

**PRÁCTICA ACADÉMICA EN LA SECRETARÍA DE PLANEACIÓN DE LA
GOBERNACIÓN DE CALDAS: APROXIMACIÓN A LA ZONIFICACIÓN DE
AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES CON SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA EN EL MUNICIPIO DE PALESTINA, CALDAS.**

ANA MARIA PERDOMO DUGARTE



Universidad de Caldas

**UNIVERSIDAD DE CALDAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
PROGRAMA DE GEOLOGÍA
MANIZALES, CALDAS
2019**

**PRÁCTICA ACADÉMICA EN LA SECRETARIA DE PLANEACIÓN DE LA
GOBERNACIÓN DE CALDAS: APROXIMACIÓN A LA ZONIFICACIÓN DE
AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES CON SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA EN EL MUNICIPIO DE PALESTINA, CALDAS.**

ANA MARIA PERDOMO DUGARTE

Trabajo para optar por el título de geólogo

ASESOR PRÁCTICA

PhD. ROGELIO PINEDA MURILLO

DIEGO ALBERTO ARANGO

**UNIVERSIDAD DE CALDAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
PROGRAMA DE GEOLOGÍA
MANIZALES, CALDAS
2019**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Rogelio Pineda Murillo

Director Práctica

Manizales, Caldas

Agosto, 2019

Tabla de Contenido

RESUMEN	9
1. INTRODUCCIÓN	10
2. PROBLEMÁTICA	11
3. OBJETIVOS	12
3.1 OBJETIVO GENERAL	12
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
4. DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA	13
5. MARCO CONCEPTUAL	16
5.1 MARCO REFERENCIAL	16
5.2 MARCO NORMATIVO	18
5.3 MARCO TEÓRICO	21
6. METODOLOGÍA	23
6.1 Tipo de investigación	23
6.2 Enfoque metodológico	23
6.3 Diseño de instrumentos	23
6.4 Procedimiento	24
6.4.1 Mapa de Geología	25
6.4.2 Mapa de Geomorfología	26
6.4.3 Mapa de Uso y Cobertura de la Tierra	29
6.4.4 Mapa de precipitación	30
6.4.5 Mapa de Amenaza	33
7. RESULTADOS	35
7.1 Mapa de Geología	35
7.1.1 Descripción de unidades	36
7.1.1.1 Complejo Arquía	36
7.1.1.2 Complejo Quebradagrande. Conjunto Volcánico (Kvc)	37
7.1.1.3 Formación Barroso (Kvb)	38
7.1.1.4 Formación Nogales (Kn)	39
7.1.1.5 Rocas Hipoabisales Porfídicas (Tadp)	40
7.1.1.6 Formación Irra-Tres Puertas	41

7.1.1.7	Cenizas y flujos de escombros (Qfl)	42
7.1.1.8	Depósitos aluviales recientes (Qal).....	43
	Mapa Geomorfológico	43
7.2	Mapa de Uso y Cobertura de la tierra.....	46
7.3	Mapa de precipitación	48
7.4	Clasificación morfométrica.....	49
7.4.1	Coeficiente de compacidad:	49
7.4.2	Densidad de drenaje:	49
7.4.3	Pendiente media de la cuenca:.....	50
7.5	Mapa de Amenaza	52
8.	CONCLUSIONES	54
9.	RECOMENDACIONES	55
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	56

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio, división municipal. (Fuente: Propia)	13
Figura 2. Mapa político del municipio de Palestina. En Amarillo los centros Poblados más importantes del Municipio (Fuente: Propia).....	14
Figura 3. Mapa de insumos para el análisis de riesgo realizado en el trabajo	17
Figura 4. Mapa de geología aportado por Corpocaldas escala 1:250.000 como insumo.....	26
Figura 5. Mapa de geomorfología aportado por Corpocaldas.	27
Figura 6. Modelo de elevación digital (MED) de 12,5m.....	28
Figura 7. Relieve sombreado a partir del MED.	28
Figura 8. Mapa de Uso y cobertura de la tierra, aportado por Corpocaldas.....	29
Figura 10. Mapa de cuencas de Palestina.....	33
Figura 11. Esquistos del complejo Quebradagrande.....	37
Figura 12. Aglomerados de la Formación Barroso.....	38
Figura 13. Secuencia de cherts de la Formación Nogales.....	39
Figura 14. Afloramiento de rocas Hipoabisales porfíricas de Palestina.....	40
Figura 15. Muestra de mano de las rocas hipoabisales porfíricas.	41
Figura 16. Afloramiento de secuencia aluvial y volcano-sedimentario (Qfl)	42

Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Barrios del municipio de Palestina. Fuente: (Alcaldía de Palestina, 2019).</i>	14
<i>Tabla 2. División de las veredas del municipio de Palestina. Fuente: (Alcaldía de Palestina, 2019)</i>	15
<i>Tabla 3. División de los centros poblados de Palestina. Fuente: (Alcaldía de Palestina, 2019).</i>	15
<i>Tabla 4. Escalas para realizar los diferentes estudios</i>	19
<i>Tabla 5. Valores en porcentaje para cada mapa temático</i>	24
<i>Tabla 6. Valores en porcentaje para cada factor</i>	25
<i>Tabla 7. Valores para asignar a cada unidad geológica.</i>	25
<i>Tabla 8. Valores para asignar a cada geoforma.</i>	27
<i>Tabla 9. Valores para asignar a cada cobertura.</i>	29
<i>Tabla 10. Valores para asignar a cada nivel de lluvia.</i>	30
<i>Tabla 11. Valores asignados para avenidas torrenciales.</i>	34
<i>Tabla 12. Clasificación de pesos para las unidades geológicas.</i>	43
<i>Tabla 13. Clasificación de pesos para las unidades geomorfológicas.</i>	46
<i>Tabla 14. Clasificación de pesos para cobertura.</i>	48
<i>Tabla 15. Clasificación de peso para cada nivel de lluvia</i>	49
<i>Tabla 16. Resultados del coeficiente de compacidad para las cuencas.</i>	49
<i>Tabla 17. Resultados de la densidad de drenaje para las cuencas.</i>	50
<i>Tabla 18. Resultados de la pendiente media en porcentaje para las cuencas.</i>	51
<i>Tabla 19. Resultados de una ocurrencia a Avenidas Torrenciales en Hectáreas y Porcentaje en el Municipio de Palestina.</i>	53

Índice de Mapas

<i>Mapa 1. Mapa de geología 1:100.000 del SGC.</i>	35
<i>Mapa 2. Mapa de Geomorfología 1:10.000 (Fuente: Elaboración propia)</i>	44
<i>Mapa 3. Mapa de cobertura vegetal 1:10.000</i>	47
<i>Mapa 4. Mapa de precipitación promedio anual en Palestina.</i>	48
<i>Mapa 5. Mapa de pendiente para la cuenca del río Chinchiná</i>	50
<i>Mapa 6. Mapa de pendiente para la cuenca del río Campoalegre</i>	51
<i>Mapa 7. Mapa de amenaza para todo el municipio de Palestina.</i>	52

RESUMEN

El producto de la variabilidad climática extrema, ha desencadenado la ocurrencia de eventos como lo son movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, poniendo en riesgo la vida y el desarrollo de una población. Estos eventos se han convertido en prioridad y preferencia de las diferentes corporaciones encargadas en gestión y desarrollo sostenible de todo el país.

El trabajo realizado en la secretaria de planeación de la Gobernación de Caldas, se desarrolló en torno al aporte de insumos para la actualización del PBOT, regidos por el decreto 1807 del 2014, siendo prioridad el municipio de Palestina, Caldas. Para esto, se recolectó información necesaria suministrada por la Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS), la administración municipal e información del IDEAM, esto para luego ser evaluada y llegar a la realización de mapas para la ocurrencia de avenidas torrenciales, usando diferentes variables como lo son: la geología, geomorfología, morfometría, precipitación y el uso y cobertura de la tierra, para llegar a la amenaza del municipio, realizadas por la superposición de mapas, siendo actualizadas y obtenidas por el procesamiento de la información y datos en software como Global mapper y Arcgis, complementado con el trabajo realizado en campo.

La metodología del trabajo se basó en el trabajo realizado por el convenio Cornare-Gobernación de Antioquia evaluación llamado *“ZONIFICACIÓN DE RIESGOS Y DIMENSIONAMIENTO DE PROCESOS EROSIVOS EN LOS 26 MUNICIPIOS DE LA JURISDICCIÓN DE CORNARE. CONVENIO CORNARE-GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA”* en el año 2012. Se logró obtener un buen resultado, teniendo en cuenta los lineamientos del decreto 1807 de 2014 con el fin, del avance en el ordenamiento territorial y desarrollo sostenible para el municipio de Palestina.

Palabras claves: avenida torrencial, amenaza, riesgo, decreto 1807 de 2014

1. INTRODUCCIÓN

La gestión de riesgo es un proceso que permite analizar, reducir y prever posibles daños y pérdidas en una población, también se entiende como “Parámetro y componente de la gestión del desarrollo, de la gestión del ambiente y la gestión global de la seguridad humana como condición imprescindible para el logro de la sostenibilidad”. (Lavell et al, 2003)

Todos los municipios en Colombia están en la necesidad de actualizar su plan de ordenamiento territorial conforme crece su urbanización, estos estudios regidos por el decreto 1807 del 2014, para escenarios principales como lo son inundaciones, remoción en masa y avenidas torrenciales y secundarios como vulcanismo y sismos, que son los causantes en su mayoría, de las grandes catástrofes que ocurren en el país.

Este trabajo está enfocado en avenidas torrenciales, que integran uno de los eventos naturales que con mayor frecuencia afectan a las poblaciones, poniendo en riesgo la vida e infraestructuras. Es un fenómeno que no se puede predecir por la forma de su ocurrencia y del que menos estudios e información se tienen.

Por esto, la secretaria de planeación de la Gobernación de Caldas en búsqueda de aportar soluciones y protección a la población, elige al municipio de Palestina para realizar el proyecto donde se determina la susceptibilidad y amenaza por avenidas torrenciales, donde se establece los puntos de mayor vulnerabilidad y que dichos resultados puedan ser tomados para aportar insumos para la actualización del plan de ordenamiento territorial del municipio, lineados por el decreto 1807 del 2014.

2. PROBLEMÁTICA

La ausencia de estudios sobre avenidas torrenciales en todo el país, por ende tampoco en Palestina, hace que se dificulte el avance necesario de la actualización del plan de ordenamiento territorial en el municipio y de todos los departamentos de Caldas.

La falta de apoyo económico hacia los municipios, hacen que los estudios pertinentes no estén lineados o regidos por el decreto 1807 de 2014, para esto se necesitan insumos tecnicados y detallados de las posibles amenazas a las que estén expuestos, en este caso las avenidas torrenciales, teniendo así, un déficit en los planes de ordenamiento territorial que es donde se puede planificar y prevenir las catástrofes en la población, la economía y la infraestructura de un municipio.

Las avenidas torrenciales se generan de formas distintas, son un conjunto de causas hidrometeorológicas y sísmicas. Cuando hay una alta precipitación, se produce una serie de deslizamientos y estos, ocasionan un represamiento que impide el flujo normal de las corrientes de agua, también por sismos o erupciones volcánicas. Por tanto, es difícil asociar una probabilidad de ocurrencia del evento y sus detonantes.

También el acelerado crecimiento de Palestina, hace que se expanda su casco urbano y rural y la población construya en lugares no aptos para ser habitados, poniendo en riesgo la vida de los mismos.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Aportar al desarrollo de los Estudios Básicos de Riesgo, acorde a los requerimientos exigidos por el decreto 1807 del 2014, con el propósito que permita posteriormente su inclusión e incorporación en la revisión y ajustes del Plan Básico de ordenamiento territorial del municipio de Palestina específicamente en el centro poblado Arauca, zonas urbana y rural.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reconocer y apropiar las consideraciones técnicas de los riesgos de desastre enmarcadas en el decreto 1807 del 2014
- Realizar una evaluación de los avances en gestión del riesgo para el municipio de Palestina en el departamento de Caldas, así como de sus condiciones actuales en riesgo de desastre enfocado al escenario de avenidas torrenciales.
- Recopilar y evaluar a la luz de los requerimientos del decreto 1807 del 2014 la información técnica disponible el escenario de avenidas torrenciales.
- Avanzar en el desarrollo de guías metodológicas para abordar los estudios básicos de avenidas torrenciales de acuerdo al decreto 1807 del 2014.

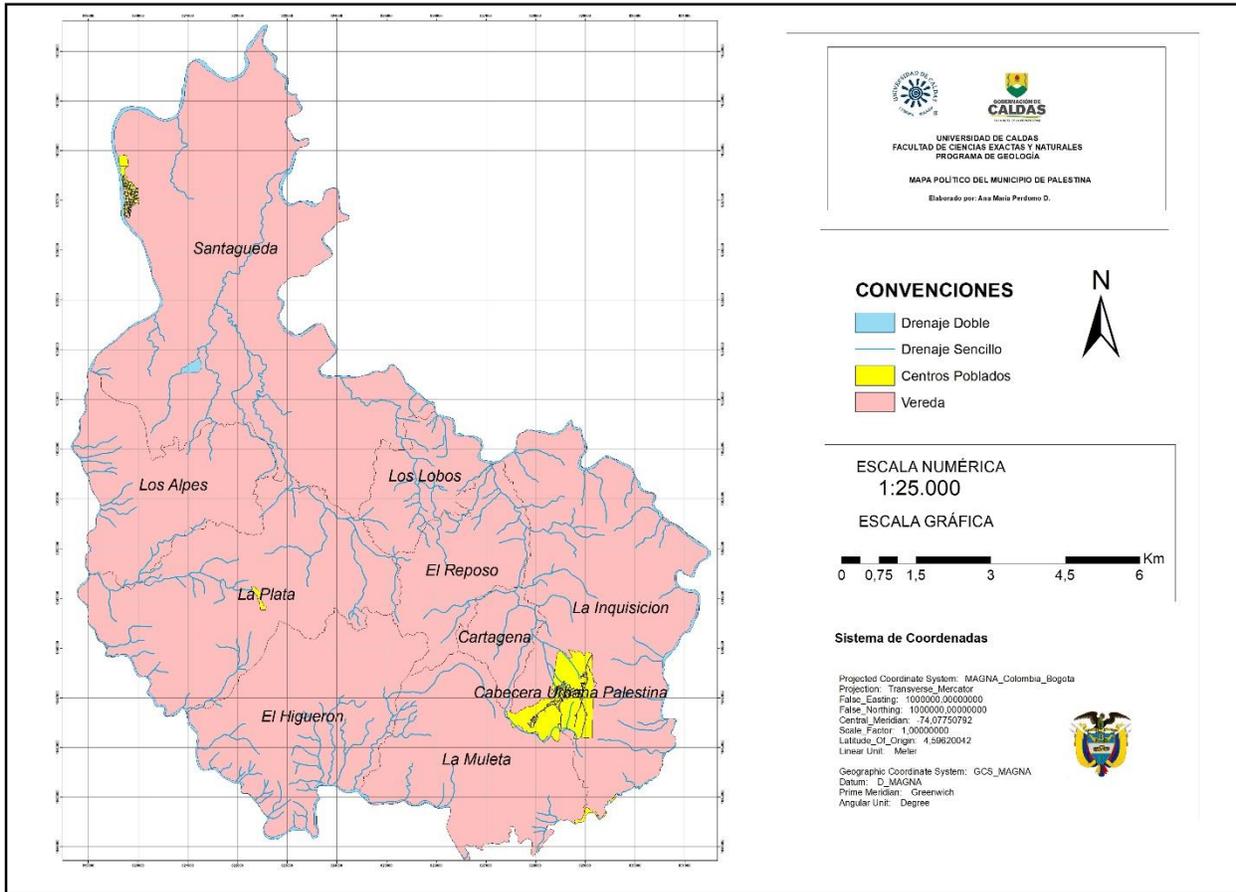


Figura 2. Mapa político del municipio de Palestina. En Amarillo los centros Poblados más importantes del Municipio (Fuente: Propia)

