 Inventario de avenidas torrenciales* se pueden apreciar los demás.

En las últimas fechas, el municipio de Belén ha presentado algunas experiencias de este tipo, con algunos daños de la infraestructura utilizada para el bocatoma del acueducto municipal. Las condiciones geomorfológicas y climáticas particulares del

³⁹ http://www.bdigital.unal.edu.co/6118/1/Gest._y_Amb._Vol.14,_no._3.pdf

valle permiten llamar la atención sobre esta problemática, en especial sabiendo que las zonas de baja pendiente son más vulnerables.

Tabla 48. Formato de avenidas torrenciales sector concordia vereda el Bosque



ESTE	NORTE	AGENTE
1127145	1159371	Quebrada Cuchilla larga

Fuente: Autor.

10.2.2 Metodología

Para la generación de mapas temáticos descriptivos de las condiciones de amenaza a la generación de avenidas torrenciales se ha establecido la ejecución de una serie de actividades encaminadas a la recopilación ajuste y procesamiento de información de tal manera que se logre evaluar de forma precisa, cada una de las coberturas conceptuales de hidrometeorología, geología, suelos, erosión, pendientes, conflictos de uso y geomorfología. Las actividades que se desarrollaron para el procesamiento de esta información, comprendió actividades referentes a fotointerpretación, captura de datos en campo, construcción de modelos digitales de elevación y modelación a partir de cálculos probabilísticos para periodos de retorno.

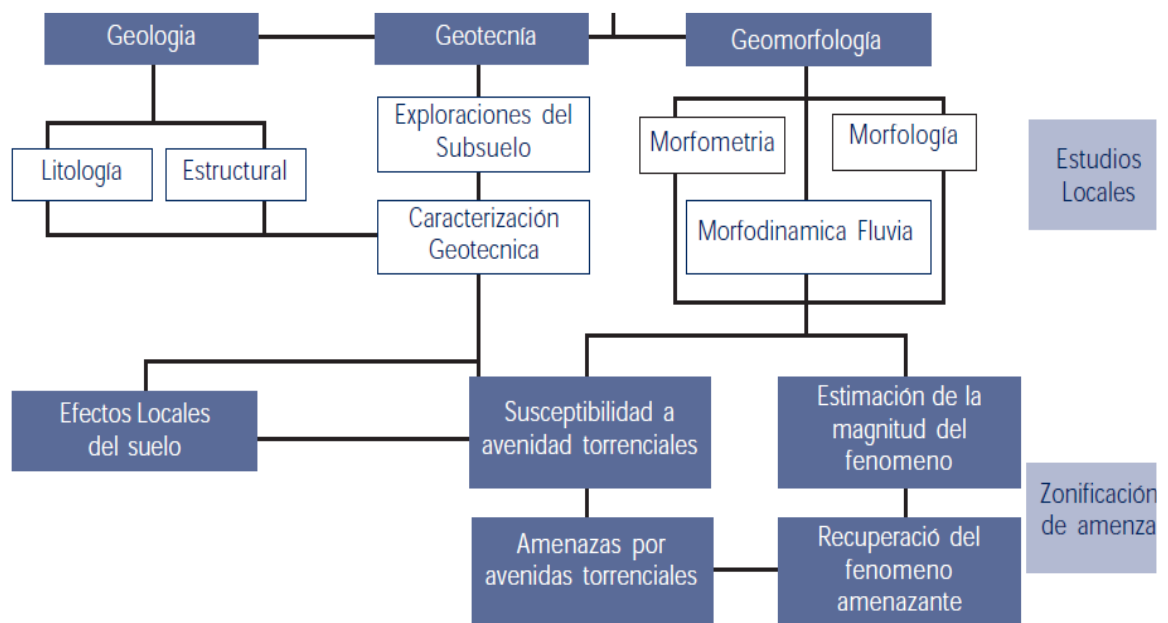
En la Figura 50 se esquematiza la secuencia metodológica seguida en cada una de las fases técnicas del proyecto, con el ánimo de lograr la Zonificación de amenazas, para que luego se pueda identificar los elementos Vulnerables, los Escenarios de Riesgo, la aptitud para uso urbano, entre otros.

Para la creación de una nueva metodología se realizó un amplia recopilación bibliográfica especializada en el tema de avenidas torrenciales, además con la

asesoría del director de este proyecto se analizó y evaluó las posibles variables para la calificación y valorización de las amenazas por este fenómeno, se tuvieron en cuenta varios estudios como la Evaluación de riesgos por fenómenos en Masa del Ingeominas y Escuela Colombiana de Ingeniería (Figura 48), Incorporación de la Prevención y la Reducción de Riesgos en los Procesos de Ordenamiento Territoriales del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Evaluación y zonificación Riesgos por avenida, torrencial, inundación y movimientos en masa del Municipio de Rionegro (Antioquia), Morfología de las cuencas hidrográficas de La Universidad Politécnica de Valencia, Diagnóstico De La Gestión Integral Del Riesgo Por Inundaciones Y Avenidas Torrenciales En Ríos Urbanos Del Departamento De Caldas por John Jairo Quintero Castro, y Zonificación de Amenazas por Fenómenos de Remoción en Masa y Flujos Torrenciales, la Vulnerabilidad y escenarios de Riesgo en la cabecera municipal de Yopal de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

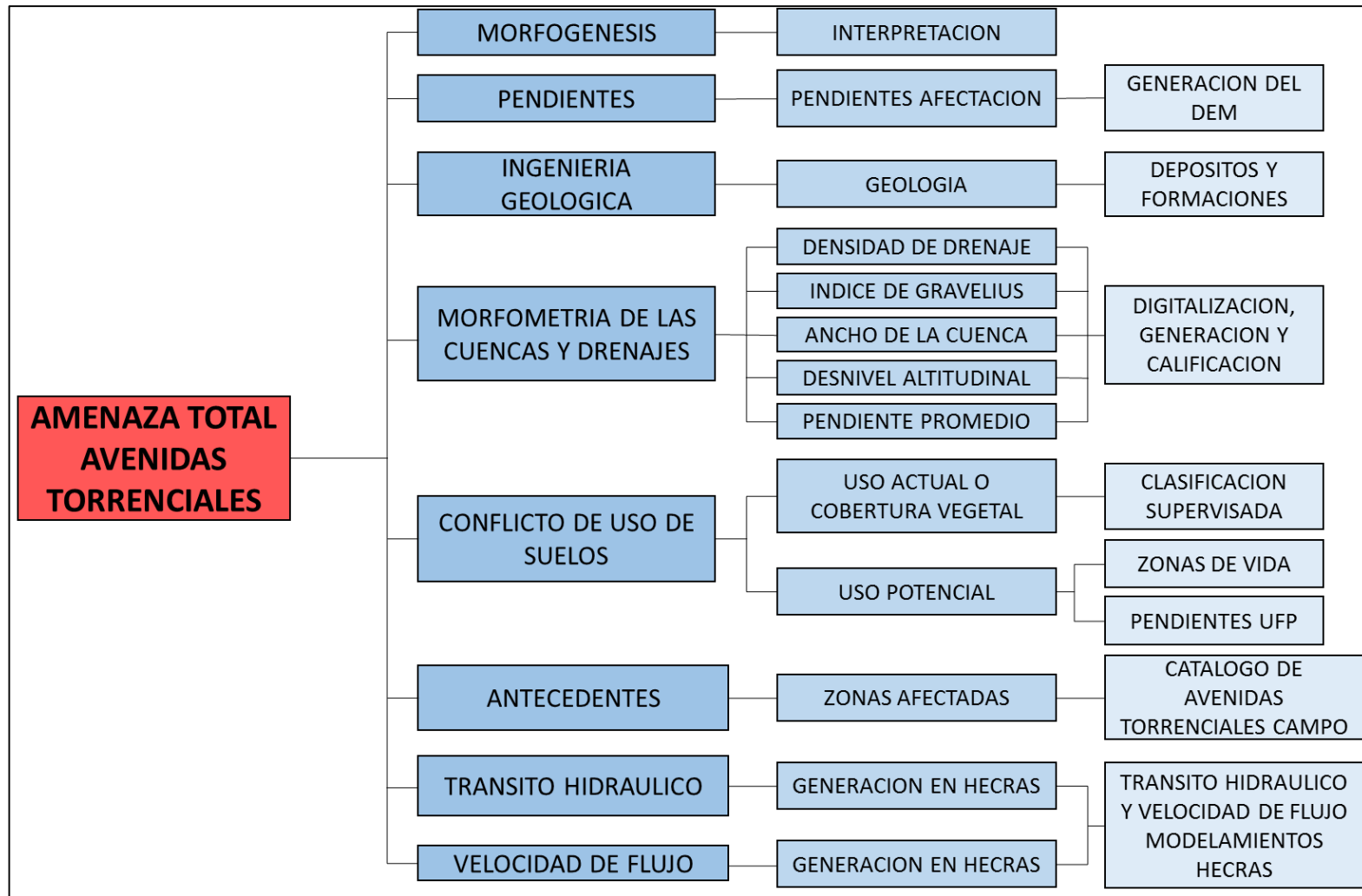
Además como una avenida torrencial puede considerarse como un movimiento en masa, se realizó la correlación de esta metodología con la de inundaciones las cuales se generan de forma lenta, a diferencia de las avenidas que se generan de forma rápida y súbita. Se tomó aspectos de la metodología de movimientos en masa y se tuvo en cuenta las condiciones de flujo evaluándolas con el programa HEC-RAS. La zonificación de avenidas torrenciales se realizó de igual forma en un proceso parecido en la generación de los mapas de movimientos en masa, pero teniendo en cuenta las características de este tipo de amenaza, se consideran de forma diferente las calificaciones para cada una de las variables.

Figura 49. Diagrama de reconocimiento de amenazas por avenidas torrenciales



Fuente: Ingeominas y Escuela Colombiana de Ingeniería, 2001.

Figura 50. Metodología aplicada a la zonificación de amenazas por avenidas torrenciales.



Fuente: Autor.

10.2.2.1 Pendientes

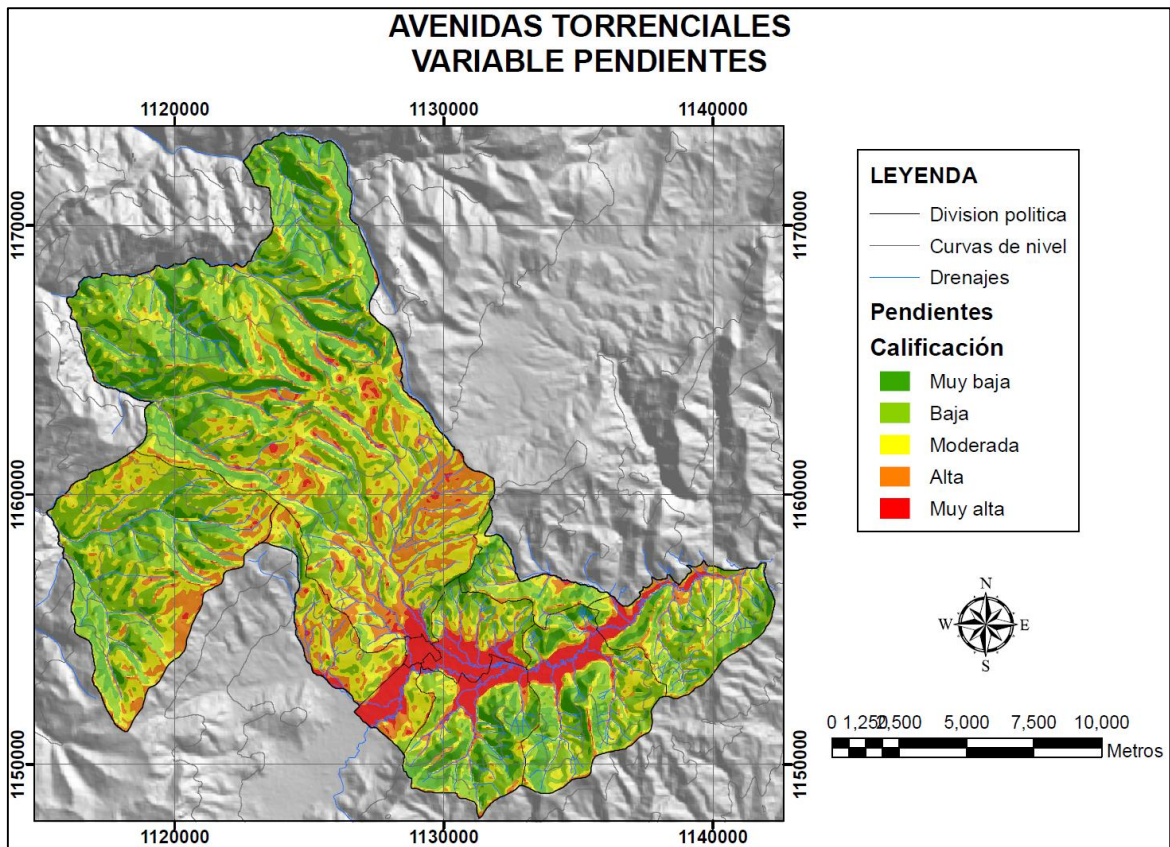
Para la generación del mapa de pendientes se realizó de igual forma que el de la metodología de movimientos en masa, pero como la dinámica del fenómeno a estudiar es diferente se clasifico en diferentes rangos ya que la mayor amenaza esta en las partes más bajas y planas de una cuenca, si se llegara a presentar un represamiento en la parte alta todo fluirá hacia la parte baja, causando daños en las partes planas.

Tabla 49. Calificación pendientes

Pendientes Totales	Calificación
>30	1
20-30	2
12-20	3
5-12	4
0-5	5

Fuente: Autor.

