



**PRÁCTICA ACÁDEMICA EN LA SECRETARÍA DE PLANEACIÓN DE LA  
GOBERNACIÓN DE CALDAS: APROXIMACIÓN A LA ZONIFICACIÓN DE  
AMENAZA POR INUNDACIÓN A PARTIR DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN  
GEOGRÁFICA EN EL MUNICIPIO DE PALESTINA, CALDAS**



**SEBASTIÁN RODRÍGUEZ MÉNDEZ**



Universidad de Caldas

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



**PRÁCTICA ACÁDEMICA EN LA SECRETARÍA DE PLANEACIÓN DE LA  
GOBERNACIÓN DE CALDAS: APROXIMACIÓN A LA ZONIFICACIÓN DE  
AMENAZA POR INUNDACIÓN A PARTIR DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN  
GEOGRÁFICA EN EL MUNICIPIO DE PALESTINA, CALDAS**

**SEBASTIÁN RODRÍGUEZ MÉNDEZ**

**Trabajo de grado para optar al título de Geólogo**

**Asesores de Práctica**

**SERGIO J. CASTRO**

**Msc. Ingeniería de Materiales y Procesos**

**DIEGO A. ARANGO**



Universidad de Caldas

**UNIVERSIDAD DE CALDAS**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**PROGRAMA DE GEOLOGÍA**

**MANIZALES 2019**



**NOTA DE APROBACIÓN**

**APROBADO**

---



---

**Diego A. Arango**

Asesor de Práctica

Universidad de Caldas

Manizales, agosto 2019

## Tabla de Contenido

1. Resumen .....	9
2. Introducción.....	10
3. Justificación.....	11
4. Objetivos.....	12
4.1 Objetivo General.....	12
4.2 Objetivos Específicos.....	12
5. Antecedentes.....	13
5.1 Aspecto Geográfico .....	13
5.2 Marco General .....	17
5.2.1 Marco Normativo.....	17
5.2.2 Marco Teórico.....	19
5.2.3 Marco Referencial.....	21
7. Metodología.....	26
7.1 Tipo de Trabajo.....	26
7.2 Etapas .....	26
7.3 Procedimiento .....	26
7.3.1 Insumos Necesarios .....	28
8. Insumos y Productos Obtenidos.....	28
8.1 Mapa Geológico.....	28
8.1.1 Complejo Quebradagrande (Kvc).....	30
8.1.2 Formación Barroso (Kvb).....	31
8.1.3 Formación Nogales (Kn).....	32
8.1.4 Rocas Hipoabisales Porfiríticas (Tadp) .....	33
8.2 Mapa Geomorfológico.....	35
8.3 Mapa de Conflicto de Uso .....	37
8.4 Mapa de Uso y Cobertura de la Tierra.....	37
8.5 Mapa de Aptitud del Suelo .....	38
8.6 Mapa de Pendientes .....	39
8.7 Mapa de Precipitación.....	41



8.8 Mapa de Susceptibilidad .....	42
8.9 Mapa de Amenaza.....	43
9. Resultados .....	44
9.1 Insumos actualizados y mapas finales de zonificación.....	44
9.1.1 Mapa Geológico.....	44
9.1.2 Mapa Geomorfológico .....	46
9.1.2.1 Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional (Ddrt).....	48
9.1.2.2 Escarpe de erosión mayor (Deem) .....	48
9.1.2.3 Ladera erosiva (Dle) .....	49
9.1.2.4 Ladera ondulada (Dlo) .....	49
9.1.2.5 Lomeríos poco disectados (Dlpd) .....	49
9.1.2.6 Planicie aluvial confinada (Fpac).....	49
9.1.2.7 Planicie colinada denudada (Dpcd) .....	50
9.1.2.8 Sierra denudada (Dsd).....	50
9.1.2.9 Terraza de erosión (Fte) .....	50
9.1.3 Mapa de Uso y Cobertura de la Tierra y Conflicto de Uso del Suelo .....	50
9.1.4 Mapa de Pendientes .....	52
9.1.5 Mapa de Precipitación.....	53
9.1.6 Mapa de Susceptibilidad .....	55
9.1.7 Mapa de Amenaza.....	57
10. Conclusiones y Recomendaciones .....	60
10.1 Conclusiones .....	60
10. 2 Recomendaciones .....	61
11. Bibliografía .....	63

## Tabla de Mapas

Mapa 1. <i>División municipal dentro del departamento de Caldas. En verde se encuentra el municipio de Palestina.</i> .....	13
Mapa 2. <i>División administrativa dentro del municipio de Palestina con sus principales ríos (Cauca, Chinchiná y Campoalegre) y sus drenajes principales. Se resaltan las viviendas rurales de todo el municipio en verde, así como la cabecera municipal en morado, el corregimiento de Arauca y uno de los centros poblados más importante, La Plata.</i> .....	14
Mapa 3. <i>Corregimiento de Arauca, zona más afectada por amenaza de inundación por su ubicación a la orilla de río Cauca y zona de mayor precipitación en épocas del fenómeno de la niña.</i> .....	14
Mapa 4. <i>Mapa Geológico aportado por Corpocaldas en escala 1:250.000.</i> .....	29
Mapa 5. <i>Mapa Geomorfológico del municipio de Palestina aportado por Corporcaldas.</i> .....	36
Mapa 6. <i>Mapa de Uso y Cobertura de la Tierra del municipio de Palestina aportado por Corporcaldas.</i> .....	38
Mapa 7. <i>Mapa de Aptitud del Suelo del municipio de Palestina aportado por Corporcaldas en escala 1:100.000.</i> .....	39
Mapa 8. <i>Mapa Geológico del municipio de Palestina en escala 1:100.000. Tomado de la Plancha 205 Chinchiná, SGC.</i> .....	45
Mapa 9. <i>Mapa Geomorfológico del municipio de Palestina en escala 1:10.000.</i> .....	47
Mapa 11. <i>Mapa de Conflicto de Uso del Suelo del municipio de Palestina en escala 1:10.000.</i> 51	
Mapa 10. <i>Mapa de Uso y Cobertura de la Tierra del municipio de Palestina en escala 1:10.000.</i> .....	51
Mapa 12. <i>Mapa de Pendientes del municipio de Palestina.</i> .....	53
Mapa 13. <i>Mapa de Precipitación de promedio anual del municipio de Palestina.</i> .....	54
Mapa 14. <i>Mapa de Susceptibilidad por Inundación del municipio de Palestina.</i> .....	57
Mapa 15. <i>Aproximación del Mapa de Amenaza por Inundación del municipio de Palestina.</i> ....	59

## Índice de Tablas

Tabla 1. <i>División de barrios en la cabecera municipal de Palestina. Fuente, (Alcaldía Municipal de Palestina).</i> .....	15
Tabla 2. <i>División administrativa por veredas del municipio de Palestina. Fuente, (Alcaldía Municipal de Palestina).</i> .....	16
Tabla 3. <i>Centros poblados del municipio de Palestina. Fuente, (Alcaldía Municipal).</i> .....	16
Tabla 4. <i>Barrios presentes en el corregimiento de Arauca. Fuente, (Alcaldía Municipal de Palestina).</i> .....	16
Tabla 5. <i>División administrativa del corregimiento de Arauca por veredas. Fuente, (Alcaldía Municipal de Palestina).</i> .....	17
Tabla 6. <i>Variables de los pesos del mapa geológico.</i> .....	29
Tabla 7. <i>Variables de los pesos del mapa geomorfológico.</i> .....	36
Tabla 8. <i>Variables de los pesos del mapa de conflicto de uso.</i> .....	37
Tabla 9. <i>Variables de los pesos del mapa de pendientes en grados.</i> .....	40
Tabla 10. <i>Variables de los pesos del mapa de precipitación.</i> .....	42
Tabla 11. <i>Valores del mapa de susceptibilidad de la sumatoria de los pesos.</i> .....	43
Tabla 12. <i>Valores del mapa de amenaza para el municipio de Palestina.</i> .....	44
Tabla 13. <i>Valores de los pesos asignados a cada unidad geológica.</i> .....	46
Tabla 14. <i>Valores de los pesos asignados a cada unidad geomorfológica.</i> .....	48
Tabla 15. <i>Valores de los pesos asignados a cada rango de precipitación anual.</i> .....	55
Tabla 16. <i>Área y porcentaje correspondiente del municipio de Palestina para cada rango de amenaza.</i> .....	58

## Tabla de Figuras

<b>Figura 1. Modelo de Riesgo. (GEOSUB, 2013).</b> .....	22
Figura 2. <i>Estudio realizado por GEOSUB y Corpocaldas en Arauca (GEOSUB, 2013).</i> .....	22
Figura 3. <i>Usos y cobertura del suelo municipio de Palestina. Tomado del PBOT Palestina, Caldas (2014).</i> .....	24
Figura 4. <i>Riesgo en la zona urbana del Corregimiento Arauca, PBOT Palestina, Caldas (2014).</i> .....	24
Figura 5. <i>Diagrama de flujo de la metodología aplicada. (Moreno, 2016).</i> .....	25
Figura 6. <i>Diagrama de flujo de la metodología aplicada, elaboración propia.</i> .....	27
Figura 7. <i>Espilitas del Complejo Quebradagrande.</i> .....	30
Figura 8. <i>Basalto de la Formación Barroso a borde de carretera, entrada a Corregimiento de Arauca; Masivo con cristales de plagioclasa (Pgl).</i> .....	31
Figura 9. <i>Aglomerados correspondientes a la Formación Barroso dentro del casco urbano del corregimiento de Arauca. Dimensiones: 1.50 m x 1.50 m.</i> .....	32
Figura 10. <i>Afloramiento de chert de la Formación Nogales.</i> .....	33
Figura 11. <i>a) Afloramiento de roca hipoabisal porfirítica bastante diaclasado; b) Roca porfirítica de matriz masiva negra y fenocristales de plagioclasa (blanco).</i> .....	34
Figura 12. <i>Niveles arenosos de flujos aluviales de la unidad de cenizas y flujos de escombros (Qfl).</i> .....	35
Figura 13. <i>Modelo de elevación digital del terreno del municipio de Palestina en resolución de 12.5 metros.</i> .....	40
Figura 14. <i>Raster Calculator del ArcToolbox (calculadora de mapas raster). Tomado de ArcGIS 10.5.</i> .....	41

## 1. Resumen

La Secretaría de Planeación de la Gobernación de Caldas dentro del proyecto para el desarrollo, revisión y ajuste del Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) de los municipios del departamento de Caldas, priorizó el municipio de Palestina dada la necesidad de avanzar en la construcción del Aeropuerto Internacional del Café. Debido a esta necesidad se desarrolló una práctica académica cuyo objeto principal consistió en evaluar los estudios de amenaza acorde a lo requerido por el decreto 1807 de 2014 en las zonas urbanas y rurales del municipio. En este caso se evaluó específicamente la susceptibilidad y la amenaza por inundación a partir del uso de sistemas de información geográfica con software como ArcGis y Globalmapper.

La Metodología para la ejecución del proyecto estuvo basada en trabajo de oficina junto con un trabajo de campo principalmente para hacer la actualización correspondiente de los insumos inicialmente aportados por Corpocaldas (Corporación Autónoma Regional de Caldas) a escalas y con los ajustes necesarios para su posterior desarrollo en las herramientas de ArcGIS. Los insumos utilizados para el mapa de susceptibilidad fueron: mapa de geomorfología, de geología, de conflicto de uso obtenido por la superposición de los mapas de uso y cobertura de la tierra y aptitud del suelo y un mapa de pendientes en grados a partir de un MED de 12.5 metros. Para el mapa de amenaza final se agregó un detonante de precipitación el cual sería el causante principal para que ocurriera, con un promedio anual teniendo en cuenta condiciones climáticas normales y condiciones fenómeno de la niña. Posteriormente, se hicieron las correspondientes verificaciones en campo de las zonas más propensas al riesgo en cuestión.

El trabajo se basó principalmente en la metodología diseñada por el trabajo de grado de la especialización en Sistemas de Información Geográfica de la Universidad de Manizales “Análisis del Riesgo por Inundación utilizando Herramientas SIG para la Cuenca del Río Quito”, Moreno (2016). Finalmente, con el apoyo de las entidades del departamento mencionadas se logró obtener una aproximación del mapa de zonificación de amenaza por inundación del municipio de Palestina como importante avance para su integración en el ordenamiento territorial.

**Palabras clave:** Plan Básico de Ordenamiento Territorial, susceptibilidad, amenaza, sistemas de información geográfica, geomorfología, geología, MED, mapa de pendientes, uso y cobertura de la tierra, aptitud del suelo, conflicto de uso, mapa de precipitación, decreto 1807 de 2014, ArcGIS.

## 2. Introducción

De conformidad con el decreto 1807 de 2014 todos los municipios del país deben gestionar un plan de ordenamiento territorial que involucre un estudio medioambiental sobre gestión del riesgo, que se debe ir actualizando según expire la vigencia, conforme va evolucionando el crecimiento demográfico y urbanístico. En la actualidad, todas las verificaciones que debe contener el estudio están regidas por el decreto 1807 de 2014 para identificar los puntos o las zonas más susceptibles a la ocurrencia de la amenaza teniendo en cuenta si ya han sucedido o no.

Las principales amenazas que contiene el decreto 1807 de 2014 son: amenaza por remoción en masa, amenaza por inundación (la cual se trata en este trabajo), y amenaza por avenidas torrenciales; otras amenazas secundarias que se incluyen, son amenaza volcánica y amenaza sísmica. El análisis de gestión de riesgo debe considerar la afectación social y económica que pueda darse para una comunidad y evaluar las estrategias para mitigar o evitar cualquier eventualidad, para ello, debe establecerse según el decreto zonificaciones de los sectores más propensos a la amenaza.

Es muy importante darle prioridad al estudio de estos eventos debido a la vulnerabilidad de la población urbana y rural en pequeños municipios y veredas en Colombia y más aún por la topografía y el clima tropical de los Andes en esta región de Caldas en la que se ubican la gran mayoría de comunidades. En este caso, se trató particularmente el municipio de Palestina, Caldas dada la necesidad de actualizar el POT para continuar con el proyecto del aeropuerto internacional, proyecto que traería un crecimiento económico para toda la región, al igual que por el relieve de la zona, en gran medida montañosa y altamente cafetera con sectores de altas pendientes en donde han ocurrido deslizamientos recientemente. También, las comunidades establecidas a orillas de los ríos, río Cauca y el río Chinchiná principalmente, lo hacen prioridad para ejecutar este estudio por inundación.

Dentro del estudio que se realizó de gestión de riesgo se dio el enfoque hacía la amenaza por inundación para Palestina por el crecimiento en los niveles de los ríos principales que pasan por el municipio (río Cauca y río Chinchiná) en épocas de intensa precipitación reportados por el IDEAM y la acumulación de las mismas aguas por la morfología del relieve. Con base en esto, se determinaron las zonas más susceptibles dentro de todo el municipio para la amenaza por inundación y así mismo se generó una actualización de los diferentes mapas aportados por la administración municipal y Corpocaldas (geológico, geomorfológico, uso y cobertura de la tierra, conflicto de uso del suelo) que intervinieron en el resultado final de la zonificación para el aprovechamiento de estos dentro del plan de ordenamiento territorial.

