

**ESTUDIO INDICATIVO DE LA VULNERABILIDAD FRENTE A LAS AMENAZAS
NATURALES DE LA PARTE ALTA DE LA COMUNA DOS DEL MUNICIPIO DE
VILLAVICENCIO META.**



Por:

**JUAN DIEGO SANCHEZ CARDONA
MARIA JOSE TIBABUZO JIMENEZ**



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2019**

**ESTUDIO INDICATIVO DE LA VULNERABILIDAD FRENTE A LAS AMENAZAS
NATURALES DE LA PARTE ALTA DE LA COMUNA DOS DEL MUNICIPIO DE
VILLAVICENCIO META.**



Por:
JUAN DIEGO SANCHEZ CARDONA
MARIA JOSE TIBABUZO JIMENEZ

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional
de ingeniero civil

Aprobado por:
Ing. Germán Ernesto Chicangana Montón, MSc
Director

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2019

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Fray José Gabriel Mesa Ángulo, O.P.
Rector General

Fray Eduardo González Gil, O.P.
Vicerrector Académico General

Fray José Antonio Balaguera Cepeda, O.P.
Rector Sede Villavicencio

Fray Rodrigo García Jara, O.P.
Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Julieth Andrea Sierra Tobón
Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. Manuel Eduardo Herrera Pabón, M.S.
Decano Facultad de Ingeniería Civil

DEDICATORIA

A mi madre Consuelo Cardona, a mi padre Germán Sánchez y a mi hermana Valentina por su apoyo incondicional durante el proceso de formación profesional.

-Juan Diego Sánchez C

A mi madre Genit Jiménez, a mi padre Jorge Tibabuzo, a Natividad Baquero por su incondicionalidad, a Santiago Vélez por ser mi compañía y a todos mis hermanos, muchas gracias.

-María José Tibabuzo J

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios ante todo por permitirnos llegar a esta etapa trabajando en equipo en la trayectoria de nuestro pregrado sin ningún tropiezo. A nuestro director Germán Ernesto Chicangana Montón por su profesionalidad, paciencia y entrega que fueron fundamentales para el desarrollo de nuestro aprendizaje y trabajo de grado. En general a nuestros familiares la planta docente y nuestros amigos que de una u otra manera aportaron a la culminación de este ciclo.

RESUMEN

Las amenazas naturales son un conjunto de fenómenos que son promovidos por factores como los sismos, lluvias, desprendimientos de masa, entre otros que alteran la topografía de las zonas en que se generan. Cuando estos eventos ocurren en áreas habitadas afectan de manera directa e indirecto las infraestructuras que se encuentran sobre estas y que conllevan a pérdidas humanas, económicas y sociales.

Esta investigación realizada en la parte alta de la comuna dos, que corresponde a la zona urbana de Villavicencio tendrá como objetivo determinar las zonas que presentan alto riesgo frente al estado constructivo actual de las viviendas en lo referente a la norma NSR-10, vulnerabilidad sísmica y remoción en masa, mediante la recopilación de estudios preliminares ya existentes en la zona, cartografía básica, fotografías aéreas y toda la información referente que servirá como apoyo para la realización de mapas de vulnerabilidad por remoción de masa, mapa geológico, geomorfológico y vulnerabilidad sísmica exponiendo las características del suelo y la relación suelo vivienda, mediante la ayuda del sistema de información geográfica ArcGIS.

Palabras Clave: *Amenaza, desprendimiento, fenómeno, infraestructura, sismos vulnerabilidad.*

ABSTRACT

Natural hazards are a set of phenomena that are promoted by factors such as earthquakes, rains, landslides, among others that alter the topography of the areas in which they are generated. When these events occur in inhabited areas, they directly and indirectly affect the infrastructures that are on them and that lead to human, economic and social losses.

This research carried out in the upper part of commune two, which corresponds to the urban area of Villavicencio, will aim to determine the areas that present a high risk compared to the current construction status of the houses in relation to the NSR-10 norm, seismic vulnerability and mass removal, by compiling preliminary studies already existing in the area, basic cartography, area photographs and all the relevant information that will serve as support for the creation of vulnerability maps for mass removal, geological, geomorphological and seismic vulnerability maps. exposing the characteristics of the soil and the relationship between housing and land, through the help of the ArcGIS geographic information system.

Key Word: *Threat, detachment, phenomenon, infrastructure, earthquakes vulnerability.*

CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.1.1. Descripción del problema	16
1.1.2. Formulación del problema	17
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	17
1.3. OBJETIVOS.....	18
1.3.1. Objetivo general.....	19
1.3.2. Objetivos específicos.....	19
1.4. MARCO CONCEPTUAL	20
1.5. ESTADO DEL ARTE.....	20
1.6. ANTECEDENTES.....	23
1.7. MARCO NORMATIVO.....	257
1.8. MARCO GEOGRÁFICO	29
1.9. ALCANCE.....	28
1.9.1. Alineando objetivos y alcance.....	28
 CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO	 30
2.1. VULNERABILIDAD ANTE AMENAZAS NATURALES.....	35
2.1.1. Desastres naturales	35
2.1.2. Taludes	35
2.1.3. Remoción de masa	35
2.1.4. Clasificación de los procesos de remoción de masa.....	35
2.1.5. Caída.....	35
2.1.6. Volcamiento	35
2.1.7. Deslizamientos	35
2.1.7.1. Deslizamientos rotacional	35
2.1.7.2. Deslizamientos traslacional.....	35
2.2. DÓNDE OCURREN LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRA.....	35
2.3. CAUSAS DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRAS.....	35
2.3.1. Deslizamientos de tierra y agua	35

2.3.2.	Deslizamientos de tierra y actividad sísmica.....	35
2.4.	CLASIFICACIÓN DE LOS SISMOS	35
2.5.	ONDAS SÍSMICAS	35
2.5.1.	Ondas Love.....	41
2.5.2.	Efectos del sitio	42
2.5.3.	Escala de intensidad	35
2.6.	ESTUDIOS DE MICROZONIFICACIÓN SISMOGEOTÉCNICA	44
2.7.	INGENIERIA SÍSMICA.....	46
2.8.	MÉTODOS PARA LA ZONIFICACIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS SÍSMICOS.....	435
2.8.1.	Zonificación por movimiento de tierra.....	35
2.8.1.1.	Sismicidad	36
2.8.1.2.	Atenuación	36
2.8.1.3.	Efectos locales del sitio	36
2.9.	ACELERÓGRAFOS Y ACELEROGRAMAS	36
CAPITULO 3. METODOLOGÍA.....		48
3.1.	FASE INICIAL	50
3.1.1.	Definición de la zona de estudio	50
3.1.2.	Recopilación de la información	50
3.1.3.	Consulta de estudios por amenaza naturales presentadas en el POT – Villavicencio 2015.....	50
3.1.4.	Consulta de estudios de amenaza naturales presentaos en el sector	51
3.2.	ESTUDIO GENERACIÓN BASE TOPOGRÁFICA.....	35
3.3.	ESTUDIO SISMOLÓGICO.....	51
3.4.	DETERMINACIÓN DEL ALCANCE DE LA AMENZA SÍSMICA EN LA ZONA DE ESTUDIO	52
3.4.1.	Respuesta sísmica local del subsuelo.....	52
3.4.1.1	Estudios geológicos.....	52
3.4.1.2	Aspectos geofísicos y geotécnicos.....	52

3.4.2. Caracterización de viviendas y construcciones.	53
3.4.3. Registro de lluvias.	53
3.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	53
3.6. ELABORACIÓN DE INSUMOS BÁSICOS.....	53
 CAPITULO 4. RESULTADOS	 53
4.1. COBERTURA Y USO DEL SUELO.....	55
4.2. GEOLOGÍA	58
4.2.1. Depósito de cause aluvial activo.....	60
4.2.2. Conos de deyección activo	60
4.2.3. Depósito de llanura aluvial baja.....	60
4.2.4. Depósitos coluviales.....	60
4.2.5. Depósitos de abanico fluviotorrenciales.....	60
4.2.6. Depósitos de abanico fluviotorrencial.....	60
4.2.7. Grupo Palmichal.....	61
4.2.8. Formación Une.....	61
4.3. SUELOS	61
4.3.1. Arenisca Cuarzosa de la formación Palmichal.....	62
4.3.2. Suelos Coluviales.....	62
4.3.3. Suelos aluviales de cauce activo y suelos aluviales de terrazas bajas.....	62
4.3.4. Suelos fluviotorrenciales de abanicos del Parrado y Mesetas y suelos fluviotorrenciales de abanico de Villavicencio.....	63
4.4. PENDIENTES	63
4.5. ASPECTOS HIDROMETEOROLÓGICOS	66
4.5.1. Análisis de precipitación.....	66
4.5.2. Precipitación total mensual.....	66
4.5.3. Número de días de precipitación.....	67
4.5.4. Precipitación máxima en 24 horasl.....	68
4.6. ANÁLISIS DE PARÁMETROS CLIMÁTICOS.....	69

4.6.1. Temperatura máxima.....	69
4.7. MAPA DE ISOYETAS.....	70
4.8. AMENAZAS NATURALES.....	71
4.8.1. Amenaza por remoción en masa.....	71
4.8.2. Amenaza por deslizamiento	74
4.8.3. Amenaza sísmica.....	75
4.8.3.1. Espesores y periodos de vibracion del suelo	76
CAPITULO 5. ANÁLISIS DE REULTADOS.....	53
CONCLUSIONES.....	88
RECOMENDACIONES	90
BIBLIOGRAFÍA	88
ANEXOS	90

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Antecedentes	24
Tabla 4-2. Áreas clasificación de cobertura.....	54
Tabla 4-3. Clasificación de pendientes.....	60
Tabla 4-4 Estaciones pluviométricas de la zona de estudio	63
Tabla 4-5 Precipitación total anual por estación.....	67
Tabla 4-6 Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos	70
Tabla 4-7 Unidades litológicas	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Distribución de las comunas en el municipio de Villavicencio	27
Figura 1.2 Mapa representativo de la parte alta de la comuna dos en el municipio de Villavicencio.....	28
Figura 2.3 Taludes y laderas	31
Figura 2.4 Nomenclatura de un deslizamiento	31
Figura 2.5 Clasificación de procesos de remoción	32
Figura 2.6 Esquema de caída de rocas.....	33
Figura 2.7 Esquema de volcamiento	33
Figura 2.8 Esquema de un deslizamiento rotacional.....	34
Figura 2.9 Esquema de deslizamiento traslacional	34
Figura 2.10 Onda P y S.....	38
Figura 2.11 Ondas Love	40
Figura 2.12 Registro de desplazamientos no corregidos	46
Figura 2.13 Registro de aceleraciones corregido	47
Figura 3.14 : Etapas de desarrollo del proyecto conforme la Metodología expuesta en el texto.....	52
Figura 15-14. Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo.....	55
Figura 4 -16 Mapa de Geología, escala 1:5.000	57
Figura 4 -17Mapa de Suelos	59
Figura 4-18 Localización general de la comuna 2 curvas de nivel y pendientes del terreno.....	61
Figura 4-19 Mapa de pendientes.....	62
Figura 4-20 Mapa de Isoyetas.....	68
Figura 4-21 Mapa de Amenaza por Remoción en Masa	69
Figura 4-22 Zonificación de espesores y periodos de vibración.....	73
Figura 4-23 Mapa Amenaza Sísmica	77

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 5-1. Porcentaje cobertura y uso del suelo en la zona de estudio..... **¡Error!**

Marcador no definido.

Gráfico 4-2 Precipitación mensual, estación Aeropuerto de Vanguardia 64

Gráfico 4-3 Número de días de precipitación, estación Aeropuerto de Vanguardia
..... 65

Gráfico 4-4 Precipitación mensual máxima en 24 horas 66

Gráfico 4-5 Espectros Indicativos de Respuesta Sísmica Casco Urbano de
Villavicencio..... 75

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

A partir del estudio indicativo de microzonificación sísmica de Villavicencio, la amenaza en la que se encuentra la ciudad es considerada alta. Para la parte alta de la comuna dos la cual corresponde a los sectores del Barzal alto, Buque, La Azotea, Mesetas Altas, Balcones de Toledo, San José entre otros, de acuerdo con dicho estudio sus suelos son definidos como depósitos fluvio-torrenciales indicando una aceleración $2,0\text{ g}$ con un periodo de $0,2$ a $0,4$ segundos, además del incremento de la pendiente topográfica en donde se asientan los barrios que la conforman. En la comuna dos de Villavicencio, En la comuna dos de Villavicencio la mayoría de las construcciones fueron edificadas antes de que se implementara el primer código de sismo resistencia (decreto 1400 de 1984) en Colombia. Éste sector comenzó a desarrollarse durante la década de 1950. En el barrio Barzal alto se encuentra ubicado el hospital Departamental de Villavicencio y la mayoría de la infraestructura de hospitalaria de la ciudad. El centro fundacional de la ciudad se desarrolló desde 1985, pero ha sufrido modificaciones durante el siglo XX, la mayoría de las construcciones que constituyen este territorio se originan desde 1960 – 1970 destacándose entre otros el Banco de la República y la Alcaldía de Villavicencio, cabe resaltar que en este lugar también se encuentran edificios y viviendas construidos anterior a este periodo como la catedral de la ciudad y algunas viviendas que inclusive datan de principios del siglo XX [1].

La ubicación de los residentes es un factor influyente ya que aumenta la vulnerabilidad tanto en la infraestructura como la cantidad de víctimas, por tal motivo Colombia es uno de los Países con mayor número de víctimas fatales según lo evidencia la Base de Datos Internacional de Desastres (EM-DAT), en la cual se fundamenta que la ocurrencia por tipo de desastres: 2017 en comparación con 2017-2016 es de 22 con respecto a terremotos, 126 a inundaciones y de 25 a deslizamientos de tierra [2]. Por otro lado, se registra que para el periodo comprendido entre los años 1901-2011 se presentaron 41 sucesos por remoción en masa con un aproximado de 3,171 muertes, en esta base se relaciona el número de víctimas fatales con la magnitud de los eventos en cuanto a volumen y área

afectada, en el cual se declara la vulnerabilidad de la población al localizarse en zonas propensas a amenazas naturales [2].

En el presente trabajo se va a realizar el estudio indicativo de la vulnerabilidad ante amenazas naturales para procesos de remoción de masa, sismos, inundaciones que se puedan presentar en la parte alta de la comuna dos de Villavicencio, cuya fuente puede ser tanto local o lejana, causando efectos en los suelos de la comuna y dando paso a que estos excedan los parámetros determinados por el estudio de microzonificación sísmica indicativa realizado en el año 2000 por el Servicio Geológico Colombiano (S.G.C.), de acuerdo a lo anterior esta investigación busca contribuir con la actualización de dicho estudio como un aporte a la academia.

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Descripción del problema

En la capital del Meta (Villavicencio) especialmente en la parte alta de la comuna dos, presenta características geotécnicas como la alta pendiente que supera el 10%, además, estos suelos están definidos como depósitos fluviotorrenciales según lo especifica *Ojeda y Alvarado* [1]. Por otro lado, en esta zona la mayoría de construcciones fueron edificadas antes de 1980, cuando en Colombia aún no se habían establecido las normas sismo resistentes. Actualmente estas edificaciones, que en su mayoría son residenciales, en algunos casos también tienen uso comercial, e igualmente edificios de carácter institucional de servicios públicos como el Hospital Departamental, algunas clínicas privadas y el antiguo DAS, hoy en día Ministerio de relaciones exteriores y la Empresa de Energía Eléctrica (EMSA), que no cumplen con la norma actual, ya que estas fueron construidas con el primer código sismo resistente (decreto 1400 de 1985). En la última década la parte alta de la comuna se ha evidenciado un crecimiento urbano que sigue la calle 37A que conduce desde el Barzal Alto a la altura del Hospital Departamental hasta la parte alta de la vereda Mesetas. Este último sector presenta construcciones de residencias con estratificación socioeconómica baja, en donde predominan altas pendientes y las viviendas carecen de diseños estructurales que a simple vista se

pueden evidenciar, además algunas de las viviendas se encuentran construidas en materiales no aptos para la construcción. Todo lo anterior hace que se incremente la vulnerabilidad de las comunidades frente a las amenazas naturales como los movimientos de masa y eventos sísmicos [1].

1.1.2. Formulación del problema

La ciudad de Villavicencio cuenta con un análisis indicativo de microzonificación sismogeotécnica, que fue realizado en el año 2000, entre la alcaldía de Villavicencio en convenio con el Servicio Geológico Colombiano (SGC) anteriormente (INGEOMINAS), encargado del estudio, los recursos naturales y los peligros que estos pueden enfrentar, a partir de la investigación previa realizada se ha determinado zonas críticas, sin embargo las administraciones municipales nunca han hecho cumplir este reglamento a las personas que edifican, por otro lado éste sector se conforma por asentamientos ilegales, los cuales la Alcaldía Municipal ha identificado como zonas expuestas a altos riesgos.

Dentro de las variables a tener en cuenta frente a los riesgos que enfrenta el municipio de Villavicencio se encuentra las primeras edificaciones que fueron construidas antes de la existencia del código sismo resistente, aun así, hoy en día ha sido evidente el mejoramiento de estas construcciones, pero únicamente su parte externa, sin mejorar su parte estructural, de tal manera estas edificaciones ponen en riesgo la población frente a un posible evento sísmico. Por lo anterior se pretende realizar el análisis de la vulnerabilidad de la parte alta de la comuna dos de Villavicencio mediante la información existente de estudios previos de Zonificación en la ciudad, los cuales posibiliten validar y argumentar los riesgos que enfrenta la población, al no tener en cuenta el código de construcciones sismo resistentes y sus actualizaciones [3].

1.2. JUSTIFICACIÓN

Para poner en funcionamiento el progreso de esta investigación se tiene en cuenta que la ciudad de Villavicencio está localizada en el piedemonte llanero de la

cordillera Oriental, se constituye de un contexto geológico y morfológico los cuales hacen que el municipio sea propenso a sufrir efectos adversos; a partir de las consecuencias anteriores es importante identificar el estudio que ocasionen los efectos de un evento sísmico para la ciudad específicamente en la parte alta de la comuna dos de Villavicencio, por lo tanto los estudios preliminares de zonificación sismo geotécnica serán considerados como herramientas para dar continuidad al desarrollo de la investigación y así mismo conocer los sectores más vulnerables frente amenazas naturales mencionadas anteriormente, esto servirá como apoyo para futuros el planes de ordenamiento territorial (POT) que se realice en la ciudad y específicamente en este sector [3].

Por lo anterior el estudio de microzonificación sísmica indicativa servirá como base para tener en cuenta las medidas preventivas para el avance del estudio, es importante tener en cuenta que dicha investigación se ejecutó en el año 2000 y a partir de la fecha la ciudad ha presentado un incremento urbano altamente considerable, especialmente en la comuna dos donde se concentra la mayor parte de la infraestructura hospitalaria y las principales edificaciones del municipio, dado a esto es importante realizar dicha investigación con el fin de determinar si las infraestructuras que componen la zona de estudio ejecutan el cumplimiento del código sismo resistente acorde a su modificación actualmente vigente. Cabe resaltar que también el uso del suelo es quien determina sustancialmente el cambio o alteración de la vulnerabilidad, esto dependerá del tipo edificación que se encuentre construida sobre éste.

Con la realización del proyecto se busca determinar por un lado el alcance de la amenaza natural sobre los sectores de la parte alta de la comuna dos de Villavicencio, y por otro lado que esta investigación sirva como aporte a la Ingeniería Civil, especialmente a los estudiantes de la Universidad Santo Tomás de Villavicencio en futuros trabajos investigativos.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Realizar el estudio indicativo de la vulnerabilidad para la parte alta de la comuna dos de Villavicencio frente a las amenazas naturales para procesos de remoción de masa y amenaza sísmica.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar las posibles amenazas en la parte alta de la comuna dos que ocasionen riesgos a la comunidad.
- Analizar en la parte alta de la comuna dos el estado constructivo actual de las viviendas en lo referente a la norma NSR-10 y su relación suelo-construcciones.
- Determinar el grado de vulnerabilidad indicativa de la comuna dos frente a las amenazas naturales como remoción de masa y la amenaza sísmica definiendo cuales son las zonas críticas.

1.4. MARCO CONCEPTUAL

La sismicidad se encuentra definida como los eventos sísmicos que pueden ser presentados en una zona, dependiendo de su actividad tectónica, el proyecto trata de definir de una manera zonificada en la comuna dos cuales son las zonas de mayor vulnerabilidad expuestas a amenazas naturales como fenómenos de remoción de masa, deslizamientos o riesgos (posibilidad de la ocurrencia de un fenómeno natural) que puedan presentarse en las construcciones frente a las ondas fuertes de los terremotos, dentro de las principales definiciones que se deben tener en claridad se encuentran:

Amenaza: Potencia frente a la ocurrencia de un hecho que puede dar la posibilidad de manifestarse en un lugar con una duración e intensidad determinada.

Asentamiento de suelo: Deformación vertical de un terreno causado por aplicación de cargas sobre suelos poco consolidados.

Elemento bajo riesgo: Grado de pérdidas esperadas dependiente de la ocurrencia de un evento en particular sobre una infraestructura.

Espectro de respuesta: Medición que determina el comportamiento y reacción estructural frente a la vibración que se presenta en el suelo que la soporta.

Efecto sísmico: Consecuencia de la ocurrencia de un sismo, sobre suelos y estructuras.

Fenómeno natural: Cambio global de la naturaleza no provocado por acciones humanas.

Movimiento de masa: Consecuencia natural como deslizamiento, derrumbe.

Onda sísmica: Onda elástica perturbada por movimientos de placas tectónicas.

