

**DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA  
EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DE SALES  
(CUNDINAMARCA) MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)**

**PRESENTADO POR:**

DENNYS JULIANA PINZÓN ORJUELA  
VANESSA RUIZ BAÑOS

**ASESOR DISCIPLINAR:**

MS.c. ING. CHRISTIAN CAMILO GUTIÉRREZ ANGULO.

**ASESOR METODOLÓGICO:**

MS.c. LIC. BIBIANA CAROLINA GÓMEZ SALGADO.

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
TRABAJO DE GRADO  
BOGOTÁ D.C**

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	9
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
2. JUSTIFICACIÓN.....	13
3. OBJETIVOS.....	15
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	15
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
4. ANTECEDENTES.....	16
5. MARCOS DE REFERENCIA .....	23
5.1. MARCO CONCEPTUAL.....	23
5.1.1. Procesos de remoción en masa.....	23
5.1.2. Zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa.....	26
5.1.3. Métodos de análisis en geotecnia para zonificación por procesos de remoción en masa.....	28
5.1.4. Sistemas de información geográfica (SIG).....	31
5.2. MARCO LEGAL.....	34
5.3. MARCO GEOGRÁFICO .....	36
5.3.1. Extensión del municipio.....	36
5.3.2. Límites Municipales.....	36
6. DISEÑO METODOLÓGICO .....	38
6.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	38
6.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	38
6.3. FASES DE LA INVESTIGACIÓN.....	38
6.4. INSTRUMENTOS .....	39
7. METODOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA.....	41
7.1. SISTEMA SEMICUANTITATIVO DE EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD (SES).....	41
7.2. MÉTODO HEURÍSTICO DE ZONIFICACIÓN DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA .....	42
8. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA .....	47
8.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	47
8.1.1. Clima.....	47

8.1.2. Relieve. ....	48
8.1.3. Hidrología. ....	48
8.1.4. Cobertura y usos del suelo. ....	49
8.1.5. Sismicidad Regional. ....	49
8.2. CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES PARA ZONIFICACIÓN DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA .....	52
8.2.1. Geología. ....	52
8.2.2. Geomorfología. ....	56
8.2.3. Relieve. ....	64
8.2.4. Usos del suelo. ....	67
8.2.5. Cobertura del suelo. ....	69
8.2.6. Drenaje. ....	73
8.2.7. Factor antrópico. ....	75
8.2.8. Erosión. ....	78
8.3. MAPA DE CALIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA .....	80
8.4. FACTORES DETONANTES. ....	82
8.4.1. Sismicidad. ....	83
8.4.2. Clima. ....	87
9. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	90
10. CONCLUSIONES .....	93
11. RECOMENDACIONES .....	95
12. BIBLIOGRAFÍA .....	96
ANEXOS .....	98

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de susceptibilidad en el municipio de San Francisco (Cundinamarca).....	11
Tabla 2. Métodos de análisis de estabilidad de taludes.....	24
Tabla 3. Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los PRM (kanungo 2004).....	25
Tabla 4. Escalas para mapas de zonificación.....	27
Tabla 5. Parámetros de análisis de amenaza.....	28
Tabla 6. Fases de la investigación.....	39
Tabla 7. Definiciones originales- SES.....	42
Tabla 8. Matriz para calificación de amenaza.....	46
Tabla 9. Puntaje y clasificación de susceptibilidad. Parámetro de geología.....	55
Tabla 10. Geoformas presentes en el área de estudio.....	57
Tabla 11. Puntajes y Calificación de susceptibilidad, parámetro geomorfología. ..	62
Tabla 12. Niveles de estabilidad para el parámetro relieve.....	65
Tabla 13. Puntaje y clasificación de susceptibilidad, parámetro de uso del suelo.	68
Tabla 14. Puntaje y clasificación de susceptibilidad, parámetro cobertura.....	71
Tabla 15. Puntaje y calificación de susceptibilidad, parámetro de drenaje.....	74
Tabla 16. Puntaje y calificación de susceptibilidad, factor antrópico.....	77
Tabla 17. Puntaje y calificación de susceptibilidad, parámetro erosión.....	79
Tabla 18. Categorización de amenaza.....	81
Tabla 19. Puntaje y calificación para sismicidad.....	84
Tabla 20. Puntaje y calificación para clima.....	87

## LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Clasificación de PRM (Cruden y Varnes, 1996).....	23
Imagen 2. Integración de los SIG's a los métodos de cálculo.....	33
Imagen 3. Área urbana municipio de San Francisco. ....	37
Imagen 4. Diagrama de flujo, metodología implementada. ....	44
Imagen 5. Mapa nacional de amenaza sísmica periodo de retorno 475 años. ....	50
Imagen 6. Sismicidad en los alrededores del municipio de San Francisco.....	51
Imagen 7. Ubicación de San Francisco en la plancha 208. "Villeta". ....	53
Imagen 8. Mapa de geología del casco urbano del municipio de San Francisco de Sales.....	55
Imagen 9. Mapa de susceptibilidad por geología.....	56
Imagen 10. Mapa geomorfológico del casco urbano del municipio de San Francisco de Sales.....	62
Imagen 11. Mapa de Susceptibilidad por geomorfología. ....	63
Imagen 12. Mapa de relieve del casco urbano del municipio de San Francisco de Sales.....	65
Imagen 13. Mapa de susceptibilidad por relieve. ....	66
Imagen 14. Mapa de usos del suelo del casco urbano del municipio de San Francisco de Sales. ....	67
Imagen 15. Mapa de susceptibilidad por usos del suelo.....	69
Imagen 16. Mapa de coberturas del casco urbano del municipio de San Francisco de Sales.....	71
Imagen 17. Mapa de susceptibilidad por cobertura. ....	72
Imagen 18. Mapa de drenaje del casco urbano del municipio de San Francisco de Sales.....	74
Imagen 19. Mapa de susceptibilidad por drenaje.....	75
Imagen 20. Mapa factor antrópico del casco urbano de San Francisco. ....	76
Imagen 21. Mapa de susceptibilidad por factor antrópico.....	77
Imagen 22. Mapa de erosión del casco urbano del municipio de San Francisco de Sales.....	78

Imagen 23. Mapa de susceptibilidad por erosión.....	80
Imagen 24. Metodología empleada para la calificación de la susceptibilidad. ....	81
Imagen 25. Mapa de Susceptibilidad para el casco urbano del municipio de San Francisco. ....	82
Imagen 26. Zona de amenaza sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10.	84
Imagen 27. Mapa de susceptibilidad por sismo. ....	85
Imagen 28. Mapa amenaza relativa por sismo. ....	86
Imagen 29. Mapa de susceptibilidad por clima. ....	88
Imagen 30. Mapa amenaza relativa por clima. ....	89
Imagen 31. Metodología empleada para la calificación de la amenaza.....	90
Imagen 32. Mapa de amenaza por procesos de remoción en masa del casco urbano del municipio de San Francisco. ....	91

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Morfología de ladera moderada a empinada. ....	58
Fotografía 2. Morfología de ladera moderada.....	58
Fotografía 3.Morfología de ladera suave. ....	59
Fotografía 4. Cauce actual que atraviesa el casco urbano. ....	60
Fotografía 5.Gaviones para estabilización. ....	61
Fotografía 6. Fotografía aérea del casco urbano del municipio de San Francisco.	70
Fotografía 7. Quebrada Tóriba en la parte norte y sur del casco urbano.....	73

## **GENERALIDADES**

Determinación de las zonas de amenaza por remoción en masa en el casco urbano del municipio de San Francisco de Sales (Cundinamarca) mediante la utilización de sistemas de información geográfica (SIG).

### **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Geotecnia para el desarrollo de la infraestructura física regional sostenible y la calidad de vida GGIR-UGC.

### **SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Riesgos geotécnicos.

### **NOMBRE DE LOS INVESTIGADORES**

Dennys Juliana Pinzón Orjuela.

Vanessa Ruiz Baños.

### **NOMBRE DE LOS ASESORES**

MS.c. Ing. Christian Camilo Gutiérrez Angulo.

MS.c. Lic. Bibiana Carolina Gómez Salgado.

### **LUGAR DONDE SE REALIZA EL PROYECTO**

**Departamento:** Cundinamarca.

**Municipio:** San Francisco de Sales (Casco urbano).

**Año:** 2016.

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación se llevó a cabo la zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa en la zona urbana del municipio de San Francisco de Sales (Cundinamarca), mediante la modificación de la metodología sugerida por el Sistema de Evaluación Semicuantitativo (SES) y la metodología heurística; por medio de las cuales se eligieron los parámetros a evaluar con el fin de identificar los más influyentes ante la posible ocurrencia de movimientos en masa, dichos parámetros fueron: geomorfología, geología, relieve, drenaje, coberturas del suelo, erosión, factor antrópico y usos del suelo, adicionalmente se tuvieron en cuenta como factores detonantes el sismo y la lluvia los cuales condicionan la ocurrencia de PRM. La elaboración de cada mapa temático se hizo mediante la implementación de una herramienta de Sistemas de Información Geográfica (SIG) que para efectos de este trabajo fue el Software ArcGIS.

Partiendo de los lineamientos promulgados en el Decreto 1807 de 2014 en el cual se estipula que es deber de los municipios integrar la zonificación y delimitación de las áreas de amenaza a los POT se realiza este trabajo de identificación y evaluación de la amenaza por procesos de remoción en masa, el cual tuvo como resultado final el mapa de amenaza, siendo este un insumo fundamental para la construcción del plan de gestión del riesgo en la zona urbana del municipio, y así un instrumento que comprende un conjunto de acciones destinadas a la prevención y mitigación del riesgo.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La presencia de amenazas por procesos naturales de remoción en masa (PRM), son causadas por diferentes factores detonantes que se presentan en una determinada zona, los más usuales son los sismos y las precipitaciones. En Colombia, la ocurrencia de movimientos en masa está controlada por el conjunto de factores geológicos, geomorfológicos, estructurales, climáticos y geotécnicos que interactúan en el territorio; las condiciones de inestabilidad pueden ser desencadenadas por variables naturales, como vibraciones del terreno causadas por un sismo, las propiedades del suelo, el agua que actúa como lubricante en las zonas donde se filtra, o por el arrastre de partículas<sup>1</sup>.

En Colombia, en el año 2011 el Observatorio Sismológico y Geofísico de Sur Occidente (OSSO), publicó un estudio en el cual se encontró que el 31% de la población se encuentra expuesta a una amenaza alta y media debido a procesos de remoción en masa<sup>2</sup>; cuatro años más tarde el Servicio Geológico Colombiano (SGC) realizó un proyecto en el cual se determinó que la tendencia a ocurrencia de deslizamientos ha aumentado de un 31% a un 70 %, el resultado final del estudio fue el mapa nacional de amenaza relativa por movimientos en masa<sup>3</sup>, el cual es de gran utilidad para la toma de decisiones en cuanto a ubicación de grandes obras de infraestructura y la definición de estrategias de mitigación de riesgos de origen geológico.

Además de esto, se encontró que el 18% del territorio nacional se encuentra localizado en zonas de amenaza muy alta y alta por PRM, principalmente en los departamentos de la región Andina que tienen gran porcentaje de su área expuesta a este suceso, como Boyacá (74%), Cundinamarca (65%), Risaralda (61%) y Caldas (59%)<sup>4</sup>. Dado que, ante la presencia de procesos naturales las

---

<sup>1</sup> BANCO MUNDIAL COLOMBIA. Análisis de gestión del riesgo de desastres en Colombia. Bogotá: 2012.p 47.

<sup>2</sup> *Ibíd.* p. 40.

<sup>3</sup> SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Informe sobre la publicación del mapa nacional de amenaza relativa por movimientos en masa. 2015.

<sup>4</sup> *Ibíd.* p. 48.

infraestructuras, viviendas y personas son las que se ven afectadas, es importante identificar las zonas que presenten vulnerabilidad mediante la caracterización de la amenaza a la que está sometida el área de interés que para efectos de esta investigación es el casco urbano del municipio de San Francisco de Sales (Cundinamarca).

Según el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT), el 90% del municipio de San Francisco presenta alta susceptibilidad a PRM encontrando dos niveles: alta y media alta como se muestra en la Tabla 1, debido a esto y a los cambios topográficos, climáticos y uso del suelo se han registrado amenazas naturales y antrópicas que pueden llegar a causar desastres que afecten la economía y calidad de vida de la población del municipio. Adicionalmente, en el municipio se presentan sitios de deslizamientos históricos localizados, como en el nacimiento del río Batán y en el sitio conocido como San Patricio en la vereda San Miguel, San Antonio, y Tóriba cerca al casco urbano<sup>5</sup>, también se presentan deslizamientos de talud en la autopista Medellín, en la vía de entrada al casco urbano (concesión sabana de occidente) y en vías veredales.

**Tabla 1. Niveles de susceptibilidad en el municipio de San Francisco (Cundinamarca).**

<b>SUSCEPTIBILIDAD</b>	<b>VEREDAS</b>
ALTA	Sabaneta
	San Miguel (alto)
	Muña
	San Atonio
	La Laja
MEDIA ALTA	El Peñon
	Tóriba
	Pueblo Viejo
	San Miguel (centro)
	Sananeta

**Fuente: propia.**

<sup>5</sup> ALCALDÍA MUNICIPAL DE SAN FRANCISCO DE SALES. Esquema de ordenamiento territorial (EOT). San Francisco de Sales, 1999.

Partiendo de lo anterior y a lo estipulado en el decreto 1807 de 2014 donde se fija que es deber de los municipios integrar al Plan de Ordenamiento Territorial (POT) el análisis de riesgo de desastres como un condicionante para el uso del territorio, es importante disponer de información que ofrezca un panorama de la probabilidad de ocurrencia de procesos de remoción en masa, lo cual se hace posible mediante la zonificación de amenaza, ya que esta permite presentar la información relacionada a diferentes procesos naturales y sus características para un área determinada en un solo mapa, siendo así una herramienta importante en el proceso de planificación, la gestión de emergencias y el ordenamiento territorial de la zona de estudio, dando a conocer las zonas más propensas a deslizamientos y de este modo evitar futuras situaciones de riesgo.

Por lo tanto, la pregunta problema del trabajo de grado es: Mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica ¿Cuáles zonas del casco urbano del municipio de San Francisco se ven afectadas ante la presencia de amenaza por procesos de remoción en masa?

## 2. JUSTIFICACIÓN

Los procesos de remoción en masa son comunes en la región Andina, los cuales pueden producir desastres, cuya ocurrencia y propiedades son determinadas por la interacción de factores geológicos, topográficos, climáticos y las actividades antropogénicas. Colombia, con su clima húmedo tropical y la alta densidad poblacional, es uno de los puntos globales de más alto riesgo de remociones en masa, como deslizamientos y flujos, los cuales son accionados por el fenómeno de La Niña<sup>6</sup>. La combinación de todos estos factores puede generar escenarios particulares de estabilidad que llegan a representar una amenaza para la población de una zona determinada que para efectos de esta investigación es el casco urbano del municipio de San Francisco.

El municipio se encuentra en una zona denominada vertiente occidental de la cordillera oriental, la cual se caracteriza por ser una región quebrada, localizada al oriente de la región del valle del Magdalena, que a su vez está limitada al este por la región de la cordillera oriental; el territorio está conformado por rocas sedimentarias que han sido afectadas por esfuerzos compresivos y distensivos los cuales han originado fallas normales e inversas, así mismo el relieve estructural ha estado influenciado por una acción climática media a baja, dando lugar a procesos morfodinámicos no muy acentuados y coluviales<sup>7</sup>. Los PRM en masa más comunes en el municipio son los deslizamientos y desprendimientos de rocas, algunos de los depósitos ubicados en inmediaciones del municipio están afectados por erosión laminar y flujos de detritos.

El uso del suelo en el municipio está distribuido entre cultivos transitorios y permanentes, pastos de especies mejoradas y cultivos agropastoriles, el cual ha sido dispuesto para estas actividades sin ningún tipo de control técnico cambiando

---

<sup>6</sup> MERGUILI, M; MARCHANT, C Y MOREIRAS, S. Causas, características e impactos de los procesos de remoción en masa, en áreas constantes de la región Andina. Revista Colombiana de Geografía. Volumen 24. Universidad Nacional de Colombia: 2015, N° 2.

<sup>7</sup> ALCALDÍA MUNICIPAL DE SAN FRANCISCO DE SALES. Esquema de ordenamiento territorial (EOT). San Francisco de Sales, 1999. p 55.

las condiciones y comportamiento inicial del suelo, con presencia de escenarios de amenaza, los cuales deben ser gestionados para permitir la formulación, ejecución, seguimiento, evaluación de políticas, instrumentos y acciones permanentes para el conocimiento y la gestión del riesgo, esto con el propósito de contribuir a la seguridad, calidad de vida de las personas y el desarrollo sostenible.

Debido a esto, y a las diferentes características con que cuenta el casco urbano del municipio de San Francisco, se llevó a cabo la zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa, la cual es un instrumento que permite dar cumplimiento al decreto 1807 de 2014, el cual establece que en todos los POT se deberá incluir el componente de gestión del riesgo para garantizar procesos de desarrollo social, que promueva estrategias, programas, medidas y acciones permanentes para el manejo de desastres, mediante la determinación de las condiciones de amenaza en el municipio, la cual debe incluir las variables que inciden en la ocurrencia actual y futura de estos eventos, la descripción de las características físicas de las unidades según la categoría establecida, los tipos de procesos predominantes y los posibles daños que se pueden generar, además permitirá evaluar parcialmente la incertidumbre acerca de la probabilidad de ocurrencia de posibles PRM.

Este producto servirá como insumo para la posterior toma de decisiones en cuanto a la utilización del suelo, planificación eficaz de los recursos y para implementarlo en la elaboración de los mapas con condición de amenaza, de riesgo y las normas urbanísticas para la mitigación y/o control del riesgo en el casco urbano del municipio.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar las zonas de amenaza por procesos de remoción en masa, a partir de la zonificación del casco urbano del municipio de San Francisco.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar las variables incidentes en los procesos de remoción en masa, en el casco urbano del municipio.
- Plantear escenarios de amenaza donde se evidencien las condiciones de susceptibilidad a las que se encuentra expuesto la zona de estudio.
- Elaborar el mapa de zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa del área urbana del municipio.

#### 4. ANTECEDENTES

Las condiciones topográficas en la que se encuentra ubicado Colombia conforman un escenario propicio para la ocurrencia de movimientos en masa, los cuales se pueden generar por procesos antrópicos que se desarrollan en las zonas montañosas; los altos valores de precipitación y fenómenos climáticos como el del Niño y la Niña a los cuales se encuentra expuesto el país han contribuido a que las condiciones originales del suelo se vean alteradas y ocurran procesos de remoción en masa los cuales generan daños a la población, pérdidas económicas y deterioros en la infraestructura.

Distintas instituciones en el país, como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), el Servicio Geológico Colombiano (SGC) y algunos autores, han realizado estudios sobre zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa, por consiguiente se presentan los más relevantes en relación al tema de investigación.

Investigaciones con diferentes enfoques han surgido. Por ejemplo Cascini del Departamento de Ingeniería Civil de La Universidad de Salerno en Europa<sup>8</sup> en conjunto con el Comité Técnico de Deslizamientos de Salerno desarrollaron una investigación basada en una propuesta de directrices para la susceptibilidad y zonificación de amenaza por deslizamientos de tierra para la planificación del uso del suelo en diferentes escalas resaltando la importancia de una correcta caracterización de los procesos que llevan a que ocurran estos eventos para producir mapas confiables de susceptibilidad y por lo tanto de amenaza; las directrices señalan que los mapas de susceptibilidad se deben desarrollar generalmente a partir de los inventarios de deslizamientos y mapas geomorfológicos o mediante la correlación estadística de un conjunto de factores, tales como geológicos y morfológicos para un procedimiento más objetivo.

---

<sup>8</sup> CASCINI L; Applicability of landslide susceptibility and hazard zoning at different scales. Engineering Geology. Volumen 102. 2008. p. 164-177

Los autores sugieren que las escalas de zonificación de amenaza por deslizamientos sean las siguientes: pequeña escala (1:100.000) utilizado para inventario de deslizamientos en una zona mayor que 10.000 km<sup>2</sup>, mediana escala (1:100.000 y 1:25.000) para un área de 1.000 a 10.000 km<sup>2</sup>, a gran escala (1:25.000 a 1:5.000) un área de 10 a 1.000 km<sup>2</sup> y escala detallada (1:5.000) para varias hectáreas a decenas de kilómetros cuadrados; por lo tanto es importante relacionar el nivel de zonificación con la escala de zonificación esto significa que los métodos para zonificación deben ser seleccionados teniendo en cuenta el nivel y la escala para que la calidad y exactitud de los datos de entrada resulten ser útiles y mejoren notablemente los resultados de zonificación de amenazas.

Asimismo, Marcano y Cartaya de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador de Venezuela<sup>9</sup>, realizaron la zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa originados por las precipitaciones entre Camurí Chico y Punta Tigrillo en el estado de Vargas con el fin de contribuir a la planificación preventiva y correctiva de riesgos locales, la investigación se basa en el método heurístico el cual se respalda en el análisis de los procesos físicos que actúan en el área de estudio, el mapeo de los movimientos en masa y los factores ambientales que afectan directa e indirectamente la inestabilidad de las laderas; para el análisis de las precipitaciones como factor desencadenante consideraron el óptimo pluviométrico ya que es uno de los rasgos más reconocidos de la distribución de la precipitación en la altitud en la Serranía del Ávila. Este valor óptimo corresponde a una elevación para la cual la precipitación es máxima entre el nivel base y la cima de la cordillera, en este caso a los 1500 msnm, de acuerdo al cálculo realizado para la cuenca de la quebrada San José de Galipán, estado Vargas.

Finalmente, se empleó un Sistema de Información Geográfica (SIG) para determinar tanto el área de la superficie deslizada como el área de cada unidad en kilómetros

---

<sup>9</sup> MARCANO, A y CARTAYA, S. zonificación de la amenaza por procesos de remoción en masa originados por las precipitaciones entre Camurí Chico y Punta Tigrillo, estado Vargas, Venezuela. Revista de investigación. Volumen 37. 2013. N° 80.

cuadrados; este procedimiento se realizó con la intención de verificar si las zonas con mayor número de remoción de material que corresponden a los eventos, coinciden con la zona de mayor amenaza generadas con el cruce de las capas, a través del SIG. Por lo tanto, se estimó que la geología y las pendientes del área de estudio son las variables fundamentales para generar amenaza por procesos de remoción en masa por causa de precipitaciones, siendo las áreas más susceptibles las cuencas altas y medias bajas, donde predominan las formaciones geológicas que combinadas con laderas rocosas y pendientes superiores a los 21° categorizan la mayor parte del área en zonas de muy alta a alta susceptibilidad en un porcentaje superior al 90% del total de su extensión territorial.

En el año 2012 Muñiz. J y Hernández. V del Centro de Investigación en Geografía Ambiental (CIGA), de la Universidad Nacional Autónoma de México en compañía del Instituto de Investigaciones Metalúrgicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo<sup>10</sup>, realizaron la zonificación por procesos de remoción en masa en Puerto Vallarta, Jalisco, mediante la combinación de análisis multicriterio y el método heurístico, las ventajas del modelo heurístico radica en ser un método rápido, razonable y consistente con las condiciones físicas de la zona de estudio, además permite contemplar diferentes factores como un conjunto que incide en la inestabilidad de la ladera, sin embargo integraron un análisis multicriterio, que permitió obtener una jerarquización de las variables consideradas, a partir de una ponderación con base matemática sólida.

La técnica de análisis multicriterio aplicada fue el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) el cual permite categorizar las variables según el grado de importancia de un elemento respecto a otro formando una matriz de valores bajo cálculos de álgebra matricial que dan como resultado los valores de importancia y el índice de inconsistencia. En el mapa de susceptibilidad se resaltan las zonas que concentran

---

<sup>10</sup> MUÑIZ, J y HERNÁNDEZ, V. Zonificación de procesos de remoción en masa en Puerto Vallarta, Jalisco, mediante combinación de análisis multicriterio y método heurístico. Revista mexicana de ciencias geológicas. Volumen 29. 2012. N°1.

grados muy altos de susceptibilidad, como es el caso de la cuenca del río Cuale lo que indica que sus laderas son inestables y tienen posibilidad de presentar diferentes procesos de remoción en masa, debido a sus condiciones físicas y factores sociales que permiten el crecimiento urbano en terrenos de pendientes altas.

Posteriormente, Raghuvanshi y Negassa de la Universidad de Addis en Abebaen, África<sup>11</sup> en el año 2015 realizaron la zonificación de amenaza por deslizamientos mediante la utilización del método de cuadrícula de superposición y modelado SIG en el Distrito de West Showa, Estado Regional de Oromia en Etiopía. La metodología se basó en el análisis de anteriores deslizamientos en la zona y caracterización de factores causantes como pendiente, orientación, altitud, uso de la tierra, huellas de cobertura del suelo y de la superficie de las aguas subterráneas; el índice de susceptibilidad a los deslizamientos se calculó en base a la influencia relativa de los factores causantes de deslizamientos anteriores. Para el método cuadrícula de superposición, una cuadrícula con celdas de 10 m por 10 m se superpuso sobre el área de estudio y más tarde fue geoprocesado para delinear diferentes subclases de cada factor causal, en el modelado de SIG se utilizaron los mismos factores causales y valores similares de índice de susceptibilidad a deslizamientos.

Por último, el mapa de zonificación de amenaza obtenido por el método de superposición muestra que alrededor del 82% de los deslizamientos anteriores están en las zonas de alto riesgo, mientras que en el modelado SIG alrededor del 95% de los deslizamientos anteriores se encuentran en zonas de muy alto peligro por lo que la validación demostró que la modelación mediante SIG produce un mejor mapa y además, el método de cuadrícula de superposición es más tedioso y lento en comparación con el modelado SIG.

---

<sup>11</sup> RAGHUVANSHI. T y NEGASSA. L. GIS based Grid overlay method versus modeling approach – A comparative study for landslide hazard zonation (LHZ) in Meta Robi District of West Showa Zone in Ethiopia. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences. 2015. p. 235-250

En el año 2014 Rodríguez. J y otros del Grupo de Investigación GESTIÓN INTEGRAL DEL TERRITORIO de la Universidad de Pamplona<sup>12</sup>, llevo a cabo la zonificación de amenaza relativa por procesos de remoción en masa en el casco urbano del municipio de Pamplona por el método de Mora y Vahrson, la metodología empleada tiene el propósito de clasificar la amenaza por deslizamientos en una determinada zona utilizando indicadores morfodinámicos del terreno. La información requerida por el método se basa en la interacción de los llamados factores de susceptibilidad o elementos pasivos (relieve relativo, litología y humedad del suelo) y los factores de disparo (actividad sísmica y precipitación). De tal forma que la amenaza se puede expresar como el producto de la combinación de los elementos pasivos por la adición de los factores detonantes o de disparo. Una vez obtuvieron los mapas base de la zona de estudio procedieron a identificar y valorar cada uno de los factores de susceptibilidad, con cada factor elaboraron mapas índice empleados en el geoprocetamiento por álgebra de matrices mediante la utilización de un sistema de información geográfica.

Finalmente se encontró que el área urbana del municipio de Pamplona presenta una superficie quebrada y el 24% del área urbana posee pendientes superiores a 17° lo que aumenta la probabilidad de ocurrencia de algún tipo de proceso de remoción en masa. Por otro lado, las intensas precipitaciones podrían considerarse factor determinante en la ocurrencia de movimientos en masa ya que sufrieron un aumento significativo en los meses donde la intensidad de precipitación fue mayor.

Años antes Castro. E y otros de la Sociedad Colombia de Geotecnia (SCG) llevaron a cabo la zonificación de amenazas por procesos de remoción en masa en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile, Valle del Cauca<sup>13</sup> mediante un modelo de análisis basado en el método estadístico univariado teniendo como base de calificación la

---

<sup>12</sup> RODRIGUEZ, J; QUINTANA, C; RIVERA, H; MOSQUERA, J. Zonificación del peligro de remoción en masa en las zonas urbanas según método de análisis Mora y Vahrson: Estudio de caso. Revista ambiental: agua, aire y suelo. Volumen 4. 2013. N° 1, p.13-22.

<sup>13</sup> CASTRO, E; MORENO, M y VARGAS, G. zonificación de amenazas por procesos de remoción en masa en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile, Valle del Cauca. Sociedad Colombiana de Geotecnia. Volumen 2. 1998.p. 1-11

densidad de movimientos en masa presentes en la zona de estudio, para la zonificación de la amenaza integraron tres aspectos principales: susceptibilidad del terreno, factor de inestabilidad actual determinado por la intensidad de erosión, magnitud de los movimientos en masa, peso de los factores detonantes de precipitación y sismicidad. Como resultados obtuvieron que los procesos de remoción en masa han sido causados por lluvias concentradas en la parte media de las cuencas, donde las lluvias anuales varían de 1500 a 2000 mm y los deslizamientos superficiales se detonan cuando se acumulan 72 mm de lluvia durante dos días, por lo tanto el 18% del área de la cuenca del río Bolo presenta alta y muy alta amenaza y un 48% moderada y en el río Fraile, el 11.7% de la cuenca está afectada por amenaza alta y muy alta y un 65% con probabilidad moderada.

Otra investigación de relevancia fue la desarrollada por Barreto en la zona denominada macizo colombiano<sup>14</sup>, ya que es la región de mayor captación y distribución de aguas del país por encontrarse dentro de la Zona de Confluencia Intertropical, por lo cual es más propicia a la ocurrencia de fenómenos naturales que amenazan a sus pobladores y recursos. El propósito de esta investigación fue realizar un diagnóstico de la situación que actualmente se presenta en los municipios pertenecientes al macizo colombiano, debido a los movimientos en masa que se han presentado; este diagnóstico se realizó por el método empírico y los factores determinantes empleados para la zonificación fueron pendiente del terreno, materiales geológicos superficiales, movimientos en masa, tectonismo y acción antrópica; como factores detonantes de los deslizamientos se encuentran las fuertes lluvias y los sismos.

Como resultado de la investigación se encuentra que los efectos causados por los desastres en Colombia y recientemente por los Fenómeno del Niño y La Niña, han producido un cambio en la forma de evaluar las amenazas naturales, dando mayor peso e importancia a las alteraciones climáticas, pero debido a la falta de

---

<sup>14</sup> BARRETO, German. Fenómeno el niño-experiencia local y regional en la evaluación de la amenaza por movimientos en masa. INGEOMINAS. 2001.

información que se tiene de estos fenómenos climáticos, la estimación a la que se puede llegar a cerca de su influencia sobre los procesos de remoción en masa es escasa e imprecisa.

En síntesis se puede apreciar que existen diversas investigaciones en las cuales se han aplicado los diferentes métodos para el análisis de amenaza por remoción en masa mediante la ponderación de variables de susceptibilidad y de disparo las cuales son propias del lugar, el resultado final para todas las investigaciones es el mapa de zonificación de amenaza para la zona de estudio, uno de los limitantes al momento de realizar esos proyectos es la ausencia de información ya que esta es esencial para la elaboración de los diferentes mapas.







## 5. MARCOS DE REFERENCIA

### 5.1. MARCO CONCEPTUAL

#### 5.1.1. Procesos de remoción en masa.

El término movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad<sup>15</sup>. En la literatura se encuentran muchas clasificaciones de movimientos en masa; la mayoría de ellas se basan en el tipo de materiales, los mecanismos de movimiento, el grado de deformación del material y el grado de saturación, como se puede observar en la Imagen 1.

*Imagen 1. Clasificación de PRM (Cruden y Varnes, 1996).*

TIPOS DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA		
		
Caidas	Volcamiento	Exparcimiento laterla
		
Deslizamiento rotacional	Deslizamiento translacional	Flujo

*Fuente: Propia.*

Basados en la clasificación y las condiciones que poseen las laderas se aplican diferentes modelos de análisis de estabilidad por PRM en términos de un factor de seguridad (FS), el cual debe tener en cuenta la mayoría de los factores que afectan la estabilidad; estos factores incluyen geometría del talud, parámetros geológicos, presencia de grietas de tensión, cargas

<sup>15</sup> SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Canadá: 2007. p. 29.

dinámicas por acción de sismos, flujo de agua, propiedades de los suelos. El análisis de movimientos de los taludes se realiza utilizando las técnicas de equilibrio límite y elementos finitos mencionados en la Tabla 2<sup>16</sup>.

**Tabla 2. Métodos de análisis de estabilidad de taludes.**

MÉTODO	CARACTERÍSTICAS
Ordinario o de Fellenius (1927)	Este método tiene en cuenta las fuerzas entre las dovelas y no satisface equilibrio de fuerzas, tanto para la masa deslizada como para dovelas individuales. Muy preciso para taludes planos con alta presión de poros.
Bishop simplificado (1955)	Asume que todas las fuerzas de corte entre dovelas son igual a cero. La solución es sobreterminada ya que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela.
Jambú Simplificado (1968)	Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es sobredeterminada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Jambú utiliza un factor de corrección $F_0$ para tener en cuenta este posible error.
Sueco Modificado (1970)	Supone que las fuerzas tienen la misma dirección que la superficie del terreno. Los factores de seguridad son generalmente altos.
Lowe y Karafiath (1960)	Asume que las fuerzas entre partículas está inclinada a un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas. Esta simplificación deja una serie de incógnitas y no satisface el equilibrio de momentos. Se considera el más preciso de los métodos de equilibrio de fuerzas.
Spencer (1967)	Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.
Morgenstem y Price (1965)	Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado. El método es muy similar al del Spencer con la diferencia que la inclinación resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria.
Samma (1973)	Asume que las magnitudes de las fuerzas verticales siguen un sistema predeterminado. Utiliza el método de las dovelas para calcular la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla. Esto permite desarrollar una relación entre el coeficiente sísmico y el factor de seguridad.
Elementos finitos	Satisface todas las condiciones de esfuerzo. Se obtienen esfuerzos y deformaciones en los nodos de los elementos, pero no se obtiene un factor de seguridad.

