

Análisis de la Amenaza por procesos de remoción en masa en el Barrio San José de la Ciudad de Villavicencio.



Por:

Angie Natalia Cruz Castañeda



**Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Civil
Villavicencio
Febrero
2019**

Proyecto de Investigación en Temas de Ingeniería Civil

Análisis de la Amenaza por procesos de remoción en masa en el Barrio San José de la ciudad de Villavicencio.

Angie Natalia Cruz Castañeda

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de **Ingeniero Civil**

Por:

Aprobado por:

German Ernesto Chicangana Montón

Magister en Ciencias – Geología

Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Civil
Villavicencio
Febrero
2019

AUTORIDADES ACADÉMICAS

P. FRAY JUAN UBALDO LÓPEZ SALAMANCA, O.P.

Rector General

P. FRAY MAURICIO ANTONIO CORTÉS GALLEGO, O.P.

Vicerrector Académico General

P. FRAY JOSÉ ARTURO RESTREPO RESTREPO, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. FRAY FERNANDO CAJICA GAMBOA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. JHON JAIRO GIL PELÁEZ, PhD

Decano Facultad de Ingeniería Civil

NOTA DE ACEPTACIÓN

Ing. JOHN JAIRO GIL PELÁEZ
Decano de Facultad de Ingeniería Civil

GERMÁN ERNESTO CHICANGANA
Director Trabajo de Grado

Villavicencio, Febrero del 2019

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al ingeniero German Ernesto Chicangana Montón por su guía, paciencia, comprensión y valiosos consejos que fueron fundamentales para desarrollar las actividades durante el desarrollo del proyecto y que serán útiles a lo largo de mi vida laboral y personal. A las diferentes entidades que a lo largo del proyecto suministraron la información requerida para poder llevar a cabo su desarrollo.

A mis familiares, amigos, compañeros y a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

RESUMEN

Los procesos de remoción en masa son un conjunto de fenómenos naturales activados por factores detonantes como lluvia, sismos, intervenciones antrópicas, entre otros que modifican la topografía del área en que se generan. Cuando estos ocurren en lugares habitados afectan de manera negativa las infraestructuras lo cual trae como consecuencia pérdidas humanas y económicas

Esta investigación realizada en el Barrio San José perteneciente a la zona urbana del municipio de Villavicencio, departamento del Meta tiene la finalidad de evaluar la amenaza por procesos de remoción en masa analizando la dinámica del terreno mediante la recopilación de cartografía básica, estudios preliminares, fotografías aéreas y demás información necesaria para realizar la modelación del terreno mediante el Sistema de Información Geográfica ArcGis. El Barrio San José, y sus barrios adyacentes que están conformadas por los barrios Colinas, Camilo Torres, Islas y Los Libertadores, presentan características potenciales de amenaza por fenómenos de remoción de masa, ya que se encuentran asentados sobre la ladera oriental del Cerro Cristo Rey, el cual presenta una topografía con alta pendiente susceptible de desprendimientos de la masa tanto de roca como de suelo. En este trabajo se zonifica la amenaza por procesos de remoción en masa para este sector de la ciudad de Villavicencio, buscando contribuir con la mitigación tanto de la vulnerabilidad como los riesgos derivados por esta amenaza en las comunidades que viven en estos barrios.

Palabras Clave: Remoción en masa, amenaza, zonificación, desastre, susceptibilidad, mitigación.

ABSTRACT

The mass removal processes are a set of natural processes activated by detonating factors such as rain, earthquakes, anthropic interventions, and some others that modify the topography of the area in which they are generated. When these occur in habited places, they negatively affect infrastructures, which results in human and economic losses.

This research is developed in the San José neighborhood belongs to the urban area of the municipality of Villavicencio, department of Meta, has the purpose of evaluating the threat by mass removal processes analyzing the dynamics of the land through the collection of basic cartography, preliminary studies, photographs and other information necessary to perform the modeling of the land through the ArcGis Geographic Information System. The San José neighborhood, and its adjacent neighborhoods that are made up of the neighborhoods Colinas, Camilo Torres, Islas and Los Libertadores, present potential threats due to mass removal phenomena, since they are located on the eastern slope of Cerro Cristo Rey , which presents a topography with high slope susceptible of landslides of both the rock and soil mass.