### 3. Justificación

El municipio de Palestina hace parte de la Cuenca del río Chinchiná y de la Cuenca del río Campoalegre, situación que lo hace susceptible a eventos de inundación. El área de mayor problema para el municipio de Palestina en Caldas por inundación se encuentra a las orillas del río Cauca por las construcciones y hogares establecidos allí. El problema se hace evidente por el tamaño del caudal de ese principal río del país cuando se presentan intensas lluvias por fenómenos naturales o incluso en condiciones naturales normales. Se ha permitido que se construya en lugares de alto riesgo donde con un mínimo incremento del nivel ya se verían afectados varios hogares de la comunidad, sin tener en cuenta la constante erosión a la que están sometidas las laderas del río por el constante flujo de la corriente. El corregimiento de Arauca es el principal afectado y se encuentra en las zonas más susceptibles para que ocurra una catástrofe de este tipo, su área urbana se ha expandido sin mayores regulaciones por la no actualización de plan de ordenamiento territorial a medida que aumenta el crecimiento de la población.

Esta situación se encuentra agravada por la dificultad en Colombia con los recursos económicos con los que cuentan los municipios para proyectos de este tipo y realizar los estudios correspondientes para una gestión del riesgo. Generalmente son estudios que necesitan una inversión importante de recursos para obtener cada vez mejores y más exactos resultados y en una menor escala acorde crece cada municipio, y es por eso que la Secretaria de Planeación de la Gobernación de Caldas realiza estas prácticas con estudiantes para apoyar el desarrollo sostenible de la región.

El plan básico de ordenamiento territorial exige una escala detallada de zonificación en sus amenazas con la que no cuenta el municipio actualmente. Los insumos que se tienen no cumplen con lo requerido por el decreto 1807 de 2014, es por eso que se deben actualizar a escalas mucho menores y adecuadas para así lograr implementarlas dentro de una metodología que arroje resultados útiles y con mayor exactitud para la posterior inclusión dentro del PBOT. Por último, otro de los problemas en los que se encuentra el municipio es por conflictos de uso del suelo del territorio, grandes áreas determinadas a ser de protección forestal están siendo destinadas a usos turísticos, construcción de condominios, cultivos de café principalmente, principal economía de la región, o simplemente permanecen como tierras de pastos degradados. Esto es una problemática para una amenaza por inundación en la manera en la que afecta la infiltración del agua en el suelo en épocas de intensas lluvias.

## 4. Objetivos

### 4.1 Objetivo General

Aportar al desarrollo de los Estudios Básicos de Riesgo, acorde a los requerimientos exigidos por el decreto 1807 de 2014 con el propósito que permita posteriormente la revisión y los ajustes del Plan Básico de Ordenamiento Territorial del municipio de Palestina.

### 4.2 Objetivos Específicos

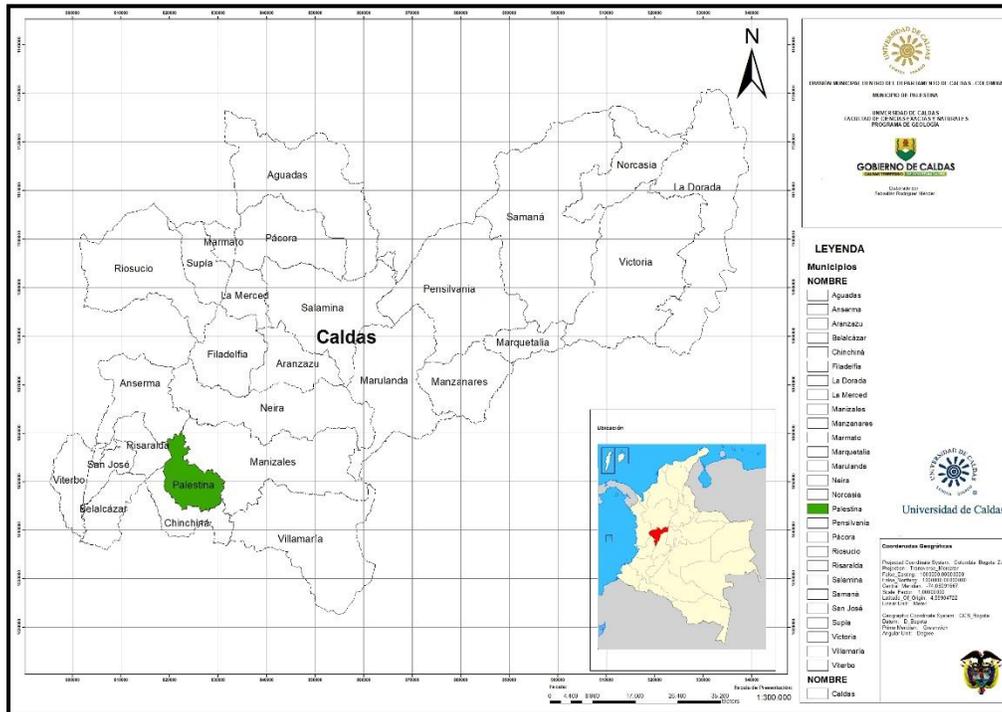
- Reconocer y apropiar las consideraciones técnicas de las amenazas de desastres enmarcadas en el decreto 1807 del 2014.
- Realizar una evaluación de los avances en gestión del riesgo para el municipio de Palestina, así como sus condiciones actuales en riesgo de desastre enfocado al escenario de inundación.
- Evaluar a la luz de los requerimientos del decreto 1807 del 2014 la información técnica disponible en las diferentes instituciones, relacionada con el escenario de inundación.
- Avanzar en el desarrollo de las guías metodológicas, para abordar los estudios básicos de inundación de acuerdo al decreto 1807 del 2014.

## 5. Antecedentes

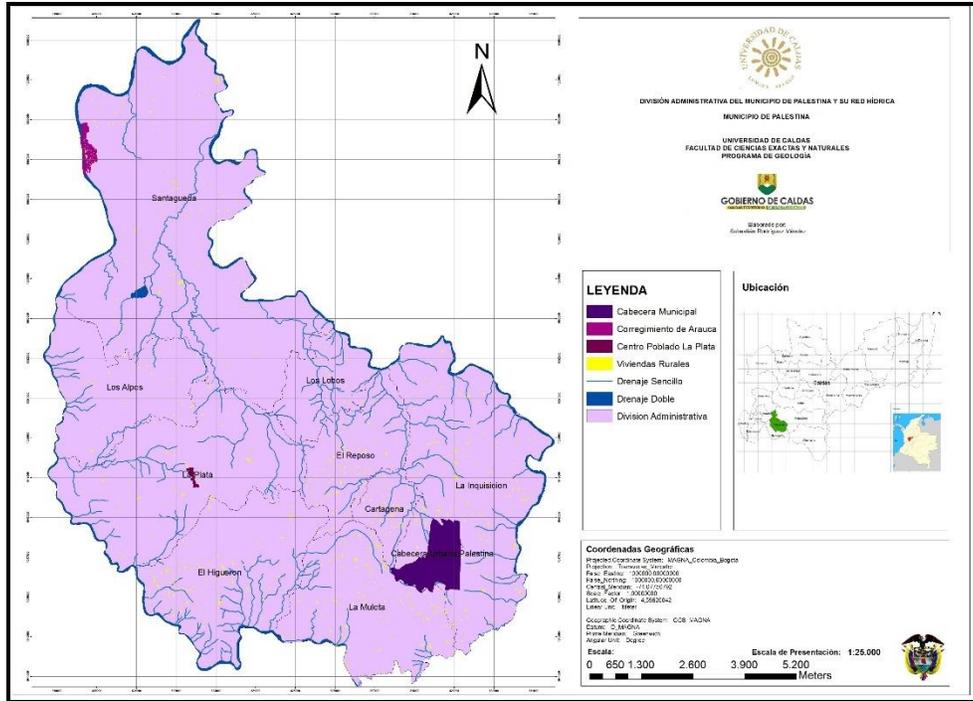
### 5.1 Aspecto Geográfico

El municipio de Palestina se encuentra ubicado en la región centro sur del departamento de Caldas, República de Colombia. Está en la Región Central Cafetera del país conocida como Eje Cafetero en la ladera occidental de la Cordillera Central. Su cabecera municipal se encuentra aproximadamente a 27 km de Manizales, principal centro industrial y capital del departamento. Al norte limita con los municipios de Anserma y Manizales, al oriente nuevamente con Manizales, al occidente con los municipios de Chinchiná y Risaralda y al sur, otra vez con el municipio de Chinchiná. Su extensión total es de 119,00 km<sup>2</sup> con una altura media de 1630 m.s.n.m en una ubicación geográfica de 5° 01' 10" norte, 75° 37' 24" occidente. Cuenta con una población aproximada de 17,310 en su totalidad entre área urbana y rural según el DANE.

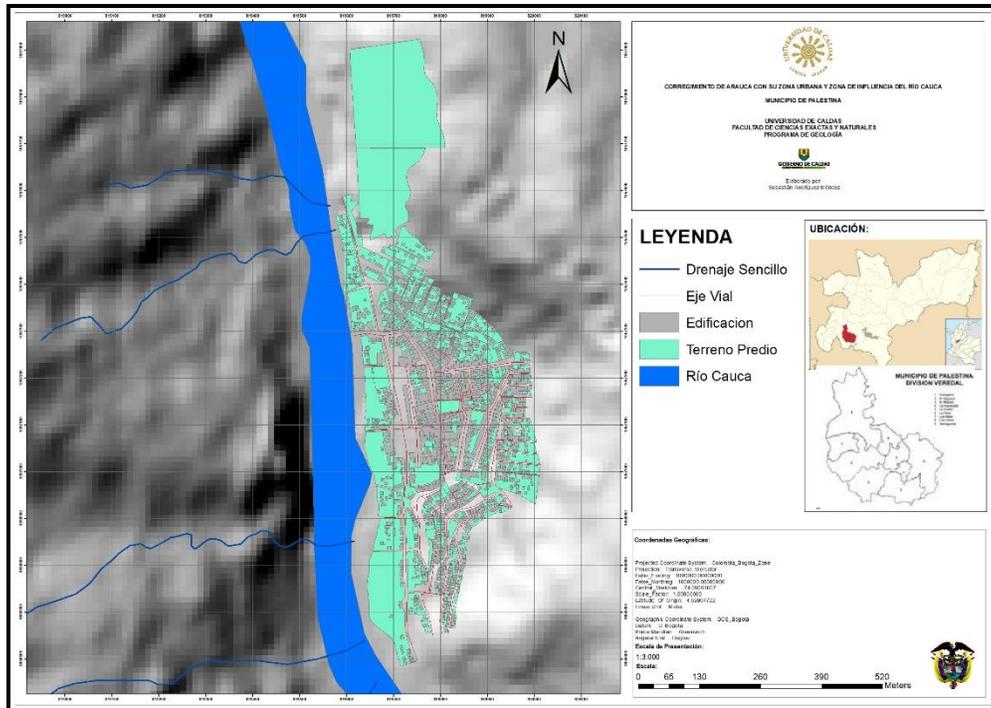
La cabecera municipal, Palestina, se divide en 23 barrios, 17 veredas, tres centros poblados, en donde se destacan el centro poblado de Cartagena y de La Plata (Tabla 1.) y un corregimiento llamado Arauca el cual se divide a su vez en 11 barrios y cinco veredas, como se observa en la tabla 2.



**Mapa 1.** División municipal dentro del departamento de Caldas. En verde se encuentra el municipio de Palestina.



**Mapa 2.** División administrativa dentro del municipio de Palestina con sus principales ríos (Cauca, Chinchiná y Campoalegre) y sus drenajes principales. Se resaltan las viviendas rurales de todo el municipio en verde, así como la cabecera municipal en morado, el corregimiento de Arauca y uno de los centros poblados más importantes, La Plata.



**Mapa 3.** Corregimiento de Arauca, zona más afectada por amenaza de inundación por su ubicación a la orilla de río Cauca y zona de mayor precipitación en épocas del fenómeno de la niña.

El corregimiento de Arauca, único de Palestina, está sobre una morfología de escarpe de erosión mayor, según la clasificación del Servicio Geológico Colombiano, con pendientes muy altas con diferentes afluentes que desembocan en el río Cauca. Arauca se encuentra hacía la ladera oriental del río, construido justo a orillas de este en donde se establecieron varios barrios que continúan expandiéndose. La división político administrativa es el eje central de un ordenamiento territorial para zonificar las amenazas en donde se encuentren las comunidades y para generar proyectos de expansión a futuro.

Id	Nombre	Barrio	Vereda	Centro Poblado
1	Uribe Uribe	X		
2	Guayabal	X		
3	Pablo Valdes	X		
4	Obrero	X		
5	San Jose	X		
6	Bomberos	X		
7	Calle Larga	X		
8	Zona Centro	X		
9	Sector Colegio	X		
10	Sector Galeria	X		
11	Sector Cruz Roja	X		
12	Prado Alto	X		
13	Hoyo Frio	X		
14	La Pista	X		
15	Las colinas	X		
16	Los Nogales	X		
17	El Carmen	X		
18	Villa Asis	X		
19	Popular	X		
20	Bello Horizonte	X		
21	Oscar Danilo	X		
22	Nuevo Milenio	X		
23	Fundadores	X		

**Tabla 1.** División de barrios en la cabecera municipal de Palestina. Fuente, (Alcaldía Municipal de Palestina).

Id	Nombre	Barrio	Vereda	Centro Poblado
29	Sector La merced		X	
30	El Higueron		X	
31	Sector de la Hermella		X	
32	La Piedra		X	
33	La Plata		X	
34	Los Lobos		X	
35	El Reposo		X	
36	Sector El Brillante		X	
37	Los Alpes		X	
38	Sector Buena Vista		X	
39	Santagueda		X	
40	El Cacique		X	
24	La Inquisición		X	
25	Zona Suburbana la Sirena		X	
26	Sector la Paloma		X	
27	La Muleta		X	
28	Sector Curazao		X	

**Tabla 2.** División administrativa por veredas del municipio de Palestina. Fuente, (Alcaldía Municipal de Palestina).

Id	Nombre	Barrio	Vereda	Centro Poblado
43	Centro Poblado la Plata			X
41	Centro Poblado Cartagena			X
42	Agro villas el Reposo			X

**Tabla 3.** Centros poblados del municipio de Palestina. Fuente, (Alcaldía

Id	Nombre	Barrio	Vereda	Centro Poblado
1	Popular	X		
2	As Colinas altas y bajas	X		
3	Renan Barco	X		
4	La Serna	X		
5	Zona Centro	X		
6	San Nicolas	X		
7	Chipre	X		
8	Carrilera	X		
9	Campamentos	X		
10	Los chorros	X		
11	Barrio nuevo	X		

**Tabla 4.** Barrios presentes en el corregimiento de Arauca. Fuente, (Alcaldía Municipal de Palestina).

Id	Nombre	Barrio	Vereda	Centro Poblado
15	El Retiro		X	
16	La Bastilla		X	
12	El Bebedero		X	
13	Monte Oscuro		X	
14	Kilometro 35		X	

**Tabla 5.** División administrativa del corregimiento de Arauca por veredas. Fuente, (Alcaldía Municipal de Palestina).

## 5.2 Marco General

Se tratará un marco teórico, un marco normativo y un marco general que permita un mejor entendimiento de lo abarcado en el proyecto y la asimilación de conceptos probablemente ajenos por parte del lector.