Nombre	Barrio	Nombre	Barrio
Uribe Uribe	X	Las colinas	X
Guayabal	X	Los Nogales	X
Pablo Valdes	X	El Carmen	X
Obrero	X	Villa Asis	X
San José	X	Popular	X
Bomberos	X	Bello Horizonte	X
Calle Larga	X	Oscar Danilo	X
Zona Centro	X	Nuevo Milenio	X
Sector Colegio	X	Fundadores	X
Sector Galería	X		
Sector Cruz Roja	X		
Prado Alto	X		
Hoyo Frio	X		
La Pista	X		

Tabla 1. Barrios del municipio de Palestina. Fuente: (Alcaldía de Palestina, 2019)

Nombre	Barrio	Vereda
Sector La merced		X
El Higueron		X
Sector de la Hermella		X
La Piedra		X
La Plata		X
Los Lobos		X
El Reposo		X
Sector El Brillante		X
Los Alpes		X
Sector Buena Vista		X
Santagueda		X
El Cacique		X
La inquisicion		X
Zona Suburbana la Sirena		X
Sector la Paloma		X
La Muleta		X
Sector Curazao		X

Tabla 2. División de las veredas del municipio de Palestina. Fuente: (Alcaldía de Palestina, 2019)

Nombre	Barrio	Vereda	Centro Poblado
Centro Poblado la Plata			X
Centro Poblado Cartagena			X
Agro villas el Reposo			X

Tabla 3. División de los centros poblados de Palestina. Fuente: (Alcaldía de Palestina, 2019)

5. MARCO CONCEPTUAL

5.1 MARCO REFERENCIAL

Se tienen en cuenta los principales estudios y antecedentes principales de gestión del riesgo para el municipio realizados por las diferentes instituciones y de avenidas torrenciales en el país.

Contrato 292 Corpocaldas – Geosub s.a.s (2013) En el trabajo titulado: Identificar y caracterizar la amenaza, vulnerabilidad y riesgo para las cabeceras municipales y las áreas de desarrollo rural restringido.

“En este trabajo se hace énfasis en dos dimensiones de la vulnerabilidad, la física y la socio-económica (Figura 1). La primera incluye el potencial de daño de los elementos físicos incluyendo áreas construidas, infraestructura y espacios abiertos.”

“La adaptación que se hizo el proyecto está ligada con la disponibilidad de información cartográfica nueva (imágenes LiDAR y ortofotos), combinación de bases de datos sociales facilitados por la Oficinas de Sisben locales y por Planeación Nacional directamente, lo que permitió desarrollar una serie de indicadores para la amenaza, vulnerabilidad y exposición en el cálculo del riesgo local, los indicadores son desplegados en mapas que son manejados de manera integral en un SIG, lo cual permite modificar fácilmente la base de toma de decisiones cuando los indicadores aquí plasmados cambien espacial o temporalmente.”

Equipo consultor: Unión temporal POT (UT-POT) Plan Básico de Ordenamiento Territorial Municipio de Palestina, Caldas, Documento 12, Agosto (2014) (Equipo consultor: Unión temporal POT (UT-POT), 2014)

“El documento Resumen del Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Palestina, es un componente de la estrategia de divulgación para acercar la ciudadanía y la población de manera didáctica a los objetivos, estrategias y políticas del Plan; En este sentido, se encuentra información clave sobre el diagnóstico y los diferentes componentes establecidos por la ley 388/97, es decir General, Rural y Urbano, de tal forma que su lectura permita tener una idea general de los planteamientos adoptados en el proceso de formulación del plan. En el Resumen se muestran los aspectos básicos de situación actual del municipio y el modelo territorial de largo plazo propuesto; de esta forma se presenta en síntesis, las decisiones fundamentales acerca del escenario de ordenamiento del territorio que se busca alcanzar a largo plazo, basados en las características del modelo de desarrollo actual, el cual no es sólo herencia del pasado, sino también componente esencial del proyecto de futuro.”

Rodriguez Luna Sandra del Carmen en el trabajo titulado: Asistencia técnica en la aplicación de las determinantes ambientales de gestión del riesgo y el Decreto 1807 de 2014, para la revisión y ajuste de los POT del departamento de Caldas. (2015) (Carmen, 2015)

“Este trabajo se desarrolla en el marco del proceso de asistencia técnica a los municipios en gestión del riesgo que viene adelantando CORPOCALDAS y se apoya en los estudios de amenazas, vulnerabilidad y riesgo que ha adelantado para los municipios en el marco del ordenamiento de cuencas hidrográficas a escala 1:25.000 aplicando y los estudios adelantados en las cabeceras municipales y centros poblados a escala 1:2.000.”

Convenio Cornare-Gobernación de antioquia En el trabajo titulado: Evaluación y zonificación de riesgos y dimensionamiento de procesos erosivos en los 26 municipios de la jurisdicción de Cornare.

“La Corporación Autónoma Regional de los Ríos Negro-Nare (CORNARE), en el marco de las políticas encaminadas al cumplimiento del plan de acción de la corporación, buscando proteger el bienestar de la población y generar herramientas para facilitar la gestión administrativa que redunde en una ocupación del territorio acorde con la realidad ambiental, que reconozca la características socio culturales de la población, realiza el proyecto para determinar el riesgo por avenidas torrenciales, inundación y movimientos en masa, en el municipio de Guatapé. Este proyecto se ejecuta en el programa de Gestión del Riesgo como parte de la estrategia de Ordenamiento Ambiental del territorio.”

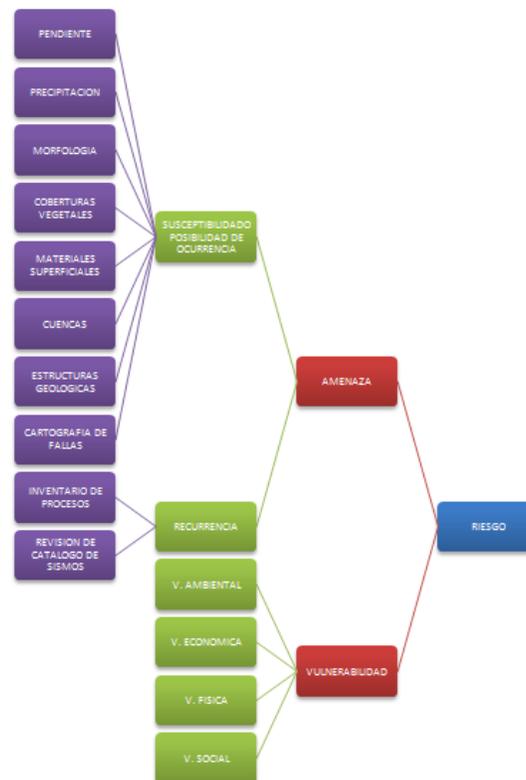


Figura 3. Mapa de insumos para el análisis de riesgo realizado en el trabajo

5.2 MARCO NORMATIVO

Todos los trabajos que tengan como fin la gestión del riesgo y ordenamiento territorial en los municipios, deben estar regidos por el decreto 1807 de 2014, a continuación se mencionaran algunos de los puntos importantes de éste.

- **Decreto 1807 de 2014**

Artículo 1°. *Objeto y ámbito de aplicación.* Las disposiciones contenidas en el presente decreto establecen las condiciones y escalas de detalle para incorporar de manera gradual la gestión del riesgo en la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial municipal y distrital o en la expedición de un nuevo plan.

Artículo 2°. *Estudios técnicos para la incorporación de la gestión del riesgo en la planificación territorial.* Teniendo en cuenta el principio de gradualidad de que trata la Ley 1523 de 2012, se deben realizar los estudios básicos para la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial o la expedición de nuevos planes y en su ejecución se deben realizar los estudios detallados.

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

- a) La delimitación y zonificación de las áreas de amenaza;
- b) La delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza en las que se requiere adelantar los estudio& detallados a que se refiere el siguiente artículo;
- c) La delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo en las que se requiere adelantar los estudios detallados a que se refiere el siguiente artículo;
- d) La determinación de las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas.

Artículo 5°. *Escala de trabajo.* De conformidad con las clases de suelo establecidas en la Ley 388 de 1997, los estudios se elaboran, como mínimo, en las siguientes escalas:

TIPO DE ESTUDIO	CLASE DE SUELO	ESCALA
Estudio Básico	Urbano	1:5.000
	Expansión Urbana	1:5.000
	Rural	1:25.000
Estudio Detallado	Urbano	1:2.000
	Expansión Urbana	1:2.000
	Rural Suburbano	1:5.000

Tabla 4. Escalas para realizar los diferentes estudios

Título II Artículo 6°. Análisis de la información disponible. Para la elaboración de los estudios básicos y detallados se deben realizar los análisis de la información técnica disponible, considerando entre otros, los siguientes aspectos:

1. Recopilar y analizar la información contenida en el plan de ordenamiento territorial, estudios regionales, técnicos o informes técnicos, cartografía base, la información de las bases de datos institucionales y la información de redes de monitoreo de amenazas existentes.

2. Verificar si se cuenta con la delimitación y zonificación de amenaza y/o riesgo para el municipio o distrito (suelo urbano, expansión urbana y suelo rural) y que la misma cumpla como mínimo con los siguientes aspectos.

a) Que corresponda al análisis del área urbana, expansión urbana y rural del municipio o distrito, se ajuste a las condiciones técnicas establecidas en el presente decreto y esté acorde con su situación actual. La información se podrá emplear siempre y cuando se verifique su pertinencia y se actualice cuando se requiera.

b) Que la información técnica disponible corresponda al análisis de las áreas en las que se hayan evidenciado afectaciones en el municipio o distrito.

3. En caso que se cuente con estudios detallados que permitan establecer el nivel de riesgo, se deberá verificar que los mismos cumplan con las condiciones técnicas establecidas en el presente decreto.

Artículo 10. Estudios básicos de amenaza por avenidas torrenciales. Para determinar las condiciones de amenaza por avenida torrencial en suelos urbanos, de expansión urbana y rural, los estudios básicos tienen las siguientes especificaciones mínimas:

1. **Área de estudio:** Todos los cauces presentes o con influencia en el municipio o distrito, que por sus condiciones topográficas puedan tener un comportamiento torrencial.

2. **Insumos:** Se debe utilizar como mínimo los siguientes insumos:

a) Geomorfología.

b) Estudio hidrológico de la cuenca, orientado al flujo torrencial, considerando el ciclo de sedimentos.

c) Análisis hidráulico del área a zonificar, teniendo en cuenta factores detonantes como precipitación o movimientos en masa.

d) La base cartográfica que se emplee en la zonificación corresponderá a una escala 1:2.000.

3. **Alcance:** Para la zonificación de la amenaza, esta se categorizará en alta, media y baja, dependiendo de la frecuencia de presentación de los eventos y sus características: la profundidad de la lámina de agua, los materiales de arrastre y la velocidad del flujo. Se utiliza, como mínimo, alguno de los siguientes análisis: estadísticos, determinísticos o probabilísticos. En todo caso, los análisis se realizan en función de la magnitud de la amenaza, su intensidad, consecuencias y la disponibilidad de información.

4. **Productos:** Mapa de amenaza por avenidas torrenciales, en el cual se delimitan y zonifican los diferentes niveles de amenaza que presenta el territorio estudiado, según lo dispuesto en el presente artículo. Se deberá elaborar un documento técnico que contenga la metodología empleada y los resultados obtenidos.

- **Ley 1523 del 2012:** “Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.”

Artículo 6o. Objetivos del sistema nacional. Son objetivos del Sistema Nacional los siguientes:

1. Objetivo General. Llevar a cabo el proceso social de la gestión del riesgo con el propósito de ofrecer protección a la población en el territorio colombiano, mejorar la seguridad, el bienestar y la calidad de vida y contribuir al desarrollo sostenible.

Artículo 7o. principales componentes del sistema nacional. Los principales componentes del Sistema Nacional, que se describen en los siguientes capítulos, son:

- La estructura organizacional.
- Los Instrumentos de planificación.
- Los sistemas de información.
- Los mecanismos de financiación.

Artículo 32. Planes de gestión del riesgo. Los tres niveles de gobierno formularán e implementarán planes de gestión del riesgo para priorizar, programar y ejecutar acciones por parte de las entidades del sistema nacional, en el marco de los procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y de manejo del desastre, como parte del ordenamiento territorial y del desarrollo, así como para realizar su seguimiento y evaluación.

5.3 MARCO TEÓRICO

A continuación, se muestran los diferentes conceptos usados en todo el trabajo con el fin de esclarecer y contextualizar al lector.

La gestión del riesgo de desastres: “Es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.” (Ley 1523 del 2012)

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

Riesgo de desastres: “Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad.” (Ley 1523 del 2012) (Secretaria del Senado)

Análisis y evaluación del riesgo: “Implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades.” (Ley 1523 del 2012)

Reducción del riesgo: Es el proceso de la gestión del riesgo, está compuesto por la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes, entiéndase: mitigación del riesgo y a evitar nuevo riesgo en el territorio, entiéndase: prevención del riesgo. (Ley 1523 del 2012)

Delimitación: “Consiste en la identificación del límite de un área determinada, mediante un polígono. Debe realizarse bajo el sistema de coordenadas oficial definido por la autoridad cartográfica nacional y su precisión estará dada en función de la escala de trabajo.” (Decreto 1807 de 2014)

Zonificación: “Es la representación cartográfica de áreas con características homogéneas. Debe realizarse bajo el sistema de coordenadas oficial definido por la autoridad cartográfica nacional y su precisión estará dada en función de la escala de trabajo.” (Decreto 1807 de 2014)

Avenidas torrenciales: “Una avenida torrencial se puede definir de una manera general como una creciente excepcional de un cauce que supera los niveles máximos históricos en la que su caudal se compone de agua mezclada con abundante material rocoso de diferentes tamaños entre bloques y arcillas. Existen diferentes proporciones de agua en el fluido que transcurre por el cauce, que en parte dependen de los materiales que componen la cuenca y la cantidad de agua disponible e incluso de la posición dentro de la corriente. Esta propiedad es lo que se conoce como Reología y establece junto con la velocidad, el poder destructivo del flujo” (Costa, 1988).