In this work the threat is zoned by mass removal processes for this sector of the city of Villavicencio, seeking to contribute to the mitigation of both the vulnerability and the risks derived from this threat in the communities that live in these neighborhoods.

Key Word- Mass removal processes, threat, zoning, disaster, susceptibility, mitigation

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	17
1.1. Motivación y formulación del problema	18
1.2. FINALIDAD	20
1.2.1. Objetivo general	20
1.2.2. Objetivo específicos	20
1.3. Aportes del trabajo	21
1.4. Justificación	21
Capítulo 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y CIENTÍFICA	22
2.1. MARCO TEÓRICO.	22
2.1.1. Geomorfología de un movimiento en masa.	23
2.1.2. Clasificación de los procesos de remoción	24
2.1.2.1. Caída	26
2.1.2.2. Volcamiento	26
2.1.2.3. Deslizamiento	27
2.1.2.4. Deslizamiento rotacional	27
2.1.2.5. Deslizamiento traslacional	27
2.1.2.6. Expansión lateral	28
2.1.2.7. Flujo	28
2.1.2.8. Reptación	30
2.1.3. Condiciones básicas que favorecen un proceso de remoción en masa	31
2.1.3.1. Litología	31
2.1.3.2. Topográficas	31

2.1.3.3.	Estratigráficas	31
2.1.3.4.	Orgánicas	32
2.1.4.	Causas activas o iniciadoras de los procesos de remoción en masa	32
2.1.4.1.	Remoción del soporte debido a	32
2.1.4.2.	Sobrecarga	32
2.1.4.3.	Reducción de la fricción	33
2.1.4.4.	Reducción de la cohesión	33
2.1.4.5.	Vibraciones de la tierra	33
2.1.4.6.	Producción o formación de escarpes sobrecargados	33
2.2.	MARCO LEGAL	34
2.2.1.	Ley 388 de 1997	34
2.2.2.	Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10	34
2.2.3.	Ley 1523 de 2012	35
2.2.4.	Decreto 1807 de 2014	35
2.2.5.	Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano	36
2.3.	ESTADO DEL ARTE	37
2.3.1.	Localización	39
2.3.2.	Antecedentes	41
Capítulo 3.	METODOLOGÍA	43
3.1.	Criterios de diseño	43
3.2.	Descripción de Etapas y tareas	44
3.2.1.	Recopilación de información	44
3.2.2.	Consulta de estudios de amenaza por remoción en masa presentados en el POT Villavicencio , 2015	44
3.2.3.	Recopilación de cartografía base y Modelos de elevación digital del terreno	45
3.2.4.	Registro de lluvias	45

3.2.5.	Elaboración de insumos básicos	46
3.2.6.	Análisis de resultados	46
3.2.7.	Zonificación detallada de la amenaza	46
Capítulo 4.	RESULTADOS	47
4.2.	Cobertura y uso del suelo	47
4.3.	Geología	50
4.3.1.	Depósito de llanura aluvial baja (Qal1)	52
4.3.2.	Depósitos coluviales (Qc)	53
4.3.3.	Depósitos de abanico fluviotorrencial (Qca2)	53
4.3.4.	Depósitos de abanico fluviotorrencial (qca1)	53
4.3.5.	Grupo Palmichal (KTp)	53
4.4.	Suelos	53
4.4.1.	Suelo de Orden Entisol. Asociación Typic Troprothents. Símbolo en el mapa MJDg	54
4.4.2.	Consociación Oxic Dystropets. Símbolo en el mapa PVcap	55
4.5.	Pendientes	56
4.6.	Aspectos Hidrometeorológicos	58
4.6.1.	Precipitación	59
4.6.2.	Precipitación máxima en 24 horas	59
4.6.3.	Temperatura máxima	60
4.6.4.	Distribución espacial de precipitación	60
4.6.5.	Mapa de Isoyetas	61
4.7.	Amenaza por remoción en masa	62
Capítulo 5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	65
Capítulo 6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
6.1.	CONCLUSIONES	71