### 5.2.1 Marco Normativo

**Decreto 1807 de 2014:** “Por el cual se reglamenta el artículo 189 del decreto-ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones.”

A continuación, se exponen algunas disposiciones generales del decreto para la elaboración de estudios básicos sobre gestión del riesgo.

Según el artículo 1° del Título I del decreto 1807 de 2014 “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.”

Para el artículo 3° del mismo título “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:” (Decreto 1807 de 2014).

- 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 estudios 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.

Para los estudios básicos de amenaza por inundación en el artículo 9° del Capítulo I (Condiciones técnicas para la elaboración de estudios básicos) del Título II se determinan las condiciones de amenaza por inundación en suelos urbanos, de expansión urbana y rural. Los estudios básicos tienen las siguientes especificaciones mínimas:

**1. Área de estudio:** “Las zonas en las cuales exista la posibilidad de presentarse una inundación sean aledañas o no a ríos, caños, quebradas, humedales y otros cuerpos de agua o aquellas que hagan parte de su área de influencia. En el análisis se deben considerar los casos en los que existan precedentes de mecanismos generadores de inundaciones tales como encharcamiento por lluvias intensas sobre áreas planas, encharcamiento por deficiencia de drenaje, inundaciones costeras entre otros.” (Decreto 1807 de 2014).

**2. Insumos:**

- a) Geomorfología: “Identificación de las diferentes subunidades geomorfológicas asociadas a los paisajes aluviales, con especial énfasis en las geoformas correspondientes a la llanura de inundación.” (Decreto 1807 de 2014).
- b) Modelo de elevación digital del terreno.
- c) Identificar las zonas inundables según un registro de eventos.
- d) Hidrología: Caracterización del comportamiento del régimen hidrológico en la región a la cual pertenece el municipio mediante un análisis de los eventos hidrológicos máximos identificando para cuales períodos de retorno se están presentando las afectaciones y las áreas afectadas para los mismos.

**1. Alcance:** Para la zonificación de la amenaza se emplean tres categorías: alta, media y baja.

**2. Productos:** “Como resultado de los estudios, se elaboran mapas de zonificación de amenaza por inundaciones, según lo dispuesto en el presente artículo. Se debe elaborar un documento técnico que contenga la metodología empleada y los resultados obtenidos.” (Decreto 1807 de 2014).

En el Título III se trata la **incorporación de los estudios de gestión del riesgo en el ordenamiento territorial** y según el artículo 22° de dicho título “los estudios básicos, y cuando se disponga de estudios detallados, deben integrarse al Documento Técnico de Soporte que contiene la justificación, la descripción, el desarrollo y la aplicación de las determinaciones de planificación de los componentes y contenidos del Plan de Ordenamiento Territorial.” (Decreto 1807 de 2014).

En el contenido estructural para el artículo 23° se debe especificar y ubicar en planos lo siguiente:

- “Las áreas con condición de riesgo y con restricción por amenazas identificadas en los estudios básicos y su priorización para la elaboración de los estudios detallados en el corto, mediano y largo plazo, en función de los objetivos, estrategias y prioridades adoptados para la concreción del modelo de ocupación territorial y de acuerdo con la programación prevista en el respectivo plan.” (Decreto 1807 de 2014).
- “La determinación y ubicación en planos de las zonas que presenten alto riesgo para la localización de asentamientos humanos, por amenazas o por riesgos naturales, siempre y cuando se cuente con los estudios detallados que permitan su caracterización.” (Decreto 1807 de 2014).
- “En la determinación de los suelos de protección deben considerarse las áreas que cumplan las siguientes condiciones y que por tanto tienen restringida la posibilidad de urbanizarse:” (Decreto 1807 de 2014).
  - a) Las áreas sin ocupar zonificadas en los estudios básicos como amenaza alta, en las que la información sobre intensidad y recurrencia o registros históricos de los fenómenos por movimientos en masa, avenidas torrenciales o inundación evidencian que la determinación de las medidas de reducción es insuficiente en el tiempo para garantizar el desarrollo de procesos de urbanización.
  - b) Las áreas zonificadas como riesgo alto no mitigable en suelo urbano, de expansión urbana y rural, de acuerdo con los estudios detallados, cuando se cuente con ellos.

## 5.2.2 Marco Teórico

Muchos de los conceptos manejados en las normativas que se usaron en el proyecto y en la metodología efectuada por sistemas de información geográfica serán explicadas a continuación en mayor medida a partir del Decreto 1807 de 2014 y la Ley 523 de 2012.

**Gestión de Riesgo:** “La gestión del riesgo, 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 523 de 2012).

**Áreas con condición de amenaza:** “Son las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo.” (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).

**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 523 de 2012).

**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. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y recuperación.” (Ley 523 de 2012).

**Desastre:** “Es el resultado que se desencadena de la manifestación de uno o varios eventos naturales o antropogénicos no intencionales que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en las personas, los bienes, la infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios o los recursos ambientales, causa daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, generando una alteración intensa, grave y extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad, que exige del Estado y del sistema nacional ejecutar acciones de respuesta a la emergencia, rehabilitación y reconstrucción.” (Ley 523 de 2012).

**Inundación:** “Las inundaciones son fenómenos hidrológicos recurrentes potencialmente destructivos, que hacen parte de la dinámica de evolución de una corriente. Se producen por lluvias persistentes y generalizadas que generan un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce superando la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas.” (IDEAM). Aunque en este caso está definida para inundaciones por desbordamiento que son las más comunes, también hacen parte de la dinámica por encharcamientos en donde se represa el agua en una morfología y tipo de suelo que no permite la infiltración a la misma tasa de velocidad que la precipitación o su flujo por taponamiento o relieve.

**Sistemas de Información Geográfica:** “Un Sistema de Información Geográfica (SIG) permite relacionar cualquier tipo de dato con una localización geográfica. Esto quiere decir que en un solo mapa el sistema muestra la distribución de recursos, edificios, poblaciones, entre otros datos de los municipios, departamentos, regiones o todo un país. 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).

**Fenómeno de la niña:** “El efecto de “La Niña” en nuestro país se caracteriza por un aumento considerable de las precipitaciones (anomalías positivas) y una disminución de las temperaturas (anomalías negativas) en las regiones Andina, Caribe y Pacífica, así como en áreas del piedemonte de los Llanos orientales, mientras que en la zona oriental (Orinoquía y Amazonía), dichas variables tienden a un comportamiento cercano a lo normal, sin ser muy claro el patrón climatológico ante la presencia de un evento frío.” (Sistema de Información Ambiental de Colombia).

**Modelo de elevación digital (MED):** 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.

### 5.2.3 Marco Referencial

Anteriormente se hicieron estudios sobre gestión del riesgo y de asistencia técnica en el municipio de Palestina e igualmente para el corregimiento de Arauca específicamente para su inclusión en el plan de ordenamiento territorial. Se hace necesario tener en cuenta estos antecedentes para la síntesis del trabajo, es por eso que se exponen a continuación:

## IDENTIFICAR Y CARACTERIZAR LA AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA LA CABECERA MUNICIPAL 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. La primera incluye el potencial de daño de los elementos físicos incluyendo áreas construidas, infraestructura y espacios abiertos. La socio-económica incluye la propensión del bienestar de los sistemas sociales a ser debilitado de manera individual o colectiva, y la propensión de pérdida de valor económico por daño a los elementos físicos y/o interrupción de la capacidad productiva.”, (GEOSUB, 2013).



Figura 1. Modelo de Riesgo, adaptado de Vichon et al. (2011)

Figura 1. Modelo de Riesgo. (GEOSUB, 2013).



Figura 11. Viviendas expuestas a amenaza por inundaciones, corregimiento de Arauca

Figura 2. Estudio realizado por GEOSUB y Corpocaldas en Arauca (GEOSUB, 2013).

## **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**

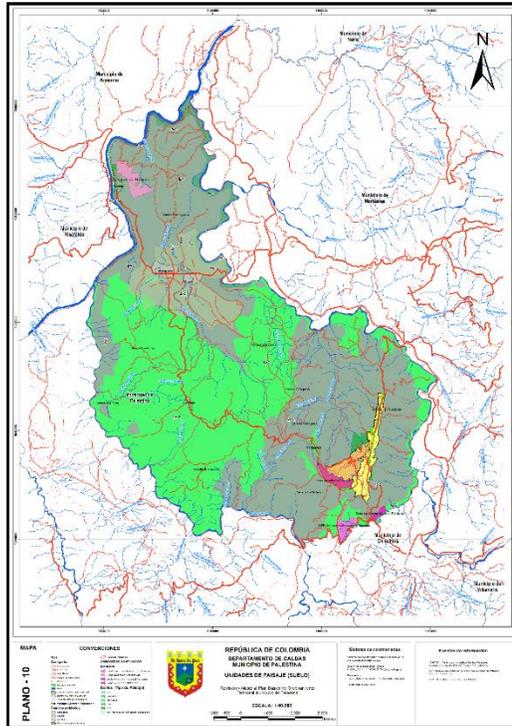
### **Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Palestina**

“Este documento muestra los contenidos técnicos de amenazas y riesgos que debe contener el documento técnico de riesgos para cumplir con las disposiciones del Decreto 1807 de 2014 (adoptado por el decreto 1077 de 2015), es un documento de orientación para el municipio, toda vez que la decisión final de ordenamiento territorial es del municipio en ejercicio de su autonomía y en cumplimiento de las normas regionales y nacionales vigentes; por lo cual no debe tomarse como un documento impositivo o como un documento con el cual se tienen por concertados los asuntos ambientales en gestión del riesgo.” (Rodríguez, 2015) en un trabajo para la Subdirección de Planificación y Ordenamiento Ambiental del Territorio Comité Técnico de Ordenamiento Territorial de CORPOCALDAS.

### **Plan Básico de Ordenamiento Territorial Municipio de Palestina, Caldas**

#### **Documento 12.**

“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.”(Plan Básico de Ordenamiento Territorial Municipio de Palestina, Caldas, 2014). Varios de los insumos que se actualizaron fueron suministrados por la administración departamental, uno de ellos es mapa de uso y cobertura de la tierra que fue actualizado a una escala adecuada para el trabajo.



**Figura 3.** Usos y cobertura del suelo municipal de Palestina. Tomado del PBOT Palestina, Caldas (2014).

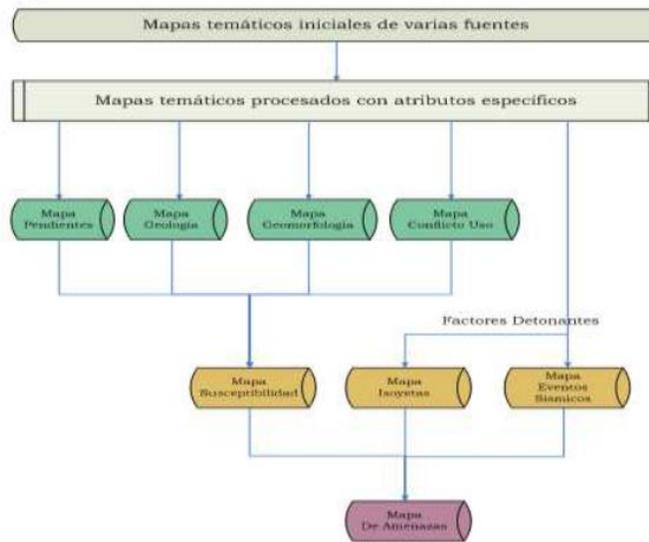


**Figura 4.** Riesgo en la zona urbana del Corregimiento Arauca, PBOT Palestina, Caldas (2014).

## ANÁLISIS DEL RIESGO POR INUNDACIÓN UTILIZANDO HERRAMIENTAS SIG PARA LA CUENCA DEL RÍO QUITO

“Este trabajo ilustra la generación del mapa de riesgo por inundación para la cuenca del Río Quito, en la que está presente el municipio de Río Quito y los parciales de los municipios de El Cantón de San Pablo, Cértegui, Istmina, Unión Panamericana y Atrato, en el departamento del Chocó, Colombia. Se utilizó las herramientas espaciales los Sistemas de Información Geográfica (SIG), para obtener lo cruces de las variables de Pendientes, Geología, Geomorfología, Conflictos de Uso, Eventos de Precipitación, Sismos Históricos para la región; y con la esquematización de un diagrama de flujo, se obtuvo, con ayuda del software ArcGIS, el mapa de riesgo por inundación con susceptibilidad y amenaza clasificados como alta, media y baja para la geografía de la cuenca del Río Quito.” (Moreno, 2016).

**Diagrama 1. Flujo de las variables.**



Fuente: CODECHOCO, 2012

**Figura 5. Diagrama de flujo de la metodología aplicada. (Moreno, 2016).**

## **7. Metodología**

### **7.1 Tipo de Trabajo**

La metodología aplicada para la zonificación de la amenaza por inundación es principalmente aplicativa por su descripción y análisis espacial de diferentes mapas temáticos dentro de herramientas de sistema de información geográfica. Cuenta con un apoyo metodológico inductivo en donde la observación para corroborar las zonas críticas a revisar por parte de la administración municipal es crucial antes de generar cualquier mapa final. Dentro de un estudio descriptivo, correlacionable y explicativo se intenta dar un enfoque en donde se describan las características del terreno desde diferentes conceptos científicos para correlacionarlas con varias variables asignadas a cada insumo base y finalmente explicar los puntos críticos que se arrojan como resultado final a evaluar por parte del ordenamiento territorial.