**Fuente: Deslizamientos y estabilidad en zonas tropicales. Jaime Suarez.**

<sup>16</sup> SUAREZ, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Colombia: 1998. p.122.

Partiendo de esto, es importante analizar los PRM en una zona determinada, teniendo en cuenta los diferentes factores que afectan y son característicos de la zona, los cuales crean condiciones de susceptibilidad propias del suelo.

La susceptibilidad es una propiedad que indica que tan favorables o desfavorables son las condiciones del suelo, para que puedan ocurrir PRM. Los niveles de susceptibilidad varían de acuerdo con los criterios de diversos autores como se indica en la Tabla 3, esta se puede evaluar mediante dos sistemas diferentes, el primero a partir de la experiencia donde se utiliza la observación de la mayor cantidad de deslizamientos ocurridos en el área estudiada y se evalúa la relación entre los PRM y la geomorfología del terreno y el segundo por medio teórico en el cual se mapea el mayor número de factores que se considera que puedan afectar la ocurrencia de deslizamientos y luego se analiza la posible contribución de cada uno de los factores<sup>17</sup>.

**Tabla 3. Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los PRM (kanungo 2004).**

SUSCEPTIBILIDAD	CRITERIOS
Muy Alta	Laderas con zonas de falla, masas de suelo altamente meteorizadas y saturadas, y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe alta posibilidad de que ocurran
Alta	Laderas que tienen zonas de falla, meteorización alta a moderada y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe la posibilidad de que ocurran.
Moderada	Laderas con algunas zonas de falla, erosión intensa o materiales parcialmente saturados donde no han ocurrido deslizamientos pero no existe completa seguridad de que no ocurran.
Baja	Laderas que tienen algunas fisuras, materiales parcialmente erosionados no saturados con discontinuidades favorables, donde no existen indicios que permitan predecir deslizamientos.
Muy Baja	Laderas no meteorizadas con discontinuidades favorables que no presentan ningún síntoma de que puedan ocurrir deslizamientos.

**Fuente: Deslizamientos. Volumen I. Jaime Suarez.**

---

<sup>17</sup> *Ibid.*, p. 358.

### **5.1.2. Zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa.**

La zonificación de amenazas es una herramienta muy útil para la toma de decisiones, la cual se aplica en sentido general a una división de la superficie terrestre en áreas que representan diferentes grados de amenaza<sup>18</sup>. Esta zonificación permite presentar la información relacionada a diferentes procesos naturales y sus características para una zona determinada en un solo mapa, convirtiéndose en una herramienta muy útil para el proceso de planificación, la gestión de emergencias y el ordenamiento territorial de un lugar ya que da a conocer las zonas más propensas a deslizamientos.

Para identificar las zonas de amenazas se requiere elaborar unos mapas que van a mostrar mediante polígonos los sitios en los cuales se puedan llegar a presentar diferentes tipos de amenaza, este mapeo puede realizarse sobre un área donde se tiene información de la ocurrencia de PRM o sobre áreas en las cuales no se tiene conocimiento de deslizamientos del pasado, pero se requiere predecir la posibilidad de amenazas hacia el futuro. La caracterización y representación de los PRM implican la presentación de un escenario del comportamiento probable en un área determinada; los parámetros más relevantes para dicha caracterización y mapeo, son aquellos que llevan a entender su potencial destructivo: la localización, el tamaño ya sea en volumen o área, la velocidad, la profundidad de la superficie de falla y el espesor; así mismo debe incluir el análisis de la probabilidad de ocurrencia o las frecuencias<sup>19</sup>.

Las escalas de trabajo en las cuales se puede efectuar la zonificación es la establecida por la Asociación Internacional de Ingeniería Geológica en 1976 la cual se observa en la Tabla 4.

---

<sup>18</sup> SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Canadá: 2007. p. 159.

<sup>19</sup> Ibip., p. 170.

**Tabla 4. Escalas para mapas de zonificación.**

<b>ESCALAS</b>	
Nacional	< 1:1.000.000
Regional	1:100.000 - 1:500.000
Media	1:25.000 - 1:50.000
Detalle	1:5.000 - 1:15.000

**Fuente: Movimientos en masa en la Región Andina. Servicio Nacional de Geología y Minería.**

Además de esto, la zonificación de amenazas requieren tener en cuenta elementos tales como información histórica, física, geológica, geomorfológica y geotécnica del área a zonificar, información de los procesos que activan los PRM y estudios de las probabilidades reales de que se presenten las condiciones para la ocurrencia de fenómenos naturales. De igual forma se deben tener en cuenta los parámetros de análisis<sup>20</sup> indicados en la Tabla 5. Los cuales permiten realizar un análisis más detallado de la zona, para esto es necesario realizar diferentes estudios y visitas de campo que ayuden a corroborar los datos obtenidos en estudios realizados con anterioridad, ya que la afectación inducida por los procesos antrópicos puede llegar a generar cambios en las propiedades inicialmente consideradas.

---

<sup>20</sup> SUAREZ, Jaime. Deslizamientos. Volumen I. Colombia. p. 546-547.

**Tabla 5. Parámetros de análisis de amenaza.**

PARAMETROS PARA EL ANÁLISIS	
Susceptibilidad a los deslizamientos	Esta susceptibilidad depende de las condiciones topográficas y geológicas de cada área específica y del conocimiento de los deslizamientos ocurridos en el pasado
Hidrología	Se deben analizar las lluvias (tipo, características) la longitud de los sistemas de drenaje, el tamaño y características del área de afluencia de agua, la temperatura, la evapotranspiración y los mapas de niveles freáticos.
Uso de la tierra y vegetación	El objetivo del mapa de vegetación o de la cobertura vegetal, es definir las áreas cubiertas por bosques primarios o secundarios, pastor, rastrojo, cultivos, etc. Es importante definir no solamente el tipo de vegetación, sino su densidad y características específicas. Adicionalmente, deben incluirse las áreas expuestas o desprovistas de vegetación.
Factores Antrópicos o urbanos	Localización y características de las carreteras, canales, tuberías, oleoductos y demás elementos, producto de la acción humana. Se debe zonificar las áreas de zonas duras o pavimentadas, las áreas de zonas verdes, la localización de sumideros y demás elementos de drenaje y los sitios de descarga de los diversos colectores de aguas
Tectónica y Sismicidad	Se debe identificar la cercanía a las fallas geológicas, volcanes y otras fuentes de energía sísmica y realizar un análisis de la sismicidad histórica para definir la intensidad de los fenómenos sísmicos que puedan activar los deslizamientos.
Procesos actuales	En este mapa se deben localizar las áreas afectadas por surcos, erosión laminar, cárcavos de erosión, deslizamientos, etc, además de las corrientes de agua que estén sufriendo profundización o ampliación de su cauce.

**Fuente: Deslizamientos. Volumen I. Jaime Suarez.**

Estos parámetros de análisis de amenaza son de gran utilidad al momento de seleccionar el método de análisis para determinar la zonificación por amenaza, ya que dependiendo del método cada parámetro tiene un nivel de significancia diferente.

### **5.1.3. Métodos de análisis en geotecnia para zonificación por procesos de remoción en masa.**

Existen varias formas de analizar la probabilidad de ocurrencia de PRM ya sea por datos históricos del área de estudio, análisis empíricos, modelación de variables.<sup>21</sup> Sin embargo pueden existir una serie de datos importantes los cuales pueden no estar disponibles para el análisis, por lo cual es

<sup>21</sup> SUAREZ, Jaime. Deslizamientos. Volumen I. Colombia. p. 528.

determinante que toda la información relevante sea recolectada, analizada y valorada ya sea de distintas formas teniendo en cuenta el método que se vaya a utilizar, los cuales son:

- **Método heurístico.** Se basa en el estudio conceptual de los procesos de ocurrencia de PRM y requiere del análisis por parte de profesionales con conocimientos y experiencia tanto de la zona de estudio como de los procesos<sup>22</sup>.
- **Método probabilístico.** Los modelos probabilísticos se basan en la suposición de que en un área donde hayan ocurrido PRM posea un ambiente susceptible para la ocurrencia de nuevos deslizamientos. Este método superpone mapas de parámetros y de unidades homogéneas al mapa de inventarios de deslizamientos y de esta forma calcula la densidad del deslizamiento.
- **Método determinístico.** En este método el grado de amenaza se expresa con el factor de seguridad de la ladera, se elaboran modelos de análisis de estabilidad de taludes y requiere de información específica sobre la estratificación, estructura y propiedades de resistencia de los materiales<sup>23</sup>. Tiene como objetivo crear un mapa cuantitativo de amenaza de acuerdo con los factores de seguridad.

Como se mencionó, cada uno de estos métodos se aplican basados en el proyecto a realizar y el criterio del profesional encargado, así mismo cada método tiene establecidas diferentes técnicas de evaluación, las cuales permiten determinar el grado de amenaza incluyendo diferentes factores en cada uno. Las técnicas más utilizadas son:

- **Método de Mora y Vahrson.** En este método los autores incluyeron tres factores relacionados con la susceptibilidad los cuales son relieve

---

<sup>22</sup> Ibíd. p. 541.

<sup>23</sup> Ibíd. p. 543.

relativo, condiciones litológicas y humedad, con el fin de predecir la amenaza<sup>24</sup>. Adicionalmente, consideraron la sismicidad y la intensidad de lluvia como factores detonantes.

- **Análisis bivariado y multivariado.** En la técnica bivariada, la importancia de cada parámetro, o combinación de parámetros puede ser analizada individualmente y en el multivariado se establece una correlación entre un grupo de variables de predicción y la densidad de movimientos en masa de las unidades del terreno.
- **Análisis de equilibrio límite.** Se realiza el cálculo de los factores de seguridad en el área de estudio, ya que los PRM se presentan cuando la resistencia es menor o igual a los esfuerzos, en un escenario de condiciones hidrológicas y de sismicidad.
- **Método del talud infinito.** Tiene como resultado un mapa que muestra el factor de seguridad promedio para una determinada magnitud de nivel freático y aceleración sísmica.
- **SINMAP (Stability Index Mapping).** Es un modelo de predicción de estabilidad, en el cual se combinan los mapas de susceptibilidad, los modelos de estabilidad de taludes por el método de equilibrio límite y los modelos hidrológicos, este modelo se aplica a los movimientos trasnacionales poco profundos<sup>25</sup>.
- **Sistema de Evaluación Semicuantitativo (SES).** El sistema semicuantitativo de evaluación de amenaza comprende fundamentalmente la evaluación de ocho parámetros, donde cada uno de ellos es el resultado de diversos factores asociados según la naturaleza. Para cada factor se fijan intervalos de variabilidad de acuerdo con su grado de influencia en la estabilidad de las laderas<sup>26</sup>. La combinación de los diferentes factores otorga condiciones

---

<sup>24</sup> Ibíd. p. 549.

<sup>25</sup> Ibíd. p. 557.

<sup>26</sup> GONZALES, Álvaro. MILLAN, Javier. SOLER, Flavio. VESGA, Luis. Evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa en Santa Fe de Bogotá-Colombia. Bogotá: 2000.

particulares de estabilidad, las cuales se evalúan asignándoseles una “calificación de estabilidad”. De esta forma a cada parámetro le corresponde un determinado índice de estabilidad, resultado de la suma ponderada de los índices de cada factor asociado a este<sup>27</sup>. Las variables a tener en cuenta en este método son: material, erosión, relieve, sismo, drenaje, clima, cobertura, acción antrópica y usos del suelo.

Estos modelos se aplican a la zonificación mediante la implementación de sistemas de información geográfica (SIG), los cuales para cada método funcionan con una metodología diferente que permite dar un peso o valor diferente a cada variable o factor que se tienen en cuenta para llegar al mapa de zonificación de amenaza final.

#### **5.1.4. Sistemas de información geográfica (SIG).**

Los sistemas de información geográfica son muy útiles para resolver modelos que permitan zonificar las amenazas, debido a que permite el almacenamiento y manipulación de la información referente a los diferentes factores del terreno como capas de datos, cuando se utilizan técnicas de sistemas de información geográfica es importante que cada capa de información esté compuesta por un mismo tipo de elementos (Puntos, líneas o áreas y polígonos). A cada mapa o capa se le asigna una escala de valores y de acuerdo a un modelo que integre todas las variables se obtiene el mapa de amenazas, la recolección de los datos y su estructuración debe contener:

- Bases cartográficas homogéneas a una escala específica, en la cual los niveles climáticos dentro de la misma base deben ser coherentes

---

<sup>27</sup> RAMIREZ, F, GONZALEZ, A. Evaluación de estabilidad para zonas homogéneas. I Simposio suramericano de deslizamientos. Colombia, Paipa: 1989. p 174-192.

unos con otros, por ejemplo deben tener la misma escala de trabajo y el mismo sistema de proyección geográfica<sup>28</sup>.

- Estructuración de la información en niveles. Las bases de datos deben ser estructuradas por elementos temáticos independientes, cada uno de los cuales debe contener información que es homogénea, tanto en el contenido como en su origen. Se debe incluir la fuente de la información, la fecha y validez, la escala, y el sistema utilizado de coordenadas.

Por otro lado las ventajas de utilizar SIGs para la zonificación de amenazas de PRM son notorias puesto que se puede utilizar una mayor variedad de técnicas de análisis como se muestra en la Imagen 2, debido a la velocidad de los cálculos y a que las técnicas complejas requieren la superposición de un número grande de mapas y tablas, siendo así posible mejorar los modelos, evaluando los resultados y ajustando las variables de entrada. En ocasiones se utiliza un sistema de prueba y error, corriendo el modelo varias veces hasta obtener un resultado satisfactorio<sup>29</sup>.

Para la superposición de mapas, se utiliza el denominado álgebra de mapas el cual es un conjunto de operadores que transforma una serie de entradas de información (Input), en una serie de salidas (Output). Puesto que los operadores de álgebra de mapas toman una o varias capas de entrada y producen una capa de salida, el análisis SIG puede concebirse como una especie de mecano lógico mediante el cual diferentes piezas (operadores) se ensamblan formando análisis complejos que, en definitiva, constituyen nuevos macrooperadores<sup>30</sup>.

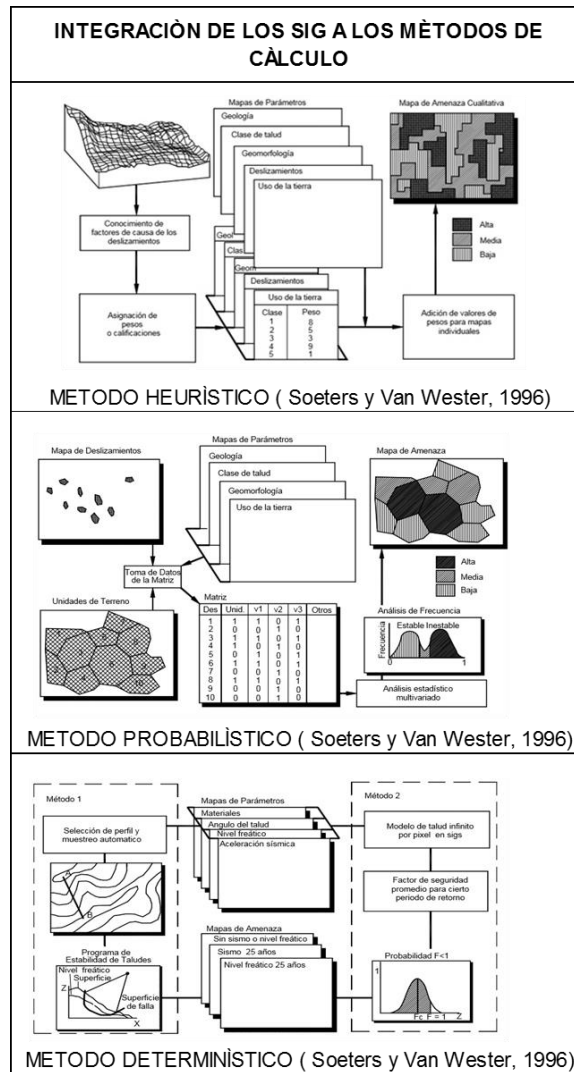
---

<sup>28</sup> SUAREZ, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Colombia. p. 363.

<sup>29</sup> SUAREZ, Jaime. Deslizamientos. Volumen I. Colombia. p. 549.

<sup>30</sup> ALONSO SARRÍA, Francisco. Sistemas de información geográfica. Universidad de Murcia. 2014. p.67.

Imagen 2. Integración de los SIG's a los métodos de cálculo.



Fuente: Deslizamientos. Volumen I. Jaime Suarez.

Como se puede evidenciar, los datos de entrada y de salida dependen del método a utilizar y de la importancia que se le asigne a cada una de las variables obteniendo como resultado el mapa de zonificación de un área determinada.

## 5.2. MARCO LEGAL

Colombia cuenta con un desarrollo normativo amplio, experimentado y sistemático para la gestión de los riesgos naturales reconocido en el ámbito latinoamericano, a través del tiempo se han implementado normativas que permiten hacer gestión del riesgo y zonificar la amenaza por remoción en masa a nivel nacional, donde la implementación y función de los POT son fundamentales como se estipula en la Ley 388 de 1997, la cual en su artículo N.10 menciona que en la elaboración y adopción de sus planes de ordenamiento territorial los municipios y distritos deberán tener en cuenta las determinantes relacionadas con la conservación y protección del medio ambiente, la prevención de amenazas, riesgos naturales y la delimitación del suelo urbano y de expansión urbana y protección de los recursos naturales y de conjuntos urbanos, históricos y culturales<sup>31</sup>.

Así mismo el Decreto 3600 de 2007 reglamenta las normativas referentes a las determinantes del ordenamiento del suelo rural y al desarrollo de intervenciones urbanísticas de parcelación y edificaciones en este tipo de suelo e indica los documentos requeridos para la licencia de parcelación en los cuales se incluye en las solicitudes de licencias de nuevas parcelaciones los estudios detallados de amenaza y riesgo por PRM e inundaciones, que permitan determinar la viabilidad del futuro desarrollo, siempre y cuando se garantice la mitigación de la amenaza y/o riesgo, donde deberá incluirse el diseño de las medidas de mitigación.

Adicionalmente, la Ley 1523 de 2012 adopta la política de gestión de riesgo de desastres orientado a la formulación y ejecución de planes y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo en el manejo de desastres con el propósito de contribuir a la seguridad, bienestar y calidad de

---

<sup>31</sup> MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Ley 388 de 1997.

vida de las personas; el análisis y evaluación del riesgo relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los efectos sociales, económicos y ambientales.<sup>32</sup>

De acuerdo a esto, se deben realizar los estudios básicos para la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los POT, como se reglamenta en el Decreto 1807 de 2014 donde se incluye la zonificación y delimitación de las áreas de amenaza la cual tiene una especificación de estudios básicos y condiciones técnicas para la elaboración de estudios detallados a realizar los cuales deben tener en cuenta el área de estudio, los insumos (geología, geomorfología, hidrogeología, drenaje, sismología, uso del suelo y topografía) y los productos de estos (mapas de zonificación); en cuanto a la incorporación de la gestión del riesgo en el componente urbano del municipio la asignación del régimen general de usos y tratamientos que se podrán desarrollar en las áreas con condición de amenaza, estableciendo las restricciones de usos, densidades, ocupación y edificabilidad que eviten la generación de situaciones de riesgo.<sup>33</sup>

Finalmente el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), establece en su título H los estudios geotécnicos definitivos y obligatorios para todas las edificaciones urbanas estableciendo los criterios básicos para realizar estudios geotécnicos de edificaciones, basados en la investigación del subsuelo y las características arquitectónicas y estructurales de las edificaciones con el fin de proveer las recomendaciones geotécnicas de diseño y construcción de excavaciones y rellenos, estructuras de contención, cimentaciones, rehabilitación o reforzamiento de edificaciones existentes y la definición de espectros de diseño sismorresistente, para soportar los efectos por sismos y por otras amenazas geotécnicas desfavorables.

---

<sup>32</sup> CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 1523 de 2012.

<sup>33</sup> MINISTERIO DE VIVIVENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 1807 de 2014.

La implementación y cumplimiento de la normativa mencionada reglamenta la inclusión de la zonificación de amenaza a la gestión del riesgo y al POT, ya que permite determinar qué zonas están expuestas a procesos de remoción en masa, además es una herramienta necesaria al momento de planificar y establecer el uso de suelo en un municipio que para efectos del trabajo de grado fue el casco urbano del municipio de San Francisco de Sales (Cundinamarca).

### **5.3. MARCO GEOGRÁFICO**

El municipio de San Francisco está ubicado en el departamento de Cundinamarca a 55 Km del Occidente de Bogotá D.C. pertenece a la provincia del Gualivá del departamento de Cundinamarca.

#### **5.3.1. Extensión del municipio.**

Cuenta con un área total de 118 Km<sup>2</sup> y sus tierras están comprendidas en los pisos térmicos templado, frío y piso bioclimático páramo bajo, presenta una temperatura media de 20 °C en la mayor parte del territorio<sup>34</sup>.

#### **5.3.2. Límites Municipales.**

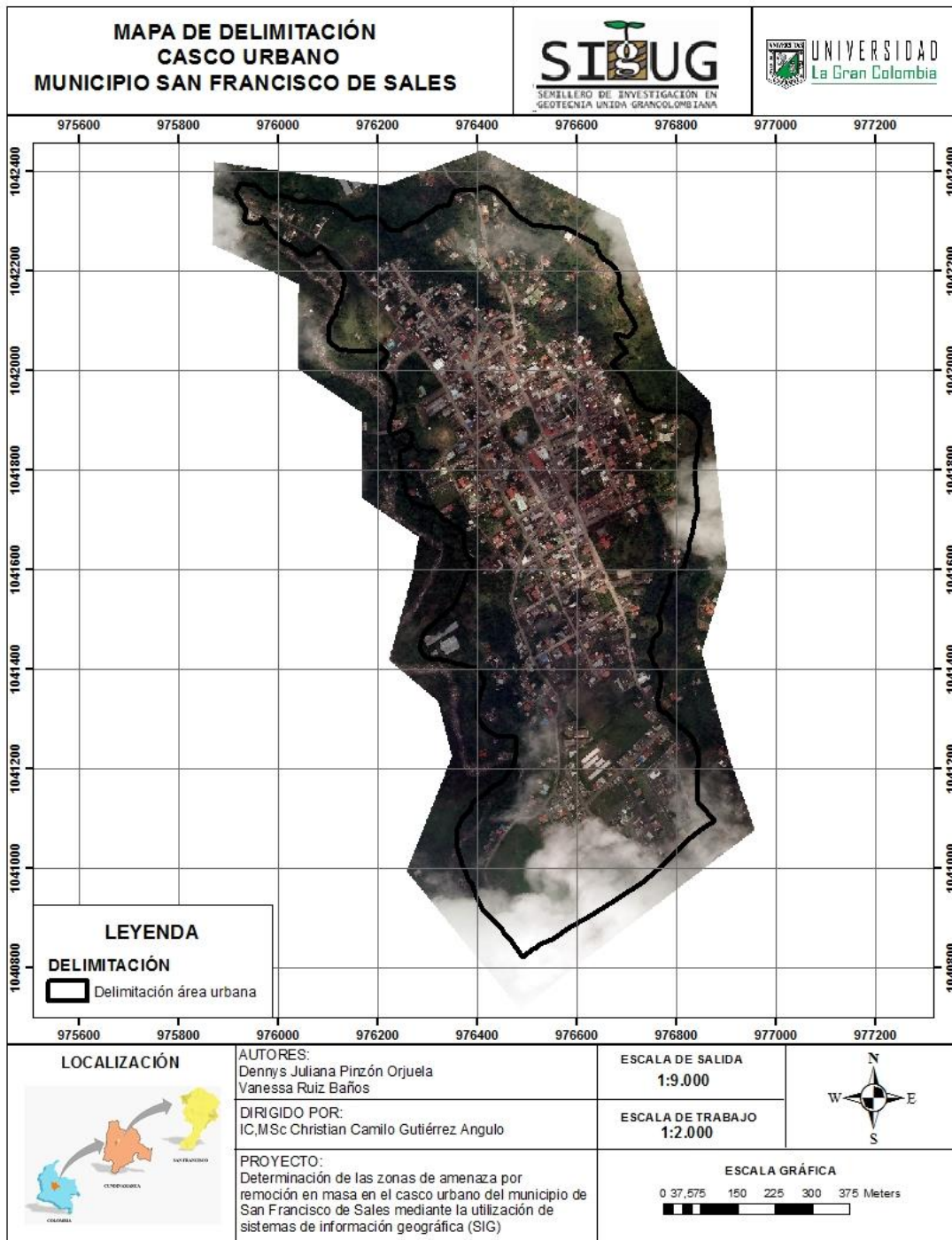
Limita al Norte con los municipios de La Vega y Supatá, al Oriente con Subachoque y El Rosal, al Sur con Facatativa y al occidente con La Vega; cuenta con diez veredas las cuales son: vereda Arrayan, El Peñon, Sabaneta, Juan de Vera, Pueblo Viejo, Tóriba, San Miguel, Muña, San Antonio y La Laja<sup>35</sup>, su ubicación y distribución se puede evidenciar en la Imagen3.

---

<sup>34</sup> ALCALDÍA MUNICIPAL DE SAN FRANCISCO DE SALES. Esquema de ordenamiento territorial (EOT). San Francisco de Sales, 1999. p 34.

<sup>35</sup> *Ibíd.* p. 34.

Imagen 3. Área urbana del municipio de San Francisco de Sales.



Fuente: propia.

## **6. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **6.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo de grado tiene un enfoque de carácter mixto, debido a que es de gran importancia conocer las zonas que presenten mayor amenaza a la comunidad del casco urbano del municipio de San Francisco mediante la zonificación de amenaza por PRM con la utilización de sistemas de información geográfica (SIG), el cual permite correlacionar diferentes variables dependiendo el método a utilizar para realizar la calificación de cada parámetro, llegando de este modo al mapa de zonificación de amenaza.

### **6.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Para efectos del presente trabajo, se realizó una investigación de tipo evaluativo debido a que entre sus objetivos se encuentra la caracterización de las variables incidentes en los procesos de remoción en masa en el casco urbano del municipio de San Francisco, esto se hizo en base a la calificación propuesta para cada una de dichas variables y así obtener el mapa final de amenaza por PRM, permitiendo tener un mejor estimado para el análisis de acciones destinadas a la prevención y mitigación del riesgo.

### **6.3. FASES DE LA INVESTIGACIÓN**

Las fases con las cuales se pretende desarrollar el presente trabajo de grado se presentan en la Tabla 6. Cada fase está relacionada con un objetivo específico y de este surgen las diferentes actividades que se realizaron para cumplir lo mencionado en el objetivo general de la investigación. Para el cumplimiento de cada actividad se requirió la utilización de diferentes herramientas e instrumentos los cuales se mencionan en el siguiente ítem.

**Tabla 6. Fases de la investigación.**

<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>FASE</b>	<b>ACTIVIDADES</b>
Caracterizar las variables incidentes en los procesos de remoción en masa, en el casco urbano del municipio.	Identificación de los diferentes factores que intervienen al momento de presentarse un proceso de remoción en masa.	Recopilación de la información.
		Visitas de campo.
		Selección de variables a utilizar.
Plantear escenarios de amenaza donde se evidencien las condiciones de susceptibilidad a las que se encuentra expuesta la zona de estudio.	Realización e identificación de los diferentes tipos de escenario de amenaza que se puedan presentar	Aplicación del método de análisis elegido
		Asignación de calificación a cada variable.
		Modelación de cada variable con su respectiva susceptibilidad
		Mapa de susceptibilidad final.
Elaborar el mapa de zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa del municipio.	Correlación de los diferentes mapas	Modelación de factores detonantes
		Mapa de zonificación por amenaza

*Fuente: propia.*

#### **6.4. INSTRUMENTOS**

- Análisis de documentos.

Debido a la información requerida para la investigación, se solicitó a la alcaldía municipal el EOT, el cual contiene información de las diferentes características del casco urbano del municipio. De este documento se extrajo el mapa de uso de suelo que posteriormente se confirmó en campo. Algunos datos como la extensión, límites y clima fueron de gran utilidad.

- Recorrido de campo.

Se realizó el recorrido en la totalidad del casco urbano del municipio de San Francisco, para conocer las situaciones y los escenarios en los que se encuentra el área de estudio. Este instrumento sirvió para corroborar lo observado en las fotografías aéreas suministradas por el Instituto Agustín

Codazzi (IGAC) y darle más grado de exactitud a los mapas de coberturas del suelo, relieve, uso del suelo, geomorfología y drenaje.

- Registro fotográfico.

Visualización de la zona de estudio para la identificación de las diferentes variables que eran necesarias para momento de realizar el análisis y la identificación de estas.

- Topografía de la zona de estudio.

Debido a la ausencia de información del municipio, la topografía de la zona de estudio se extrajo de Google Earth a escala 1:200, esta herramienta fue utilizada para la elaboración del mapa de relieve.

- Software de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

El software utilizado para el desarrollo del trabajo de grado fue ArcGis, con el cual se elaboraron los diferentes mapas temáticos obtenidos de la recopilación de información, con estos mapas se llegó a la susceptibilidad presente en el casco urbano y de esta forma se logró la elaboración del mapa de amenaza por procesos de remoción en masa del municipio.

## **7. METODOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA**

La zonificación de amenaza es una herramienta muy útil para la toma de decisiones, y consiste en dividir el terreno en áreas homogéneas y calificarlas de acuerdo al grado real o potencial de amenaza. Este proceso se lleva a cabo siguiendo diferentes metodologías, las cuales se aplican dependiendo el grado de precisión y el proyecto que se esté desarrollando.

Para la zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa del presente trabajo, se implementaron las siguientes metodologías:

### **7.1. SISTEMA SEMICUANTITATIVO DE EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD (SES)**

El sistema semicuantitativo de evaluación de estabilidad propuesto por Ramírez y adaptado por González<sup>36</sup> comprende principalmente la evaluación de ocho parámetros, donde cada uno de ellos es el resultado de diversos factores asociados según su naturaleza, donde para cada parámetro se fijan intervalos de variabilidad de acuerdo con su influencia en la estabilidad de las laderas. La combinación de los diferentes factores en cada parámetro y la suma de los puntos asignados a cada uno de ellos, da como resultado la “calificación de estabilidad” (CE) a partir de la cual se pueden definir diferentes niveles de amenaza, teniendo como resultado la suma ponderada de índices de cada factor asociado a este, dicho puntaje se relaciona en la Tabla 7.

---

<sup>36</sup> RAMIREZ, F, GONZALEZ, A. Evaluación de estabilidad para zonas homogéneas. I Simposio suramericano de deslizamientos. Colombia, Paipa: 1989. p 174-192.

**Tabla 7. Definiciones originales- SES**

PARÁMETRO	SIMBOLO	PUNTAJE	
		MÁXIMO	MÍNIMO
Material	<b>M</b>	70	1
Factor Antrópico	<b>A</b>	50	2
Relieve	<b>R</b>	36	7
Drenaje	<b>D</b>	35	6
Uso del suelo	<b>U</b>	25	3
Clima	<b>C</b>	40	3
Erosión	<b>E</b>	12	2
Sismo	<b>S</b>	22	0
<b>CALIFICACIÓN DE ESTABILIDAD</b>		<b>290</b>	<b>23</b>

*Fuente: Ramírez y González (1999)*

## **7.2. MÉTODO HEURÍSTICO DE ZONIFICACIÓN DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA**

El método heurístico se basa en el estudio conceptual de los procesos de ocurrencia de los movimientos en masa y requiere del análisis por parte de profesionales con conocimiento y experiencia tanto del área de estudio como de los procesos, en el análisis heurístico, el mapa de amenaza se realiza en base al conocimiento del profesional especializado, a través de fotointerpretación o trabajo de campo. La metodología se desarrolla con la asignación subjetiva de pesos o valores a los factores relevantes y a las subclases para obtener una suma de susceptibilidad a amenaza relativa.

En la evaluación de amenaza por PRM del presente proyecto, se utilizaron los criterios ya mencionados con algunas modificaciones las cuales consistieron en que los parámetros sismo y clima no se incluyeron en los criterios de calificación de susceptibilidad propuestos por la metodología SES, sino como factores detonantes ya que se consideran como parámetros condicionantes ante la ocurrencia de PRM; así mismo, los parámetros de erosión y factor antrópico se incluyeron dentro de dicha calificación. La metodología heurística se implementó para llevar a cabo la calificación de las variables de cada uno de los diferentes

parámetros, la cual tiene un puntaje de uno (1) a tres (3), siendo tres el puntaje de calificación más alto y uno el más bajo, tal y como se muestra en la Tabla 8.