6.2. RECOMENDACIONES	72
CAPITULO 6. BIBLIOGRAFÍA	74
ANEXOS	78

TABLA DE FIGURAS

Figura 2-1. Nomenclatura de taludes y laderas	22
Figura 2-2. Nomenclatura de un deslizamiento	23
Figura 2-3. Esquema de caída de rocas	26
Figura 2-4. Esquema de volcamiento	26
Figura 2-5. Esquema de un deslizamiento rotacional	27
Figura 2-6. Esquema de deslizamiento traslacional	28
Figura 2-7. Propagación o expansión lateral	28
Figura 2-8. Esquema Flujo de detritos según Varne(1998)	29
Figura 2-9. Esquema de flujo de tierras	29
Figura 2-10. Esquema de flujo rápido canalizado	30
Figura 2-11. Flujo rápido no canalizado	30
Figura 2-12. Esquema de reptación	31
Figura 2-13. Zonificación de áreas con condición de Amenaza y riesgo por remoción en masa donde se deben priorizar estudios detallados en la zona.	38
Figura 2-14. Localización del municipio de Villavicencio	39
Figura 2-15. Localización geográfica de la zona de estudio	40
Figura 2-16. Deslizamiento Cerro Cristo Rey año 2013	42
Figura 3-17. Modelo de elevación digital del Área de estudio	45
Figura 4-18. Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo según la metodología Corine Land Cover	49
Figura 4-19 Vegetación existente en la zona de estudio	50
Figura 4-20. Mapa de geología superior izquierda aspecto regional, inferior derecha geología del área de estudio. Fuente: Ingeominas (2002) [3]	51
Figura 4-21. Mapa de geología de la zona escala 1:1.100	52
Figura 4-22. Mapa de Suelos del área de estudio	54
Figura 4-23. Mapa de pendientes del área de estudio.....	57
Figura 4-24. Distribución espacial de precipitación de la ciudad de Villavicencio	61

Figura 4-25. Mapa de Isoyetas (precipitación anual) del área de estudio	61
Figura 4-26. Mapa de zonificación de la amenaza por procesos de remoción en masa en el barrio San José	63
Figura 5-27. Análisis multitemporal de la zona de estudio mediante fotografías aéreas	66
Figura 5-28. Análisis multitemporal mediante imagen satelital	67
Figura 5-29. Tipos de vivienda Barrio Colinas cimentadas sobre rocas naturales del terreno	68
Figura 5-30. Degradación del suelo como producto de paso peatonal, también por un tipo de proceso de remoción lento (reptación?).....	69
Figura 5-31. Aspecto de la remoción de masa en los asentamientos del barrio Colinas, en donde se observa bajo la casa el desprendimiento del suelo por efecto de los flujos de escombros, los cuales se incrementan en épocas lluviosas.	69
Figura 5-32. Muros de contención construidos para mitigar los efectos de la escorrentía superficial	70

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2-1. Clasificación de procesos de remoción	24
Tabla 2-2. Clasificación de los movimientos según la velocidad.....	25
Tabla 2-3. Reporte histórico de deslizamientos en la ciudad de Villavicencio	41
Tabla 3-4. Relación entre mapa y terreno para las escalas estándar.....	44
Tabla 4-5. Áreas clasificación de cobertura	48
Tabla 4-6. Clasificación de las pendientes.	56
Tabla 4-8. Pendientes del área de estudio.....	57
Tabla 4-7. Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos.....	62
Tabla 4-9. Criterios de clasificación por rango de pendiente.	64

LISTADO DE GRAFICAS

Grafica 4-1. Relación porcentual de cobertura y uso del suelo en la zona de estudio	48
Grafica 4-2 Hietograma valores medios mensuales de precipitación (mms).	59
Grafica 4-3 Hietograma valores de precipitación máxima en 24h (mms).	60
Grafica 4-4. Relación porcentual de los niveles de amenaza	64