Peligro: Factor de riesgo o pérdida esperada de acuerdo a la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos que exponen una amenaza.

Propagación: Fenómenos físicos que conductores de onda del transmisor al receptor.

Remoción de masa: Proceso morfológico en el cual el suelo desciende por acción de la gravedad.

Riesgo: Situación que posibilita una amenaza causando daños o perjuicios.

Suelo: Superficie de la corteza terrestre proveniente de la desintegración física y química de las rocas.

Terremoto: Movimiento de la tierra causado por la liberación de energía.

Vulnerabilidad: Grado de exposición de un sujeto u objeto ante padecer o sufrir un riesgo inminente.

Vulnerabilidad sísmica: Grado de pérdida de un elemento bajo riesgo con probable ocurrencia de evento sísmico.

1.5. ESTADO DEL ARTE

El primer concepto de ingeniería sísmica en el mundo surgió en California EEUU para el año de 1971 cuando se presentó un evento sísmico en San Fernando a las afueras de los Ángeles, por lo anterior se fue en caminando la Asociación de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC), y que tres años después del evento se publicó la versión de *“Recommended Lateral Force Requirements and*

Commentary” que surgió como base para muchos países, en Colombia los profesores Alberto Sarria y Luis Enrique García de la Universidad de los Andes determinaron que era la hora de hacer un reglamento de construcción para dar inicio a esta norma, uno de los primeros pasos fue traducir la publicación de la SEAOC pero que gracias al Concejo de Tecnología Aplicada (ATC) en 1978 se publicó el guía para realizar normas de edificación (ATC-3), pero que abrió la probabilidad de formar una modificación de aquel documento al contexto nacional. En 1979 la Asociación de Ingeniería Sísmica (AIS) fundada y dirigida por Alberto Sarria, incluyó una propuesta para adaptar la ATC-3 en el país. Surgiendo así la creación de la Norma AIS-100-81 *“Requisitos sísmicos para edificios”* [4].

En los últimos tiempos los estudios sismogeotécnicos se han venido intensificando y perfeccionando por la alta actividad sísmica que se está presentando. En regiones en donde la actividad sísmica es alta como por ejemplo las que conforman el cinturón de fuego del Pacífico se han estado ejecutando estos estudios detallados. Colombia es uno de los países que se ha unido a estas investigaciones, en ciudades como Bogotá, Manizales, Medellín, Cali, Bucaramanga, Popayán y Villavicencio, entre otras, el gobierno Nacional ha creado planes de prevención y desastres a través de instituciones que desarrollen actividades técnico-científicas con el fin de prevenir los acontecimientos naturales que en el futuro se podrían presentar.

En el año 2001 el Servicio Geológico Colombiano (SGC) y el Ministerio de Minas y Energía antiguamente INGEOMINAS (Instituto de Investigación e Información Geocientífica Minero-Ambiental y nuclear), en la ciudad de Villavicencio Meta realizaron la Zonificación Sismogeotécnica Indicativa, en el cual se tuvo en cuenta la evaluación de la amenaza sísmica regional en donde se incluyen la Neotectónica, la actualización del catálogo de sismos y el área de influencia en Villavicencio [1]. Otro factor que se tuvo en cuenta en este trabajo, fueron los aspectos geológicos en donde se menciona la estratigrafía, la geología estructural, geomorfología y las unidades geológicas superficiales; por otro lado también en este estudio se incluyó los aspectos geofísicos de la ciudad como la adquisición de datos, procesamiento,

análisis y perfiles geoelectricos; seguido de lo anterior también se analizaron los aspectos geotécnicos por medio de compilación, análisis y exploración de campo dando por último los perfiles geotécnicos producto de las perforaciones en el sector de COFREM y SENA; por último se hizo la microzonificación sísmica por microtemores, que por medio de equipos de medición y trabajo de campo se emplearon técnicas utilizadas en el análisis como la vibración ambiental para luego registrar los sismos, recopilarlos y procesarlos.

Para el año 2003 se entregaron los resultados del estudio y la metodología que emplearon estas entidades para desarrollar la investigación, uno de estas entregas fue los ensayos de refracción sísmica realizados en el perímetro urbano de la ciudad, en donde se determinaron los valores de velocidad de las ondas refractadas; además se incluyeron los mapas de pendientes, perfiles geotécnicos, espesores de suelo con base a las 5 zonas en las que se dividió Villavicencio (1,2,3,4,5) y por último la respuesta sísmica del subsuelo en donde se determinan los posibles escenarios sísmicos [1].

Dieciséis años después, para 2019 el alcalde de la ciudad de Villavicencio Wilmar Barbosa realizó de manera muy parcial un censo sobre el estado de las viviendas de algunos barrios de la ciudad, para actualizar el estudio previo de la microzonificación sísmica que tiene la ciudad. Esto se realizó con el fin de actualizar los estudios previos ya mencionados en este sentido. Este proyecto lo que buscó fue conocer detalladamente un sector el municipio, para que se implementaran los criterios de diseño sísmico, cuantificación de pérdidas y probabilidades de ocurrencia de un evento sísmico y de cualquier vulnerabilidad frente a amenazas naturales [5].

En ciudades como Cali (Valle del Cauca) en convenio con el Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo (DAGMA) e INGEOMINAS tiene como propósito zonificar la capital de acuerdo a la respuesta sísmica local, para definir parámetros de diseño y construcción sismo resistente por medio de los efectos de

propagación de onda como respuesta del subsuelo, estos resultados deben ser empleados en los planes de ordenamiento territorial. Por otro lado, en los municipios de Buga, Palmira y Tuluá han desarrollado estudios de microzonificación sísmica y estudios generales de riesgo cuyo objetivo es la información de la vulnerabilidad y los cálculos de riesgo sísmico para los tres municipios. En Popayán en su más reciente investigación (2016) con base a la norma sismo resistente NSR-10 indagan en la evaluación de la vulnerabilidad física y los escenarios de afectación y daños tanto para la zona urbana como la de expansión en los últimos años.

1.6. ANTECEDENTES

El municipio de Villavicencio presenta un alto riesgo de amenaza sísmica debido a que la ciudad se encuentra asentada sobre el cruce de las fallas del Sistema de Fallas del Piedemonte Llanero (AIS – INGEOMINAS, 1996) denominado SFFFCO conocido como Sistema de Fallas de la Falla Frontal de la Cordillera Oriental, la cual es considerada de gran actividad tectónica en comparación a otros marcos activos del territorio colombiano, en el cual se ha presentado sismos de gran consideración en las últimas décadas como son los sismos de la ciudad de Popayán y en el departamento del Quindío en los años 1983 y 1999 respectivamente, el cual afectó en gran medida a la ciudad de Armenia. Dentro de los eventos sísmicos representativos en el municipio de Villavicencio sufrió un sismo el 31 de agosto de 1917 en el cual se presentaron pérdidas humanas y pérdidas económicas. Años más tarde la ciudad padeció nuevamente un sismo en el año 1995 el cual trajo secuelas al municipio de Tauramena en el departamento de Casanare al norte de la ciudad, por tal razón para el año 2003 INGEOMINAS entrega a las autoridades locales la primera fase de la microzonificación sismogeotécnica Indicativa de Villavicencio, dando a conocer que el municipio de Villavicencio es susceptible frente a un sismo, trayendo consecuencias no sólo en el municipio de Villavicencio sino en el Departamento de Cundinamarca y el Departamento del Meta.

Recientemente entre el municipio de Villavicencio Bogotá el 24 de mayo del 2008 se presentó un sismo con magnitud de 5.7 (INGEOMINAS 2008), llevando consigo pérdidas humanas y económicas. Sobre el reconocimiento preliminar acerca del tipo de suelo y la ubicación geográfica de la ciudad, la zonificación sismogeotécnica indicativa preliminar realizada, se evidenció que Villavicencio se encuentra en desventaja con respecto a otras ciudades que han sufrido sismos previamente como Armenia, Pereira o Popayán, sin embargo se deja en evidencia de acuerdo a los estudios mencionados anteriormente que el municipio de Villavicencio se encuentra en altamente vulnerable porque además de ubicarse en un escenario de tectónica activa, está asentada sobre suelos y subsuelos recientemente conformados, de acuerdo a la primera fase de la microzonificación el municipio de Villavicencio se encuentra sobre un depósito de origen fluviotorrencial y aluvial y aluvial con espesores entre y 100 metros aproximadamente originado en su mayor proporción por los materiales arrastrado de los ríos.

Así mismo se toman como referencias algunos eventos naturales que se han presentado en sectores específicos del municipio en el cual, ha llevado consigo no sólo pérdidas materiales sino pérdidas humanas en diferentes eventos de remoción de masa reportados historia en los deslizamientos del municipio de Villavicencio, dentro de espacios de la comuna dos.

Tabla 1. Antecedentes
Tomado: EL TIEMPO

FECHA	LUGAR	GENERALIDADES
06/12/1990	Cerro Cristo Rey (El rincón de María)	6 muertos, 10 heridos, 3 viviendas arrasadas
11/21/1996	Cerro Cristo Rey (San José)	1 muerto, 5 heridos, 3 viviendas arrasadas
05/28/1997	Cristo Rey (El Espejo)	3 muertos, 5 heridos, 4 viviendas arrasadas
06/10/1997	Cristo Rey (El Espejo)	15 viviendas arrasadas; 4 muertos
06/2011	Cristo Rey (El Espejo)	1 vivienda afectada
005/2016	Cerro El Redentor	Deslizamiento en la parte alta del cerro

De acuerdo con lo anterior se puede observar que repetidamente se han presentado numerosos deslizamientos en el mismo sector. Ésta zona es considerada inestable debido a las características geomorfológicas del suelo, por lo cual según la secretaria del medio ambiente declara la advertencia en este sector frente a posibles deslizamientos de tierra acelerados por precipitación generando inestabilidad en el suelo.

Algunos medios de comunicación dan a conocer los diferentes procesos de remoción que se han presentado en la zona, en los cuales algunos expertos dan a conocer su análisis atribuyendo el riesgo a procesos de reptación del suelo, desprendimiento y erosión causado por la deforestación y precipitación en el municipio de Villavicencio.

1.7. MARCO NORMATIVO

Para el desarrollo del proyecto, se toma en consideración las normas y reglamentos que se usan para construir edificaciones en el país. La primera y una de las más importantes es el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente (NSR-10) título A “*Requisitos generales de Diseño y Construcción Sismo resistente*”, el cual se divide en 13 capítulos en los cuales se contempla específicamente los parámetros de diseño para cualquier construcción, en donde se tiene en cuenta la interacción suelo-Estructura, análisis dinámico y las derivas de la misma; además de esto se tendrá en cuenta los parámetros para las edificaciones construidas antes de la vigencia del presente reglamento (muy importante para la investigación a realizar), esta sección incluye la vulnerabilidad sísmica, el reforzamiento estructural, la evaluación y el estado de la estructura ya existente, la calidad del diseño y la construcción de la estructura, resistencia y capacidad de funcionamiento según el uso y la edad de la edificación. Cabe resaltar que se tendrá en cuenta los requisitos de diseño para edificaciones nuevas y también los parámetros para las edificaciones ya construidas, debido a que los criterios de vulnerabilidad cambian con respecto a una construcción nueva [6].

Por otro lado, se encuentra también el título H del presente reglamento “Estudios Geotécnicos” en donde se establece el cumplimiento de los estudios geotécnicos para cualquier tipo de edificación, dentro de ellos se encuentran la caracterización geotécnica del subsuelo, la evaluación de daños sísmicos y el proceso constructivo de cimentaciones y muros [7]. Además de lo anterior, también se tendrá en cuenta la Ley 1523 de 2012 en la cual se apadrina el régimen nacional y el sistema de gestión de riesgo de desastres en donde se incluyen para el proyecto de investigación la amenaza, el análisis y evaluación del mismo, mitigación y prevención, la vulnerabilidad, el riesgo de desastres, entre otros.

La 1523 del 2012 se tendrá en cuenta las políticas de gestión de riesgos de desastres orientado al uso y aplicación de normas, regulaciones y estrategias que tomen medidas preventivas para contribuir con la reducción de riesgos frente a amenazas y desastres que lleguen a ocurrir, para así mismo garantizar la seguridad y bienestar a la población.

En el artículo 4 se resaltan definiciones para efectos de las denominaciones que pueden generarse de acuerdo al artículo considerando la importancia de estos se encuentra importancia en alerta, amenaza, desastre, emergencia, riesgo, mitigación, preparación, respuesta y seguridad.

Los objetivos del Sistema Nacional de Gestión de Riesgos velan por garantizar la protección a la población en el territorio colombiano que permitan garantizar la seguridad y bienestar al desarrollo sostenible mediante acciones como:

- a). Identificación de escenarios de riesgo y su priorización para estudio con mayor detalle y generación de los recursos necesarios para su intervención.
- b). Identificación de los factores del riesgo, entiéndase: amenaza, exposición y vulnerabilidad, así como los factores subyacentes, sus orígenes, causas y transformación en el tiempo.

- c). Análisis y evaluación del riesgo incluyendo la estimación y dimensionamiento de sus posibles consecuencias.
- d). Monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes.
- e). Comunicación del riesgo a las entidades públicas y privadas y a la población, con fines de información pública, percepción y toma de conciencia.

1.8. MARCO GEOGRÁFICO

El proyecto de investigación se ubica en la Ciudad de Villavicencio, capital del departamento del Meta, específicamente en la comuna 2 en la parte Noroccidental de la ciudad, este sector comprende los barrios de Balcones de Toledo, Buque, Azotea, Sansoucí, Villa Codem, Barzal Alto y Bajo, Villa María, Nueva Andalucía, la Salle, Siete de Agosto, Camoa, Las colinas [8]; estos barrios comprenden toda la infraestructura hospitalaria y comercial de la región que la caracteriza de los demás sectores de la ciudad.

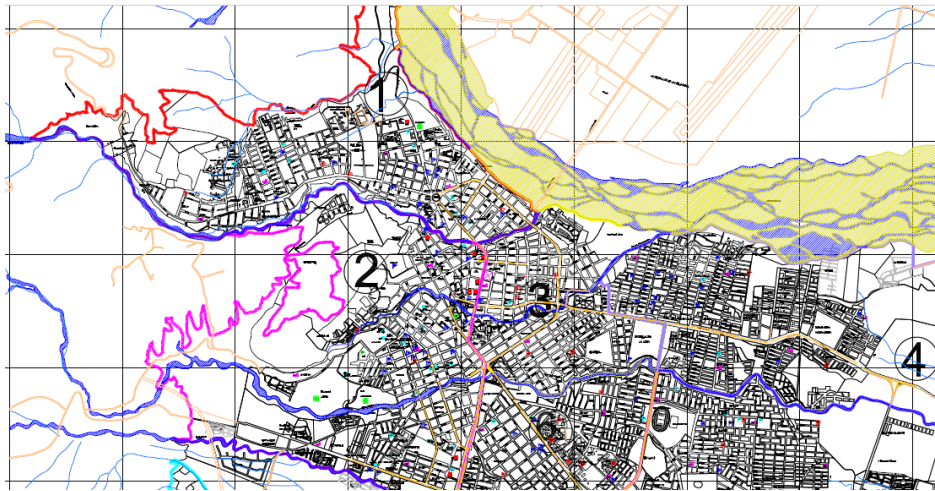


Figura 1.1 Distribución de las comunas en el municipio de Villavicencio
Tomado de: [9]



Figura 1.2 Mapa representativo de la parte alta de la comuna dos en el municipio de Villavicencio.
Tomado de: [9].

1.9. ALCANCE

Con la realización del proyecto se busca contribuir con el fortalecimiento del conocimiento de la vulnerabilidad de la zona de estudio, fortificando lo inicialmente establecido por el estudio de zonificación sismogeotécnica indicativa, tomando como base el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, el cual servirá como guía para definir si la zona de estudio presenta amenazas naturales de acuerdo al tipo de construcciones que se encuentran sobre esta.

El alcance de este proyecto ahondará con el soporte de las derivaciones del estudio indicativo de microzonificación sismogeotécnica realizado en el año 2001 por el Servicio Geológico Colombiano con el fin de determinar las características geotécnicas presentes en el suelo, esto permitirá analizar si existe algún tipo de riesgo el cual será representado mediante una escala de colores los sectores de mayor riesgo dentro de la parte alta de la comuna dos de Villavicencio [1].

1.9.1. Alineando objetivos y alcance

Llevando a cabo esta investigación con el objetivo uno se buscará realizar un análisis basado en estudios previamente realizados referentes al estado actual de la parte alta de la comuna dos en relación al suelo y vivienda, por otra parte el con

el objetivo dos se buscará establecer cuál es el nivel de vulnerabilidad de la comuna para así mismo definir cuáles son las zonas más críticas y menos críticas buscando determinar el grado de afectación y finalmente con el cumplimiento del objetivo tres se buscará determinar de una manera global la vulnerabilidad frente a amenazas naturales que se puedan llegar a presentar en este sector (sismos y remoción de masa).

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Vulnerabilidad ante Amenazas Naturales

Dentro de estas amenazas naturales con respecto a la vulnerabilidad se encuentran las tipificadas, dentro de las cuales está la remoción de masa e inundaciones, en donde se deben tener en cuenta aspectos físicos específicamente del terreno como la geomorfología, geología, la actividad tectónica, el clima y el origen antrópico de la zona o incluso la adyacente al mismo. Es importante para definir los procesos de vulnerabilidad la caracterización e identificación, un ejemplo claro es lo que ha venido realizando la NASA a nivel mundial, un catálogo de métodos que actúan directamente sobre macizos rocosos y laderas [10]. A través de las condiciones del terreno se clasifica los movimientos por remoción de masa como los volcamientos, caídas, deslizamientos, flujos, avalanchas, inundaciones, entre otros.

2.1.1. Desastres Naturales

Estos fenómenos son de origen geológico, los cuales producen un impacto sobre la comunidad de un determinado lugar. Cuando se hace referencia a el impacto también se puede mencionar en términos de pérdidas económicas y de vidas a los cuales se les puede denominar como riesgo, en donde el riesgo se le puede considerar como una exposición a causa de una amenaza cuyo proceso generador proviene de un fenómeno natural de origen geológico, es decir, tanto la vulnerabilidad como la amenaza podrían influir el uno del otro [11].

2.1.2. Taludes

Un talud o ladera se define como una masa o porción de tierra (no plana), la cual posee una pendiente o cambio de altura significativo, formada mediante un proceso natural o artificial [12].

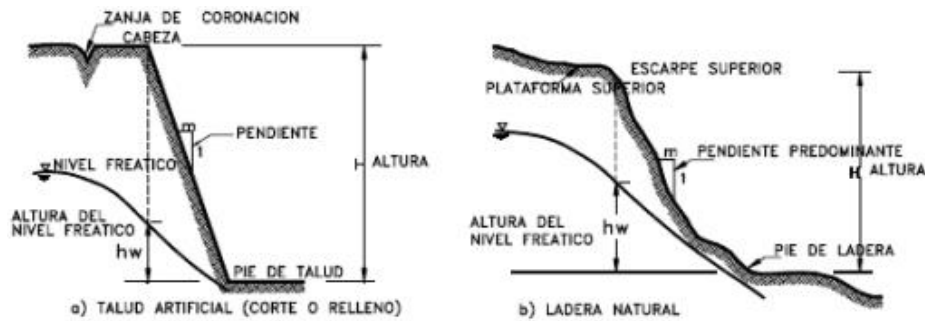


Figura 2.3 Taludes y laderas
Tomado de: [12]

2.1.3. Remoción de Masa

Este fenómeno corresponde al desprendimiento de tierra perteneciente de una ladera. Las clasificaciones se basan por lo general, en el tipo de material que constituye la ladera, dentro de los cuales pueden ser rocas, escombros, o sedimentos que están constituidos por lodos o arenas, material orgánico, que pueden estar saturados, secos o extremadamente saturados por agua. Estos deslizamientos generalmente pueden ser lentos, con velocidades de aproximadamente 30cm cada cinco años, pero También pueden ser demasiado rápidos con velocidades que pueden los 3 metros por Segundo [13].

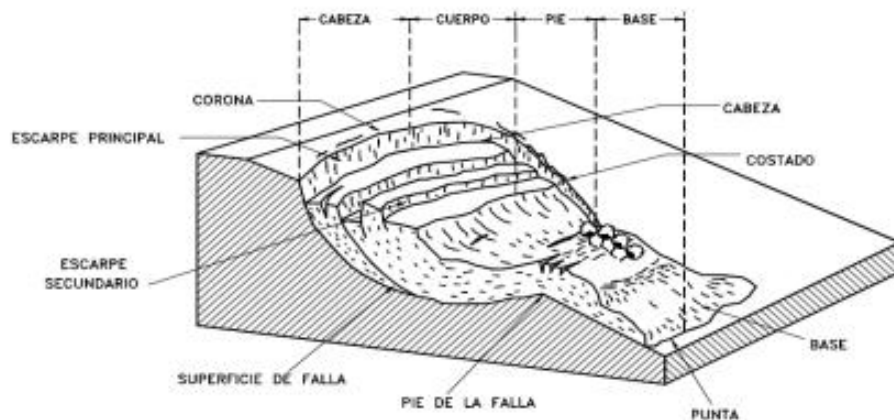


Figura 2.4 Nomenclatura de un deslizamiento
Tomado de: [12]

2.1.4. Clasificación de los procesos de remoción de masa

El desprendimiento de materiales constituyentes de una ladera o talud, clasifica los tipos de materiales encontradas en esta en roca, escombros o sedimentos constituidos por arenas, suelos orgánicos lodos o mezclas entre estos, los cuales pueden encontrarse secos o altamente saturados [13].