**Tabla 8. Modificación Metodología del SES**

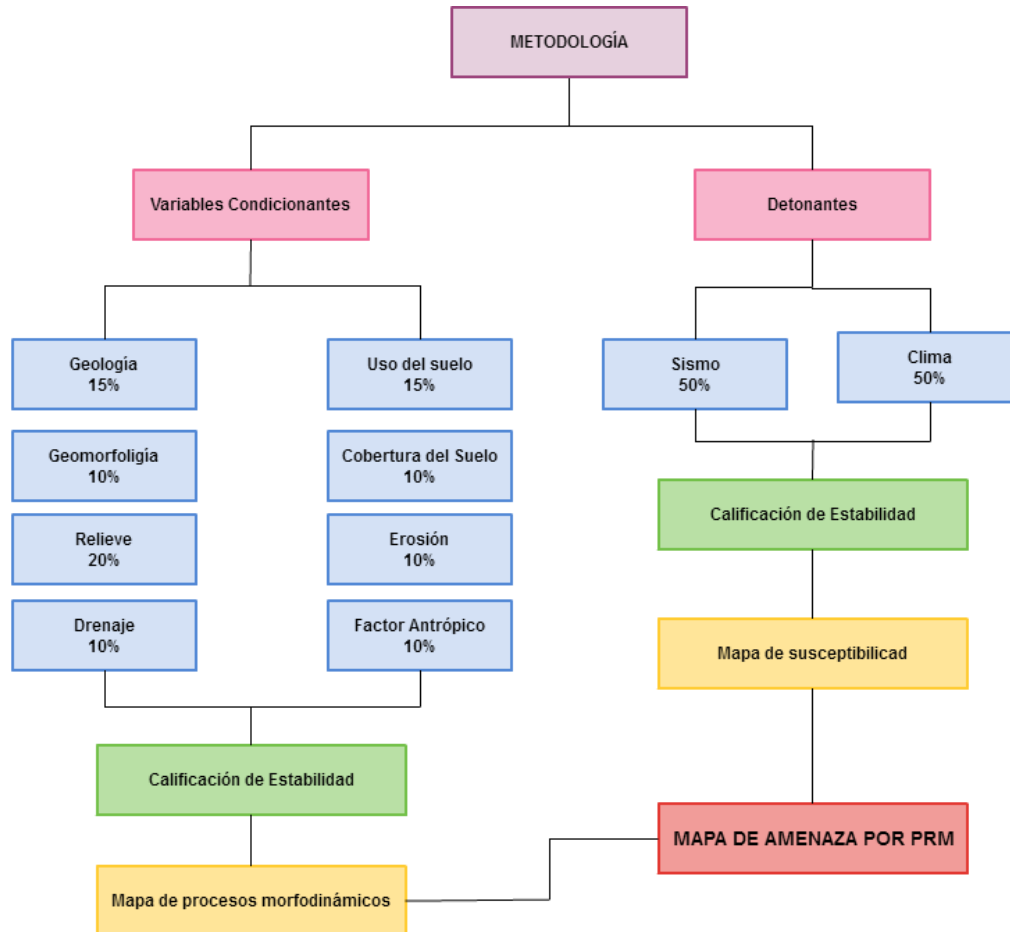
MODIFICACIÓN DE LA S.E.S			
PARÁMETRO	DETONANTES	PUNTAJE	
		MÁXIMO	MÍNIMO
Geología	Clima	3	1
Geomorfología			
Relieve			
Drenaje			
Erosión	Sismo	3	1
Factor Antrópico			
Uso del suelo			
Coberturas del suelo			

*Fuente: propia.*

En el análisis se plantearon ocho (8) mapas temáticos (mapa geológico, geomorfológico, relieve, drenaje, erosión, factor antrópico, uso del suelo y cobertura), que sumados a los factores detonantes (sismo y clima) son los que más influyen en la estabilidad de las laderas de acuerdo a la experiencia y a lo observado en las visitas de campo.

En la Imagen 4, se muestra el esquema metodológico general seguido para la elaboración del mapa de zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa en el cual se muestran los porcentajes asignados a cada parámetro, donde se indica el grado de importancia ante la ocurrencia de estos.

**Imagen 4. Diagrama de flujo, metodología implementada.**



**Fuente: propia.**

Cada uno de estos factores tiene un valor de importancia debido a que implica un grupo diferente de aspectos. La geología, se refiere al estudio de la Tierra y su comportamiento desde el punto de vista de los materiales que lo componen<sup>37</sup>, esta cumple un papel determinante en la predicción de PRM, por lo que se realizó un análisis mediante la determinación de las zonas con mayor probabilidad de ocurrencia de PRM, teniendo en cuenta la distribución espacial de las unidades geológicas superficiales

<sup>37</sup> CASTAÑO FERNÁNDEZ, SANTIAGO. Concepto y desarrollo histórico de la geología. Universidad de Salamanca. p. 197.

La geomorfología, que estudia las geoformas de la superficie terrestre y los procesos que las generan<sup>38</sup>, las cuales son generadas por diferentes procesos, determinando su morfología y estructura. Las zonas montañosas de Colombia presentan una alta variedad de formaciones geológicas en superficie y de suelos desarrollados a partir de esos materiales, los cuales son propensos a ser afectados por los factores antrópicos, esta situación conlleva a la formación de geoformas propensas a los PRM. El origen y la forma del relieve son factores que inciden en la estabilidad del terreno. El relieve, es una de las variables más usadas en la mayoría de las zonificaciones orientadas a susceptibilidad a procesos de remoción en masa, presentando las zonas más propensas a PRM.

El drenaje, representa las configuraciones de las redes hídricas que presentan ciertos arreglos geométricos o irregulares, que permiten relacionarlo con sus propiedades hidrológicas. Refleja la influencia de la geología, topografía, suelos y vegetación, en la cuenca hidrográfica que se encuentre en la zona de estudio. Así mismo, las coberturas presentan un efecto directo sobre los procesos erosivos, disminuyen la escorrentía superficial porque reducen la cantidad y la velocidad del movimiento del agua en zonas de alta pendiente, reduciendo en esta forma la probabilidad de deslizamientos y fallas superficiales.

De igual forma el uso del suelo, que hace referencia a las funciones que se desarrollan sobre aquellas cubiertas, es la calificación de todas las actividades realizadas por el hombre sobre la cobertura del suelo, con la intención de cambiarla o preservarla, para obtener productos y beneficios, tiene en cuenta características de interpretación fotogeológica como son: el tono, la textura y la forma. El factor antrópico influye sobre el uso del suelo, ya que es en el cual se proyecta la intervención del hombre sobre las condiciones iniciales de estabilidad del suelo, pudiendo llegar a generar procesos erosivos.

---

<sup>38</sup> IRIONDO, MARTÍN. Introducción a la geología. Argentina: 2006. p.213.

Cada uno de estos factores se ajustan a partir de la metodología a implementar, que para el presente trabajo de grado fue la metodología de tipo semicuantitativa y heurística, incluyendo tanto factores condicionantes como detonantes, la calificación porcentual de cada parámetro se realizó con la ayuda de la guía metodológica del Servicio Geológico Colombiano. Como se puede ver en el diagrama de flujo anterior, el parámetro de relieve obtuvo una calificación del 20% siendo el parámetro con mayor calificación debido a que se consideró que la inclinación de las laderas a lo largo de la zona de estudio son influyentes al momento de la ocurrencia de algún movimiento en masa. Seguido se encuentran los parámetros de geología y uso del suelo con un 15% para cada uno, estos son parámetros importantes en la evaluación de amenaza ya que muestran las unidades geológicas que se ubican en el municipio y como está distribuido el uso del suelo en el área de estudio.

Geomorfología, cobertura del suelo, erosión, drenaje y factor antrópico cada uno obtuvieron un valor porcentual del 10% ya que si bien son parámetros influyentes en los procesos de remoción en masa para efectos del proyecto no se consideró que merecían un valor mayor. Adicionalmente, se implementó una matriz de susceptibilidad que permitiera relacionar cada factor detonante con la susceptibilidad generada por los factores ya mencionados como se puede observar en la Tabla 9, dándole un valor de 50% a cada una de las variables, obteniendo como resultado los mapas de amenaza relativa por factores detonante.

**Tabla 9. Matriz para calificación de amenaza.**

SUSCEPTIBILIDAD	FACTOR DETONANTE		
	A	M	B
A	A	A	M
M	A	M	M
B	M	M	B

**Fuente: propia.**

## **8. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA**

### **8.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO**

Teniendo en cuenta que el objeto del trabajo es la zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa, se realizó la caracterización previa de los parámetros a tener en cuenta y se obtuvo una primera aproximación a las condiciones de amenaza presentes en el casco urbano del municipio de San Francisco. A continuación se presentan las características a nivel local del clima, relieve, hidrología, sismicidad, datos de cobertura y uso del suelo que posteriormente se implementaron en el estudio de amenaza.

#### **8.1.1. Clima.**

El clima es importante desde el punto de vista físico-biológico por su directa intervención en la evolución de los suelos y el paisaje<sup>39</sup>. Además por ser uno de los factores necesarios para la determinación de las amenazas naturales y desde el punto de vista socioeconómico por su influencia en la decisión de utilización de las tierras para determinados usos.

La localización geográfica del municipio en conjunto con la influencia que ejerce la Zona de Confluencia Intertropical destaca la existencia de áreas con muy alta pluviosidad y la presencia de un gradiente térmico vertical con muy poca variación. La primera temporada de lluvias inicia normalmente en el mes de febrero y se prolonga hasta finales de mayo y la segunda temporada de lluvias incluye el periodo de septiembre a noviembre, con una distribución anual de precipitación oscilando entre los 850 mm en sector suroccidental, 1000 mm hacia el sector suroriental y a medida que se va en dirección norte se incrementa hasta alcanzar los 2000 mm.

---

<sup>39</sup> ALCALDÍA MUNICIPAL DE SAN FRANCISCO DE SALES. Esquema de ordenamiento territorial (EOT). San Francisco de Sales, 1999. p. 51.

### **8.1.2. Relieve.**

El municipio presenta un relieve montañoso, destacándose entre los accidentes orográficos la Cuchilla del Tablazo, el Alto de Minas, la cordillera de La Laja, el cerro de Buenavista, cerro Camacho, Cuadrado y Consumo<sup>40</sup>, los cuales cuentan con una cobertura de bosque natural secundario, bosques plantados, rastrojos y pastos; estas zonas actualmente han tenido un alto grado de intervención antrópica lo que ha generado deforestación, contaminación ambiental, degradación del suelo, entre otros. Las pendientes con las que cuenta el casco urbano del municipio varían entre 0% y 75%

### **8.1.3. Hidrología.**

San Francisco, al encontrarse ubicado en la parte alta de la cuenca del río Negro en las coordenadas 1.030.000 y 1050.000 Norte y 970.000 y 985.000 Este, con una extensión de 118 Km<sup>2</sup>, cuenta con un alto potencial de recursos hídricos abundantes en cuanto a calidad y cantidad, que lo consolida como parte de la despensa hídrica de la región junto con los municipios de Supatá, Albán y La Vega<sup>41</sup>. La red hidrográfica del municipio está comprendida principalmente por las subcuencas de los ríos Cañas, San Miguel, Sabaneta, Tabacal y las quebradas Arrayán, Tóriba, el Peñon, Agua Clara y una serie de corrientes hídricas que se encuentran distribuidos por todo el municipio.

El casco urbano del municipio se encuentra ubicado en la parte media de la cuenca hidrográfica del río Negro ya que en este punto confluyen el río Cañas y la quebrada Tóriba, que recogen el mayor porcentaje de las corrientes hídricas de la parte alta del municipio, para luego unirse con el río San Miguel formando el río Tabacal.

---

<sup>40</sup> *Ibíd.* p. 100.

<sup>41</sup> *Ibíd.* p.77.

#### **8.1.4. Cobertura y usos del suelo.**

El uso del suelo hace referencia a las funciones que se desarrollan sobre aquellas cubiertas, es la calificación de todas las actividades realizadas por el hombre sobre la cobertura del suelo, de forma parcial o permanente, con la intención de cambiarla o preservarla, para obtener productos y beneficios<sup>42</sup>. El suelo urbano del municipio se caracteriza, por tener un predominio de lotes con baja densidad de construcción, seguido del uso residencial, comercial, institucional e industrial.

La gran mayoría del casco urbano corresponde a uso residencial, el cual está representado en construcciones habitacionales las cuales presentan una altura no mayor a 3 pisos<sup>43</sup>, por lo general presentan voladizos con pendientes en sus cubiertas. El uso comercial e institucional se localiza en la plaza principal caracterizándose por la prestación de servicios e intercambio de mercancías lo que corresponde a la actividad económica de la zona urbana. Las instituciones educativas de primaria, secundaria y colegios agrotécnicos se encuentran en diferentes sectores del casco urbano.

Las zonas de reserva ambiental se encuentran delimitadas por la quebrada Tóriba y el río Cañas, donde está prohibido realizar construcciones para así lograr la recuperación de estos predios y asegurar la protección de las corrientes de agua.

#### **8.1.5. Sismicidad Regional.**

El territorio colombiano está conformado por la confluencia de tres de las placas tectónicas que comprenden la superficie del planeta a nivel geológico:

- Placa del Caribe.
- Placa de Nazca.

---

<sup>42</sup> *Ibíd.* p. 115.

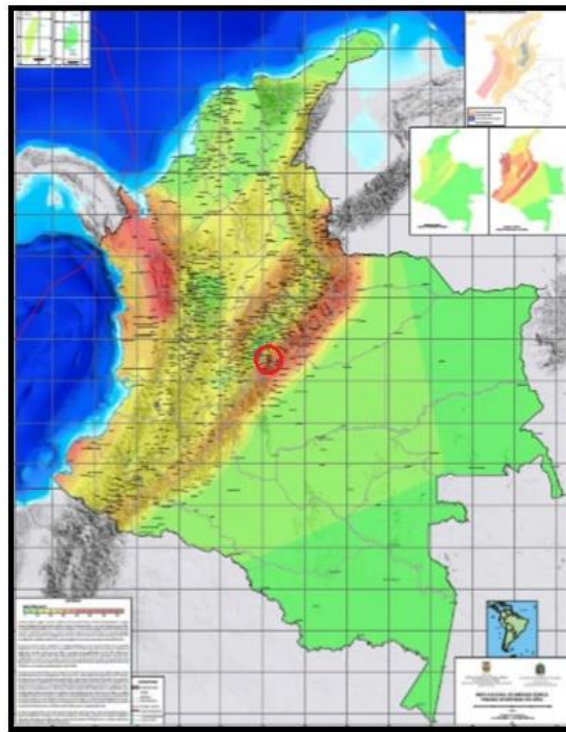
<sup>43</sup> *Ibíd.* p. 118.

- Placa Suramericana.

Estas placas se encuentran en constante dinamismo de forma tal que las placas del Caribe y de Nazca se encuentran enfrentadas y chocan directamente, en tanto que la de Suramérica se desplaza hacia el Oeste y sus bordes se desplazan por sobre la del Pacífico o de Nazca, lo que ha originado la Cordillera de los Andes.

Acorde a la información disponible en la página web del Servicio Geológico Colombiano y su Red Sismológica (RSNC), el municipio de San Francisco se encuentra en una zona de amenaza sísmica intermedia con un valor de PGA entre 100 y 150 cm/s<sup>2</sup>. Ver Imagen 5.

**Imagen 5. Mapa nacional de amenaza sísmica periodo de retorno 475 años.**

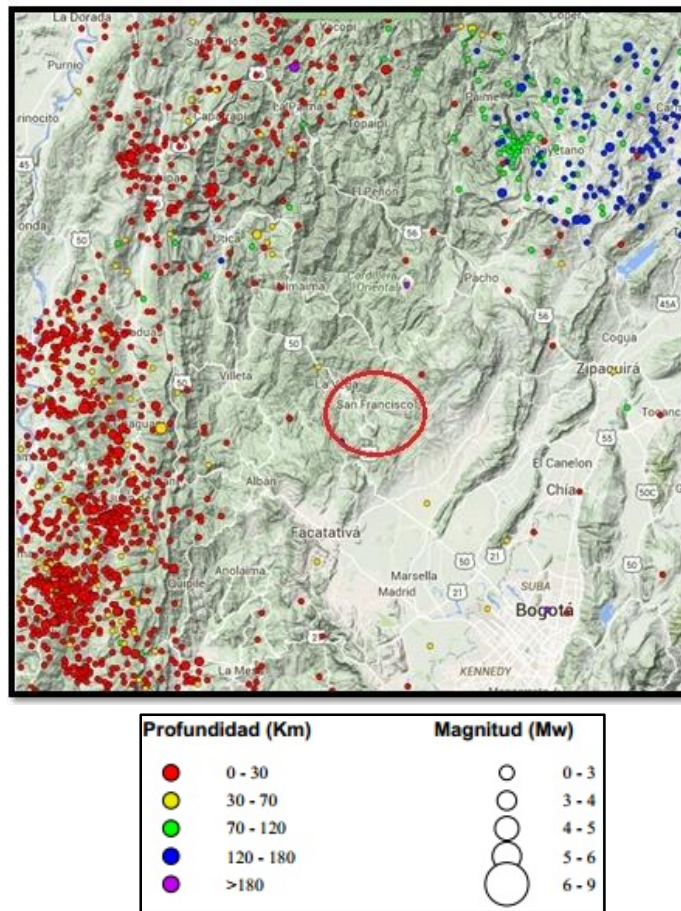


**Fuente: Servicio Geológico Colombiano.**

Se incluye un mapa sísmico de los alrededores del municipio de San Francisco (ver Imagen 6), donde se localizan los puntos en superficie de los sismos registrados en la red nacional desde el año 1993 hasta el año 2016.

Teniendo en cuenta la información adquirida por la Red Sismológica Nacional de Colombia sobre la ocurrencia de estos sismos<sup>44</sup>. Los sismos registrados por la Red Sismológica Nacional de Colombia a partir del año 1993 relacionan varios eventos que presentan una magnitud Mw desde 3 hasta 9. Se observa que en el municipio de San Francisco se ha presentado un sismo.

**Imagen 6. Sismicidad en los alrededores del municipio de San Francisco.**



**Francisco. Fuente: Red Sismológica Nacional de Colombia, 2016.**

<sup>44</sup> SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Red Sismológica Nacional de Colombia.

## **8.2. CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES PARA ZONIFICACIÓN DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA**

En este capítulo se presenta la información detallada de cada parámetro con cada una de las variables tenidas en cuenta para la calificación y por lo tanto su valor en porcentaje en la influencia de los procesos en masa.

### **8.2.1. Geología.**

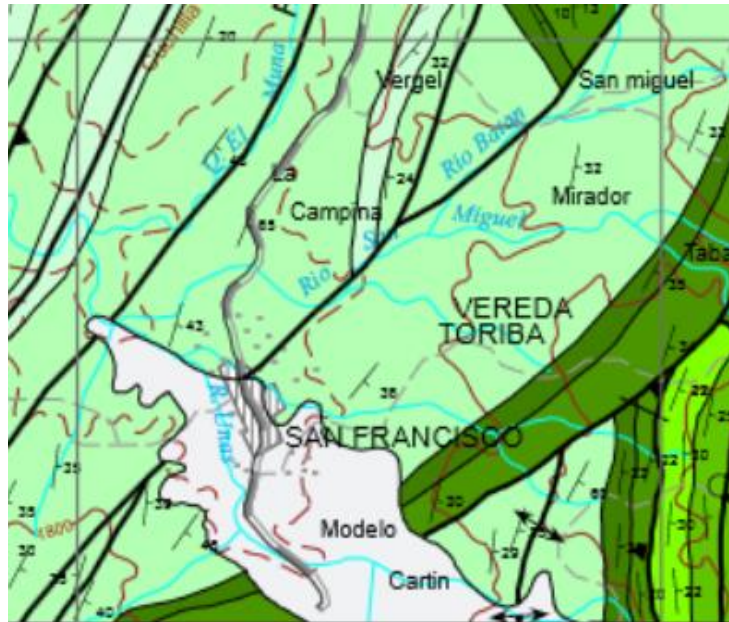
El sistema semicuantitativo de evaluación de estabilidad dentro de los parámetros de evaluación considera la geología como el parámetro de mayor incidencia en la estabilidad de una zona debido a que se debe tener en cuenta las características texturales y mineralógicas de los materiales ya que puede disminuir o aumentar la resistencia al corte llegando a generar procesos de remoción en masa. Su valoración en términos cualitativos se hace en función de la litología (roca, material intermedio y suelo).

- **Geología Regional.**

La cartografía geológica oficial que corresponde al municipio de San Francisco, fue publicada por INGEOMINAS en el año 2001, a escala 1:100.000, bajo el nombre de Plancha 208, "Villeta" (ver Imagen 7). El municipio está localizado en la parte suroriental de dicha plancha, y por el cual pasa la falla de Supatá siendo esta una falla de cabalgamiento con desplazamiento hacia el occidente de la carretera de Pacho teniendo un fuerte componente de rumbo con desplazamiento dextral. En el municipio afloran rocas sedimentarias y algunos depósitos Cuaternarios (Qal) que forman una variedad de geoformas, las edades de estas unidades estratigráficas pertenecen al Cretácico que van desde el Campaniano al Cenomaniano. Se encuentran las unidades geológicas de la formación Guadalupe superior donde predominan faises arenosas y esquistos arcillosos, la formación Guadalupe media, formación Villeta superior la cual

tiene presencia de lutitas negras y la formación Guaduas, la cual tiene predominio en areniscas y arcillas con intercalación de estratos de carbón<sup>45</sup>.

*Imagen 7. Ubicación de San Francisco en la plancha 208. "Villeta".*



*Fuente: INGEOMINAS, 1998.*

- **Geología Local**

A continuación se describen las unidades geológicas superficiales (UGS) que se encuentran dentro del límite urbano del municipio.

- **Depósitos Aluviales (Qa)**

Corresponde a depósitos de gravas, arenas y arcillas. Su forma es alargada y en algunos casos conforman terrazas con alturas variables. En el municipio lo encontramos en la mayor parte del casco urbano.

---

<sup>45</sup> ALCALDÍA MUNICIPAL DE SAN FRANCISCO DE SALES. Esquema de ordenamiento territorial (EOT). San Francisco de Sales, 1999. p. 84.

- **Formación Pacho (Kslp)**

Sucesión alternantes de Lodolitas y Limolitas con esporádicas capas de arenitas finas.

- **Formación Frontera (Ksf)**

Conformada por Lodolita calcárea con capas medias y delgadas de micrita, con concreciones de diferentes tamaños. Lodolita silíceo en capas delgadas. Lodolita y Limolita silíceo-calcárea en capas delgadas.

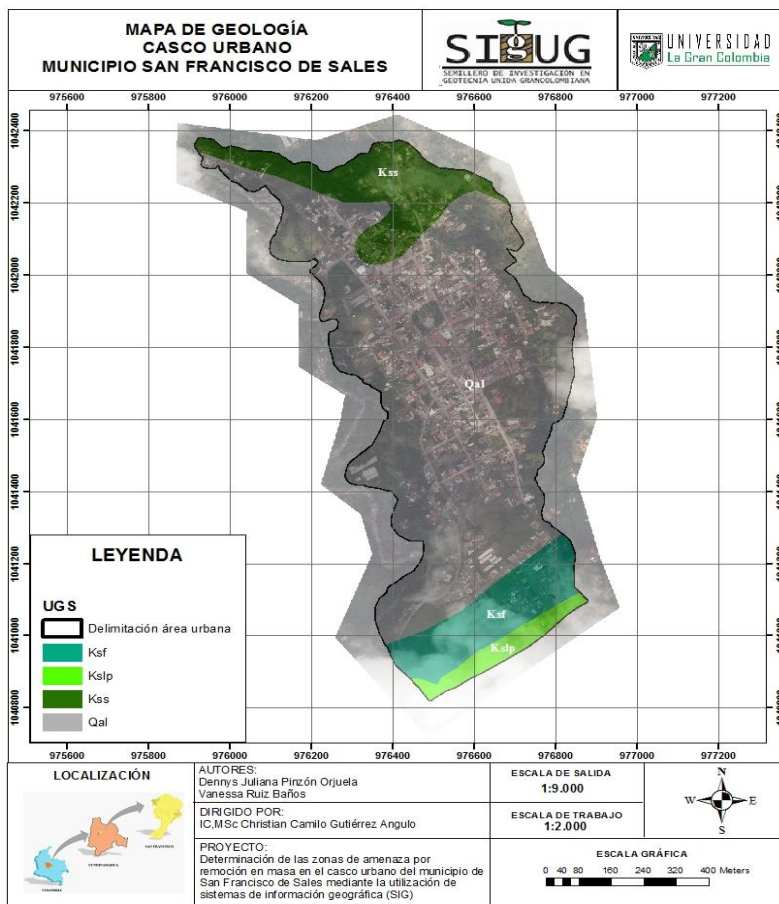
- **Formación Simijaca (Kss)**

Formación compuesta por Arcillolita y lodolita de negra a gris oscura, con esporádicas intercalaciones de arenitas de cuarzo de grano fino.

En la Imagen 8 se puede evidenciar el mapa geológico del casco urbano donde en la gran mayoría predominan los depósitos aluviales (Qal) los cuales corresponde a depósitos de gravas, arenas y arcillas, seguido de la formación Simijaca (Kss) donde se pueden encontrar Arcillolita y lodolita con esporádicas intercalaciones de arenitas de cuarzo de grano fino, por último la formación Frontera (Ksf) y formación Pacho (Kslp) se encuentran en menor proporción (ver Anexo1).

En la Tabla 10 se presentan los puntajes y calificación de susceptibilidad propuestos para cada variable; este parámetro se obtuvo a partir de la plancha N° 208 “Villeta” ajustando las unidades geológicas superficiales de nivel regional a nivel local.

**Imagen 8. Mapa de geología del casco urbano del municipio de San Francisco de Sales.**



*Fuente: propia.*

**Tabla 10. Puntaje y calificación de susceptibilidad. Parámetro de geología.**

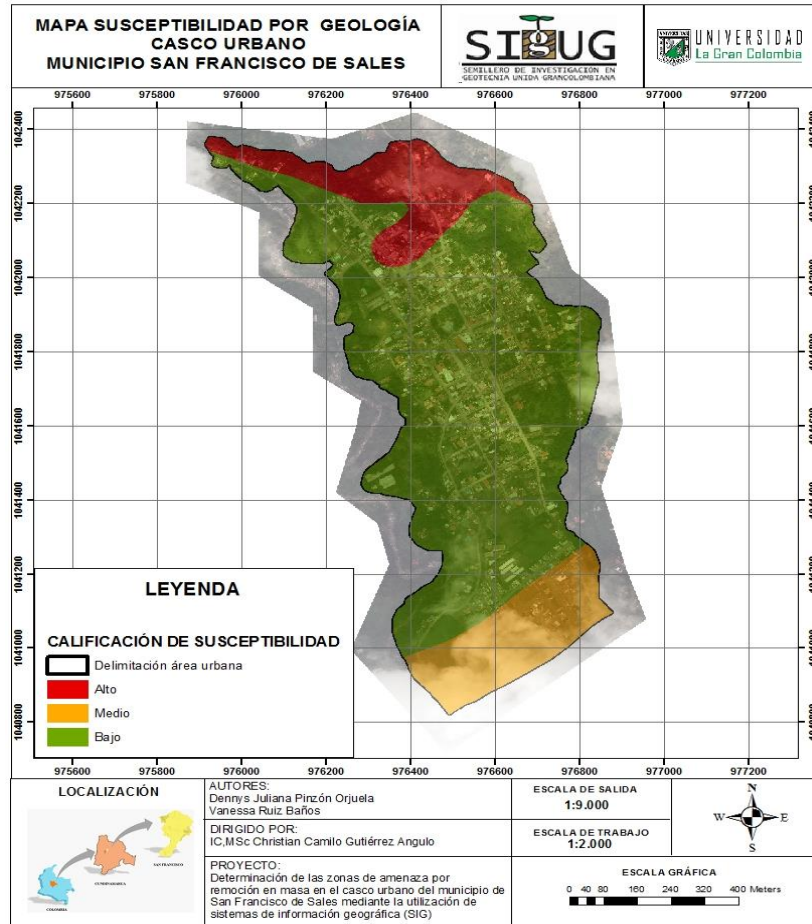
<b>GEOLOGÍA</b>	<b>PUNTAJE</b>	<b>CALIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD</b>
Formación Simijaca (Kss)	3	A
Formación Pacho (Kslp)	2	M
Formación Frontera (Ksf)		
Depósitos Aluviales (Qal)	1	B

*Fuente: propia.*

En la imagen 9 se relaciona el mapa de calificación de susceptibilidad el cual se evaluó en un área total de 68,55 hectáreas, de las cuales un 12% corresponden a formación Simijaca (Kss) con calificación alta debido a que los materiales presentes en esta, muestran parámetros bajos de resistencia,

la calificación media corresponde a un 13% obtenidos por la suma de formación Pacho y Frontera y en un último lugar se localizan los depósitos aluviales con un 75 % de clasificación baja lo que favorece la estabilidad en la zona urbana (ver Anexo 2).

**Imagen 9. Mapa de susceptibilidad por geología.**



**Fuente: propia.**

### 8.2.2. Geomorfología.

Se presenta la información morfológica y morfodinámica obtenida mediante la interpretación de imágenes satelitales y un control de campo para calibrar la información obtenida. Las principales geoformas encontradas en la zona de estudio se relacionan en la Tabla 11.

**Tabla 11. Geoformas presentes en el área de estudio.**

ORIGEN	UNIDAD (Relieve)	COMPONENTE	NOMENCLATURA
Denudacional	Laderas que varían su grado de pendiente	Laderas moderadas	DIm
		Laderas moderadas a empinadas	DIme
		Laderas suaves	DIs
Fluvial	Formas alargadas y planas depositadas por el cauce actual	Cauce actual	Fca
Antrópico	Explanaciones y rellenos antrópicos	Explanaciones indiferenciadas	Aei
		Cortes para vías	Acv

*Fuente: propia.*

Las unidades geomorfológicas identificadas en la zona de estudio están relacionadas con procesos morfogenéticos de tipo denudativo, fluvial y antrópico los cuales se describen a continuación:

- **Geoformas de origen denudacional (D)**

Se incluyen las geoformas cuya expresión morfológica está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial, además crean nuevas geoformas por acumulación de sedimentos.

- **Laderas moderadamente empinadas (DIme)**

Laderas alargadas definidas por una inclinación de moderada a empinada donde la pendiente dominante es mayor o igual al 75 %, tiene formas onduladas e irregulares, de longitudes largas y regularmente amplias, Fotografía 1.

**Fotografía 1. Morfología de ladera moderada a empinada.**



*Fuente: propia.*

- **Laderas moderas (DIm)**

Laderas alargadas definidas por una pendiente dominante que fluctúa en el rango del 25% a 75 % de forma ondulada e irregular y de longitudes largas, están ubicadas al Este del casco urbano del municipio. Ver Fotografía 2.

**Fotografía 2. Morfología de ladera moderada.**

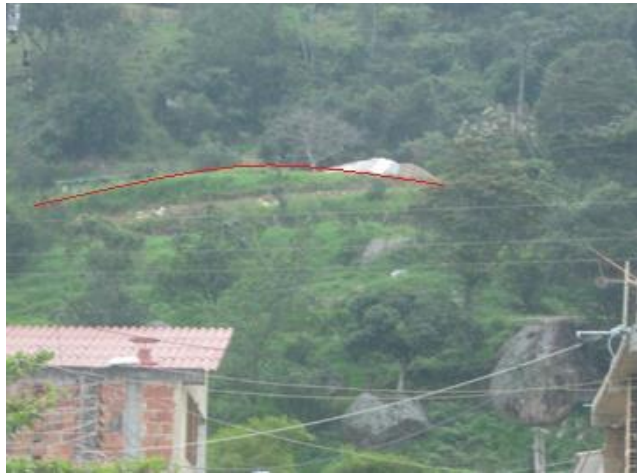


*Fuente: propia.*

- **Laderas Suaves (DIs)**

Corresponden a laderas planas a suavemente inclinadas con pendientes que van desde el 12 % a 25 %. En este tipo de elemento, generalmente no se presentan movimientos en masa, pero si represamiento de humedad. Fotografía 3.

*Fotografía 3. Morfología de ladera suave.*



*Fuente: propia.*

- **Geoformas de origen fluvial (F)**

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

- **Cauce actual (Fca)**

Canal de forma irregular excavado por corrientes permanentes y excedente del acueducto, dependiendo de factores como pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal, pueden persistir por grandes distancias. En este cauce el socavamiento se presenta en toda su longitud, ver Fotografía 4.

*Fotografía 4. Cauce actual que atraviesa el casco urbano.*



*Fuente: propia.*

- **Geoformas de origen antropogénico (A)**

Estas geoformas han sido generadas por la acción del hombre, sobre el relieve inicial, a favor o en contra de los procesos erosivos.

- **Excavaciones (Aei)**

Geoformas generadas a partir de excavaciones realizadas para construcciones de tipo residencial, comercial e industrial, por lo

tanto este tipo de geoforma es el que predomina en el área de estudio.

- **Corte de la vía (Acv)**

Cortes de laderas y adecuaciones de taludes para el desarrollo de las vías de infraestructura y desarrollo, ver Fotografía 5.