### **7.2 Etapas**

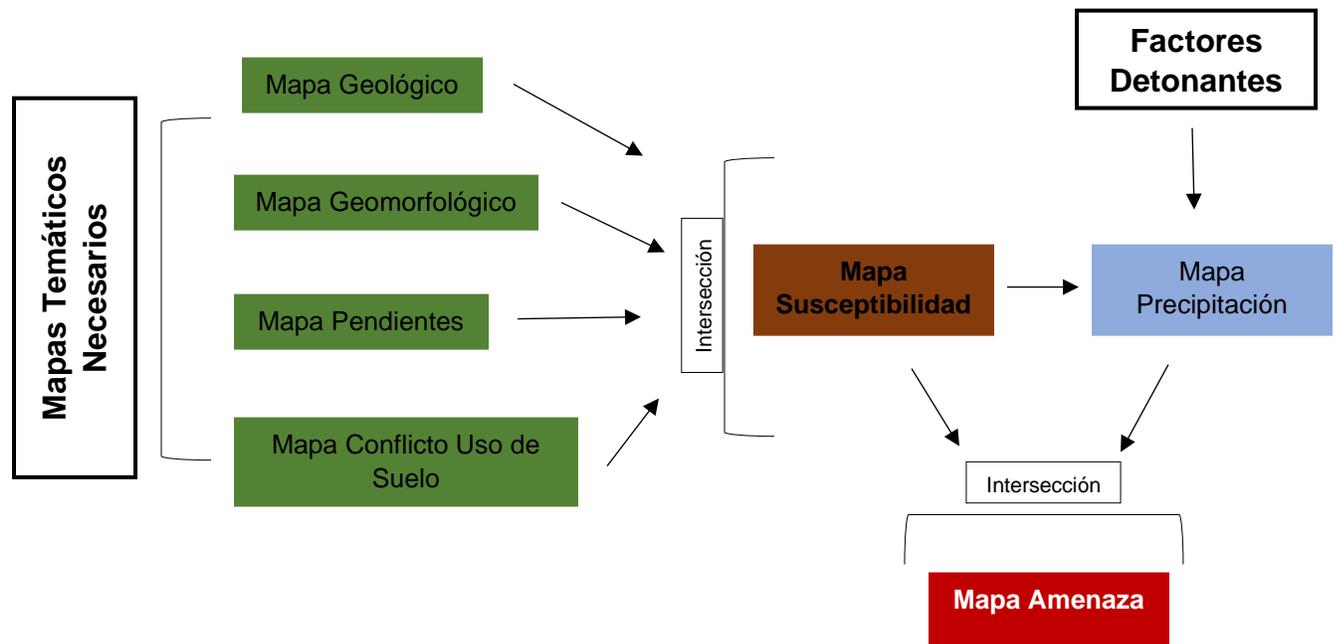
Básicamente la metodología cuenta con dos etapas distribuidas en tres fases, una etapa de campo y una etapa de trabajo en oficina. Las fases están distribuidas en una fase primaria de campo para reconocimiento del territorio del municipio y visita al corregimiento de Arauca, en la segunda fase de oficina, la de mayor período de tiempo, se recopiló y revisó la información técnica disponible y los insumos básicos de ortofotos, mapas previamente elaborados, mapas temáticos e imágenes aportados por Corpocaldas y por la administración municipal de Palestina, se analizó esa información, se procedió a actualizarla junto con los profesores asesores de la universidad, basado en clasificaciones del Servicio Geológico Colombiano y se procedió a procesarla en los software ArcGIS y Globalmapper. La última fase de campo fue de verificación.

### **7.3 Procedimiento**

Se aplicó la metodología utilizada en el análisis de riesgo por inundación utilizando herramientas SIG para la cuenca del río Quito en el departamento del Chocó elaborado para el trabajo de grado de la especialización en Sistemas de Información Geográfica de la Universidad de Manizales, Moreno (2016), como se observa en la figura 5.; basada a su vez la guía metodológica de INGEOMINAS-CVC, (2001). Básicamente, consta del geoprocetamiento de diferentes capas temáticas a las cuales se les asignó un peso en variables para interceptarlas y obtener las zonas más

propensas y críticas a una inundación. Para ello, cada una de las capas temáticas se ajustó a escalas de trabajo para una zonificación más precisa. Anterior al mapa de amenaza final, se generó un mapa de susceptibilidad primario para determinar las áreas de mayor riesgo susceptible. Los mapas necesarios para el procesamiento son los siguientes: geología, geomorfología, uso y cobertura de la tierra y aptitud del suelo para sobreponerlos y obtener un mapa de conflicto de uso, y un mapa de pendientes en grados obtenido a partir de un modelo de elevación digital (MED) o DEM por sus siglas en inglés. Una vez se obtuvo el mapa de susceptibilidad con sus respectivos rangos, se agregó el detonante principal causante de inundación, la precipitación, este mapa de precipitación se intercepta una vez se le asignen pesos según el nivel de lluvias. Al final, se obtuvo el resultado con la zonificación de la amenaza real, el cual se debe dividir en rangos de peligrosidad igualmente.

Por último, todas las capas temáticas fueron proyectadas de las coordenadas de Colombia\_Bogota\_Zone a coordenadas Magna\_Colombia\_Bogota para garantizar la compatibilidad de las coordenadas colombianas con las técnicas espaciales de posicionamiento, por ejemplo, los sistemas GNSS (Global Navigation Satellite Systems), y con conjuntos internacionales de datos georreferenciados según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).



**Figura 6.** Diagrama de flujo de la metodología aplicada, elaboración propia.

### 7.3.1 Insumos Necesarios

- **Mapa de Susceptibilidad**

- Mapa Geológico
  - Mapa Geomorfológico
  - Mapa de Conflicto de Uso
- Mapa de Uso y Cobertura de la Tierra
  - Mapa de Aptitud del Suelo
- Mapa de Pendientes
- Modelo de Elevación Digital (MED)

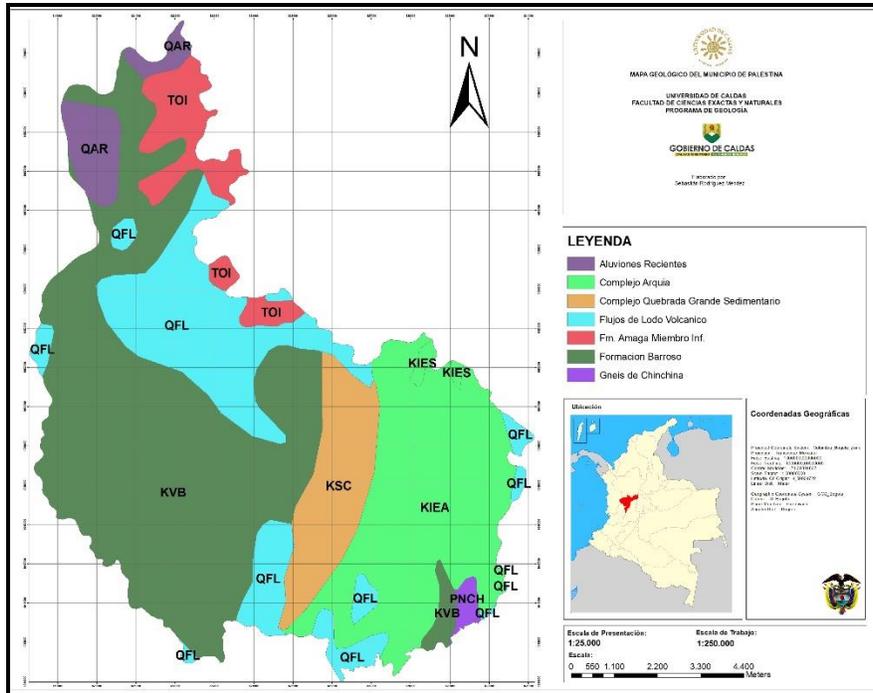
- **Mapa de Amenaza**

- Mapa de Precipitación (eventos anuales según condiciones climáticas diferentes)

## 8. Insumos y Productos Obtenidos

### 8.1 Mapa Geológico

El mapa geológico de todo el municipio de Palestina fue aportado por Corpocaldas en una escala de 1:250.000 el cual debía ajustarse a una escala de trabajo que permitiera aproximarse lo más cercano posible a las escalas requeridas por el decreto, pero debido a la imposibilidad de conseguir una mayor colaboración por parte de la administración municipal no se logró. Aun así, el programa de Geología de la Universidad de Caldas fue de importante ayuda al aportar una geología del departamento de Caldas en una escala de 1:100.000 la cual fue utilizada dentro de este trabajo logrando una mejor precisión de la zonificación de la que se hubiera logrado con la escala mayor.



**Mapa 4.** Mapa Geológico aportado por Corpocaldas en escala 1:250.000.

Cada una de las unidades geológicas debe llevar un peso reflejado en un valor numérico en la tabla de atributos de la capa para determinar que rocas, que componen estas unidades, tienen una mayor o una menor tendencia a inundación basado en la capacidad de infiltración y permeabilidad de cada material según diferentes características como variación en el tamaño de grano, fisilidad y compactación.

CLASIFICACIÓN	WGEOLOGI
Mayor tendencia a inundación	3
Tendencia a inundación media	2
Menor tendencia a inundación	1

**Tabla 6.** Variables de los pesos del mapa geológico.

Se realizaron visitas a campo para la geología en escala 1:100.000 y se verificó que las unidades del mapa si correspondían a lo observado en campo. Varias muestras fueron tomadas, analizadas y corroboradas con la literatura que aparece en el mapa, al igual, que varias fotografías que muestran las estructuras esperadas.

### 8.1.1 Complejo Quebradagrande (Kvc)

Maya y González (1995), según la geología regional efectuada por INGEOMINAS, conocido así aquel entonces, propusieron la utilización de un nuevo esquema estratigráfico denominando el conjunto de rocas volcánicas básicas de la ladera occidental de la cordillera central como Complejo Quebradagrande. 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, constituido por brechas de fragmentos de composición basáltica. Estas rocas se formaron en el intervalo Valanginiano-Albiano (González, 1980; Botero & González, 1983; Gómez et al., 1995), según datos faunísticos encontrados (Memoria Explicativa Plancha 205 INGEOMINAS o SGC, 2001).



**Figura 7.** *Espilitas del Complejo Quebradagrande.*

### 8.1.2 Formación Barroso (Kvb)

En esta región predominan principalmente las diabasas y los basaltos, aunque también se encuentran tobas y aglomerados, rocas volcánicas básicas al occidente de la falla Cauca-Almaguer del Grupo Cañasgordas (Álvarez y Gonzáles, 1978). Esta formación está dividida en dos franjas, una occidental y una oriental ubicada en el flanco occidental de la cordillera central en donde se encuentra localizada la zona de Palestina. En 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. (Memoria Explicativa Plancha 205 INGEOMINAS o SGC, 2001). La edad según las técnicas isotópicas de K/Ar (Potasio/Argón) sugieren que la formación data del Cretácico Superior pero debido al metamorfismo al que se ha visto afectado no es exactamente preciso saber el tiempo de cristalización (Maya, 1992). Por relación faunística encontrada al norte de la franja se puede inferir una edad Cretácica igualmente, pero de Inferior a Superior.



**Figura 8.** Basalto de la Formación Barroso a borde de carretera, entrada a Corregimiento de Arauca; Masivo con cristales de plagioclasa (Pgl).



**Figura 9.** *Aglomerados correspondientes a la Formación Barroso dentro del casco urbano del corregimiento de Arauca. Dimensiones: 1.50 m x 1.50 m.*

### 8.1.3 Formación Nogales (Kn)

Las rocas sedimentarias que afloran en el flanco occidental de la Cordillera Central al occidente de la Falla Silvia-Pijao, se han correlacionado con la Formación Nogales definida por Nelson (1957) en el Valle del Cauca. 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 en esta área. Las evidencias paleontológicas disponibles en las rocas sedimentarias, indican que éstas se formaron probablemente en el intervalo Albiano-Maastrichtiano y con mayor seguridad entre el Turoniano y Maastrichtiano, (Nivia, 1997); (Memoria Explicativa Plancha 205 INGEOMINAS o SGC, 2001).



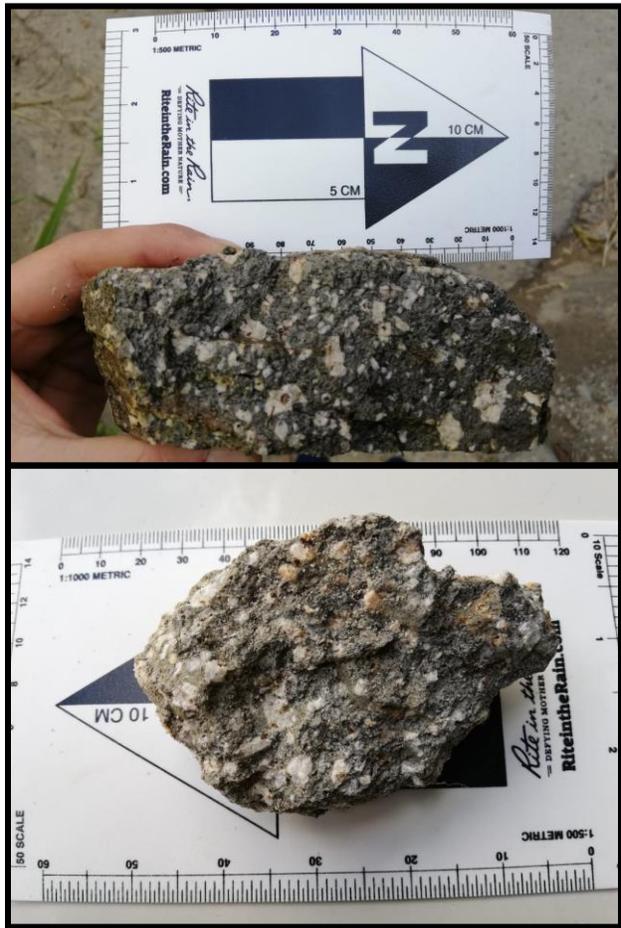
**Figura 10.** Afloramiento de chert de la Formación Nogales.

#### **8.1.4 Rocas Hipoabisales Porfíricas (Tadp)**

Esta unidad está constituida por dos cuerpos pequeños situados al norte y sur de Palestina. Son rocas porfídicas de composición predominante andesítica, con fenocristales tabulares de plagioclasa, de hornblenda prismática a tabular y ocasionalmente de biotita en una matriz microcristalina de color gris oscuro compuesta por feldespato, hornblenda y ocasionalmente cuarzo con opacos, magnetita y a veces pirita y apatito (Memoria Explicativa Plancha 205 INGEOMINAS o SGC, 2001).



a)



b)

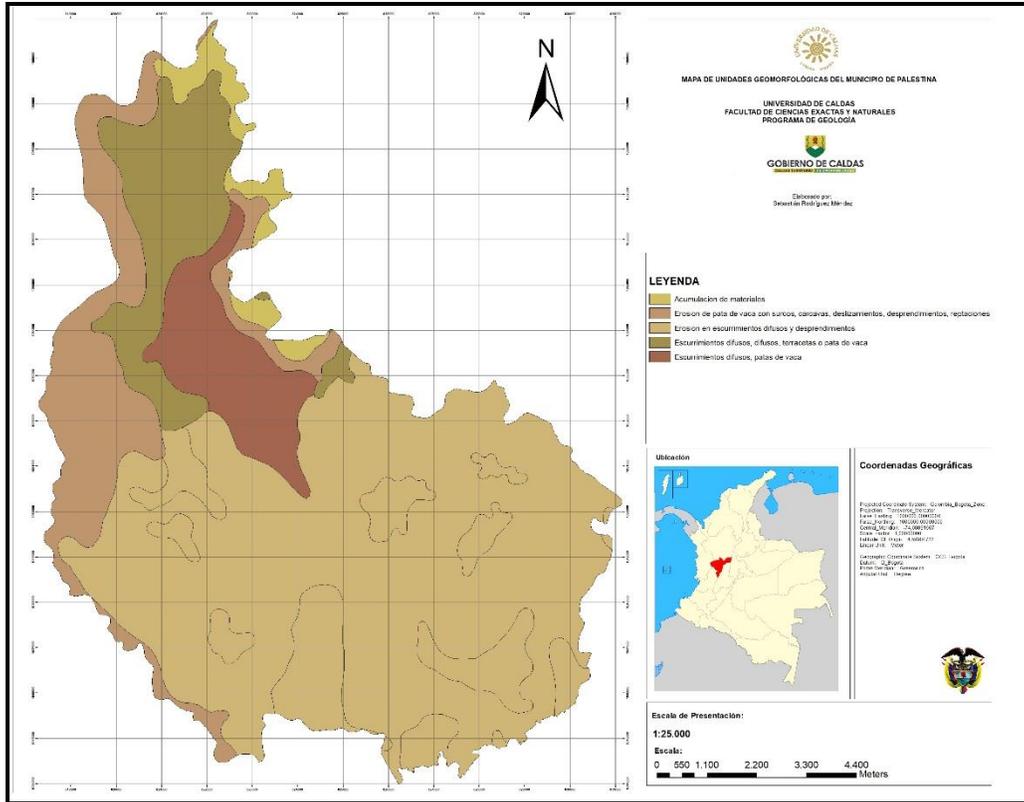
**Figura 11.** a) Afloramiento de roca hipoabisal porfirítica bastante diaclasado; b) Roca porfirítica de matriz masiva negra y fenocristales de plagioclasa (blanco).