LISTADO DE ANEXOS

Anexo A Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo	78
Anexo B Mapa de geología	78
Anexo C Mapa de tipos de suelo.....	78
Anexo D Mapa de pendientes	78
Anexo E Mapa de isoyetas	78
Anexo F Mapa de zonificación de la amenaza por procesos de remocion en masa	78

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

Los procesos de remoción en masa son uno de los fenómenos naturales más destructivos que afectan una población, debido a que pueden ocasionar miles de muertes y daños en infraestructura, este tipo de procesos suelen desencadenarse generalmente a raíz de eventos de precipitación, terremotos o actividad volcánica provocando emergencias de gran magnitud considerando que la urbanización de las ciudades no se ha realizado de manera planificada y la mayoría de asentamientos se ubican en zonas no aptas e inestables como producto del crecimiento demográfico del país, dichas zonas generalmente son las que presentan mayor índice de amenaza considerando las condiciones del terreno como lo son la topografía, geología, que en ocasiones no son óptimos así como los factores climatológicos que no son tenidos en cuenta por la población al momento de construir sus viviendas.

Villavicencio ciudad capital del Departamento del Meta, afronta en los últimos años a consecuencia de todos los conflictos que aquejan al país un aumento del flujo de población migratoria, lo que ha generado la formación de asentamientos de grupos poblacionales en zonas de alto riesgo como rondas en las márgenes de caños y ríos que circulan en la ciudad y en las laderas de las montañas afectadas por factores climáticos y topográficos

La localización de la población es una característica influyente debido a que esto aumenta la vulnerabilidad tanto de la infraestructura como el número de víctimas, es por esta razón que Colombia y Perú son los países con mayor número de víctimas fatales según la Base de Datos Internacional de Desastres EM - DAT [1] en la cual se registra que durante el periodo 1901-2011 se presentaron 41 eventos por procesos de remoción en masa que dejaron una totalidad de 3,171 víctimas fatales, en este registro se relaciona el número de víctimas con la magnitud de los eventos en cuanto a volumen y área afectada lo cual manifiesta la vulnerabilidad de las poblaciones al situarse en zonas propensas a los riesgos de remoción en masa como lo es la región Andina [2].

Se debe tener en cuenta que son escasos e inaplicables los estudios que se han realizado en las diferentes administraciones del municipio, esto no permite que las entidades del gobierno

conozcan el estado de las diferentes zonas que se encuentran en condición de amenaza para tomar medidas de seguridad.

Este proyecto tiene la finalidad de evaluar la probabilidad de ocurrencia de Procesos de Remoción en Masa en los barrios San José y sus barrios adyacentes Colinas, Camilo Torres, Islas y Los libertadores, de la ciudad de Villavicencio teniendo en cuenta los fenómenos naturales que los pueden ocasionar, así como los posibles factores antrópicos que también influyen en la modificación del terreno. Para lo cual se realizó un análisis de las propiedades del terreno que permiten estimar la susceptibilidad que tiene esta zona, estos factores se deben plasmar en mapas escala 1:1.100 que muestran la Geología, cobertura vegetal, pendientes analizados mediante un modelo del software ArcGis el cual permite obtener un mapa jerarquizado que muestra niveles de amenaza en los diferentes puntos del área en estudio.

1.1. Motivación y formulación del problema

La investigación de un deslizamiento consiste en obtener toda la información disponible acerca de las características topográficas, geológicas, geotécnicas y ambientales que permitan realizar un diagnóstico de los problemas que se puedan presentar.

En el año 2002 la alcaldía de Villavicencio junto con el INGEOMINAS actualmente Servicio Geológico Colombiano por medio del acuerdo administrativo N° 012 creó la zonificación integral de amenazas naturales de Villavicencio en el que se presentan las zonas vulnerables a amenazas tales como remoción en masa, inundaciones y amenaza sísmica. [3]

El municipio de Villavicencio presenta una alta susceptibilidad de desencadenar procesos de remoción en masa a causa de su ubicación geográfica en el piedemonte llanero colombiano, a lo que hay que adicionar el régimen pluviométrico en la zona y el marco tectónico, la ciudad es sumamente vulnerable a diferentes tipos de fenómeno por remoción en masa [4].