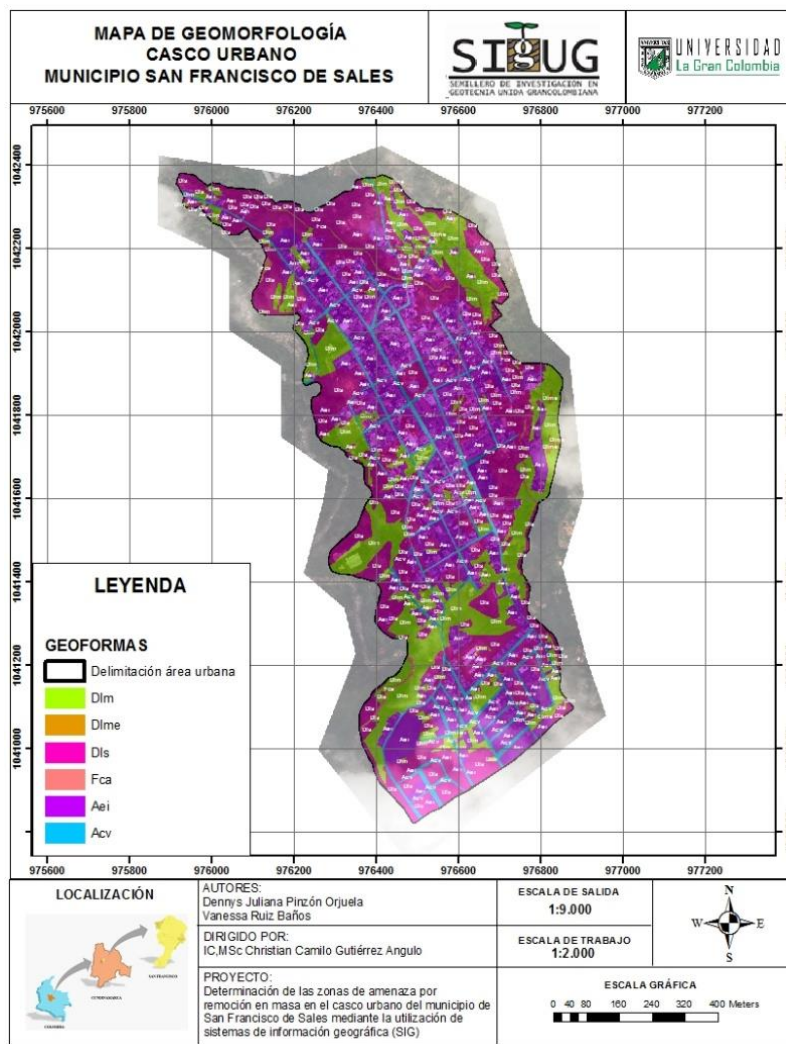
**Fotografía 5. Gaviones para estabilización.**



**Fuente: propia.**

En la Imagen 10 se muestra el mapa geomorfológico del área de estudio el cual contiene todos los componentes morfogenéticos encontrados en el casco urbano del municipio. En la Tabla 12 se presentan los puntajes de calificación propuestos para la geomorfología, este parámetro se obtuvo por medio de la interpretación de la cartografía e identificando que tipo de suelo se encontraba en la zona (ver Anexo 3).

Imagen 10. Mapa geomorfológico del casco urbano del municipio de San Francisco de Sales.



Fuente: propia.

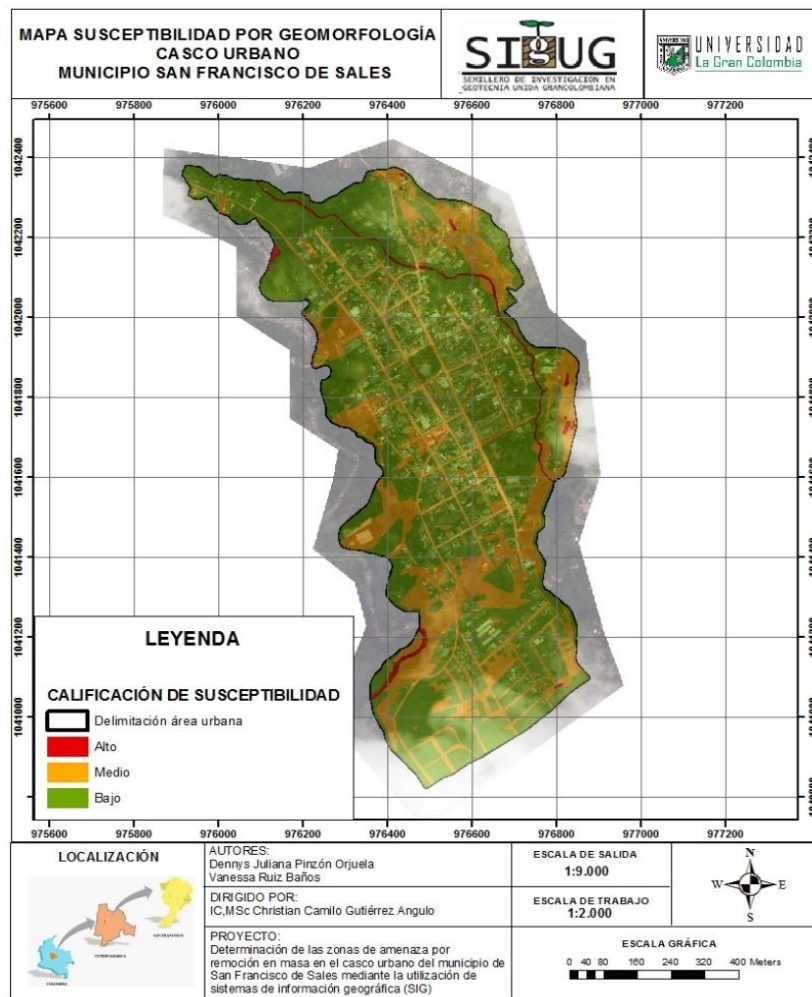
Tabla 12. Puntajes y calificación de susceptibilidad, parámetro geomorfología.

GEOMORFOLOGÍA	PUNTAJE	CALIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD
Cauce actual (Fca)	3	A
Laderas empinadas (DIme)		
Cortes para vías Acv	2	M
Laderas moderadas (DIm)		
Explanaciones indiferenciadas (AeI)	1	B
Laderas suaves (DIs)		

Fuente: propia.

En la Imagen 11 se puede observar el mapa de susceptibilidad en el cual se puede evidenciar que el 0,9% de la zona urbana del municipio presenta una susceptibilidad alta, correspondiendo a los cauces actuales y a las zonas donde se localizan laderas moderadamente empinadas, el 32,9% con una calificación media se encuentran los cortes para vías y las laderas con una inclinación moderada y por último el 67,4% del área de estudio obtuvo una calificación baja correspondiéndole las explanaciones diferenciales y las laderas suaves (ver Anexo 4).

**Imagen 11. Mapa de Susceptibilidad por geomorfología.**



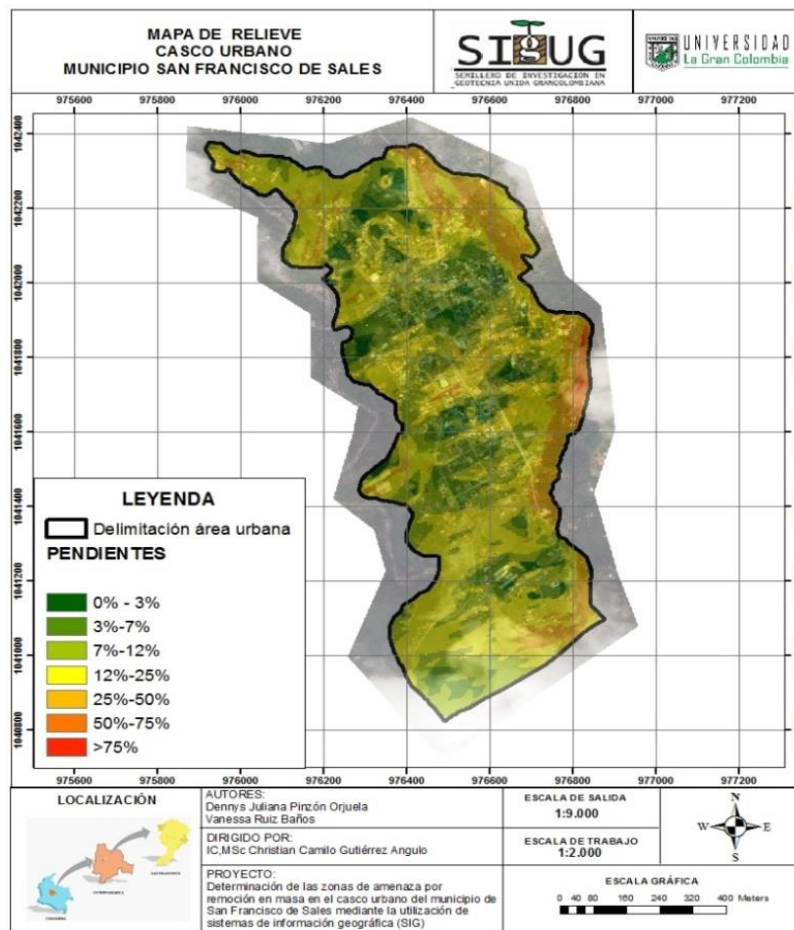
**Fuente: propia.**

### **8.2.3. Relieve.**

La condición de estabilidad de una ladera está asociada en términos de relieve a los procesos morfodinámicos actuantes sobre ellas, por lo tanto la pendiente de las laderas es un factor primordial en la evaluación de la estabilidad de las mismas. En la Imagen 12 se puede observar el mapa de pendientes de la zona urbana en el que se puede evidenciar que las pendientes predominantes fluctúan en un rango del 0% al 25% esto significa que el casco urbano en su gran mayoría se encuentra en una calificación de susceptibilidad de baja a media (ver Anexo 5).

Sin embargo las pendientes de mayor inclinación se localizan al Este del municipio, lo cual se evidencio en la visita de campo realizada, encontrando que las laderas con un porcentaje de inclinación entre 25% y 75% se encuentran ubicadas muy cerca de las viviendas, cabe mencionar que según información suministrada por la comunidad en el año 2004 se presentó un moderado movimiento en masa dejando dos vivienda afectadas.

**Imagen 12. Mapa de relieve del casco urbano del municipio de San Francisco de Sales.**



**Fuente: propia**

En la Tabla 13 se presentan los puntajes de calificación propuestos para las variables comprendidas en el parámetro de relieve.

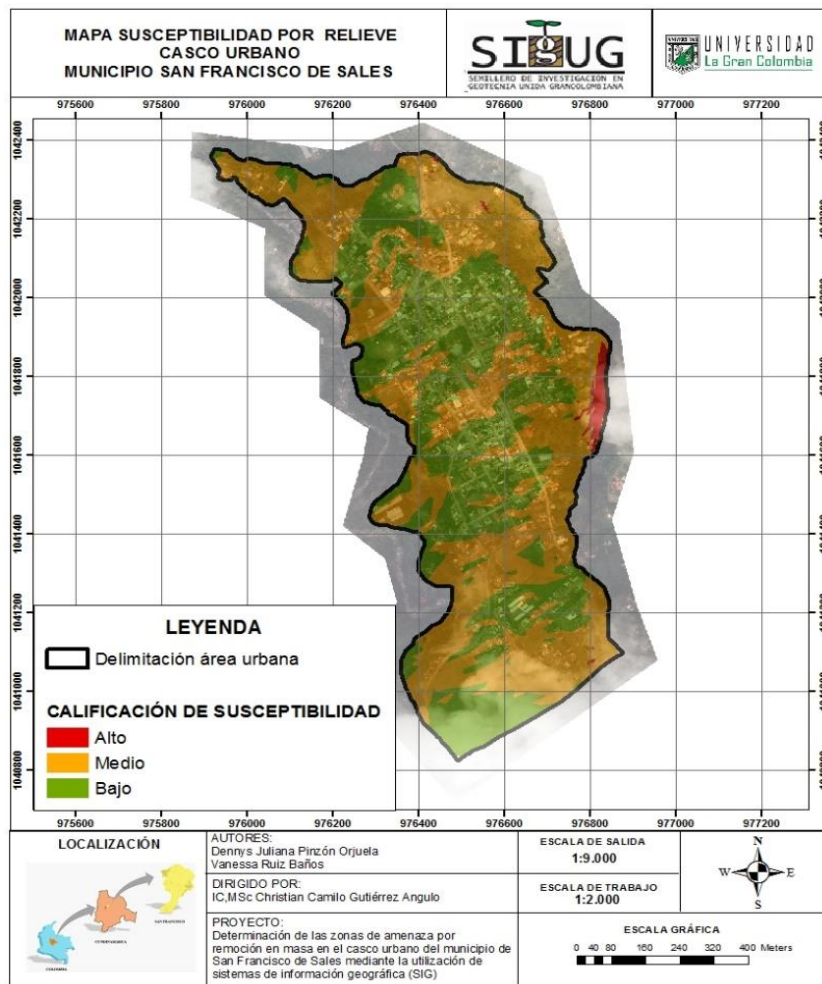
**Tabla 13. Niveles de estabilidad para el parámetro relieve.**

PENDIENTE (%)	PUNTAJE	CALIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD
> 75	3	A
50 - 75		
25 - 50	2	M
12 - 25		
7 - 12	1	B
3 - 7		
0 - 3		

**Fuente: propia.**

En la Imagen 13 se relaciona el mapa de susceptibilidad donde se evidencio que el 46,9% del área urbana tiene una calificación baja correspondiendo a las pendientes comprendidas entre el 0° a 5.4°, las pendientes predominantes en la zona de estudio fluctúan en un rango de 5.4 ° a 22.5° , a estas le corresponden el 52,2% del total de la zona, en un último lugar se encontró que las laderas con una inclinación mayor o igual a 22.5° se encuentran en menor proporción con un 0,9% sin embargo son las principales causantes de cualquier movimiento en masa (Ver Anexo 6). Este parámetro se obtuvo a partir de la extracción de las curvas de nivel de Google Earth a escala 1:2000.

**Imagen 13. Mapa de susceptibilidad por relieve.**

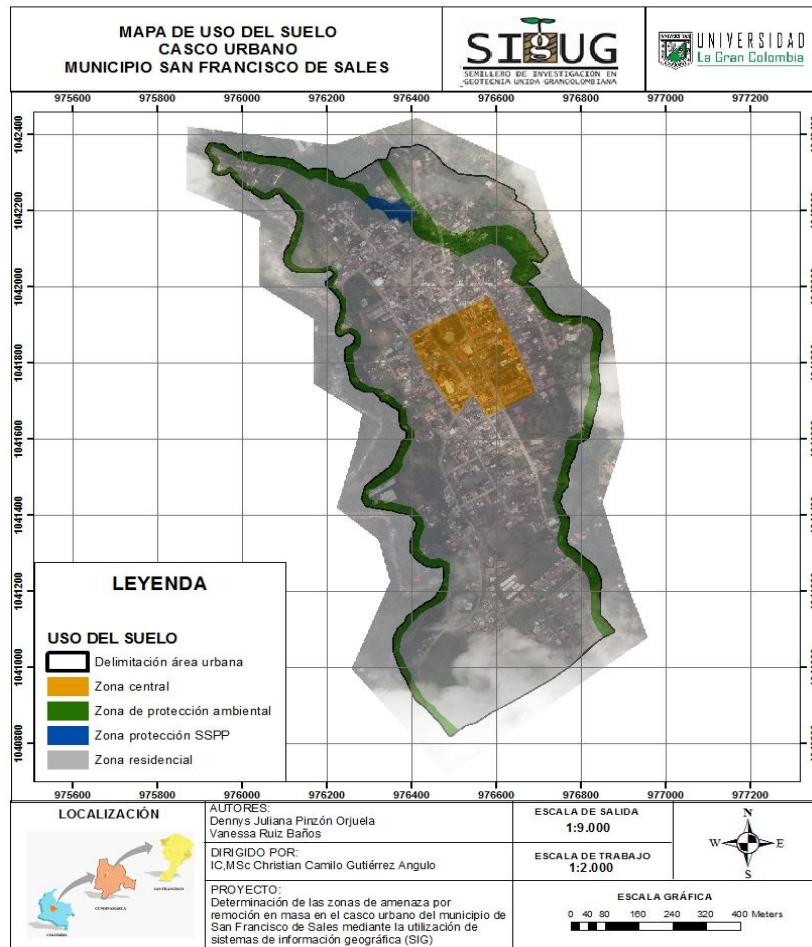


**Fuente: propia.**

### 8.2.4. Usos del suelo.

En este contexto la calificación de susceptibilidad se efectúa para zonas de protección ambiental, servicios públicos (SSPP), residencial y zona central comercial. Como se muestra en la Imagen 14 para la zona residencial se tuvo en cuenta las vías, la recolección de aguas sanitarias, cortes y rellenos, lo que indica que la gran mayoría del área de estudio está representada en construcciones habitacionales, sin embargo la zona central se tomó en cuenta como otra variable debido a que allí es donde se concentra la mayor productividad comercial e institucional del municipio donde se puede encontrar la iglesia, el coliseo, colegios, almacenes de ropa y calzado, restaurantes, entre otros mercados (Ver Anexo 7).

**Imagen 14. Mapa de usos del suelo del casco urbano del municipio de San Francisco de Sales.**



**Fuente: propia.**

Este parámetro se obtuvo a partir de información suministrada por la Alcaldía municipal de San Francisco de Sales. En la Tabla 14 se presentan los puntajes y clasificación de susceptibilidad para uso del suelo.

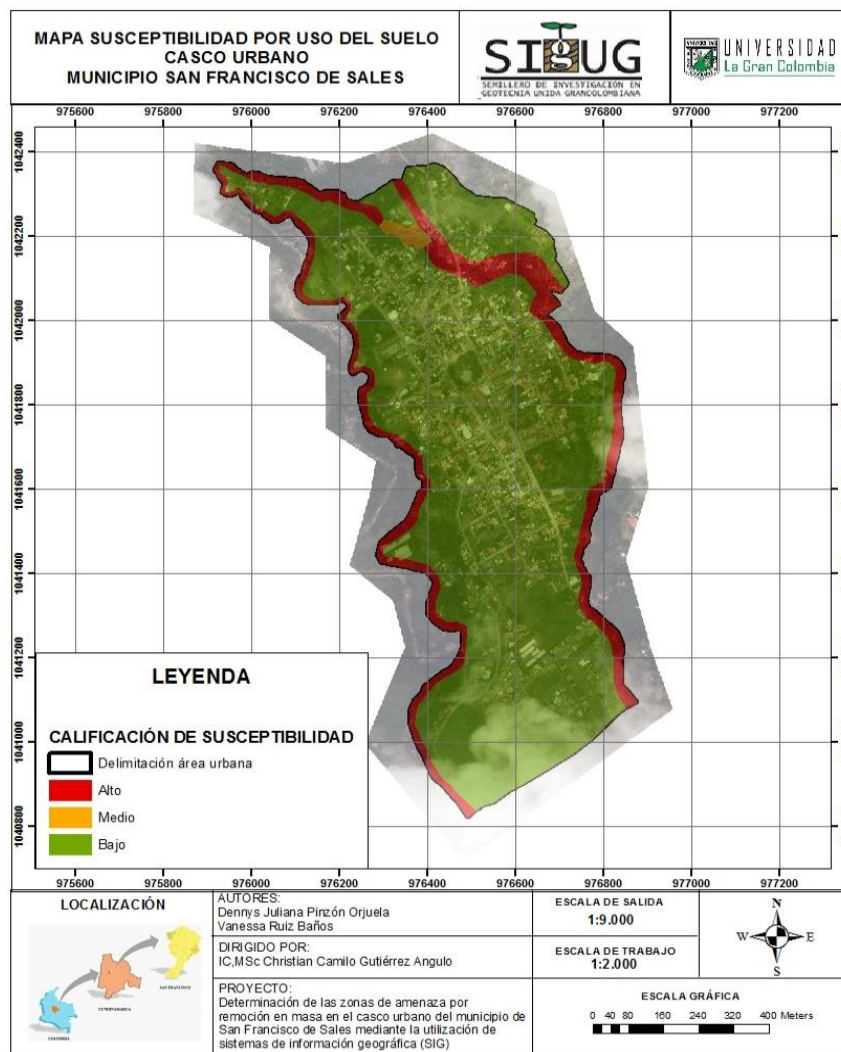
**Tabla 14. Puntaje y clasificación de susceptibilidad, parámetro de uso del suelo.**

USOS DEL SUELO	PUNTAJE	CALIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD
Zona de protección ambiental	3	A
Zona de protección SSPP	2	M
Zona residencial	1	B
Zona Central		

**Fuente: propia.**

La zona de servicios públicos se encuentra en menor proporción ya que solo se localiza el acueducto sin embargo es una zona propicia a la ocurrencia de movimientos por lo tanto tiene una calificación media con el 0,7% como se muestra en la Imagen 15 en la cual se relaciona el mapa de susceptibilidad, la zona de protección ambiental se localiza con una calificación alta de susceptibilidad con el 13,2% ya que solo no se encuentra alrededor del casco urbano sino también dentro de este, lo que aumenta el riesgo de erosión y con un 86,1 % de calificación baja se encuentran la zona residencial y central (ver Anexo 8).

**Imagen 15. Mapa de susceptibilidad por usos del suelo.**



**Fuente: propia.**

### 8.2.5. Cobertura del suelo.

La cobertura del suelo se constituye como factor determinante en las condiciones de estabilidad de una ladera, particularmente en lo referente al control de la erosión e infiltración de aguas de escorrentía. Para el trabajo que se desarrolló se consideró que las zonas duras generan áreas impermeables o semipermeables dependiendo si la cobertura impide el paso del agua a los estratos inferiores lo cual es favorable a la estabilidad. Sin embargo como se puede evidenciar en el mapa alrededor de la zona de

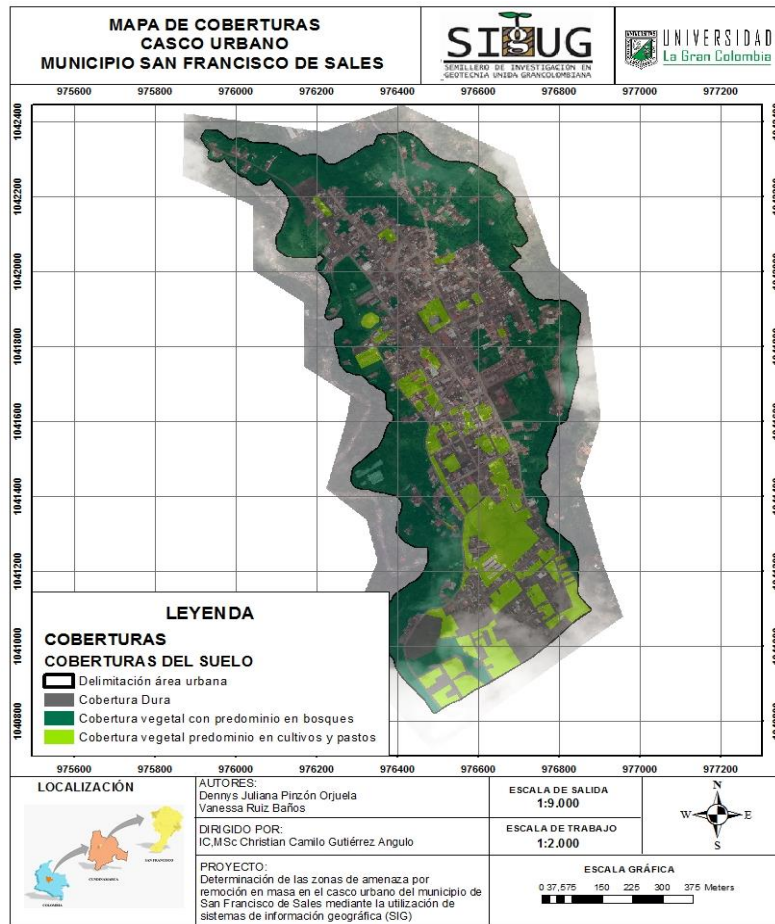
estudio se localiza cobertura vegetal con predominio en bosques la cual si permite el paso del agua con facilidad lo que genera un mayor riesgo a la ocurrencia de procesos ya que también es donde se localizan las pendientes de mayor inclinación. Este parámetro se obtuvo a partir de la interpretación de las fotografías aéreas proporcionadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) la cual corresponde a la Fotografía 6 y posteriormente corroboradas en la visita de campo. En la Imagen 16 se relaciona el mapa de coberturas para el casco urbano del municipio de San Francisco (ver Anexo 9).

**Fotografía 6. Fotografía aérea del casco urbano del municipio de San Francisco.**



**Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)**

**Imagen 16. Mapa de coberturas del suelo en el casco urbano del municipio de San Francisco de Sales.**



**Fuente: propia.**

En la Tabla 15 se presentan los puntajes de calificación de susceptibilidad asignados para el factor cobertura del suelo.

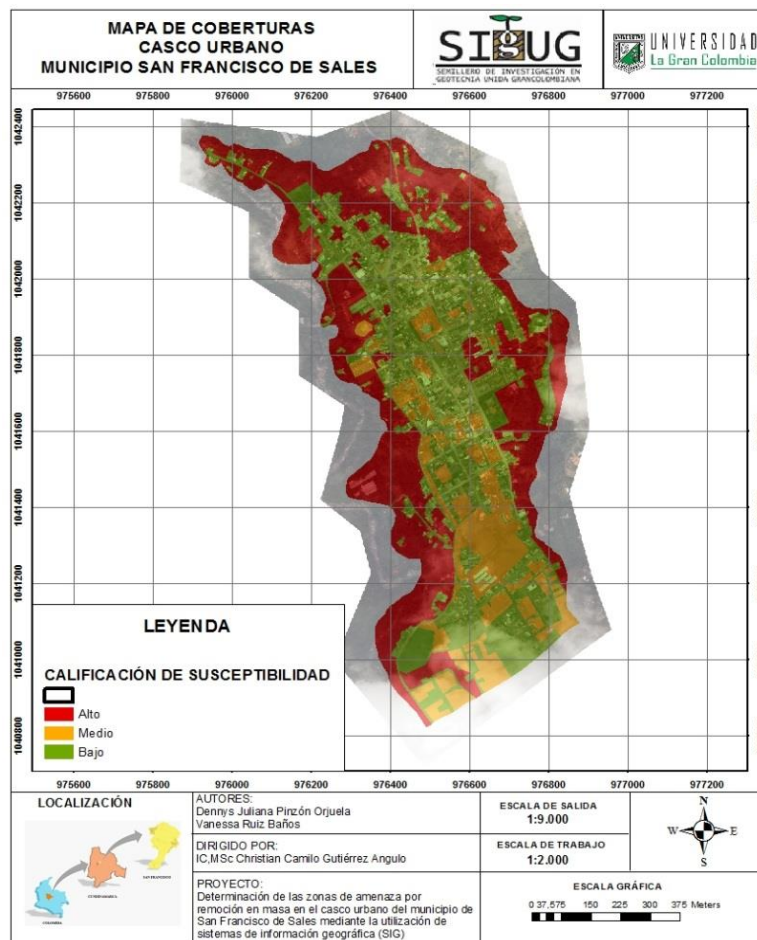
**Tabla 15. Puntaje y calificación de susceptibilidad, parámetro cobertura.**

COBERTURA	PUNTAJE	CALIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD
Cobertura vegetal con predominio de bosques en áreas de expansión	3	A
Cobertura vegetal con predominio de cultivos permanentes, pastos o cultivos	2	M
Cobertura dura	1	B

**Fuente: propia.**

Como se puede observar en la Imagen 17, las zonas donde se localizan vías, viviendas, zona de servicios públicos, entre otras, se le otorgo un puntaje bajo de calificación ya que son áreas donde no se han presentado situaciones de erosión o donde se evidencie riesgo alguno lo cual corresponde a un 46,8% del total de la zona de estudio, por el contrario las zonas con cobertura vegetal con predominio de bosques se considera como la variable con mayor afectación en la estabilidad debido a que permiten una mayor entrada de agua y se encuentra muy cerca de las viviendas esta cuenta con el 40,7%, y por ultimo las zonas verdes de tipo pastos y cultivos permanentes le corresponde el restante de la zona con el 12,5 % (ver Anexo 10).

**Imagen 17. Mapa de susceptibilidad por coberturas del suelo.**



**Fuente: propia.**

### **8.2.6. Drenaje.**

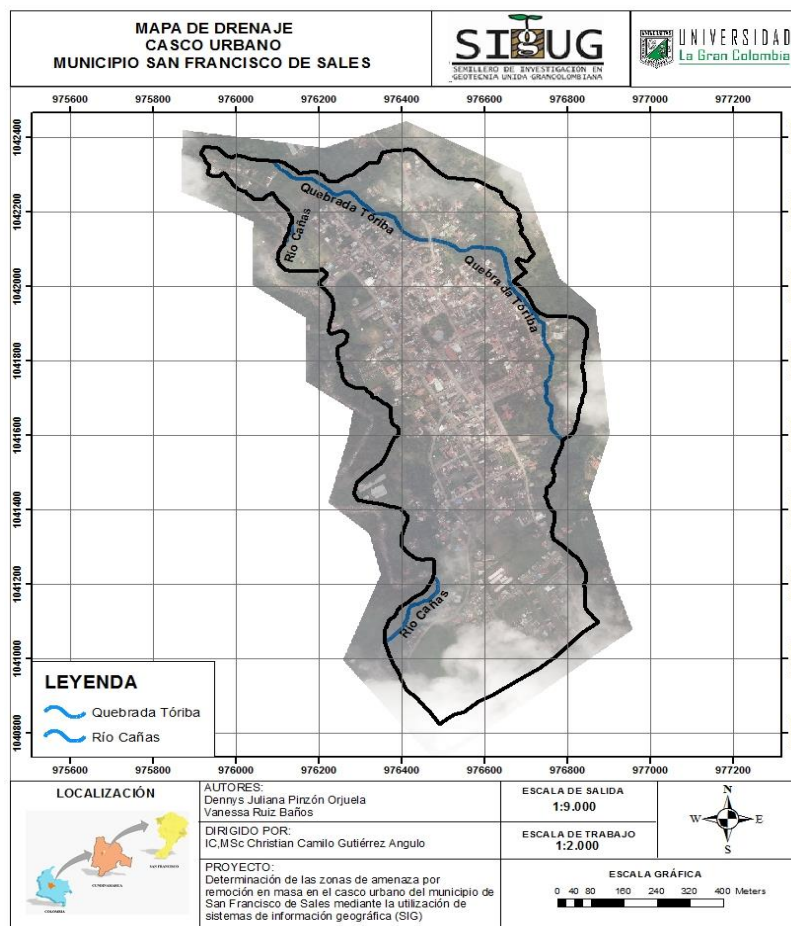
En la Imagen 18 se relaciona el mapa de drenajes en el cual se puede identificar dos cauces, el primero es el río Cañas el cual hace influencia en la parte suroccidental de la zona urbana del municipio, el segundo es la quebrada Tóriba que como se indica en la imagen es el cauce que tiene mayor influencia ya que atraviesa gran parte de la zona de estudio y además se ubica muy cerca de las viviendas, dicha información se logró comprobar con la visita de campo y la cual también se puede evidenciar en la Fotografía 7 (ver Anexo 11).

*Fotografía 7. Quebrada Tóriba en la parte norte y sur del casco urbano.*



*Fuente: propia.*

Imagen 18. Mapa de drenaje del casco urbano del municipio de San Francisco de Sales.



Fuente: propia.

En la Tabla 16 se relacionan los puntajes y la calificación de susceptibilidad que se propusieron, este parámetro se obtuvo a partir de la interpretación de las fotografías aéreas y el recorrido en campo.

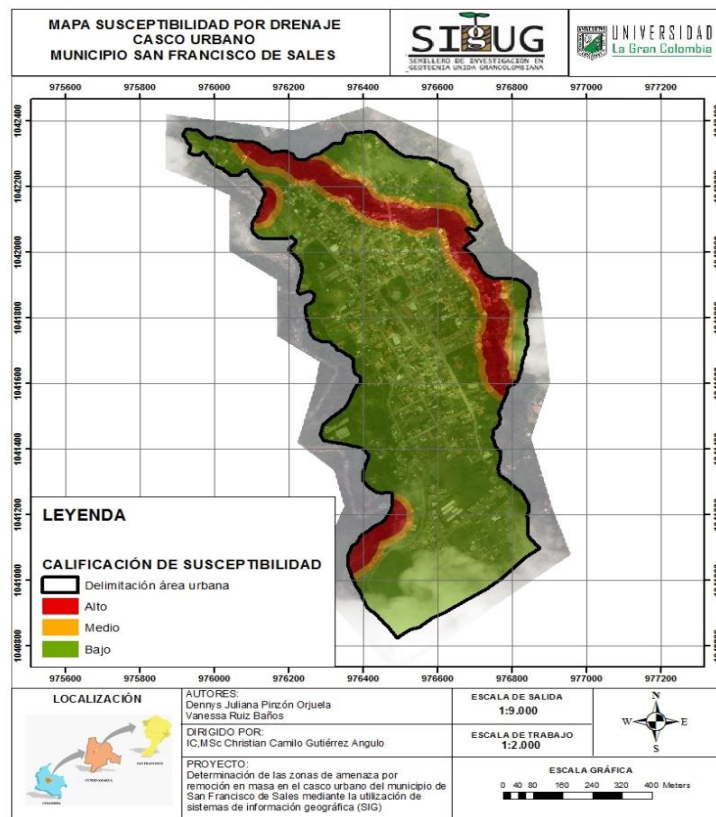
Tabla 16. Puntaje y calificación de susceptibilidad, parámetro de drenaje.

DRENAJE		PUNTAJE	CALIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD
Río Cañas	30 m de afectación	3	A
	50 m de afectación	2	M
	> 50 m de afectación	1	B
Quebrada Tóriba	30 m de afectación	3	A
	50 m de afectación	2	M
	> 50 m de afectación	1	B

Fuente: propia.