Figura 51. Mapa de la variable pendientes totales

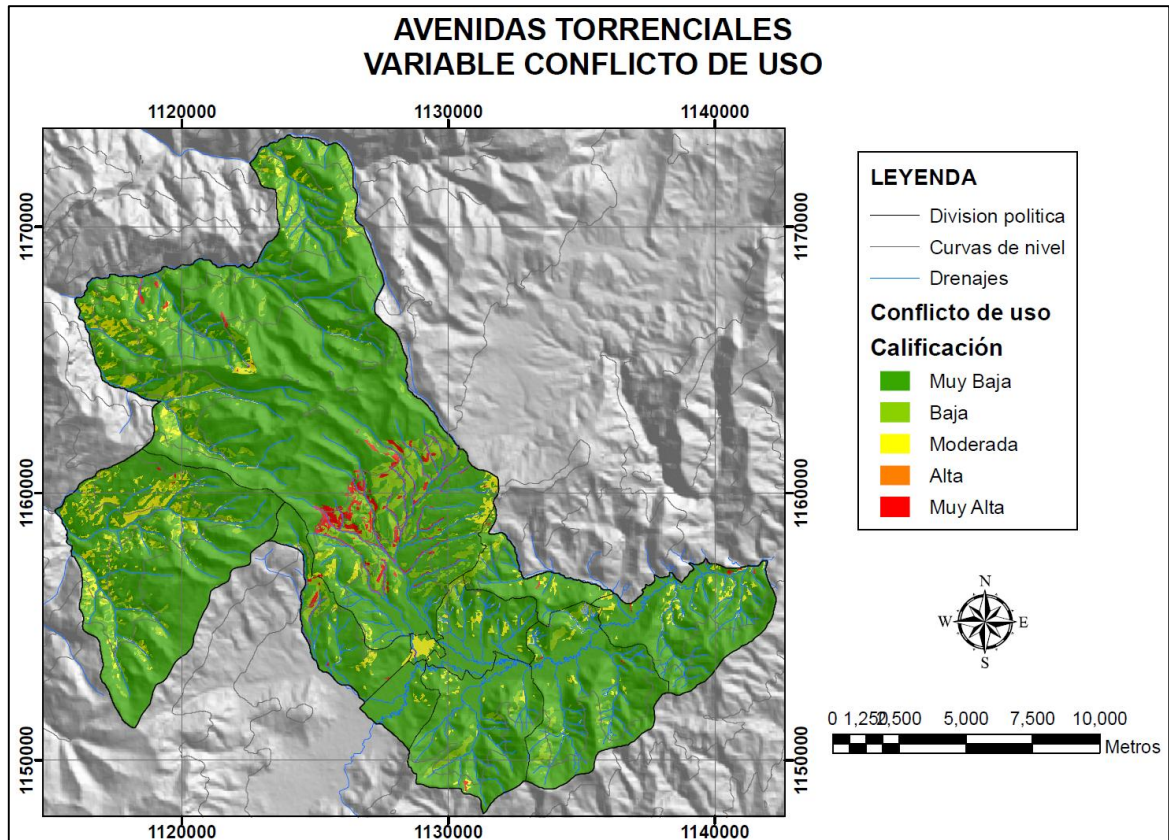


Fuente: Autor, Dem SRTM.

10.2.2.2 Conflicto de uso

Este mapa se tomó igual al de movimientos en masa, puesto a que el conflicto de uso es el mismo en cualquier escenario de amenaza, porque se tienen en cuenta los mismos factores físico bióticos.

Figura 52. Mapa de la variable conflicto de uso



Fuente: Autor

10.2.2.3 Morfometría de la cuenca

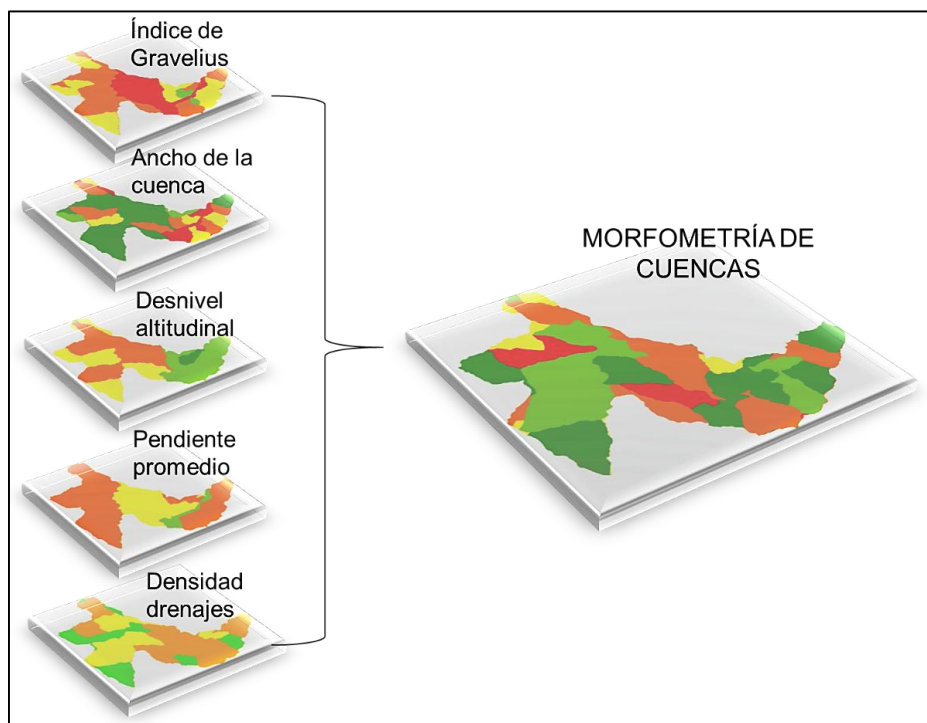
Se refiere al análisis cuantitativo de la forma de una cuenca, un concepto que abarca el tamaño y la forma, además las características físicas y dinámicas de la misma. Analizando la red de drenajes, las pendientes y las formas de las cuencas.

La morfometría de cuencas resulta de gran utilidad ya que permite el estudio de forma y predice el comportamiento de la cuenca en cuanto a los diferentes flujos. El fundamento de este estudio va orientado a inferir posibles picos de avenidas.⁴⁰

⁴⁰ Hidrología. Alejandro Delgadillo y Ada Moreno

Para la generación de este mapa se tuvieron en cuenta varios factores e índices que nos evidencian las zonas y cuencas más susceptibles a generar una avenida torrencial, para la generación de los datos métricos se utilizó el programa ArcGis con herramientas Calculate Geometry para hallar áreas y perímetros, para la generación de las calificaciones de las variables se tuvo como guía una cuenca la cual ha presentado varias avenidas torrenciales y según el fin de este mapa es categorizar las cuencas que puedan llegar a generar eventos, se partió de que esta cuenca debería calificar entre alta a muy alta (4-5) así que todos los rangos fueron ajustados a esta cuenca. A continuación se muestra el grafico de flujo de mapas.

Figura 53. Generación de morfometría de cuencas



Fuente: Autor

10.2.2.3.1 Índice de Gravelius o compacidad:

Representa la relación entre el perímetro de la cuenca y el de una circunferencia de área igual a la de la cuenca.

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde, Kc: coeficiente de Gravelius, P: perímetro de la cuenca, A: área de la cuenca. Si el Kc se acerca más a uno quiere decir que la cuenca es más circular, si se aleja es más alargada.

Tabla 50. Calificación por índice de Gravelius

Índice Gravelius	Calificación
1-1.2	1
1.2-1.4	2
1.4-1.45	3
1.45-1.7	4
>1.7	5

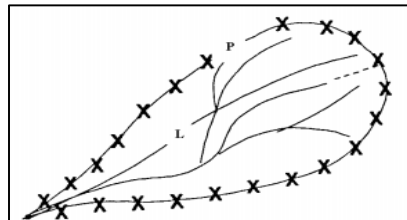
Fuente: Autor

10.2.2.3.2 Ancho de la cuenca:

Me indica la relación entre el área y la longitud de la cuenca. Entre más cerca a cero es más alargada la cuenca y es más probable a presentar una avenida.

$$W = \frac{A}{L}$$

Figura 54. Longitud y perímetro de cuenca



Fuente: Universidad Politécnica de Valencia, Morfología de las cuencas hidrográficas.

Tabla 51. Calificación por ancho de la cuenca.

Ancho de la cuenca	Calificación
>3 m	1
1.8-3 m	2
1.6-1.8 m	3
1.3-1.6 m	4
0-1.3 m	5

Fuente: Autor

10.2.2.3.3 Desnivel altitudinal:

Es el valor de la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la más baja. Se relaciona con la variabilidad climática y ecológica. Una cuenca con mayor cantidad de pisos altitudinales puede albergar más ecosistemas al presentarse variaciones importantes en su precipitación y temperatura. Se realiza realizando una interpolación entre las cuencas y el modelo digital de elevación (DEM), luego se realizó un proceso estadístico del programa Arcgis llamado Zonal Statistics Table y se clasificó con respecto a la siguiente tabla.

Tabla 52. Calificación por desnivel altitudinal por cuenca

Desnivel altitudinal	Calificación
0-500 m	1
500-1000 m	2
1000-1500 m	3
1500-2000 m	4
>2000 m	5

Fuente: Autor

10.2.2.3.4 Pendiente promedio:

Es la relación existente entre el desnivel altitudinal del cauce y su longitud, donde me indica el cambio que puede tener en cuanto a pendiente una cuenca para generar un represamiento. Se realizó en el programa Arcgis primero generando el mapa de pendientes con la herramienta Slope, luego se interpola las cuencas con el mapa de pendientes y con Zonal Statistics Table se halla la pendiente promedio. Se clasifico con la siguiente tabla.

Tabla 53. Calificación por pendiente promedio

Pendiente en Grados	Calificación
0 - 7	1
7 - 11	2
11 - 19	3
19 - 40	4
> 40	5

Fuente: INGEOMINAS, 2009. Adaptada para pendiente promedio.

10.2.2.3.5 Densidad de drenaje

El proceso de construcción del mapa de densidad de drenaje se realizó de la misma manera que en movimientos en masa, a diferencia que se realiza una calificación más rigurosa, en donde se presenta un aumento de la calificación de los rangos de densidad que se muestran en la siguiente tabla

Tabla 54. Rangos de calificación por densidad de drenaje

Densidad de drenaje	Calificación
0 – 0.5	1
0.5 - 1	2
1 – 1.5	3
1.5 - 3	4
>3	5

Fuente: Autor, modificado de Delgadillo y Páez 2008

10.2.2.3.6 Morfometría de la cuenca:

Es la suma de todas las variables de forma de las microcuencas representados en la siguiente ecuación:

$$\text{Morfometria de la cuenca(Mmetria)} = \text{Vigr} + \text{Vanc} + \text{Vda} + \text{Vpprom} + \text{Vddren}$$

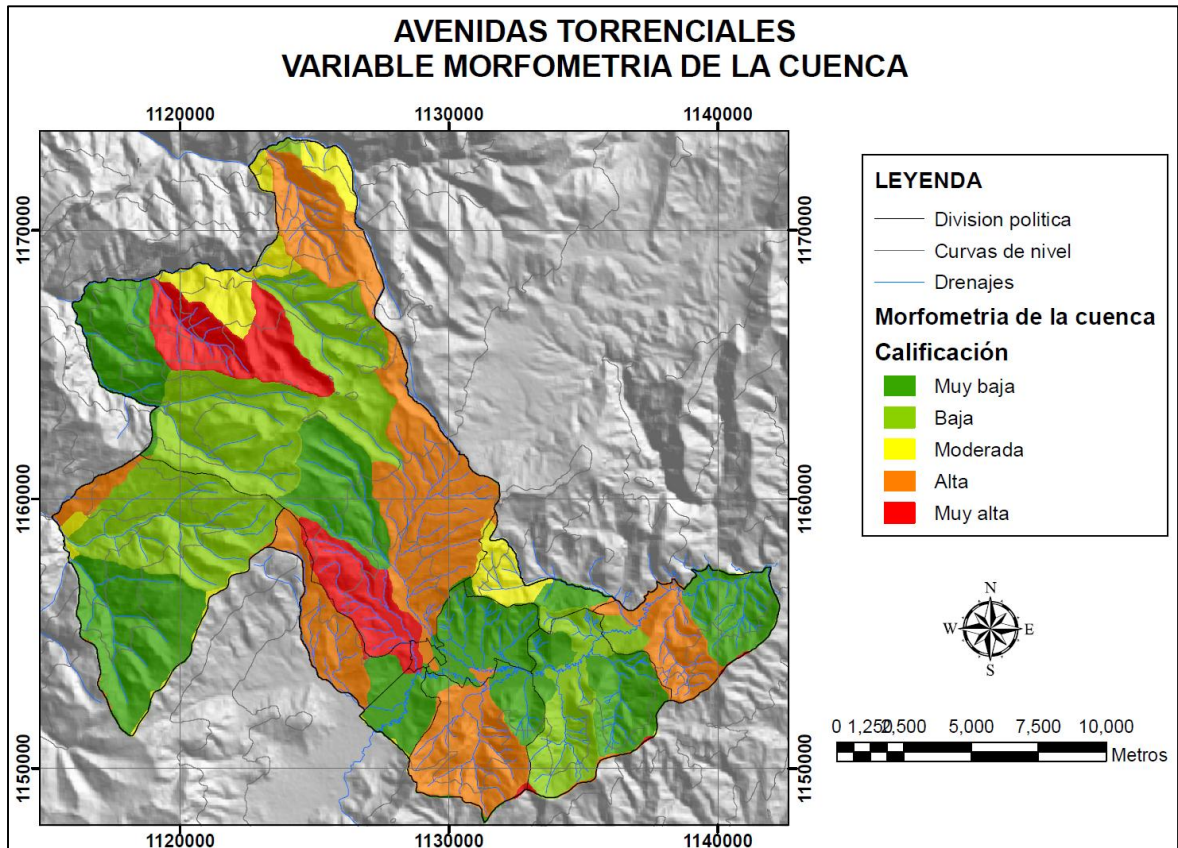
Donde, Vigr: Índice de Gravelius, Vanc: Ancho de la cuenca, Vda: Desnivel altitudinal, Vpprom: Pendiente promedio y Vddren: Densidad de drenaje.

Para la clasificación de los datos se realizó un proceso de normalización de datos teniendo en cuenta los valores máximos y mínimos del municipio de la suma de las cinco variables de morfometría de cuencas, de acuerdo a la siguiente formula.

$$\text{Calificación} = \frac{\text{Valor de la suma} * \text{Valor minimo}}{\text{Valor maximo} - \text{Valor minimo}} * \text{Numero de variables}$$

Donde el número de variables a generar son cinco.

Figura 55. Mapa de la variable morfometría de cuencas



Fuente: Autor

10.2.2.4 Morfogénesis

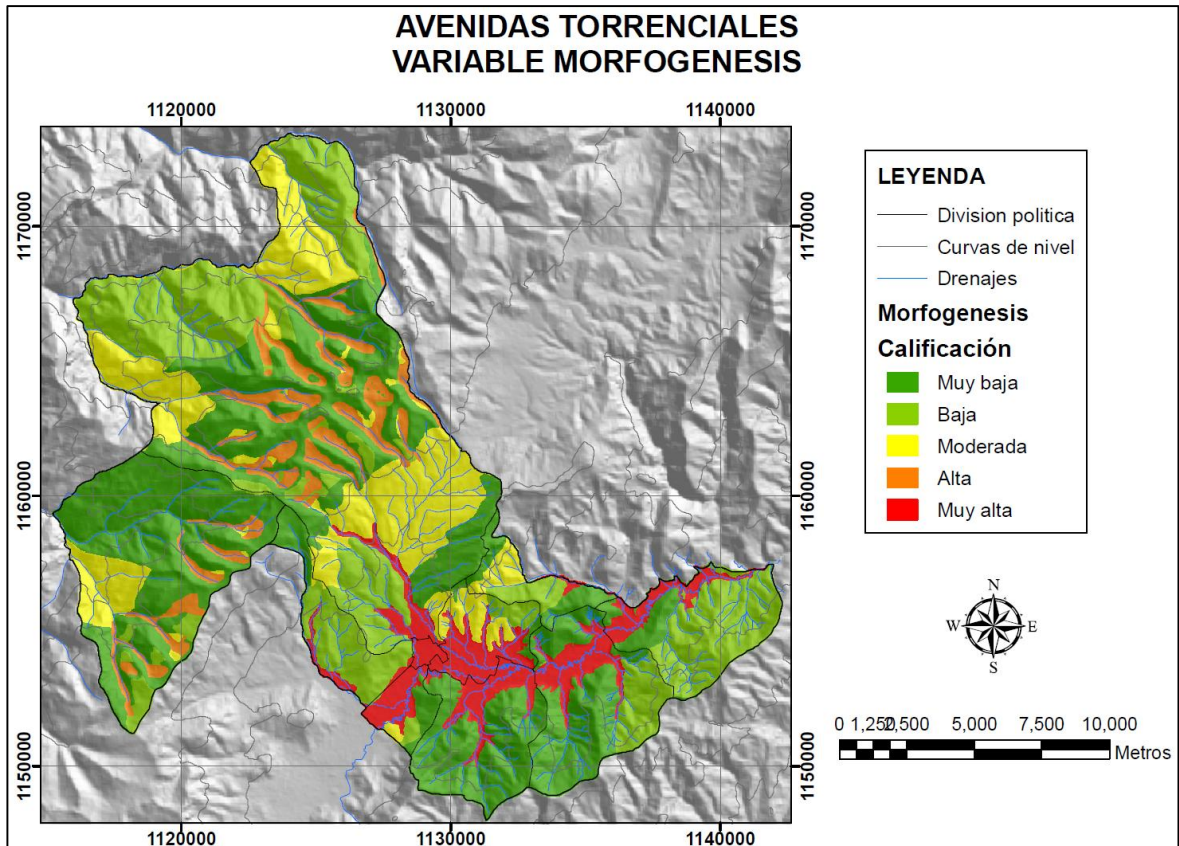
Para la elaboración del mapa de morfogénesis, se tienen en cuenta la génesis de los materiales con respecto a su forma y tamaño, además de la recurrencia del fenómeno en cada una de ellas. El mapa se realizó teniendo en cuenta las zonas de más posible afectación.