Teniendo en cuenta esto en el periodo 2002 - 2015 ninguna administración municipal empleo dicha información para advertir y prevenir el impacto de estas amenazas en el área urbana o

para impedir la ocupación en zonas de alto riesgo, por la eventual ocurrencia de algún tipo de evento de origen geológico.

Esto representa un riesgo para los asentamientos que se localizan en diferentes zonas vulnerables como es el caso de los asentamientos del Barrio San José y sus barrios adyacentes Colinas y Los Libertadores ubicados en la ladera oriental del Cerro Cristo Rey, estos se hallan sobre el sistema de micro fallas que cruzan la ciudad. Además, la geomorfología del sector por ser una zona montañosa que demuestra altas pendientes y las intensas lluvias que alteran la dinámica del terreno es un factor altamente condicionante.

La ciudad de Villavicencio a inicios del siglo XXI presentó un incremento en su población pasando de tener 320.000 habitantes en el año 1999 a tener más de 460.000 habitantes para el año 2013 de acuerdo a las Proyecciones realizadas por el DANE.

La inadecuada ocupación del suelo se produce principalmente por la población inmigrante que llega a la ciudad, también por la falta de diligencia del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) que regule la correcta ocupación del suelo [5]. Siendo el caso del barrio san José el cual es un asentamiento que surgió a finales de los años 70 y 80. La mayoría de las familias que se establecieron en este sector son procedentes de diferentes regiones del Meta y de la Orinoquia a causa de distintos factores económicos, políticos y sociales [6]. Agregando a esto algunos investigadores suelen relacionar este tipo de procesos con el impacto que genera la población manifestado que la mayoría de riesgos se convierten en desastres naturales cuando son la consecuencia de la deficiencia en la ordenación de territorios [7].

Según lo anterior hay que tener en cuenta que el Cerro Cristo Rey está delimitado por las fallas Bavaria y Villavicencio, como una cuña estructural y que esto lo hace más susceptible a la ocurrencia de procesos de remoción en masa según se han presentado los eventos con el paso de los años afectando a barrios como El Espejo, Villa Lorena, Playa Rica y el Rincón de María, que han dejado a más 13 muertos, 15 heridos, 3 desaparecidos, 33 viviendas destruidas y daños en la infraestructura de la línea de conducción [4].

Luego de demostrar algunos factores de amenaza y antecedentes relacionados con las remociones en masa del sector cerro Cristo Rey, se pretende por medio de este trabajo dar respuesta al interrogante

¿Cuál es el nivel de amenaza que se presenta en el barrio San José y sus barrios adyacentes Colinas, Camilo Torres, Islas y Los Libertadores generada por proceso de remoción en masa?

1.2. FINALIDAD

Realizar el análisis de las condiciones del suelo del barrio San José y sus Barrios adyacentes Colinas, Islas y Los Libertadores mediante la consulta e Indagación acerca del tema relacionado a procesos de remoción en masa, antecedentes, causas, factores que influyen a que este tipo de eventos se desarrollen y labores con las que se puedan orientar a la zonificación de este tipo de problemas. Lo cual de una forma más organizada y concisa se expresa en los siguientes objetivos:

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la amenaza por procesos de remoción en masa en el Barrio San José y sus barrios adyacentes Colinas, Camilo Torres, Islas y Los Libertadores de la ciudad de Villavicencio mediante el análisis de la susceptibilidad del terreno teniendo como referencia la guía metodológica del servicio geológico colombiano

1.2.2. Objetivos específicos

1. Recopilar, analizar e integrar información geológica y geotécnica de trabajos previos realizados en la zona de estudio, así como cartografía y fotos aéreas; para determinar las características topográficas del área de estudio.
2. Determinar los factores o variables locales más importantes relacionados con la ocurrencia de deslizamientos para poder determinar el tipo de proceso de remoción que se presentaría en el área.
3. Generar un mapa de zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa mediante la implementación de un software tipo GIS, teniendo en cuenta los porcentajes de influencia o clasificación dadas a las variables.