Figura 2.5 Clasificación de procesos de remoción
Tomado de: [12]

Tipo de proceso		Tipo de material		
		Roca	Suelo ingenieril	
			Grueso	Fino
Caídas		Roca	Detritos	Tierra
Volcamiento (volteo)		Roca	Detritos	Tierra
Deslizamiento	Rotacional (Pocas unidades)	Deslizamiento de roca	Deslizamiento de detritos	Deslizamiento de tierra
	Traslacional (Muchas unidades)	Bloques rocosos	Bloques de detritos	Bloques de tierra
		Roca	Detritos	Tierra
	Propagación lateral		Roca	Detritos
Flujos		Roca	Detritos	Tierra
Complejos: combinación de dos o más de los tipos principales de movimientos				

2.1.5. Caída

Movimiento abrupto de materiales geológicos influenciados por la gravedad, la erosión mecánica y la presencia de agua intersticial que son desprendidos de laderas [13].

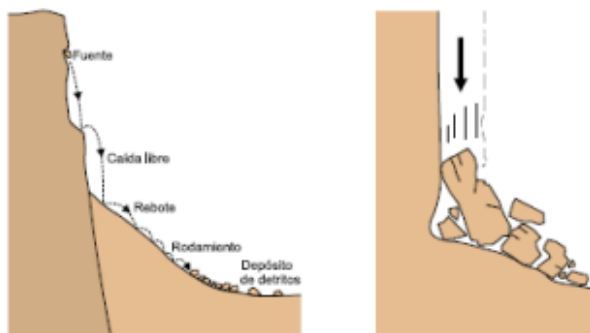


Figura 2.6 Esquema de caída de rocas
Tomado de: [14]

2.1.6. Volcamiento

Rotación de bloques de roca o suelo por acción de la gravedad causada por la presión de grietas o eventos sísmicos alrededor de un punto de giro en su base [13].

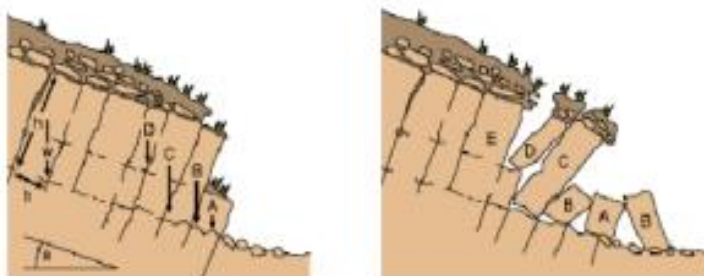


Figura 2.7 Esquema de volcamiento
Tomado de: [14]

2.1.7. Deslizamiento

Se considera un movimiento ladero abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una o más superficies de falla. Los deslizamientos a su vez se pueden dividir en dos tipos denominados deslizamientos rotacionales y trasnacionales [13].

2.1.7.1. Deslizamiento rotacional

Los deslizamientos rotacionales se caracterizan por ser movimientos a lo largo de la superficie manifestando una forma circular cóncava hacia arriba, en la cual la deformación interna del material es poca, por lo general este deslizamiento ocurre de forma curva o de escarpes secundarios [13].



Figura 2.8 Esquema de un deslizamiento rotacional
Tomado de: [14]

2.1.7.2. Deslizamiento traslacional

La masa es desplazada sobre la superficie de ruptura plana de manera longitudinal y suavemente ondulada, superponiéndose a la superficie original del terreno, el desplazamiento de esta masa es hacia fuera o debajo de manera progresiva indefinidamente a lo largo de la ladera [13].

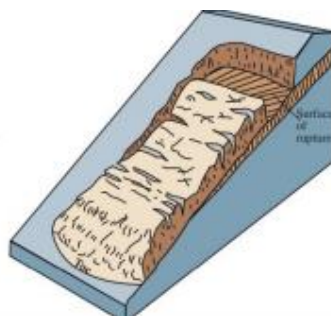


Figura 2.9 Esquema de deslizamiento traslacional
Tomado de: [15]

2.2. DÓNDE OCURREN LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRA

Este evento natural puede ocurrir en cualquier lugar, por tal razón, cuando existe una cobertura geográfica bastante amplia influye mucho los mecanismos de activación de los deslizamientos. Ciertas actividades humanas peligrosas, precipitaciones excesivas, sismos, incendios forestales y otros mecanismos, son algunas de las causas claves que desencadenan los deslizamientos. Del mismo modo, se sabe que estos ocurren tanto en la tierra como debajo del agua; ocurren en suelos o roca madre, bosques naturales, laderas áridas, inclusive en regiones extremadamente secas y muy húmedas, se ven afectadas por fallas en las pendientes que incluso no es necesario que sean empinadas para que conlleven a un deslizamiento de tierra.

Por otra parte, existe otras tendencias geográficas que pueden estar vinculadas al clima y tiempo, a los cursos de ríos y arroyos, que implican la modificación de laderas, la limpieza de vegetación y otras prácticas urbanas y rurales [16].

2.3. CAUSAS DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRAS

Existen dos mecanismos que incurren individualmente o en combinación en los deslizamientos de tierra: el agua y la actividad sísmica. Estas causas dependen de factores como el tipo de suelo, la pendiente, la morfología del terreno y las personas o estructuras presentes en la zona de incidencia.

2.3.1. Deslizamientos de tierra y agua

La principal causa de este tipo de evento es la saturación de la pendiente, el cual ocurre por medio de las lluvias intensas, los cambios de niveles de agua tanto subterránea como superficial. Los deslizamientos y las inundaciones están asociados, ya que se relacionan con las precipitaciones, la saturación del suelo y la escorrentía. Las inundaciones pueden ocasionar deslizamientos de tierra al socavar las orillas de los ríos y la saturación de las laderas por aguas superficiales. Pero también los deslizamientos de tierra pueden desencadenar inundaciones cuando el exceso de rocas y escombros bloquean los canales y las vías fluviales, creando condiciones de inundación o erosión localizada [17].

2.3.2. Deslizamientos de tierra y actividad sísmica

Las áreas montañosas que son susceptibles a los deslizamientos de tierra, presentan a lo largo de su historia tasas moderadas de actividad sísmica. Los sismos en regiones de alta pendiente, pueden aumentar la probabilidad de ocurrencia de los deslizamientos de tierra ya que, debido al movimiento en el suelo, la licuefacción de los sedimentos o el desplazamiento a causa de la dilatación de los materiales del suelo, lo que conlleva a la acelerada infiltración de agua. Además de lo anterior también existe la posibilidad de que se formen presas de deslizamiento en ríos o arroyos cerca o debajo de pendientes considerables, a causa de los sismos que generen el sacudimiento del suelo y de las rocas. Estos represamientos bloquean parcialmente el flujo del agua, haciendo que se presente represamiento y causando en las áreas del río abajo inundaciones y mucho daño en las poblaciones aledañas [17].

2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS SISMOS

Dentro de la caracterización de los sismos pueden clasificarse de acuerdo con el la deformación o ruptura que pueda presentarse de forma elástica sobre la litósfera, teniendo consecuencias distintas sobre la superficie, estos pueden clasificarse de acuerdo con su zona y profundidad de la siguiente manera [18].

A. Sismos de subducción someros: Estos son generados en las fronteras a profundidades menores de 40 km.

B. Sismos de subducción profundos: Por lo general su ocurrencia se debe a la interacción de subducción junto a la zona de fricción, presentándose a profundidades mínimas de 40 km.

Ocurren debido a la interacción de subducción y en la zona de fricción, pero a profundidades superiores a los 40 km.

C. Sismos intraplaca de profundidad intermedia: Ocasionados por la fractura de la placa que ha penetrado en la placa subducida, en las cuales las profundidades se considerarán mayores a los 40km.

D. Sismos de zonas de acreción: Estos son generados a profundidades las cuales no superen los 20km.

E. Sismos de fallas de transurrencia: Son por lo general presentados en fronteras, cuyas profundidades se consideran menor a los 30km comúnmente.

F. Sismos corticales: Son considerados sismos que se presentan en fallas en medio de las placas, en su interior, en las cuales las profundidades no exceden el grosor de capa.

2.5. ONDAS SÍSMICAS

Para llevar a cabo un estudio de la microzonificación sísmica en Colombia se debe tener en cuenta, la aceleración espectral de los suelos, la propagación de la onda, el periodo de propagación. Las ondas sísmicas hacen parte de la clasificación de ondas elásticas, las cuales son propagadas a lo largo de un medio elástico es decir que puede sufrir deformaciones reversibles a causa de acción de fuerzas sobre esta, estas pueden clasificarse entre ondas internas y superficiales propagadas desde su punto de origen hasta llegar a la superficie terrestre, estas ondas son subdivididas en ondas primarias denotadas con la sigla P, y secundarias representadas con la sigla S, que a su vez se clasifican en ondas Rayleigh y ondas Love.

Para las ondas primarias P (primeras en llegar a la superficie terrestre), aproximadamente se estima que la velocidad de esta circunda los 7.5 kilómetros por segundo, aunque pueden llegar a variar de acuerdo a la densidad del medio en donde estas sean propagadas, por lo general estas ondas se denominan longitudinales las cuales van produciendo oscilaciones hacia el mismo sentido de propagación de la misma, por otro lado las ondas secundarias S, tienen una velocidad de propagación de 4.2 kilómetros por segundo, estas también varían teniendo en cuenta su material de propagación, produciendo movimientos que son perpendiculares con relación al sentido de su propagación [19].

de tal manera las ondas P en su recorrido llegarán primero, perseguidas por las S, esta diferencia de tiempo será aquella que permitirá determinar cuál es la distancia

entre el punto de percepción ocasionada por el temblor y su respectivo foco. Las ondas superficiales se producen una vez la llegada de las internas al epicentro sobre la superficie, se considera que las ondas Rayleigh y las ondas Love (son ondas transversales), las cuales producen deformaciones perpendiculares horizontales (Onda Love) [19].

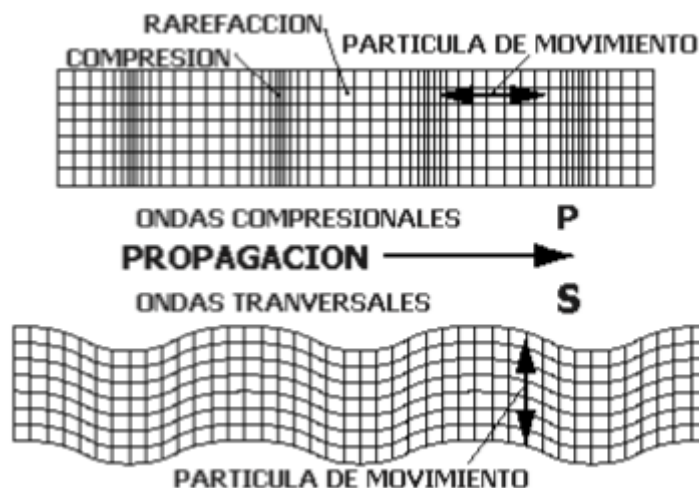


Figura 2.10 Onda P y S
Tomado de: [19]

Los fenómenos de ondas son medidos mediante un instrumento denominado acelerógrafo que registran aceleraciones y a partir de estas se obtienen velocidades y desplazamientos por integración numérica simple o doble, contrario a esto de los desplazamientos y velocidades se obtiene las aceleraciones, estos instrumentos registran frecuencias que comprenden periodos de las estructuras y los elementos constructivos, básicamente los acelerógrafos detectan movimientos en direcciones (N - S y E - W), además de una componente vertical (Z) [19].

Los acelerogramas registran el valor máximo registrado del movimiento y la duración de este, estableciendo la primera el valor límite de las frecuencias en los espectros de respuesta, la duración se define como tiempo transcurrido del inicio y del fin de los pulsos del registro superando el valor de 0.05g, esta duración puede

llegar a tener una variación en cuanto a la magnitud y los suelos blandos, además puede variar dependiendo si el evento sísmico se genera en etapas distintas [20].

Por lo anterior el estudio de microzonificación sísmica indicativa se determinó que la comuna dos presenta una aceleración 2,0g con un periodo de 0,2 a 0,4 segundos. El código sismorresistente NSR-10 recomienda utilizar un mínimo de tres acelerogramas diferentes de respuesta ante la componente horizontales (N-S y E-W) los cuales representan los movimientos esperados en el terreno, con base a lo anterior se recomienda a partir de la obtención de los movimientos generados por los sismos sobre la superficie junto a los estudios de amplificación de onda, para esto se debe:

- A. Analizar la respuesta dinámica del suelo en diferentes zonas donde haya perfiles de suelo representativas para la zona circundante.
- B. Definición de curvas que permitan determinar las variaciones de amplificación los tiempos de vibración obtenidos por el acelerograma.
- C. En las laderas deberá establecerse la amenaza por movimientos de masa provenientes del evento sísmico.
- D. A partir de estudios de amplificación de la onda se determina los espectros en los cuales se incluye la amplificación local el cual, por medio de un análisis en este caso cualitativo, se establezcan factores dominantes del subsuelo.

Para establecer la medición de la vulnerabilidad ante un evento sísmico del sistema estructural de edificaciones, se plantea por medio de métodos deterministas y probabilísticos, ambos suponen que los eventos sísmicos futuros tendrían las mismas características a los registrados en el pasado. El método determinista tiene como objetivo determinar el máximo sismo potencial que se podría esperar teniendo en cuenta la sismicidad histórica (registros y documentos del pasado), y sismicidad instrumental (incluye registros, y esos son medibles en una escala de magnitud), siendo estas (la escala Modificada de Mercalli que mide la intensidad y escala de Richter que mide la magnitud). Para el método probabilístico se basa en el registro de sismos pasados con el fin de determinar la posibilidad de ocurrencia que pueda

presentar un sismo en el futuro, a partir de lo anterior se obtiene el tiempo de vida de la estructura, además de esto por medio de este método con una probabilidad de aproximada del 63% hace referencia a los años que se espera un sismo [20].

2.5.1. Ondas Love

Éstas son generadas cuando el medio elástico se encuentra estratificado, su propagación se da con el movimiento dado de las partículas perpendiculares en dirección en la cual sea propagada la onda S, estas poseen componentes horizontales paralelos a la superficie, estas se ven observadas sobre la superficie terrestre.

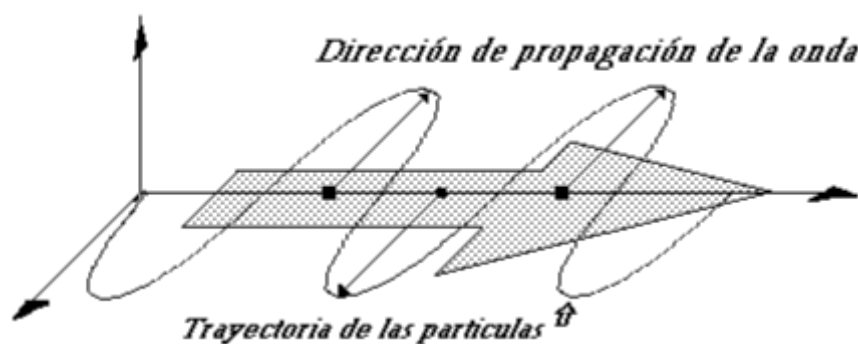


Figura 2.11 Ondas Love
Tomado de: [18]

2.5.2. Efectos del sitio

Por lo general las leyes de atenuación se generan dentro de dos tipos de suelo: duro y blando, cuando se habla de suelo duro se refiere a la cimentación efectuada sobre roca, por el contrario, el suelo blando hace referencia a cimentaciones sobre suelos aluviales, o depósitos volcánicos no cementados.

Con lo anterior es posible inferir lo siguiente:

- A.** Las amplitudes de las ondas sísmicas tienen variaciones que dependen de su distancia.

- B.** Generalmente son consideradas las ondas P como poco energéticas, dado a sus características de vibración y dirección, por lo tanto, no se espera que afecten en gran magnitud las estructuras en dirección vertical.
- C.** Por otro lado, los movimientos más energéticos son esperados en las ondas S y superficiales.

2.5.3. Escala de intensidad

La escala de intensidad de Mercalli fue modificada en el año 1931. Esta escala determina el grado de los daños que pueden ser causados por eventos sísmicos, y van de la siguiente manera:

- I.** Sacudida que es percibida por muy pocas personas (poco perceptible).
- II.** Percibida por pocas personas, en especial por quienes se encuentran en la parte alta de los edificios, por lo general los objetos suspendidos tienden a presentar oscilaciones.
- III.** Sacudida sentida especialmente en los interiores, en esta sección los vehículos pueden presentar leves movimientos, con una duración estimable.
- IV.** Sacudida mayormente presenciada por personas que se encuentran en los interiores de las construcciones, se percibe movimiento de objetos como vajillas, ventanas y vidrios, es poco presenciado por personas encontradas en exteriores.
- V.** Sacudida sentida por todos los habitantes, destrucción de ventanas y vidrios y observación de perturbaciones por los árboles.
- VI.** Sacudida que se percibe por todo el mundo, los objetos pesados por lo general presentan movimientos llegando a cambiar de sitio, se presencian algunos daños ligeros.
- VII.** Advertido por todos, se observa la ruptura de algunas chimeneas y percibida por personas condiciendo vehículos.

- VIII.** Daños estructurales, derrumbe parcial de edificios y estructuras débilmente construidas, volcamiento de muebles pesados, cambio de nivel de agua en los pozos.
- IX.** Daño considerable en las estructuras. Algunas armaduras se ven afectadas, siendo desplomadas, edificios salen de sus cimientos y se ve agrietamiento y ruptura en tuberías.
- X.** Destrucción de estructuras construidas en madera, mampostería y armaduras destruidas, se observa agrietamiento en los terrenos, las vías de los ferrocarriles se tuercen, invasión de ríos sobre sus márgenes.
- XI.** Destrucción de casi todas las estructuras de mampostería, Puentes colapsados, agrietamientos en terrenos, tuberías fuera de servicio, derrumbe en vías férreas.
- XII.** Destrucción total, ondas visibles perceptivas en el terreno, perturbación en cotas de nivel, objetos desplazados hacia arriba.

2.6. ESTUDIOS DE MICROZONIFICACIÓN SISMOGEOTÉCNICA

Un estudio de microzonificación sismogeotécnica es aquel que se realiza con el fin de determinar la aceleración de los suelos en un área determinada, para servir de base en los diseños y ejecución y obras de construcción y/o infraestructura, y dar cumplimiento en estas a lo especificado en el código de construcción sismo resistente.

Para llevar a cabo un estudio de la microzonificación sísmica se evaluarán los efectos locales del suelo de acuerdo con las características que presente cada sitio en específico. Este se soporta de los registros sísmicos disponibles que se han presentado en la ciudad. Se debe realizar una evaluación detallada de los de la sismicidad local y regional del área de estudio teniendo en cuenta el estudio y las características del suelo con el fin de identificar los suelos que se consideren blandos y susceptibles de producir amplificación y de estudio de suelos granulares saturados los cuales son poco compactos para poder establecer la susceptibilidad a la licuación, esto se realiza con un número limitado de perforaciones tomadas

como muestras para ser ensayadas en el laboratorio que permite identificar las propiedades del suelo (mecánicas) para caracterizar el comportamiento dinámico del subsuelo, empleando la propagación ondulatoria unidimensional, a partir de estos estudios se deberá deducir los espectros correspondientes para determinar el diseño sísmo resistente de edificaciones, aquí se deben incluir los efectos de amplificación local, se deberá realizar un análisis cualitativo que permita establecer los factores de amplificación del subsuelo, dentro del estudio de microzonificación también se verá necesario, realizar una síntesis de acuerdo a los resultados que se determinan en el estudio de la microzonificación en las zonas que conforman el área de estudio con el fin de determinar cuáles son las zonas de respuesta dinámica que sean similares entre ellas, así cada zona tendrá su especificación de espectro de diseño de edificaciones de acuerdo a la ocurrencia de fenómenos de licuefacción, sismos y otros fenómenos naturales [21].

Dentro de los estudios presentes para desarrollar la microzonificación en lugar de estudio se debe tener en cuenta la evaluación de la amenaza sísmica regional y a partir de este se debe estudiar la actividad Neotectónica de las principales fuentes sismogeotécnica de la región, también se deberá tener en cuenta el análisis de las características del subsuelo de la zona de estudio para evaluar los comportamientos del subsuelo, la compresibilidad de estos, la resistencia al corte y sus propiedades, de acuerdo a los estudios que se han realizado de microzonificación sísmica se deben determinar las zonas con respuesta dinámica, se deben determinar las zonas con respuesta dinámica similar entre sub zonas de área de estudio, se deben tener en cuenta los registros sísmicos la caracterización geotécnica del área las propiedades dinámicas, la respuesta frecuencial en las estaciones, respuesta mediante modelos unidimensionales, se deben tener en cuenta los análisis de respuesta dinámica [22].

2.7. INGENIERÍA SÍSMICA

El análisis sísmico de la estructura consiste en aplicarle movimientos sísmicos de diseño con base a un modelo matemático que se ajuste a la estructura, en estos análisis no se tiene en cuenta el coeficiente de disipación de energía, con el fin de lograr calcular los desplazamientos (máximos) y las fuerzas (internas) que se puedan llegar a presentar en la estructura a causa de los movimientos sísmicos de diseño.