Tabla 55. Calificación por morfogénesis

Símbolo	Ambiente	Nombre	Calific.
Dcred	Denudacional	Colina remanente disectada	1
Deem	Denudacional	Escarpe de erosión mayor	1
Deeme	Denudacional	Escarpe de erosión menor	1
Gc	Glacial	Circo glacial y de nivación	1
Gclc	Glacial	Ladera Contrapendiente de cuesta glaciada	1
Gcle	Glacial	Ladera estructural de cuesta glaciada	1
Geglc	Glacial	Ladera de contrapendiente de espinazo glaciado	1
Gegle	Glacial	Ladera estructural de espinazo glaciado	1
Gflv	Glacial	Flancos de valle Glacial	1
Glg	Glacial	Laguna Glacial	1
Gsg	Glacial	Sierra Glaciada	1
Gshg	Glacial	Sierra homoclinal glaciada	1
Sce	Estructural	Cerro estructural	1
Sclc	Estructural	Ladera de contrapendiente de cuesta	1
Scle	Estructural	Ladera estructural de cuesta	1
Slcp	Estructural	Ladera contrapendiente	1
Sle	Estructural	Ladera estructural	1
Sles	Estructural	Ladera escalonada	1
Ssslc	Estructural	Ladera de contrapendiente sierra sinclinal	1
Sssle	Estructural	Ladera estructural de sierra sinclinal	1
Ssh	Estructural	Sierra homoclinal	1
Ac	Antrópico	Cantera	2
Ase	Antrópico	Excavaciones	2
Def	Denudacional	Escarpe faceteado	2
Dld	Denudacional	Loma denudada	2
Dldebc	Denudacional	Lomo denudado bajo de longitud corta	2
Dlor	Denudacional	Loma residual	2
Dlres	Denudacional	Loma residual	2
Dsd	Denudacional	Sierra denudada	2
Gce	Glacial	Cuesta glaciada	2
Sc	Estructural	Cuesta	2
Slf	Estructural	Lomo de falla	2
Dldi	Denudacional	Lomeríos disectados	3
Dle	Denudacional	Ladera erosiva	3
Dlo	Denudacional	Ladera ondulada	3
Dmo	Denudacional	Montículo y ondulaciones denudacionales	3
Gcgf	Glacial	Conos glaciofluviales	3
Gml	Glacial	Morrena lateral	3
Gmf	Glacial	Morrena de fondo	4
Fpi	Fluvial	Plano o llanura de inundación	5

Fuente: Autor y Servicio Geológico Colombiano.

Figura 56. Mapa de la variable morfogénesis



Fuente: Autor

10.2.2.5 Ingeniería Geologica

Para realizar el mapa de ingeniería geológica en avenidas torrenciales, el procedimiento que se realiza es igual al de movimientos en masa, pero la calificación que se realiza depende de las características de las formaciones a ser susceptibles en avenidas torrenciales y la cantidad de drenajes que contienen las mismas. Las unidades geológicas encontradas en el área fueron calificadas teniendo en cuenta la resistencia (Res), textura (Tex), meteorización (Met) anteriormente explicadas, y cantidad de longitud de drenajes en rangos de 1-5 (Ver tabla 51), los valores más altos hacen referencia a las formaciones más susceptibles a fenómenos de inestabilidad. A cada parámetro de la unidad geológica, se le dio un peso que fue después reclasificado, asignando finalmente un valor de susceptibilidad de unidades de Ingeniería Geológica representado por los límites estratigráficos de cada una de las unidades geológicas correspondientes (Figura 7). Para el caso de los depósitos (Dep) se les asignó una calificación de susceptibilidad directamente ya que a estos por su naturaleza no es posible asignar calificación de

textura, resistencia ni densidad de fracturamiento. Para la calificación por formación se generó una variable mas donde me indica cuanta longitud de drenaje existe por formación, entre más drenajes refiere a mas disección y más aporte de sedimentos, para generar esta variable se interseco los drenajes con la geología y se halló la longitud de los drenajes por formación luego se prosiguió a calificar según la siguiente tabla que se desarrolló en base a un análisis por formación teniendo en cuenta la densidad de drenaje por cuenca:

Tabla 56. Calificación de longitud de drenaje.

Cantidad de longitud de drenaje	Calificación
< 10 Km	1
10-20 Km	2
20-30 Km	3
30-40 Km	4
>40	5

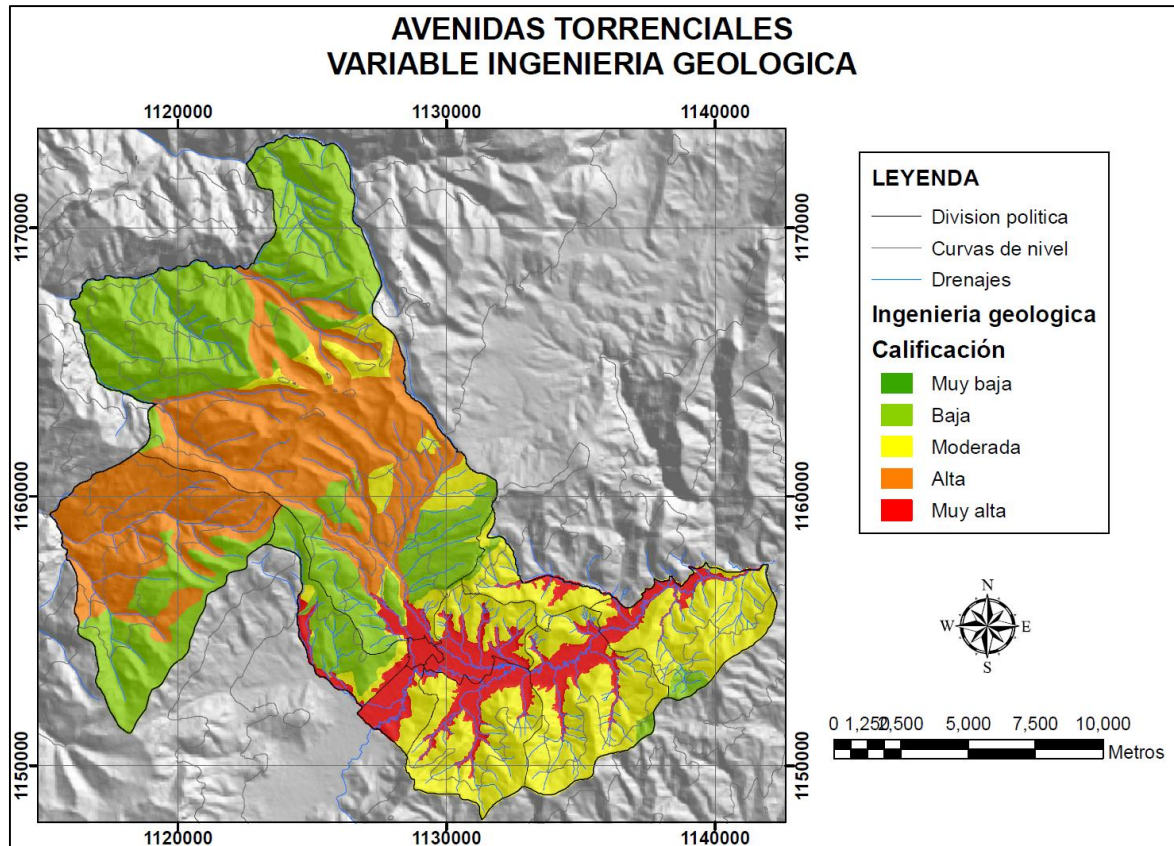
Fuente: Autor.

Tabla 57. Calificación por formación.

Símbolo	Nombre	Met	Res	Tex	L.Dren	Dep	Calific.
Kg1	Formación Labor y Tierna	2	2	3	1		2
Kg2	Formación Plaeners	1	2	4	1		2
Kiu	Formación Une	2	1	3	2		2
Kit	Formación Tibasosa	3	1	1	1		2
Jr	Formación Rusia	2	2	3	2		2
JRcm	Cuarzomonzonita biotítica	3	1	1	4		2
JRr	Riolitas grisáceas	3	1	1	3		2
pD?so	Stock de Otengá	3	1	1	1		2
Qc	Cuaternario Coluvial					3	3
Ksc	Formación Chipaque	3	3	4	1		3
Cc	Formación Cuche	4	3	4	2		3
Dfm	Formación Floresta M	3	3	4	1		3
Df	Formación Floresta	4	3	4	2		3
Dt	Formación Tibet	2	2	3	4		3
O?cs	Cuarzomonzonitas de Santa Rosita	5	2	1	2		3
Qfg	Cuaternario Fluvioglacial					4	4
Qm	Cuaternario Morrena					4	4
Jim	Formación Montebel	3	3	4	4		4
Qal	Cuaternario Aluvial					5	5

Fuente: Autor y Servicio Geológico Colombiano.

Figura 57. Mapa de la variable ingeniería geológica

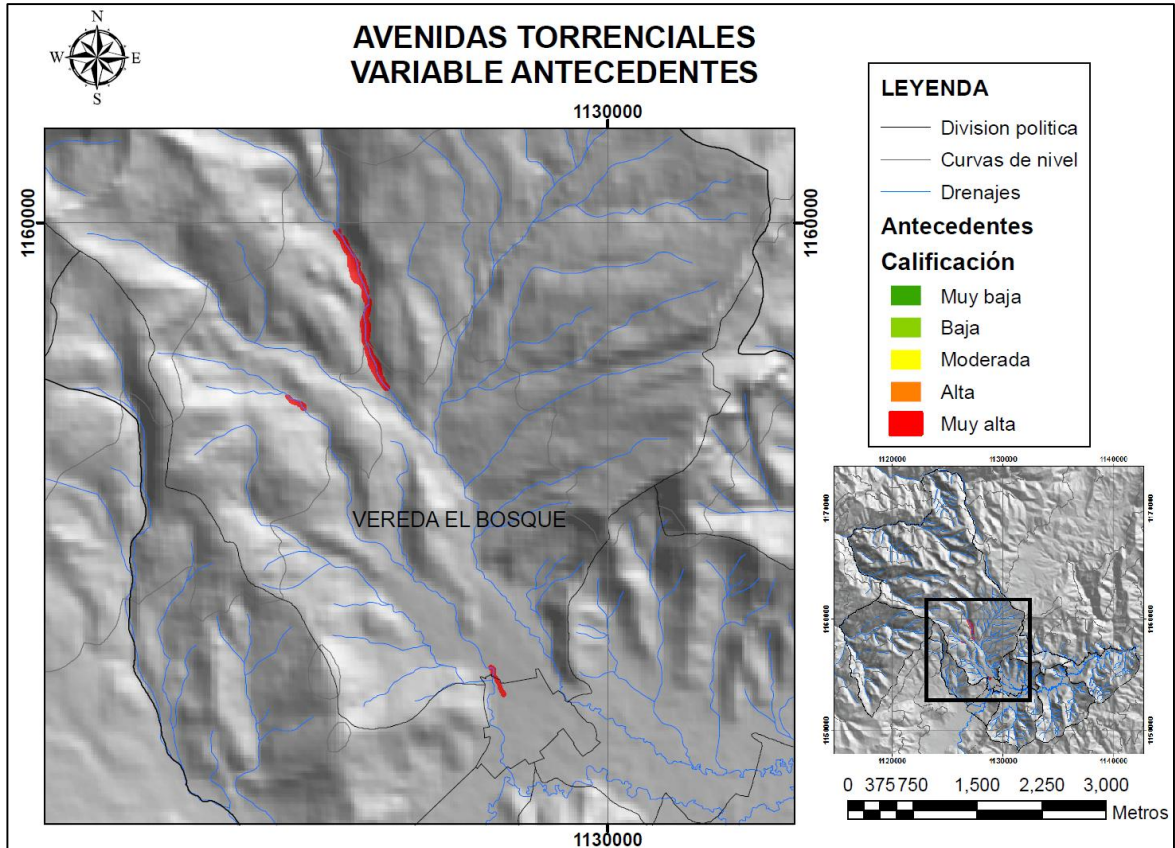


Fuente: Autor.

10.2.2.6 Antecedentes

Se realiza a partir de polígonos que corresponden a huellas y evidencias de avenidas torrenciales, esto se logra a partir de interpretación de imágenes satélites y la socialización con la comunidad. Las calificaciones corresponden a 5 donde ya se han presentado avenidas torrenciales, estos eventos tienden a ser repetitivos y debe tenerse énfasis en estas zonas.

Figura 58. Mapa de la variable antecedentes



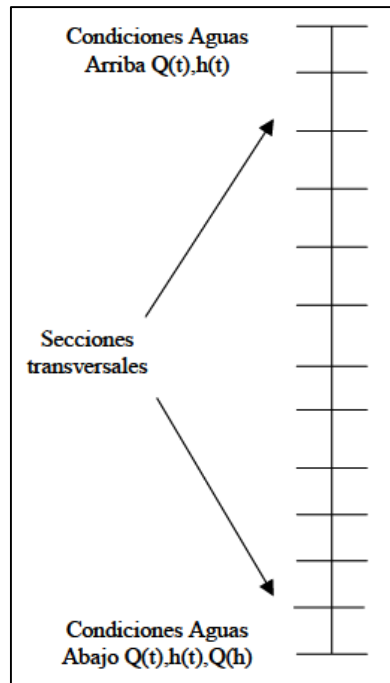
Fuente: Autor.