**Figura 12.** Niveles arenosos de flujos aluviales de la unidad de cenizas y flujos de escombros ( $Q_{fl}$ ).

## 8.2 Mapa Geomorfológico

El mapa geomorfológico al igual que el mapa geológico fueron aportados por Corpocaldas y también se encontraba en una escala mucho mayor para la aproximación de la zonificación requerida por el decreto, pero en este caso, esta capa se puede ajustar a partir del relieve sombreado generado desde el modelo de elevación digital y a partir de fotografías aéreas a diferencia del mapa geológico, que sólo se logra actualizar con una cartografía elaborada en campo. Es por eso que, se pudo hacer una buena actualización de este insumo ya que se contaba con un modelo de elevación digital (MED) de 12.5 metros para generar el relieve sombreado, mucho más exacto que el de MED 30 metros utilizado generalmente. La nueva clasificación se basó en el Glosario de Unidades y Subunidades Geomorfológicas del Servicio Geológico Colombiano con sus respectivos códigos para asignar el color a cada unidad como corresponda, de esa manera la actualización del insumo fue acorde a los estándares unificados del país.



**Mapa 5.** Mapa Geomorfológico del municipio de Palestina aportado por Corporcaldas.

Al igual que las unidades geológicas las unidades geomorfológicas llevan un peso expresado en valores numéricos de 1 a 3 que identifican las diferentes tendencias a inundación. En este caso cada unidad fue evaluada según su morfología plana, ondulada o de escarpe, por ejemplo, las de mayor tendencia a inundarse fueron las terrazas y las planicies aluviales por su relieve relativamente plano y los escarpes y laderas de erosión tienden a una menor inundación lógicamente.

CLASIFICACIÓN	WGEOMORF
Mayor tendencia a inundación	3
Tendencia a inundación media	2
Menor tendencia a inundación	1

**Tabla 7.** Variables de los pesos del mapa geomorfológico.

### 8.3 Mapa de Conflicto de Uso

Para el mapa de conflicto de uso se realizó un cruce espacial entre las capas temáticas de uso y cobertura de la tierra y aptitud del suelo de todo el municipio de Palestina entregados por Corpocaldas en donde se identifican las zonas que se encuentran en conflicto al estar teniendo un uso diferente al que se había determinado. Antes de realizar el cruce fue necesario actualizar la capa de uso y cobertura de la tierra a una escala de 1:10.000 a través de una imagen satelital de la zona, descargada en el programa SAS.Planet para así obtener este mismo mapa de conflicto de uso en la escala requerida. De la misma manera que para las otras capas, se dan pesos numéricos de valores entre 1 y 3 adicionando un campo en la tabla de atributos para evaluar las áreas que estén en conflicto y las que no lo estén.

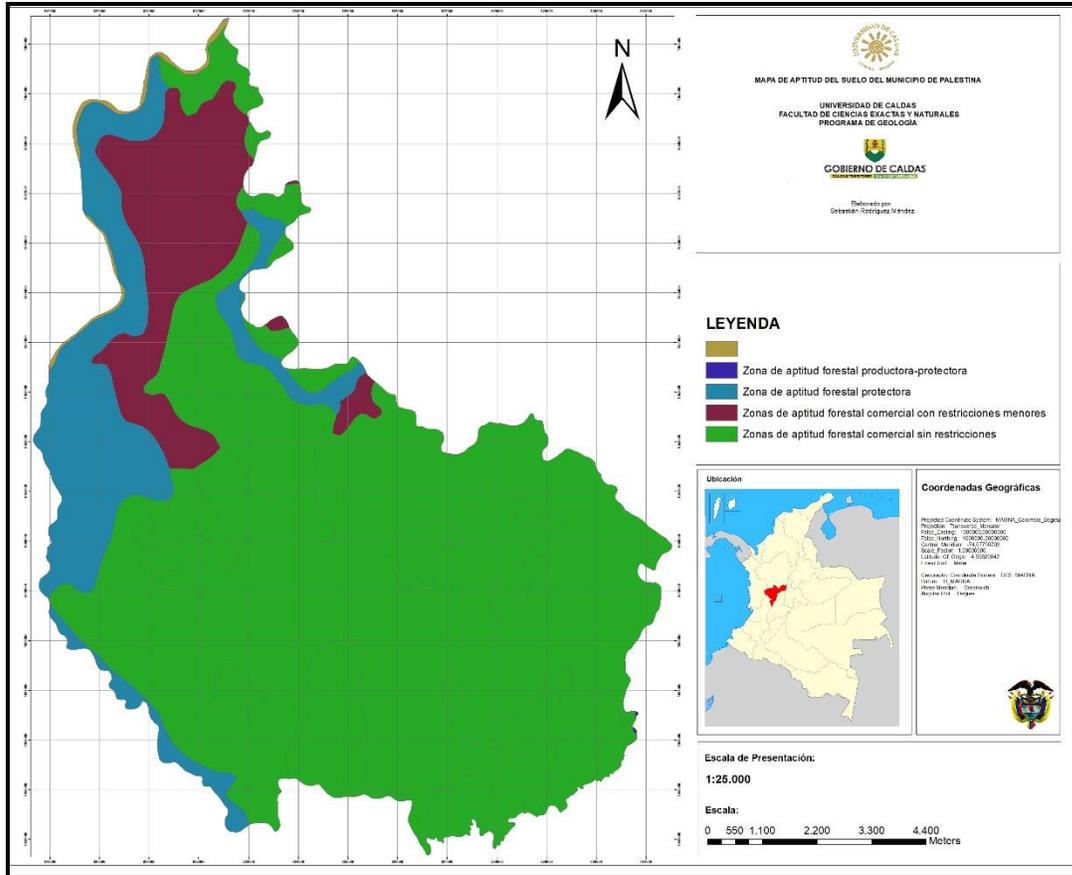
CLASIFICACIÓN	WCONFLICT
En conflicto de uso	3
Sin conflicto de uso	1

**Tabla 8.** Variables de los pesos del mapa de conflicto de uso.

### 8.4 Mapa de Uso y Cobertura de la Tierra

Como se mencionó en el anterior mapa descrito de conflicto de uso, el uso y cobertura de la tierra fue actualizada utilizando la metodología CORINE LAND COVER, a partir de una imagen satelital del municipio de Google Earth a través de un programa para descargar imágenes satelitales de cualquier territorio, conocido como SAS.Planet, en un zoom de 18 que permite trabajar en escalas de 1:10.000. Como base se debió utilizar la capa de uso y cobertura de la tierra ya existente para todo el municipio. En este caso no se asignaron pesos específicos a cada tipo de cobertura, estas variables van en el mapa de conflicto de uso que se obtenga del cruce con la aptitud del suelo ya que esta capa es la que entra en intersección con el resto de insumos para la obtención de las áreas susceptibles.





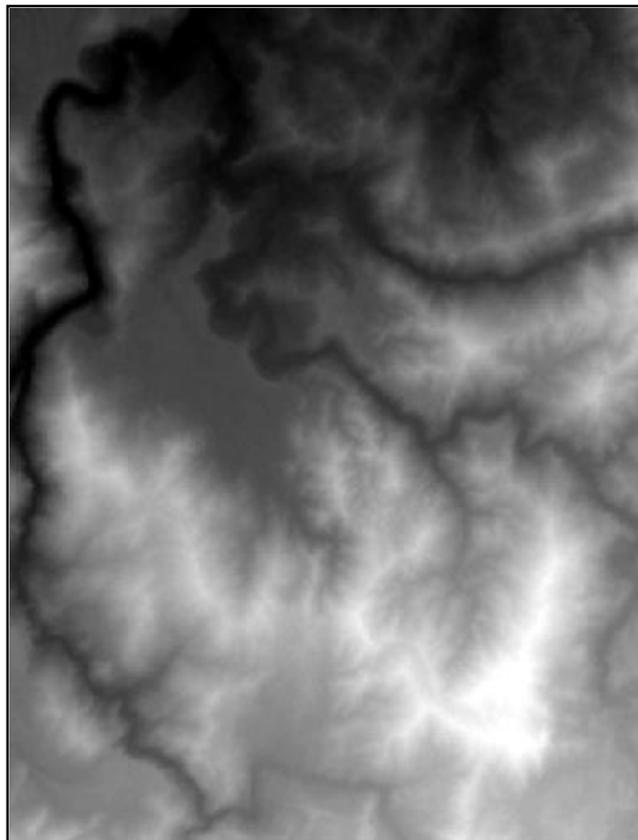
**Mapa 7.** Mapa de Aptitud del Suelo del municipio de Palestina aportado por Corporacaldas en escala 1:100.000.

## 8.6 Mapa de Pendientes

La obtención del mapa de pendientes del municipio de Palestina se produjo desde el modelo de elevación digital de 12.5 metros aportado por el programa de Geología de la Universidad de Caldas. Las pendientes se trabajaron en grados como se proponía en la metodología, oscilando para todo el territorio del municipio entre pendientes de cero grados mínimo a 64 grados aproximadamente máximo. Tras hacer la reclasificación de los rangos, las pendientes se dividieron en clasificaciones como muestra la tabla 9. A esta nueva reclasificación se le da el peso que corresponda para cada polígono según su rango de pendientes en valores de 5 a 1, siendo 5 el máximo valor que determina las menores pendientes, las cuales son las más susceptibles a una inundación.

CLASIFICACIÓN (grados)	WPEND
0-5	5
5-15	4
15-30	3
30-45	2
Mayor a 45	1

**Tabla 9.** Variables de los pesos del mapa de pendientes en grados.

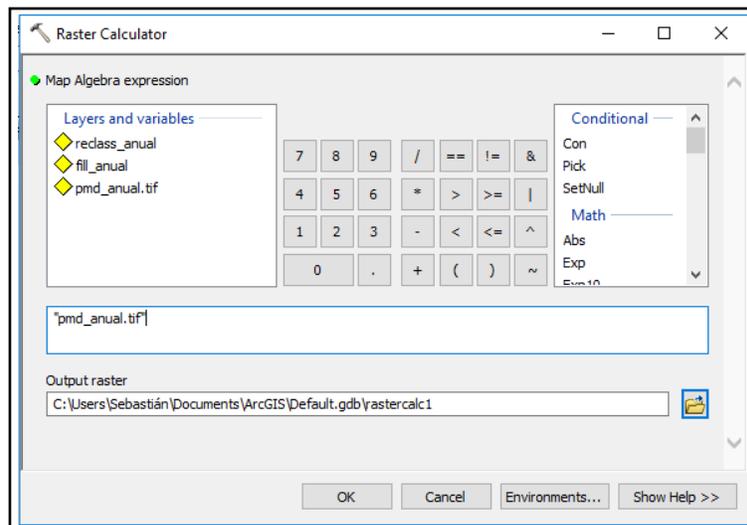


**Figura 13.** Modelo de elevación digital del terreno del municipio de Palestina en resolución de 12.5 metros.

## 8.7 Mapa de Precipitación

Para el mapa de precipitación se utilizaron las estaciones de todo el departamento de Caldas del IDEAM. Los mapas de lluvias para todos los municipios de Caldas contaban con un promedio trimestral entre los valores máximos y mínimos de los trimestres en diferentes condiciones naturales. Las condiciones que tomaron fueron, condiciones normales de precipitación, condiciones en fenómeno del niño y condiciones fenómeno de la niña. Para este trabajo, se tuvo únicamente en cuenta las condiciones normales y las condiciones niña para generar un solo mapa de precipitación con promedio anual. Antes de procesar los mapas, se recortó la zona de Palestina de todo el departamento de Caldas para obtener solo los datos de la estación más próxima al municipio.

Una vez obtenida la zona de Palestina se hizo una sumatoria de los promedios trimestrales de las condiciones normales y por otro lado de los promedios de las condiciones niña para obtener un promedio anual de cada uno. Luego, se promediaron ambos resultados para obtener un único mapa de promedio anual al cual se le asignaron los pesos usuales en valores de 1 a 4 según los niveles de lluvias (mm/año) de cada polígono o zona que van desde aproximadamente 762 mm/año a 860 mm/año divididos en rangos de cinco clases como muestra la tabla 10. Todas las operaciones matemáticas se realizaron en el Raster Calculator del ArcToolbox que permite procesar varios mapas temáticos en una operación.



**Figura 14.** *Raster Calculator del ArcToolbox (calculadora de mapas raster). Tomado de ArcGIS 10.5.*

CLASIFICACIÓN (mm/año)	WPRECIPT
Superior a 850	4
830-850	3
810-830	3
790-810	2
Inferior a 790	1

**Tabla 10.** Variables de los pesos del mapa de precipitación.

### 8.8 Mapa de Susceptibilidad

La generación de las zonas más susceptibles a inundación fue obtenida por la intersección de todas las capas temáticas y sus respectivos pesos en variables numéricas mencionadas durante la metodología. Finalmente, son áreas con mayor sensibilidad a que ocurra un desastre de inundación, pero no necesariamente son las áreas de amenaza alta. El geoprocésamiento de los insumos actualizados se hizo través de la herramienta de intersección (Intersect) en el software de información geográfica ArcGis 10.5. Para esto, se superpusieron los mapas de geología, geomorfología, pendientes y conflicto de uso configurados en coordenadas equivalentes, Magna\_Colombia\_Bogota, como se había explicado anteriormente. La fórmula matemática utilizada para expresar la superposición y procesamiento de los datos es la siguiente:

○ **Suscpt = Geo ∩ Geomorf ∩ Pendt ∩ Confltuso**

**Suscpt** = Mapa de Susceptibilidad

**Geo** = Mapa de Geología

**Geomorf** = Mapa de Geomorfología

**Pendt** = Mapa de Pendientes

**Confltuso** = Mapa de Conflicto de Uso

∩ = Intersección

Luego de que se genere el mapa de intersección de los otros mapas, los valores que lleva la susceptibilidad salen a partir de la sumatoria de los pesos antes mencionados de cada polígono interceptado de cada capa. Todos los valores arrojados por la sumatoria se clasificaron en cuatro rangos de bajo a muy alto divididos estadísticamente en cuantiles. Siendo de esta manera, los valores más altos los de mayor riesgo de susceptibilidad.