Las avenidas torrenciales se generan por causas hidrometeorológicas (lluvias concentradas), sísmicas (enjambres de deslizamientos cosísmicos), de inestabilidad de vertientes (bloqueo de un cauce por un deslizamiento y posterior ruptura del dique), o por erupciones volcánicas y deshielo o por acumulación de capas gruesas de cenizas sueltas. Las avenidas torrenciales también se pueden presentar por otras causas como son deshielo al final del invierno o lluvias concentradas asociadas a ciclones tropicales. (EVALUACIÓN DE ZONAS DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES UTILIZANDO METODOLOGIAS CUALITATIVAS CASO DE APLICACIÓN A LA QUEBRADA DOÑA MARÍA, 2009)

Sistema de información geográfico (SIG): “Permite relacionar cualquier tipo de dato con una localización geográfica. Este es un conjunto que mezcla hardware, software y datos geográficos, y los muestra en una representación gráfica. Los SIG están diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar la información de todas las formas posibles de manera lógica y coordinada.” (Ministerio de educación, s.f.)

Modelo de elevación digital: Un modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo.¹

¹ <https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/relieve/continental/metadatos/mde.pdf>

6. METODOLOGÍA

6.1 Tipo de investigación

La investigación aplicada en el evento de avenidas torrenciales es de tipo cuantitativa ya que permite analizar la información recolectada por medio de estadística y sistemas de información. También es un método descriptivo, a partir de los mapas temáticos generados que son correlacionados con las variables generadas en cada insumo, como explicativo en los puntos críticos que dan como resultados para evaluar las causas que generan dicho evento.

6.2 Enfoque metodológico

Para realizar el presente trabajo se dividió en varias etapas, una de ellas, fue el trabajo de oficina el cual se llevó a cabo en la secretaria de planeación de la Gobernación de Caldas, empezando con la revisión y recopilación de bibliografía e insumos sobre estudios previos de riesgo suministrados por CORPOCALDAS, datos del IDEAM y la Alcaldía de Palestina e información sobre avenidas torrenciales en el municipio y en el resto del país.

Seguidamente se procesó toda la información primaria para ser clasificada de acuerdo a las variables obtenidas, esto realizado desde un modelo de elevación digital del terreno (MED) con tamaño de 12,5 metros, que se procesó en herramientas como el software Arcgis. Para así, llegar a un mapa de zonificación de amenaza en el área de estudio, como también a los resultados, recomendaciones y conclusiones.

Otra etapa fue el trabajo de campo, el cual era necesario para actualizar los insumos como lo es la Geología, entre otros. También necesario para identificar puntos críticos de susceptibilidad y luego confirmar estas áreas, que son arrojados en los mapas realizados en oficina. Solo se pudo acceder al trabajo de campo en 2 días, para esto, se confirmaron unos pocos puntos en el municipio de Palestina de la Geología ya realizada.

6.3 Diseño de instrumentos

Las herramientas utilizadas para el análisis de datos fueron:

- Sistema de Información Geográfico Arc GIS versión 10.5
- Sistema de Información Geográfico Global Mapper 18
- GPS (Oruxmaps)
- Cámaras fotográficas
- Trabajo de campo

6.4 Procedimiento

Se aplica la metodología realizada por CORNARE y el Gobierno de Antioquia en el trabajo titulado “Evaluación y zonificación de riesgos y dimensionamiento de procesos erosivos en los 26 municipios de la jurisdicción de Cornare.”

Para la zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales, se reúne la información necesaria que se utiliza para analizarla y así, geoprocesarla dando como resultado diferentes mapas temáticos, los cuales son: mapa de geología, geomorfología, morfometría, uso y cobertura de la tierra y precipitación. Estos mapas fueron actualizados para una mayor exactitud en la zonificación, el sistema de coordenadas utilizadas fue MAGNA_Colombia_Bogota, luego se les asignó un valor o un peso de 1 a 10 de acuerdo a la menor o mayor desventaja de ocurrencia del evento. Al asignar estos pesos a cada factor, se intersectan todos los mapas ya nombrados y se hace una sumatoria de factores en Arcgis que a su vez se le multiplica un porcentaje dado a cada capa, dando como resultado el mapa de amenaza.

Los insumos utilizados para la aproximación al mapa de amenaza son:

- Mapa de Geología
- Mapa de Geomorfología
- Mapa de Uso y Cobertura de la tierra
- Mapa de Precipitación
- Clasificación morfométrica

El porcentaje para cada mapa fue asignado de la siguiente manera:

MAPA	PESO (PORCENTAJE)
Clasificación morfométrica	30%
Geomorfología	20%
Precipitación	20%
Geología	15%
Uso y Cobertura de la tierra	15%
Total	100%

Tabla 5. Valores en porcentaje para cada mapa temático

Dentro de la clasificación morfométrica hay 3 factores que lo conforman los cuales son: Coeficiente de compacidad (Kc), Densidad de drenaje (Dd) y Pendiente media de la cuenca (PM). Estos factores tienen un valor asignado en porcentaje así:

FACTOR	PESO (PORCENTAJE)
Coeficiente de compacidad (Kc),	25%
Densidad de drenaje (Dd)	25%
Pendiente media de la cuenca (PM)	50%
Total	100%

Tabla 6. Valores en porcentaje para cada factor

6.4.1 Mapa de Geología

Este insumo fue aportado por Corpocaldas en una escala de 1:250.000, el cual debería ser actualizado frente a los lineamientos del decreto 1807 de 2014 para gestión del riesgo. El mapa de geología fue uno de los insumos que se querían actualizar para mejorar la escala y precisión de la información pero por falta de apoyo de la administración municipal no se pudo llevar a cabo. Por esto, se toma el mapa de la plancha 205 de Chinchiná, del Servicio Geológico Colombiano, el cual se encuentra en escala 1:100.000 y fue utilizada en este trabajo, intentando mejorar los insumos necesarios para el acercamiento a la zonificación de la amenaza.

WGeologi
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

Tabla 7. Valores para asignar a cada unidad geológica.

A cada una de las unidades geológicas se le dio un valor numérico o peso dependiendo de la menor o mayor ocurrencia a presentarse una avenida torrencial, estando enfocado en la permeabilidad e infiltración en las rocas que conforman cada unidad, siendo 1 la menor ocurrencia y 10 la mayor. En el poco alcance que se tuvo para la realización del trabajo de campo, se pudo corroborar y confirmar ciertos puntos de la geología ya realizada y utilizada en el trabajo.

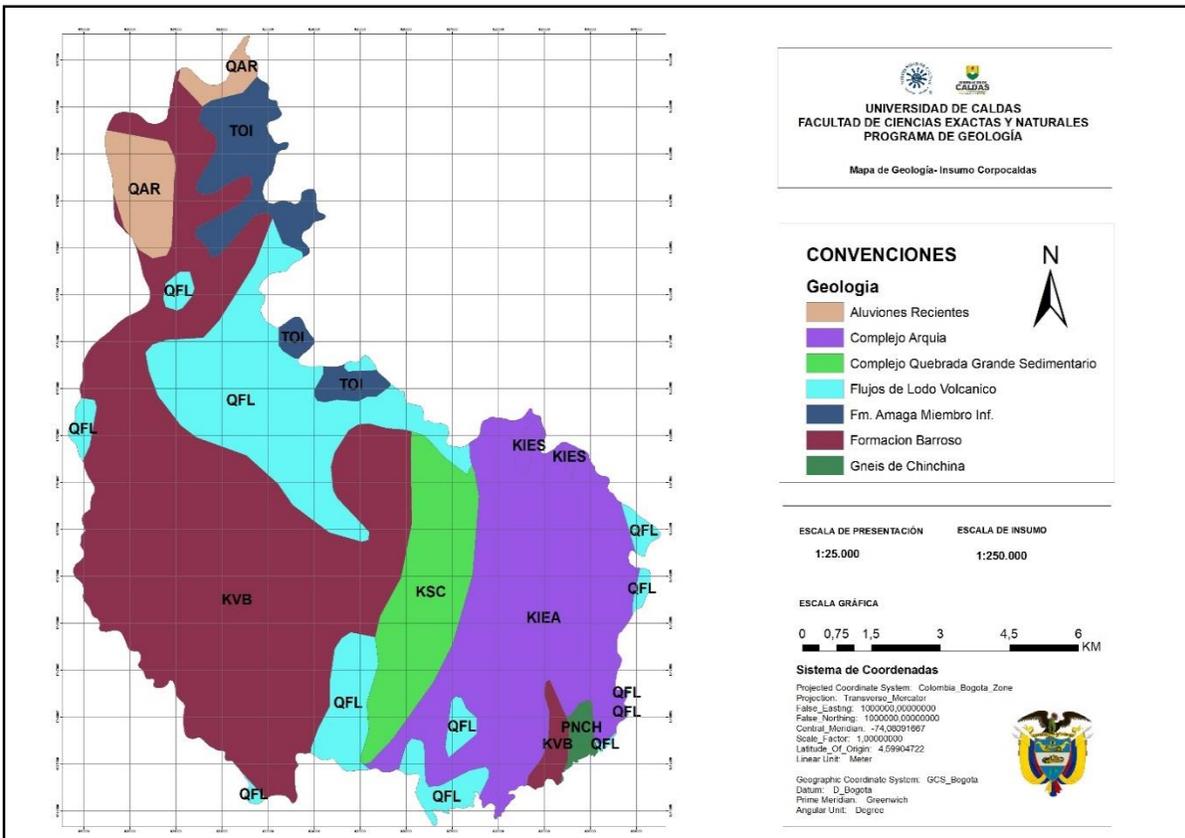


Figura 4. Mapa de geología aportado por Corpocaldas escala 1:250.000 como insumo.

6.4.2 Mapa de Geomorfología

Palestina se encuentra entre pendientes moderadas a fuertes, algunas veces de colinas redondeadas, en escarpes de erosión mayor y laderas. El insumo inicial de geomorfología no contaba con una descripción e información clara de lo que representaba en el mapa. Para la actualización de este mapa, se delimitaron las geformas a partir de un relieve sombreado que se hace desde el modelo de elevación digital (MED) de 12,5 m. Todos los conceptos y clasificación de cada geforma, se hizo en base a los documentos “Estándar para la presentación y almacenamiento de productos de geomorfología” y “Glosario de geomorfología” del Servicio Geológico Colombiano.

A cada geforma se le asignó un valor numérico o peso dependiendo de la menor o mayor ocurrencia a presentarse una avenida torrencial, siendo 1 la menor ocurrencia como lo son terrazas de erosión, planicies y lomeríos poco disectados y 5 la mayor ocurrencia como escarpes de erosión mayor.

WGeomorf

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Tabla 8. Valores para asignar a cada geoforma

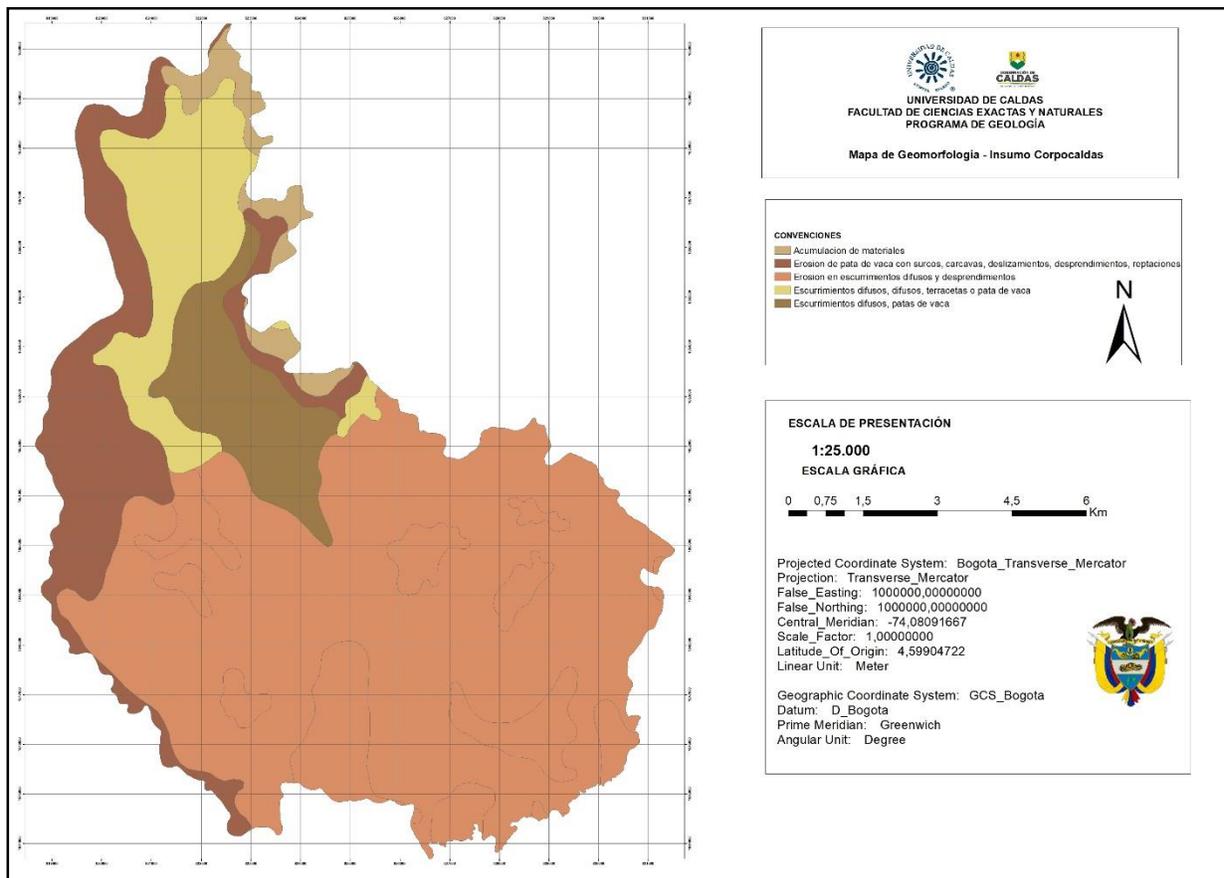


Figura 5. Mapa de geomorfología aportado por Corpocaldas.

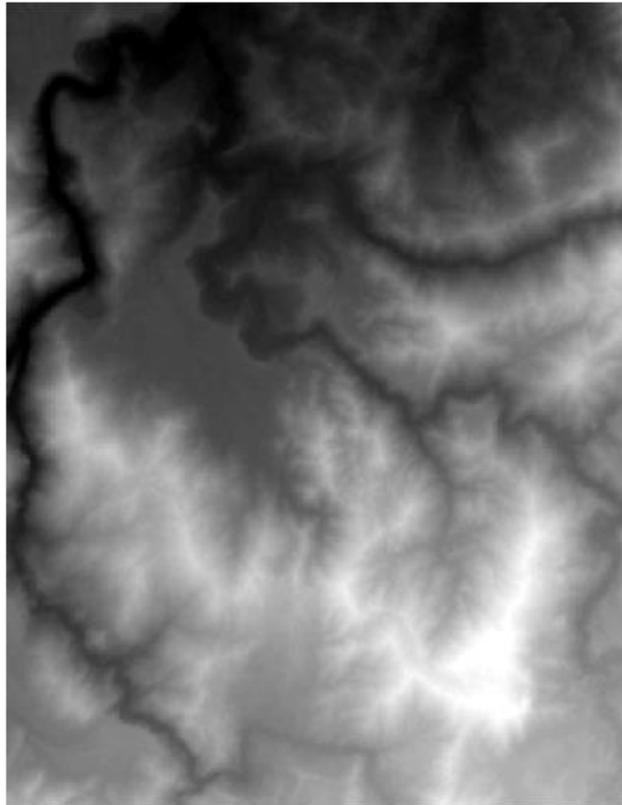


Figura 6. Modelo de elevación digital (MED) de 12,5m.