De acuerdo al crecimiento y a la densificación de los centros urbanos, y al desarrollo de tecnologías algunas áreas se encuentran en amenaza ante la ocurrencia de posibles terremotos, por tal motivo se ha visto la necesidad de implementar y explorar metodologías que garanticen la seguridad en las infraestructura de las edificaciones antes los riesgos y la probabilidad de ocurrencia que estos puedan llegar a enfrentar, garantizando en un máximo porcentaje la reducción o mitigación de daños y desastres que se pueden llegar a producir en los edificios, en este caso se verá necesario realizar un análisis de la construcción de las edificaciones de la ciudad desde su fundación, se deberá tener en cuenta las características de resistencia, disipación de energía, rigidez propiedades dinámicas, de energía inelásticas en edificaciones ante eventos como terremotos los cuales pueden llegar a variar considerablemente teniendo en cuenta el tipo de material implementado del sistema estructural como la mampostería, los pórticos de más de 10 pisos, bodegas pesadas, bodegas livianas, entre otros, según los estudios realizados también ha sido que se deben tener en cuenta en las edificaciones los posibles daños causados en la estructura, siendo estos, leves, ligeros, moderados, fuertes y severos, o en el peor de los casos causando la destrucción total de la edificación. Dentro de los análisis de riesgos necesarios para la determinación de la evacuación de los estados de las construcciones se verá necesario de tener en cuenta la evaluación de riesgo sísmico obteniendo la estimación del riesgo sísmico y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, como área dañada, costos de reposición, heridos y pérdidas humanas [22].

2.8. METODOS PARA LA ZONIFICACIÓN DE RIESGOS GEOTÉCTICOS SISMICOS

La seguridad de la zona está relacionada con fenómenos geotécnicos tales como la amplificación, deslizamientos de tierra, flujo de lodo y licuefacción.

2.8.1. Zonificación para movimiento de tierra

2.8.1.1. Sismicidad

La sismicidad local y regional se indaga por medio de los datos sismológicos y geológicos. Los datos sismológicos se reúnen por medio de catálogos históricos de terremotos y los datos geológicos son recopilados mediante fallas activas que en su mayoría se encuentran disponibles para todas las áreas. Existen dos enfoques para la evaluación de la sismicidad, el primero se determinista que se basa en sismos de escenarios seleccionados y la probabilidad de movimiento del suelo determinado. El enfoque probabilístico une todos los escenarios posibles y las probabilidades del movimiento del suelo, calculando la probabilidad de ocurrencia de los terremotos durante un determinado periodo de tiempo [23].

2.8.1.2. Atenuación

La relación entre atenuación y atenuación empírica son empleadas en la cuantificación de los riesgos sísmicos específicamente en los enfoques probabilísticos y determinísticos. Las atenuaciones basadas en la intensidad sísmica opera por medio de los terremotos históricos presentados en la zona. En cuanto a las intensidades medidas instrumentalmente (aceleración y velocidad pico) presentan una mayor confiabilidad respecto a las escalas de intensidad sísmica. En cuanto a las atenuaciones modernas se producen por medio de los logaritmos naturales como la aceleración o aceleración espectral en función de la distancia y magnitud de los sismos. Todo lo anterior depende de la cantidad y la calidad de los datos, así como la distancia y magnitud utilizada durante el análisis [23].

2.8.1.3. Efectos locales del sitio

Para la valoración de los efectos locales de grado I implica la información existente disponible en fuentes bibliográficas, informes, estudios de zonificación entre otros, para el grado II es necesario investigaciones complementarias que incluyen estudios geotécnicos, muestreo de suelos y pruebas geofísicas para realizar pruebas de laboratorio. Los de grado III requiere los análisis de respuesta del suelo (análisis unidimensionales, análisis 2D y 3D) [23] .

2.9. ACELERÓGRAFOS Y ACELEROGRAMAS

Los acelerógrafos registran aceleraciones y los movimientos en el campo capaces de identificar frecuencias abarcando periodos de las estructuras y elementos constructivos. El acelerógrafo consta de tres sensores los cuales detectan los movimientos en dos componentes horizontales el primero en las direcciones norte sur (N-S) o en la dirección este oeste (E-W). Los movimientos en el suelo son producidos por impulsos eléctricos que una vez de ser amplificados pasan a sistema de discriminación. Una vez el acelerógrafo recibe y reúne la señal, el sistema se activa mediante un acelerograma ya sea digital o analógico. Debido a que el proceso se perturba la señal original es necesario corregir el acelerograma eliminando todos los errores con bajas frecuencias durante la conversión entre la señal digital y as distorsiones en las altas frecuencias (figura 2-12) [24].

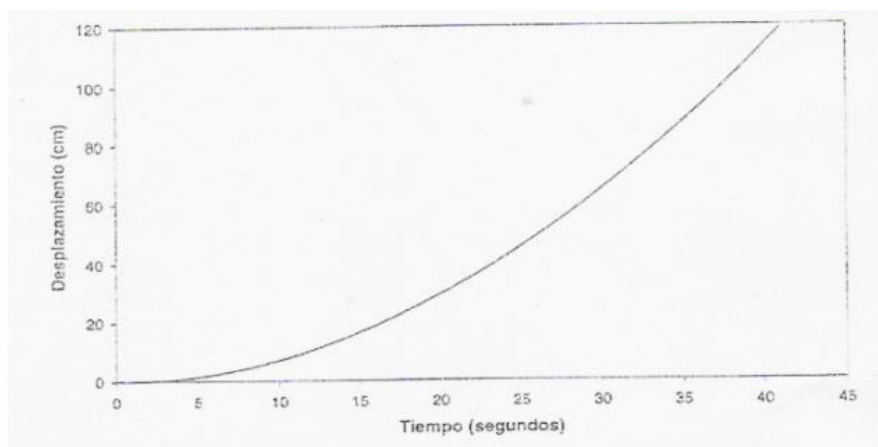


Figura 2.12 Registro de desplazamientos no corregidos
Tomado de: [24].

Lo anterior demuestra la necesidad de corregir el acelerograma a través del acotamiento de los largos y bajos periodos en el proceso de la señal de tal forma que se asegure la confiabilidad de los datos además de esto también. De esta manera se puede corregir el registro de aceleraciones (figura 2-13).

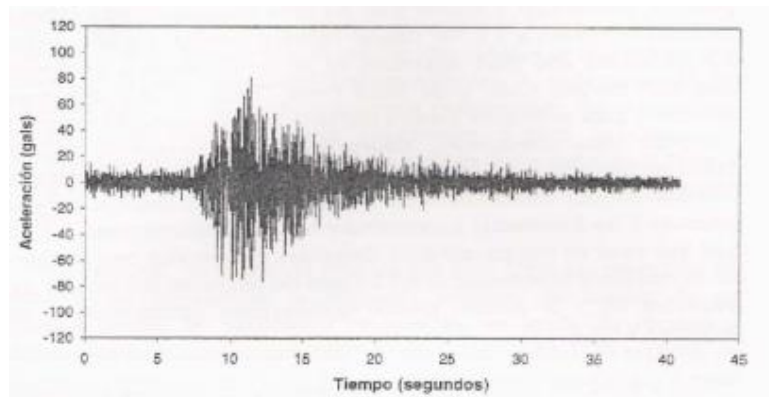


Figura 2.13 Registro de aceleraciones corregido
Tomado de: [24].

CAPITULO 3. METODOLOGÍA

Para el estudio de zonificación fueron escogidos y serán analizados individualmente cada uno de los factores considerados pertinentes para determinar la vulnerabilidad frente a las amenazas naturales que pueda llegar a presentar la comuna dos en su parte alta, a continuación, se mostrará las etapas de estudio para el desarrollo del proyecto en las cuales se da el cumplimiento a cada uno de los objetivos, estas etapas son las siguientes:

3.1. FASE INICIAL

3.1.1. Definición de la zona de estudio

Para el estudio de la vulnerabilidad en la comuna dos del municipio de Villavicencio, como primera medida se determinará la zona de investigación la cual corresponde a la parte alta de la misma en los barrios Barzal Alto, Buque, la Azotea, Mesetas Altas, Balcones de Toledo, San José, entre otros.

3.1.2. Recopilación de la información

En este apartado se indaga y se selecciona la información que corresponde a estudios realizados en la zona de investigación que tengan relación con la vulnerabilidad frente a las amenazas naturales que se hayan presentado en la zona a lo largo de los años. Esta información corresponde principalmente al estudio indicativo de Microzonificación Sismogeotécnica realizados durante los años 2001 y 2003 por el INGEOMINAS en convenio con el Servicio Geológico Colombiano y la Alcandía municipal de Villavicencio, entre otros.

3.1.3. Consulta de estudios por amenazas naturales presentadas en el POT – Villavicencio, 2015

Se realiza la indagación, consulta del POT de Villavicencio del año 2015 en la sección de gestión de riesgo con el fin de identificar proyectos de zonificación, áreas de trabajo y los procedimientos aplicados para su desarrollo, cabe mencionar que

lo anterior servirá como instrumento para la realización de estudios más a fondo dentro de la comuna.

3.1.4. Consulta de estudios de amenazas naturales presentados en el sector

Se consulta los estudios de Zonificación sismogeotécnica indicativa de la ciudad de Villavicencio, con el fin de identificar las áreas de trabajo, las metodologías aplicadas para las 5 zonas divididas de la ciudad específicamente en donde se encuentra la comuna dos.

3.2. ESTUDIO GENERACIÓN BASE TOPOGRÁFICA

Para la topografía de la zona de estudio se toma como base los estudios de microzonificación sísmica indicativa realizada por INGEOMINAS en los años 2001 y 2003, Escala 1:10000, es decir se estudiarán las características topográficas que presenta la zona, como sus pendientes, perfiles, altimetría, diferencias de alturas, representación gráfica de la superficie, planimetría, nivelación entre otras características presentadas en la zona. Por otro lado, será también de utilidad el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) encargado de actualizar la cartografía del país y de dar las coordenadas reales de la localización de la zona de estudio. Además de trabajos de investigación, artículos y publicaciones científicas, entre otros.

3.3. ESTUDIO SISMOLÓGICO

En este estudio se contemplan los sismos de una fuente local o lejana de acuerdo con la sismicidad histórica registrada y la sismicidad instrumental.

- En cuanto la parte sísmica histórica cuyo objetivo es obtener mapas de magnitudes o intensidades que más han afectado la ciudad, específicamente la parte alta de la comuna dos de Villavicencio.
- Con base a la recopilación de información de sismicidad instrumental que consiste en los resultados que proporcionan los sismógrafos y acelerógrafos

instalados en la ciudad, se obtiene la potencialidad y la fuente donde provienen estos eventos.

3.4. DETERMINACIÓN DEL ALCANCE DE LA AMENAZA SÍSMICA EN LA ZONA DE ESTUDIO

Es importante conocer si la zona de estudio se encuentra en una zona de amenaza sísmica que sea considerablemente alta, intermedia o baja, con base a los reglamentos sismo resistentes en Colombia, para esto se ve necesario comparar los estudios previamente realizados en la ciudad, como la zonificación sísmica indicativa y el código sismo resistente NSR-10 para determinar si la parte alta de la comuna dos se encuentra en riesgo y amenaza.

Básicamente lo que este apartado tiene como objetivo será obtener la probabilidad de excedencia con el fin de determinar cuál será el valor de la amenaza de esta zona, de acuerdo con las fuentes sísmicas y la actividad de las mismas, tomando como base el estudio general de la amenaza sísmica para el territorio colombiano realizado para la Asociación de Ingeniería Sísmica (AIS), Universidad de los Andes e INGEOMINAS.

Se tendrán en cuenta dos parámetros:

3.4.1. RESPUESTA SÍSMICA LOCAL DEL SUBSUELO

3.4.1.1. Estudios Geológicos

Con el fin de obtener el mapa geológico se realiza una serie de actividades como una visita a la zona de estudio, con el fin de detallar las características geológicas, litológicas y estructurales, además de esto se deberán tomar como base los estudios similares ya realizados en la ciudad, en la zona.

3.4.1.2. Aspectos geofísicos y geotécnicos

Para el estudio de este apartado se deberá tener en cuenta la evaluación existente que fue realizada por el estudio de microzonificación sísmica indicativa de

INGEOMINAS en el año 2002. En este se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- Analizar el comportamiento dinámico de los suelos frente a los eventos sísmicos, para determinar el estudio la amenaza de la zona.
- Determinar el comportamiento de amplificaciones de áreas identificadas como homogéneas sean por (profundidad o suelos similares).
- Finalmente se realiza el mapa de zonificación sismogeotécnica en los cuales se proponen los espectros de diseño preliminares.

3.4.2. Caracterización de viviendas y construcciones

En este apartado se deberá realizar las salidas de campo, a la zona de estudio para realizar una inspección visual que caracterice el tipo de construcción, sea este (residencial, hospitalario, industrial, comercial, entre otros), con esto se debe especificar los requisitos de diseño de acuerdo a la NSR – 10, con el fin de establecer si cumplen esta norma.

3.4.3. Registro de lluvias

Esta información es suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), de forma digital que servirá como apoyo para determinar el comportamiento pluviométrico registrado en los últimos años.

3.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con base en la información recolectada en cada una de las etapas junto con las del desarrollo del proyecto se realiza el análisis para determinar el comportamiento y la vulnerabilidad ante amenazas naturales como la remoción de masa y amenaza sísmica identificando las zonas más susceptibles frente a estos eventos.

3.6. ELABORACIÓN DE INSUMOS BÁSICOS

Se realizan mapas de vulnerabilidad por remoción de masa, vulnerabilidad sísmica

de las construcciones, el mapa geológico y geomorfológico con el fin de exponer las características del suelo y la relación suelo-vivienda, entre otros.

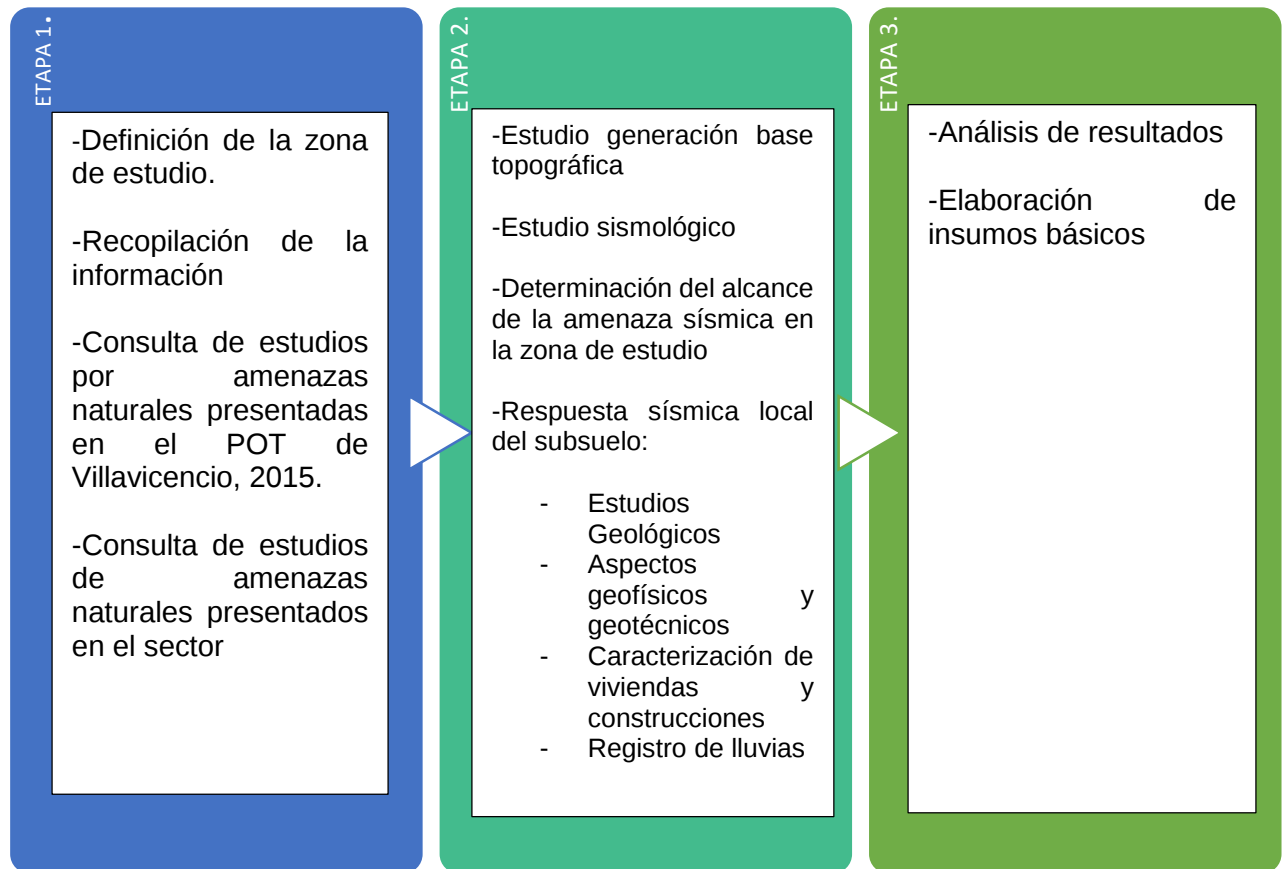


Figura 3.14 : Etapas de desarrollo del proyecto conforme la Metodología expuesta en el texto.

Fuente: Los autores

CAPITULO 4. RESULTADOS

4.1. COBERTURA Y USO DEL SUELO

Esta cobertura es la que se observa sobre la superficie de la tierra, por ende, no solo describe la vegetación y todos aquellos elementos que encierran los cambios o modificaciones que sufre la naturaleza por sometimiento de la acción humana (elementos antrópicos), sino que además detalla otra clase de espacios terrenales tales como los cuerpos de agua y los afloramientos rocosos. En cuanto a la cobertura vegetal esta contribuye en los procesos de estabilidad por medio a los efectos mecánicos e hidrológicos. Los efectos mecánicos enlazan la resistencia que generan las raíces de la vegetación al suelo como protección frente a la excesiva carga de material vegetal o a la erosión que se pueda originar sobre las laderas. Por otro lado, los efectos hidrológicos toma en consideración la humedad y la capacidad de infiltración.

Para la realización de la cobertura y uso del suelo en la zona de estudio que concluye en el mapa representativo de la comuna dos de Villavicencio, se tuvo como referente el Plan de Ordenamiento territorial del año 2015 “*Nuestro Plan de Ordenamiento Territorial (NORTE)*”.

Este recurso permitió definir la variación de unidades de cobertura y uso actual del suelo, gracias a la cartografía de la clasificación del suelo urbano como componente de gestión del riesgo a un nivel de detalle 1:25.000.

Se identificaron 6 ejes temáticos que se encuentran ubicados dentro de la comuna dos del municipio y que corresponden a los siguientes:

- Suelo urbano
- Reserva para la protección del espacio urbano
- Suelo sujeto a plan de manejo
- Parques y zonas verdes
- Franja de manejo ambiental

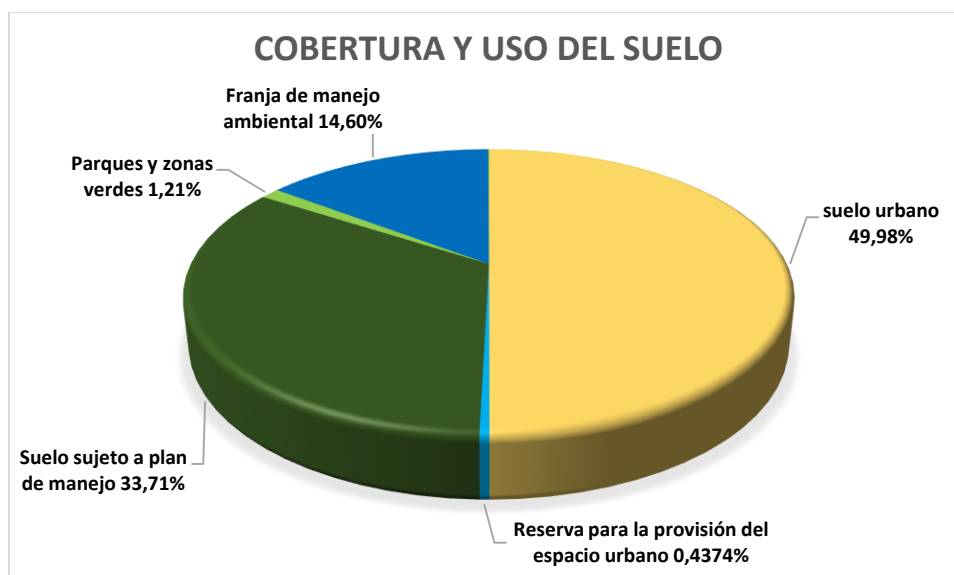


Gráfico 5-1. Porcentaje cobertura y uso del suelo en la zona de estudio
Fuente: Autores

Tabla 4-2. Áreas clasificación de cobertura

COBERTURA	AREA m ²
Suelo urbano	2636705,279
Reserva para la provisión del espacio urbano	23077,66
Suelo sujeto a plan de manejo	1778899,645
Parques y zonas verdes	63994,33037
Franja de manejo ambiental	770541,113
Total	5273218,03

Fuente: Autores

De acuerdo a lo anterior se pudo determinar que la cobertura de y uso del suelo presente en el área de estudio corresponde a: 49.98% de suelo urbano el cual lo constituye la red hospitalaria, sector residencial, comercial, administrativo, entre otros.

Por otro lado, se encontró un 0.4374% de reserva para la provisión del espacio urbano, la cual hace referencia a la protección del espacio público sobre los demás usos del suelo, una zona en la cual no está permitida la construcción ni ninguna actividad que pueda deteriorar el medio ambiente.

Además, se identificó un 33.71% el cual pertenece al suelo sujeto a plan de manejo sobre el cual se busca proporcionarle prácticas adecuadas que mejoren sus

condiciones para permitir una buena actividad sobre este, esto con el fin de mejorar su fertilidad natural para así mismo garantizar la productividad sobre este.