El parámetro de drenaje se evalúa para este trabajo mediante la densidad de drenaje referida a la afectación que cada cauce tiene sobre cierta cantidad de área, dicha afectación se considerara alta en los primeros 30 m a cada lado del cauce y una afectación media para los 20 m siguientes, el área restante se considera de calificación baja, tal como se muestra en la Imagen 19 (ver Anexo 12).

**Imagen 19. Mapa de susceptibilidad por drenaje.**



**Fuente: propia.**

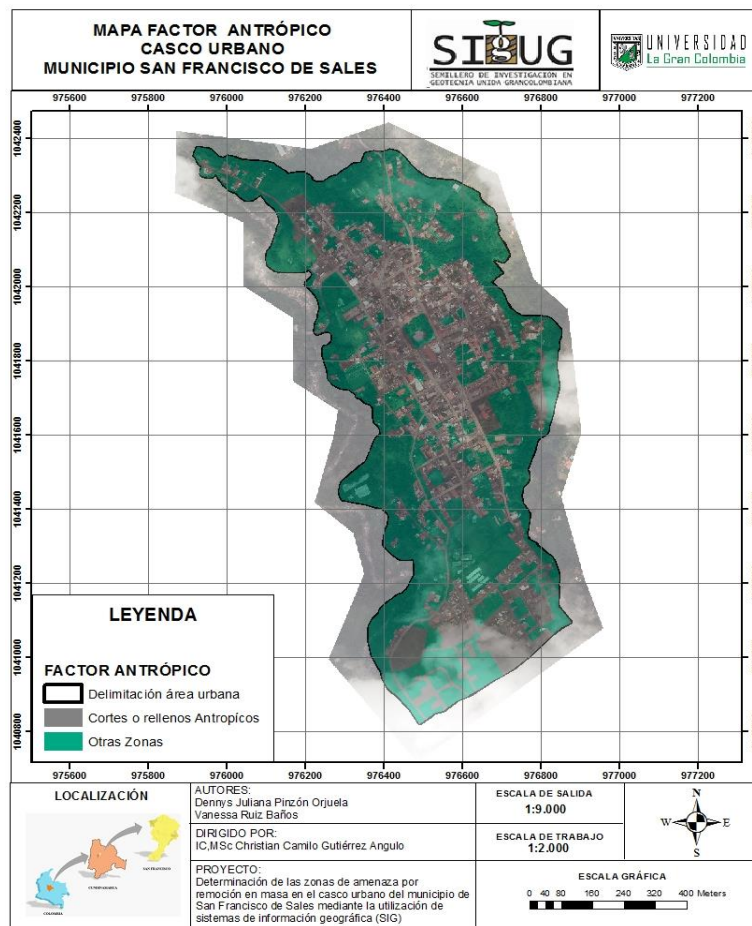
### 8.2.7. Factor antrópico.

La intervención del hombre genera modificaciones sobre el medio físico que en general son contribuyentes a procesos de inestabilidad del terreno; para esta evaluación se consideraron las principales actividades observadas en la zona de estudio, las principales actividades que se han involucrado en la evaluación son:

- Zonas de corte y de relleno.
- Otras Zonas.

En la Imagen 20 se relaciona el mapa de factor antrópico donde se puede observar que las zonas de corte o rellenos comprenden la zona construida y las otras zonas hacen referencia a áreas de bosque, zonas donde se localizan pendientes con una inclinación mayor al 25% (ver Anexo 13).

**Imagen 20. Mapa factor antrópico del casco urbano de San Francisco.**



**Fuente: propia.**

En la Tabla 17 se presentan las variables que se tuvieron en cuenta para la calificación de susceptibilidad en la zona urbana del municipio de San Francisco.

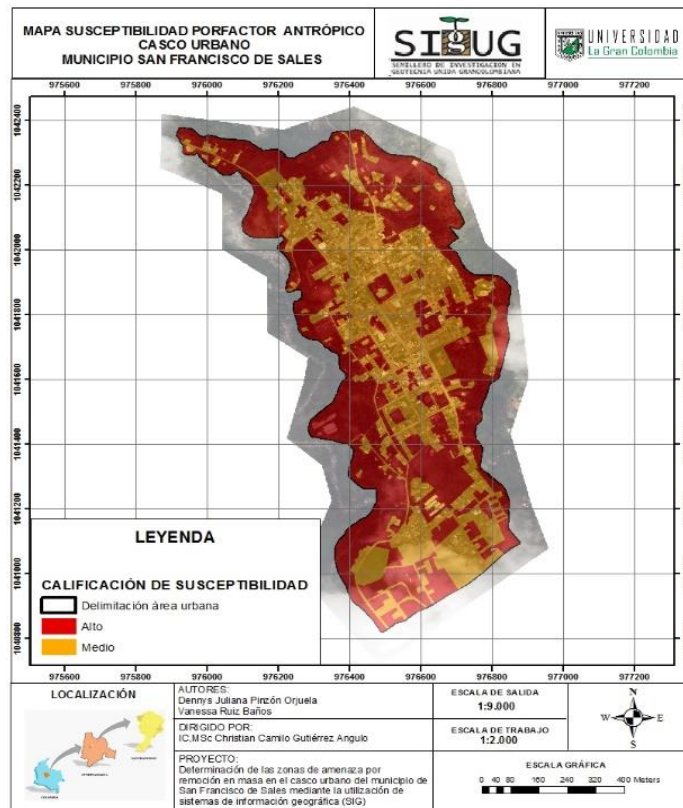
**Tabla 17. Puntaje y calificación de susceptibilidad, factor antrópico.**

FACTOR ANTRÓPICO	PUNTAJE	CALIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD
Otras zonas	3	A
Cortes o rellenos antrópicos	2	M
Sin intervención antrópica	1	B

*Fuente: propia.*

El mapa de susceptibilidad relacionado en la Imagen 21 muestra que el 46,7% del total de la zona urbana corresponde a una calificación media de susceptibilidad y la cual comprende cortes o rellenos antrópicos y el 53,3% hace referencia a una calificación alta lo que significa que son zonas en las cuales se podrían llegar a presentar algún tipo de movimiento en masa (Ver Anexo 14).

**Imagen 21. Mapa de susceptibilidad por factor antrópico.**

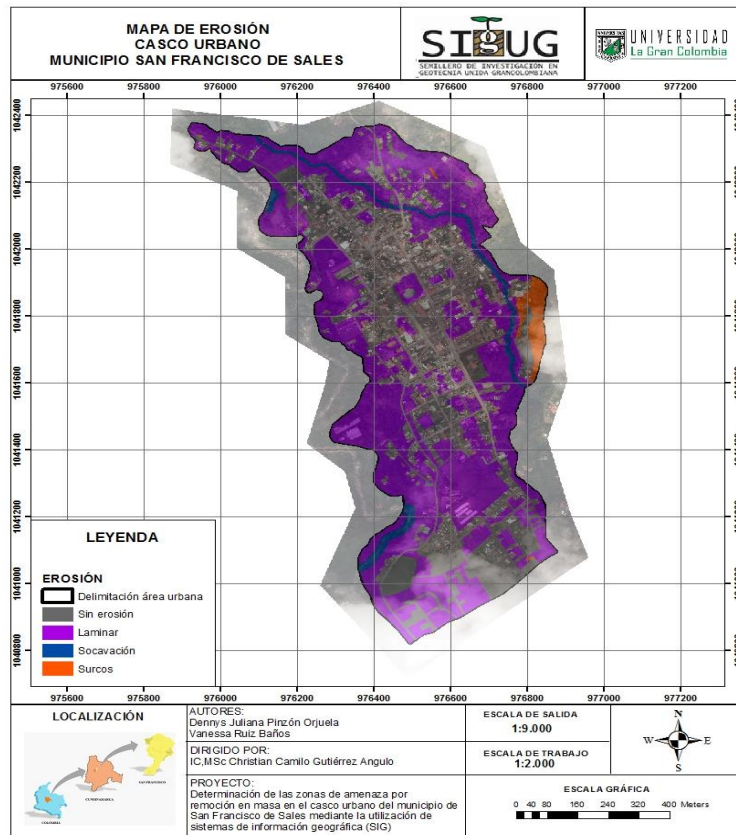


*Fuente: propia.*

### 8.2.8. Erosión.

La erosión como parámetro influyente en la generación de movimientos en masa, dentro de la metodología, es un parámetro que requiere ser ajustado según las características del área de estudio, por lo tanto para su valoración se tiene en cuenta tanto la naturaleza como el tipo de erosión (surcos y socavación), como su proximidad a cauces e influencia como posible desencadenante de movimientos en masa; así, se le asigna el mayor peso a los procesos de socavación de cauces y surcos, tal como se indica en la Tabla 18 y en la Imagen 22 (ver Anexo 15).

**Imagen 22. Mapa de erosión del casco urbano del municipio de San Francisco de Sales.**



**Fuente: propia.**

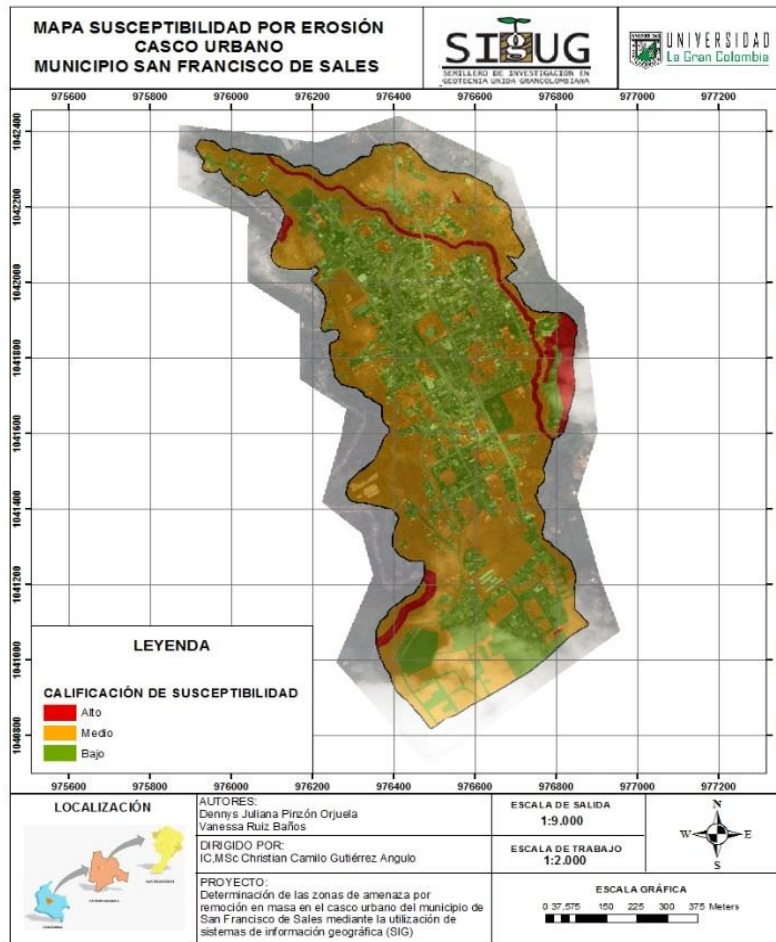
**Tabla 18. Puntaje y calificación de susceptibilidad, parámetro erosión.**

<b>EROSIÓN</b>	<b>PUNTAJE</b>	<b>CALIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD</b>
Diferencial (Surcos)	3	A
Socavación		
Laminar	2	M
Sin erosión	1	B

**Fuente: propia.**

Para el casco urbano del municipio de San Francisco que en su mayor parte se encuentra sin erosionar lo que corresponde al 44,7% del total del área de estudio y en las franjas occidental y oriental, erosión laminar tomando un 51,2% y por último la erosión diferencial se ubica en la parte Este del municipio donde también se ubican las pendientes de mayor inclinación y por lo cual le corresponde una calificación alta de susceptibilidad con el 4,1%, tal y como se muestra en la Imagen 23 (ver Anexo 16).

Imagen 23. Mapa de susceptibilidad por erosión.



Fuente: propia.

### 8.3. MAPA DE CALIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

La categoría de susceptibilidad en términos de niveles de amenaza y en función de la calificación de estabilidad, definida como la sumatoria ponderada de los valores de susceptibilidad asignados a cada variable mencionada anteriormente. En la Tabla 19 se indican las categorías de susceptibilidad determinadas bajo la metodología heurística.

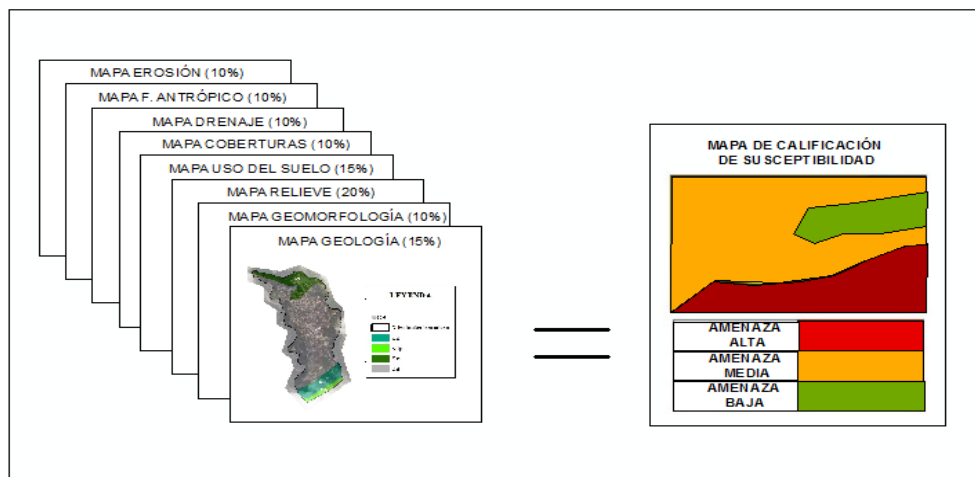
**Tabla 19. Categorización de amenaza.**

CATEGORIA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD HEURISTICA
Alta	3
Media	2
Baja	1

*Fuente: propia.*

A continuación se presenta la metodología aplicada para la elaboración del mapa de calificación de susceptibilidad, ver Imagen 24. Donde se tuvo en cuenta cada mapa de susceptibilidad con su calificación para así obtener el mapa final, a cada uno se le asignó el porcentaje de calificación mencionado en la metodología.

**Imagen 24. Metodología empleada para la calificación de la susceptibilidad.**

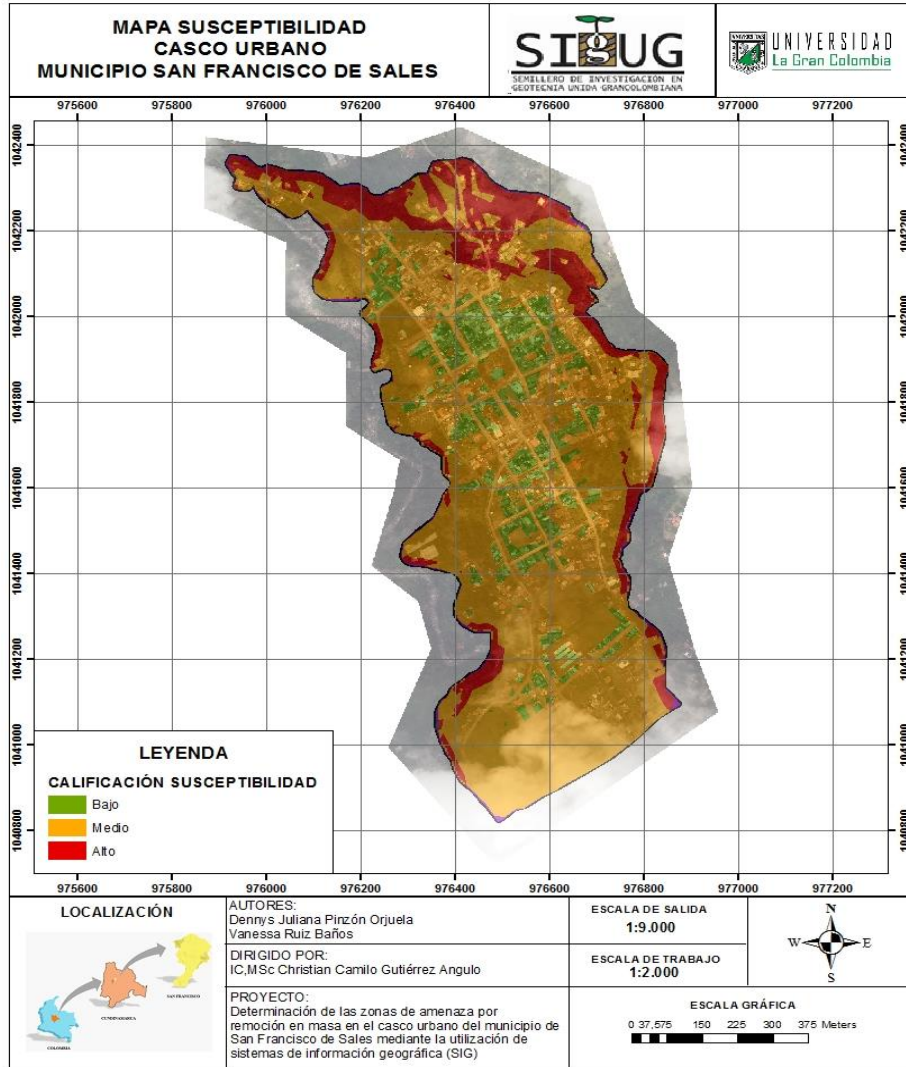


*Fuente: propia.*

En la Imagen 25 se observa que el 14% del casco urbano está en categoría de amenaza alta, presentándose en las zonas donde se encuentran ubicados los cauces y donde se evidenciaron pendientes altas; el 70% en amenaza media, debido a que es el sector que en su mayoría presenta pendientes medias y vegetación y el 16% en amenaza baja, que es donde se encuentran los dos tipos de explanaciones, esto según la calificación de susceptibilidad por la

metodología heurística y de la SES previo al mapa de amenazas por procesos de remoción en masa (Ver Anexo 17).

**Imagen 25. Mapa de Susceptibilidad para el casco urbano del municipio de San Francisco.**



*Fuente: propia.*

## 8.4. FACTORES DETONANTES

Como se mencionó anteriormente los factores detonantes empleados para efectos del trabajo fueron sismicidad y clima ya que son los parámetros que más influyen ante la ocurrencia de movimientos en masa.

#### **8.4.1. Sismicidad.**

Las laderas se encuentran en estados que van desde muy estables a poco estables. Cuando un sismo ocurre incide en el movimiento del terreno que puede llegar a causar fallas en los taludes que se afectan principalmente a los taludes en condiciones de poca estabilidad, lo cual puede producir daños desde insignificantes como catastróficos dependiendo de la geometría y las características del material del talud.

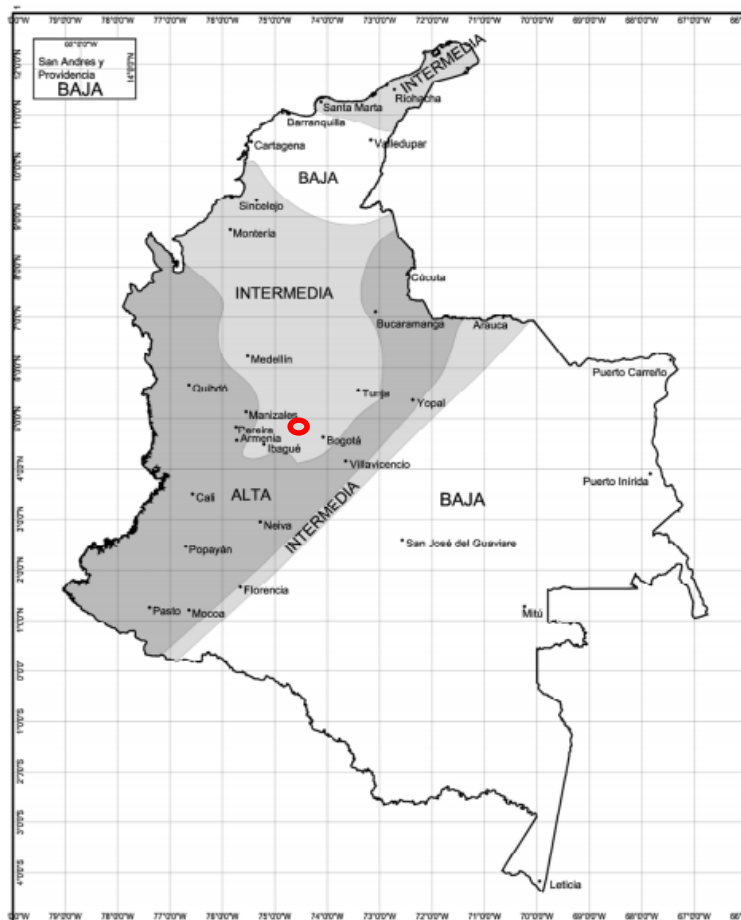
Esto evidencia la importancia de incluir el sismo como un factor de estabilidad al momento de realizar la evaluación de estabilidad en taludes, para la inclusión de este valor se tomó como referencia lo estipulado en el título A de la Norma Sismo Resistente NSR-10, donde estipula la clasificación de la zona de amenaza sísmica entre baja, intermedia o alta, ubicando al municipio de San Francisco en una zona intermedia, como se muestra en la Imagen 25, esto quiere decir que el valor de la aceleración pico efectiva se encuentra entre 0,10 y 0,20.

El sector estudiado se encuentra dentro de un mismo valor de PGA (100-150  $\text{cm/s}^2$ ). Dado que la zona de estudio se ubica en zona de amenaza sísmica intermedia, el valor asignado por la NSR-10 para este municipio es 0,20  $\text{g}$ <sup>46</sup>. Con base en lo anterior la calificación de estabilidad se presenta en la Tabla 20 y la Imagen 27 (Ver Anexo 18).

---

<sup>46</sup> NORMA SISMO RESISTENTE COLOMBIANA. NSR-10. p.165.

**Imagen 26. Zona de amenaza sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10.**



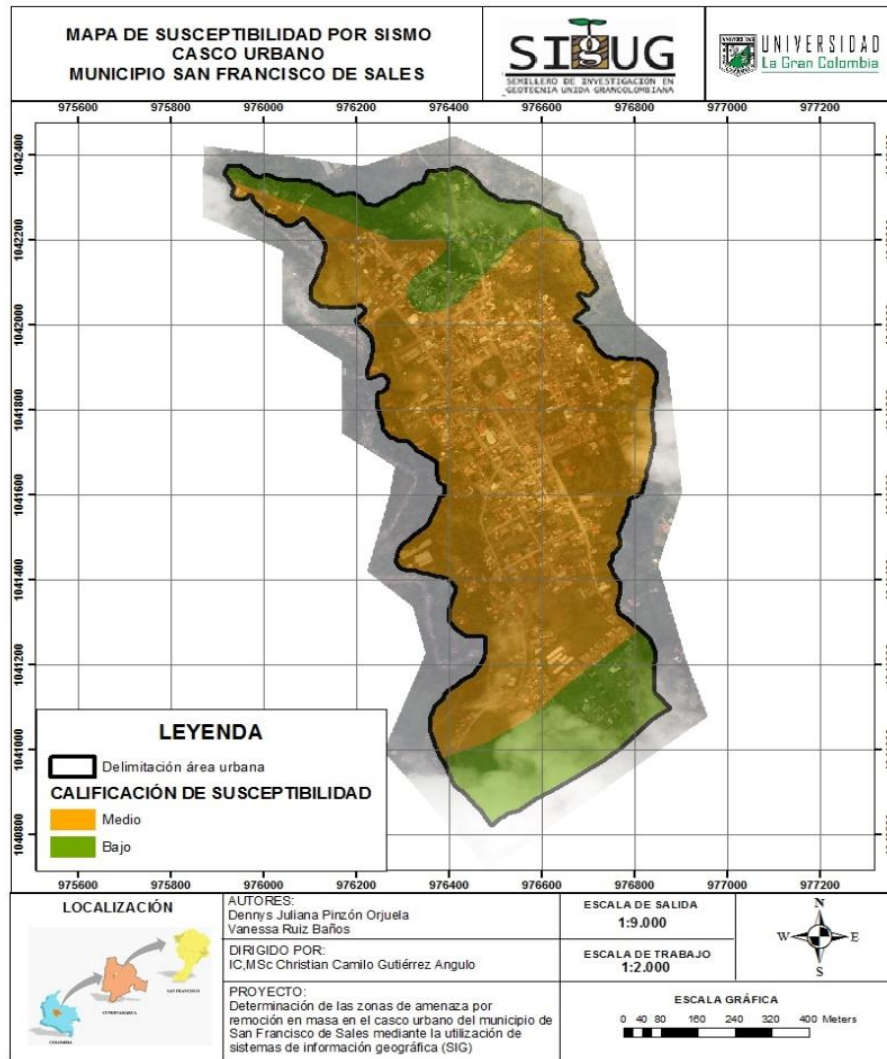
**Fuente: NSR-10.**

**Tabla 20. Puntaje y calificación para sismicidad.**

TIPO DE SUELO	PUNTAJE	CALIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD
Suelo	2	M
Roca	1	B

**Fuente: propia.**

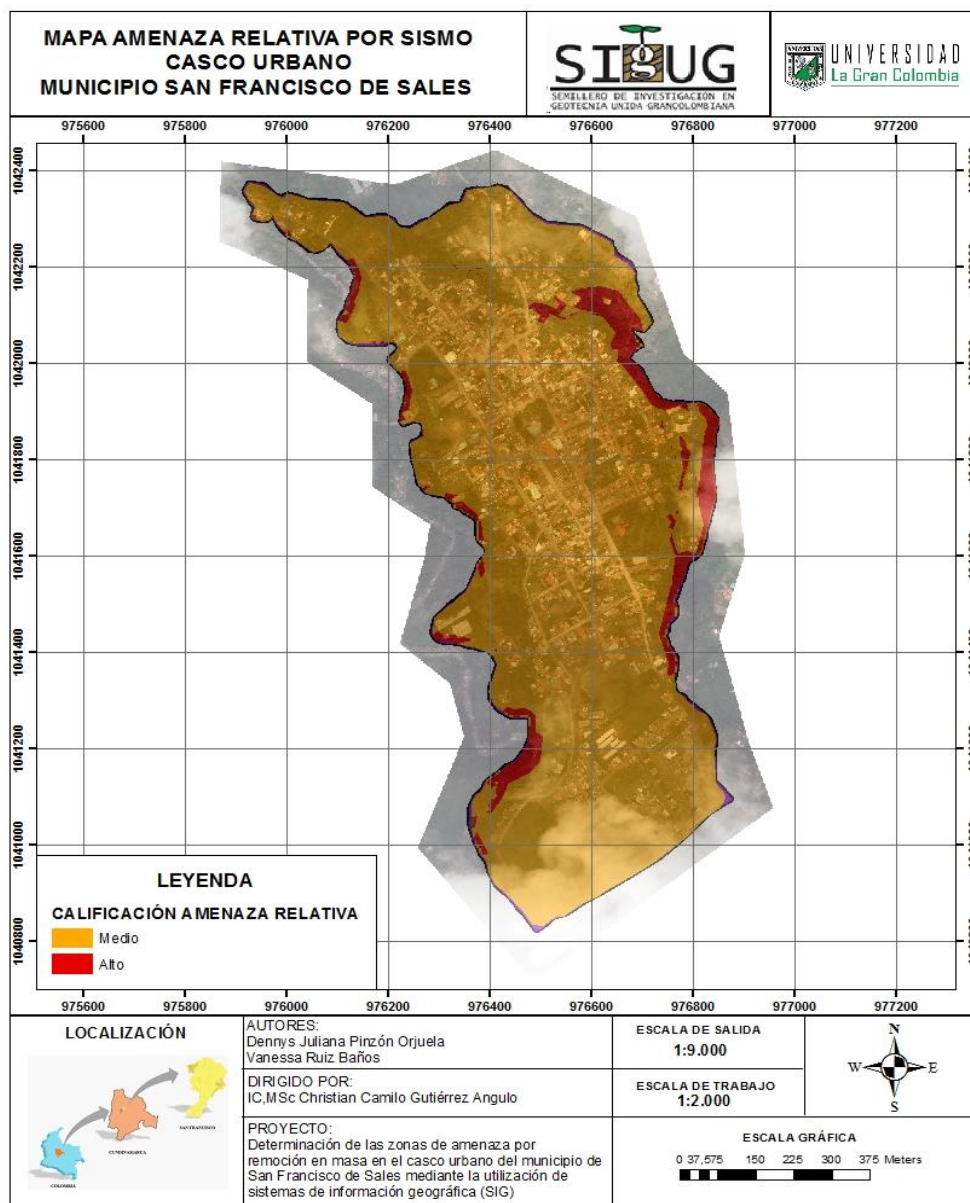
**Imagen 27. Mapa de susceptibilidad por sismo.**



**Fuente: propia.**

Como resultado de la suma del mapa de susceptibilidad y el mapa de susceptibilidad por sismo, se generó el mapa de amenaza relativa por sismo que se puede observar en la Imagen 28, donde el 6,3% de zonas se encuentran en amenaza relativa alta y el 63,7% en amenaza relativa media. Este mapa se elaboró dándole un valor de significancia de 50% a cada uno de los mapas (ver Anexo 19).

Imagen 28. Mapa de amenaza relativa por sismo.



Fuente: propia.

#### 8.4.2. Clima.

La calificación del factor detonante clima se realizó en función de la precipitación, considerando que las lluvias en la mayoría de los casos actúan como factor detonante de los eventos de inestabilidad. La zonificación para este parámetro se realizó con base en el análisis de precipitación basado en los datos generados por las isoyetas, dado que no se tiene la información necesaria para evaluar la lluvia crítica, se utilizó la información presente en el documento del EOT del municipio donde menciona que se encuentra ubicado en una zona de clima medio húmedo.

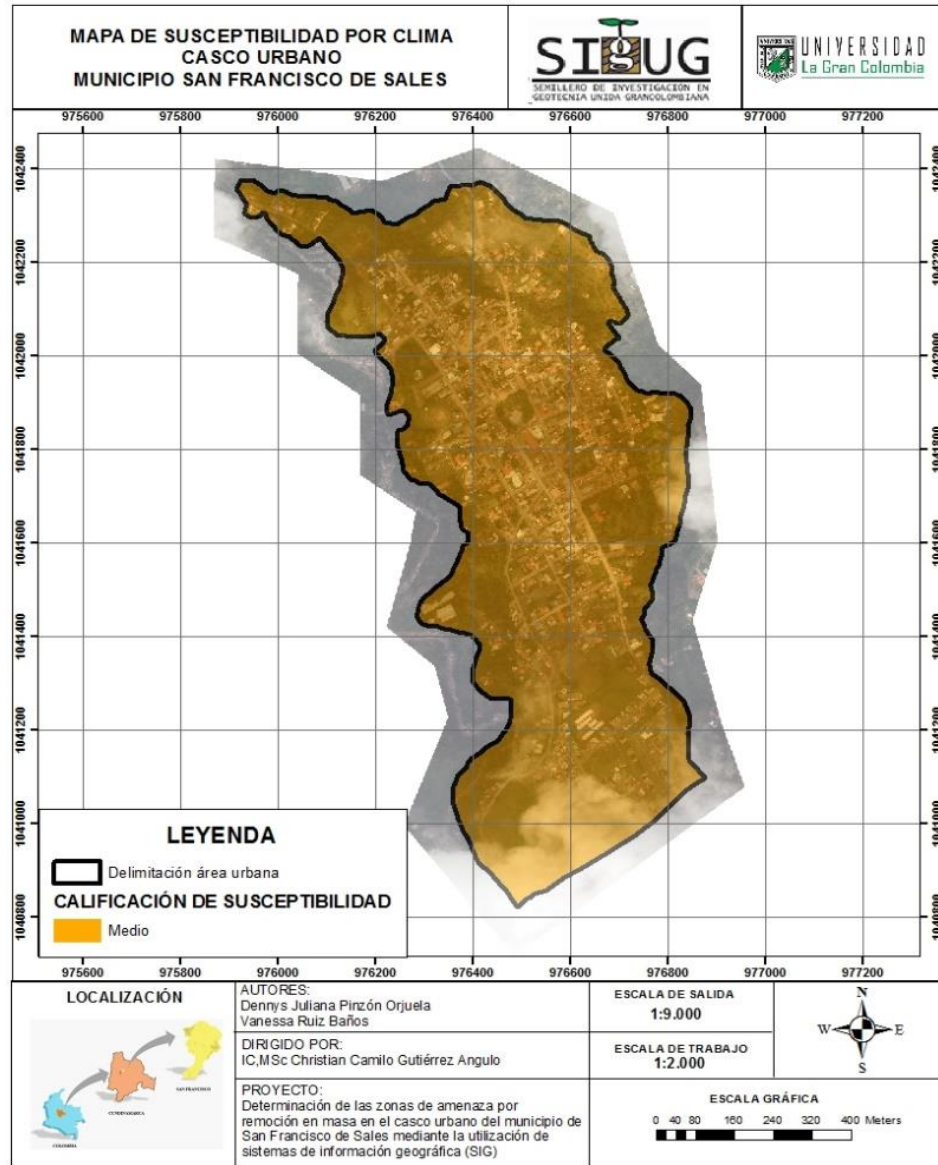
Además de esto, se tuvieron en cuenta las precipitaciones anuales, las cuales oscilan entre los 850 mm en sector suroccidental, 1000 mm hacia el sector suroriental y a medida que se va en dirección norte se incrementa hasta alcanzar los 2000 mm, calificando la zona urbana en su totalidad en un nivel de susceptibilidad media. La cuantificación del parámetro se definió como se muestra en la Tabla 21 y en la Imagen 29 (ver Anexo 20).