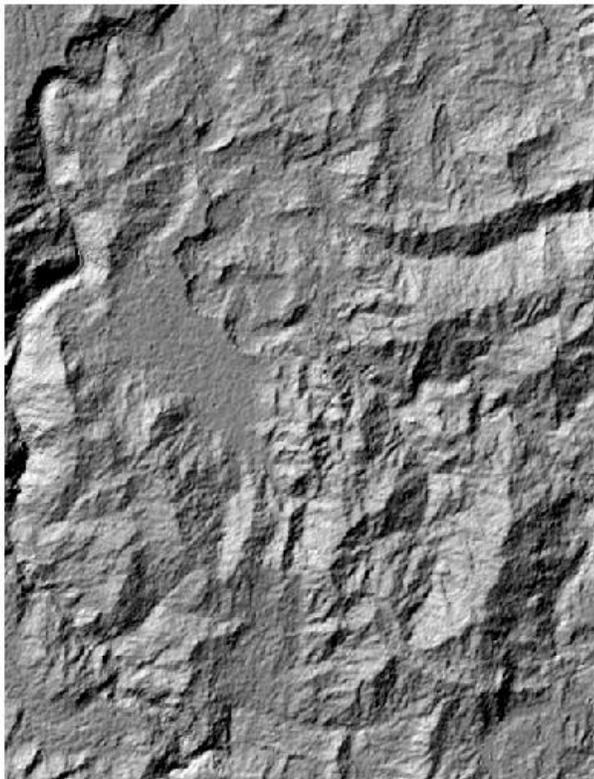


Figura 7. Relieve sombreado a partir del MED.

6.4.3 Mapa de Uso y Cobertura de la Tierra

Para la actualización de este insumo se hizo a partir de una imagen satelital de Google Earth, en un zoom 18 de Palestina, siguiendo la metodología CORINE LAND COVER. Esta imagen permite tener una escala 1:10.000 en este caso es menor a que a la que fue entregada por parte de Corpocaldas y seguidamente, se utiliza el programa Arcgis para asignarle los pesos o valores numéricos dependiendo de la ocurrencia a una avenida torrencial entre 1 y 10.

WCobert
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

Tabla 9. Valores para asignar a cada uso y cobertura de la tierra.

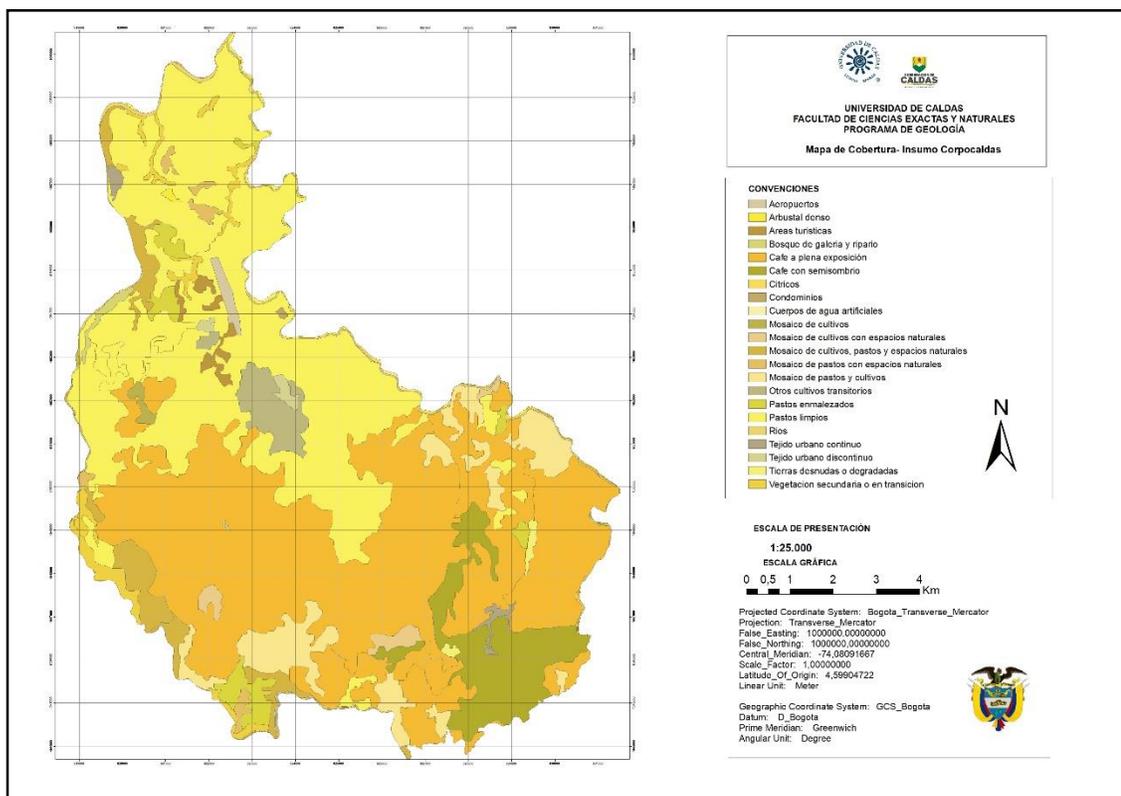


Figura 8. Mapa de Uso y cobertura de la tierra, aportado por Corpocaldas.

6.4.4 Mapa de precipitación

La información requerida para la elaboración de este mapa, fue tomada del IDEAM para las estaciones de más o menos 30 años, de todo el departamento de Caldas y después modelar el mapa de precipitación. Para el presente trabajo sólo se tomaron en cuenta condiciones normales o neutras y fenómeno de la niña solo para el municipio de Palestina para tener un mapa de precipitación con promedio anual.

Antes de procesar toda la información, se recorta la zona de Palestina para tener los datos más próximos a la estación más cercana al municipio. Se hace una sumatoria de los trimestres para los fenómenos escogidos: condiciones neutras o normales y fenómeno de la niña para obtener un promedio anual de cada uno. Finalmente se promedian esos dos valores y da como resultado un único promedio anual de precipitación. Todas las operaciones fueron realizadas con la herramienta Raster Calculator. Como en los demás mapas, se les asignó un valor numérico o peso a cada nivel de lluvias (mm/año) siendo 1 la menor ocurrencia a que haya una avenida torrencial y 10 la mayor ocurrencia. Los valores de los niveles de lluvias van de menos de 790 mm/año a superior a 850 mm/año.

WPrecept
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

Tabla 10. Valores para asignar a cada nivel de lluvia.

6.4.5 Clasificación morfométrica

El mapa de Clasificación Morfométrica, lo componen tres factores que definen algunas de las características de forma de una cuenca torrencial, ellos son: Coeficiente de compacidad (Kc), Densidad de drenaje (Dd) y Pendiente media de la cuenca (PM). Palestina está entre dos cuencas las cuales son la Cuenca del río Chinchiná y la cuenca del río Campoalegre, éstas sirvieron de base para el estudio de los parámetros ya nombrados. Estos parámetros son:

El coeficiente de compacidad (Kc): compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano a uno sea, es decir mayor concentración de agua. (Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas.)

Este coeficiente define la forma de la cuenca, respecto a la similitud con formas redondas, dentro de rangos que se muestran a continuación (FAO, 1985):

- **Clase Kc1:** Rango entre 1 y 1.25. Corresponde a forma redonda a oval redonda.
- **Clase Kc2:** Rango entre 1.25 y 1.5. Corresponde a forma oval redonda a oval oblonga.
- **Clase Kc3:** Rango entre 1.5 y 1.75. Corresponde a forma oval oblonga a rectangular oblonga.
- **Clase Kc4:** Rango mayor a 1.75. Corresponde a forma rectangular oblonga.

$$Kc = 0.28 \times \left[\frac{P}{\sqrt{A}} \right]$$

Dónde:

Kc: Coeficiente de compacidad de Gravelius

P: Perímetro de la cuenca en Km.

A: Área de la Cuenca en Km²

Densidad de drenaje (Dd): La densidad de drenaje (Dd), (HORTON, 1945) es otra propiedad fundamental de una cuenca, que controla la eficiencia del drenaje (JONES, 1997) y señala el estado erosivo (SENCIALES, 1999): Se relaciona la longitud de la totalidad de cauces de la cuenca con la superficie de esta última. Este parámetro se expresa en Km/Km².

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

Dónde:

L: Longitud total de las corrientes de agua en Km.

A: Área total de la cuenca en Km².

Generalmente, toma valores que van desde 0,5 Km/Km² (cuencas con drenaje pobre) hasta 3,5 Km/Km² (cuencas excepcionalmente bien drenadas).

Pendiente media de la cuenca: Es uno de los principales parámetros que caracteriza el relieve de la misma y permite hacer comparaciones entre cuencas para observar fenómenos erosivos que se manifiestan en la superficie. (Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas.)

La realización de este parámetro se necesitó como insumo el ráster de cada cuenca y el shape de las cuencas (Cuenca del río Chinchiná y Cuenca del río Campoalegre). Se crea un mapa de pendientes (en porcentaje) a partir del ráster de cada cuenca, seguidamente se interpolan las capas y finalmente se hace un análisis estadístico zonal para determinar el valor de la pendiente media de la cuenca.

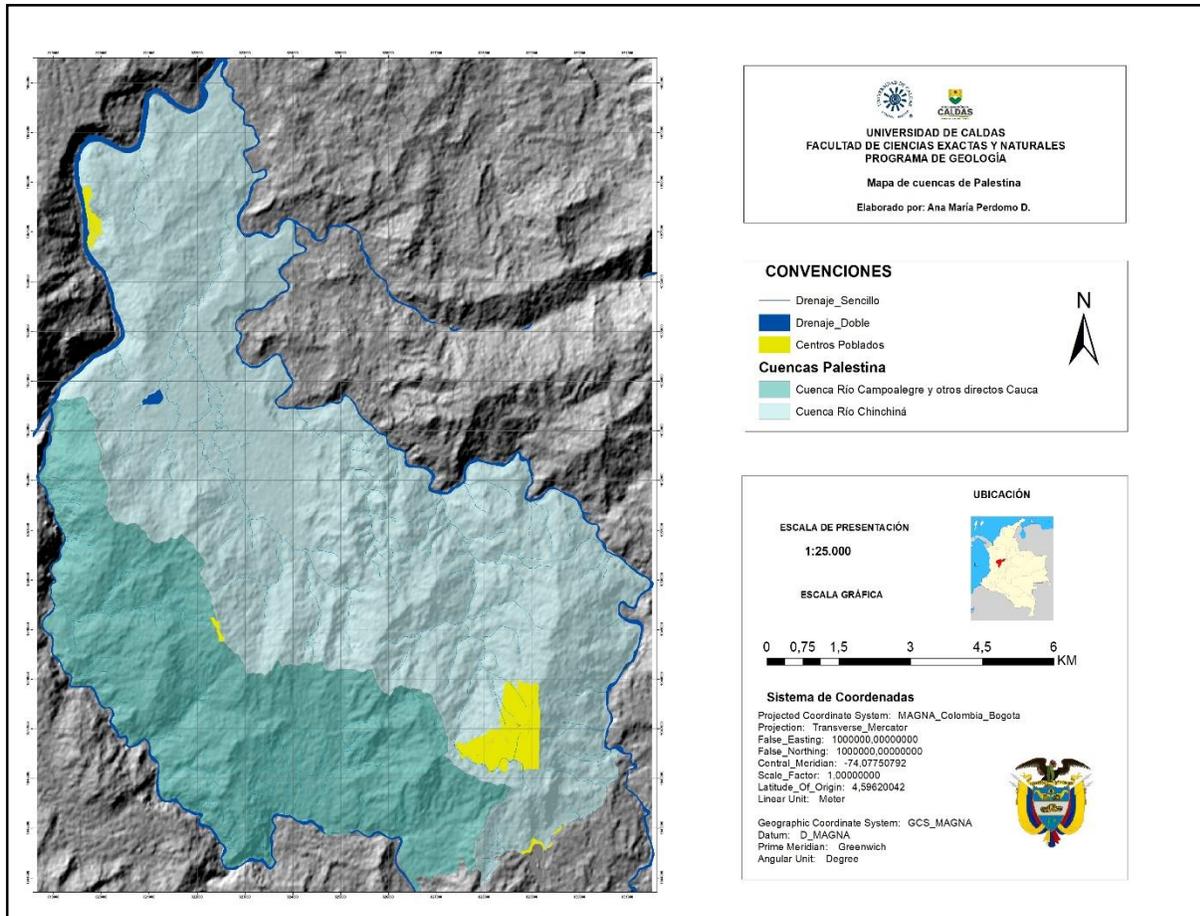


Figura 9. Mapa de cuencas de Palestina.

6.4.5 Mapa de Amenaza

La realización de este mapa se da al interponer los mapas temáticos mencionados como lo son el de geología, geomorfología, precipitación, uso y cobertura de la tierra y la clasificación morfométrica, mediante la herramienta Intersect de Arcgis 10.5. Una vez ponderadas todas las variables dichas anteriormente en cada mapa temático, se hace la sumatoria final de cada campo que contiene los pesos o valores numéricos en cada mapa y además, se le multiplica el valor en porcentaje a cada mapa temático ya mencionado anteriormente.

Los valores arrojados después de la operación matemática en este mapa de amenaza, muestra el valor mínimo a máximo de ocurrencias de avenidas torrenciales. Estos valores se asignaron en 5 categorías, de muy bajo a muy alto divididos estadísticamente en cuantiles para una mayor exactitud en los resultados.

RANGOS	CLASIFICACIÓN
4,852360 - 7,775790	Bajo
7,775791 - 8,225790	Medio
8,225790 - 9,666150	Alto

Tabla 11. Valores asignados para avenidas torrenciales.