1.3. Aportes del trabajo

Con este proyecto se espera lograr la debida caracterización y zonificación de la zona identificando los tipos de procesos de remoción en masa que se podrían presentar y su comportamiento, correspondiente a los objetivos específicos planteados para el desarrollo del proyecto, de igual modo se propone aportar información acerca del uso de las metodologías existentes que utilizan los datos acerca de procesos intrínsecos y extrínsecos que intervienen para que estos instrumentos de evaluación y zonificación sean funcionales para la toma de medidas que permitan reducir la amenaza o en su defecto proteger la infraestructura y vida de las personas que se puedan ver afectadas

1.4. Justificación

Los estudios de remoción en masa se elaboran para aquellos barrios de la comuna 2 como lo son los barrios San José, Colinas, Camilo Torres, Islas y Los libertadores que han sido contemplados por el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Villavicencio en su último ajuste del año 2015, como de amenaza alta a fenómenos de remoción de masa. El trabajo se justifica por la necesidad de mitigar la amenaza por remoción en masa teniendo en cuenta los antecedentes respecto a las anteriores emergencias que se han presentado en el sector las cuales han provocaron pérdidas humanas, económicas y de infraestructura. Finalmente, para la elaboración de este trabajo, los estudios se efectuarán teniendo en cuenta las recomendaciones y procedimientos definidos en la normativa legal vigente como lo son el decreto 1807 del año 2014 y la ley 1523 del año 2012. Para ello se inicia con la descripción del problema presentado (Capítulo 1) de acuerdo con la fundamentación teórica y las implicaciones legales que justifican la investigación (Capítulo 2), y de esta manera se establece la metodología estableciendo los estudios básicos que se realizan para ejecutar el análisis de las problemáticas (Capítulo 3), según estos criterios se obtienen los parámetros detonantes según los respectivos resultados (capítulo 4). Todos estos factores se relacionan teniendo en cuentas las diferentes variables realizando así el análisis e interpretación de datos (capítulo 5) que permiten definir los grados o niveles de amenaza representado en el Mapa de zonificación que es el resultado final y de igual manera proponer posibles obras de mitigación.

Capítulo 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y CIENTÍFICA

2.1. MARCO TEÓRICO.

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente.

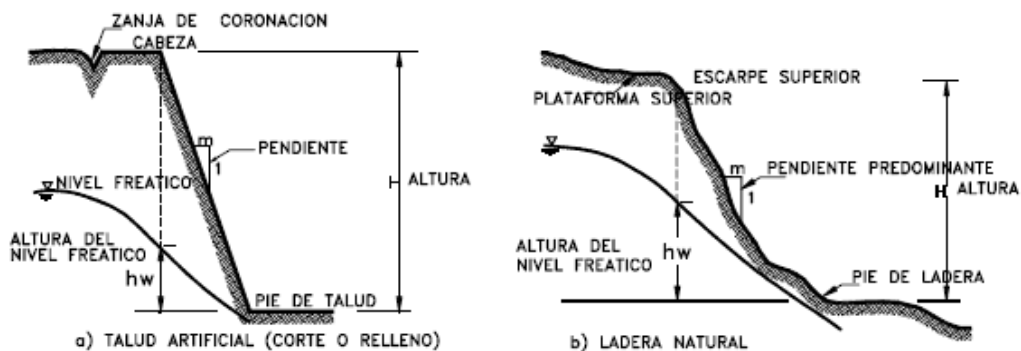


Figura 2-1. Nomenclatura de taludes y laderas

Fuente: J. Suarez 1 [8]

Los procesos de remoción en masa son definidos como el deslizamiento o movimiento de una masa de roca y escombros a lo largo de una ladera. Estos procesos son el producto de la geomorfología del sitio, así como la hidrología y condiciones geológicas que son parámetros que juegan un papel importante en los procesos de remoción, la modificación de estas condiciones por procesos de la Geodinámica Externa, la vegetación y actividades humanas activan movimientos lentos debido a que las propiedades mecánicas del material decrecen gradualmente de manera imperceptible [9].