10.2.2.7 Transito Hidraulico

Es un procedimiento matemático realizado por el programa Hec-Ras para predecir el cambio en magnitud, velocidad y forma de una onda de flujo en uno o más puntos a lo largo de un curso de agua⁴¹. Como la avenida torrencial se presenta por un cambio rápido de gasto debido a varios factores aquí se tendrá en cuenta solamente por el escurrimiento producto de la precipitación máxima probable. El transito común a evaluar es de tipo distribuido o transito hidráulico, donde de manera simultánea en varias secciones transversales a lo largo de un cauce se calcula el flujo.

⁴¹ Tránsito De Avenidas, Universidad Nacional Agraria La Molina, Maestría de recursos hídricos, Ing. Eduardo A. Chavarri Velarde

Figura 59. Transito hidráulico



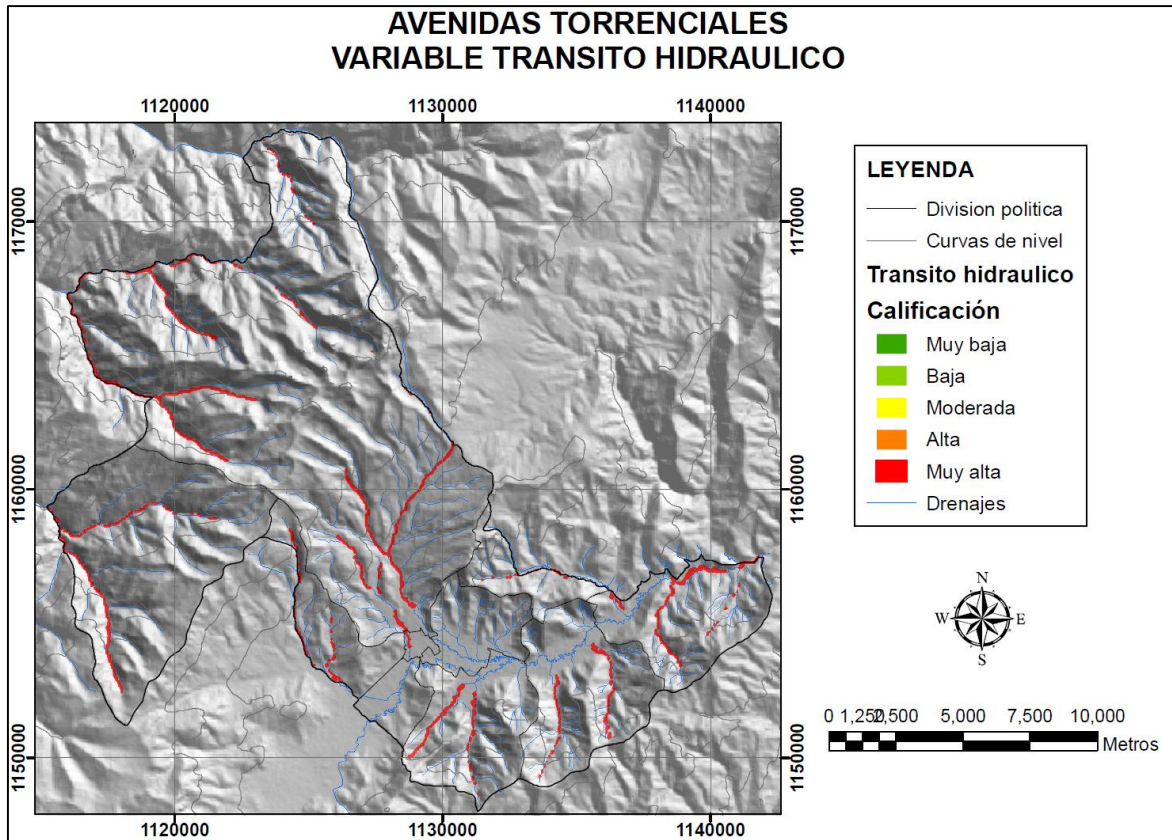
Fuente: Tránsito De Avenidas, Universidad Nacional Agraria La Molina, Maestría de recursos hídricos, Ing. Eduardo A. Chavarri Velarde.

El procedimiento se realiza en el programa Hec-Ras en condiciones críticas de flujo y flujo turbulento, los valores de caudal se realizan en un periodo de retorno de 50 años para cauces abiertos de más de 3 m de sección, con precipitaciones máximas diarias multianuales suministrados por el IDEAM.

El proceso de modelación será explicado a profundidad en la metodología de amenazas por inundación, aquí se darán los pasos a seguir y las condiciones críticas a evaluar, y para cual se tomara una calificación de 5 para la zonificación.

- Creación de datos geométricos por medio Hec Geo Ras en Arcgis
- Creación del Proyecto y configuración de unidades
- Importar datos geométricos y calificación de valores n Maninngs
- Creación de la condición de flujo permanente con condición de borde o calado critico aguas abajo y normal aguas arriba evaluando la pendiente desde el inicio de cauce hasta zonas críticas.
- Ingreso de caudales
- Creación del plan generando las distribuciones de flujo para la obtención de velocidad de flujo, steady flow simulation / options / Flow distribution locations.
- Definición de las distribuciones de flujo aguas abajo.
- Simulación en régimen de flujo mixto
- Exportar datos a ArcGis
- Generación del tránsito hidráulico

Figura 60. Mapa de la variable transito hidráulico



Fuente: Autor.

10.2.2.8 Velocidad de flujo

Es la expresión de los ríos como causantes y conductores de las avenidas torrenciales. Al generarse aportes súbitos de material ya sea por un movimiento en masa a el cauce de una quebrada se presentan variaciones en las condiciones hidrodinámicas del flujo, modificando la velocidad del flujo y generándolo de tipo turbulento, lo cual provoca socavación y arrastre de material de los lados y del fondo del cauce. Al poder evaluar la velocidad de flujo en condiciones extremas es posible observar las zonas donde se generen cambios súbitos del flujo, como el Caudal es igual a la velocidad por área de sección, entre menos área de sección halla hay más probabilidad hay de presentarse un represamiento y más velocidad se genera por la sección, ahora analizando el la pendiente del cauce si esta es alta el flujo tendrá una velocidad mayor por ende más material arrastrara y afectara las zonas aledañas.

La generación de este mapa se realizó a partir de los datos tipo raster generados por el programa HEC-RAS en el modelamiento de tránsitos hidráulicos con el

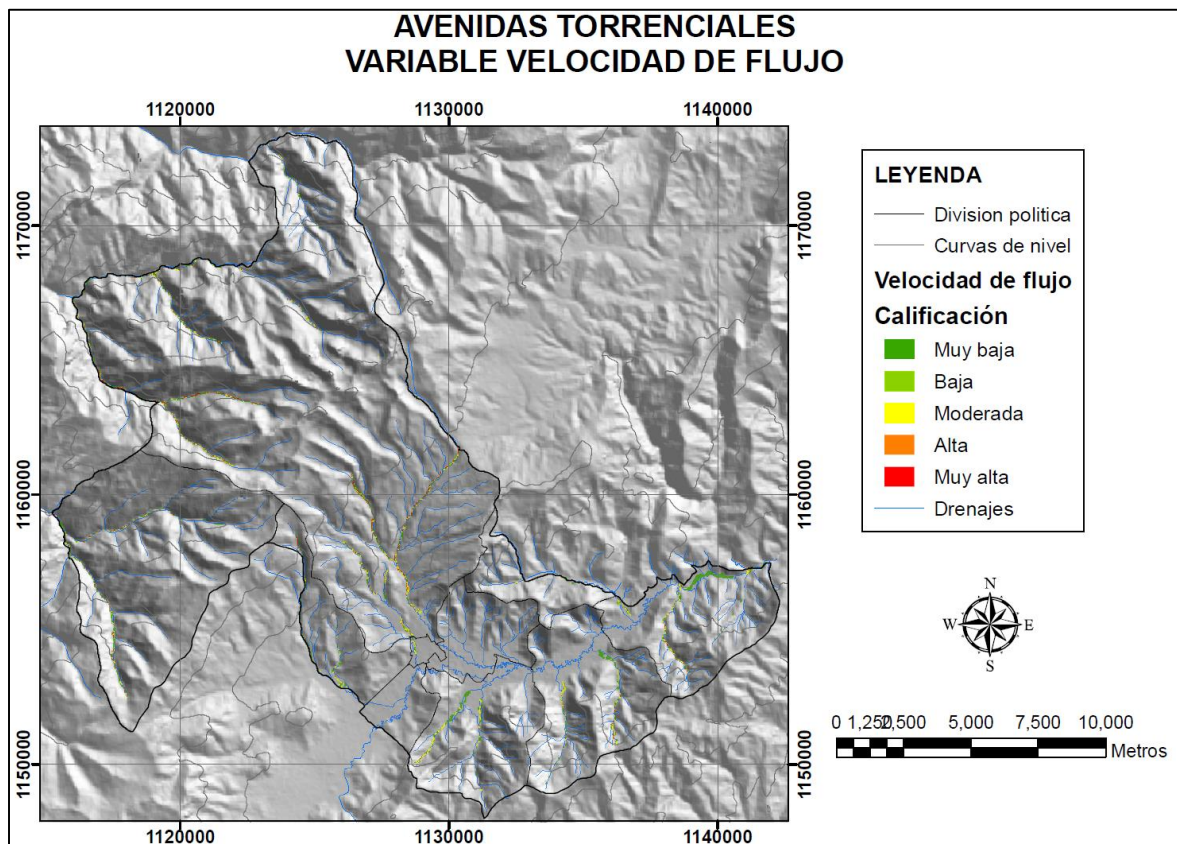
módulo Flow Distribution Locations donde se elige de que sección a que sección interpole datos de velocidad de flujo y cuantas subdivisiones realice al canal. Se clasifico de la siguiente forma la velocidad de flujo.

Tabla 58. Calificación por Velocidad de flujo

Velocidad de Flujo (m/s)	Susceptibilidad
0 - 0.3	1
0.3 - 0.5	2
0.5 - 1	3
1 - 1.5	4
>1.5	5

Fuente: Autor.

Figura 61. Mapa de la variable velocidad de flujo



Fuente: Autor.

10.2.3 Amenaza total por avenidas torrenciales

Para la obtención del mapa de amenazas por avenidas torrenciales se superpusieron las ocho variables cada una con un valor de importancia.

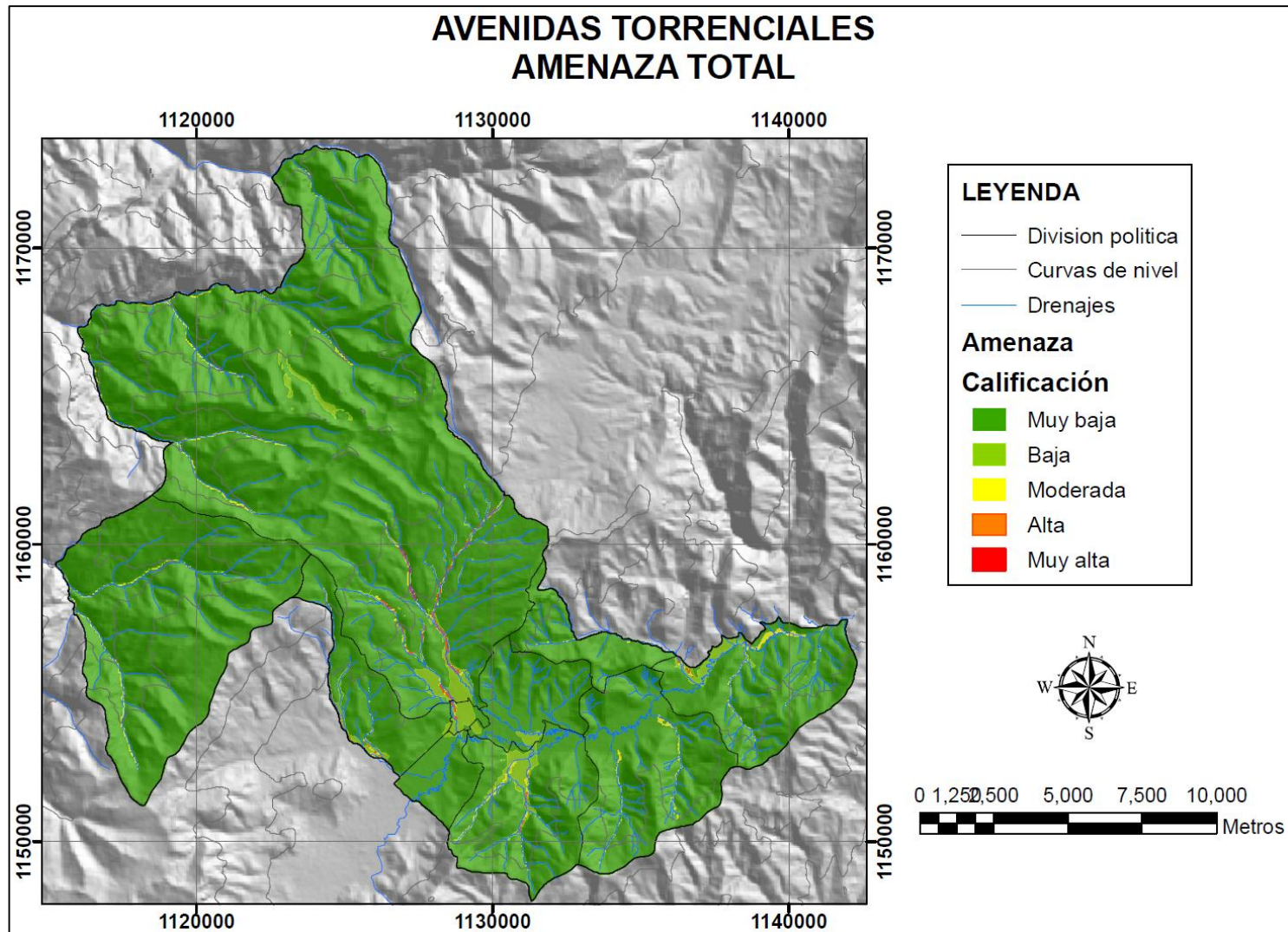
$$(AAT) = 8Vig + 5Vcu + 12Vvf + 22Vant + 21Vth + 12Vmm + 12Vp + 8Vmg$$

Donde, AAT: Amenaza por avenidas torrenciales, Vig: Variable Ingeniería geológica, Vcu: Variable conflicto de uso, Vvf: Variable velocidad de flujo, Vant: Variable antecedentes, Vth: Variable transito hidráulico, Vmm: Variable morfometría de cuencas, Vp: Variable pendientes, Vmg: Variable Morfogénesis.