RANGOS	CLASIFICACIÓN
4-8	Baja
9	Media
10-11	Alta
12-14	Muy Alta

**Tabla 11.** Valores del mapa de susceptibilidad de la sumatoria de los pesos.

### 8.9 Mapa de Amenaza

Para la zonificación final por amenaza se tomó el mapa de susceptibilidad elaborado y se agregó el que se consideró como el detonante principal para que ocurra una inundación, la precipitación. Este mapa de lluvias procesado con un promedio anual de precipitaciones en dos diferentes condiciones climáticas naturales ya mencionadas y de igual forma promediadas se interceptó con la misma herramienta Intersect de ArcGis en donde los polígonos superpuestos de un mapa a otro cruzaron sus valores y se sumaron para obtener el rango mínimo y máximo de amenaza. Estos pesos dados al mapa de precipitación y la suma de todos los pesos anteriores reflejados en el mapa de susceptibilidad arrojaron valores de 6 a 18 separados en 4 rangos y de igual forma divididos estadísticamente por cuantiles para obtener resultados con información más precisa. En este caso la fórmula matemática para expresar el geoprocésamiento fue el siguiente:

○ **Amnz** = **Suscept** ∩ **Precpt**

**Amnz** = Mapa de Amenaza

**Precpt** = Mapa de Precipitación

∩ = Intersección

De igual forma que para el mapa de susceptibilidad los valores más altos que se determinaron para el mapa de amenaza corresponden a las zonas de mayor riesgo de amenaza en rangos clasificados de bajo a muy alto como muestra la tabla 12.

RANGOS	CLASIFICACIÓN
6-12	Baja
13-14	Media
15-18	Alta

**Tabla 12.** *Valores del mapa de amenaza para el municipio de Palestina.*

## 9. Resultados

Luego del procesamiento de información explicado en las páginas anteriores se obtuvo aproximaciones a lo que sería un mapa de las áreas susceptibles del municipio de Palestina y de zonificación de amenaza por inundación. Para el desarrollo del proyecto se tuvo el apoyo de Corpocaldas, la administración municipal de Palestina, la Secretaria de Planeación de la Gobernación de Caldas y de la Universidad de Caldas con insumos suministrados y asesorías permanentes para asegurar resultados que le sirvan al desarrollo sostenible de la región de Palestina.

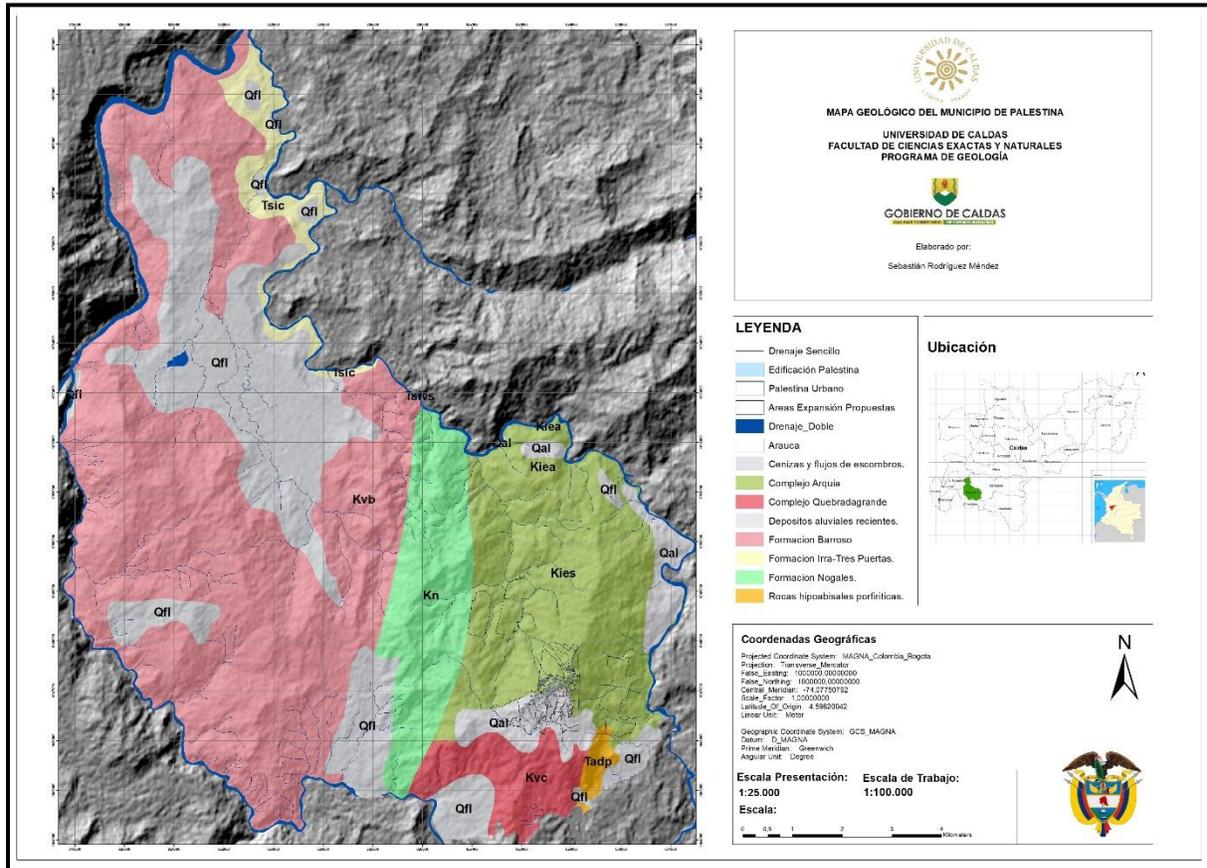
### 9.1 Insumos actualizados y mapas finales de zonificación

Dentro de los resultados se encuentra la actualización de insumos como la geomorfología, el uso y cobertura de la tierra y un mapa de conflicto de uso del municipio principalmente, además de un mapa de pendientes en un modelo de elevación de resolución de 12.5 metros y un promedio anual de los niveles más altos de lluvias.

#### 9.1.1 Mapa Geológico

Inicialmente se tuvo una geología en escala de 1:250.000 entregada por Corpocaldas, pero al ser una escala de trabajo tan grande y no poderse actualizar realizando una cartografía por falta de un transporte adecuado para trabajo de campo se tomó la plancha 205 del Servicio Geológico Colombiano (SGC) en escala 1:100.000 y se procedió con esta misma. La geología dentro del municipio de Palestina es bastante compleja ya que cuenta con variadas unidades en las que cuales se encuentran desde depósitos sedimentarios recientes hasta rocas volcánicas hipoabisales, rocas metamórficas de grado medio y flujos volcano-sedimentarios de diferente tipo. Estas litologías

corresponden a edades que van desde el Paleozoico hasta el Cuaternario del Cenozoico para las ocho unidades que aparecen en la zona y para cada una se asignó un color equivalente con los códigos de la clasificación del SGC.



**Mapa 8.** Mapa Geológico del municipio de Palestina en escala 1:100.000. Tomado de la Plancha 205 Chinchiná, SGC.

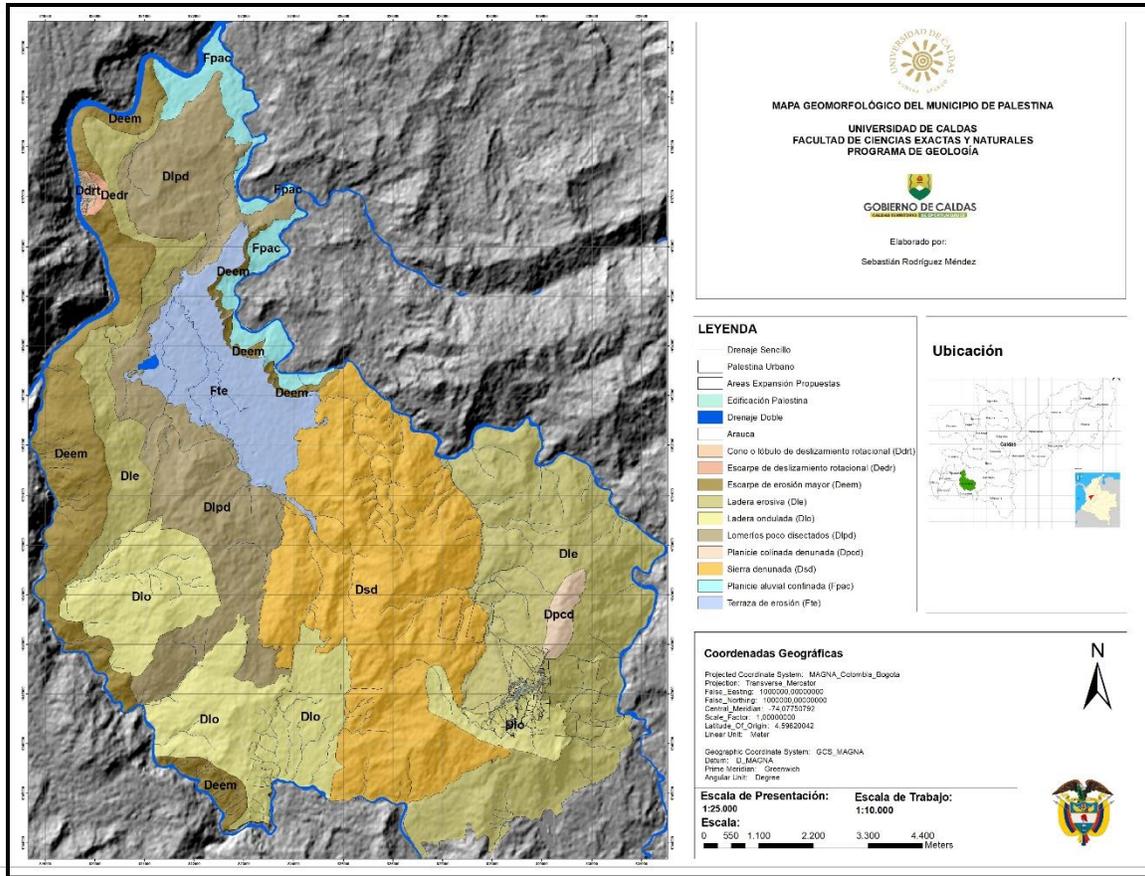
Los valores de los pesos se basaron de 1 a 3 en la tendencia a inundación principalmente por la permeabilidad del material. La capacidad de desplazamiento y de infiltración son los factores más importantes para determinar si un área es susceptible a que se inunde. Las características que influyen en el material varían desde el tamaño de grano a la fisilidad y compactación de la roca. En la tabla 13 se aprecia el valor asignado a cada unidad según las propiedades respectivas de cada una y posterior una descripción de cada una en términos geológicos.

UNIDAD GEOLÓGICA	WGEOLOGI
Depósitos aluviales recientes	2
Cenizas y flujos de escombros	2
Formación Irra-Tres Puertas	2
Formación Nogales	2
Formación Barroso	3
Complejo Quebradagrande	3
Rocas hipoabisales porfiríticas	3
Complejo Arquía	1

**Tabla 13.** *Valores de los pesos asignados a cada unidad geológica.*

### 9.1.2 Mapa Geomorfológico

Se identificaron 10 morfologías distintas para la zona del municipio de Palestina clasificadas a partir de la clasificación del Servicio Geológico Colombiano en el Glosario de Unidades y Subunidades Geomorfológicas según la acción de procesos que las generen. Las geoformas se delimitaron a partir de un relieve sombreado procesado de un modelo de elevación de resolución 12.5 metros que permite obtener una escala de 1:10.000. La mayoría de los relieves identificados se formaron en un ambiente de tipo denudacional, “resultan de la acción de 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” (Glosario de Unidades y Subunidades Geomorfológicas del SGC), pero también se aprecia otro tipo de ambiente en mucha menor medida, de tipo fluvial, estas “se originan por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y por la acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de las corrientes, durante la época seca. De esta manera, es posible encontrar unidades aledañas a ríos, quebradas y en el fondo de los cauces, cuyos depósitos son transportados y acumulados cuando éstas pierden su capacidad de arrastre” (Glosario de Unidades y Subunidades Geomorfológicas del SGC). De esta manera, los códigos utilizados para cada morfología se sacaron de este glosario para establecer su color en el mapa.



**Mapa 9.** Mapa Geomorfológico del municipio de Palestina en escala 1:10.000.

Los valores de los pesos llevan las mismas variables que para el anterior mapa, 1-3. El tipo de relieve y la topografía fueron los principales factores para determinar cada morfología. Únicamente, dos morfologías se identificaron con alta tendencia a inundación para el caso de superficies más planas como terrazas de erosión y planicies aluviales. En el caso de baja tendencia a inundación se tienen relieves con laderas abruptas erosivas como en morfologías de escarpes de erosión mayor y finalmente, con una tendencia media, las superficies con una ondulación moderada reflejadas en laderas onduladas, sierras denudadas o planicies colinadas.

<b>CÓDIGO</b>	<b>UNIDAD GEOMORFOLÓGICA</b>	<b>WGEOMORF</b>
<b>Dedr</b>	Escarpe de deslizamiento rotacional	1
<b>Deem</b>	Escarpe de erosión mayor	1
<b>Dle</b>	Ladera erosiva	1
<b>Ddrt</b>	Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional	2
<b>Dlo</b>	Ladera ondulada	2
<b>Dpcd</b>	Planicie colinada denudada	2
<b>Dsd</b>	Sierra denudada	2
<b>Dlpd</b>	Lomeríos poco disectados	2
<b>Fpac</b>	Planicie aluvial confinada	3
<b>Fte</b>	Terraza de erosión	3

**Tabla 14.** *Valores de los pesos asignados a cada unidad geomorfológica.*

### **9.1.2.1 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 (Glosario de Unidades y Subunidades Geomorfológicas del SGC).

### **9.1.2.2 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 (Glosario de Unidades y Subunidades Geomorfológicas del SGC).

### **9.1.2.3 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 (Glosario de Unidades y Subunidades Geomorfológicas del SGC).

### **9.1.2.4 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 (Glosario de Unidades y Subunidades Geomorfológicas del SGC).

### **9.1.2.5 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 (Glosario de Unidades y Subunidades Geomorfológicas del SGC).

### **9.1.2.6 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), (Glosario de Unidades y Subunidades Geomorfológicas del SGC).

### **9.1.2.7 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 (Glosario de Unidades y Subunidades Geomorfológicas del SGC).

### **9.1.2.8 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 (Glosario de Unidades y Subunidades Geomorfológicas del SGC).

### **9.1.2.9 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 (Glosario de Unidades y Subunidades Geomorfológicas del SGC).