**Tabla 21. Puntaje y calificación para clima.**

VALORES DE LLUVIA MÁXIMA DIARIA (mm)	PUNTAJE	CALIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD
> 2000	3	A
850 - 2000	2	M
< 850	1	B

**Fuente: propia.**

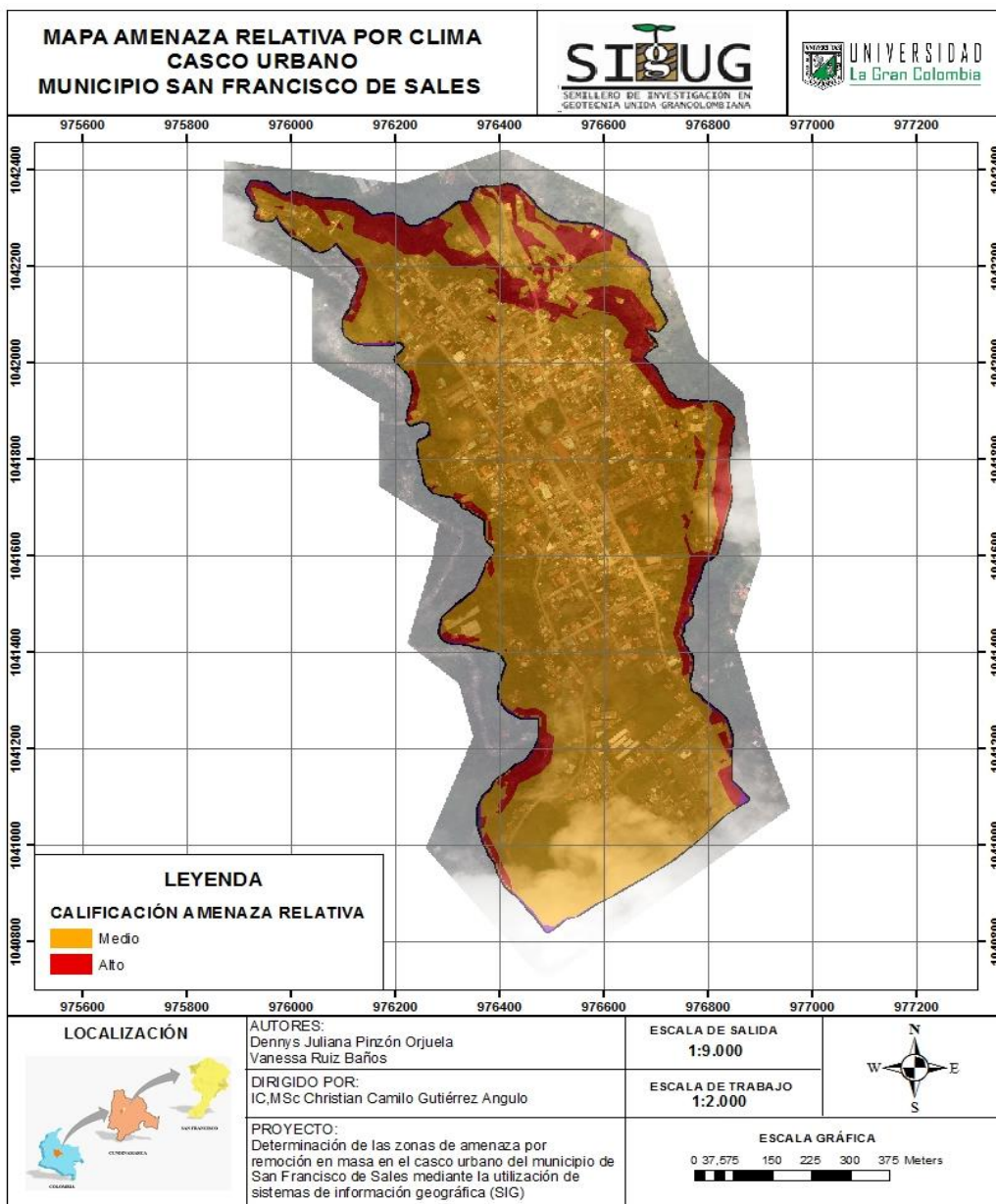
Imagen 29. Mapa de susceptibilidad por clima.



Fuente: propia.

Como resultado de la suma del mapa de susceptibilidad y el mapa de susceptibilidad por clima, se generó el mapa de amenaza relativa por clima, que se puede observar en la Imagen 30, donde el 12,7% de las zonas se encuentran en amenaza relativa alta y el 87,3% en amenaza relativa media. Este mapa se elaboró dándole un valor de significancia de 50% a cada uno de los mapas (ver Anexo 21).

Imagen 30. Mapa de amenaza relativa por clima.

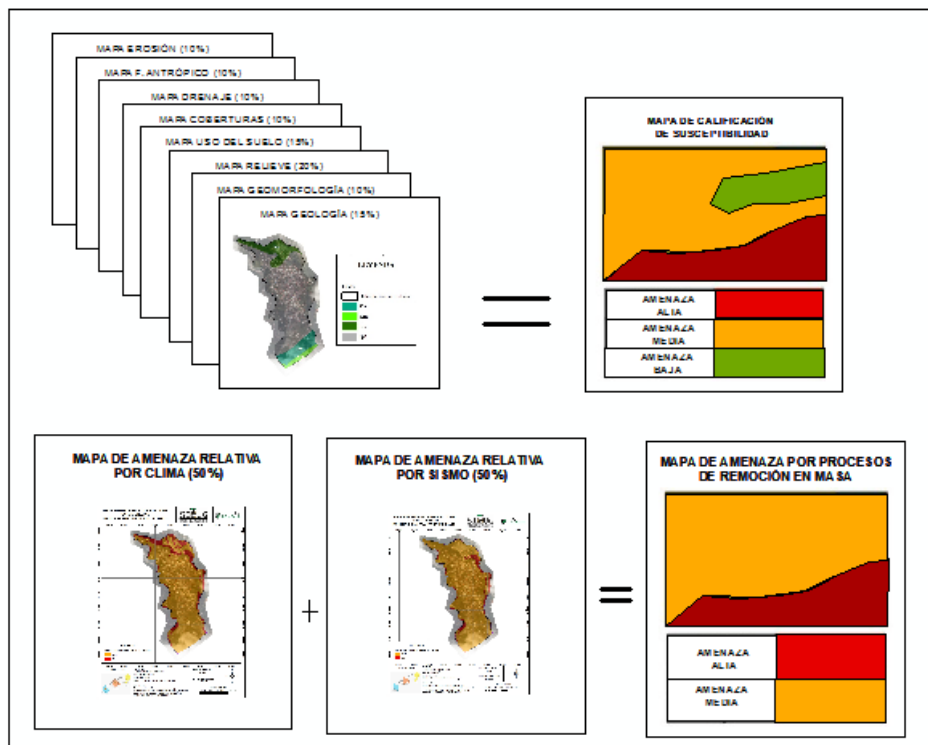


Fuente: propia.

## 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de realizar la calibración del mapa de calificación de susceptibilidad con los factores detonantes de sismo y clima, se procedió a realizar el mapa final de amenaza obtenido a partir del cruce de los mapas de amenaza relativa por sismo y clima, cada uno con un valor de significancia del 50% como se muestra en la Imagen 31 y, en la cual se indica la metodología aplicada para la zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa.

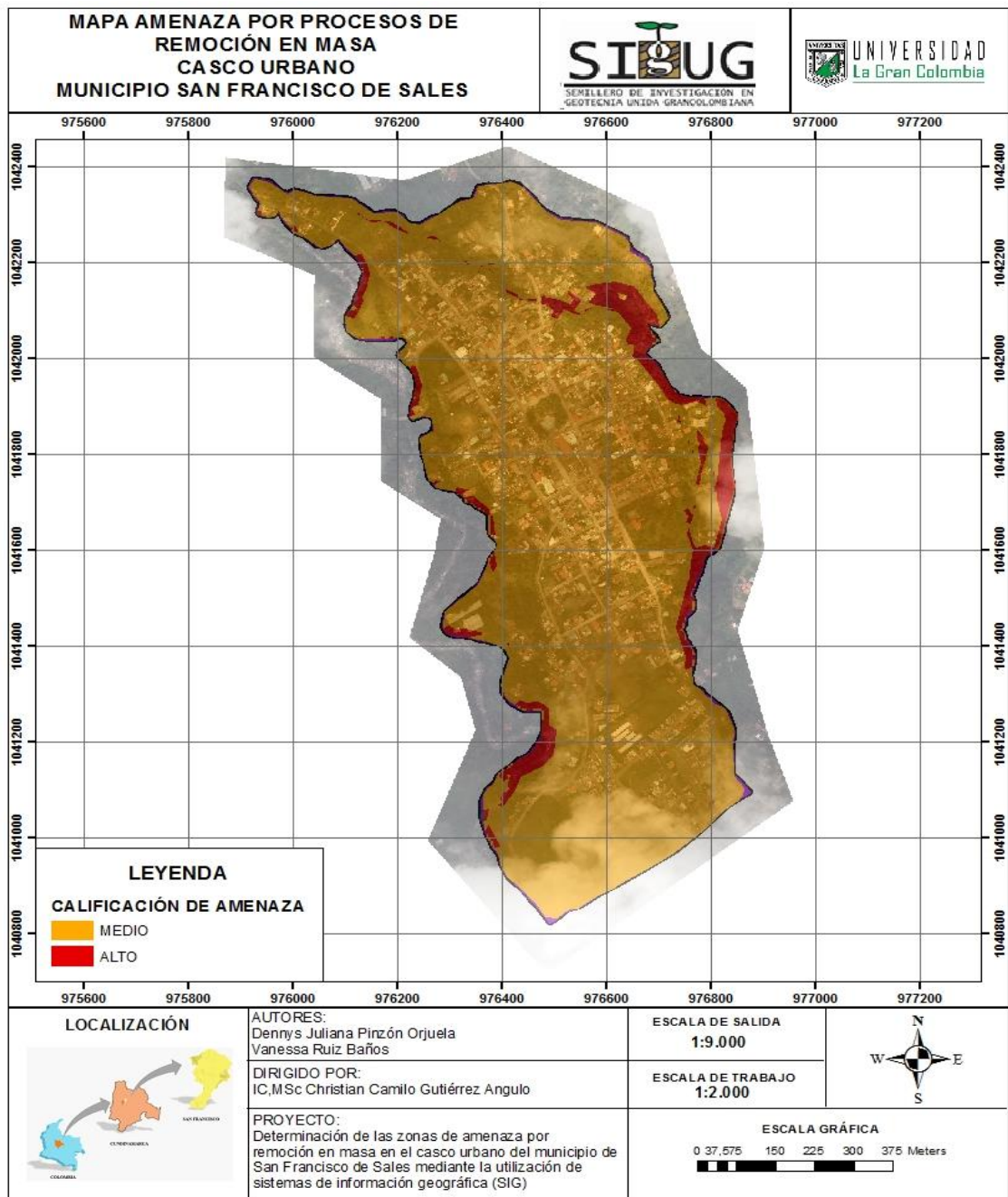
**Imagen 31. Metodología empleada para la calificación de la amenaza.**



**Fuente: propia**

En la Imagen 32 se relaciona el mapa final de amenaza por procesos de remoción en masa para el casco urbano del municipio de San Francisco de Sales; se puede observar que una vez efectuado el cruce de mapas, se encontró que la zona urbana del municipio en particular cuenta con dos (2) categorías de amenaza por movimientos en masa (ver Anexo 22).

**Imagen 32. Mapa de amenaza por procesos de remoción en masa del casco urbano del municipio de San Francisco.**



**Fuente: propia.**

Así pues, se tiene que el 6,52% del área de estudio, se encuentra en una categoría de amenaza alta, esto debido a que son zonas en las que se pueden encontrar

geoformas de tipo denudacional con laderas moderadas y moderadas a empinadas definidas por una pendiente dominante que fluctúa en el rango de 11.25° a 33.75° de forma ondulada e irregular con la presencia de erosión de tipo surco, así mismo se encuentran zonas con presencia de laderas suaves que al presentar procesos de erosión de tipo laminar influenciado por el factor antrópico como las explanaciones indiferenciadas o fluviales causadas por los cauces actuales generan un escenario propicio para que se presente este tipo de amenaza. Adicionalmente se encuentran zonas de cobertura vegetal con predominio en bosques en la parte oriental y occidental del área urbana del municipio las cuales están calificadas como zonas de protección ambiental.

También se tienen zonas con drenajes ubicados de forma intermitente al costado oriental como lo es el río Cañas y en la parte occidental se localiza la quebrada Tóriba con una extensión de 1213 metros, la cual se ubica cerca de las viviendas significando incremento de amenaza a las zonas aledañas a la quebrada. En ambos cauces se presentan procesos de erosión activos de socavación y además de esto, en estas zonas se encuentran las formaciones Simijaca y Pacho, materiales asociados a lodolitas, limolitas y arcillolitas con parámetros de resistencia bajos.

El 93,48% del área de estudio, se encuentra en una categoría de amenaza media distribuida de norte a sur y de oriente a occidente, donde se encuentran zonas con explanaciones indiferenciadas, laderas suaves y laderas moderadas con pendientes comprendidas entre 0° y 11.25° con pocos procesos erosivos activos, el uso del suelo en esta zona hace referencia a cortes y rellenos antrópicos, siendo así una cobertura dura la cual aporta a la estabilidad del terreno por ser esta una capa que no permite la infiltración fácilmente. De igual manera, se tiene como material asociado depósitos de gravas, arenas y arcilla lo que probablemente a favorecido a la estabilidad de la zona sin embargo es evidente que la gran mayoría del área urbana del municipio se encuentra en un grado medio de susceptibilidad a amenaza por movimientos en masa.

## 10. CONCLUSIONES

- Para la zonificación de amenaza en el área urbana del municipio se consideraron variables incidentes ante los PRM, tales como las unidades geológicas superficiales categorizadas en formaciones y depósitos con materiales con presencia de lodolitas, limolitas y arcillolitas los cuales presentan parámetros de resistencia bajos, asociándolos a las geoformas presentes en la zona, drenajes, usos y cobertura del suelo, erosión y factor antrópico para establecer la susceptibilidad a la cual se encuentra la zona de estudio ante la presencia de un factor detonante como lo es el sismo y la lluvia.
- Los factores de clima y sismo generan un cambio importante en el uso del suelo con respecto al análisis de las variables establecidas para la generación del mapa de susceptibilidad, que una vez calibrado con dichos factores detonantes se evidencio que el 6,52% del casco urbano del municipio de San Francisco presenta amenaza alta, debido a que son zonas en las cuales se pueden encontrar laderas moderadas y empinadas con la presencia de erosión de tipo diferencial, así mismo se encuentran zonas donde se ubican laderas de pendientes suaves que al presentar procesos de erosión de tipo laminar y al estar influenciado por el factor antrópico como las explanaciones indiferenciadas las hacen propicias a los PRM.
- Mediante el uso de las variables establecidas en la metodología para el desarrollo del trabajo de grado se pudo llegar al mapa de amenaza a escala 1:2000 del casco urbano del municipio lo cual es un insumo para la toma de decisiones con respecto a las zonas con condición de amenaza, riesgo y la implementación de normas urbanísticas tal y como se establece en el decreto 1807 de 2014.

- Las variables erosión y factor antrópico inciden en mayor porcentaje en la generación de PRM, debido a que son zonas en las cuales hay existencia de erosión por surcos presentándose en un 52% y no se ha hecho ninguna intervención antrópica presentándose en un 46% en la zona de estudio, las zonas donde hay posible amenaza están asociadas a la presencia de cauces ya que a su alrededor se evidenciaron taludes marginales en campo, siendo estos un factor incidente en la aparición de erosión y PRM.

## 11.RECOMENDACIONES

- Complementar el mapa de amenaza con estudios de detalle, análisis determinísticos con el respectivo conocimiento geotécnico y el uso del álgebra de mapas para describir el modelamiento cartográfico de la zona de estudio.
- A la alcaldía municipal de San Francisco obtener instrumentos de medida para lluvia y sismo como pluviómetros y sismógrafos y de esta forma tener conocimiento exacto sobre el comportamiento que tienen estos factores en la zona urbana logrando mejores resultados.
- Tener en cuenta la guía metodológica del SGC para la elaboración de estudios de detalles ya que el presente trabajo sirve como insumo para el municipio en cuanto al proceso de concertación del POT, más no como plan para mitigación del riesgo.
- Establecer normas urbanísticas de uso e intervención antrópica en sitios cercanos a los cauces, pendientes altas y zonas con formaciones rocosas.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

ALCALDIA MUNICIPAL DE SAN FRANCISCO DE SALES. 1999. *Esquema de ordenamiento territorial (EOT)*. San Francisco de Sales: s.n., 1999.

ALONSO SARRÍA, Francisco. 2014. *Sistemas de información geográfica*. s.l.: Universidad de Murcia, 2014.

BANCO MUNDIAL DE LA SALUD. 2012. *Análisis de gestión del riesgo de desastres en Colombia*. Bogotá: s.n., 2012.

BARRETO, German. 2001. *Fenómeno del niño - experiencia local y regional en la evaluación de amenaza por movimientos en masa*. s.l.: Ingeominas, 2001.

CASCINI, L. 2008. *Applicability of landslide susceptibility and hazard zoning at different scales*. Europa: Engineering Geology, 2008. Vol. 102.

CASTAÑO FERNANDEZ, Santiago. 2010. *Concepto y desarrollo histórico de la geología*. Salamanca: Universidad de Salamanca, 2010.

CASTRO, E, MORENO, M y VARGAS, G. 1998. *Zonificación de amenazas por procesos de remoción en masa en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile, Valle del Cauca*. Valle del Cauca: Sociedad Colombiana de Geotecnia, 1998. Vol. 2.

CONGRESO DE COLOMBIA. 2012. Ley 1523 de 2012. 2012.

EMERGENCIAS, DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE RIESGOS. 2000. *Seminario estudios de riesgos por fenómenos de remoción en masa*. Bogotá: DPAE, 2000.

INGEOMINAS. 1998. *Ingeominas y su apoyo a la ley 388 de desarrollo territorial*. Bogotá: s.n., 1998.

IRIONDO, Martín. 2006. *Introducción a la geología*. 2006.

MARCANO, A y CARTAYA, S. 2013. *Zonificación de la amenaza por procesos de remoción en masa originados por las precipitaciones entre Camurí Chico y Punta Tigrillo, estado de Vargas, Venezuela*. Venezuela : Revista de investigación, 2013. Vol. 37.

MERGUILI, M, MARCHANT, C y MOREIRAS, S. 2015. *Causas, características e impactos de los procesos de remoción en masa, en áreas constantes de la región Andina*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2015.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. 1997. Ley 388 de 1997. 1997.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. 2014. Decreto 1807 de 2014. 2014.

MUÑIZ, J y HERNANDEZ, V. 2012. *Zonificación de procesos de remoción en masa en Puerto Vallarta, Jalisco, mediante combinación de análisis multicriterio y método heurístico*. Jalisco: Revista mexicana de ciencias geológicas, 2012. Vol. 29.

RAGHUVANSHI, Y y NEGASSA, L. 2015. *GIS based Grid overlay method versus modeling approach-A comparative study for landslide hazard zonation (LHZ) in Meta Robi District of WEst Showa Zone in Ethiopia*. Ethiopia : The Egyptian Journal of Remote Sensing Space Sciences, 2015.

RAMIREZ, F y GONZALEZ, A. 1989. *Evaluación de estabilidad para zonas homogéneas*. Paipa: s.n., 1989.

RODRIGUEZ, J, y otros. 2013. *Zonificación del peligro de remoción en masa en las zonas urbanas según el método de Mora y Vahrson: Estudio de caso*. Pamplona: Revista ambiental: agua, aire y suelo, 2013. Vol. 4.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (SGC). 2016. Red Sismológica Nacional de Colombia. 2016.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. 2015. *Guía metodológica para estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. Bogotá: SGC, 2015.

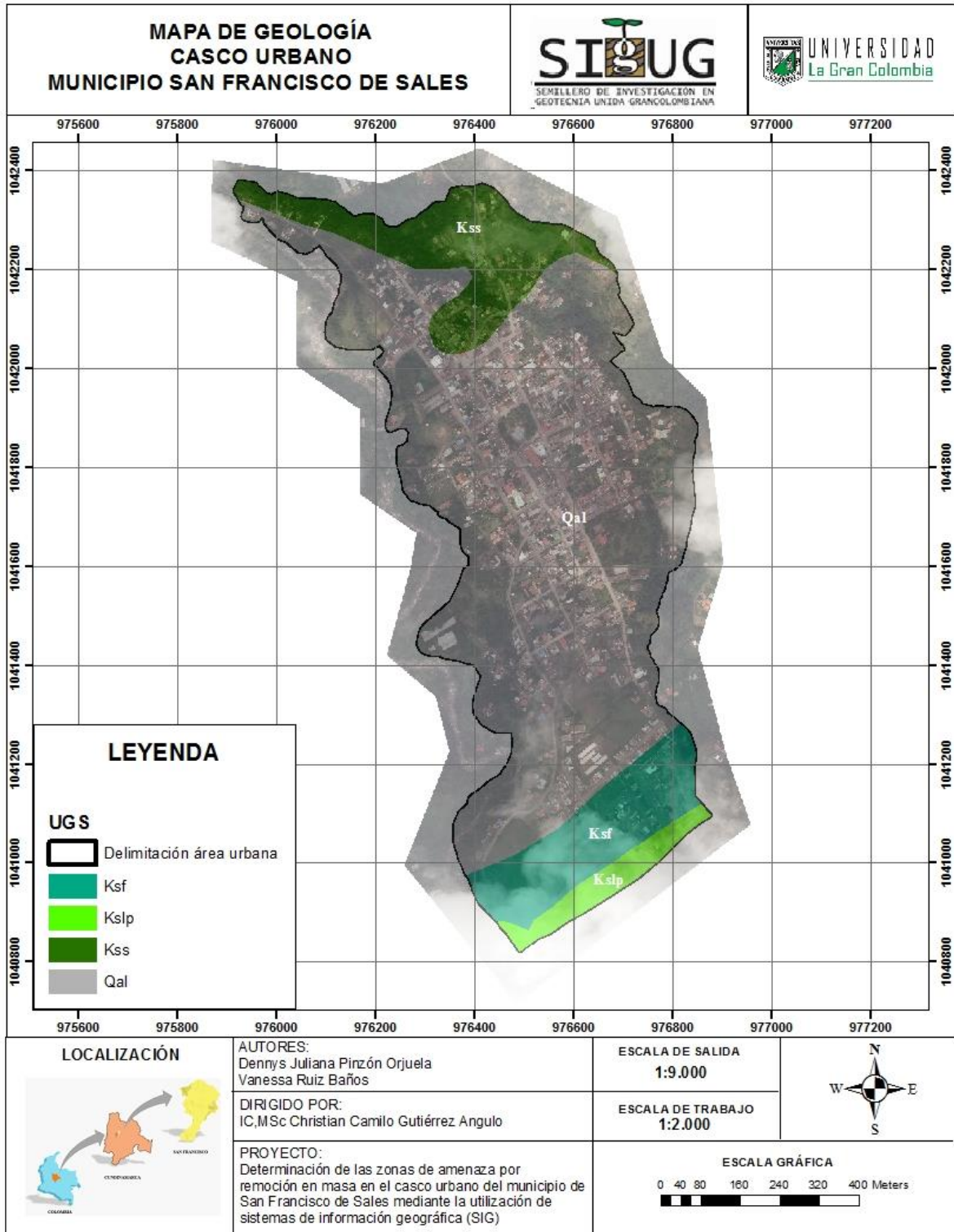
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. 2015. *Informe sobre la publicación del mapa nacional de amenaza relativa por movimientos en masa*. Bogotá: s.n., 2015.

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. 2007. *Movimientos en masa en la región Andina: una guía para la evaluación de amenazas*. 2007.

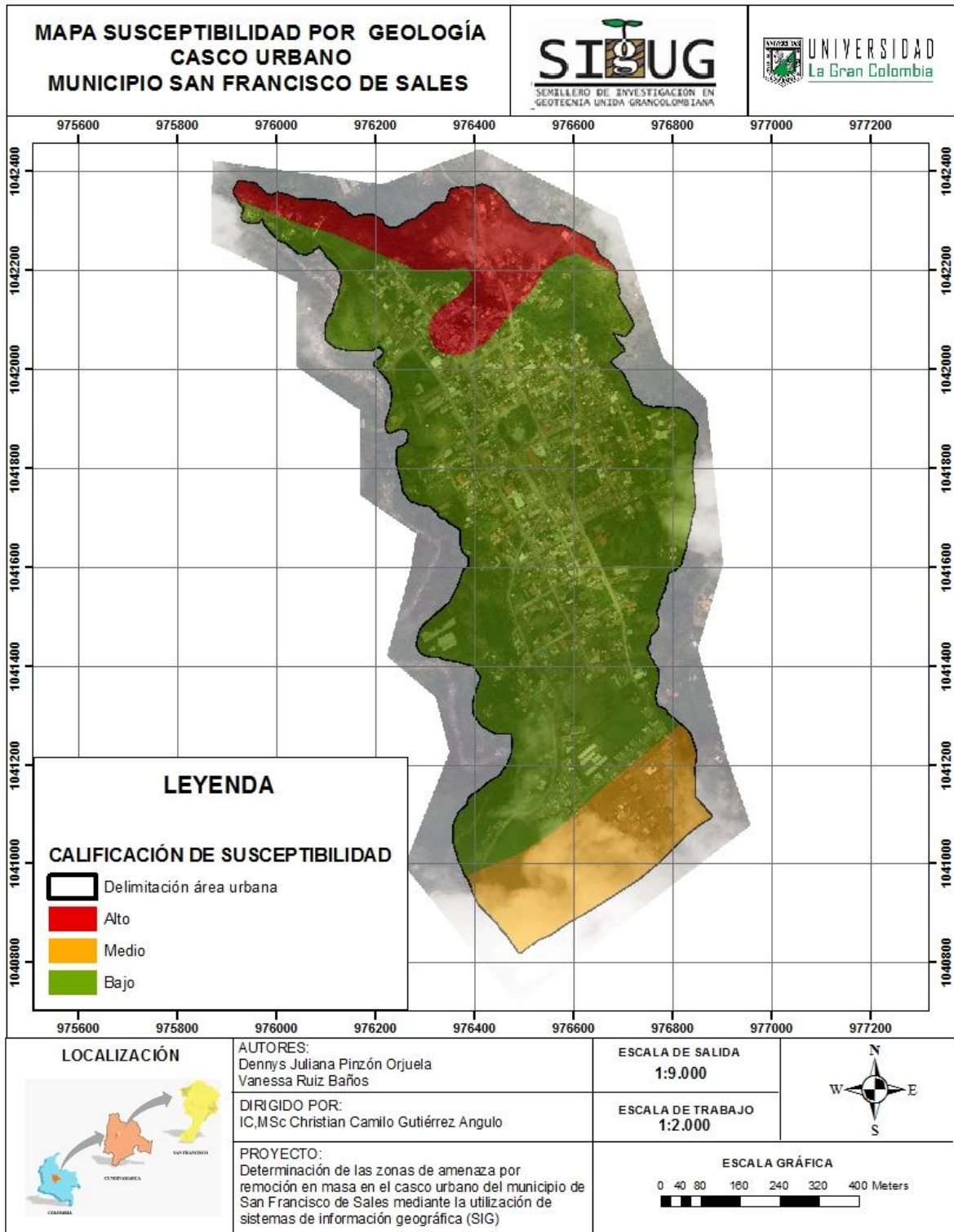
SUAREZ DIAZ, Jaime. 1998. *Deslizamientos*. Bucaramanga: s.n., 1998. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga: Instituto de investigación sobre erosión y deslizamientos, 1998.

# ANEXOS

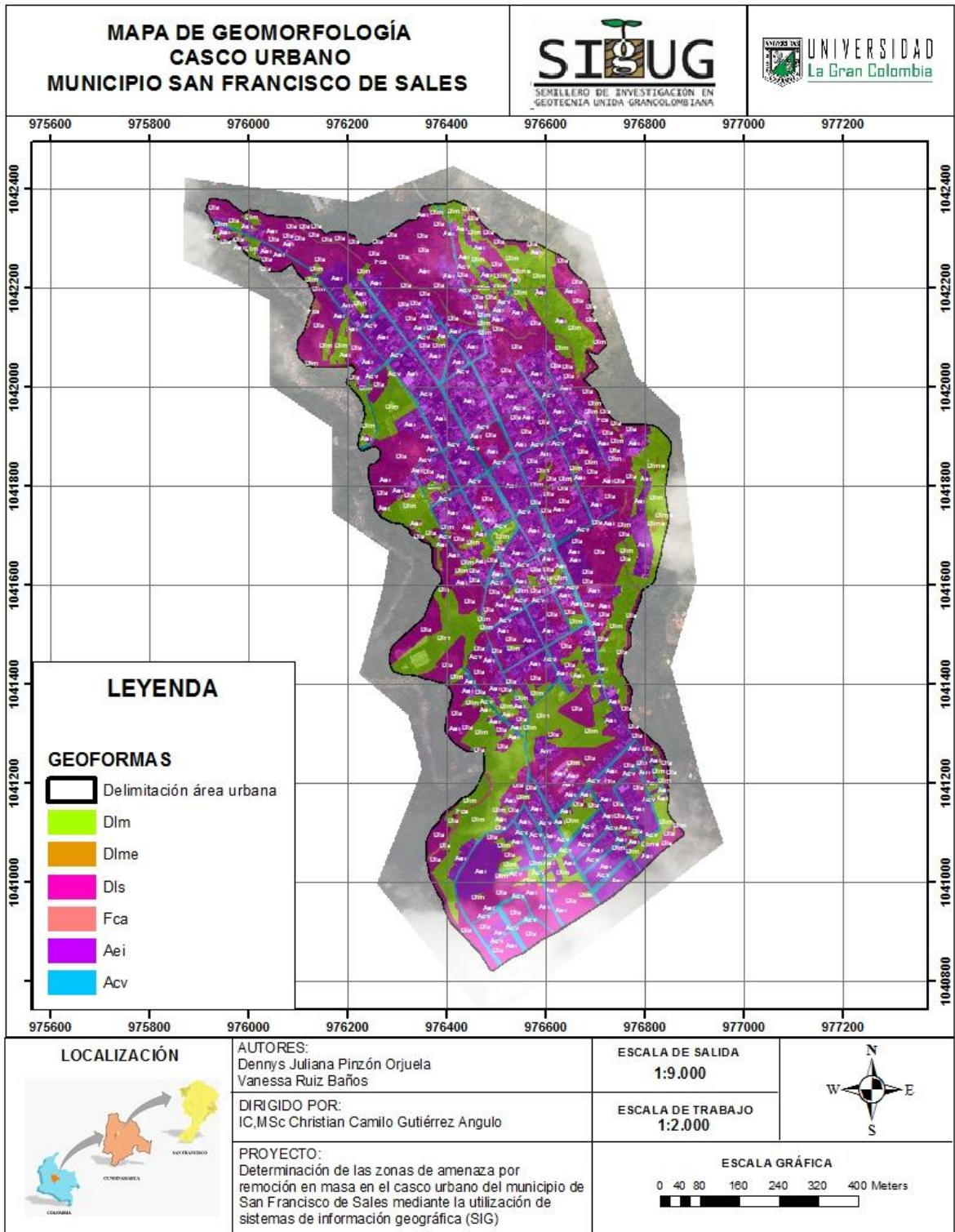
## ANEXO 1. MAPA DE GEOLOGÍA



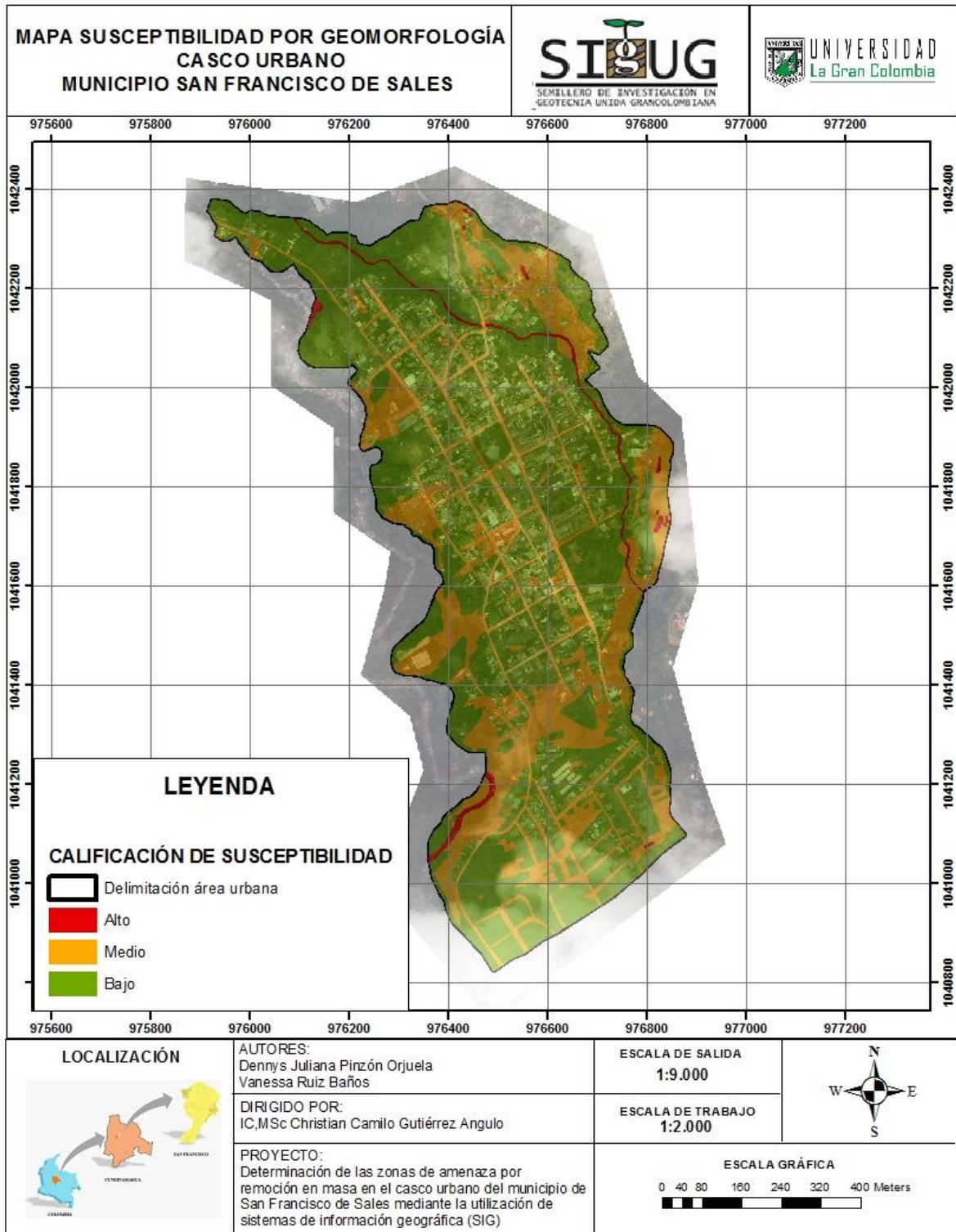
## ANEXO 2. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR GEOLOGÍA