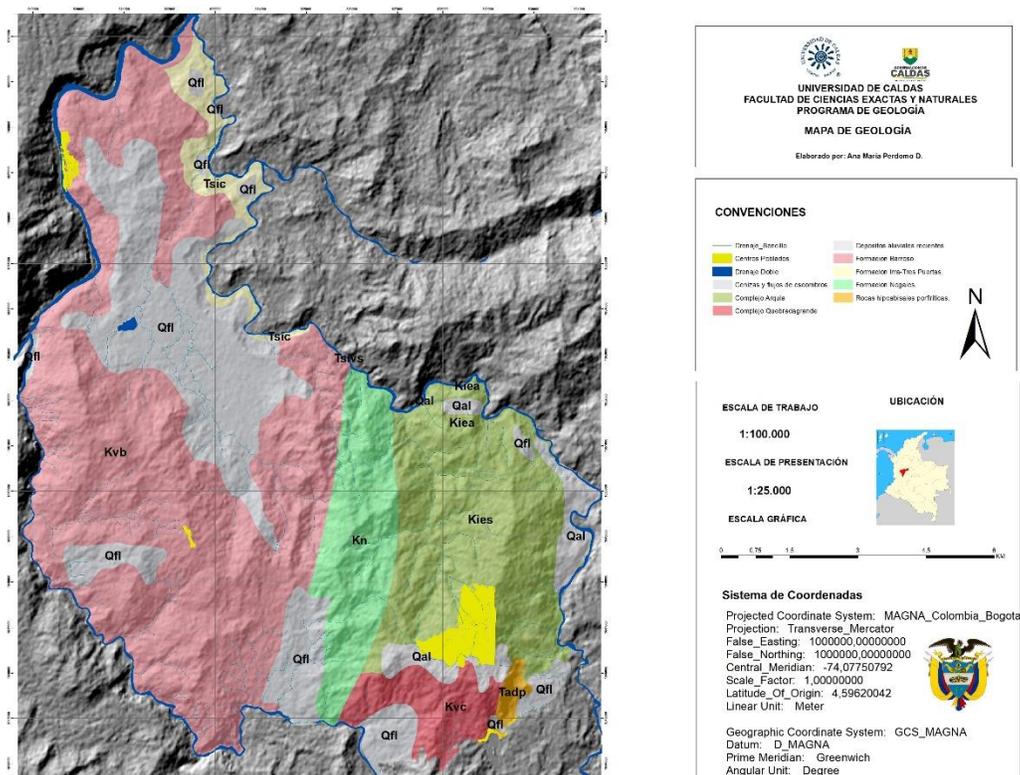
7. RESULTADOS

Se describen los mapas temáticos geoprocesados con la información anteriormente mencionada para llegar a un mapa final, que muestra una aproximación a la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en Palestina, Caldas. En todo el trabajo se contó con el apoyo de información de Corpocaldas, la administración municipal, Gobernación de Caldas y la Universidad de Caldas con asesorías continuas para el correcto desarrollo del trabajo y revisión de resultados para el uso de estos en el desarrollo del municipio.

7.1 Mapa de Geología

La plancha inicial de la zona de estudio estuvo dada por Corpocaldas en una escala 1:250.000, ya que no se logró actualizarla por trabajo de campo, para un mejor resultado se utilizó la plancha 205 Chinchiná realizada 1:100.000 elaborada por Ingeominas (1998), actualmente el Servicio Geológico Colombiano. Esta plancha describe unidades geológicas con edades que van desde el Paleozoico hasta el Cenozoico.

La geología de Palestina, Caldas se describe en ocho formaciones, compuestas por rocas ígneas, metamórficas, sedimentarias, cenizas y flujos de escombros y depósitos aluviales recientes.



Mapa 1. Mapa de geología 1:100.000 del SGC.

7.1.1 Descripción de unidades

La descripción de las unidades geológicas que van a ser nombradas a continuación, se hizo a partir de la memoria explicativa realizada en el 2001 por Ingeominas (Servicio Geológico Colombiano, 2001)

7.1.1.1 Complejo Arquía

Establecido por Maya & González (1995), para referirse al conjunto de rocas metamórficas de media a alta presión, localmente asociadas con peridotitas serpentinizadas localizadas al occidente del Complejo Quebradagrande y limitadas tectónicamente al este por la Falla Silvia – Pijao y al oeste por la Falla Cauca – Almaguer. Esta unidad está compuesta por dos unidades: Esquistos cuarzo – sericíticos con grafito (Kies) y Esquistos Verdes (Kiea).

Esquistos cuarzo – sericíticos con grafito (Kies): Corresponden a rocas metamórficas de estructura esquistosa, de color gris oscuro a negro untuosas al tacto por la presencia de grafito. En el mapa geológico de esta plancha, están indicadas las zonas donde predominan, aunque también aparecen como intercalaciones en las zonas cartografiadas como esquistos verdes.

Esquistos Verdes (Kiea): esta unidad cartográfica aparece en el mapa como homogénea, en ella, por su estructura y composición mineralógica, se pueden distinguir los siguientes tipos litológicos:

- **Esquistos Anfibólicos:** Son las rocas predominantes dentro del conjunto de esquistos verdes; macroscópicamente son rocas de esquistosidad fina persistente, que muestran por lo general un intenso plegamiento.
- **Esquistos Cloríticos:** Estas rocas son relativamente menos abundantes que los otros tipos de metamorfitas que constituyen la unidad de esquistos verdes. Se caracterizan por presentar una esquistosidad fina y una coloración verde manzana, debido a la abundancia de clorita a lo largo de los planos de foliación y no contiene anfíboles.
- **Anfibolitas:** Son rocas de color verde grisáceo a verde oscuro, de grano fino a grueso, con foliación bien definida en las de grano fino y es masiva o presenta bandeamiento composicional en las de grano grueso.

Edad: Aunque no se tienen edades radiométricas en los esquistos y anfibolitas de esta plancha, las edades isotópicas en metamorfitas del Complejo Arquía recopiladas por Maya (1992) indican un evento cretácico. El problema fundamental en la interpretación de estas edades, teniendo en cuenta las condiciones tectónicas y métodos

7.1.1.2 Complejo Quebradagrande. Conjunto Volcánico (Kvc)

El Complejo Quebradagrande aflora en el extremo sureste de la plancha, al oriente de Chinchiná; forma cuerpos pequeños, menores de 2 km², elongados en el sentido de las estructuras regionales. El cuerpo oriental está en contacto fallado al occidente con el Neis de Chinchiná y se extiende al este en la Plancha 206 Manizales (González, 1996) mientras que el occidental está en contacto fallado con metamorfitas del Complejo Arquía mediante fallas del sistema de fallas Silvia – Pijao.

Estas rocas volcánicas son de color verde que varía de oliva a grisáceo y ocurren en flujos masivos, localmente con diaclasamiento columnar y horizontes de lavas almohadilladas con márgenes de enfriamiento rápido.

Edad: Estas rocas se formaron en el intervalo Valanginiano – Albiano (González, 1980; Botero & González, 1983; Gómez et al., 1995). Toussaint & Restrepo (1978) indican una edad de 105 + 10 Ma, K/Ar en roca total, para un basalto de esta unidad, que concuerda con las edades paleontológicas en las sedimentitas asociadas.



Figura 10. Esquistos del complejo Quebradagrande.

7.1.1.3 Formación Barroso (Kvb)

La Formación Barroso constituye dos franjas con características litológicas diferentes. Esta franja Predominan basaltos y diabasas masivos de color gris oscuro a gris verdoso, de grano fino a afaníticos, a veces con venas delgadas de epidota y amígdalas rellenas por ceolitas. Ubicada al oriente de Belén de Umbría – Viterbo y se extiende hasta la Falla Cauca – Almaguer en el flanco occidental de la Cordillera Central; está separada de la franja occidental por una estructura N-S, NNE.

Edad: Cretácico Superior, aunque teniendo en cuenta que son edades K/Ar, que el potasio en estas rocas es bajo y la alteración es por metamorfismo, es necesario tener precaución en la interpretación de la edad obtenida, pues ésta podría indicar más bien la edad del metamorfismo, que la de cristalización. (Maya, 1992) Formación Barroso en la región de Buriticá – Peque, al norte de esta plancha, contienen fauna del Aptiano – Albiano hasta el Campaniano (Etayo et al., 1980; Etayo, 1989), lo cual sugiere que la edad del conjunto sea del Cretácico temprano tardío, que se extiende hasta el Cretácico tardío.



Figura 11. Aglomerados de la Formación Barroso

7.1.1.4 Formación Nogales (Kn)

La unidad está constituida por una serie de cherts, areniscas y conglomerados asociados, y por lo general se encuentran en contacto fallado con rocas basálticas de la Formación Barroso. Los mejores afloramientos se encuentran en la carretera Palestina – La Paloma

Edad: Por evidencias paleontológicas disponibles en las rocas sedimentarias localizadas al sur de la zona cartografiada, indican que éstas se formaron probablemente en el intervalo Albiano - Maastrichtiano y con mayor seguridad entre el Turoniano y Maastrichtiano, edad que estaría de acuerdo con las edades radiométricas obtenidas en las rocas asociadas. (Nivia, 1997)



Figura 12. Secuencia de cherts de la Formación Nogales

7.1.1.5 Rocas Hipoabisales Porfídicas (Tadp)

Esta unidad está constituida por dos cuerpos pequeños situados al norte y sur de Palestina. Son intrusivos en los Esquistos de Lisboa – Palestina y al oeste están en contacto fallado con rocas volcánicas básicas del Complejo Quebradagrande. Son rocas porfídicas de composición predominante andesítica.

Edad: Aunque en el área de la plancha no existen dataciones de estas rocas hipoabisales, tanto al norte como al sur de ella se tienen varias dataciones recopiladas por Maya (1992) que indican su formación en el intervalo Mioceno tardío – Plioceno.

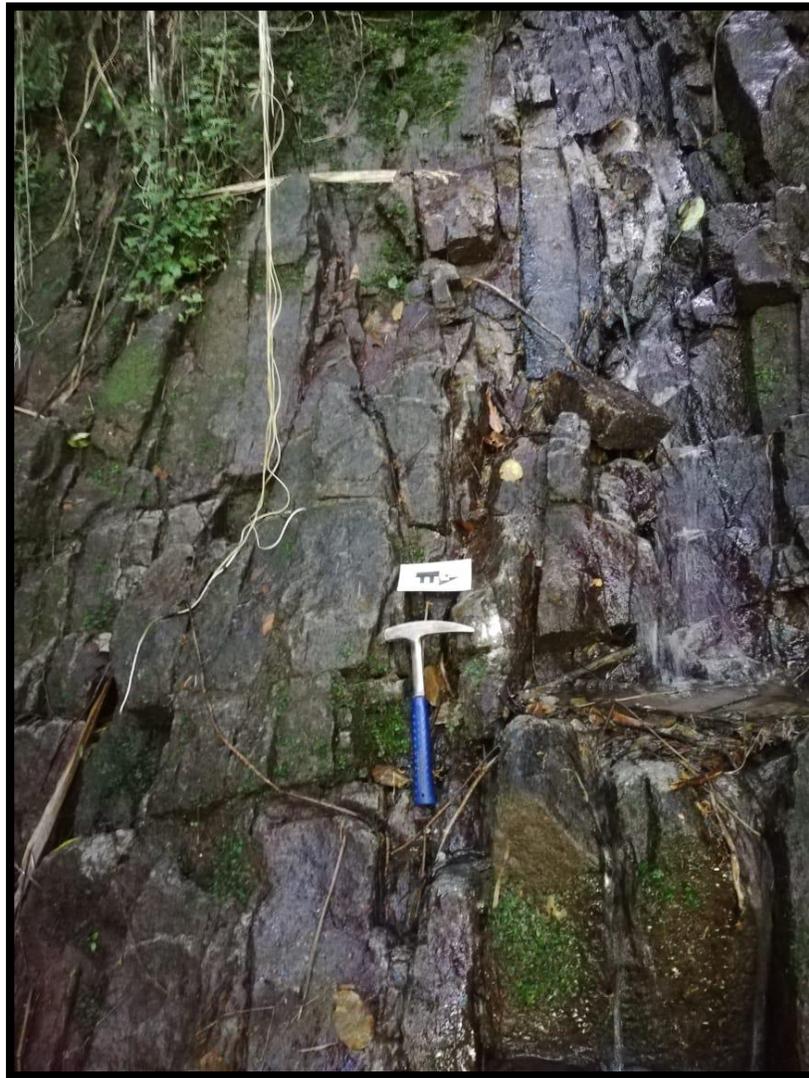


Figura 13. Afloramiento de rocas Hipoabisales porfíricas de Palestina.

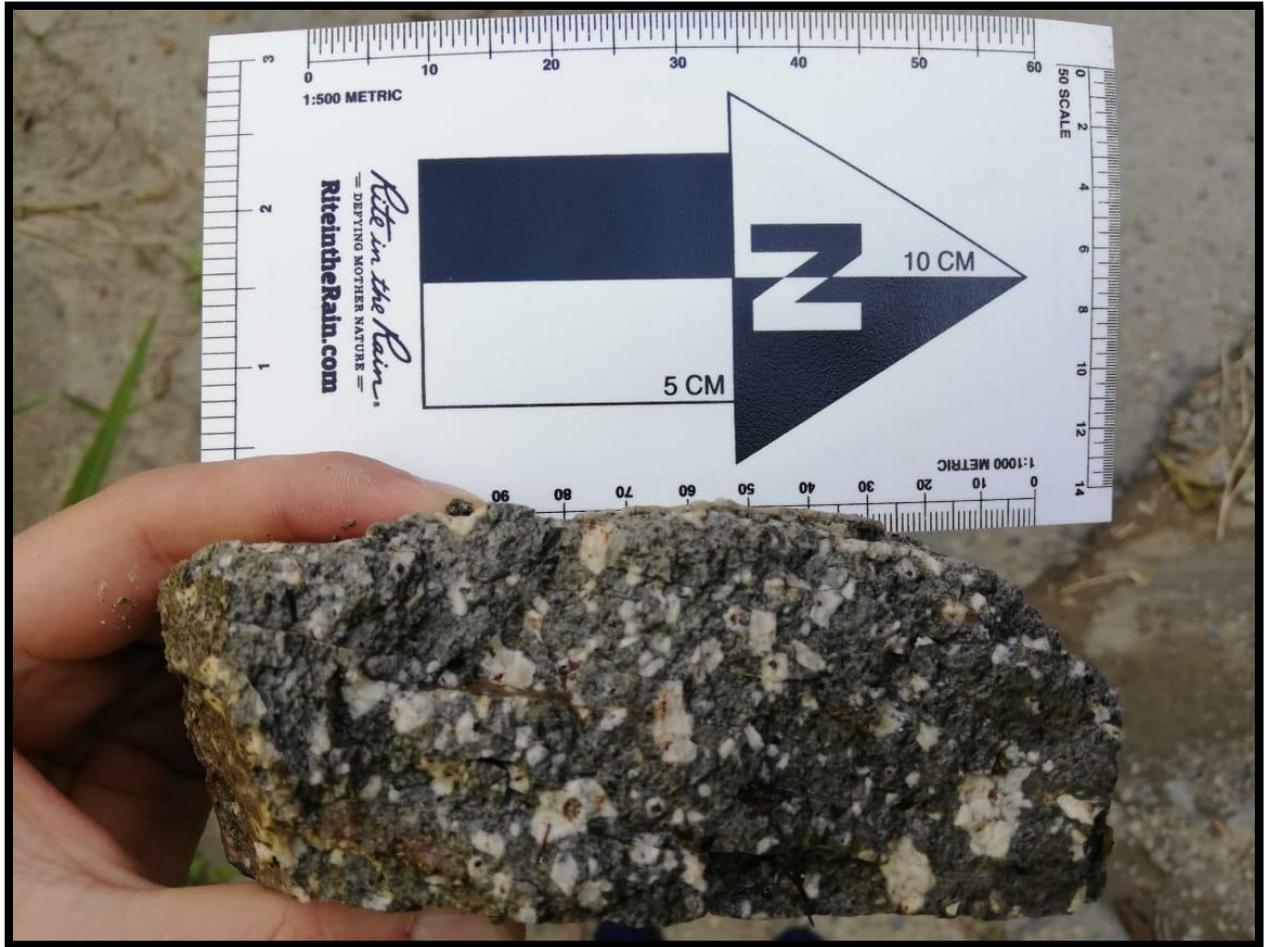


Figura 14. Muestra de mano de las rocas hipoabisaes porfiriticas.