También, se determinó que el 1,21% corresponde a parques y zonas verdes ubicados dentro de la zona urbana con el fin de mantener armonía paisajística y calidad de vida.

Igualmente se reconoció que la franja de protección ambiental FMA corresponde al 14.60% cuyo objetivo se basa en conservar los recursos naturales y entorno existente, esta hace referencia a los cauces de los drenajes sencillos como el caño Gramalote, el caño Buque, el caño Maizaro y caño Parrado encontrados dentro del área de estudio.

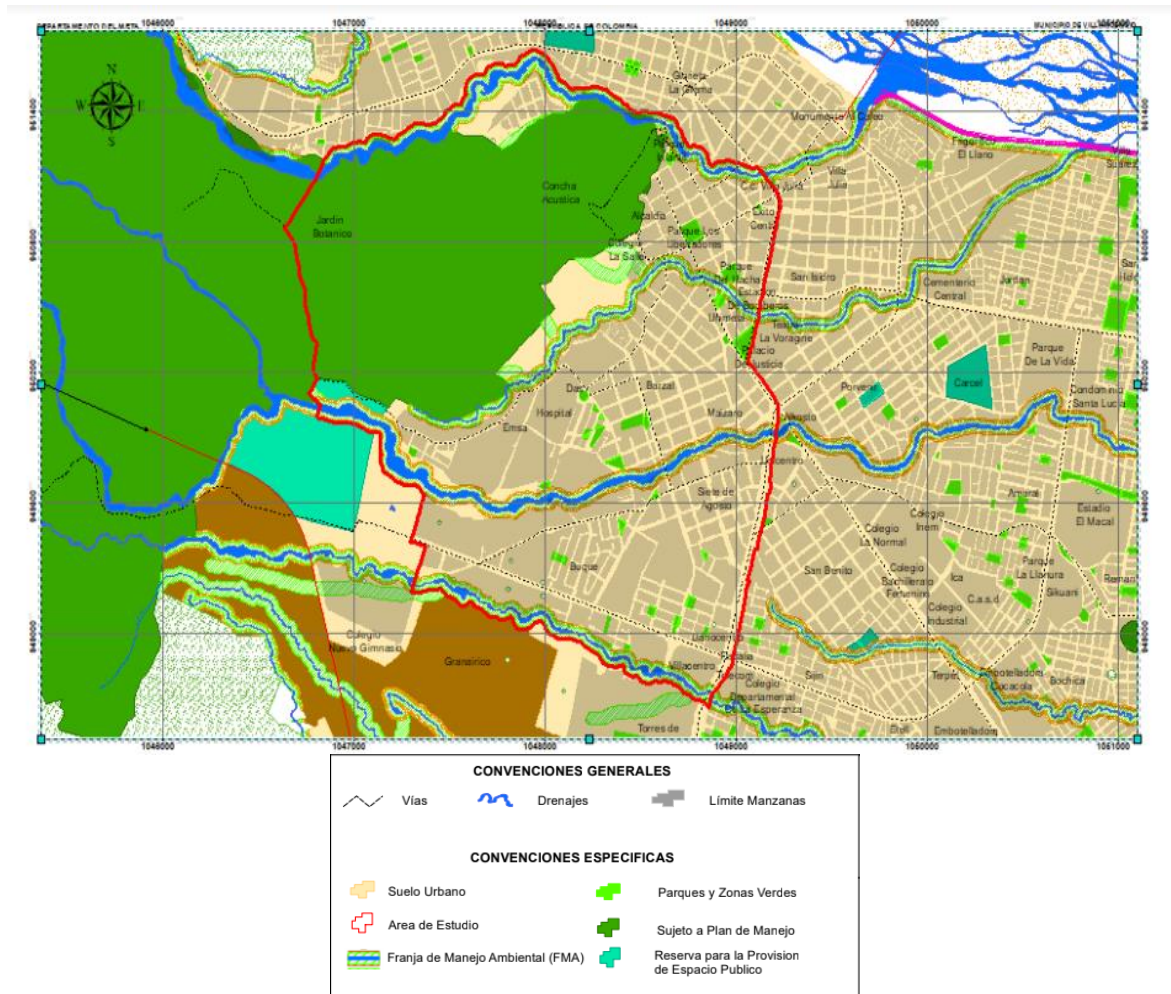


Figura 15-14. Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo
Fuente: Autores

4.2. GEOLOGÍA

La leyenda geológica de la comuna dos está conformada por diferentes tipos de geología a diferencia de los siete restantes, el resultado de esta geología parte de las unidades cronoestratigrafías las cuales permiten distinguir tres aspectos, estos son:

- I. Diferenciar los materiales aflorantes entre suelo y rocas
- II. Definir las características estructurales del macizo rocoso y a su vez espesores del suelo
- III. Caracterizar las propiedades de los materiales de acuerdo con sus propiedades mecánicas

Para llevar a cabo el desarrollo del mapa de geología de la zona de estudio se toma como base el mapa denominado *“Mapa Geológico del Casco Urbano de Villavicencio”* de la zonificación integral de amenazas de la ciudad de Villavicencio, realizada en ese entonces por el INGEOMINAS en convenio con la Alcaldía municipal, de esta manera se exporta a Arcgis para así mismo delimitar las unidades geológicas de la zona.

Una vez delimitada las unidades geológicas presentes en la comuna se obtiene el mapa tal y como se muestra en la siguiente figura. Este mapa contiene información de los procesos geodinámicas, características del relieve e información de las propiedades físicas y mecánicas del suelo y la roca [1].

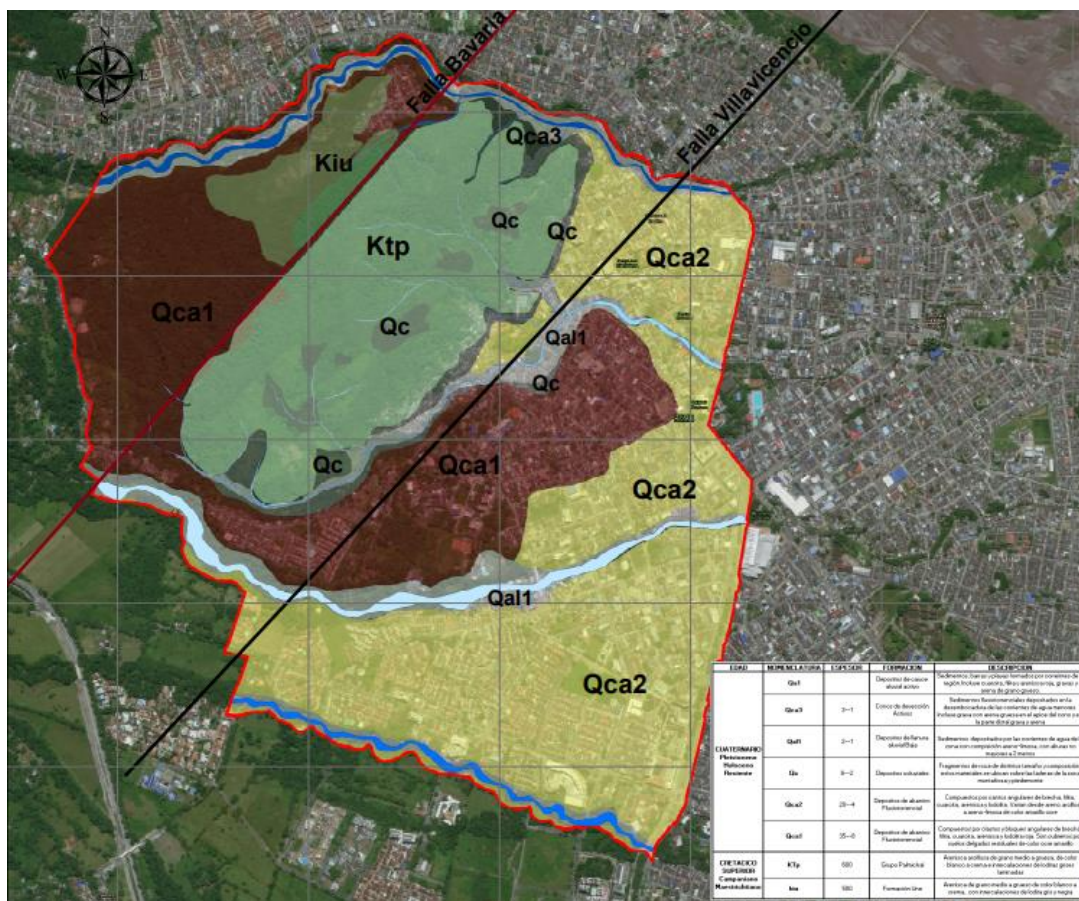


Figura 4 -16 Mapa de Geología, escala 1:5.000

Fuente: Autores

CONVENCIONES

 	Area de Estudio	 	Qca3
 	Qc	 	Kiu
 	Qca2	 	Caño Buque
 	Qca1	 	Caño Gramalote
 	Ktp	 	Caño Maizano
 	Qal1	 	Caño Parrado

De esta manera se obtiene la descripción de las unidades lito estratigráficas de la zona.

4.2.1. Depósitos de cauce aluvial activo (Qa1)

Sedimentos, barras y playas formados por corrientes de la región. Incluye cuarcita, filita y arenisca roja, gravas y arena de grano grueso.

4.2.2. Conos de deyección Activos (Qca3)

Sedimentos fluviotorrenciales depositados en la desembocadura de las corrientes de agua menores. Incluye grava con arena gruesa en el ápice del cono y en la parte distal grava y arena.

4.2.3. Depósitos de llanura aluvial Baja (Qal1)

Sedimentos depositados por las corrientes de agua de la zona con composición areno-limosa, con alturas no mayores a 2 metros. Comprende gran extensión del municipio.

4.2.4. Depósitos coluviales (Qc)

Fragmentos de roca de distintos tamaño y composición, estos materiales se ubican sobre las laderas de la zona montañosa y piedemonte.

4.2.5. Depósitos de abanico Fluviotorrenciales (Qca2)

Compuestos por cantos angulares de brecha, filita, cuarcita, arenisca y lodolita. Varían desde areno. Arcillosa a areno-limosa de color amarillo ocre. (Centro de Villavicencio).

4.2.6. Depósitos de abanico Fluviotorrencial (Qca1)

Compuestos por clastos y bloques angulares de brecha, filita, cuarcita, arenisca y lodolita roja. Son cubiertos por suelos delgados residuales de color ocre amarillo. (Centro de Villavicencio).

4.2.7. Grupo Palmichal (KTp)

Arenisca arcillosa de grano medio a gruesa, de color blanco a crema e intercalaciones de loditas grises laminadas.

4.2.8. Formación Une (Kiu)

Arenisca de grano medio a grueso de color blanco a crema, con intercalaciones de lodita gris y negra.

4.3. SUELOS

Para el área de estudio se toma en consideración las unidades superficiales que comprenden a los suelos que constituye la parte alta de la comuna dos, para este caso se toma las unidades superficiales que hacen referencia a suelos fluviotorrenciales denominadas SFT1 correspondiente a (Abanicos del Parrado y las Mesetas) y en efecto a la nomenclatura SFT2 haciendo referencia a la parte baja, suelos coluviales (Sco), suelos aluviales de cauce activo (Sal1), entre otros. De la

información de las “ Unidades de geología para la ingeniería (INGEOMINAS 2003)” se obtiene el Mapa de suelos correspondiente a la zona de estudio

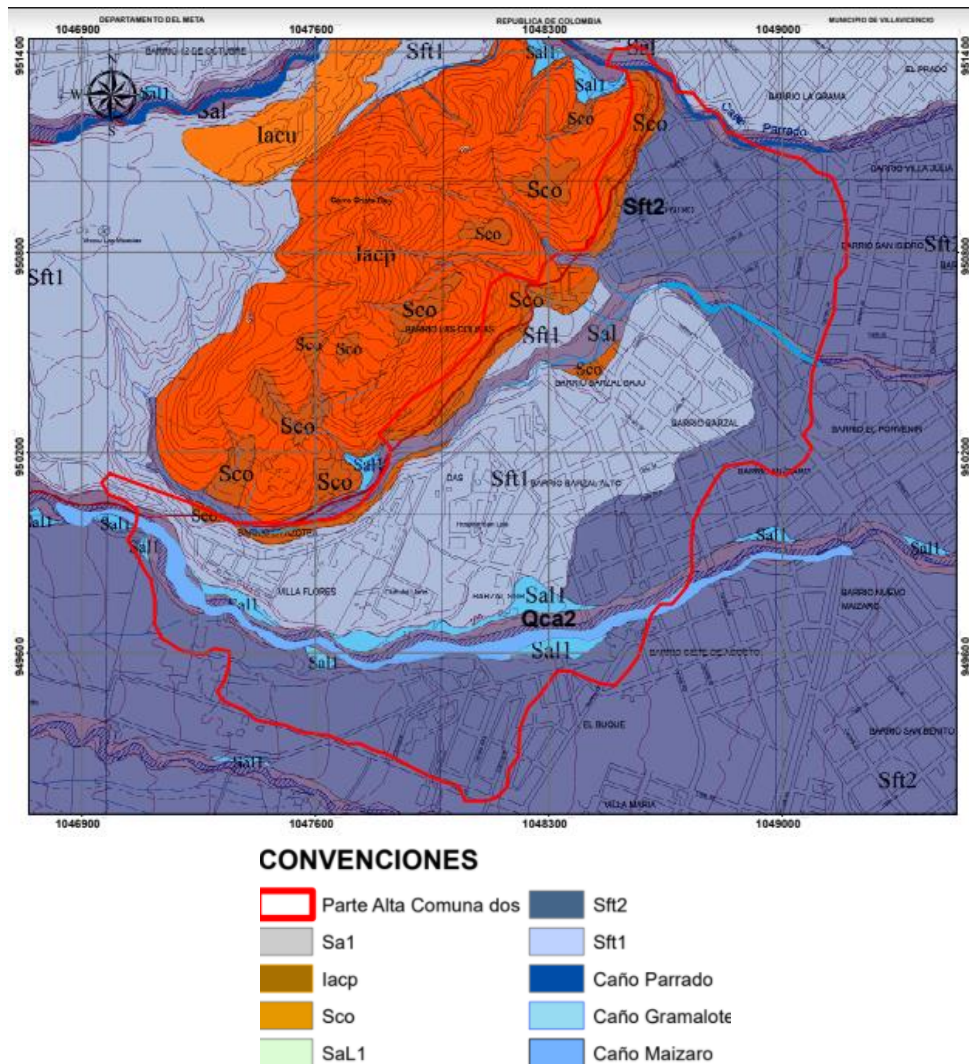


Figura 4 -17 Mapa de Suelos
Fuente: Autores

De lo anterior se obtiene las descripciones de las unidades de los suelos correspondientes a la parte alta de la comuna dos:

4.3.1. Arenisca Cuarzosa de la formación Palmichal (Iacp)

Arenisca de grano fino a medio, blanda, débilmente cementada y friable.

4.3.2. Suelos coluviales (Sco)

Estos son depósitos constituidos por fragmentos de roca, de tamaño variable. El espesor se estima entre los 3 y 7 metros.

4.3.3. Suelos aluviales de cauce activo (Sa1) y Suelos aluviales de terrazas bajas (Sal1)

Son sedimentos transportados por las corrientes de la cordillera oriental. Se componen de grava inconsolidada, con arena y finos, compuestas por cantos, bloques, granos y partículas de composición variada.

4.3.4. Suelos fluviotorrenciales de Abanicos del Parrado y Mesetas (Sft1) y Suelos fluviotorrenciales de Abanico de Villavicencio (Sft2)

Depósitos de abanicos aluviales compuestos por gravas, cantos y bloques subangulares y angulares en matriz de arena y finos. Los fragmentos de roca son principalmente de arenisca, cuarcita, cuarzo.

4.4. PENDIENTES

Las pendientes son consideradas factores determinantes que permiten el control de procesos gravitacionales. Por lo general los derrumbes se origina a partir de pendientes fuertes dadas entre 35 a 40 grados, los corrimientos de tierras se producen en pendientes de 18 a 25 grados. De acuerdo con la legislación colombiana de avalúos Resolución No. 2965 de 12 de septiembre de 1995, las determinaciones de las pendientes corresponden a la a la diferencia de altura entre dos puntos entre la distancia horizontal entre ellos, esto expresado en porcentaje. De tal manera las pendientes se clasifican entre muy baja, baja mediana, alta y muy alta de acuerdo al ángulo de inclinación.

Tabla 4-3. Clasificación de pendientes
Fuente: [12]

Clasificación	Pendiente (Ángulo de inclinación)
Muy baja	0 a 5 % (0 a 8.5°)
Baja	15 a 30% (8.5 a 16.7°)
Mediana	30 a 50% (16.7 a 26.6°)

Alta	50 a 100% (26.6 a 45°)
Muy alta	Más del 100%(más de 45°)

El análisis de este factor parte de las curvas de nivel que respecta a la comuna dos, son obtenidas a partir de la información proporcionada por el IGAC, lo cual permitió general el mapa de pendiente, esta denominación de rangos de pendiente fue tomado de Suárez (1998), transformados de formato ráster a formato vectorial.

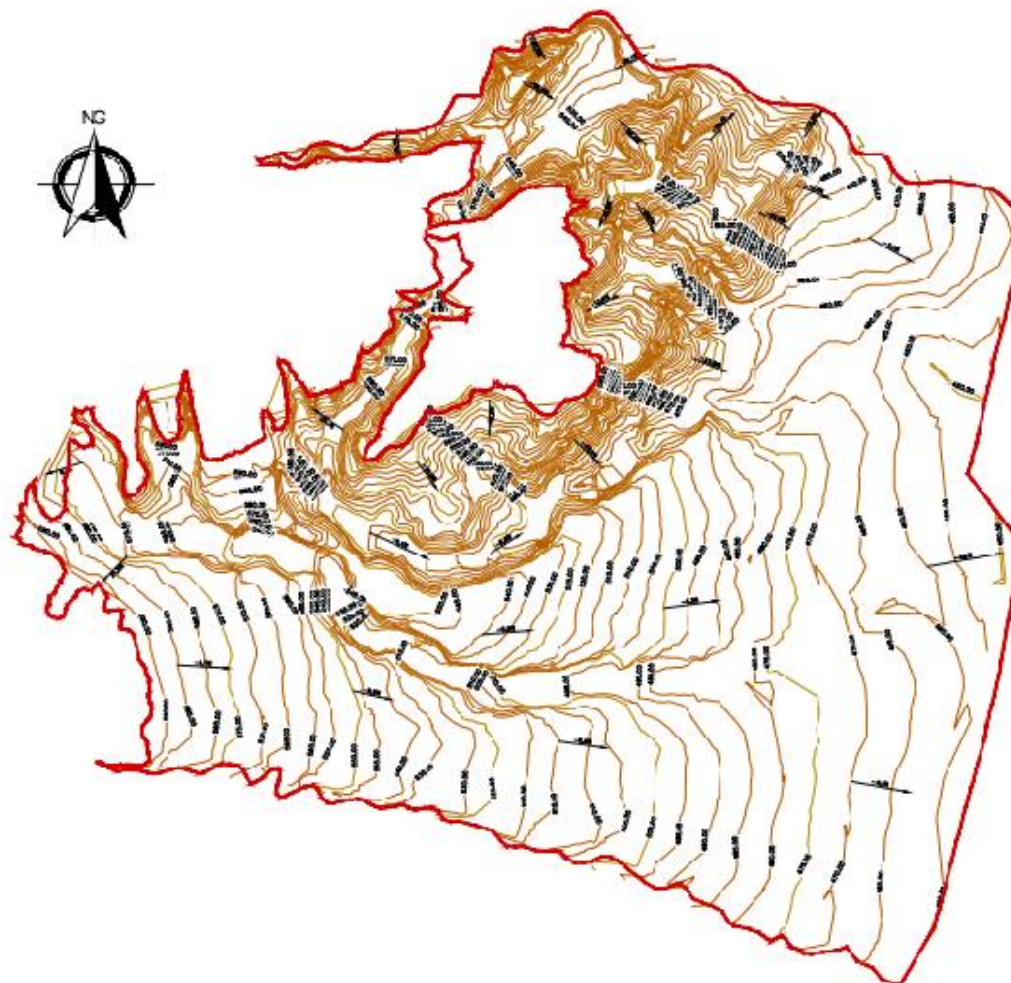


Figura 4-18 Localización general de la comuna 2 curvas de nivel y pendientes del terreno.

Fuente: Autores

De la información anterior se puede apreciar que la parte alta de la comuna dos presenta pendientes superiores a 20%, para mayor detalle dirigirse a Anexo (Planta curvas Comuna 2), de acuerdo con la clasificación de pendientes (ver tabla 5-3) se

identifica mediante una escala de colores las zonas que presentan pendientes desde su clasificación muy baja a muy alta en la zona de estudio, de tal manera esta información permite una fácil interpretación de los sectores más susceptibles ante amenazas naturales.