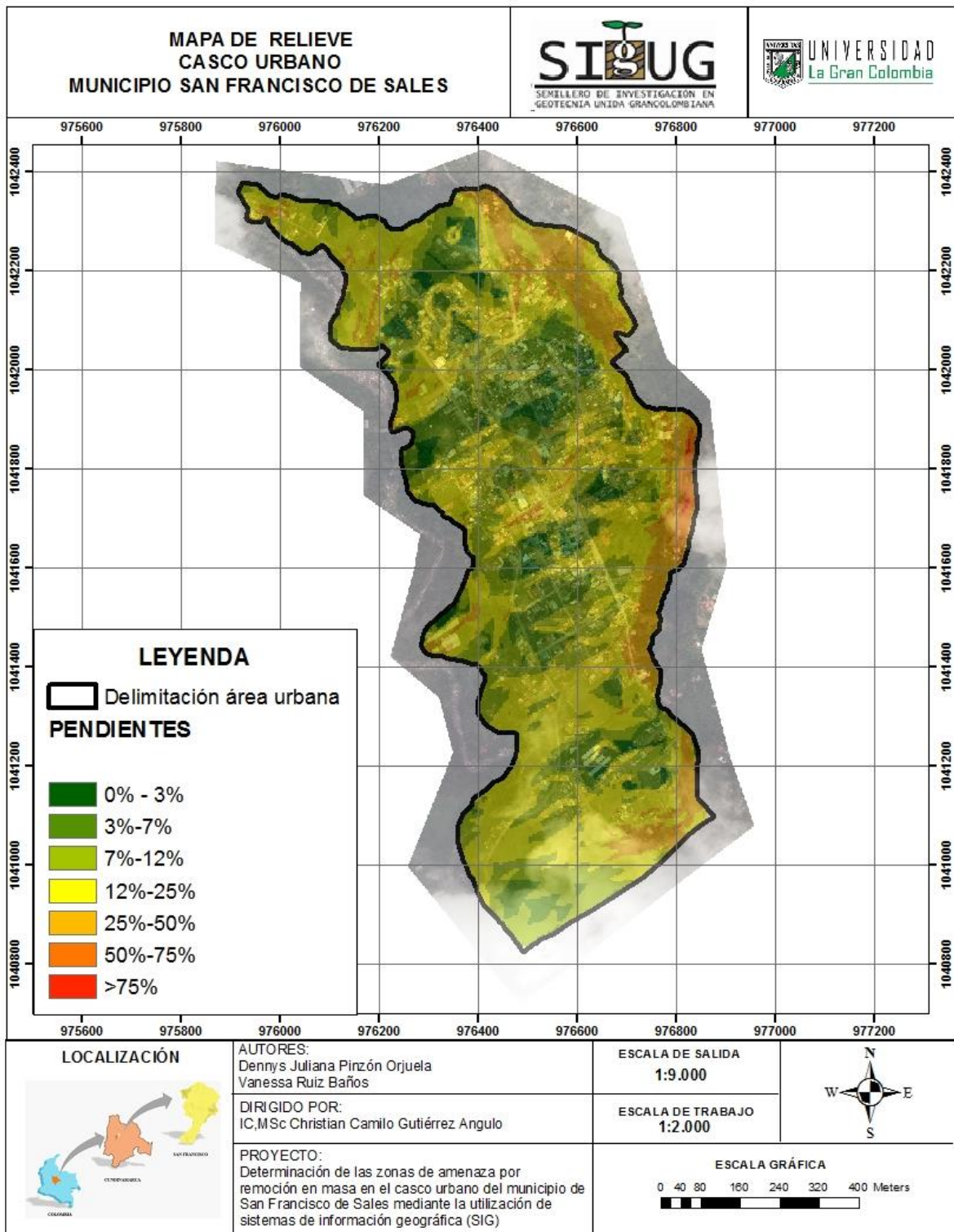
### ANEXO 3. MAPA GEOMORFOLOGÍA



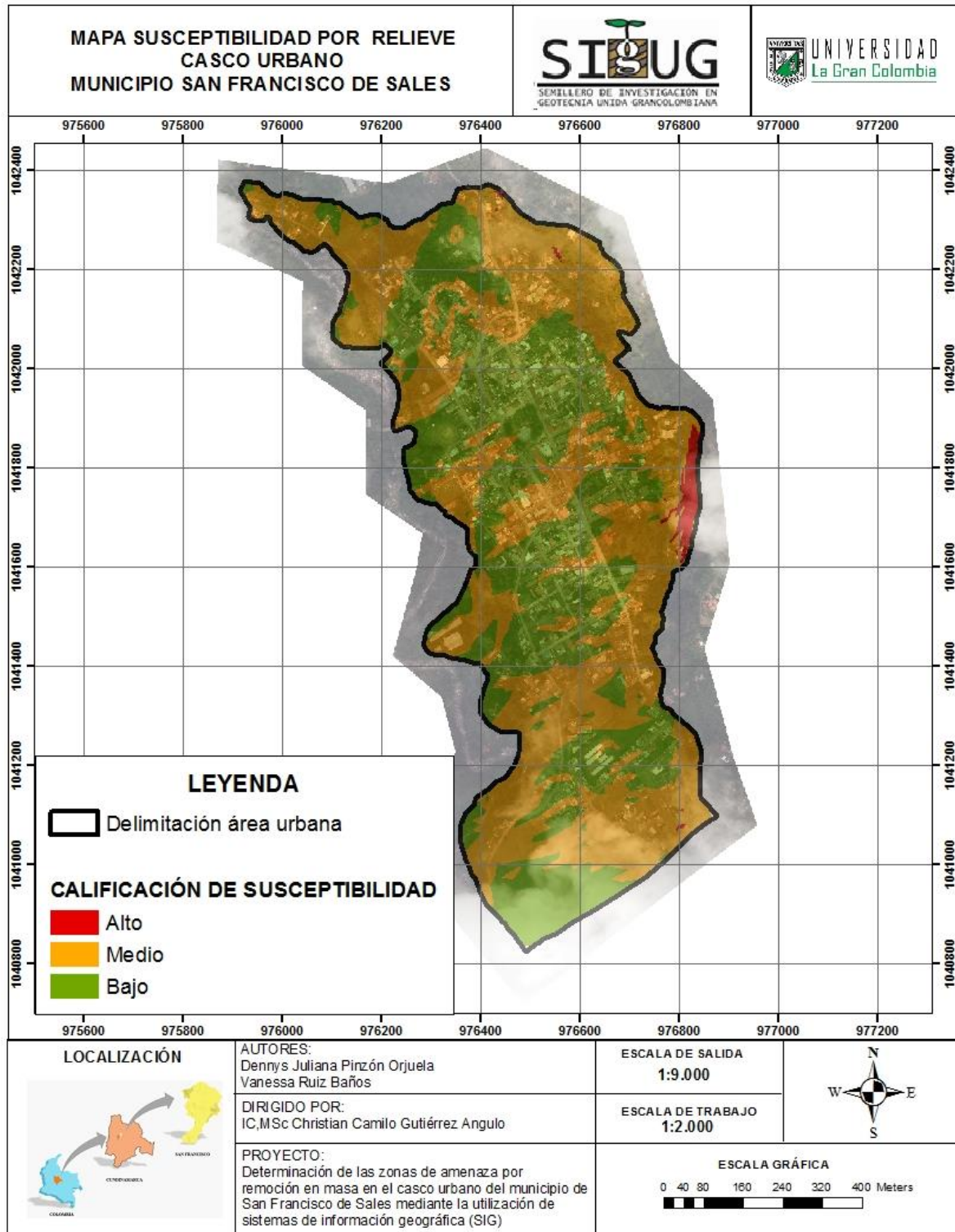
## ANEXO 4. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR GEOMORFOLOGÍA



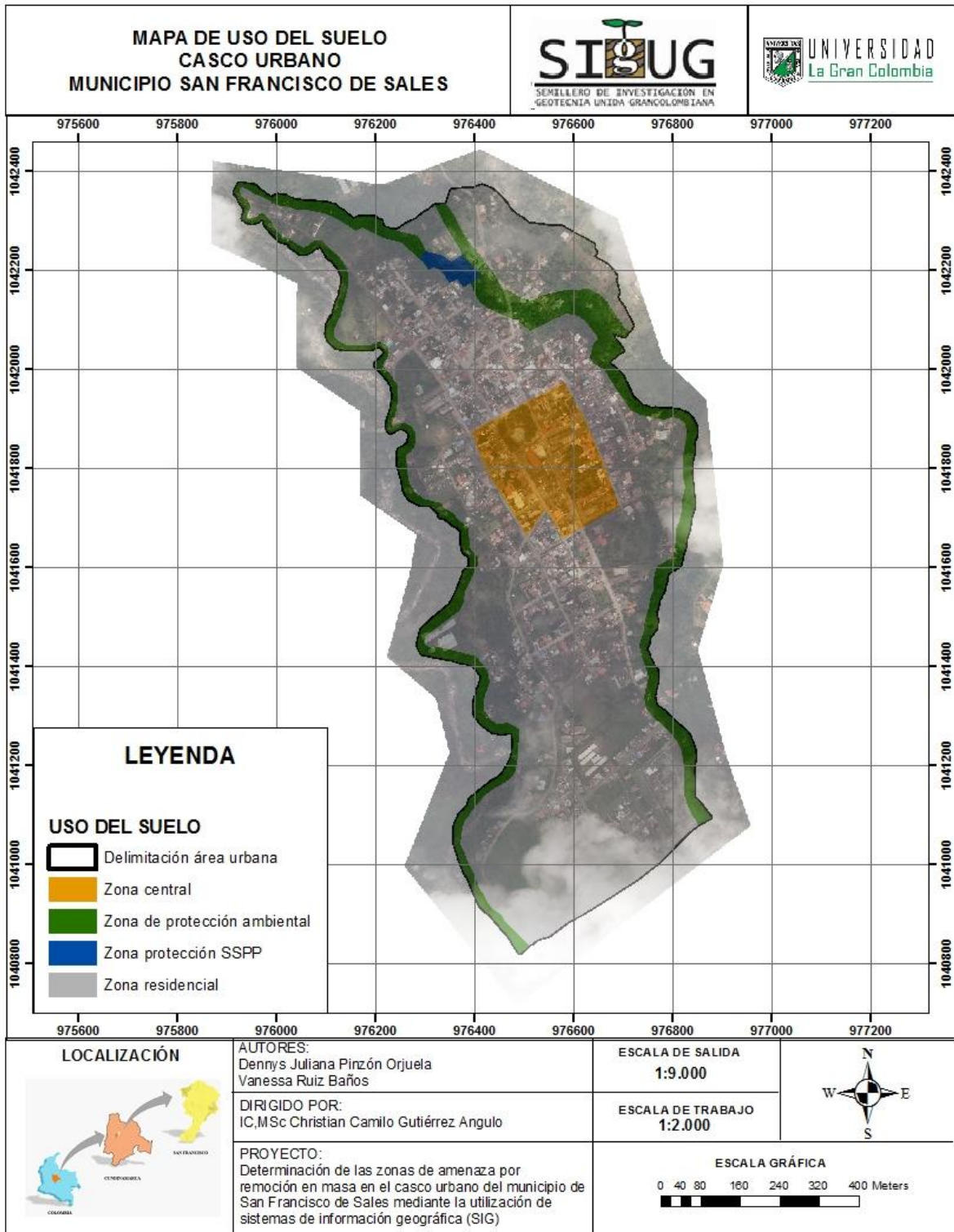
## ANEXO 5. MAPA DE RELIEVE



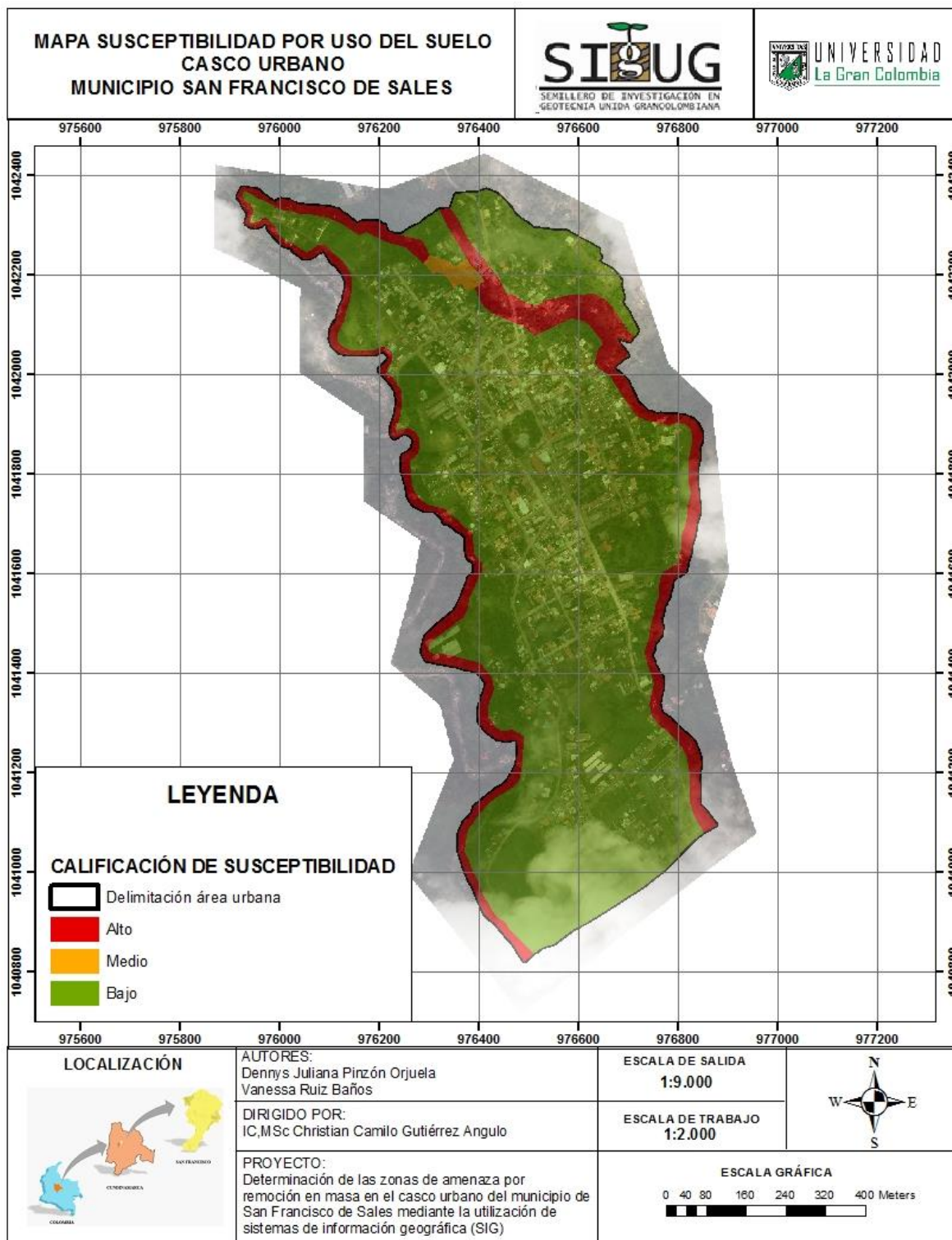
## ANEXO 6. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR RELIEVE



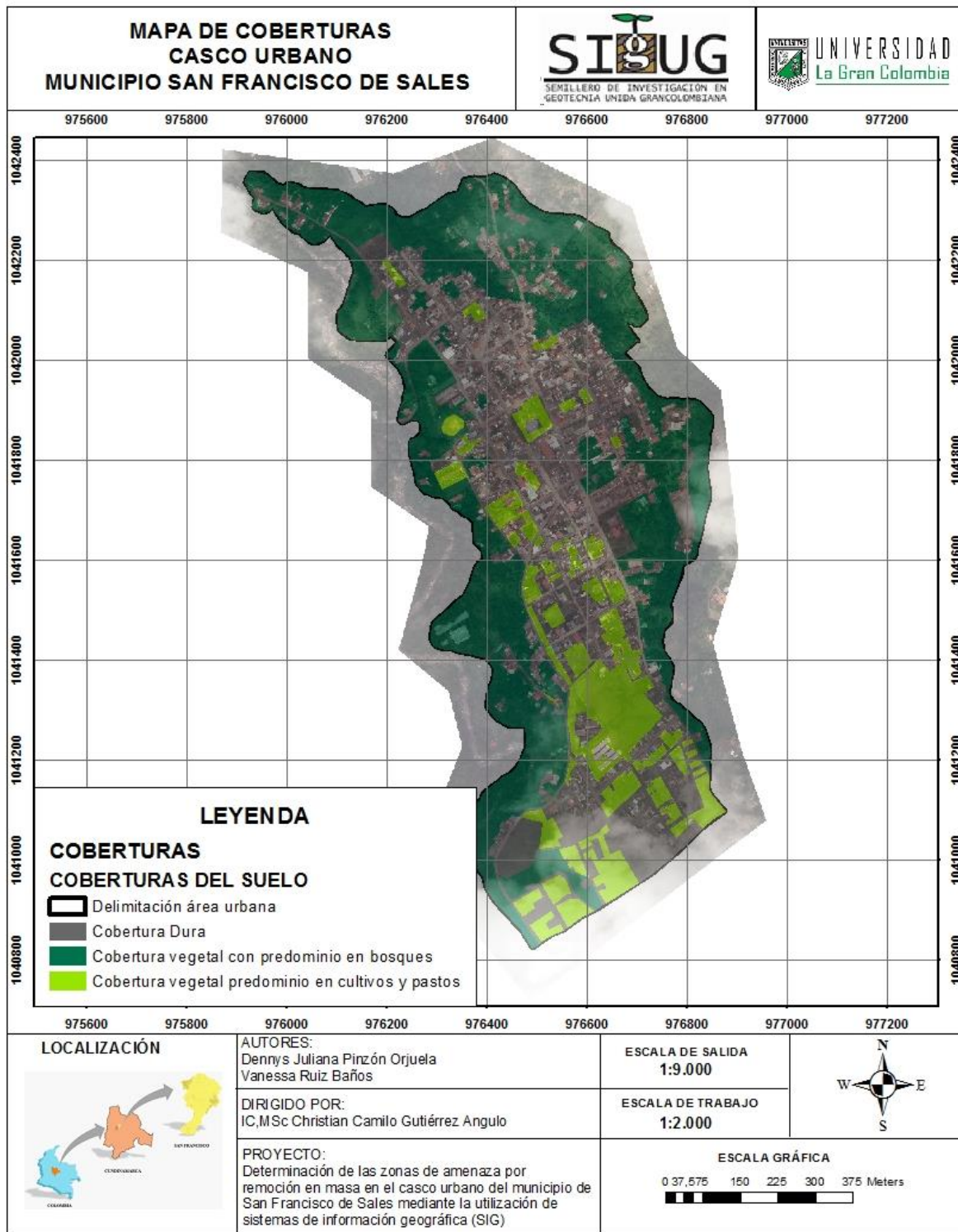
## ANEXO 7. MAPA DE USO DEL SUELO



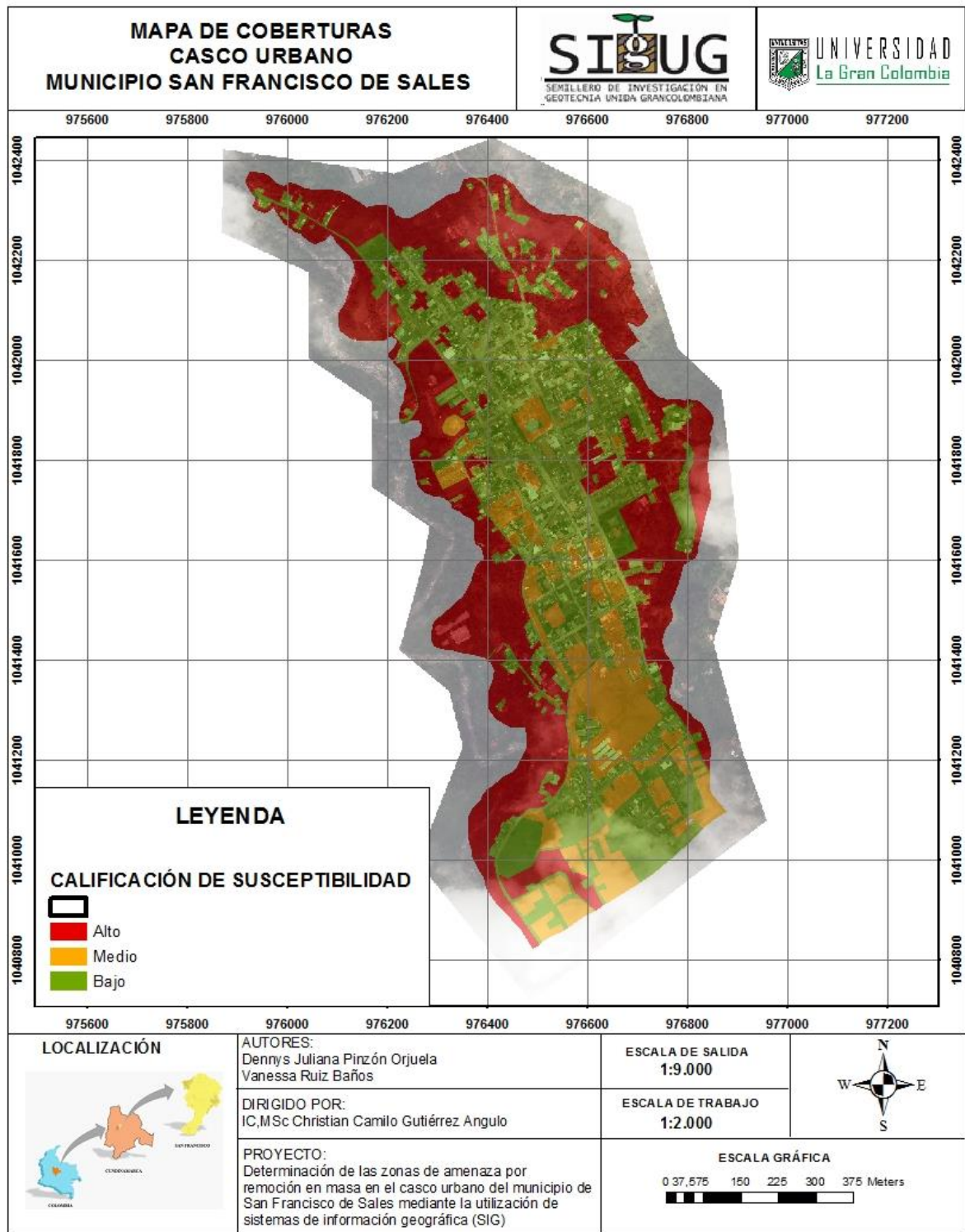
## ANEXO 8. SUSCEPTIBILIDAD POR USO DEL SUELO



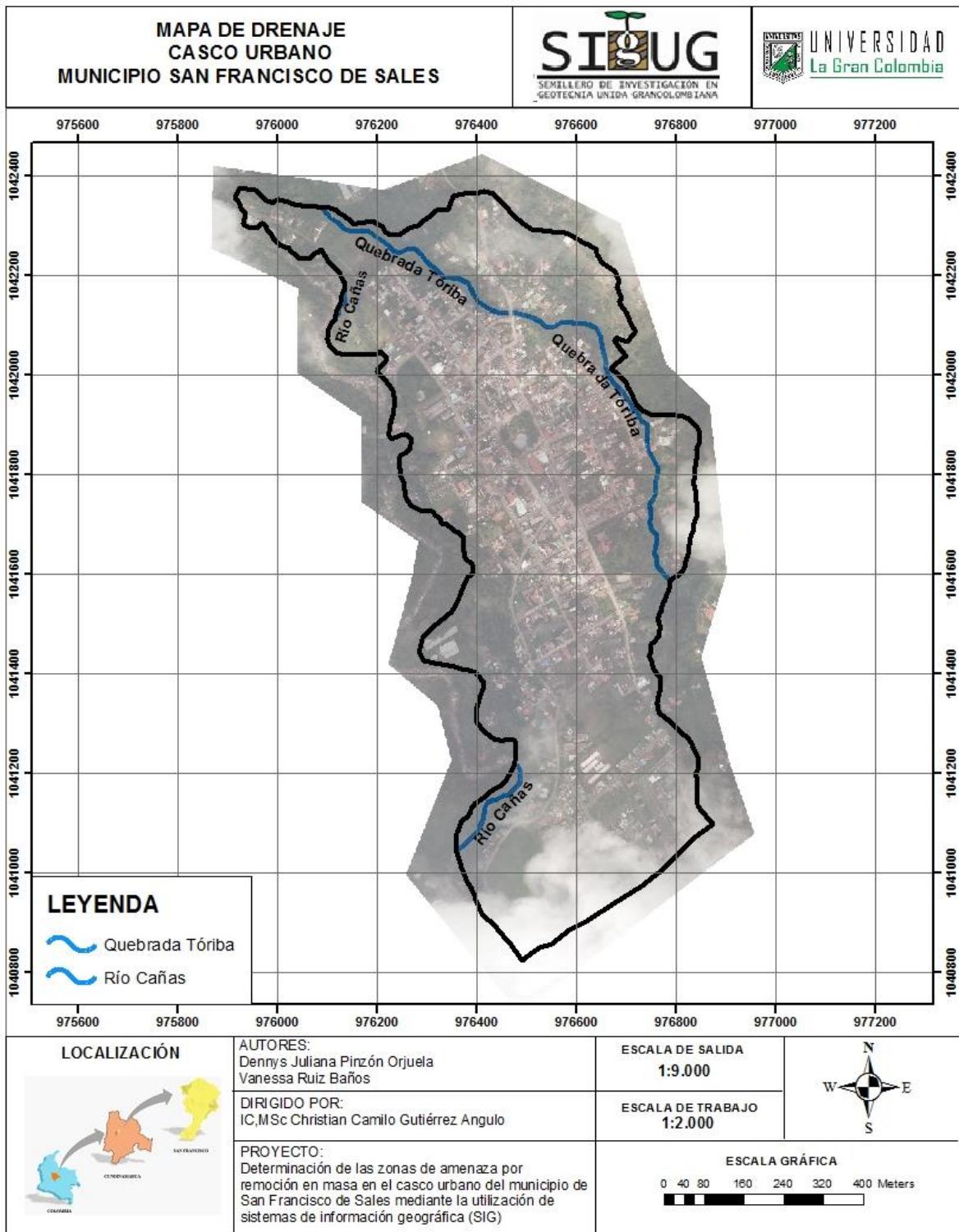
## ANEXO 9. MAPA COBERTURAS DEL SUELO



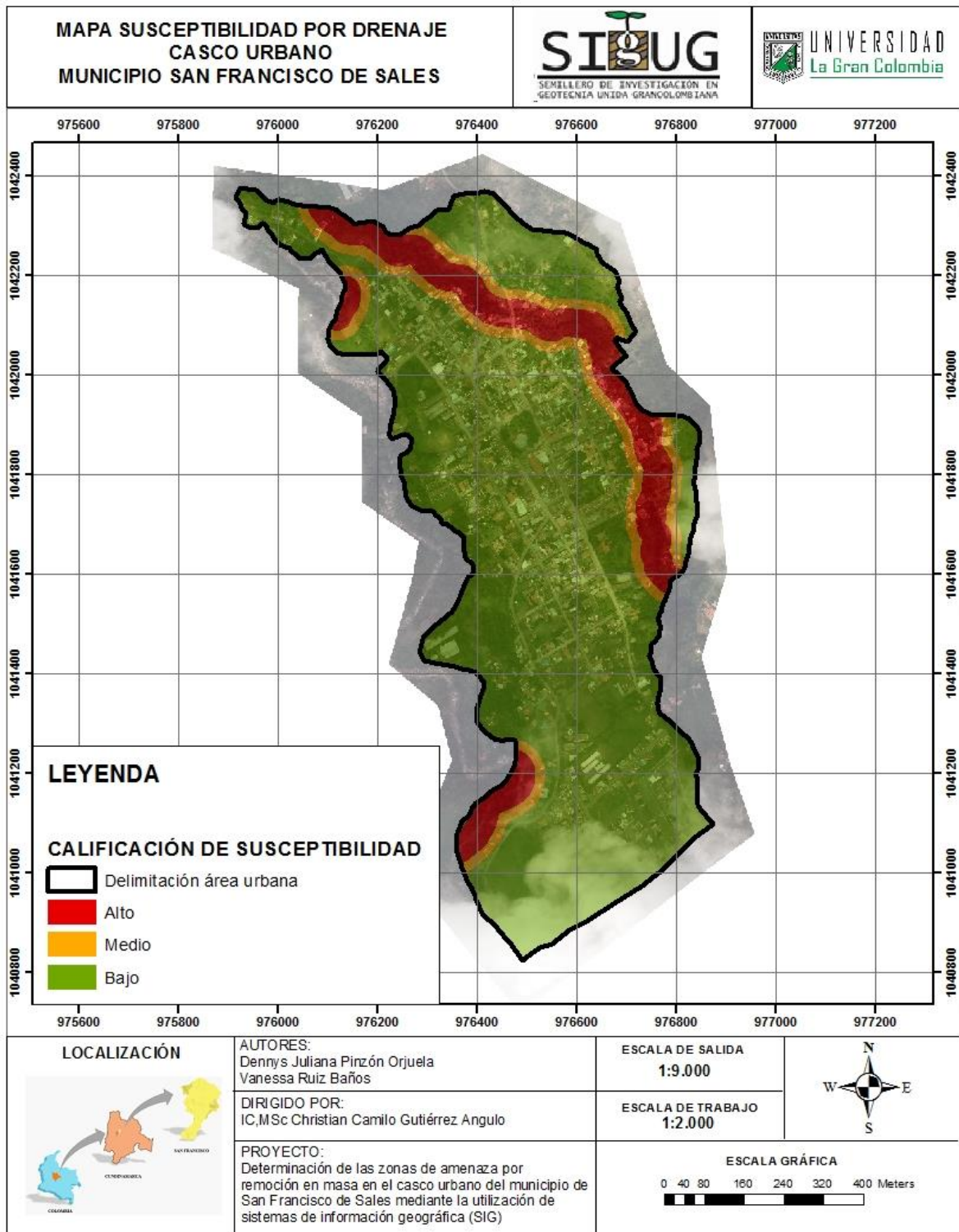
## ANEXO 10. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR COBERTURAS DEL SUELO