Luego se le realizó el proceso estadístico de normalización de datos:

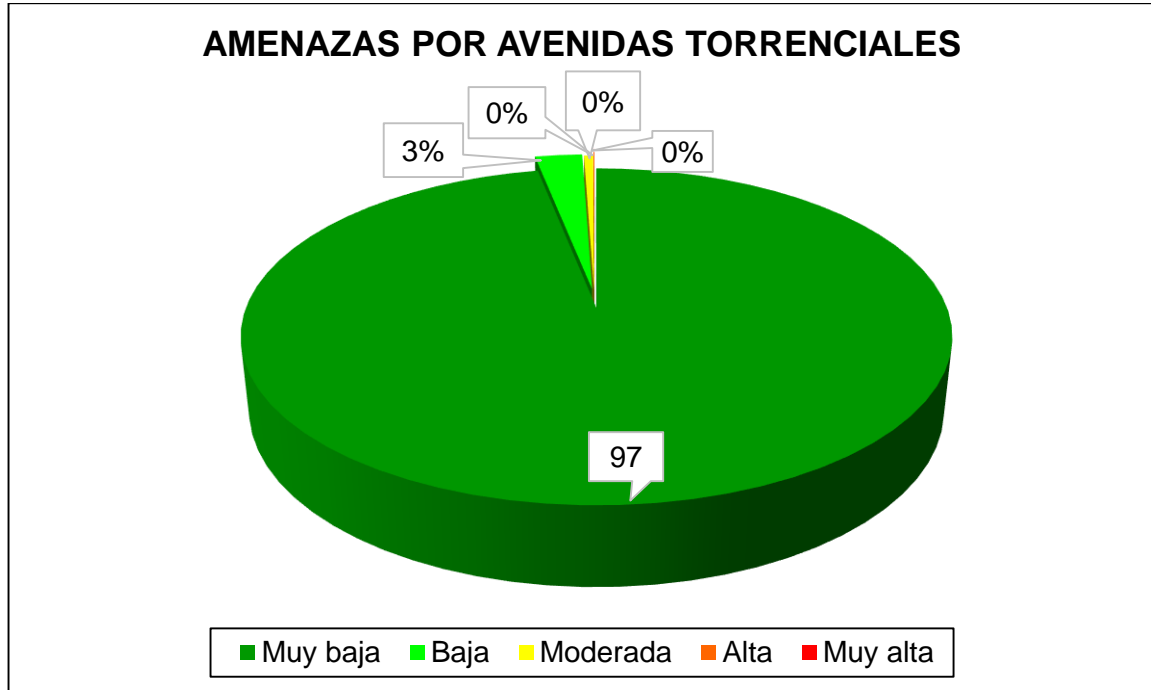
$$\text{Normalizacion} = \frac{(\text{Valor de la variable} - \text{valor minimo})}{\text{Valor maximo} - \text{Valor minimo}} * 5 \text{ Categorías}$$

Figura 62. Mapa de amenaza total por avenidas torrenciales



Fuente: Autor.

Figura 63. Distribución de la amenaza por avenidas torrenciales en el municipio



Fuente: Autor.

Tabla 59. Porcentajes y áreas de Amenaza total por avenidas torrenciales

Categoría	Área (Km2)	Amenaza	Porcentaje
1	275.340	Muy baja	96.884%
2	7.289	Baja	2.565%
3	1.420	Moderada	0.499%
4	0.133	Alta	0.047%
5	0.014	Muy alta	0.005%
Total	284.196		

Fuente: Autor.

Amenaza Muy Baja: se presenta donde las pendientes son muy altas y no se presenta ningún cauce de una quebrada.

Amenaza Baja: se presenta hacia las planicies de inundación intramontanas hasta el inicio de valle aluvial.

Amenaza Moderada: se presenta hacia los alrededores de los cauces de las quebradas.

Amenaza Alta: Se presentan en zonas de pendiente baja, donde el tránsito hidráulico refleja variaciones sustanciales de velocidad de flujo generando socavación y posibles represamientos.

Amenaza Muy alta: se presenta en zonas de pendiente muy baja donde todos los factores contribuyen, en la cuenca es muy probable que se presenta una avenida.

10.3 ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR INUNDACIONES

La dinámica fluvial es muy variable la cual depende del ciclo hidrológico y la morfología del terreno. Esta interactúa con el entorno y el hombre donde a veces esta interacción puede acarrear consecuencias importantes con los procesos involucrados con las aguas fluviales, por esta razón se debe planificar muy bien el progreso del municipio para evitar desastres a futuro.

Las inundaciones son un problema, cuando estas generan algún tipo de vulnerabilidad a las vidas humanas, infraestructura, actividades humanas, entre otros. Estas se generan a partir de un desbordamiento de un río, lluvias torrenciales, subida de mareas, avalanchas, deshielos, poco drenaje y subida del nivel freático, entre otras causas. Las inundaciones generan zonas planas muy fértiles donde se ha llegado a desarrollar agricultura y pastoreo de animales, pero donde se presentó un antecedente de inundación se debe restringir cualquier uso pues se puede repetir en cualquier momento un evento igual o hasta de mayor magnitud. Además las inundaciones pueden clasificarse como repentinas o súbitas y como lentas o progresivas; la principal diferencia frente a las avenidas es la afectación de una estructura y se refiere a al empuje de la corriente o la energía liberada por el mismo.

El valle de Belén presenta 3 ríos que corren de oeste a este los cuales controlan el régimen fluvial, limitado al Norte y sur por un conjunto montañoso el cual recoge y aporta gran cantidad de agua, además que al norte se presenta un extenso paramo rico en agua que también aporta.

10.3.1 Hidrografía del valle de Belén

Por el valle de Belén discurren dos importantes ríos, el Salguera y el Minas los cuales al unirse conforman el río Soapaga, a este se le une el río Paragua y varias quebradas como la Tuate, finalmente estos desembocan en el río Chicamocha.

- Río Minas: este nace en el municipio de Cerinza cuando se unen la quebrada Minas y Carrizal⁴², este es usado como alcantarillado de los municipios de Cerinza y Belén, este río termina cuando se une al Salguera.
- Río Salguera: este nace desde el páramo el Vasto en el municipio de Belén, en las lagunas Chunchullo, Alcohol, Chicha, luego discurren las Quebradas Lagunetas, Colorada, Cuchilla larga, Malpaso y Chunchulla⁴³, al unirse estas

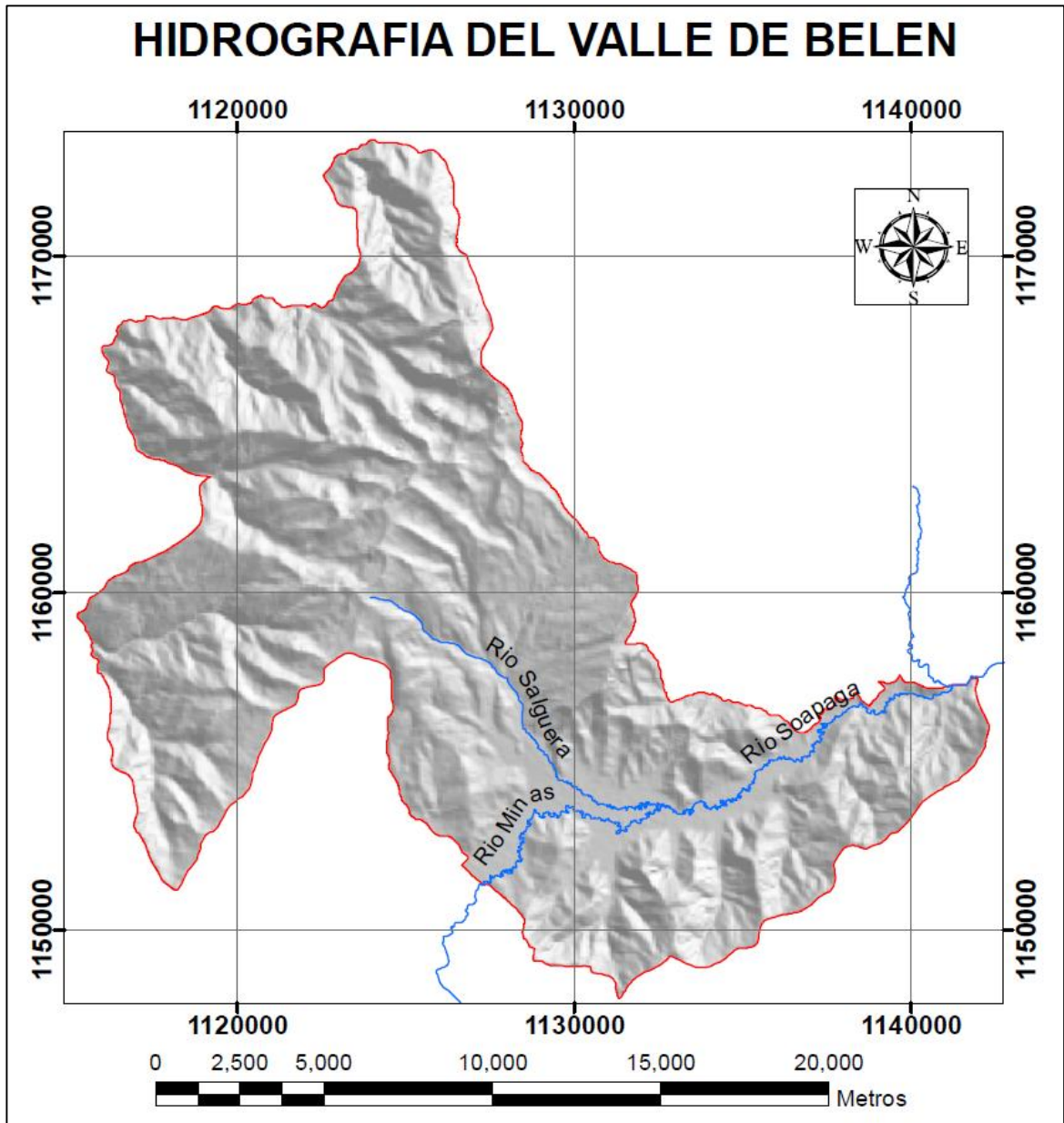
⁴² Base Cartográfica del IDEAM.

⁴³ Base topográfica del IGAC

quebradas se forma el río Salguera y este al unirse al río Minas genera el río Soapaga.

- Río Soapaga: este nace en la unión de los ríos Minas y Salguera en el municipio de Belén, se le une el Río Paragua y termina uniéndose al río Chicamocha⁴⁴.

Figura 64. Hidrografía del valle de Belén



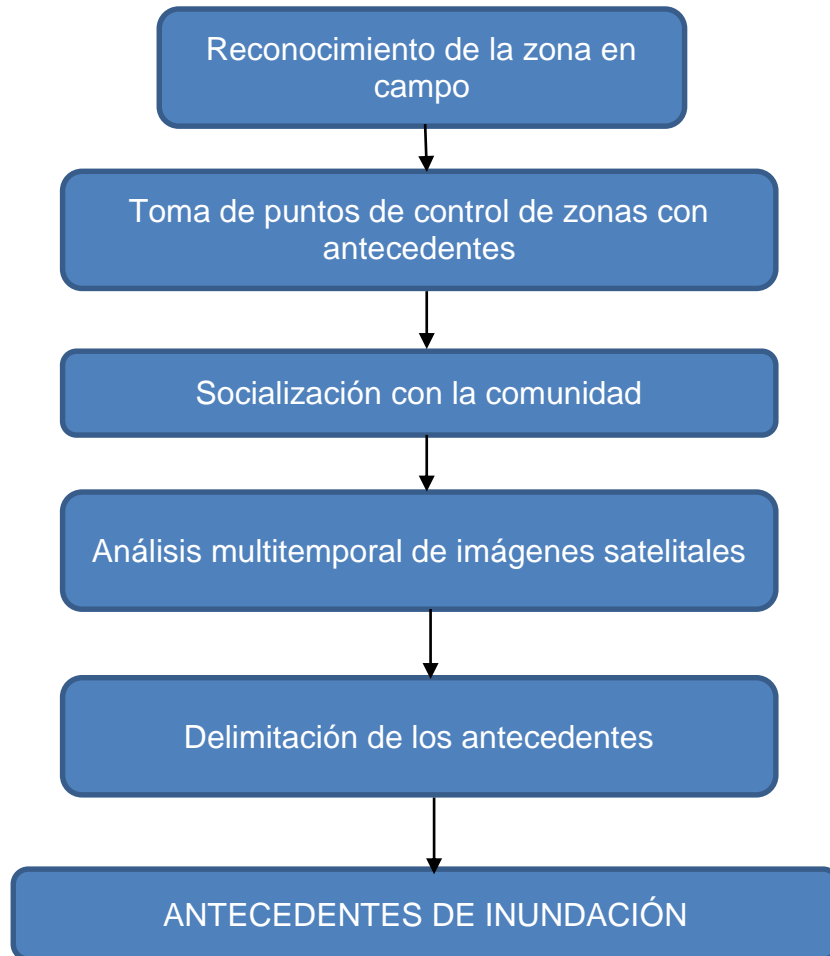
Fuente: IDEAM.

⁴⁴ Base Cartográfica del IDEAM.

10.3.2 Método de análisis

El reconocimiento de la huella de inundación se realizó de la siguiente forma:

Figura 65. Metodología reconocimiento huella de inundación

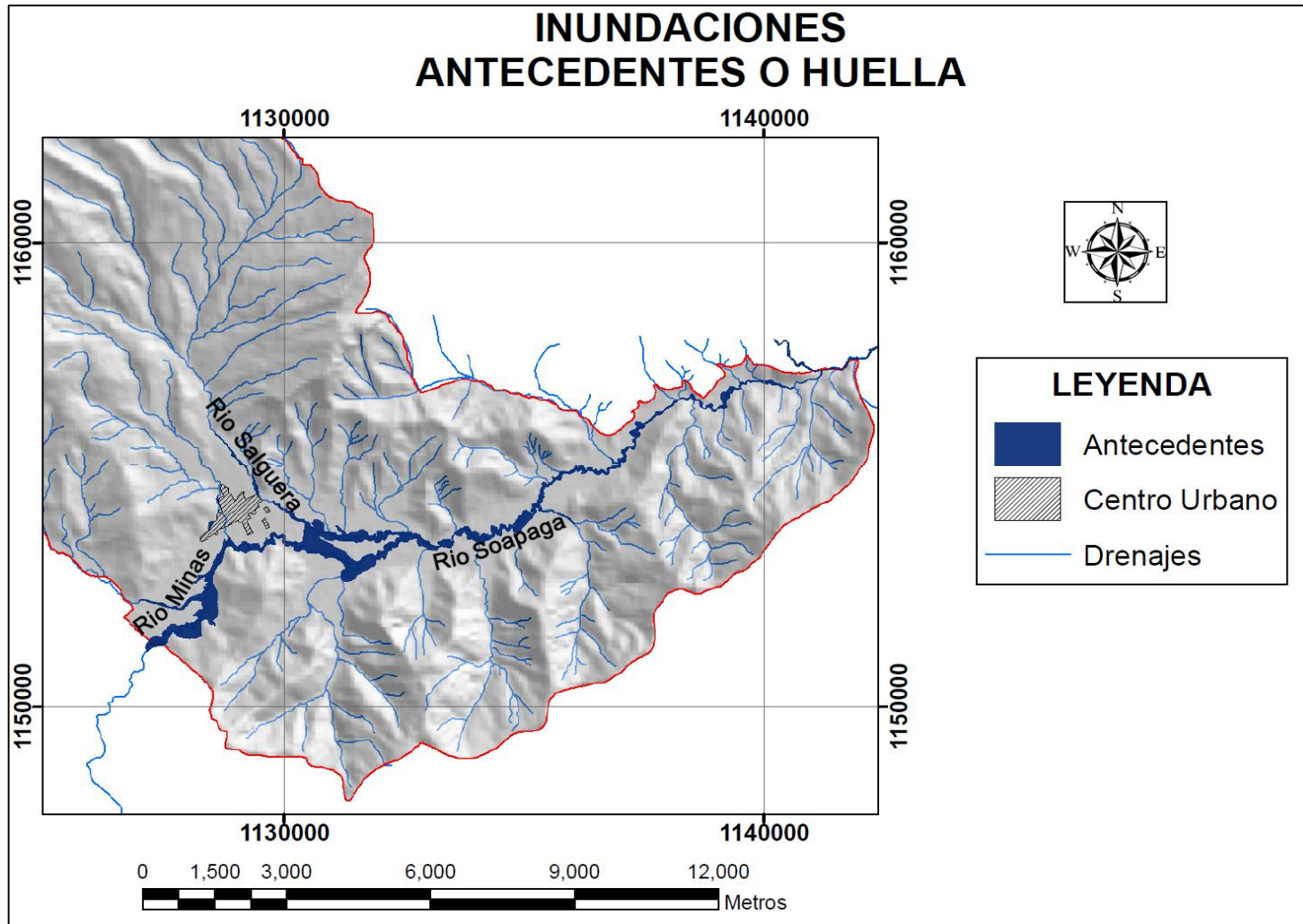


Fuente: Autor.