## **9.1.3 Mapa de Uso y Cobertura de la Tierra y Conflicto de Uso del Suelo**

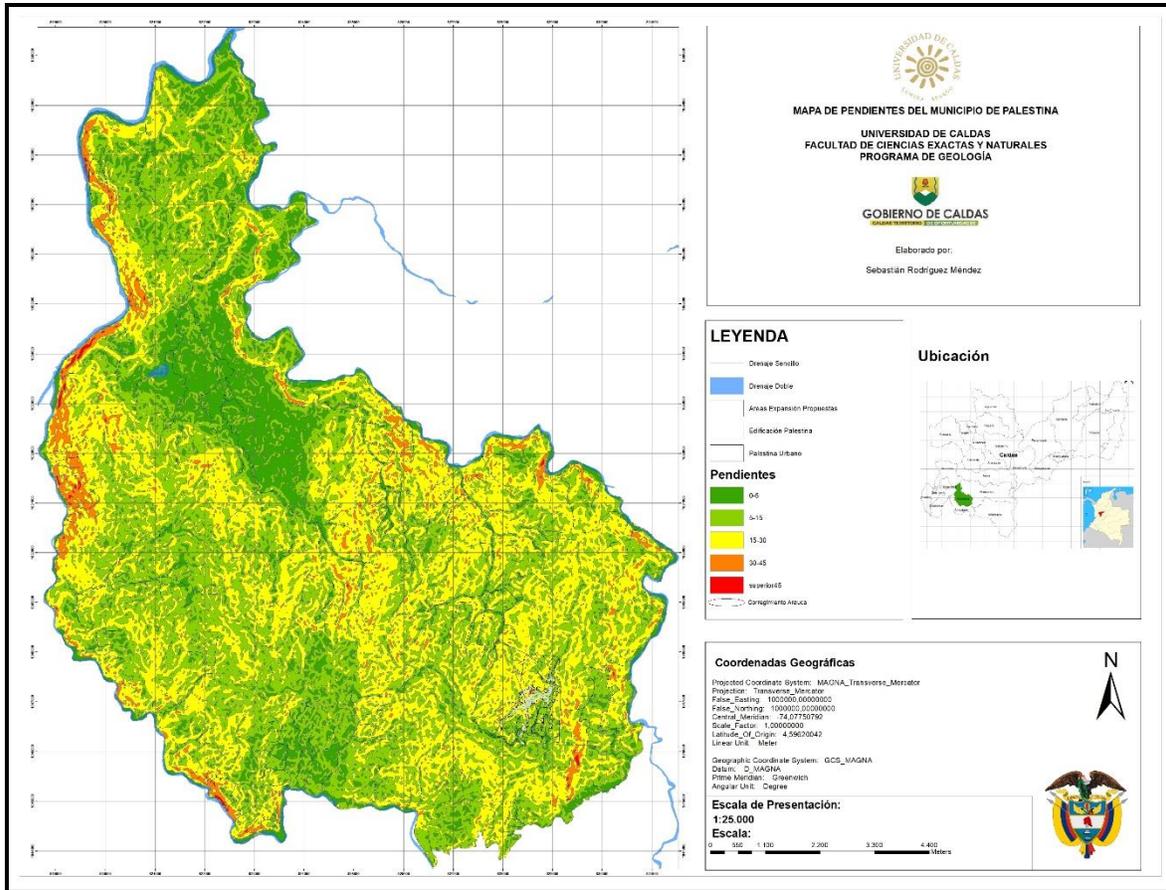
El resultado final de la capa de uso y cobertura de la tierra salió a partir de la superposición del insumo de cobertura entregado por Corpocaldas y la imagen satelital del territorio de Palestina de Google Earth, de esta manera se pudo realizar la actualización y se obtuvo un mapa en escala 1:10.000 aproximadamente. Se identificaron 18 tipos de cobertura diferente para esta región, generalmente de cultivos de café principalmente, principal economía del municipio, ya sean transitorios o estacionarios, áreas urbanas y áreas turísticas o de protección natural. Así, en el cruce con la aptitud de suelo se establecen las áreas que no se están utilizando según lo determinado y de esa manera se generó la capa para el conflicto de uso del suelo.



Como se puede observar en el mapa de conflicto de uso las áreas de color rojo indican zonas que se encuentran en conflicto de uso, estas áreas corresponden aproximadamente al 38.8% del territorio del suelo y las otras zonas de color verde que no se encuentran en conflicto de uso ocupan el 61.2% del territorio aproximadamente. En la equivalencia de pesos sólo se identificaron pesos de 1 y 3, no se encontraron conflictos moderados para el municipio de Palestina.

#### **9.1.4 Mapa de Pendientes**

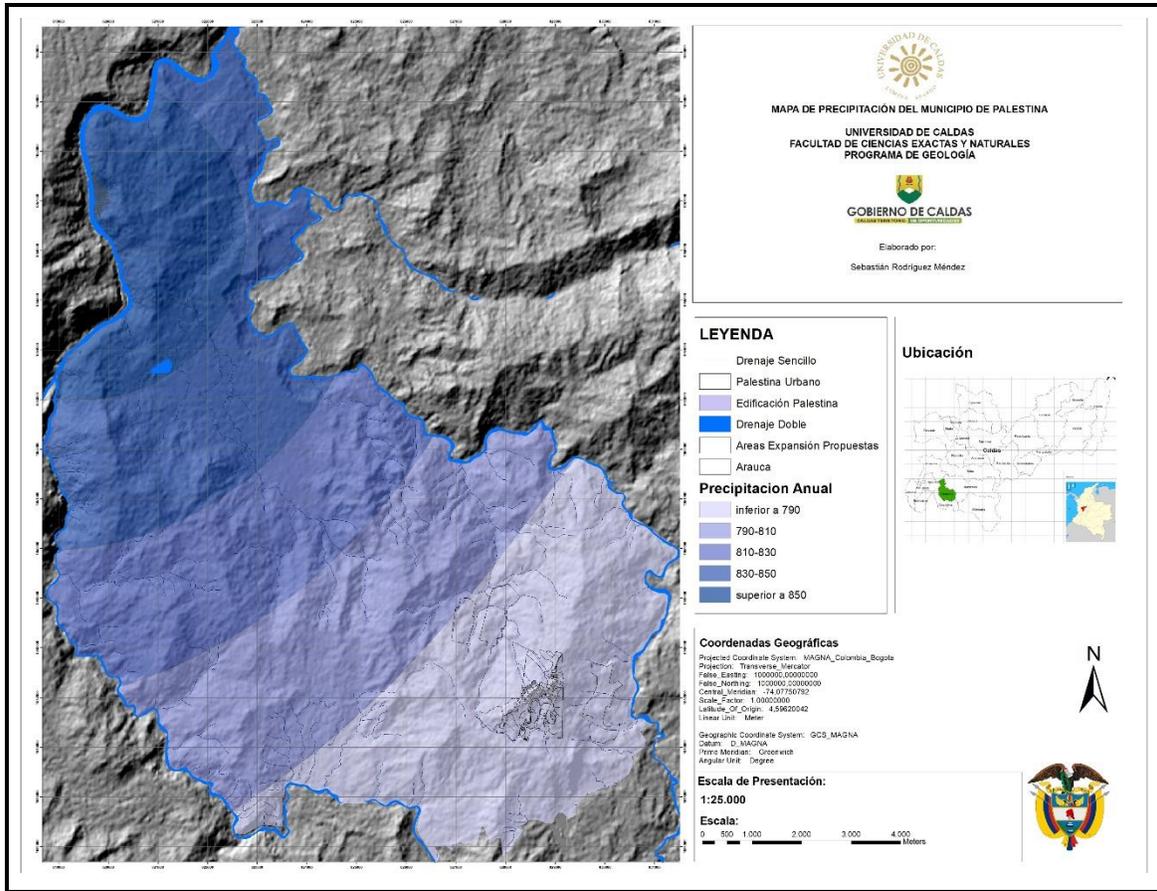
De la misma forma que se generó el mapa geomorfológico, el mapa de pendientes se creó con el modelo de elevación digital de resolución 12.5 metros que permitió una escala más precisa para determinar las pendientes del territorio de Palestina. Las pendientes tratadas en grados, se encontraron en un rango de 0 a 63.8 grados aproximadamente divididos en 5 rangos (0-5 grados; 5-15 grados; 15-30 grados; 30-45 grados; superior a 45 grados); en la reclasificación se tomó el último rango como superior a 45 grados porque se considera a partir de ahí como pendiente abrupta, aunque para el caso de amenaza por inundación conciernen las pendientes menores en donde no logre fluir el agua fácilmente y justamente es el rango de 0-5 grados el que contiene la mayor cantidad de polígonos dentro del área del municipio con un 41.1% de los polígonos conteniendo los mayores valores de peso, 5, en el rango de 1-5 de las variables de peso. Continúa el siguiente rango de 5-15 grados con 31.8%, aportando de igual manera con un peso de 4 hacia la susceptibilidad de inundación, el rango de 15-30 grados contiene el 16.5% de los polígonos con 3 de peso, el rango de 30-45 grados un 9.7%, peso de 2 y, por último, las pendientes superiores a 45 grados tan solo el 0.9% de los polígonos con la menor tendencia a inundación, peso de 1.



**Mapa 12.** Mapa de Pendientes del municipio de Palestina.

### 9.1.5 Mapa de Precipitación

Para el municipio de Palestina se realizó un mapa de precipitación promedio anual en dos diferentes condiciones climáticas naturales. El fenómeno de la niña fue el principal factor en los niveles más altos de lluvias en unidades de milímetros por año sobre el municipio. Tomando los valores máximos y mínimos de las lluvias para esta condición y los valores máximos y mínimos en condiciones normales de precipitación, se generó el mapa con promedio anual. Este promedio anual arrojó un máximo y un mínimo en los niveles de lluvia de 860.5 mm/año y 761.9 mm/año, respectivamente. Cabe recordar que los mapas de precipitación en todas las condiciones de lluvias fueron tomadas de las estaciones del IDEAM en todo el departamento de Caldas en los últimos 30 años.



**Mapa 13.** Mapa de Precipitación de promedio anual del municipio de Palestina.

La tendencia de la precipitación es cíclica, como se aprecia en el mapa, intensificando los niveles de lluvia hacia el norte del municipio, lo que indica que se tienen mayores precipitaciones al año en el corregimiento de Arauca que en la cabecera municipal de Palestina, sobre todo cuando se tienen épocas del fenómeno de la niña. El problema se hace visible cuando la morfología hacia el sector norte es de superficies más planas, entre terrazas y planicies aluviales con tendencia alta de inundación y donde predominan las pendientes más bajas entre 0 y 15 grados. De esta manera, el peso mayor de 4 se les asignó a los niveles superiores a 850 mm/año como se observa en la tabla 15 y así sucesivamente.

<b>RANGO DE PRECIPITACIÓN</b>	<b>WPRECIPT</b>
Inferior a 790	1
790- 810	2
810-830	3
830-850	3
Superior a 850	4

**Tabla 15.** *Valores de los pesos asignados a cada rango de precipitación anual.*

### 9.1.6 Mapa de Susceptibilidad

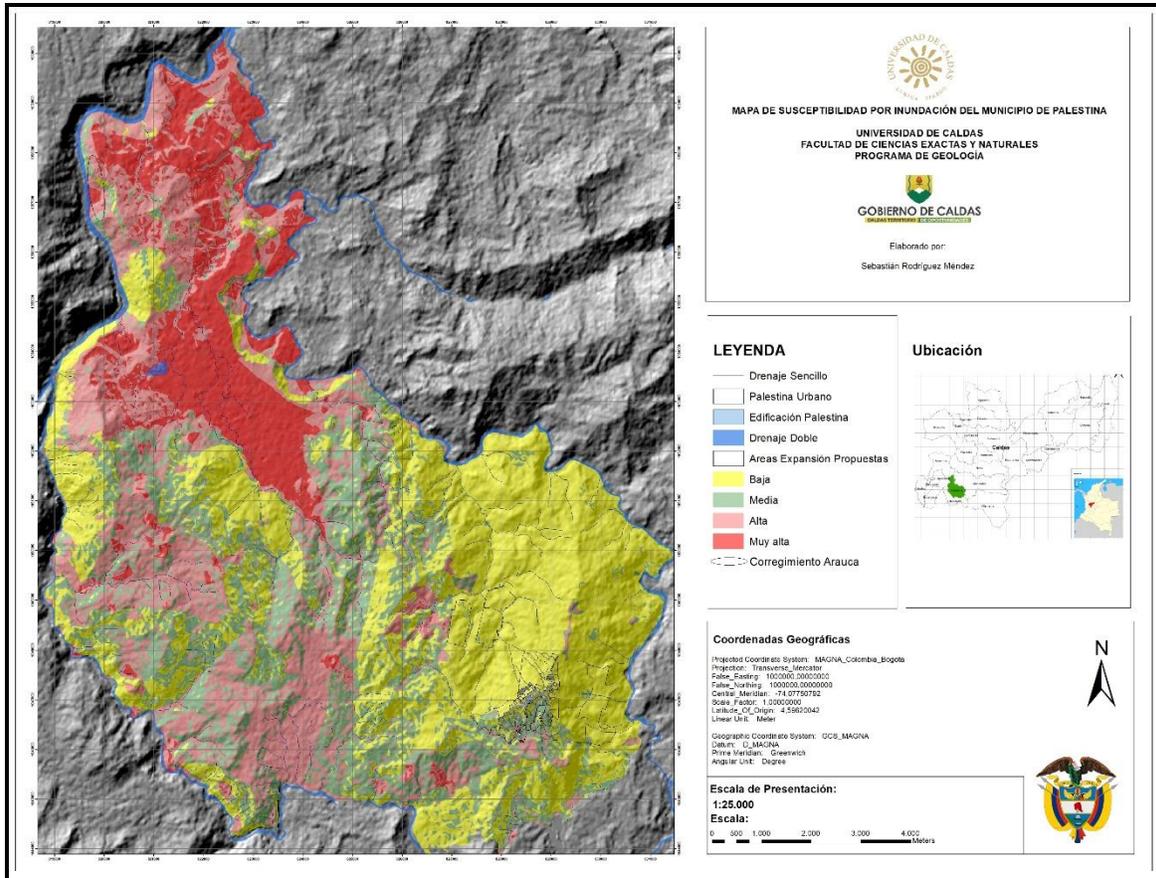
Se utilizó una división estadística por cuantiles para asegurar una clasificación precisa de los datos obtenidos a partir de la intersección de todas las capas. Esta información obtenida de la sumatoria de los pesos de las otras capas (geología, geomorfología, conflicto de uso, pendientes) generó un nuevo campo en la tabla de atributos de la capa de susceptibilidad que corresponden a los rangos de peso que determinan la sensibilidad de la zona, y para este caso las zonas de mayor riesgo a susceptibilidad se presentan al norte del municipio. La expresión matemática que expresa la sumatoria es la siguiente:

$$\text{SUMAW (capa susceptibilidad)} = \text{WGEOLOGI} + \text{WGEOMORF} + \text{WCONFLICT} + \text{WPEND}$$

Tratando específicamente las poblaciones dentro del territorio del municipio, empezando por la cabecera municipal, su susceptibilidad a un desastre de inundación se encuentra dentro de los rangos bajo y medio por diferentes razones, ya que se encuentra en un área donde no existe un conflicto con el uso del suelo, en su mayoría consta de pendientes entre 15-30 grados, pendientes con inclinación para permitir el flujo de agua, lo que permite la no acumulación de agua en precipitaciones intensas, su morfología presenta laderas erosivas y onduladas con tendencia baja o media de inundación y por último, litológicamente, se encuentra sobre el Complejo Arquía y depósitos aluviales recientes, el primero con una baja tendencia a inundación por estar constituido por rocas metamórficas con fisilidad que permite el flujo del agua, y el segundo con tendencia media por estar constituido por limos, arenas y gravas; la diferencia del tamaño de grano permite cierto desplazamiento y a la vez acumulación del agua.