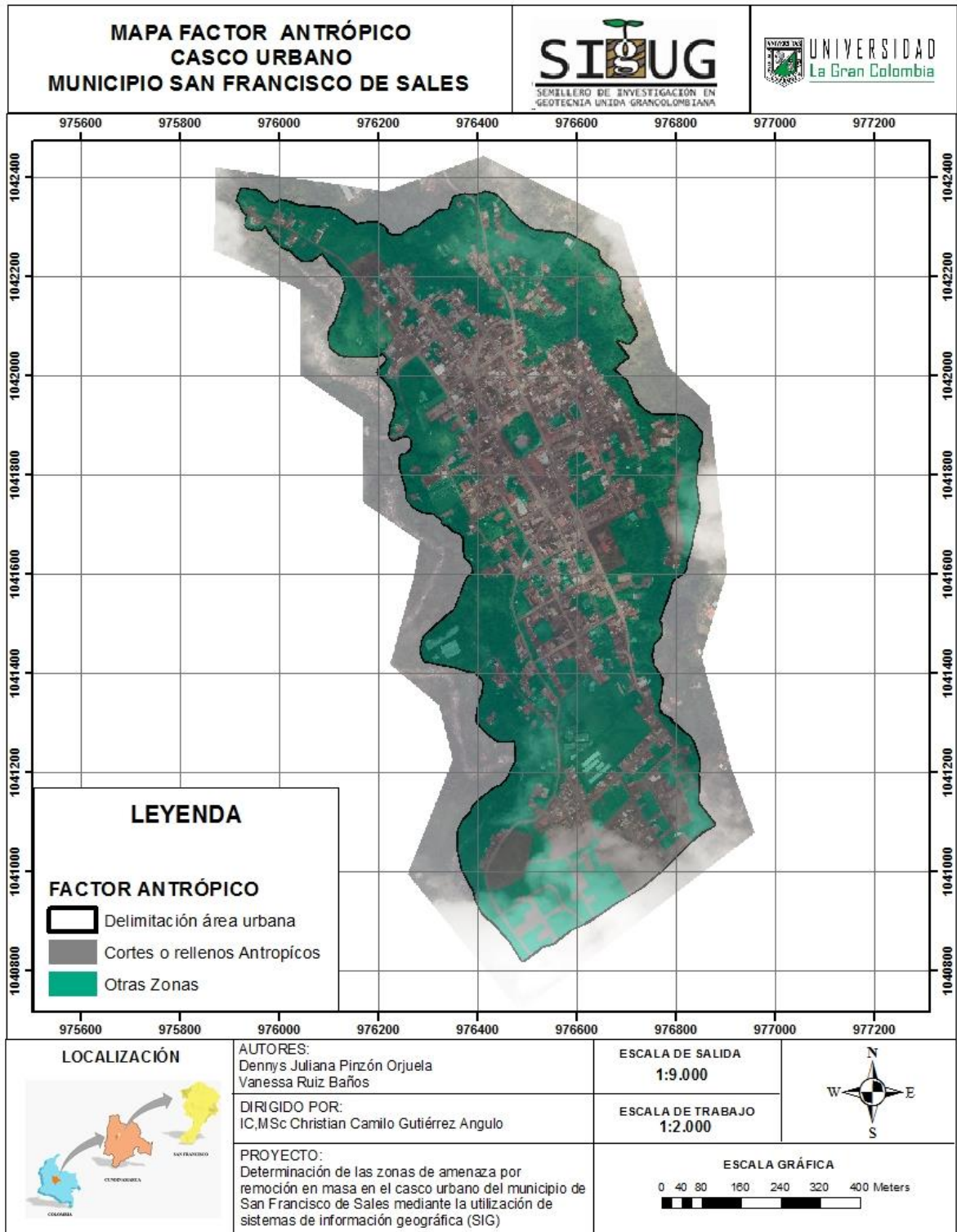
## ANEXO 11. MAPA DE DRENAJE



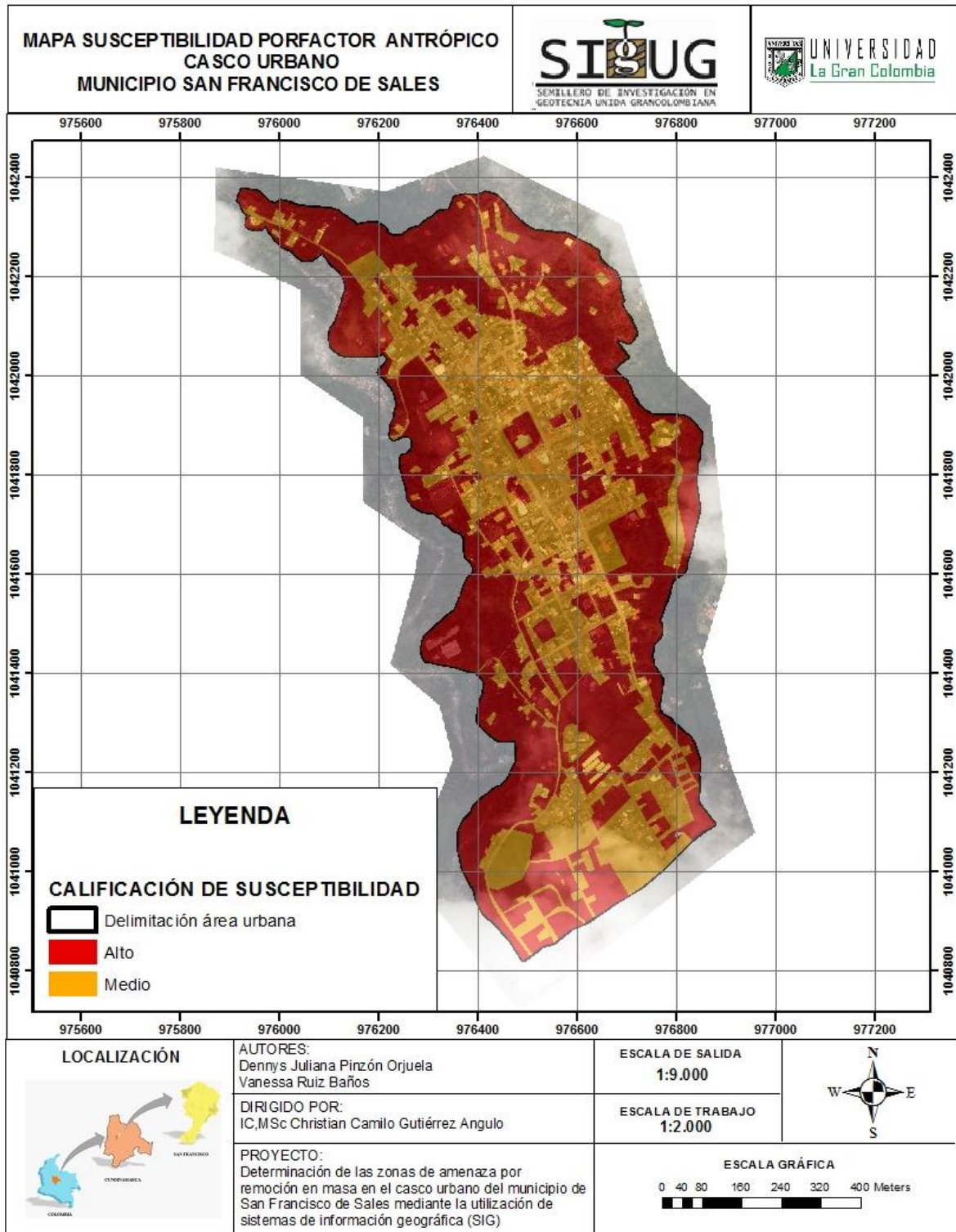
## ANEXO 12. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR DRENAJE



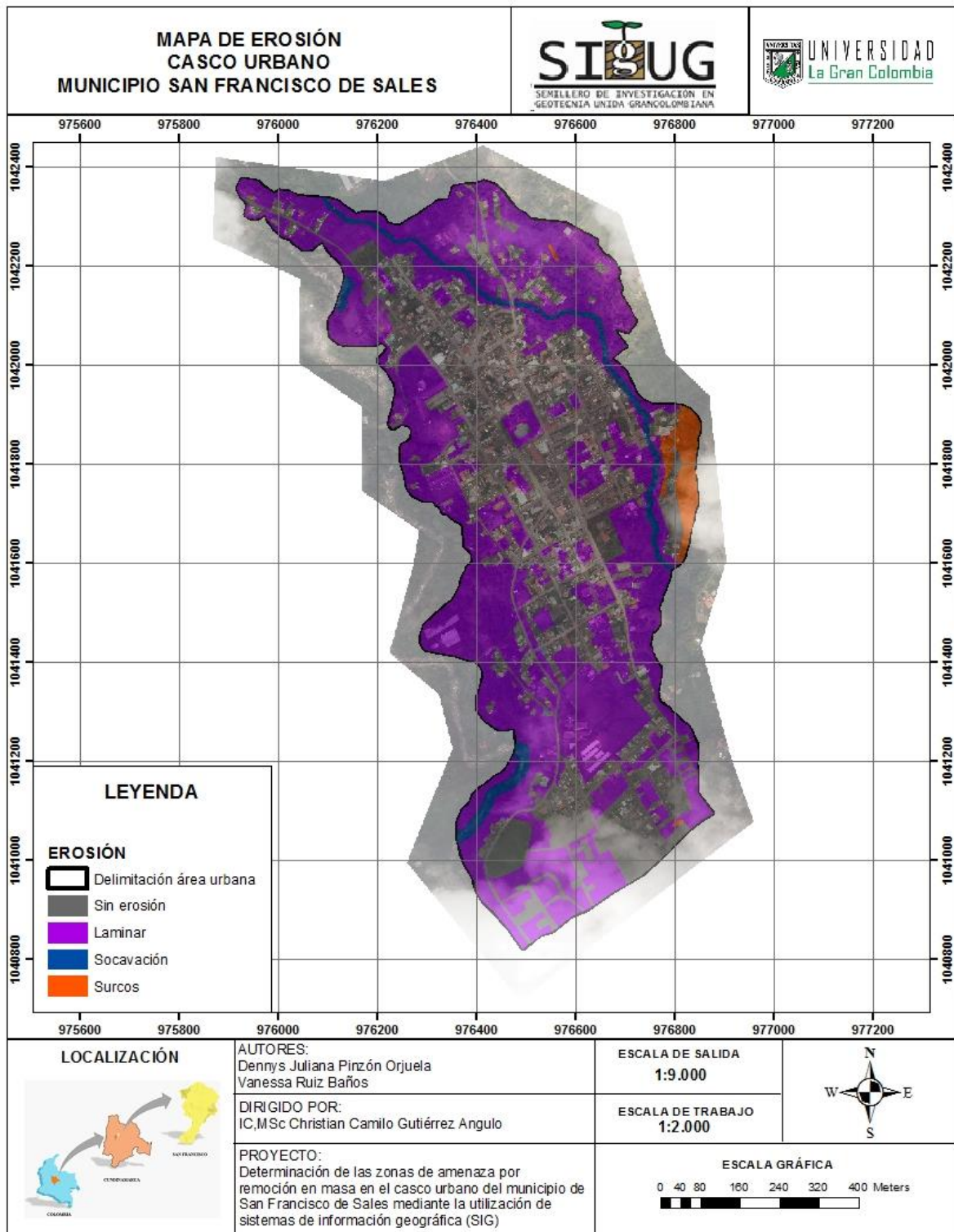
## ANEXO 13. MAPA DE FACTOR ANTRÓPICO



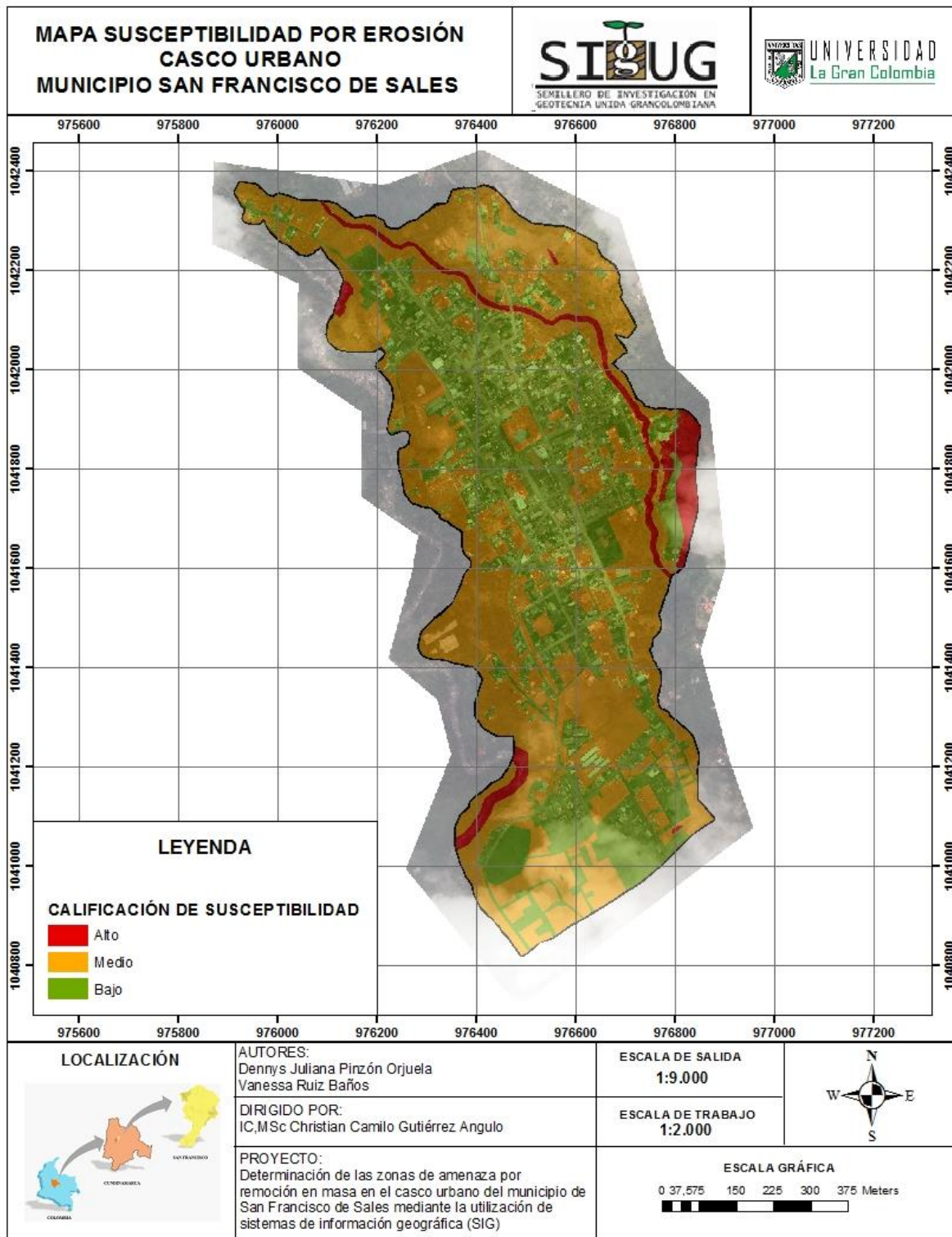
## ANEXO 14. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR FACTOR ANTRÓPICO



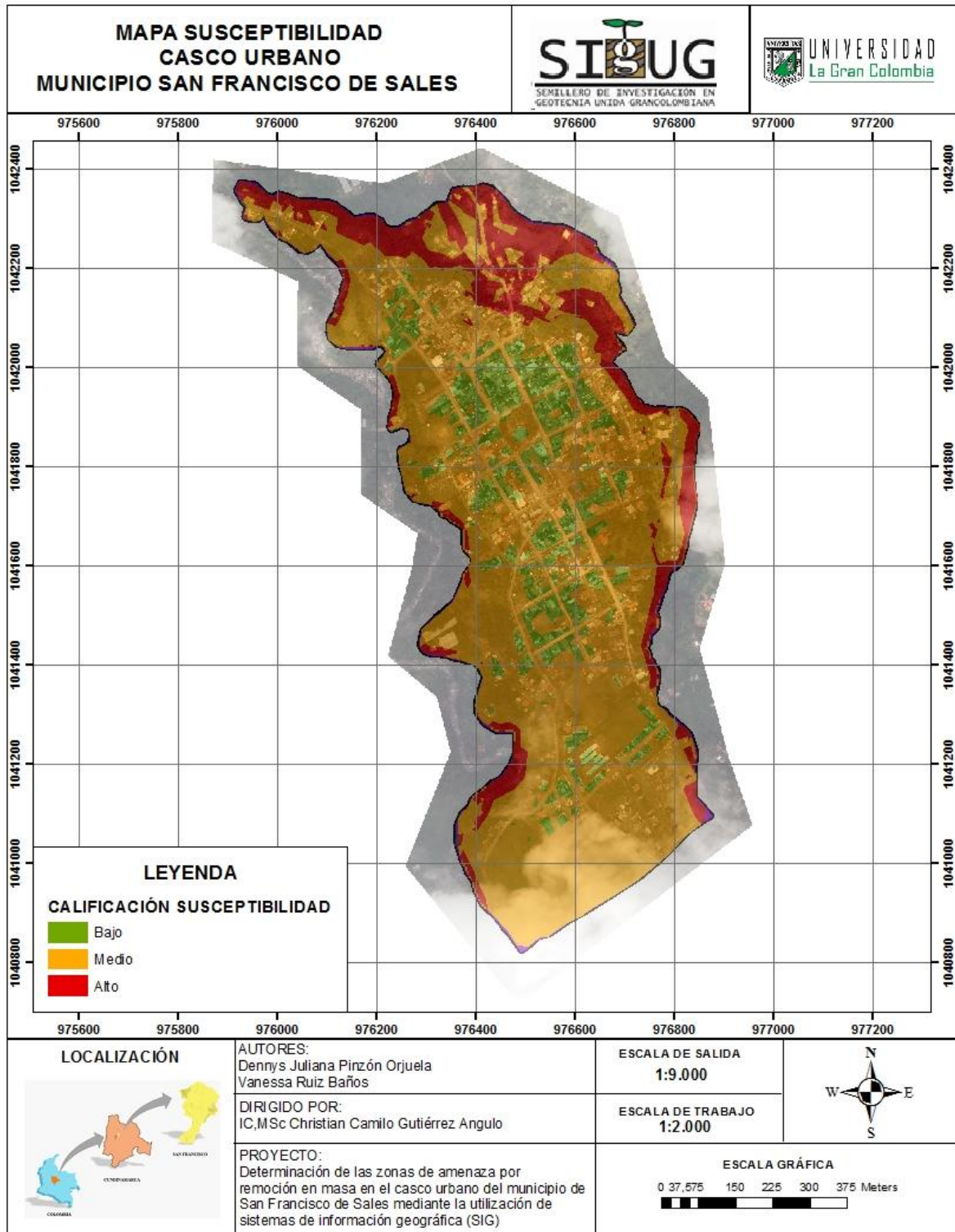
## ANEXO 15. MAPA DE EROSIÓN



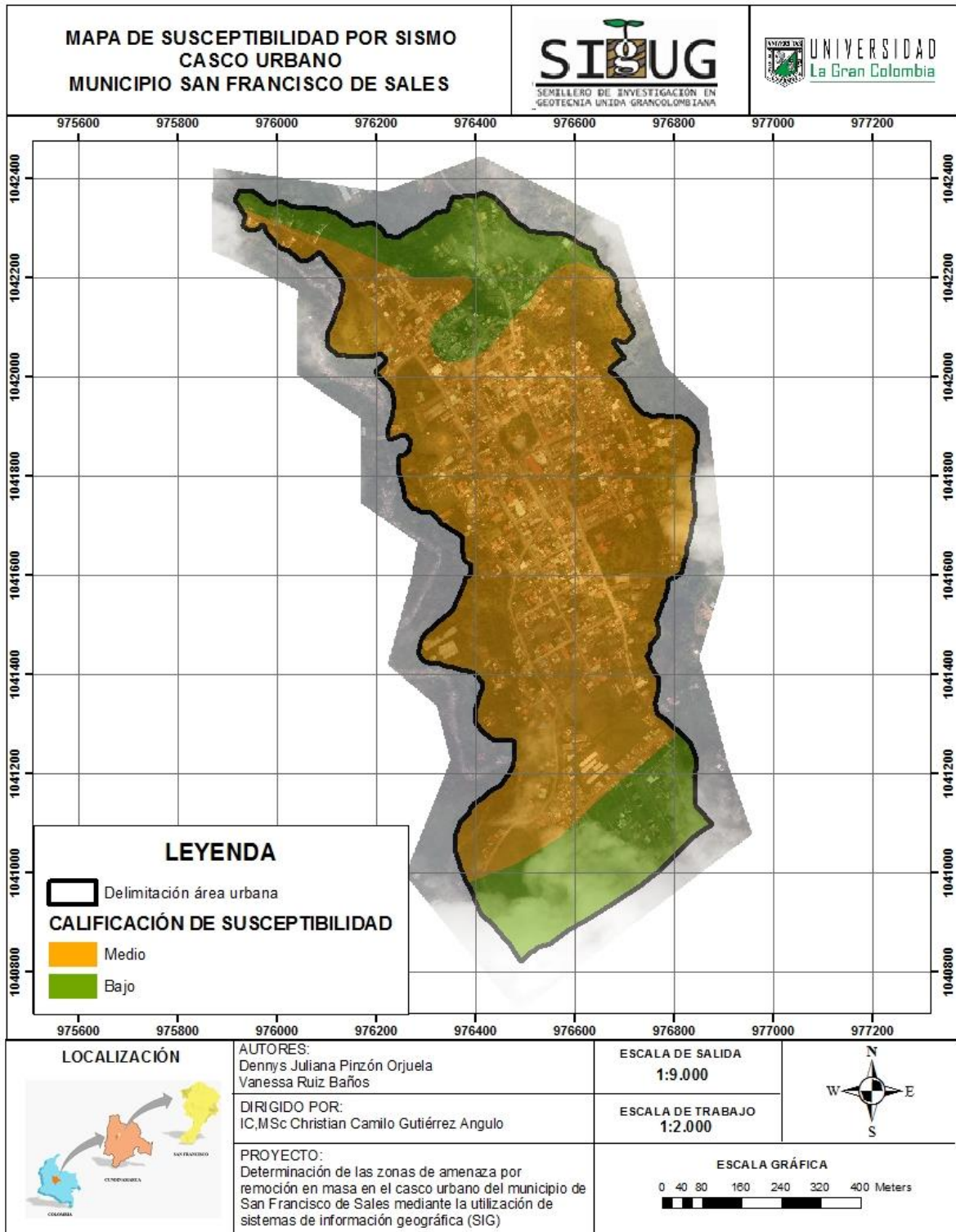
## ANEXO 16. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR EROSIÓN



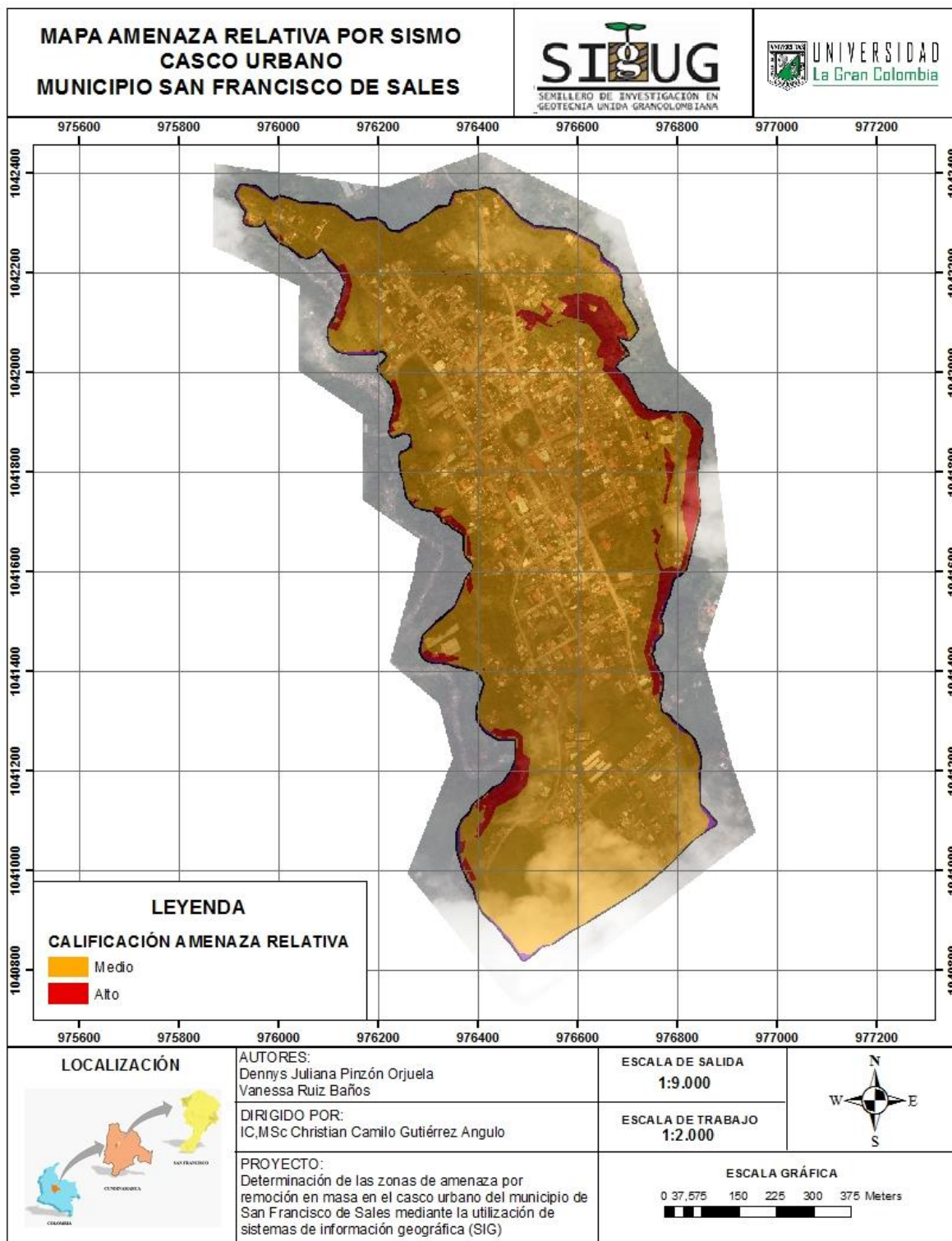
## ANEXO 17. MAPA DE SUCEPTIBILIDAD



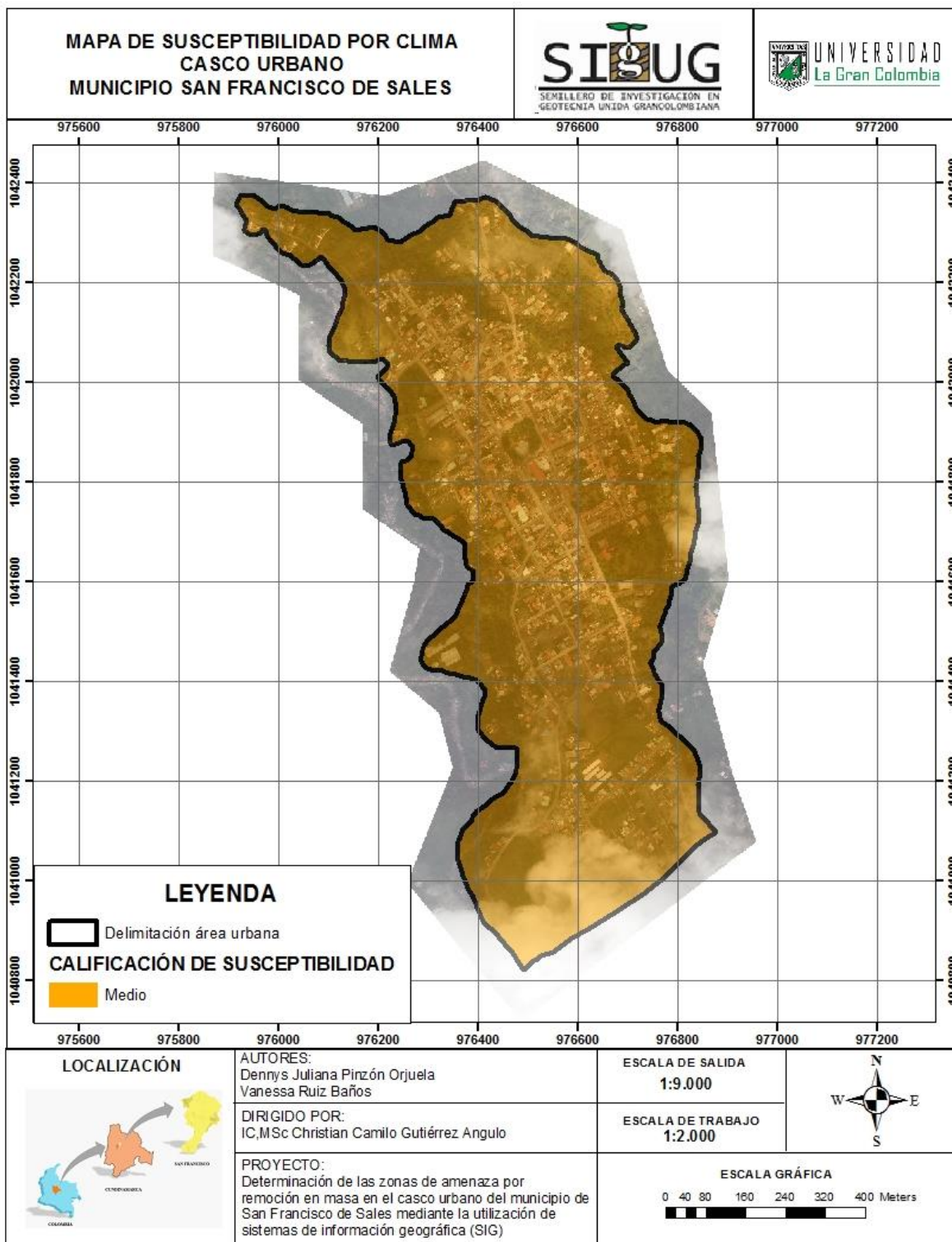
## ANEXO 18. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR SISMO



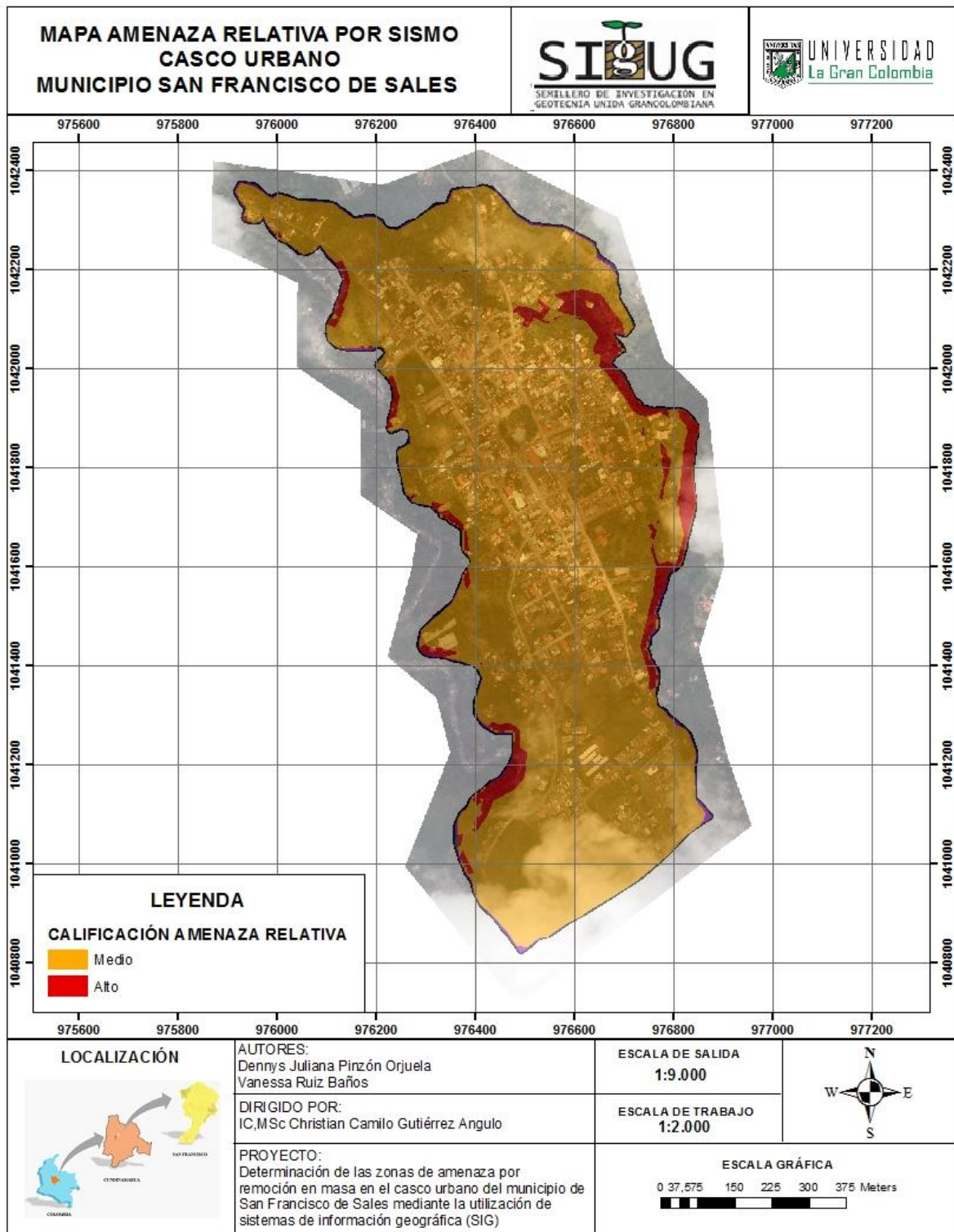
## ANEXO 19. MAPA DE AMENAZA RELATIVA POR SISMO



## ANEXO 20. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR CLIMA



## ANEXO 21. MAPA DE AMENAZA RELATIVA POR CLIMA



## ANEXO 22. MAPA DE AMENAZA FINAL