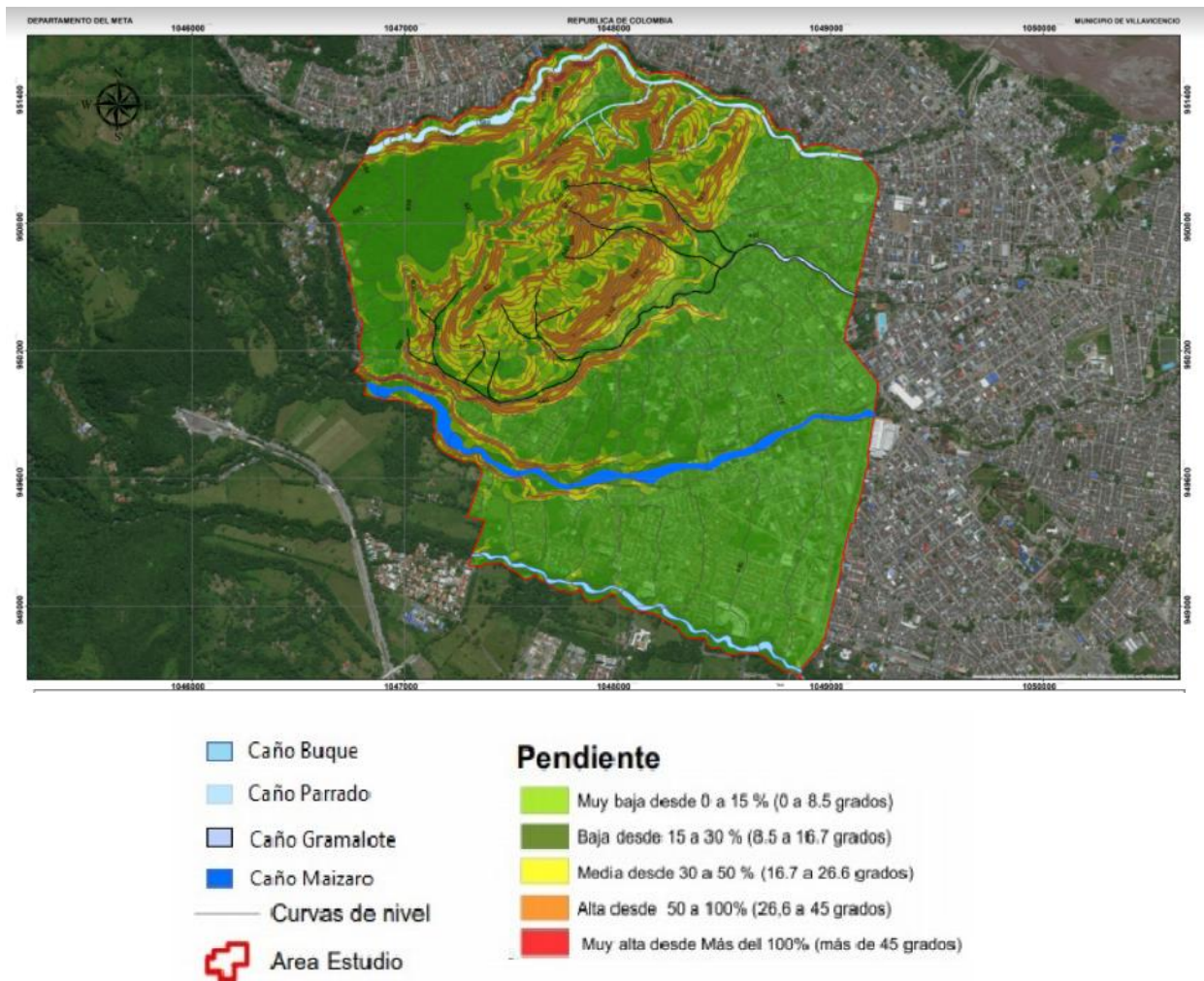


Figura 4-19 Mapa de pendientes
Fuente: Autores

4.5 ASPECTOS HIDROMETEOROLÓGICOS

4.5.1 Análisis de precipitación

El análisis de lluvias en el área de estudio se realiza con base en la información

obtenida de la precipitación registrada en las estaciones de la zona de estudio; dada su localización dentro de la zona del proyecto y la cantidad de datos disponible.

Tabla4-4 Estaciones pluviométricas de la zona de estudio

Fuente: Autores

Estación	Código	Años Con información disponible	Inicio de los años	Fin de Años
Acd. Esmeralda	35030040	20	1998	2017
Alcaldía	35030100	23	1995	2017
Sena	35030030	21	1997	2017
Vanguardia	35035020	38	1980	2017

El análisis de las 4 estaciones será utilizado especialmente en la regionalización de la precipitación, la cual es representada por medio de un plano de isoyetas. Mientras que las gráficas individuales de las distribuciones de precipitación total mensual, número de días de precipitación y precipitación máxima en 24 horas, serán realizadas solo para la estación Vanguardia, puesto que es la estación con la información más completa y con más años disponibles.

Además, el estudio de esta información implico su complementación por medio de modelos estocásticos, en los casos donde se presentó ausencia de datos y, adicionalmente, se realizó un análisis de homogeneidad de estos para evaluar posibles periodos no homogéneos.

4.5.2 Precipitación total mensual

En el gráfico 4-2 se presenta el comportamiento en el régimen de precipitación total mensual, el cual es de tipo mono modal, con máximos entre abril y junio, y con valores mínimos entre enero y febrero. De esta manera, la precipitación presenta valores promedio entre 64.08 mm (enero) y 651.71 mm (mayo), con un promedio total anual de 4500 mm. En condiciones mínimas históricas de precipitación, hubo casos de total ausencia de lluvia en el mes de enero, seguido de valores muy bajos en diciembre y febrero. Mientras que los registros máximos se han presentado en

el mes de mayo con valores de hasta 964.1 mm.

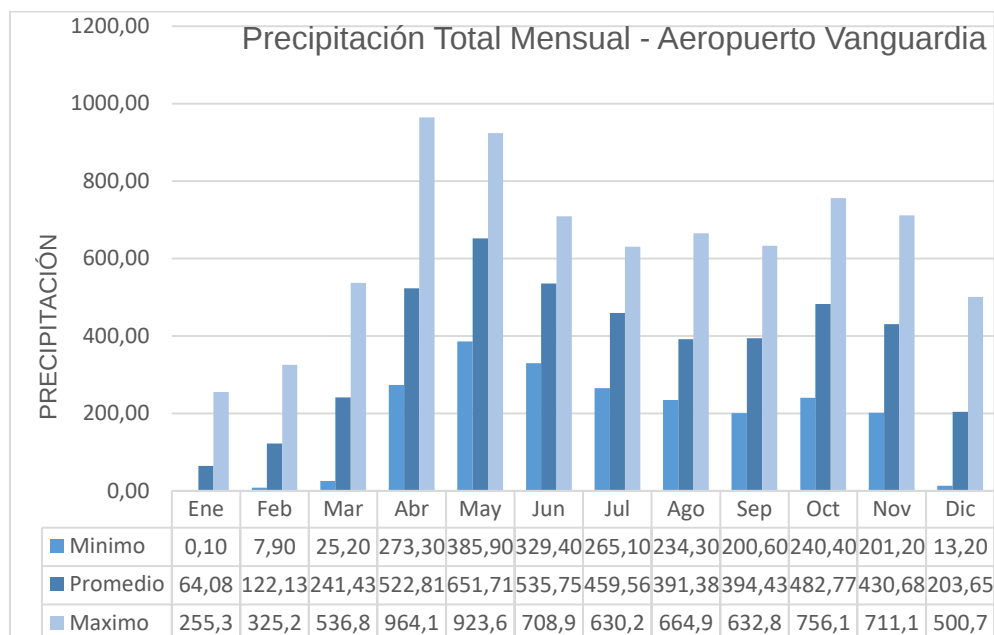


Gráfico 4-2 Precipitación mensual, estación Aeropuerto de Vanguardia
Fuente: Autores

4.5.3 Número de días de precipitación

El número de días de precipitación representa la cantidad de días en el mes en los que ocurrió por lo menos un evento de precipitación, con una magnitud mayor a 1mm. Con base al gráfico 4-3 se evidencia que este parámetro presenta un régimen mono modal, con el mayor número de días ocurriendo entre abril a agosto y el menor número de días entre enero a febrero, los valores promedio se dan entre 9 y 27 días a lo largo del año, con un valor medio anual de 246 días con precipitación. En valores mínimos históricos de este parámetro, se observa que la menor cantidad de números de días con precipitación es de un (1) día en el mes de enero, mientras que los máximos son de treinta (30) y treinta y un (31) días en los meses de mayo, junio y julio.

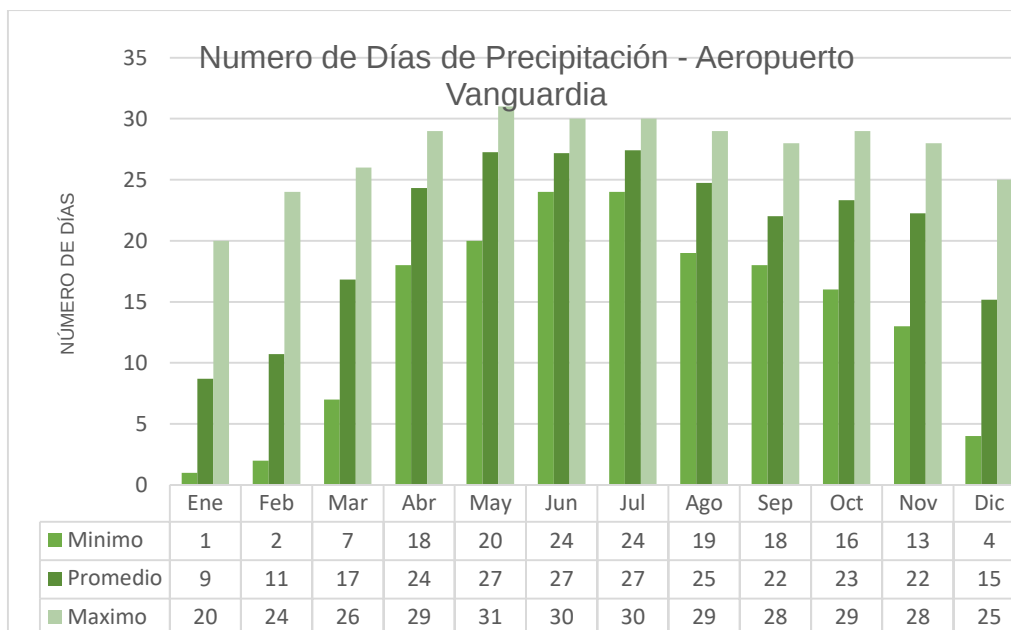


Gráfico 4-3 Número de días de precipitación, estación Aeropuerto de Vanguardia
Fuente: Autores

4.5.4 Precipitación máxima en 24 horas

La precipitación máxima en 24 horas representa la mayor cantidad de agua que ocurre por lluvia durante 24 horas consecutivas en un mes. Este parámetro es de gran importancia hidrológica, pues comúnmente se emplea para estimar los caudales máximos que se producen por lluvias intensas en una cuenca. De esta manera se caracteriza el régimen de precipitación máxima en 24 horas con base en la estación Vanguardia, el cual se muestra el gráfico 4-4. Los datos analizados presentan un régimen mono modal, lo cual es coherente con lo analizado para los datos de precipitación total mensual y el número de días de precipitación.

Como se observa en la figura, los valores promedio más altos se presentan en los meses de abril, mayo y junio con magnitudes del orden entre los 86mm y 104mm. Los meses que presentan los menores valores son entre enero y marzo, que corresponden al período más seco del año, con valores mínimos entre 0mm y 8mm. Como valor anual promedio se registra 68.59mm de precipitación máxima en 24 horas.

Se resaltan máximos históricos de hasta 205.2mm registrados para el mes de mayo, este evento de alta precipitación ocurrió en mayo de 2017.

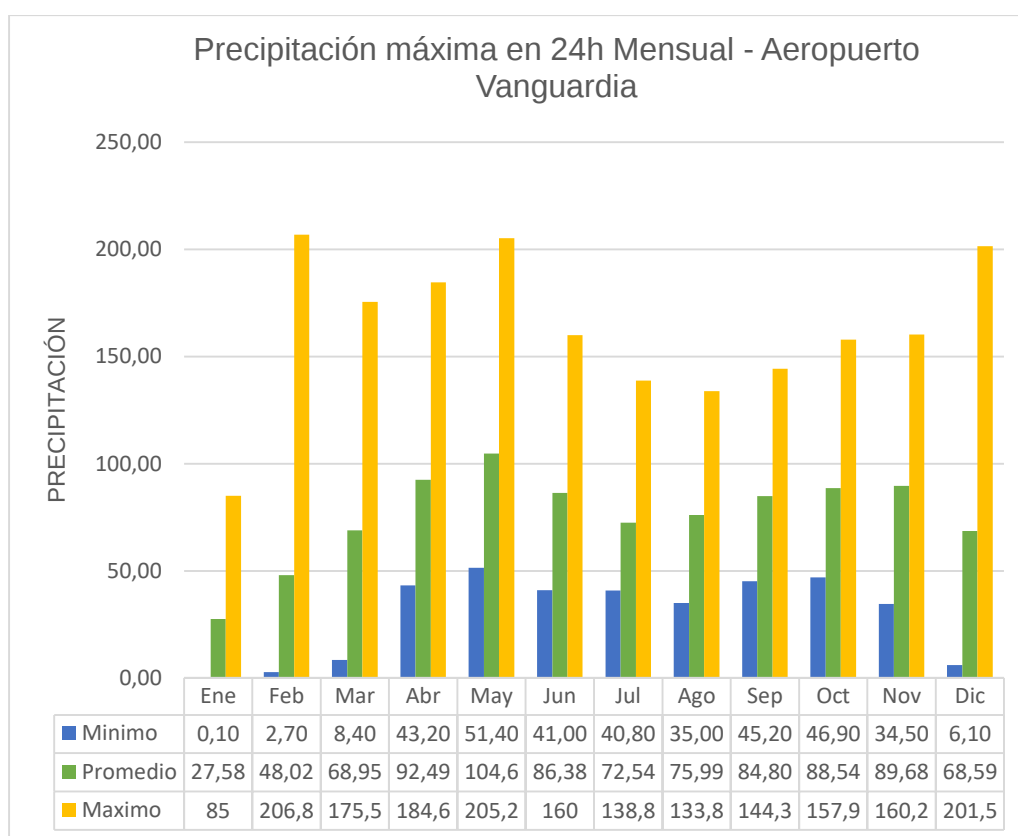


Gráfico 4-4 Precipitación mensual máxima en 24 horas
Fuente: Autores

4.6 Análisis de parámetros climáticos

Mediante el análisis de parámetros climáticos se caracteriza el clima de la zona a escala general. Para este análisis, dada su ubicación cercana al proyecto y su buen registro de datos, se utilizó la estación climática principal ubicada en los predios de la Universidad de los Llanos – Campus Barcelona. La estación Unillanos [35035070], cuenta con los registros de temperatura máxima, cuyo resumen se presenta a continuación.

4.6.1 Temperatura máxima

El régimen de temperatura máxima se caracteriza con base en el registro de la estación Unillanos. La temperatura máxima promedio multianual es de 30.6°C, donde la variación de la temperatura promedio oscila en +/-1.8°C entre 28.9°C a los

32.6 °C en los meses de julio y febrero respectivamente. En términos generales la temperatura media no presenta variaciones significativas a lo largo del año.

4.7 Mapa de Isoyetas

A partir de la información de precipitación total anual registrada en las 4 estaciones hidrológicas localizadas en la zona de estudio, se hace una regionalización de la precipitación usando el método de isoyetas, las cuales son representaciones espaciales de magnitudes de precipitación total anual, mediante líneas de contorno que representan la profundidad de lámina de precipitación anual en una región, con lo cual se identifica el comportamiento espaciotemporal de las lluvias en la zona. En la Tabla 4-6 se muestra el resumen de valores de precipitación total anual de cada estación de la zona de influencia y en la Figura 4-20 se presenta el mapa de isoyetas.

Tabla 4-5 Precipitación total anual por estación
Fuente: Autores

Estación	Precipitación total anual (mm)
Acued. Esmeralda	4746,89
Alcaldía	4390,27
SENA	4129,38
Apt. Vanguardia	4500,38

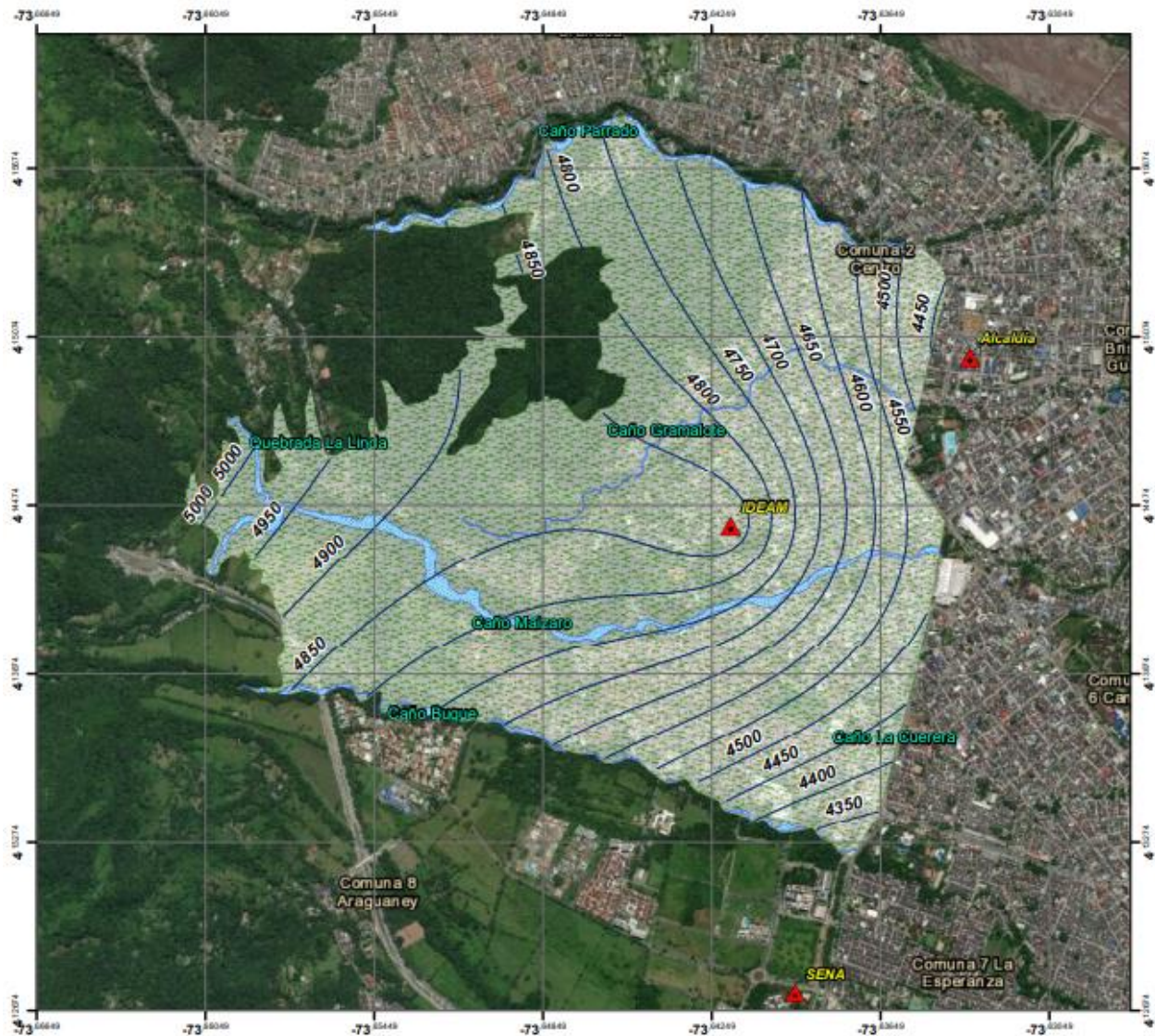


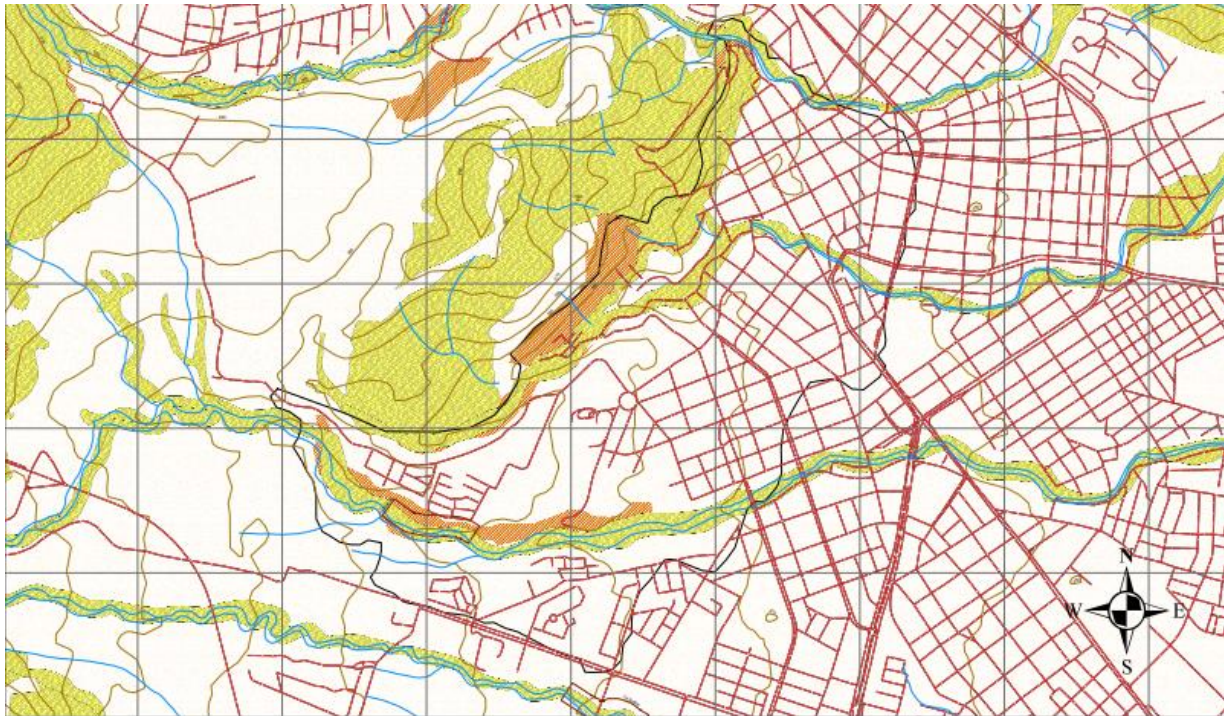
Figura 4-20 Mapa de Isoyetas
Fuente: Autores

4.8. AMENAZAS NATURALES

4.8.1. Amenaza por remoción en masa

Se denomina amenaza natural a la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructor, dentro de un periodo de tiempo en un área específica. La susceptibilidad del terreno depende principalmente del material de su composición y su pendiente, debido a que la dirección en la que la fuerza de gravedad actúa sobre el material contribuirá a su desplazamiento, de igual manera

el tipo de suelo, la cobertura vegetal y la geología son factores determinantes en la estabilidad de un terreno.