10.3.3 Antecedentes

En campo se tomaron puntos donde anteriormente se presentaron inundaciones y se crearon formatos. Se realizó el estudio multitemporal de imágenes y se halló la huella de inundación que se muestra en la *figura 63*, además se muestran en el *Anexo No 5 Puntos de control de inundaciones*.

Figura 66. Antecedentes de inundación en el municipio de Belén



Fuente: Autor.

10.3.4 Metodología

Para la evaluación de inundaciones la USACE (United States Army Corps of Engineers) creó modelo hidráulico unidimensional llamado Hec-Ras, donde se pueden establecer modelaciones de flujo tanto estacionarios como no estacionarios y HEC-GEORAS aplicaciones de Hec-Ras para entornos GIS como ArcGis donde permite generar la geometría del cauce. El módulo Hec-ras fue diseñado para generar simulaciones en diferentes factores de flujo como lo son permanentes, semipermanentes y no permanentes.

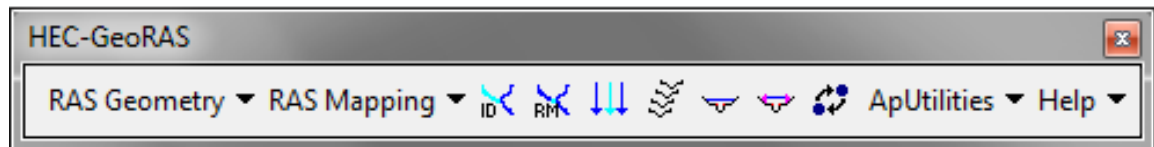
Para la simulación el Hec-Ras se deben tener:

- Modelo Digital del Terreno (TIN o DEM)
- Hidrografía
- Imágenes satelitales y fotografías aéreas multitemporales.
- Cobertura vegetal o uso actual del suelo
- Datos de precipitación
- Cuencas hidrográficas
- Caudales máximos en los periodos de retorno a evaluar

La metodología se divide en tres fases:

10.3.4.1 Fase A Hec Geo Ras Arcgis:

Figura 67. Hec Geo Ras Arcgis

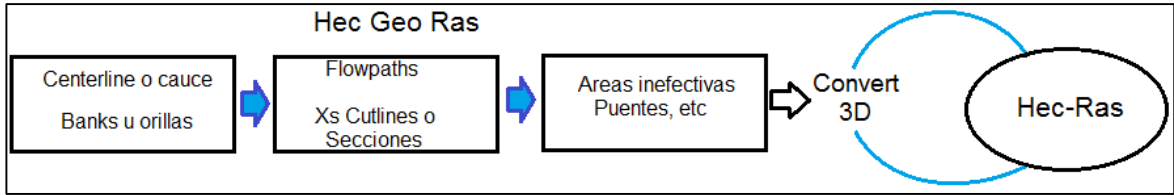


Fuente: Programa Hec- Ras

Aquí se desarrolla la geometría del cauce donde me permite generar los trazos de los ríos (Stream Centerline), las orillas del cauce (Banks lines), zonas posibles de circulación de flujo (Flowplaths Centerlines), las secciones transversales del cauce (XsCutLines) y adicionalmente se pueden agregar zonas inefectivas, puentes, obstáculos o alguna obra de contención. En esta fase se debe tener un gran cuidado pues la digitalización se debe realizar aguas abajo y las secciones transversales solo deben intersectar en un punto las orillas y el río, además se debe analizar y comparar el cauce del río generado por el dem con una imagen satelital para tener mejores resultados

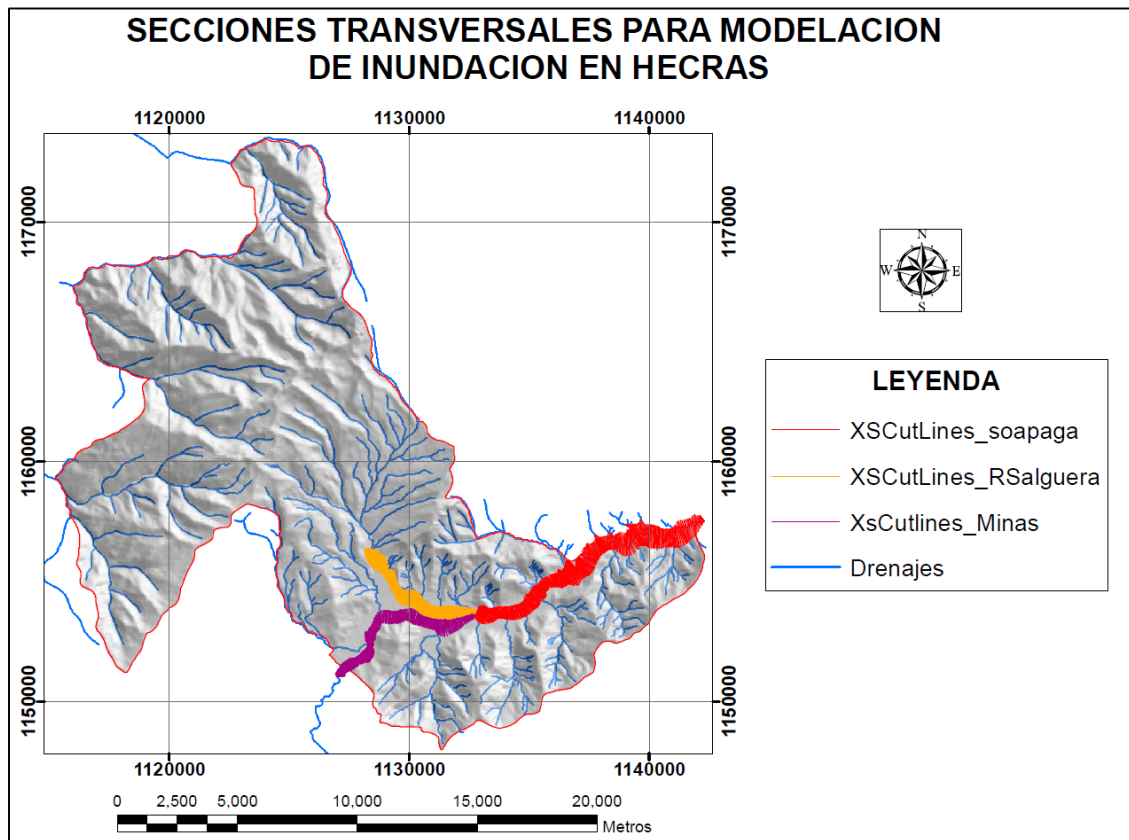
Luego de generar todos los productos necesarios se prosigue a asignarles elevación (Z), es decir a convertirlos en 3D, se procesa el cauce y las secciones transversales generando un nuevo archivo. Por último se exporta a Hec-Ras.

Figura 68. Proceso Hec Geo Ras



Fuente: Autor.

Figura 69. Mapa de secciones transversales por inundaciones.



Fuente: Autor

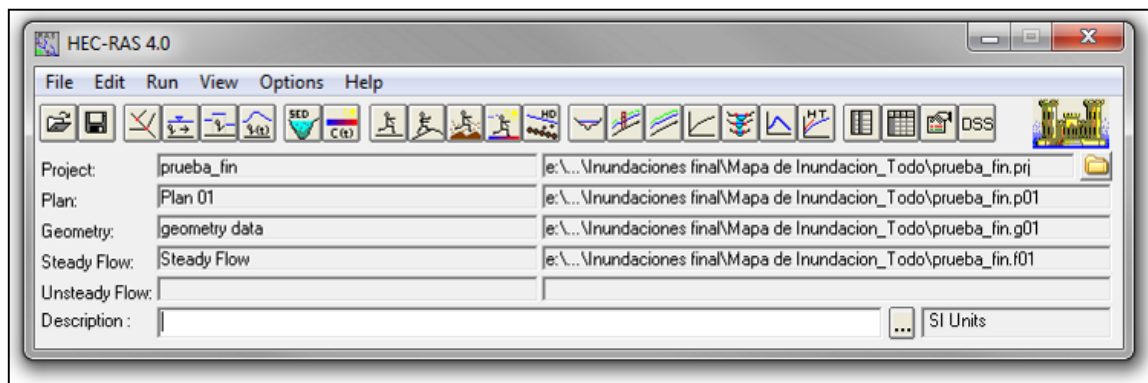
10.3.4.2 Fase B Hec-Ras:

Al exportar los datos geométricos del Hec Geo Ras, se debe iniciar el proceso en Hec-Ras iniciando un nuevo proyecto e importando los datos ya realizados, además de crear los archivos de flujo. Para el análisis de inundaciones en Belén se realizaron modelamientos a los ríos Soapaga, Salguera y Minas, los cuales discurren por una planicie de inundación.

Para la creación del modelo hidráulico se deben realizar los siguientes pasos:

- Creación del nuevo proyecto y configuración de unidades al SI
- Importación de los datos geométricos creados en el Hec Geo Ras
- Asignación de los valores de n de Manning
- Creación de los datos de flujo, caudales y condiciones de frontera
- Creación del plan, tipo régimen de flujo
- Simulación del programa y desarrollo de cálculos hidráulicos
- Exportación de resultados a Hec Geo Ras
- Creación del mapa de inundación

Figura 70. Programa Hec-Ras



Fuente: Programa Hec- Ras

Inicio de un Nuevo Proyecto: En este primer paso, en el que se inicia en el HEC-RAS el desarrollo de un modelo hidráulico, el modelador deberá establecer el directorio en el cual se realizarán los trabajos, y un título que definirá al nuevo proyecto, además se debe definir el tipo de unidades a trabajar las cuales se utilizaran las del sistema inglés.

Ingreso de los Datos Geométricos: El siguiente paso es el ingreso de los datos geométricos necesarios, los cuales consisten en información de conectividad para el sistema fluvial en estudio, también conocidos como datos de secciones transversales (River System Schematic), y, si el modelo lo requiere, datos de estructuras hidráulicas (puentes, alcantarillas, diques, etc.). Una vez importados los datos geométricos, se debe realizar sección por sección un análisis de valores Maninngs los cuales se definen por varios factores como la forma y tendencia del cauce, cobertura vegetal, rugosidad entre otros. Se ingresan en la ventana de geometric data, Tables, Maninng's n, el programa cuenta con una gráfica donde explica los distintos valores dependiendo si es un canal abierto o cerrado, si es sinuoso o recto o si tiene o no rocas y material suelto.

Figura 71. Valores n Manning's

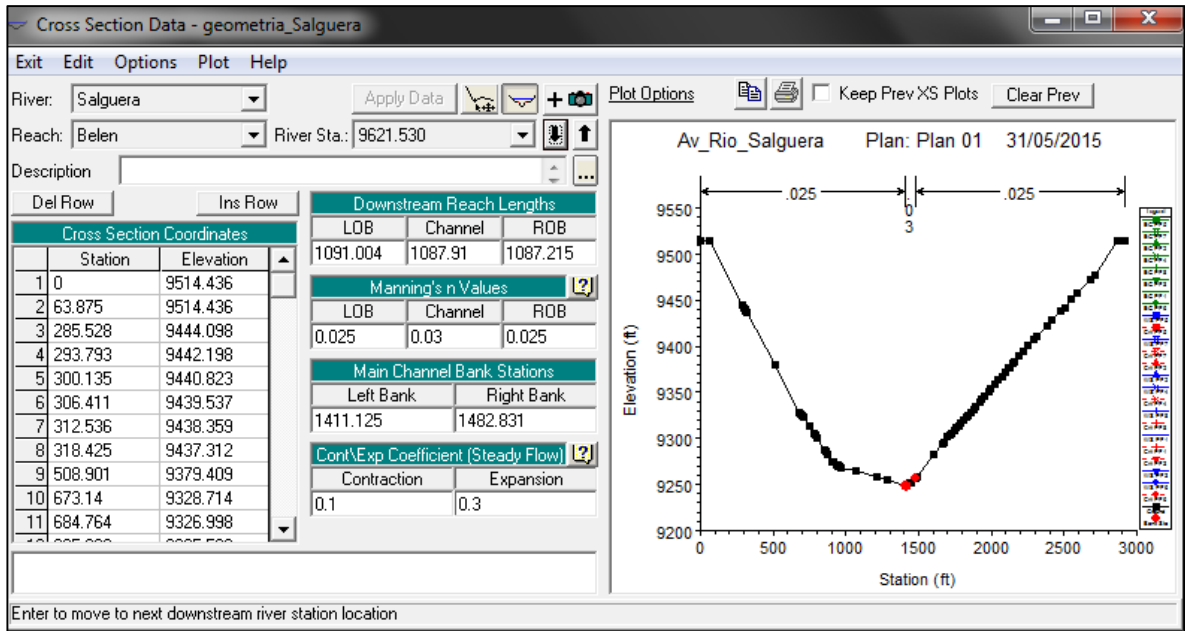
Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
<i>A. Natural Streams</i>			
1. Main Channels			
a. Clean, straight, full, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
c. Clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
d. Same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050
e. Same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.040	0.048	0.055
f. Same as "d" but more stones	0.045	0.050	0.060
g. Sluggish reaches, weedy, deep pools	0.050	0.070	0.080
h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stands of timber and brush	0.070	0.100	0.150
2. Flood Plains			
a. Pasture no brush	0.025	0.030	0.035
1. Short grass	0.030	0.035	0.050
2. High grass			
b. Cultivated areas	0.020	0.030	0.040
1. No crop	0.025	0.035	0.045
2. Mature row crops	0.030	0.040	0.050
3. Mature field crops			
c. Brush	0.035	0.050	0.070
1. Scattered brush, heavy weeds	0.035	0.050	0.060
2. Light brush and trees, in winter	0.040	0.060	0.080
3. Light brush and trees, in summer	0.045	0.070	0.110
4. Medium to dense brush, in winter	0.070	0.100	0.160
5. Medium to dense brush, in summer			
d. Trees	0.030	0.040	0.050
1. Cleared land with tree stumps, no sprouts	0.050	0.060	0.080
2. Same as above, but heavy sprouts	0.080	0.100	0.120
3. Heavy stand of timber, few down trees, little undergrowth, flow below branches	0.100	0.120	0.160
4. Same as above, but with flow into branches			
5. Dense willows, summer, straight	0.110	0.150	0.200
3. Mountain Streams, no vegetation in channel, banks usually steep, with trees and brush on banks submerged			
a. Bottom: gravels, cobbles, and few boulders	0.030	0.040	0.050
b. Bottom: cobbles with large boulders	0.040	0.050	0.070

Fuente: Programa Hec- Ras

Además se debe analizar las secciones en la ventana de Geometric Data, Cross sections los valores medios de las Banks del canal para asegurarse que estén dentro del canal.