2.1.1. Geomorfología de un movimiento en masa.

Los procesos de remoción en masa en taludes y laderas corresponden generalmente, a movimientos hacia abajo y hacia afuera de los materiales que conforman un talud de roca, suelo natural o relleno. Los procesos de remoción en masa ocurren generalmente a lo largo de superficies de falla por caída libre, erosión o flujos [8].

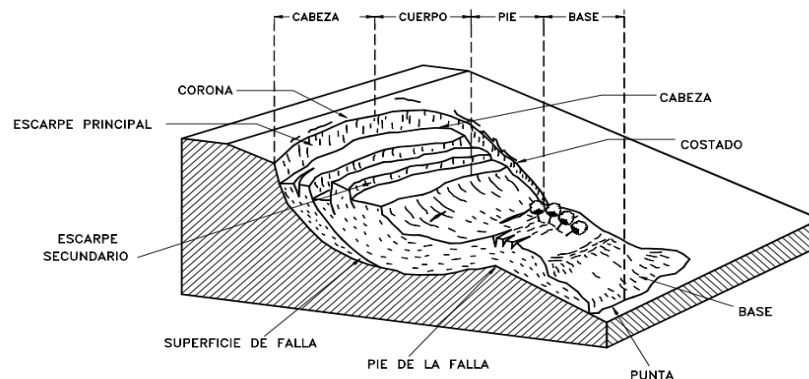


Figura 2-2. Nomenclatura de un deslizamiento

Fuente: J. Suarez (1998) [8]

En la figura 2- 1 se observa un proceso de remoción en masa típico con sus diversas partes de las cuales su nomenclatura es la siguiente según J. Suarez (1998) [8]

Escarpe principal: Corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia del área en movimiento, causada por el desplazamiento.

Escarpe secundario: Una superficie muy inclinada producida por desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se mueve.

Cabeza: La parte superior del material que se mueve entre el material removido y el eskarpe principal.

Cima: El punto más alto entre el material removido y el eskarpe principal

Corona: El material que se encuentra en el sitio, prácticamente inalterado y adyacente a la parte más alta del eskarpe principal.

Superficie de falla: Corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado.

Pie: La línea de interceptación entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.

Base: El área cubierta por el material removido debajo del pie de la superficie de falla

2.1.2. Clasificación de los procesos de remoción

Para la determinación del potencial de remoción de masa que consiste en el desprendimiento de materiales constituyentes de una ladera, se aplica la clasificación de Cruden y Varnes (1978). Estas clasificaciones, se fundamentan por un lado en el tipo de material que constituye la ladera susceptible de deslizarse, que puede ser roca, escombros, o sedimentos constituidos por solo arena o lodos, suelos orgánicos o mezclas de los anteriores, que pueden estar secos, saturados o altamente saturados por agua.

Tabla 2-1. Clasificación de procesos de remoción

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	Tierra
Flujos		Roca	Detritos	Tierra
Complejos: combinación de dos o más de los tipos principales de movimientos				

Fuente: J. Varnes (1978)[10]

Para la clasificación anterior según la definición de Terzaghi [11] se define como tierra o suelo a aquellos agregados naturales de partículas minerales que pueden ser disgregados por agentes mecánicos tales como agitación en agua y roca como aquellos agregados naturales de partículas minerales unidas firmemente por fuerzas cohesivas permanentes.

Según Varnes (1998) [10], Los materiales utilizados se clasifican de la siguiente manera

Roca: Es una masa dura o firme que estaba intacta y en su lugar antes de iniciar el proceso de remoción.

Suelo: Es un agregado de partículas sólidas, o generalmente minerales y rocas, que o bien fueron transportados o formados por el clima o la roca en lugares. Los gases o líquidos que llenan los poros del suelo forman parte del suelo

Tierra: describe el material en el cual 80% o más las partículas son más pequeñas que 2 mm, el límite superior de las partículas clasificadas como arena

Lodo: describe el material en el cual 80% o más de las partículas son más pequeños de 0,06 milímetros, el límite superior de partículas del tamaño del limo.