7.1.1.6 Formación Irra-Tres Puertas

- **Miembro volcano – sedimentario (Tsivs)**

Corresponde a una serie de sedimentos de origen volcánico, ricos en cuarzo, feldespato y fragmentos de pómez, que se intercalan con niveles conglomeráticos ricos en fragmentos de pórfidos andesíticos y, en menor proporción, de rocas verdes.

Edad: No existen evidencias paleontológicas, radiométricas o estratigráficas claras que permitan establecer con precisión la edad de la secuencia de la Formación Irra - Tres Puertas, pero al menos la unidad volcano – sedimentaria debe ser posterior a los pórfidos andesíticos, ya que contiene fragmentos de estas rocas y por lo tanto sería post Mioceno tardío – Plioceno temprano. (Dueñas & Castro, 1981) Los niveles de pómez podrían correlacionarse con los encontrados en la Formación Mesa, en el flanco oriental de la Cordillera Central, datados en 3,5 Ma (van Houten, 1976).

- **Miembro de conglomerados ricos en rocas verdes, areniscas, limolitas y arcillolitas con láminas finas de carbón (Tisc)**

Conjunto de estratos de origen aluvial que individualmente tienen hasta 2 m de espesor. Hacia la base está compuesto por conglomerados ricos en cantos de rocas verdes, intercalados con delgados niveles de areniscas gruesas de color pardo. En la parte media y superior, además de los estratos de conglomerados ricos en rocas verdes, aparecen capas de areniscas, a veces con estratificación cruzada, areniscas conglomeráticas, limolitas, arcillolitas azulosas y arcillolitas de color crema con fracturas rellenas por óxidos de hierro. En el tope de la unidad se encuentran láminas finas de color negro, ricas en materia orgánica y que llegan a formar carbones.

7.1.1.7 Cenizas y flujos de escombros (Qfl)

Los flujos de escombros se caracterizan por presentar bloques, preferencialmente de composición andesítica, hasta de 1 m de diámetro, con una selección mala y espesores que alcanzan hasta 20 m. Lateralmente, las cenizas y flujos de escombros muestran contactos erosionales con los sedimentos del miembro volcánico – sedimentario y con la cubierta cuaternaria. En el mapa se muestran sólo algunos de los flujos ya que muchos de ellos por su extensión no son cartografiables. Por sus relaciones estratigráficas con la Formación Irra – Tres Puertas y su bajo grado de consolidación, estas unidades han sido asignadas al Cuaternario.



Figura 15. Afloramiento de secuencia aluvial y volcánico-sedimentario (Qfl)

7.1.1.8 Depósitos aluviales recientes (Qal)

Bajo esta denominación se agrupan los sedimentos de relleno de los ríos Cauca, Risaralda, Chinchiná, Mapa, Guacaica y de algunos de los tributarios; además, incluyen algunos depósitos coluviales. Las terrazas y aluviones se caracterizan por su topografía plana; los depósitos asociados con el río Cauca, en la desembocadura del río Chinchiná y quebrada Llano Grande, son de grande extensión y están constituidos por gravas, arenas y limo.

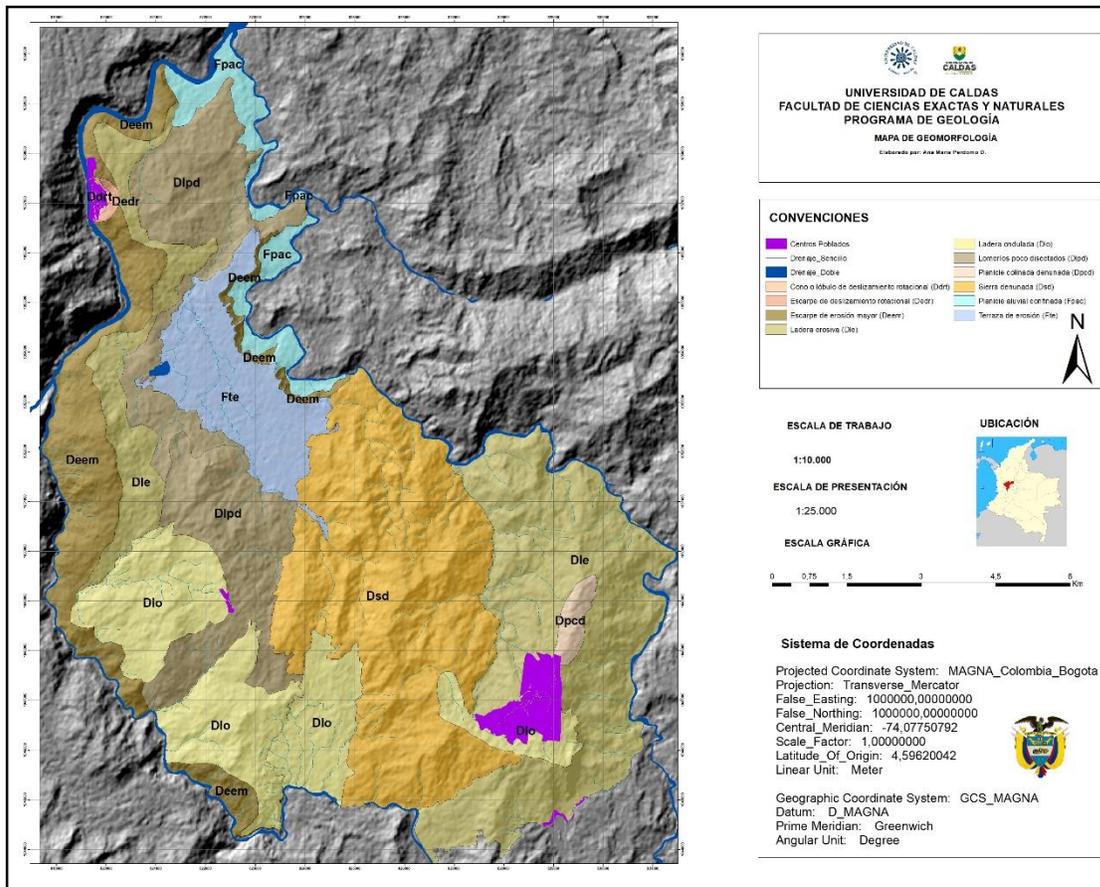
A cada una de las unidades geológicas se le dio un valor numérico o peso dependiendo de la menor o mayor ocurrencia a presentarse una avenida torrencial, estando enfocado en la permeabilidad e infiltración en las rocas que conforman cada unidad, siendo 1 la menor ocurrencia y 10 la mayor.

UNIDAD GEOLÓGICA	PESO (WGEOLOGI)
Depósitos aluviales recientes	4
Cenizas y flujos de escombros.	5
Formación Irra-Tres Puertas.	6
Formación Nogales.	7
Formacion Barroso	8
Complejo Quebradagrande	9
Rocas hipoabisales porfiríticas.	9
Complejo Arquía	10

Tabla 12. Clasificación de pesos para las unidades geológicas

Mapa Geomorfológico

Las avenidas torrenciales como los movimientos en masa están relacionados con características del relieve como zonas montañosas y escarpadas. El mapa se logra actualizar desde el Modelo de elevación digital (MED) de 12,5 m y un relieve sombreado, quedando en una escala de 1:10.000. En la zona de Palestina se identifican diez geoformas de mayoría de ambiente denudacional, estos son procesos con diferentes grados de erosión, influyen procesos de origen gravitacional y pluvial que remodelan y dejan remanentes de las unidades preexistentes y crean nuevas formas de relieve y de ambiente fluvial y lagunar, estas geoformas que se originan por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y por la acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes. (Servicio Geológico Colombiano)



Mapa 2. Mapa de Geomorfología 1:10.000 (Fuente: Elaboración propia)

Estas geformas se describirán a partir del Glosario de unidades y sub unidades geomorfológicas del Servicio Geológico Colombiano.

- **Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional (Ddrt)**

Estructura en forma de cono o lóbulo con morfología alomada baja, longitud muy corta a corta, irregular, localmente escalonada, muy inclinada a abrupta y lobulada en su parte distal. Su origen está relacionado con acumulación de tierra y bloques.

- **Escarpe de deslizamiento rotacional (Dldr)**

Ladera abrupta donde ocurre un desplazamiento a lo largo de una superficie de ruptura de forma curva o cóncava, por una pendiente en forma súbita o lenta.

- **Escarpe de erosión mayor (Deem)**

Ladera abrupta o a desplome de altura variable, que puede formarse por distintas causas: tectónicas, abrasión (erosión fluvial y marina), procesos gravitacionales, glaciares. Eventualmente de longitud corta a larga, forma cóncava, convexa o recta, con pendiente escarpada a muy escarpada.

- **Ladera erosiva (Dle)**

Corresponde a superficies del terreno de pendientes muy inclinadas a escarpadas, de longitudes moderadas a extremadamente largas, de formas planas, cóncavas y convexas, patrón de drenaje típico dendrítico a subparalelo. Presenta procesos erosivos intensos, como cárcavas, surcos y solifluxión, sobre materiales de suelo o roca. Estas laderas no necesariamente están asociadas a una geoforma mayor o una estructura.

- **Ladera ondulada (Dlo)**

Superficie en declive de morfología alomada o colinada, pendiente inclinada a escarpada, la longitud varía entre corta y muy larga. El patrón de drenaje es subdendrítico a subparalelo. Estas laderas se pueden formar en suelos residuales y depósitos coluviales.

- **Lomeríos poco disectados (Dlpd)**

Prominencias topográficas de morfología alomada o colinada, con cimas planas amplias y eventualmente redondeadas, de laderas muy cortas a cortas, de forma rectas, y eventualmente cóncavas y convexas, pendientes inclinadas a muy abruptas, e índice de relieve muy bajo a bajo. En estos lomeríos, los procesos de incisión son muy leves y generalmente estas unidades se encuentran en áreas centrales de altiplanos o alejados de los frentes erosivos. Son frecuentes procesos erosivos de reptación y eventualmente movimientos en masa, tipo deslizamiento rotacional.

- **Planicie colinada denudada (Dpcd)**

Superficie erosiva, suavemente ondulada, de paisaje colinado, desarrolla pendientes muy inclinadas a abruptas, con laderas cortas rectas a cóncavas, donde predomina el patrón de drenaje dendrítico. Son producto de la erosión intensa que afectó diferencialmente los macizos rocosos intensamente fracturados y meteorizados.

- **Sierra denudada (Dsd)**

Prominencia topográfica de morfología montañosa y elongada, de laderas largas a extremadamente largas, cóncavas a convexas, con pendientes muy inclinadas a abruptas, donde prevalecen procesos de erosión o de movimientos en masa acentuados. Su origen está relacionado con procesos de erosión acentuada en sustratos rocosos ígneos y metamórficos.

- **Planicie aluvial confinada (Fpac)**

Franja de terreno de morfología plana, muy angosta, eventualmente inundable, en forma de “U”, limitada por otros relieves de morfología colinada, alomada o montañosa, que bordean los cauces fluviales, en los cuales se observa el estrangulamiento o estrechamiento del mismo. Constituida por material aluvial (arenas, limos y arcillas).

- **Terraza de erosión (Fte)**

Superficie elongada, plana a suavemente ondulada, limitada por escarpes de diferente altura, que se presenta en forma alterna no pareada, a lo largo del cauce de un río. Su origen está relacionado a procesos de erosión fluvial lateral y procesos de levantamiento tectónico que afectan el sustrato rocoso. Generalmente contiene una delgada capa de grava que cubre la superficie plana.

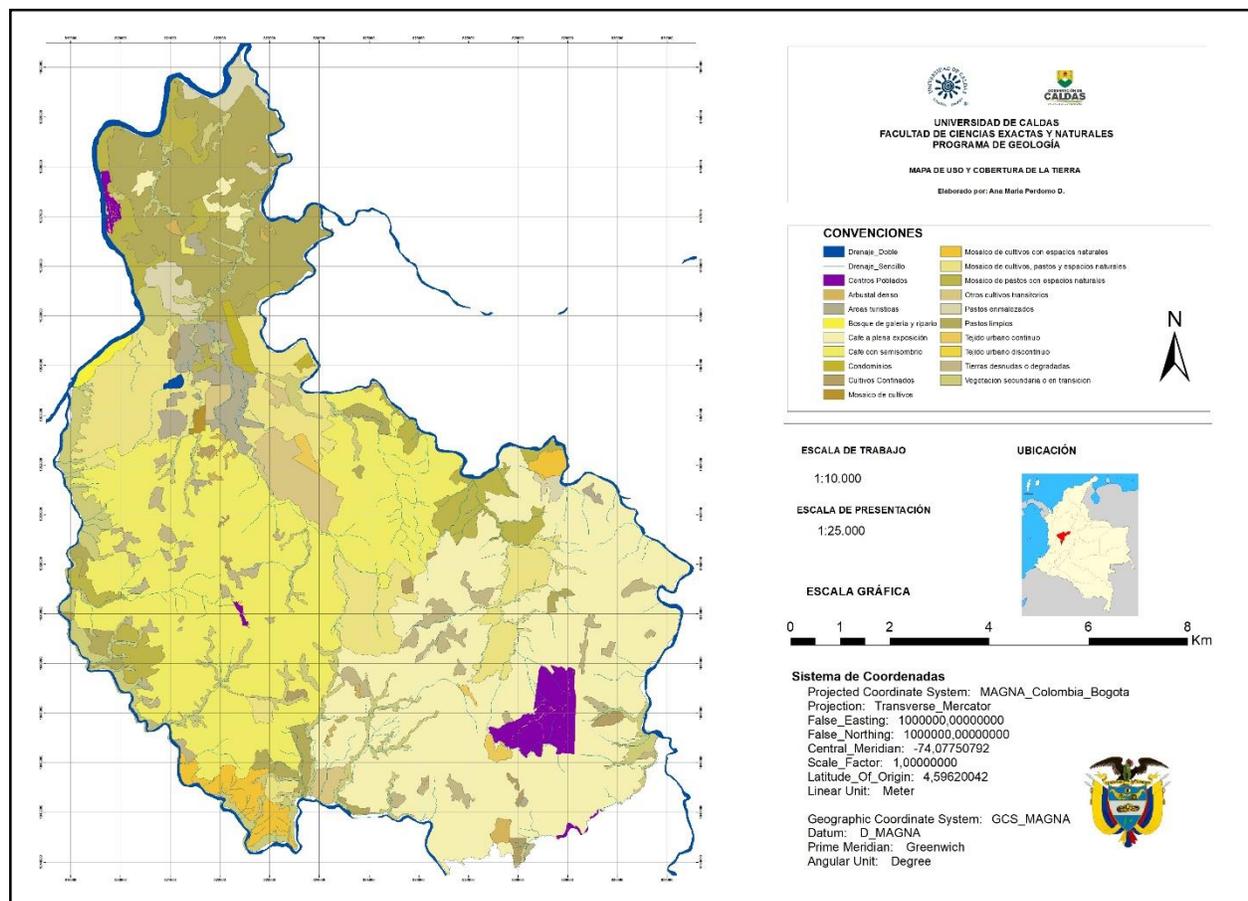
A cada unidad geomorfológica, se le asignó un valor numérico o peso dependiendo de la menor o mayor ocurrencia a presentarse una avenida torrencial, siendo 1 la menor ocurrencia a que ocurran una avenida torrencial como terrazas de erosión y planicies aluviales y 5 la mayor ocurrencia como escarpes de deslizamiento y erosión mayor.

UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	PESO (WGEOMORFO)
Escarpe de deslizamiento rotacional (Dedr)	5
Escarpe de erosión mayor (Deem)	5
Ladera erosiva (Dle)	4
Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional (Ddrt)	3
Ladera ondulada (Dlo)	3
Planicie colinada denudada (Dpcd)	3
Sierra denudada (Dsd)	3
Lomeríos poco disectados (Dlpd)	2
Planicie aluvial confinada (Fpac)	1
Terraza de erosión (Fte)	1

Tabla 13. Clasificación de pesos para las unidades geomorfológicas

7.2 Mapa de Uso y Cobertura de la tierra

La cobertura vegetal es la capa más superficial y juega un papel importante debido a que influye en las propiedades hidrológicas y mecánicas del suelo (Dai y Lee, 2002), como agente que regula la escorrentía y filtración, mediante la retención y los procesos de evapotranspiración. También el uso, como lo es el factor antrópico es otro importante agente erosivo reemplazando la cobertura vegetal natural para uso urbano, agropecuario e incluso minero, por esto a cada vegetación se le asignó un peso o valor numérico dependiendo de la posible ocurrencia a una avenida torrencial, siendo 1 la menor ocurrencia como en Bosques de galería y ripario que cumplen un papel de protección en la vegetación y las tierras desnudas y degradadas siendo 10 como mayor ocurrencia, como se muestra en la tabla 14.



Mapa 3. Mapa de Uso y cobertura de la tierra 1:10.000

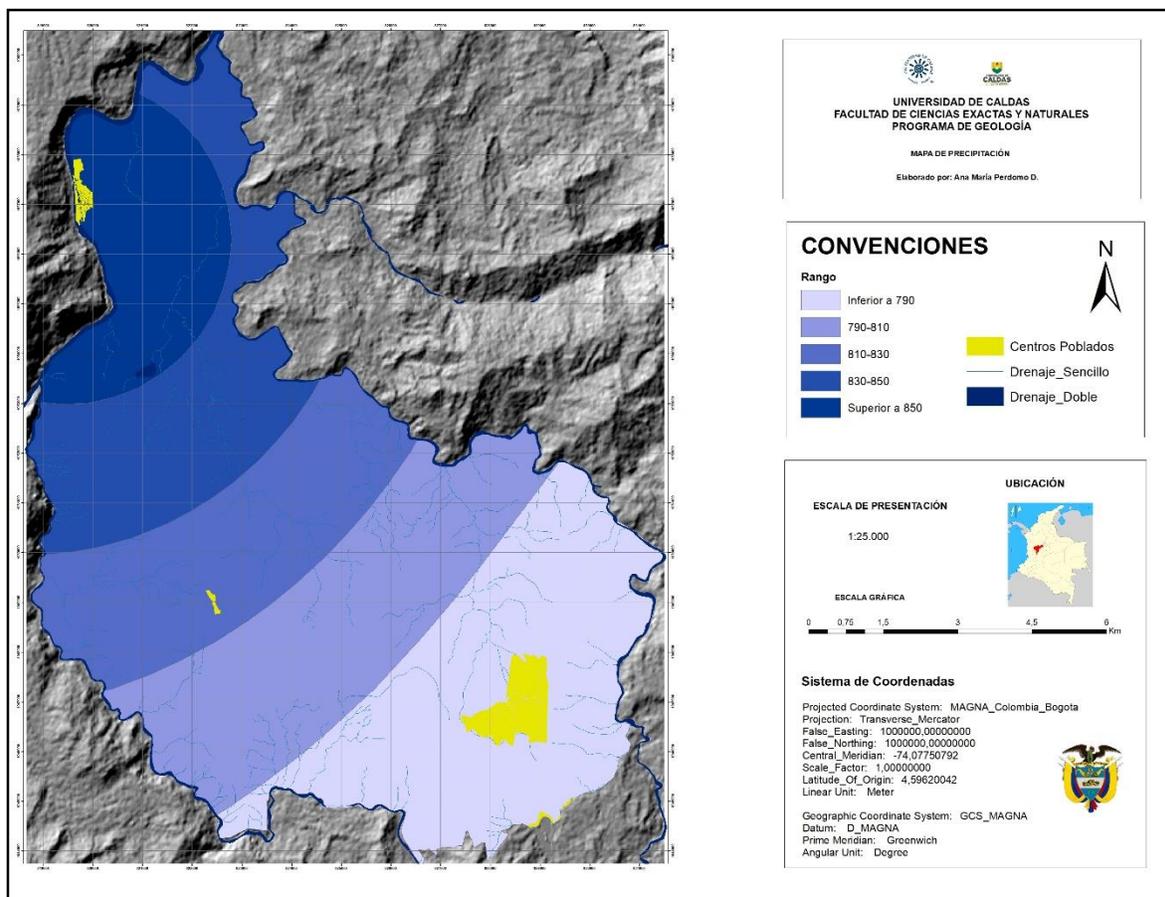
COBERTURA	PESO (WCOBERT)
Bosque de galería y ripario	1
Vegetación secundaria o en transición	2
Tejido urbano discontinuo	2
Arbustal denso	2
Áreas turísticas	3
Mosaico de pastos con espacios naturales	3
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	3
Mosaico de cultivos con espacios naturales	3
Condominios	3
Tejido urbano continuo	3
Café con semisombrio	4
Cultivos Confinados	4
Mosaico de cultivos	4
Café a plena exposición	4

Otros cultivos transitorios	7
Pastos limpios	8
Pastos enmalezados	8
Tierras desnudas o degradadas	10

Tabla 14. Clasificación de pesos para cobertura.

7.3 Mapa de precipitación

En el municipio de Palestina se encuentran en cinco zonas de diferentes rangos de precipitación y se les asigna un peso o valor numérico de 1 a 10 dependiendo de la menor o mayor ocurrencia a una avenida torrencial como se muestra en la tabla 14.



Mapa 4. Mapa de precipitación promedio anual en Palestina.

Los niveles más altos de precipitación se encuentran al norte del municipio, donde se encuentra el corregimiento de Arauca y los niveles más bajos al sur, que se encuentra el centro poblado de Palestina.

RANGO DE PRECIPITACIÓN	PESO (WPRECIPT)
Inferior a 790	6
790- 810	7
810-830	8
830-850	9
Superior a 850	10

Tabla 15. Clasificación de peso para cada nivel de lluvia

7.4 Clasificación morfométrica

7.4.1 Coeficiente de compacidad:

Este factor es un referente para establecer la dinámica esperada de la escorrentía superficial en una cuenca, el coeficiente de compacidad para la cuenca del río Campoalegre es de **1,87639199493** Campoalegre y para la cuenca del río Chinchiná es de **2,04716725706**. Según la clasificación de FAO, 1985 estas cuencas corresponden a formas rectangular oblongas, esto quiere decir que son cuencas irregulares y representan un menor grado de susceptibilidad a crecidas, sin embargo las cuencas de formas alargadas (rectangulares), tienden a presentar un flujo de agua más veloz, logrando una evacuación de la cuenca más rápida, mayor desarrollo de energía cinética en el arrastre de sedimentos hacia el nivel de base.

CUENCA	Kc
Cuenca río Campoalegre	1,87639199493
Cuenca río Chinchiná	2,04716725706

Tabla 16. Resultados del coeficiente de compacidad para las cuencas.

7.4.2 Densidad de drenaje:

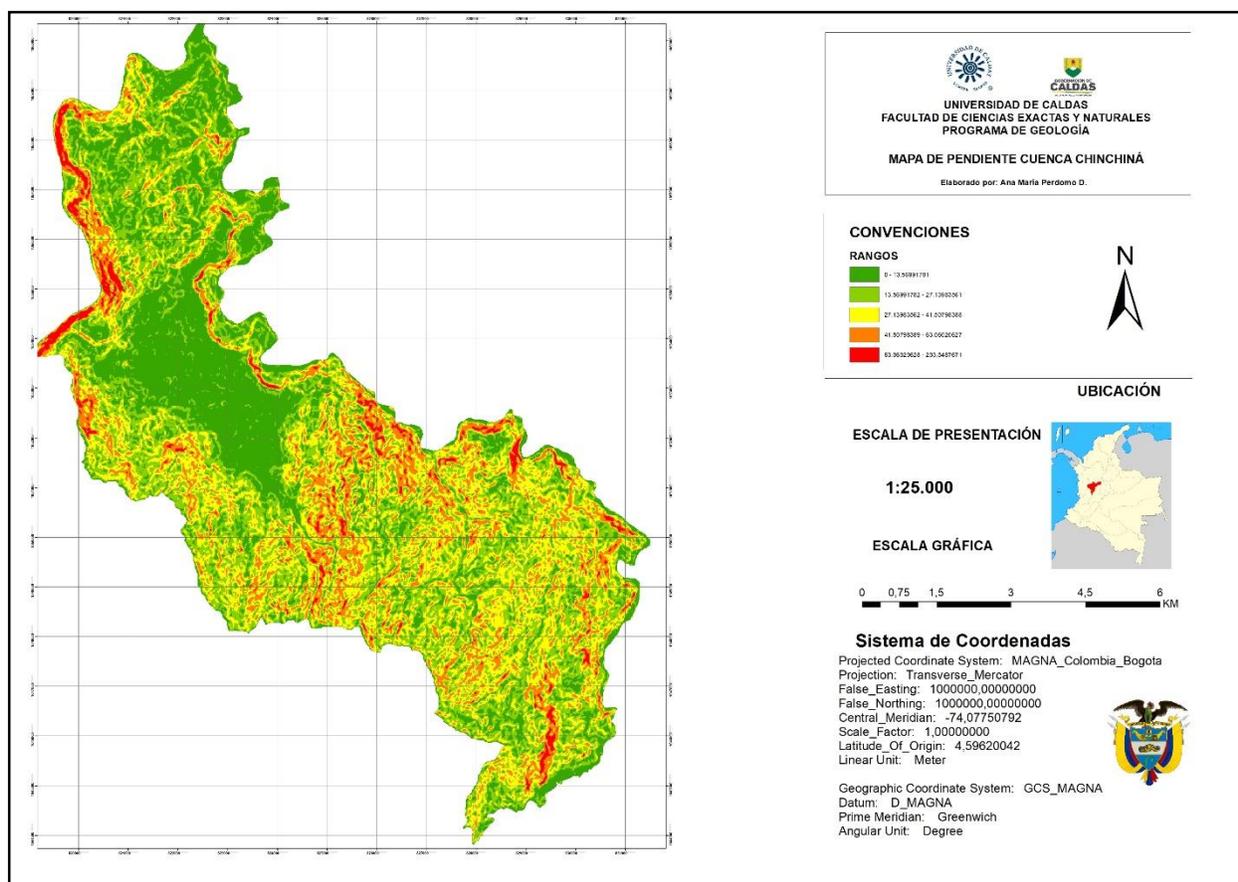
Este parámetro representa la longitud de cauces por unidad de superficie. Los valores para la cuenca del río Campoalegre 1,579183 Km/Km² y para la cuenca del río Chinchiná 1,374122 Km/Km², lo cual significa que son cuencas con drenaje más o menos bien drenado, debería responder bien a la influencia de la precipitación. Las mayores densidades de drenaje se encuentran en rocas blandas de baja permeabilidad y en regiones con escasa cobertura vegetal, sobre todo allí donde la precipitación se distribuye en aguaceros intensos y espaciados.

CUENCA	Densidad de drenaje (Dd)
Cuenca río Campoalegre	1,579183 Km/Km ²
Cuenca río Chinchiná	1,374122 Km/Km ²

Tabla 17. Resultados de la densidad de drenaje para las cuencas.

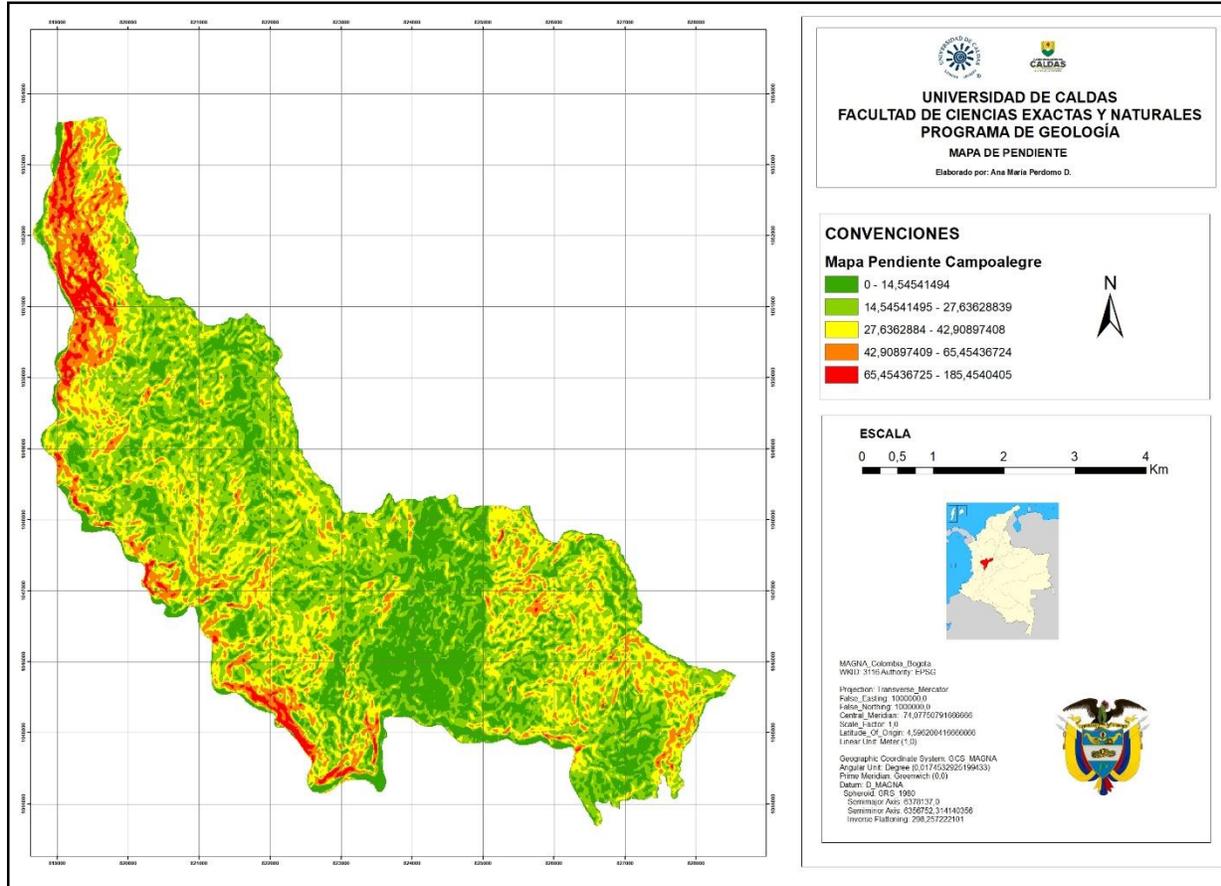
7.4.3 Pendiente media de la cuenca:

La realización de este parámetro se necesitó como insumo el ráster de cada cuenca y el shape de las cuencas (Cuenca del río Chinchiná y Cuenca del río Campoalegre). Se crea un mapa de pendientes (en porcentaje) a partir del ráster de cada cuenca a través de la herramienta Slope que se encuentra en ArcToolbox, seguidamente se interpolan las capas con la herramienta Interpolate shape y finalmente se hace un análisis estadístico zonal (Zonal Statistics as Table) para determinar el valor de la pendiente media de la cuenca.