Por otro lado, está el Corregimiento de Arauca, segunda zona urbana de mayor importancia en el municipio, después de la cabecera municipal. Arauca, se encuentra generalmente en regiones de susceptibilidad muy alta y alta, principalmente su zona urbana, lo que lo hace de gran prioridad en esta problemática. Su uso del suelo está completamente en conflicto porque gran parte del área está definida como de protección forestal y en gran medida se encuentra con tejido urbano o con cobertura de mosaico de pastos. Las pendientes del corregimiento, bordeando el río Cauca, tienen una gran inclinación, superiores a 45 grados y de 30-45 grados, pero la zona más urbana se encuentra asentada sobre un deslizamiento rotacional que tienden a auto estabilizarse, generando pendientes de 0 a 15 grados, las más propensas a una inundación. En cuanto a la geomorfología, se tienen tres diferentes morfologías para la zona de Arauca, escarpe de erosión mayor, escarpe de deslizamiento rotacional y lóbulo de deslizamiento rotacional; para la primera no se tiene la más mínima susceptibilidad debido a su superficie tan inclinada, para la segunda ocurre el mismo caso pero con la diferencia que para este sector el número de quebradas que drenan en dirección al corregimiento aportarían una sensibilidad al desastre con un detonante de lluvias. Para la tercera y última, como ya se mencionó, los deslizamientos rotacionales tienden a auto estabilizarse permitiendo inclinaciones de hasta 0 o 5 grados, incluso hacía el borde del río Cauca abriendo la posibilidad de una inundación al momento que los niveles de río crezcan por aumento de precipitación. Finalmente, Arauca, está sobre la Formación Barroso, conjunto de rocas volcánicas básicas en donde predominan las diabasas y los basaltos, rocas con poco índice de infiltración y permeabilidad del agua sin tener en cuenta aspectos estructurales como fracturamiento.

Por otro lado, se tiene la vereda de Santágueda y la zona de la Rochela, área construida sobre una terraza de erosión de ceniza y depósitos de flujos de escombros con pendientes de 0 a 5 grados generalmente y, además, prácticamente toda esa región se encuentra en conflicto de uso, al ser áreas turísticas cuando deberían ser de protección forestal. Las características anteriores permiten un gran peso para considerarse un muy alto riesgo de susceptibilidad a inundación, principalmente por su superficie llana.



**Mapa 14.** Mapa de Susceptibilidad por Inundación del municipio de Palestina.

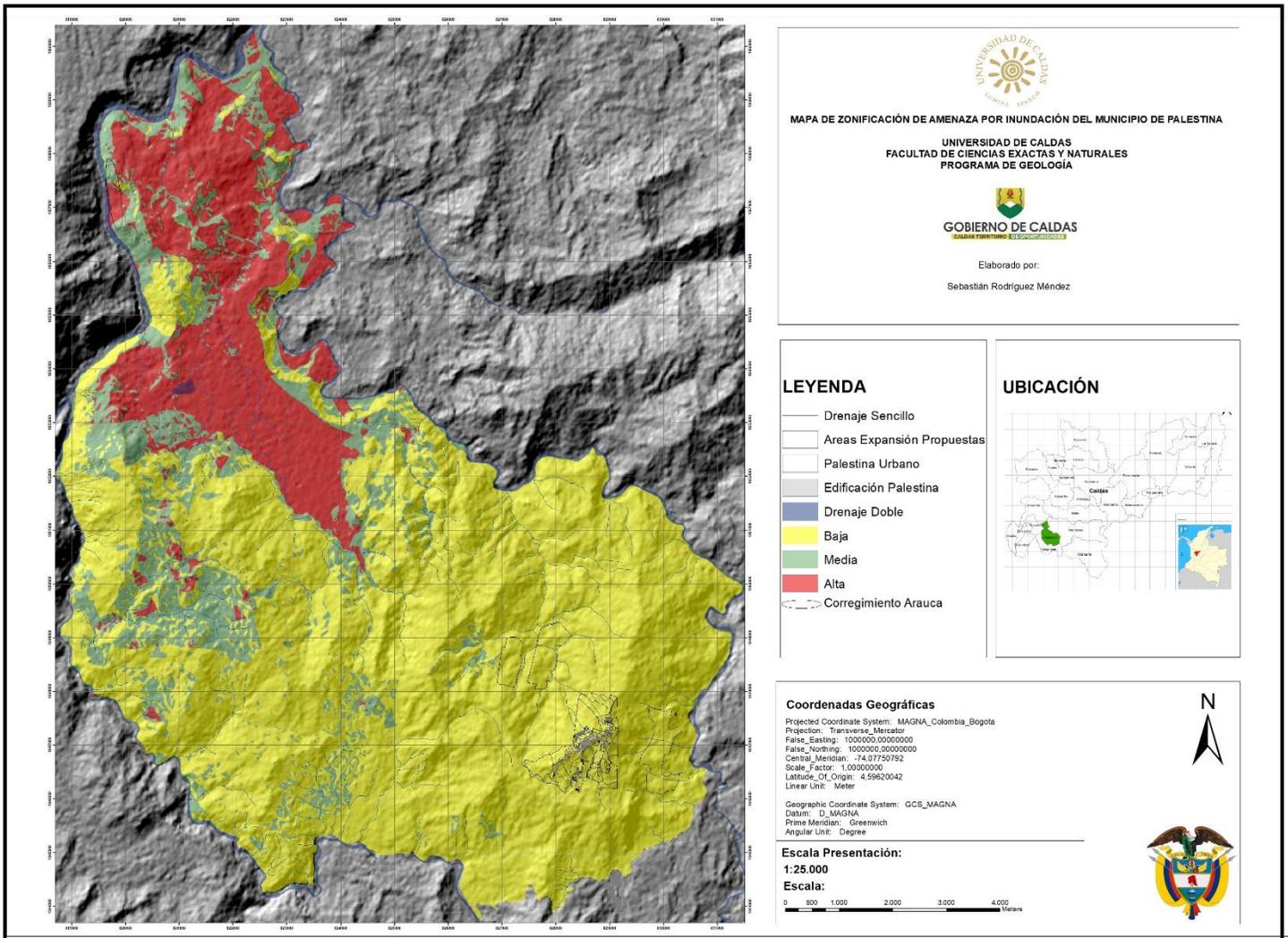
### 9.1.7 Mapa de Amenaza

Para pasar de una susceptibilidad a que se convierta en una amenaza latente debe existir un causante natural o inducido. Cuando se trata de una amenaza por inundación, el principal causante es la precipitación, el nivel de lluvias intensas en épocas de fenómenos climáticos detonará cualquier desastre de este tipo y más aún cuando se cuenta con drenajes próximos a sitios poblados o de expansión. Es por esto que, se interceptó el mapa de susceptibilidad con un mapa de precipitación elaborado con un promedio anual en condiciones climáticas normales y en condiciones del fenómeno de la niña.

A partir de estos criterios se obtuvieron los siguientes resultados: El municipio de Palestina se encuentra en condición de riesgo bajo de amenaza, exactamente hacía el sur como se observa en el mapa 15, zona donde está localizada la cabecera municipal, y esto ocurre debido a que los niveles de precipitación en esta región son inferiores a 790 mm/año, las menores registradas por la estación dentro del promedio anual. La última condición de riesgo de amenaza, alta, se encuentra ubicada al norte del municipio, sobre el corregimiento de Arauca, esto sucede por el aumento en el nivel de las lluvias de tendencia cíclica de sur a norte que se había mencionado anteriormente, la problemática no sólo radica en eso si no su proximidad con el río Cauca, que aumentará de nivel en épocas de fuertes lluvias afectando las construcciones al borde de este río. Para el caso de Santágueda y La Rochela, sus áreas se encuentran en amenaza alta por encontrarse en zona de niveles moderados y altos de precipitación sumado al muy alto riesgo de susceptibilidad al que tendían, explicado anteriormente.

RANGO	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE
Baja	7448.25	67.5%
Media	1750.08	15.8%
Alta	1841.8	16.7%

**Tabla 16.** Área y porcentaje correspondiente del municipio de Palestina para cada rango de amenaza.



Mapa 15. Aproximación del Mapa de Amenaza por Inundación del municipio de Palestina.

## 10. Conclusiones y Recomendaciones

### 10.1 Conclusiones

- El municipio de Palestina y más específicamente el corregimiento de Arauca se encuentran localizados en los Andes Colombianos, bordeado por importantes fuentes hídricas y vulnerable por su topografía y clima tropical, es por eso que el decreto 1807 de 2014 juega un importante papel para desarrollar un ordenamiento sostenible para estas poblaciones, pero a su vez, no cuenta con una metodología estándar para lograr las exigencias sin un aporte económico importante.
- El corregimiento de Arauca, ubicado al noroccidente del municipio reúne características entre las que predomina la susceptibilidad de un desastre de inundación, como: las pendientes de poca inclinación de 0 a 15 grados, debido a la morfología sobre la que se encuentra, su geología poco permeable de rocas volcánicas básicas como basaltos, el número de drenajes que fluyen en dirección a la zona urbana, además de tener los niveles más altos de lluvia del municipio en fenómenos de la niña, superiores a 850 mm/año; pero lo más importante, su localización a orillas del río Cauca lo hace una situación de gran prioridad para zonificar la amenaza.
- La metodología aplicada a través de sistemas de información geográfica (ArcGIS), abre una herramienta para realizar este tipo de estudio sobre gestión del riesgo y evaluar la amenaza de manera analítica y adecuada, así como actualizar cada uno de los insumos de manera eficiente en escalas mucho más precisas con las que inicialmente se contaba.
- Se determinó que la causa mayor que detonaría un desastre de inundación es la precipitación. La época de intensas lluvias afecta los niveles de los drenajes y la capacidad de infiltración del suelo según el relieve y la permeabilidad del material.
- Según los criterios en los que se analizó el estudio, se obtuvo un riesgo de amenaza alto del 16.7% en todo el territorio de Palestina, lo que equivale a 1841.1 Ha del municipio, pero concentrado casi en su totalidad al norte del municipio, donde no solo se encuentra Arauca, sino también las zonas turísticas más importantes, Santágueda y La Rochela. Caso contrario al de la cabecera municipal, que tanto su riesgo a susceptibilidad como a amenaza tras agregar un detonante de lluvia continúa siendo bajo.

## 10. 2 Recomendaciones

- Al momento de considerar la zona norte del municipio de Palestina y más exactamente el corregimiento de Arauca, como posible área de expansión urbana se deben efectuar estudios complementarios que tomando como punto de partida el presente análisis de amenaza por inundación permitan determinar parámetros de prevención y mitigación de los efectos que tuvieran estas áreas catalogadas como de amenaza alta por inundación y de ser necesario servir de soporte para la reubicación de viviendas que hacen lo requieran.
- Se recomienda en general a todas las instituciones públicas del departamento procurar mejorar la calidad de los insumos incluidos en las exigencias del decreto 1807 de 2014 e incentivar proyectos para que estas actualizaciones se hagan pertinentemente para asegurar la exactitud de zonificar todas las amenazas sobre gestión del riesgo.
- La principal recomendación a la hora de realizar estudios sobre gestión del riesgo, es plantear una metodología patrón de tal manera que se puedan obtener resultados de similar calidad en todo el país, para llegar a los resultados exigidos por el decreto 1807 de 2014.
- Para obtener la zonificación de las amenazas en escalas de trabajo detalladas, como lo solicita el decreto, se requieren recursos logísticos y económicos, con los cuales no cuentan los municipios, no solo de Caldas, sino de todo el país. Una solución eficaz, está en la utilización de las herramientas de sistemas de información geográfica, en donde se puede procesar y analizar diferente información, reduciendo costos que de otra manera implicarían grandes períodos de trabajo en campo.
- 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 la modelación hidrológica e hidráulica y el análisis de eventos históricos.
- Así mismo, 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.

- Para los análisis hidrológicos e hidráulicos se deberá usar como mínimo la cartografía base de drenajes de CORPOCALDAS la cual se encuentra a una escala 1:25.000, acorde con la escala del Decreto 1077 de 2015 para Estudios Básicos de Amenaza en suelo rural.
- 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 modelos de elevación digital (MED) con el fin de mejorar el detalle de la cartografía base que es insumo para la zonificación de amenazas.

## 11. Bibliografía

**ALCALDÍA DE PALESTINA-CALDAS.** Municipio. Obtenido de: <http://www.palestina-caldas.gov.co/>.

**ASOCARS, CORPOCCALDAS & UNAL.** Plan de ordenación y manejo ambiental de la cuenca hidrográfica del río Chinchiná en el departamento de Caldas. POMCA Chinchiná. 2013.

**CARDER & CORPOCALDAS.** POMCA Cuenca del Río Campoalegre. Plan de ordenamiento y manejo. Agosto 2009.

**CORPOCALDAS & GEOSUB.** Identificar y caracterizar la amenaza, vulnerabilidad y riesgo para la cabecera municipal y las áreas de desarrollo rural restringido; municipio de Palestina. 2013.

**DECRETO 1807 DEL 2014.** Gestor Normativo. Obtenido en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=59488>. Septiembre 2014.

**FUNDACIÓN eKosocial & CORPOCALDAS.** Vulnerabilidad a Cambio Climático en el departamento de Caldas. Mapa de precipitación promedio por trimestres condiciones normales, niño, niña. 2013.

**INGEOMINAS.** Plancha 205 Chinchiná; Memoria Explicativa. Autores Estrada J. J., Viana R., González H. 2001.

**INGEOMINAS.** Geología de la plancha 205 Chinchiná escala 1:100.000. Autores Estrada J. J., Viana R. 1998. Versión digital 2009.

**INGEOMINAS-CVC.** Evaluación de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa. Guía Metodológica. Autores Castro M. E., Valencia N. A., Ojeda J. M., Muñoz F. C., Fonseca G. S. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Julio 2001.

**MASGRAU, L. R.** Los mapas de riesgo de inundaciones: Representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas. Universitat de Girona. Departamento de Geografía. Girona. 2004.

**MORENO, C.** Análisis del Riesgo por Inundación Utilizando Herramientas SIG para la Cuenca del Río Quito. Universidad de Manizales. Manizales. 2016.

**NARANJO, J. L.** Fotogeología Práctica. Manizales: Universidad de Caldas. 2015.



**ROBAYO, M. A.** Análisis de amenaza por inundación para la localidad de Tunjuelito, desarrollado a través de Sistemas de Información Geográfica. Programa de Ingeniería civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Colombia Bogotá D.C., Colombia. 2014.

**RODRÍGUEZ, S. del C.** 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. Subdirección de Planificación y Ordenamiento Ambiental del Territorio Comité Técnico de Ordenamiento Territorial de CORPOCALDAS. 2015.

**SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO.** Glosario de Unidades y Subunidades Geomorfológicas; Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000.

**UNION TEMPORAL POT.** Plan de ordenamiento territorial de Palestina, Caldas; Documento 2 seguimiento; Administración Municipal. Agosto 2014.