LEYENDA

	CBD_RUR_HIDRO_LINEA		ZONA_EVALUADA
	CBD_RUR_HIDRO_TEXTO	Amenaza_Remocion	
	VIAS		Alta
	Curva_Nivel_Ru_25m		Media
			Baja

Figura 4-21 Mapa de Amenaza por Remoción en Masa
Fuente: Autores

Dentro de la zona evaluada, se caracteriza la amenaza por remoción en masa en valores Alto, Medio y Bajo se estima que la parte más crítica frente a esta amenaza corresponde las zonas aledañas al cerro de Cristo Rey.

Tabla 4-6 Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos

Fuente: [12]

Grado de susceptibilidad	Criterio
Muy alta	Laderas con zonas de falla, masa de suelo altamente meteorizadas y saturadas, y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe alta posibilidad que ocurran.
Alta	Laderas que tienen zona de falla, meteorización alta a moderada y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe la posibilidad de que ocurran.
Media	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 con algunas zonas de falla, materiales parcialmente erosionado no saturados con discontinuidades favorables, donde no existen indicios que permiten predecir deslizamientos.

Muy baja	Laderas no meteorizadas con discontinuidades favorables que no presentan ningún síntoma de que puedan ocurrir deslizamiento.
----------	--

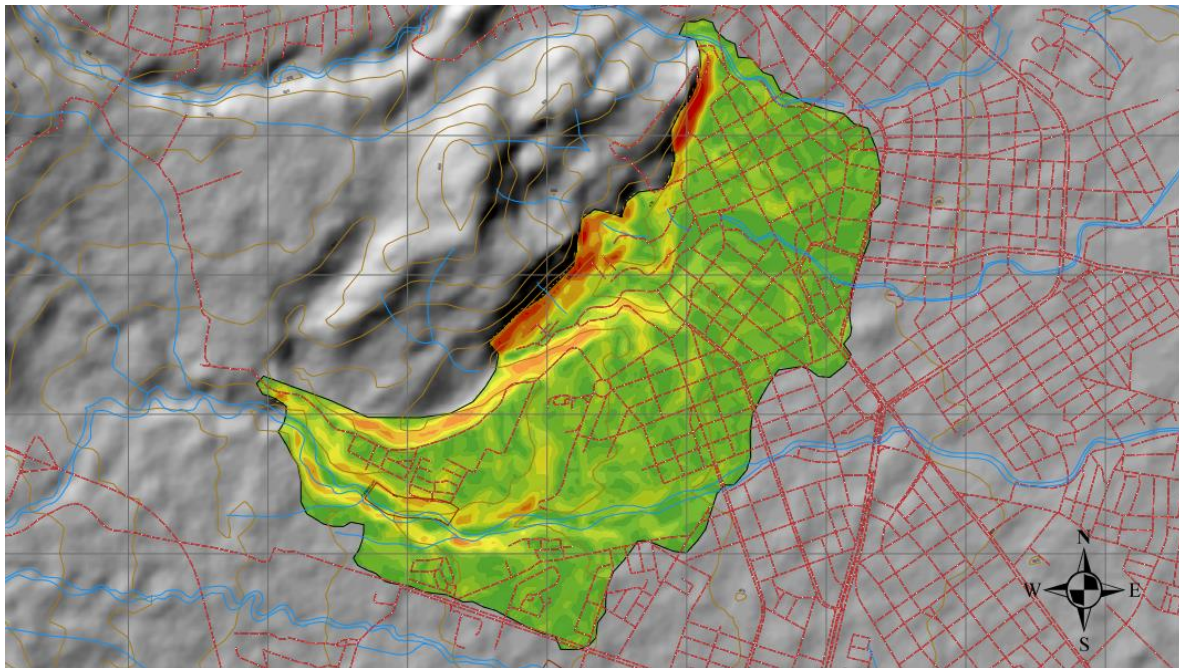
4.8.2. Amenaza por deslizamientos

Tomando en consideración la clasificación de unidades superficiales que comprenden el suelo que constituye la parte alta de la comuna dos, para este caso se toma las unidades superficiales que hacen referencia a suelos fluviotorrenciales denominadas SFT1 correspondiente a (Abanicos del Parrado y las Mesetas) y en efecto a los suelos fluviotorrenciales SFT2 (Abanico de Villavicencio), haciendo referencia a la parte baja, los anteriores son los que más área abarcan, pero se encuentran también suelos coluviales (Sco), suelos aluviales y de cauce activo, suelos aluviales de terrazas bajas y medias correspondientes a las zonas de corrientes hídricas. De lo anterior, se tienen en cuenta las características de unidades litológicas que presentan desde su grado de meteorización hasta la estabilidad de las laderas como se muestra a continuación.

Tabla 4-7 Unidades litológicas
Fuente: [1]

Nomenclatura	Unidad superficial	Grado de meteorización	Permeabilidad de campo	Facilidad de excavación	Estabilidad de las laderas
SFT 1	Suelos fluviotorrenciales (Abanicos del Parrado y las Mesetas)	Moderado	Moderado	Buena con métodos mecánicos y manuales	baja
SFT 2	Suelos fluviotorrenciales (Abanico de Villavicencio)	Bajo	Moderado	Buena con métodos mecánicos y manuales	baja

Teniendo en cuenta lo anterior, se evidencia que las zonas más susceptibles a los deslizamientos son los que corresponden al Barzal alto, Azotea, Las Mesetas y San José, así como a la ronda del caño Maizaro, esta vulnerabilidad se debe gracias a la baja estabilidad de las laderas, que corresponden a los suelos fluviotorrenenciales Sft1 (Abanico del parrado y las Mesetas) y a su vez los suelos fluviotorrenenciales Sft2 (Abanico de Villavicencio) que cubren gran parte del área de estudio .



LEYENDA

CBD_RUR_HIDRO_LINEA	ZONA_EVALUADA	0 - 2.515450571	12.97442927 - 16.28423264
CBD_RUR_HIDRO_TEXTO		2.515450572 - 5.163293278	16.28423265 - 19.72642816
VIAS		5.163293279 - 7.546351713	19.72642817 - 23.83058436
Curva_Nivel_Ru_25m		7.546351714 - 10.06180228	23.83058437 - 33.75999451
		10.06180229 - 12.97442926	

Figura 4-22 Mapa de Amenaza de por deslizamiento
Fuente: Autores

4.8.3. Amenaza sísmica

4.8.3.1. Espesores y periodos de vibración del suelo

En este apartado se toma el suelo para ver la reflexión de la onda sísmica de los suelos, con base a ésta se tiene en cuenta los espectros para ver la aceleración que presentan éstos suelos.

De acuerdo con la figura 4-21 tienen cuenta los espesores y periodos en segundos de vibración de la zona de estudio.

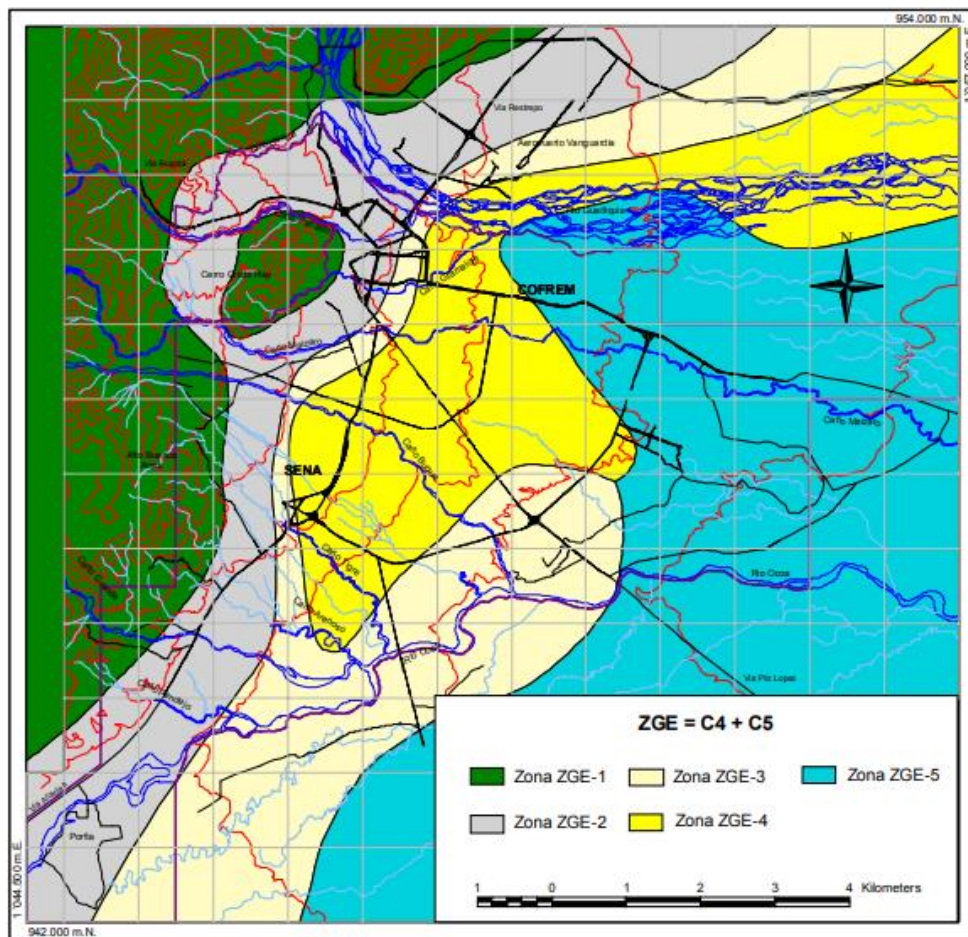


Figura 4-22 Zonificación de espesores y periodos de vibración
Fuente: Zonificación integral por amenazas naturales para la ciudad de Villavicencio, Meta- fase II.

Según “ Zonificación integral por amenazas naturales para la ciudad de Villavicencio –meta- fase II.” Las zonas que comprende la parte alta de la comuna dos los se identifican como Zona ZGE -2 Y Zona ZE-3 con espesores de suelo entre 20m a 60 m y 60m a 80m respectivamente, al igual periodos de vibración de 0.35 s a 0.55 s y 0.45 s a 0.80 s, en el mismo orden.

De la misma manera se tiene en cuenta la zonificación geotécnica indicativa de Villavicencio ZGV, representando entonces una síntesis de las unidades técnicas.

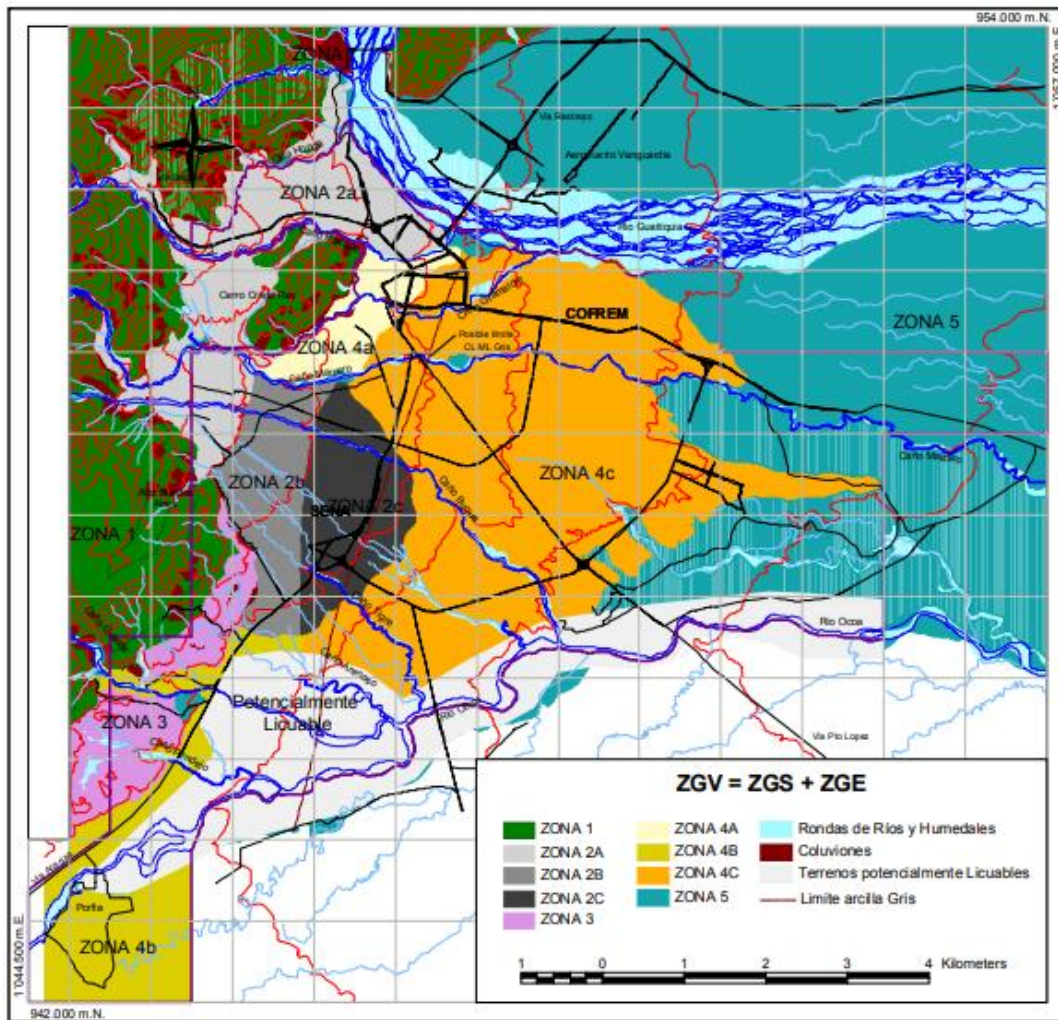


Figura 4-4 Zonificación Geotécnica Indicativa de Villavicencio (ZGV)
Fuente: [25]

La figura 4-22 permite identificar la zona de estudio correspondiendo a las Zona 1 (Cerro de Cristo Rey), Zona 2A Comprende el abanico formado entre el Río Guatiquia y los cerros al sur del Caño Buque. La pendiente de la superficie del terreno en esta zona está entre 2.5 y 10%, con un espesor promedio de suelo entre 20 y 40 metros, y periodos de vibración natural de 0.30 a 0.45 segundos. y Zona 4A. Corresponde a la zona de piedemonte frente al cerro Cristo Rey, donde se ubica el centro de la ciudad y los barrios Barzal Alto, Los Pinos y San Isidro. El espesor del depósito de suelo puede ser de 20 a 60m, la pendiente de la superficie del terreno está entre 2.5 y 5.0% y los periodos de vibración natural entre 0.35 y 0.55s.

De acuerdo con la clasificación de zonas del mapa “ZONAS SISMOGEOTÉCNICAS INDICATIVAS” de la *Zonificación integral por amenazas naturales para la ciudad de Villavicencio* –meta- fase II permite identificar en periodos de segundos la aceleración espectral para cada instante de tiempo, estas zonas fueron definidas de acuerdo con el área de estudio siendo estas: Zona A, la cual hace referencia al Cerro de Cristo Rey, Zona C a la parte de llanura y Zona D a la zona fluviotorrencial.

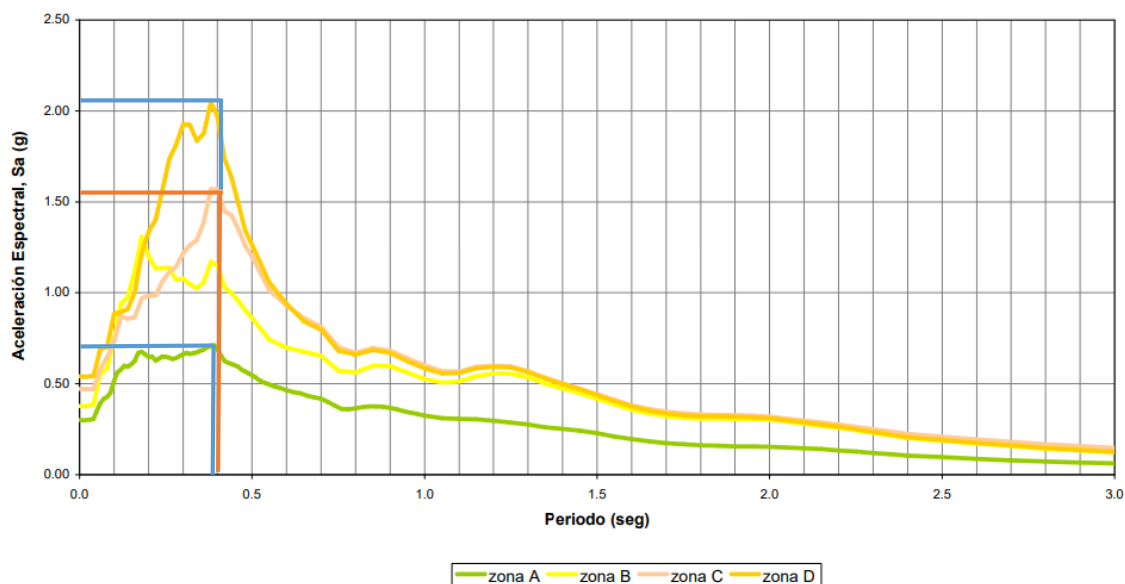


Gráfico 4-5 Espectros Indicativos de Respuesta Sísmica Casco Urbano de Villavicencio
Fuente: [25]

De tal manera la aceleración espectral máxima S_a (g) esperada para cada una de las zonas será

Zona A: 0.70 g Zona C: 1.5 g Zona D: 2.0 g

Los espectros indicativos de respuesta sísmica del Casco Urbano de Villavicencio de suelo según la NRS-10 tendrán una máxima aceleración espectral de 0.8 (g) para un periodo de 0.55 segundos, como se muestra en la línea azul de la gráfica de espectro.

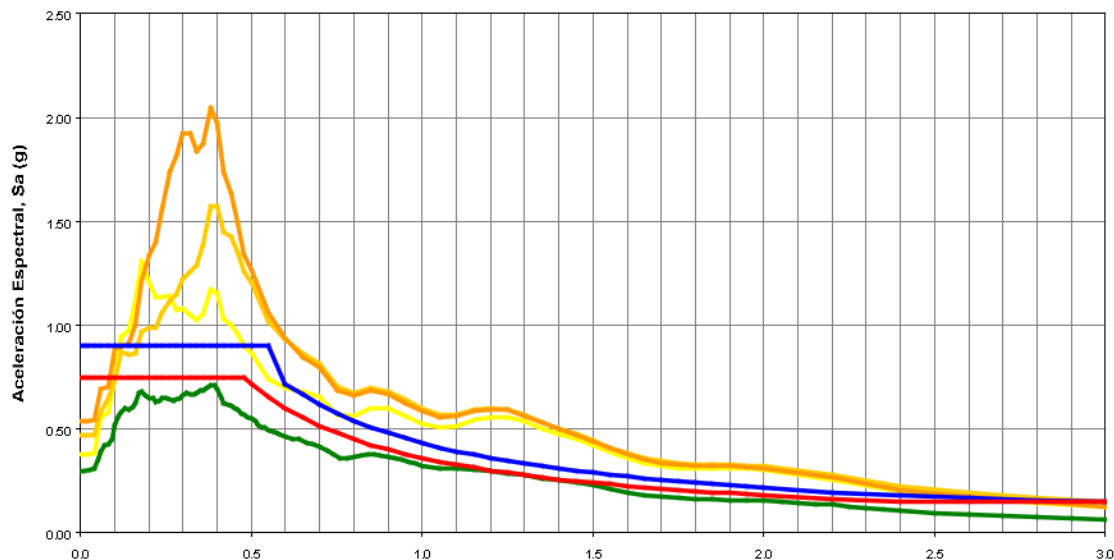


Gráfico 4-6 Espectros Indicativos de Respuesta Sísmica Casco Urbano de Villavicencio
Fuente: [25]

Se recomienda tener en cuenta el título A del Reglamento Colombiano Sismo Resistente NSR-10, título A de Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente, "con el fin de conocer los requisitos mínimos para el diseño y construcción de edificaciones nuevas que sean capaz de resistir las fuerzas que imponen la naturaleza frente a efetos producidos por los movimientos sísmicos" [25], apartado A.2.1. de igual manera el apartado A.2.2. debido a que contempla los movimientos sísmicos de diseño definidos en función de la aceleración pico efectiva en los suelos por periodo de tiempo.