Mapa 5. Mapa de pendiente para la cuenca del río Chinchiná

El valor de la pendiente media en porcentaje de cada cuenca se muestra en la tabla 18. Este parámetro es muy importante ya que debido que la inclinación del terreno, tiene gran acercamiento con la susceptibilidad a movimiento de remoción en masa y a procesos de incisión y socavación del cauce.



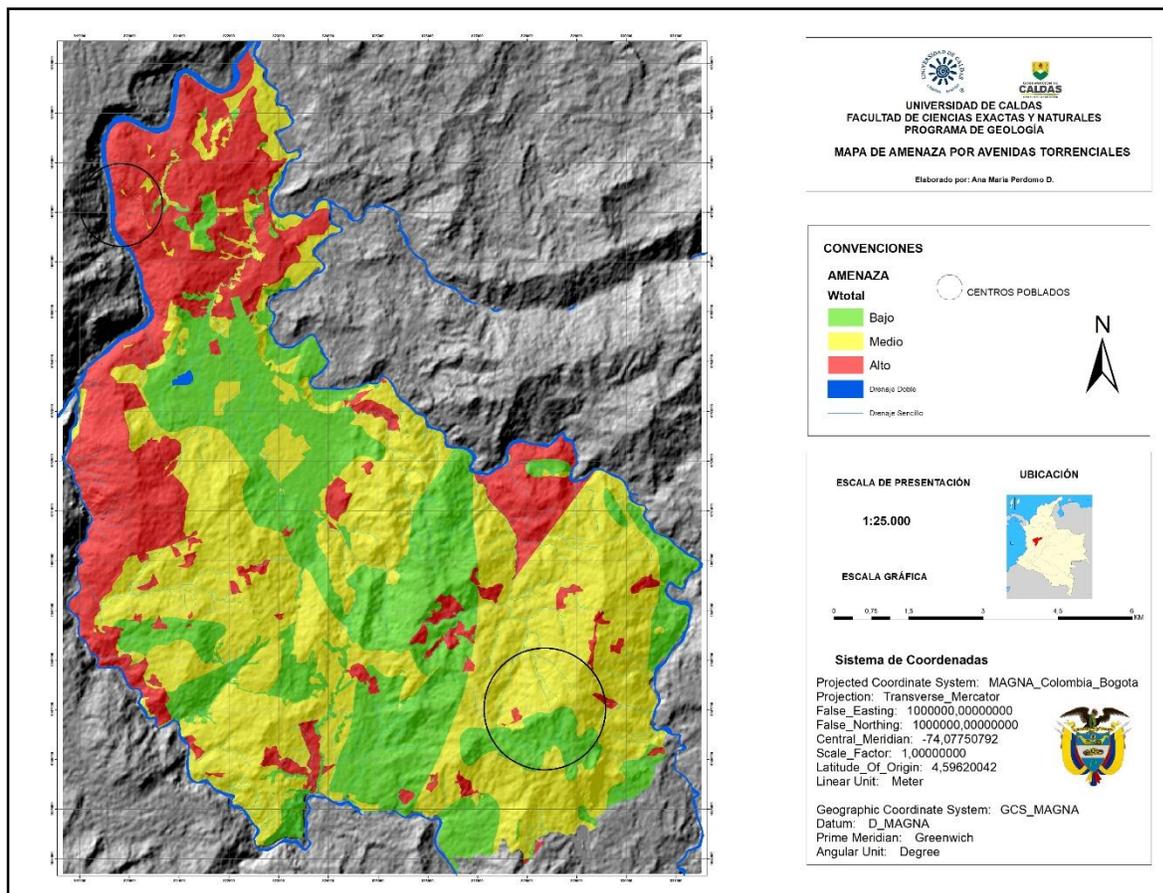
Mapa 6. Mapa de pendiente para la cuenca del río Campoalegre

CUENCA	Pendiente media (%)	Pendiente media (%)
Cuenca río Campoalegre	26,0465296553	26%
Cuenca río Chinchiná	25,7946155877	26%

Tabla 18. Resultados de la pendiente media en porcentaje para las cuencas.

7.5 Mapa de Amenaza

El mapa de amenaza por avenida torrencial (Mapa 7), permite observar las principales cuencas que drenan el municipio, organizadas en cinco rangos que va de muy bajo a muy alto, de la posibilidad de ocurrencia de una avenida torrencial a partir de sus características hidrológicas e hidráulicas. Para la precisión de los valores en el mapa, se utiliza una división estadística por cuantiles.



Mapa 7. Mapa de amenaza para todo el municipio de Palestina.

Las zonas que comprenden el rango de amenaza bajo, se concentra en la parte donde está el centro poblado de Santaguada y la Rochela, estas se encuentran construidas bajo una terraza de erosión de ceniza y flujos de escombros, además de tener una cobertura vegetal y un uso de éstos variado, hace que estas características haya una ocurrencia a la amenaza baja.

El área del municipio de Palestina que hace parte del rango muy bajo corresponde a 3348,06 Ha, siendo el 30,32% de todo el municipio a una posible ocurrencia de una avenida torrencial.

Las zonas de amenaza media, se encuentra en la parte central del municipio y la cabecera municipal de Palestina. Los principales factores que dan lugar a este nivel de riesgo son: Cobertura en superficie café semisombrio y a plena exposición, las características de esta zona, son similares a los rangos de amenaza alto, solo que el promedio de precipitación anual es de niveles de lluvia menores. El área de esta zona es de 5010,72 Ha, que es el 45,38% de una posible ocurrencia de la amenaza por avenidas torrenciales.

Las zonas que comprenden el rango de amenaza alto, se encuentra el corregimiento de Arauca que es el segundo centro poblado más importante en Palestina siendo una gran prioridad en la problemática. Estas zonas tienen varias morfologías como lo son: escarpe de erosión mayor, laderas erosivas, cono de deslizamientos, son características topográficas del terreno con predominancias de pendientes altas, tienen como cobertura predominante de pasto, cultivos transitorios y tierras desnudas o degradadas, que propician la concentración rápida de la escorrentía en superficie, los usos del suelo inadecuados, permiten que el escurrimiento de las aguas sea de poca concentración alcanzando altas velocidades y poder erosivo. La precipitación anual en estas zonas son las más altas, de 830 mm/año hasta más de 850 mm/año, además, se encuentra bajo la Formación Barroso que son un conjunto de rocas volcánicas básicas donde predominan basaltos, rocas que tienen poco indicio de infiltración y poca permeabilidad, haciendo que la ocurrencia a la amenaza sea alta.

El área de Palestina que abarca el rango alto es de 2682,96 Ha y 24.29%.

RANGO	HECTÁREAS (Ha)	PORCENTAJE (%)	CLASIFICACIÓN
4,852360 - 7,775790	3348,061304	30,32%	Bajo
7,775791 - 8,225790	5010,725314	45,38%	Medio
8,225790 - 9,666150	2682,96549	24,29%	Alto

Tabla 19. Resultados de una ocurrencia a Avenidas Torrenciales en Hectáreas y Porcentaje en el Municipio de Palestina.

8. CONCLUSIONES

- Se realizó la aproximación a la amenaza de avenidas torrenciales para el municipio de Palestina, sirviendo como herramienta útil para base y mejoras en próximos trabajos, como también para la toma de decisiones en el plan básico de ordenamiento territorial del municipio y gestión del riesgo.
- Las características en grandes rasgos para la ocurrencia de la amenaza, son el relieve (altas pendientes), acumulación de clastos, problemas de erosivos en las cuencas, todo esto, en épocas de alta precipitación.
- Los estudios necesarios para avenidas torrenciales, son de gran exigencia por la escala que se requiere, siendo un gran inconveniente para los municipios pues no cuentan con el apoyo económico ni capacidades técnicas para cumplir los estudios según se estipula en el decreto 1807 de 2014.
- De acuerdo a los resultados obtenidos, el 24,29% del total de Ha en Palestina está en riesgo alto a una posible ocurrencia de avenidas torrenciales, son zonas donde es recurrente la alta precipitación, la cobertura vegetal es casi inexistente y morfologías con pendientes o escarpes fuertes, son más susceptibles a la ocurrencia de la amenaza, pudiendo afectar a la comunidad y la infraestructura de la zona.
- Los Sistemas de Información Geográfica SIG, son una herramienta que permiten integrar modelos, ecuaciones con el fin de obtener los mapas de riesgo, en este caso, una aproximación al mapa de amenaza por avenidas torrenciales.

9. RECOMENDACIONES

- Dado que el insumo entregado en convenio con la Gobernación de Caldas solo llega hasta la determinación de la amenaza sin incluir todos los aspectos mínimos para los Estudios Básicos de Amenaza de acuerdo con el Decreto 1077 de 2015 (que compila el Decreto 1807 de 2014), se deben aportar los recursos técnicos, logísticos, administrativos y económicos para que se desarrollen los demás aspectos requeridos por norma como lo son el mejoramiento de la escala de la cartografía base a 1:2000, la modelación hidrológica e hidráulica considerando análisis de torrencialidad y sedimentos y el análisis de eventos históricos.
- Asimismo, se deberá realizar el análisis de ocupación o proyección de ocupación de las áreas determinadas como de amenaza alta y media, con el fin de identificar las "Áreas con condición de riesgo" y las "Áreas con condición de amenaza", respectivamente. La identificación de estas áreas permitirá priorizar la necesidad de realizar Estudios Detallados de Riesgo en los términos del Decreto 1077 de 2015.
- Realizar una metodología patrón donde se puedan obtener resultados de similar calidad en todo el país para llegar a los resultados exigidos por el decreto 1807/2014.
- Para cumplir con la escala del Decreto 1077 de 2015 respecto a Estudios Básicos de Amenaza en suelo urbano, de expansión y centros poblados (1:5000) se deberá realizar trabajo de campo, obtener imágenes satelitales o Modelos de elevación (MED) con el fin de mejorar la escala de la cartografía base que es insumo para la zonificación de amenazas.
- Para realizar un mejoramiento de la escala y detalle del análisis morfométrico realizado (índice de compacidad, pendiente media y densidad de drenaje) a nivel de subzona hidrográfica (cuenca del río Chinchiná) y nivel subsiguiente (cuenca del río Campoalegre y otros directos Cauca), se puede realizar análisis morfométrico con empleo de rutinas SIG a nivel de microcuencas o unidades hidrográficas asociadas a la red hídrica de CORPOCALDAS a escala 1:25.000.
- Investigar sobre el comportamiento de estos eventos con el fin de establecer los parámetros que sean necesarios, para lograr más exactitud y poder evaluar la amenaza para la realización de un protocolo de alerta temprana.
- Las medidas estructurales y no estructurales para gestión del riesgo tales como ejecución de obras de mitigación y reubicación de viviendas, entre otras, solo pueden ser derivadas de Estudios Detallados de Riesgo en los términos del Decreto 1077 de 2015, por lo cual es de suma importancia continuar avanzando en obtener los Estudios Básicos de Amenazas y así priorizar las áreas objeto de Estudios Detallados de Riesgo.
- La mayoría de insumos para evaluar la amenaza por avenidas torrenciales, se pueden adquirir a través de varias instituciones, generalmente de carácter público como Corpocaldas, IGAC, las administraciones municipales y demás instituciones, pero estas no cuentan con lo estipulado por el decreto 1807 de 2014, como las escalas o estudios detallados, por lo que se recomienda unificar y avanzar en la actualización de la información, con el fin de mejorar en la zonificación de la amenaza.

10. BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, J. H. (2011). Las avenidas torrenciales: una amenaza potencial en el Valle de Aburrá. *Revista Gestión y Ambiente*, 46-50.

ALCALDÍA DE PALESTINA, Obtenido de <http://www.palestina-caldas.gov.co/datos-abiertos/barrios-y-veredas-municipio-de-palestina>

CARMEN, R. L. (2015). Asistencia técnica en la aplicación de las determinantes ambientes de la gestión del riesgo y el Decreto 1807 de 2014, para la revisión y ajuste de los POT del departamento de Caldas.

CORNARE. (2012). Zonificación de riesgo por movimientos en masa, inundación y avenida torrencial. Atención de áreas afectadas por eventos desastrosos. San Rafael - Antioquia.

CORPOCALDAS – GEOSUB S.A.S (2013). Identificar y caracterizar la amenaza, vulnerabilidad y riesgo para las cabeceras municipales y las áreas de desarrollo rural restringido. Contrato 292 CORPOCALDAS- FUNDACIÓN EKOSOCIAL. Vulnerabilidad a Cambio climático en el Departamento de Caldas

DAI FC, LEE CF. (2002). Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology* 42: 213-228.

DECRETO 1807 DE 2014. Gobierno de Colombia. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=59488>

EQUIPO CONSULTOR: Unión temporal POT (UT-POT). (2014). Plan Básico de Ordenamiento Territorial Municipio de Palestina, Caldas, Documento 12.

GONZALES, A.I. Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas

HORTON, R.E. (1945): «Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology». *Bulletin of the Geological Society of America*, nº 56, pp. 275-370

JONES, J.A.A. (1997): *Global hydrology: processes, resources and environmental management*. London, Addison-Wesley, 399 pp.

LAVELL, A. (2003) Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición.

LEY 1523 DE 2012. Secretaria del Senado. Obtenido de http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1523_2012.html

MINISTERIO DE EDUCACIÓN. (s.f.). Obtenido de <https://www.mineducacion.gov.co/1621/article-190610.html>

MONTOYA, L. J., SILVA, S. M., & GONZÁLES, J. E. (2009). Evaluación de zonas de amenaza por avenidas torrenciales utilizando metodologías cualitativas caso de aplicación a la quebrada doña maría. (2009). *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 17

NARANJO, J. L. (2015). Fotogeología práctica. Manizales: Universidad de Caldas.

PINEDA, M. C, MARTÍNEZ-CASASNOVAS J. A., & VILORIA, J (2016) Relación entre los cambios de cobertura vegetal y la ocurrencia de deslizamientos de tierra en la serranía del interior, Venezuela

SENCIALES, J.M. (1999): Redes fluviales. Metodología de Análisis. Estudios y Ensayos, 34. Universidad de Málaga, 337 pp.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Glosario de unidades y sub unidades geomorfológicas

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. (2001). Memoria Explicativa, geología de la plancha 205 chinchiná.