Figura 72. Secciones transversales



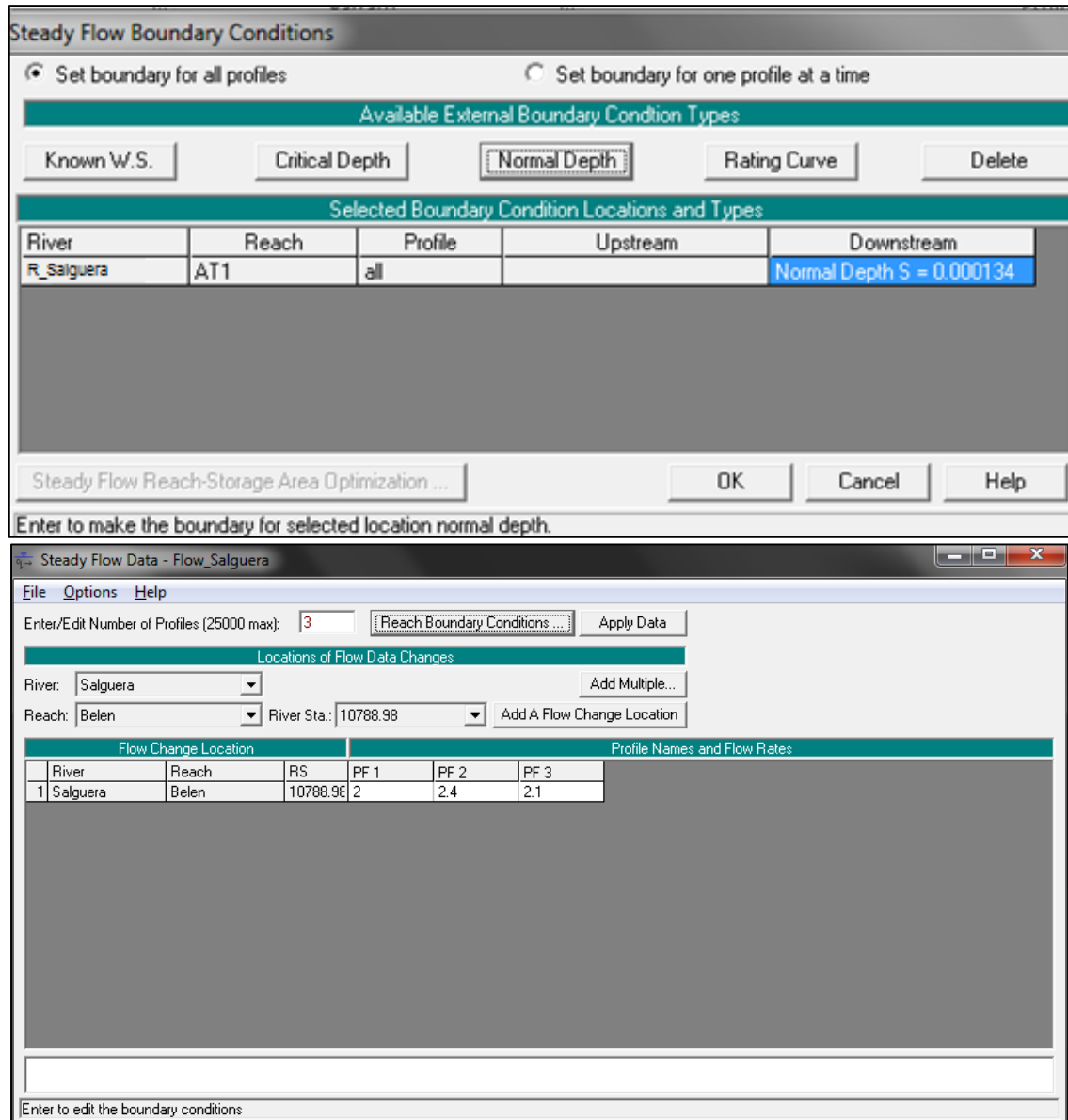
Fuente: Programa Hec- Ras

Ingreso de datos de Flujo, Caudal máximos e hidráulicos: Para el análisis de flujo se tienen tres condiciones de las cuales se debe realizar por flujo permanente (Steady flow), donde se elige el número de perfiles a evaluar según los periodos de retorno ingresando los caudales, luego en Reach Boundary Conditions se elige la condición de flujo o de frontera donde se tendrán 4 opciones Know que requerirá un dato de elevación, Normal que requerirá la pendiente del cauce generada con la formula S de Maninngs, Rating Curve que requerirá una distancia del escenario y un caudal, y por ultimo Critico que no requerirá ningún valor.

En la modelación de inundaciones se requerirá definir la condición de frontera tanto aguas arriba como aguas abajo dependiendo del régimen de flujo, si el régimen es sub-crítico solo se requerirán condiciones límite aguas abajo, si es un análisis de flujo súper-crítico, se requerirá entonces únicamente condiciones límite aguas arriba. Si se requiere realizar un desarrollo de cálculos para un régimen de flujo mixto, se requerirá entonces condiciones de frontera, tanto aguas arriba como aguas abajo.

Para la simulación de inundación se tendrá en cuenta un flujo sub-crítico ósea que solamente se requerirá condiciones aguas abajo con una condición de frontera normal requiriendo la pendiente S de Manning que será igual a la diferencia de la elevación del cauce del punto a evaluar aguas abajo y el punto final del cauce dividido en la longitud del mismo agua abajo.

Figura 73. Condición de frontera del río y Condiciones de flujo

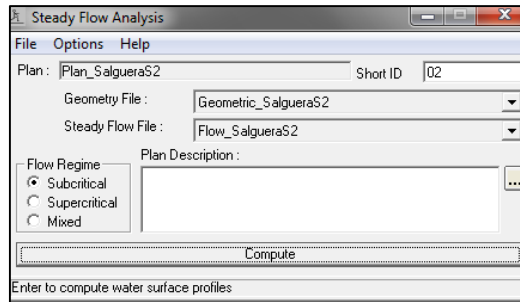


Fuente: Programa Hec- Ras

Por último se corre el modelo hidráulico en condición de flujo permanente (la ecuación de la energía no serán incluidos términos que dependan del tiempo), generando el plan en régimen de flujo sub-critico (N° de Froude < 1).

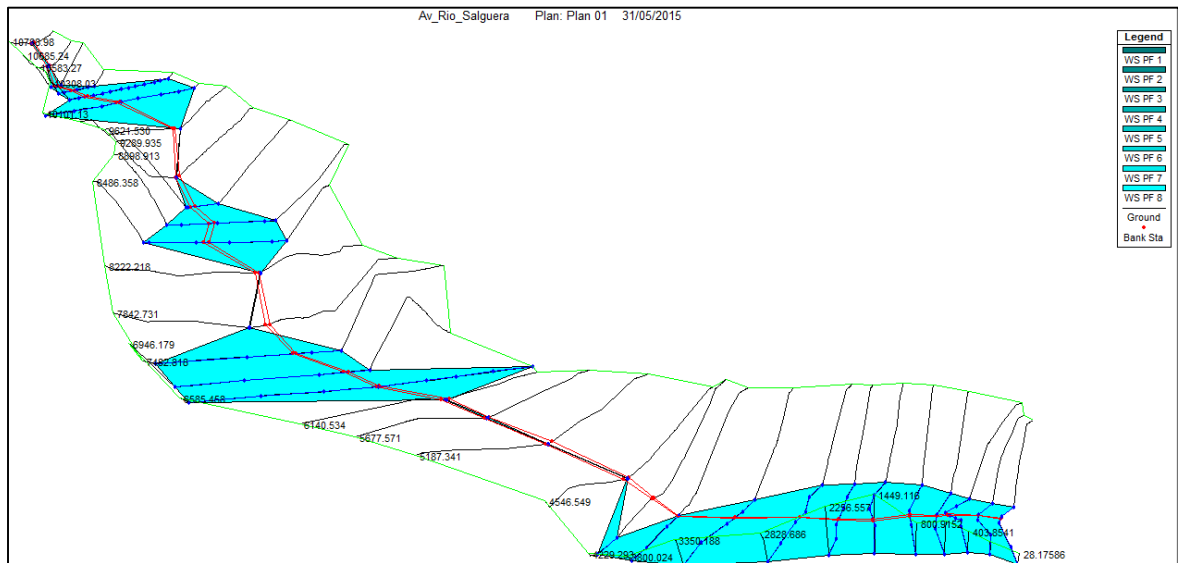
Las opciones de visualización que posee la ventana principal del HEC-RAS incluyen: secciones; perfiles; curvas de gasto; perspectivas X-Y-Z; tablas de detalle; y los resúmenes de los errores, advertencias y notas.

Figura 74. Modelación y análisis de flujo



Fuente: Programa Hec- Ras

Figura 75. Modelo de niveles críticos en perspectiva X, Y, Z



Fuente: Programa Hec- Ras

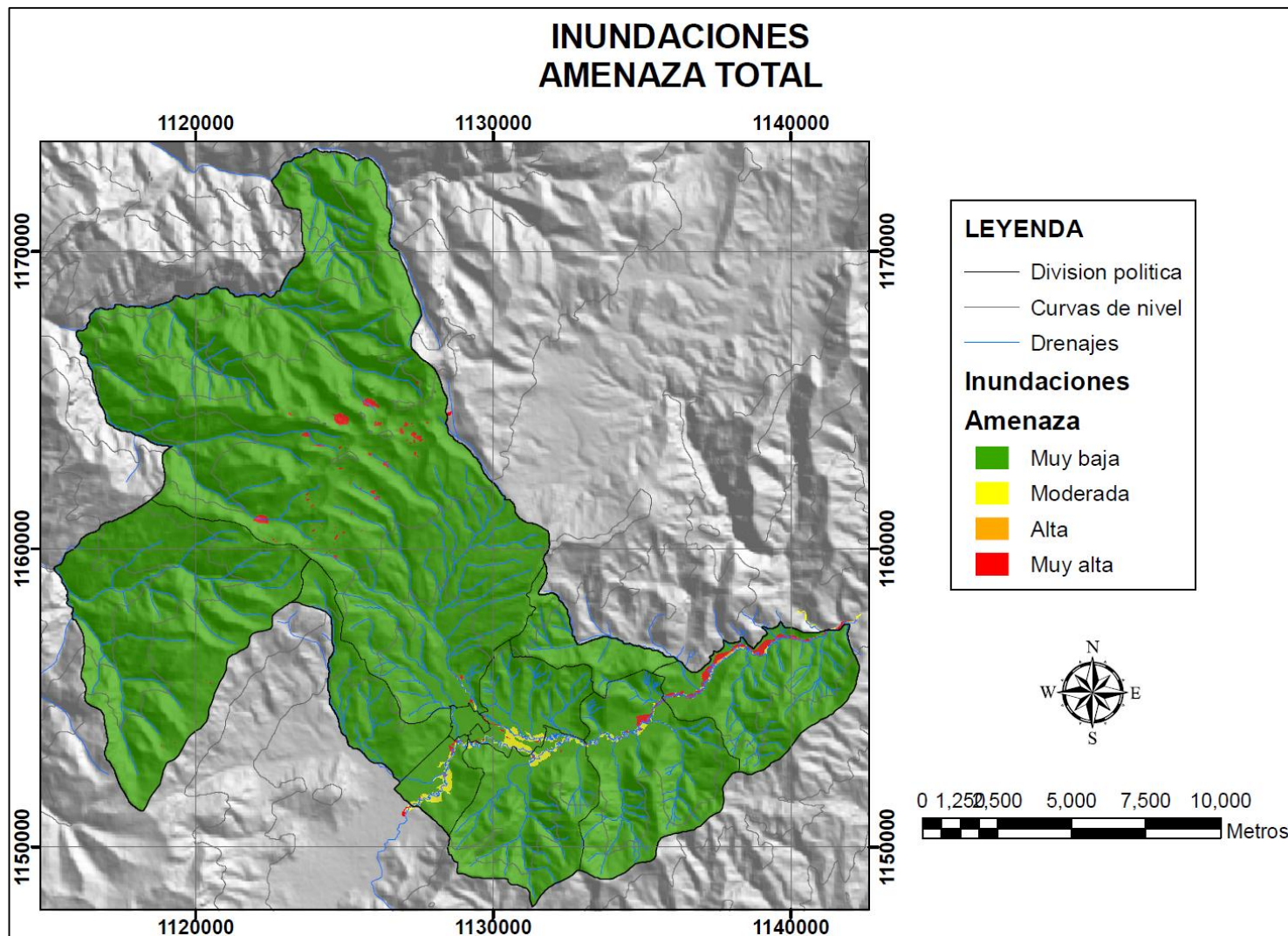
10.3.4.3 Fase C Importación Arcgis por Hec Geo Ras:

Finalmente fueron exportados al programa ARC-GIS todos niveles de agua críticos, donde Hec Geo Ras procesa los datos generando las zonas de inundación. Para la generación de la zonificación de inundaciones en Hec-Ras se tuvieron en cuenta dos condiciones:

- Amenaza Alta: se evalúan zonas con inundaciones en un periodo de retorno de 50 años, representado por caudales máximos diarios multianuales.
- Amenaza Muy alta: Se evalúan zonas con inundaciones, en un periodo de retorno de 25 años, representado por caudales máximos diarios multianuales.