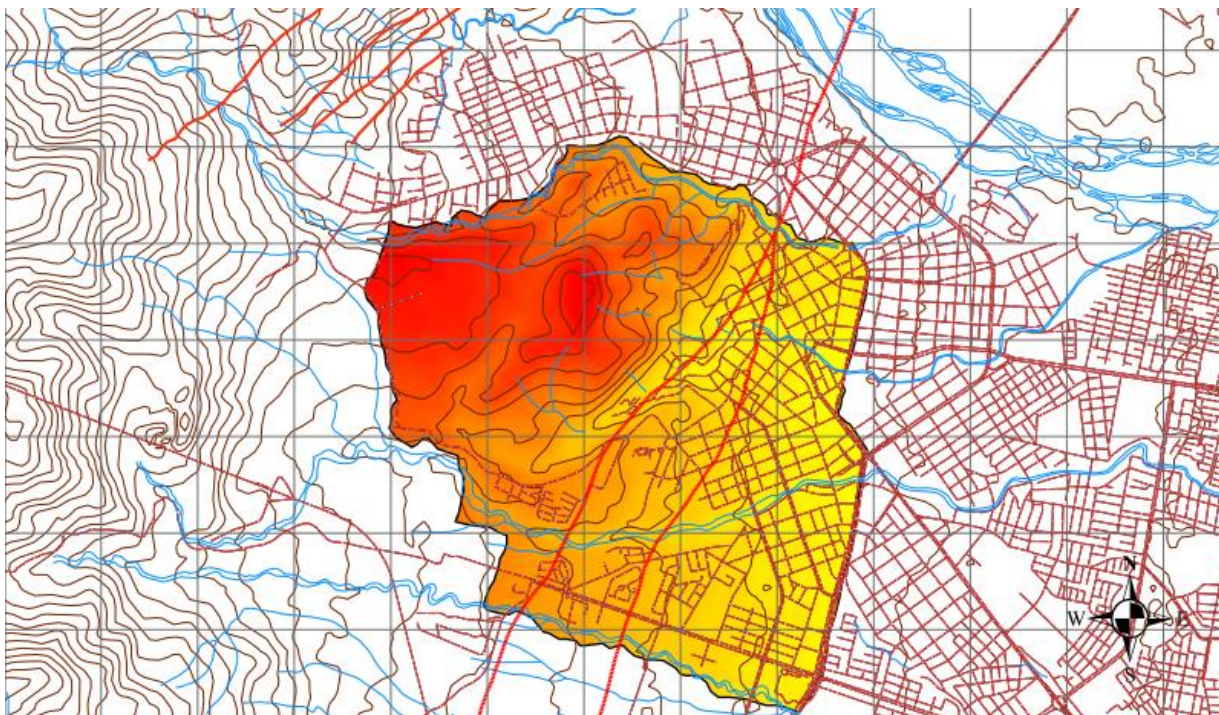


Figura 4-23 Mapa Amenaza Sísmica
Fuente: Autores

CAPITULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir de los resultados se evidencia que gran parte de la zona de estudio corresponde a suelos urbanos, que lo constituye zonas residenciales, zonas hospitalarias y zonas comerciales; y a su vez se encuentran áreas sujetas a plan de manejo como el Cerro de Cristo Rey con una gran representación sobre la superficie de área. Igualmente, gran parte de la vegetación boscosa se centra en los sectores del Barzal alto, San José, Mesetas y Azotea los cuales presentan gran vulnerabilidad frente a eventos naturales, ya que estos se encuentran en las laderas del Cerro de Cristo Rey y presentan pendientes considerables respecto al sector restante.

Por otro lado, en la leyenda geológica de la comuna dos se pudo observar de acuerdo con estudios previos la variedad de composición geológica como los depósitos de abanicos fluviotorrenciales ubicados en zonas urbanas, de la misma manera se observó unidades litográficas de depósitos de cauce aluvial activo formados por las cuatro corrientes que atraviesa el área de estudio (Caño Buque, Maizaro, Gramalote y Parrado).

De igual manera se contempló la composición de suelos en el área de estudio en la cual comprendía unidades superficiales de suelos fluviotorrenciales presentando una estabilidad en las laderas bajas, esto representa una alta susceptibilidad a socavación y por ende a derrumbes, cabe resaltar que los tipos de suelos que predominan en esta área son los suelos fluviotorrenciales de Abanicos del Parrado y Las Mesetas (SFT1) y el Abanico de Villavicencio que corresponde a todo el área urbana de la ciudad formando un suelo de color amarillo rojizo (SFT2), así como los suelos de cauce activo y de terrazas bajas (Sal y Sal1) con un grado de meteorización alto y estabilidad en las laderas bajo; hacia el costo norte de la parte alta de la comuna específicamente en las laderas de la cordillera oriental se encontraron suelos coluviales con estabilidad de las laderas baja y por ende susceptible a los deslizamientos.

No obstante, las pendientes son de gran importancia frente a las amenazas naturales que puedan ocurrir en un sector, ya que estas representan un grado de inclinación topográfico que conllevan a desarrollar fácilmente un proceso de remoción de masa, especialmente en pendientes medias de 30% a 50%, altas del 50% al 100% y muy altas mayores al 100%, sin embargo, es importante tener en cuenta que gran parte de la comuna dos presenta este tipo de pendientes.

Los aspectos hidrometeorológicos tenidos en cuenta en los últimos 20 años han registrado un comportamiento de precipitación alto para el mes de Abril, en lo cual se puede inferir que este mes presenta mayor porcentaje de riesgo, puesto que estos eventos de alta pluviosidad en la zona que presentan pendientes altas pueden causar procesos de remoción en masa.

La zona que comprende la parte alta de la comuna dos presenta gran amenaza frente a fenómenos naturales, generando gran vulnerabilidad frente a amenazas sísmicas, remoción en masa y deslizamientos. Es importante tener en cuenta la expansión urbana como se ha venido desarrollando desde años atrás, desde el año 1950 los suelos se encontraban ocupados por el centro fundacional de Villavicencio, en dónde no existía sectores como el barzal (ver figura 5- 23), en su transición veinte años más tarde Villavicencio, refleja un crecimiento en el que se observa los inicios de sectores como el barzal (Ver figura 5 -24) , así mismo el municipio diez años más tarde muestra grande cambios para ese año 1980 (Ver figura 5 -25).

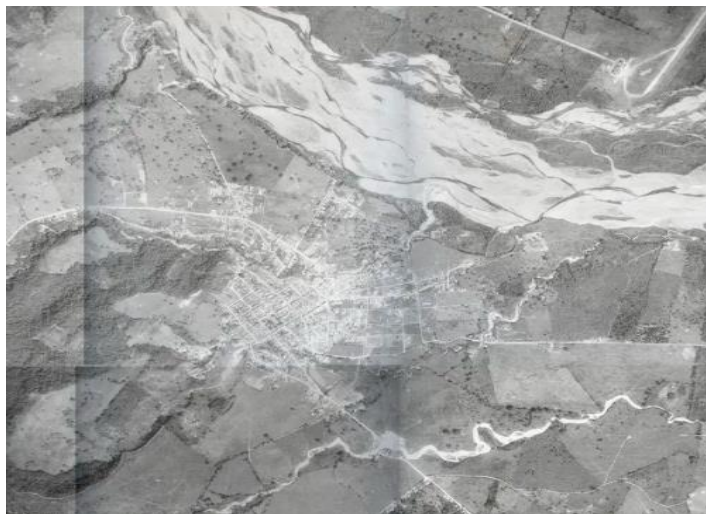


Figura 5- 25. Análisis de la zona de estudio mediante fotografías aéreas. (1950)
Fuente: IGAC



Figura 5-26 Análisis de la zona de estudio mediante fotografías aéreas. (1970)
Fuente: IGAC



Figura 5-27 Análisis de la zona de estudio mediante fotografías aéreas. (1980)
Fuente: IGAC

En el anterior registro fotográfico se evidencia como ha ido urbanizándose Villavicencio en los últimos años, se observa que principalmente lo que se empezó a formar fue la comuna dos a la que se le considera centro fundacional de la ciudad y que incluso en la actualidad hay edificaciones que guardan esos rasgos característicos del siglo pasado.

De acuerdo con las recomendaciones dadas en la NSR-10 para las aceleraciones espectrales esperadas se recomienda tener en cuenta el título A del Reglamento Colombiano Sismo Resistente NSR-10, título A de Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente, “con el fin de conocer los requisitos mínimos para el diseño y construcción de edificaciones nuevas que sean capaz de resistir las fuerzas que imponen la naturaleza frente a efectos producidos por los movimientos sísmicos” [25], apartado A.2.1. de igual manera el apartado A.2.2, que tiene en consideración el comportamiento de la aceleración de onda en un instante de tiempo, como se pudo evidenciar anteriormente la aceleración máxima esperada de respuesta del suelo sobrepasa el valor máximo estipulado por la NRS-10, como se contempla en el gráfico 4-7, que indica que para un periodo de 0.55 s se espera una aceleración máxima de 0.8 g.

Es importante tener en consideración el comportamiento de la aceleración respecto a las zonas anteriormente mencionadas de los Espectros Indicativos de Respuesta Sísmica Casco Urbano de Villavicencio, para la Zona A la cual corresponde al Cerro

de Cristo Rey es considerado como roca, lo cual refleja alta aceleración en un periodo corto; para la Zona C que representa parte de la llanura, en esta zona se presenta baja aceleración, con un movimiento más suave y de mayor duración, finalmente para la Zona D que corresponde a la zona fluviotorrencial que representa mayor porcentaje de área de estudio se observa una aceleración baja, pero la vibración dura un poco más de tiempo, por lo tanto esta zona representa mayores esfuerzos respecto al cerro de Cristo Rey, por esta razón esta es considerada el punto más crítico de amenaza que se presenta en la parte alta de la comuna dos de Villavicencio al tener la aceleración tan fuerte, y este sector se conoce como el piedemonte fluviotorrenciales, por lo tanto el punto crítico de amenaza sísmica presentando en la parte alta de la comuna dos, se presenta en el sector que comprende la zona D, de acuerdo con las recomendaciones dadas por la NRS -10 se recomienda tener en cuenta el título A del Reglamento Colombiano Sismo Resistente NSR-10, título A de Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente “. [26].

Para estimar la condición actual de viviendas se realizó una visita a uno de los barrios que comprende la zona de estudio, se identificaron viviendas que presentan gran vulnerabilidad frente a eventos naturales, encontrándose expuestas al vacío, ante procesos de remoción en masa, sismo y demás fenómenos naturales.



Figura 5-28 Tipos de vivienda situadas en la Azotea
Fuente: Autores



Figura 5-29 Vivienda en riesgo ubicada en la Azotea
Fuente: Autores



Figura 5-30 Viviendas en riesgo ubicada en la Azotea
Fuente: Autores

En las figuras anteriores se evidencia el estado constructivo de algunas viviendas que se encuentran expuestas al vacío sobre el cual están construidas, estas estructuras presentan grandes riesgos a la comunidad ante cualquier evento natural llegando a generar grandes pérdidas humanas y económicas, por ende es de importancia que se tengan en consideración los procesos constructivos y recomendaciones dadas en el POT de la ciudad.

CONCLUSIONES

Según los análisis de los resultados obtenidos en esta investigación, se evidencia que la parte alta de la comuna dos es la más susceptible a procesos de remoción en masa y deslizamientos de la ciudad, ya que este sector se caracteriza por las altas pendientes y la variedad de materiales de suelos asentados sobre esta, suelos como los fluviotorrenciales, aluviales y coluviales presentan grado de meteorización alto y moderada y estabilidad en las laderas baja que por ende conllevan a la susceptibilidad de deslizamientos y socavación, siendo así la alta pluviosidad de la región combinado con la meteorización de la roca y la escorrentía superficial, desencadena un proceso en la zona de tipo flujo de escombros.

Procesos inadecuados como la deforestación y el uso del suelo suscitan a que se presente la decadencia de los bosques fragmentados, estos son zonas establecida en el *POT del 2015* de la ciudad como franjas de manejo ambiental que corresponden a los cauces de las cuatro corrientes hídricas que pasan a lo largo de la comuna, y suelos sujetos a plan de manejo como los asentados en el cerro de Cristo Rey.

A través de las fotografías aéreas tomadas del IGAC entre los años 1950-1980 se observa el crecimiento urbano del centro fundacional hoy en día lo que engloba a la comuna dos, estos registros incluido las imágenes satelitales son de vital importancia con el fin de dar seguimiento a las transformaciones del uso y cobertura vegetal transcurrido los años, puesto que se logra obtener una visión más subjetiva de avances e investigaciones ante posibles cambios o amenazas futuras a ocurrir, identificando las sectores que podrían estar más vulnerables ante estos eventos.

La susceptibilidad del terreno depende principalmente del material de su composición y su pendiente, es por ende que estos procesos se presentan en pendientes comprendidas entre el 30% y 50% principalmente en rocas fracturadas, debido a que la dirección en la que la fuerza de gravedad actúa sobre el material contribuye a su desplazamiento. Por otro lado, algunas de las construcciones

ubicadas sobre las laderas de la cordillera no están lo suficientemente cimentadas de acuerdo a estos terrenos, por lo que presentándose alguno de estos eventos naturales la probabilidad de destrucción y pérdidas de vida sería mayor. Cabe resaltar las mayores pendientes de la comuna dos hacen parte de las cuencas del caño Maizaro y el caño Gramalote, por tal razón los barrios que comprenden los cauces de estas corrientes hídricas son más vulnerables ante un proceso de remoción en masa, que en dicho evento con ayuda de la pluviosidad pueden generar represamiento en los cauces, que seguidamente desencadena en flujo de escombros que transitará caño abajo afectando tanto a sectores aledaños a las rondas del cauce como a poblaciones por fuera a las zonas de riesgo.

En cuanto a la amenaza sísmica se pudo determinar de acuerdo a los resultados obtenidos que el sector más crítico se presentan en la parte alta de la comuna dos o Zona D según *“Zonificación integral por amenazas naturales para la ciudad de Villavicencio –meta- fase II”*, que corresponde la zona fluviotorrencial que representa mayor porcentaje de área de estudio, en esta área se observa una aceleración alta esperada de 2.0 g, pero la vibración tarda un poco más de tiempo, por ende representa mayores esfuerzos respecto al cerro de Cristo Rey, Los espectros indicativos de respuesta sísmica del Casco Urbano de Villavicencio de suelo según la NRS-10 tendrán una máxima aceleración espectral de 0.8 (g) para un periodo de 0.55 segundos, esto representa que la zona de estudio sobre pasa a lo recomendado por la Norma y por ende estaría mas vulnerable ante este evento natural que de llegar a suceder acabaría con la vida y el desarrollo socioeconómico de la ciudad.

RECOMENDACIONES

Esta investigación servirá como parte indicativa inicial, útil para conocer implicaciones o riesgos que presentan las construcciones al realizarse en este sector, como se ha venido mencionando esta zona de estudio se considera un punto crítico frente a amenazas sísmicas debido a las fuertes aceleraciones que presentan los suelos que constituyen este espacio, de acuerdo con ello se recomienda para el desarrollo de futuras investigaciones que respectan a amenaza sísmica caracterizar las viviendas y edificaciones que contemplen el cumplimiento de los requisitos de diseño y construcción sismo resistente pertinentes a la NRS-10, de la misma manera se recomienda identificar que edificaciones no cumplen con los códigos sismo resistentes, debido a que algunas construcciones se edificaron antes de 1980 , es decir sin la contemplación de códigos vigentes, por otro lado el área de estudio al presentar gran vulnerabilidad se debe tener en cuenta las contemplaciones del POT de los últimos años, que para el presente estudio se toma como base el del año 2015 en el que se especifica que esta zona no es apta para construir y quienes habitan allí deben reubicarse debido a la vulnerabilidad que se presenta generando un riesgo a la comunidad, al presentar un análisis de evaluación de susceptibilidad útil para que organismos de control fundamenten técnicas y acciones emprendidas frente a mecanismos de respuesta rápida ante emergencias que se puedan presentar en la zona, de igual manera de importante contemplar la implantación de obras de drenaje que sean construidas de tal forma que permita el desalojo de agua que aumente la presión de poros y llegue a ocasionar fenómenos de remoción en masa

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio de Minas y Energía, INGEOMINAS, «"Zonificación Sismogeotécnica Indicativa de la Ciudad de Villavicencio",» Bogota D.C, 2003.
- [2] EM - DAT, «The International Disaster Database,» 2011. [En línea]. Available: <https://www.emdat.be/publications>. [Último acceso: 14 Septiembre 2019].
- [3] C. V. A. C. G. Chicangana, «"El posible escenario de un sismo de magnitud $\geq 6,5$ para la ciudad de Villavicencio (Colombia)",» *Revista Colombiana de Geografía*, vol. 22, nº 2, p. 15, 2013.
- [4] A. L. G. Pinzón, «" La historia no contada del primer código de construcción en Colombia- 30 años,» *Revista de Ingeniería. Universidad de los Andes*, nº 40, pp. 82-84, 2014.
- [5] Villavicencio, Alcaldía, «Avanza proyecto de microzonificación sísmica para reducir el riesgo de desastres en Villavicencio,» sala de prensa, 21 Febrero 2019. [En línea]. Available: <http://www.villavicencio.gov.co/NuestraAlcaldia/SalaDePrensa/Paginas/Avanza-proyecto-de-microzonificaci%C3%B3n-s%C3%ADsmica-para-reducir-el-riesgo-de-desastres-en-Villavicencio.aspx>. [Último acceso: 27 Febrero 2020].
- [6] resistentes, Comisión Asesora Permanente para el regimen de construcciones sismo, *Título A- Requisitos Generales de Diseño y Contrucción Sismo Resistente*, Bogotá: Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010.
- [7] C. A. p. p. e. r. d. c. s. resistentes, *Título H- Estudios Geotecnicos*, Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010.
- [8] R. E. Tiempo, «Villavicencio, División Territorial,» *El Tiempo*, 21 Diciembre 1999.
- [9] Alcaldía de Villavicencio, «Galeria de Mapas de Villavicencio,» Alcaldía municipal, 18 05 2020. [En línea]. Available: <http://www.villavicencio.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Galeria-de-Mapas.aspx#lg=1&slide=0>.
- [10] D. Kirshbaum, «Using citezen Science to grow a Global Lansdlide,» de *Lanslide Inventories and time series: Data collection, statistics, geospatial analysis, and relationship to others Geohazard*, Maryland, USA, 2015.
- [11] N. R. J.J. Clague, «Landslide hazard and risk,» de *Landslides, Types, Mechasminsand,Modelling*, 2013.
- [12] J. Suarez, «Deslizamiento y estabilidad de taludes. Instituto de investigaciones sobre Erosión y deslizamientos,» Colombia, 1998.
- [13] D. O. P. R. A. Rotaru, «Analysis of landslides movements,» *International Journal of Geology*, pp. 70-79, 2007.

- [14] M. M. S. C. M. S. Mergeli, «Causas características e impactos de los procesos de remoción en masa en áreas contrantes en la región Andina,» *Revista Colombiana de Geografía*, 2015. [En línea]. Available: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/50211>. [Último acceso: 2020].
- [15] United States Geological Survey, *Landslide Types and Process*, Virginia: Reston, 2004.
- [16] Ramón Zúñiga Dávila, «SISMOLOGÍA,» Madrid, 2015.
- [17] R. Z. D. Madrid, «SISMOLOGÍA,» México D.F., 2005.
- [18] M. H. Sarachaga, «Ondas sísmicas,» de *Conceptos básicos de Sismología para Ingenieros*, Madrid, 1997, p. 12.
- [19] Alcaldía de Manizales, «Gestión de riesgos Manizales Colombia,» 15 Febrero 2019. [En línea]. Available: http://www.gestiondelriesgomanizales.com/index.php?option=com_content&view=article&id=13%3Amicrosonificacion-sismica&catid=39%3Aidentificacion-del-riesgo&Itemid=196. [Último acceso: 19 Septiembre 2019].
- [20] UPES, «Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá,» 1997.
- [21] M. O. M. K. Snježana Mihalić Arbanas, «Seismic microzonation,» *Geofizika*, vol. 28, nº 1, pp. 7-9, 2011.
- [22] M. H. Saráchaga, «Acelerógrafos y acelerogramas,» de *Conceptos básicos de sismología para ingenieros*, Lima, 1997, p. 140.
- [23] E. P. Wigner, «Theory of traveling wave optical laser,» *Phys. Rev.*, vol. 134, pp. A635-A646, 2005.
- [24] A. C. Sole, *Instrumentación Industrial*, Mexico: Alfaomega, 2006.
- [25] L. L. a. H. Miao, «A specification based approach to testing polymorphic attributes,» de *Formal Methods and Software Engineering: Proceedings of the 6th International Conference on Formal Engineering Methods, ICFEM 2004*, Seattle, WA, USA,, November 8-12.
- [26] A. Rezi and M. Allam,, «Techniques in array processing by means of transformations,» de *Control and Dynamic Systems Vol. 69*, San Diego, Academic Press, 1995, pp. 133-180.
- [27] E. DAT, «The International Disaster Database,» 2011. [En línea]. Available: <https://www.emdat.be/publications>.
- [28] Miguel Herráiz Sarachaga, «Peligrosidad y riesgo sísmico,» de *Conceptos básicos de Sismología para Ingenieros*, 1997.

ANEXOS

Los siguientes mapas se encuentran de forma magnética y adjunta al presente documento

- 1-** Mapa de Cobertura Vegetal y Uso del suelo
- 2-** Mapa de Geología
- 3-** Mapa de Suelos
- 4-** Mapa de Pendientes
- 5-** Mapa de Isoyetas
- 6-** Mapa de Amenaza por remoción en masa
- 7-** Mapa de Amenaza por deslizamientos
- 8-** Mapa de Amenaza Sísmica