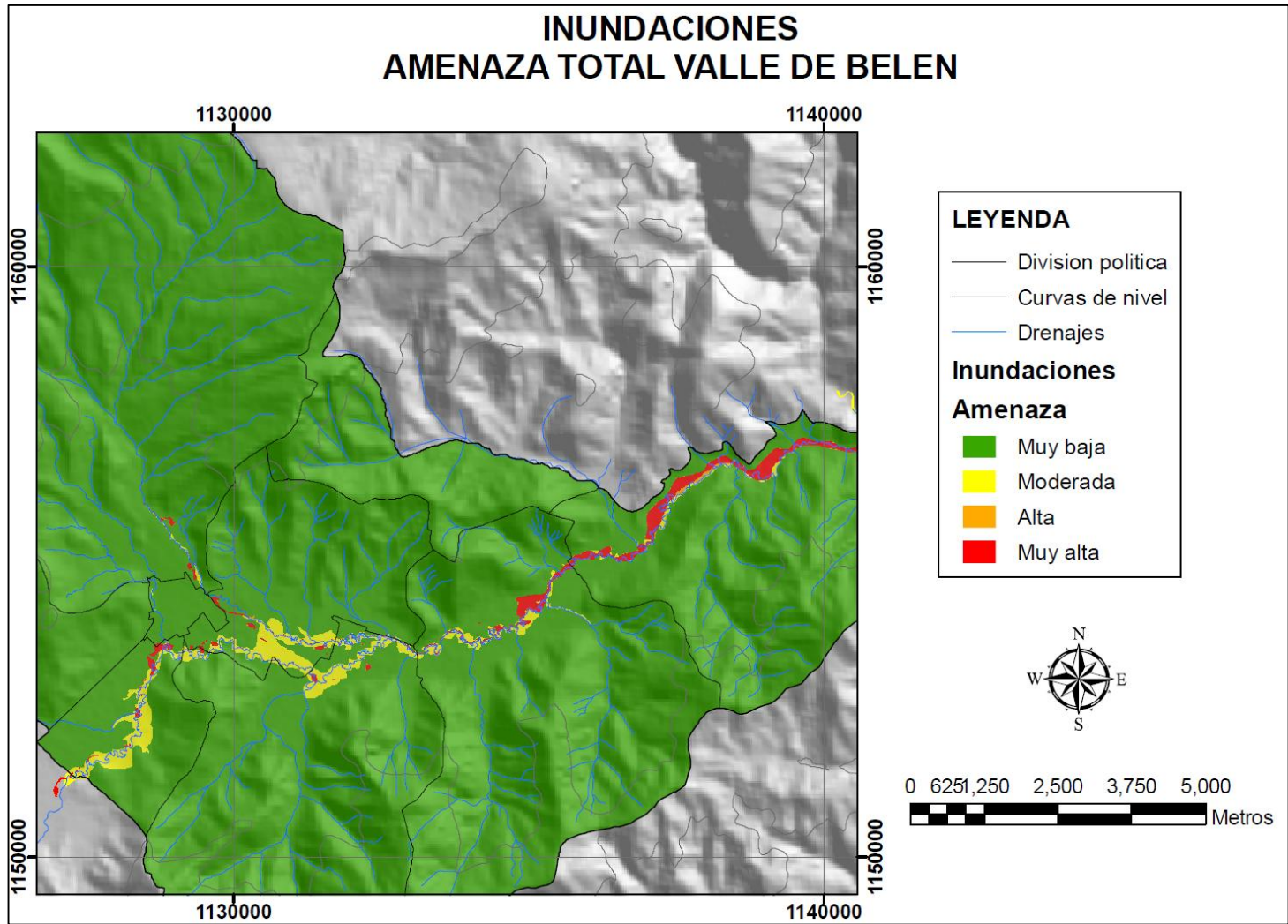
Por último se tuvieron en cuenta los antecedentes representados por la huella de inundación que tendrían una amenaza moderada y los cuerpos de agua que tendrán amenaza muy alta, y el resto del municipio tendrá una amenaza muy baja.

Figura 76. Mapa de amenazas por inundación del municipio.



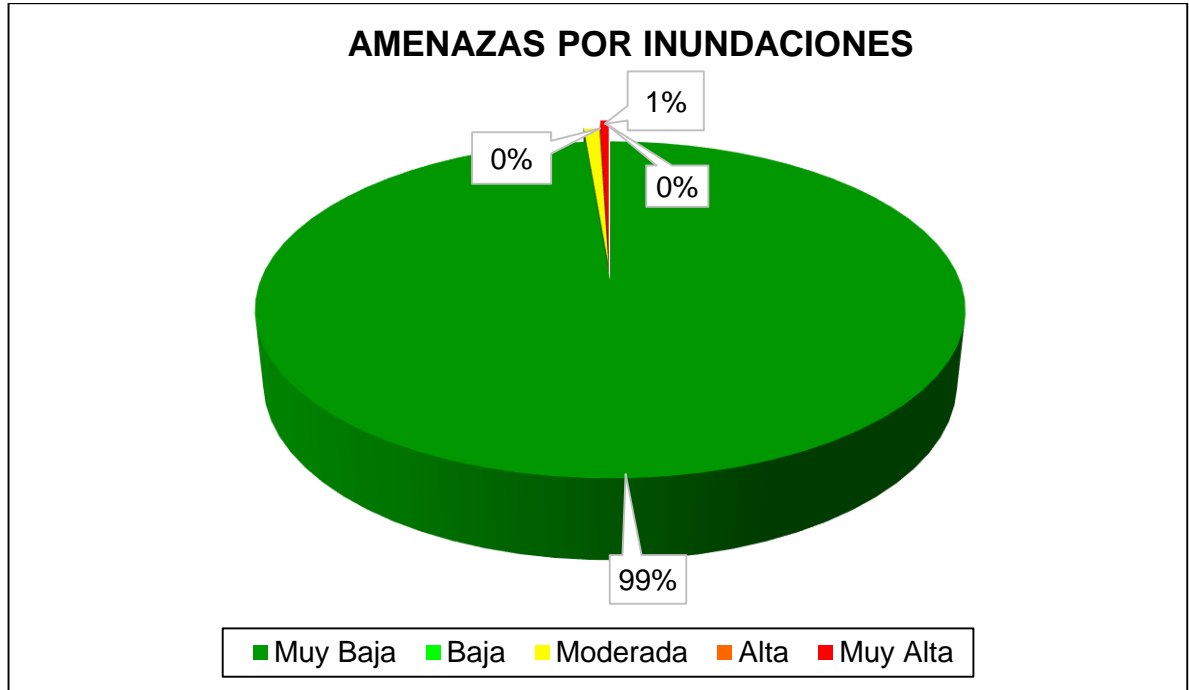
Fuente: Autor.

Figura 77. Mapa de amenazas por inundación del valle de Belén.



Fuente: Autor.

Figura 78. Distribución de la amenaza por inundaciones en el municipio



Fuente: Autor.

Tabla 60. Porcentajes y áreas de Amenaza total por avenidas torrenciales

Categoría	Área	Porcentaje	Amenaza
1	280.44	98.68%	Muy Baja
2	0.00	0.00%	Baja
3	2.36	0.83%	Moderada
4	0.08	0.03%	Alta
5	1.32	0.46%	Muy Alta
Total	284.20		

Fuente: Autor.

Amenaza media: se delimito según la huella de inundación que se realizó con un estudio multitemporal de imágenes, se presenta a lo largo del valle del municipio y se presenta no solamente como un espejo de agua sino como encharcamientos empantanando el suelo, es de importancia pues pueden generar una muerte del suelo por falta de oxígeno ya que este se satura.

Amenaza Alta: Se observa a lo largo de los cauces, delimitada por la amenaza muy alta, en la modelación de Hec-Ras esta presenta un caudal más alto y así genera una mayor superficie de inundación. Se presentan zonas críticas hacia la vereda La Venta donde se extiende la inundación.

Amenaza Muy Alta: Se presenta en varios sectores de los cauces, en el río Salguera se presentan 3 desbordamientos importantes hacia la parte baja de la Vereda el Bosque con límites con el centro urbano, dejando en muy alta amenaza a varias casas que se encuentran muy cerca de la ronda del río. Cerca al cementerio municipal se presenta un desbordamiento importante que podría afectarlo.

En el río Minas las zonas de muy alta amenaza son muy pequeñas pero en la vereda Donación con límites con el centro urbano se presentan dos desbordamientos que solamente pueden llegar a afectar un puente. Por último y el más característico por sus grandes zonas de amenaza muy alta el río Soapaga, hacia la vereda Tirinquita y La venta se presentan grandes desbordamientos que podrían llegar a afectar varios puentes y la vía, además se presentan varias viviendas que están en el límite de la amenaza y en la vereda la Venta la escuela se encuentra dentro de esta zona.

CONCLUSIONES

- Se identificó que la formación Cuarzomonzonitas de Santa Rosita se presenta muy meteorizado y alterado, de tal manera que presenta un comportamiento casi arcilloso.
- Se evidencia que al sur del municipio, se generan varios replegamientos que generan estructuras importantes tales como el anticlinal de Floresta.
- Las formaciones Cuarzomonzonitas de Santa Rosita, Montebel, Floresta y en los cuaternarios de Morrena y Fluvio Glacial fueron en las cuales se observaron más movimientos en masa.
- El municipio cuenta con gran riqueza de fuentes hídricas, la mayoría de estas tiene un flujo permanente incluso en temporada de verano, por lo tanto es necesario tener un seguimiento continuo de ellas. Además muchos de los drenajes presentan un alto grado de depositación de sedimentos en donde pueden llegar a presentarse represamientos.
- En la zona de estudio se presenta una precipitación que va de 700 hasta 3000 mm/año y un rango de alturas entre 600 y 3500 msnm, por lo cual presenta gran variedad de zonas de vida.
- El municipio presenta una gran variabilidad de cobertura vegetal, con un 38% de bosques, un 19% de vegetación de páramo y un 17 % de pastos, por lo tanto son las más predominantes en la zona.
- Se identificaron 42 movimientos en masa en campo y 13 por interpretación visual de imágenes, para un total de 55 movimientos en masa; 3 avenidas torrenciales y 7 polígonos de inundaciones.
- Tan solo menos del 1% del municipio tiene susceptibilidad alta a presentar movimientos en masa, presentándose en las veredas el Bosque, San José de la Montaña y Tuate.
- Para la amenaza total del municipio por movimientos en masa el 53% está en Baja, seguido de la moderada y muy Baja con un 24% y 21% respectivamente, un 2% es alta y tan solo un 0.16% está en amenaza Alta.

- Para la zonificación de avenidas torrenciales el municipio presenta un 97% en amenaza muy baja, un 2.5% en baja, un 0.5% moderada, 0.047% en alta y solo un 0.005% en muy alta.
- Para las amenazas por avenidas torrenciales tan solo un 0.005% está en muy alto y se presenta en la vereda el Bosque sector La Concordia en la cuenca alta del río Salguera y en la quebrada La Mugre. En el casco urbano se pueden generar nuevamente una avenida, ya que gran parte de esta quedó en amenaza media y otra más pequeña en alta.
- Para las amenazas por inundación se presentan a lo largo de los ríos Minas y Soapaga en Muy alto grado, en especial en las veredas La Venta y Tiringuita. Una parte del casco urbano también verse afectada, pues donde se construyó el cementerio se observa una superficie de inundación.

En cuanto a movimientos en masa se debe tener en cuenta que:

- La vereda Tuate: ha presentado varios antecedentes debido a la geología presente en el sector como lo son depósitos cuaternarios, Formación Chipaque y en algunos sectores las Cuarzomonzonitas de Santa Rosita.
- La vereda el Bosque al ser de gran tamaño presenta gran variabilidad en cuanto a geología se trata, en el sector de la quebrada los pericos se presenta una gran cantidad de reptaciones debido a presentar rocas de la formación Tibasosa, se debe prestar atención en desarrollo de actividades sobre el cuaternario glacial pues la depositación de este es caótica y heterogénea.
- La vereda Montero – sector Bellavista también está en polémica por amenazas de movimientos en masa. Actualmente, en el esquema aparece en amenaza muy alta (Categoría 5), sin embargo en este estudio tan sólo una porción del sector alcanzó la amenaza alta.

RECOMENDACIONES

- El municipio en general, presenta un buen uso del suelo, sin embargo en el sector de Tuaté Alto y Tuaté Bajo, es recomendable adoptar alternativas con respecto al uso potencial de dicho sector, las actividades agropecuarias han suscitado inestabilidades en el terreno, pues se han desarrollado de una forma inadecuada, se presentan Rocas de la formación Cuarzomonzonitas de Santa Rosita con un comportamiento arcilloso, el riego se realiza sin un control y se debe tener en cuenta el tipo de cultivo que no afecte la cobertura del suelo.
- Se sugiere tener un seguimiento en la vereda Tuaté, ya que es una zona muy susceptible a presentarse movimientos en masa, dándose una erosión considerable y una precipitación moderada. Además, es importante optar por buen manejo de aguas de desecho mediante un servicio adecuado y bien diseñado (alcantarillado), ya que es muy común encontrar en la zona manejos inadecuados de dichas aguas.
- El proceso para realizar el mapa de detonante de sismos sigue una metodología compleja, que puede llevar a ciertas confusiones en cuanto a lo de los periodos de retorno. Se sugiere la creación de una metodología más sencilla al alcance de cualquier lector que pueda involucrar el mapa nacional de amenazas sísmica y el historial sísmico.
- En los cursos de las quebradas El Guirre, La Mugre y Cuchilla Larga, que han sido protagonistas en las avenidas torrenciales, se ha evidenciado una importante acumulación de sedimentos de gran tamaño, se sugiere una remoción de dicho material a lo largo de estos cauces para evitar represamientos y una nueva avenida torrencial.
- En la quebrada El Guirre que atraviesa el casco urbano se presentan varios canales tanto abiertos como cerrados (Tuberías) que en una fuerte precipitación pueden alcanzar su capacidad y generar problemas, se aconseja evaluar esos canales y realizar un estudio más detallado.
- Se Se aconseja respetar el límite de protección de los ríos y las quebradas pues se evidencian invasiones de algunas viviendas. Además, se debe tener un especial cuidado con el Río Salguera en el casco Urbano hacia el sector cercano al cementerio, se sugiere un análisis más detallado de esta zona, pues se genero hace muchos años un desvío al cauce del río, para utilizar el agua en un molino para generación de energía.

BIBLIOGRAFÍA

Servicio geológico colombiano 2013. Documento metodológico de la zonificación de Susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa Escala 1:100.000, Bogotá D.C, Colombia.

Ingeominas 2001. Evaluación de Riesgos por fenómenos de remoción en masa y avenidas torrenciales, Bogotá D.C, Colombia.

Universidad de Granada 2007. Manual básico de HEC-Ras para zonificación de amenazas por inundaciones, España.

Servicio nacional de geología a y minería publicación geológica multinacional no. 4, 2007. Movimientos en Masa en la Región andina, Una guía para la evaluación de amenazas, Bogotá D.C, Colombia.

Carvajal, j. 2012. Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Servicio geológico colombiano, Bogotá D.C, Colombia.

Servicio Geológico Colombiano. 2014. Glosario Geomorfológico, Bogotá D.C, Colombia.

Ingeominas. 2001. Geología de la plancha 172 Paz del Rio escala 1:100.00. Memoria explicativa, Bogotá D.C, Colombia.

Ingeominas. 2003. Geología de la plancha 152 Paz del Rio escala 1:100.00. Memoria explicativa, Bogotá D.C, Colombia.

Anónimo. 2005. Ejemplos y descripción de la interpretación visual de las coberturas simples del siose.

Agencia nacional de hidrocarburos. 2006. Cartografía geológica cuenca cordillera oriental-sector Soapaga, Bogotá DC, Colombia.

Municipio de Belén, 2000, Esquema de Ordenamiento Territorial, Belén, Boyacá, Colombia, Belén Boyacá.

Universidad Nacional de Colombia, Pablo Antonio Garzón Casares, 2011, Evaluación de la Amenaza Sísmica de Colombia mediante análisis de valores extremos históricos, Bogotá Dc, Colombia.

Evaluación preliminar De La Zonificación De Amenazas Por Fenómenos De Remoción En Masa Y Flujos Torrenciales, Vulnerabilidad Y Escenarios De Riesgo En La Cabecera Municipal De Yopal, Aplicando Un Sig, UPTC – IRME, 2007, Municipio de Yopal.