Detritos: contiene una proporción significativa de material grueso, 20% a 80% de las partículas son más grandes de 2 mm, y el resto son menos de 2 mm

De igual manera Varnes (1918), recomienda otra clasificación de los procesos de remoción en masa de acuerdo con la velocidad (Ver tabla 2-2). En general, los deslizamientos pueden ser extremadamente lentos con velocidades que son inferiores a 30 cm cada cinco años, hasta extremadamente rápidos con velocidades que superan los 3 metros por segundo.

Tabla 2-2. Clasificación de los movimientos según la velocidad

Designación	Velocidad
Extremadamente Rápido	> 3m/s
Muy Rápido	0.3 m/día a 0.3 m/min
Rápido	1.5 m/día a 0.3 m/min
Moderado	1.5 m/mes a 1.6 m/día
Lento	1.5 m/año a 1.6 m/mes
Muy Lento	0.06 m/año a 1.6 m/año
Extremadamente Lento	<0.06 m/año

Fuente: J. Varnes (1978)[10]

Teniendo en cuenta la tabla 2-1, a continuación se realiza una breve descripción de cada uno de los tipos de proceso según la clasificación de Varnes

2.1.2.1. Caída

Son movimientos abruptos de masas de materiales geológicos, tales como rocas y cantos rodados, que se convierten en desprendidos de empinadas laderas o acantilados. La separación ocurre a lo largo de las discontinuidades tales como fracturas, empalmes, y los planos del lecho, y el movimiento ocurre por la libre-caída, rebotando, y rodando. Las caídas son fuertemente influenciadas por la gravedad, la erosión mecánica y la presencia de agua intersticial [10].

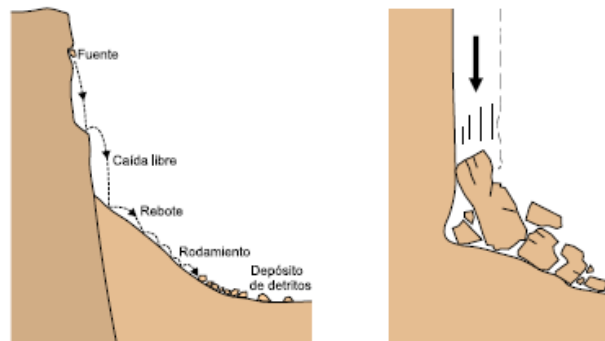


Figura 2-3. Esquema de caída de rocas
Fuente: Servicio Nacional de Geología y Minería [2]

2.1.2.2. Volcamiento

Es la rotación de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su base. Este movimiento ocurre por acción de la gravedad por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de agua en grietas [10]. Las fuerzas que lo producen son generadas por unidades adyacentes, el agua en las grietas o juntas, expansiones y los movimientos sísmicos.

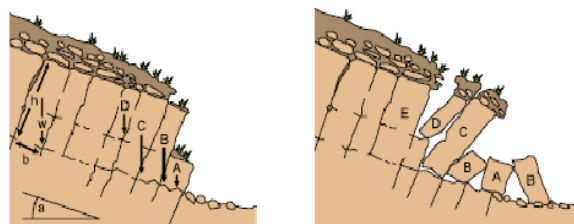


Figura 2-4. Esquema de volcamiento
Fuente: Servicio Nacional de Geología y Minería [2]

2.1.2.3. Deslizamiento

Es un movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una o más superficies de falla [10]. Los deslizamientos a su vez se pueden dividir en dos tipos denominados deslizamientos rotacionales y traslacionales, esta diferenciación es importante debido a que permite definir el sistema de análisis y las medidas de mitigación o estabilización que se deben emplear para su manejo.

2.1.2.4. Deslizamiento rotacional

Estos deslizamientos se mueven a lo largo de la superficie de falla la cual manifiesta una forma circular cóncava hacia arriba con poca deformación interna del material [10]. Dentro del deslizamiento comúnmente ocurren deslizamientos curvos o escarpes secundarios.

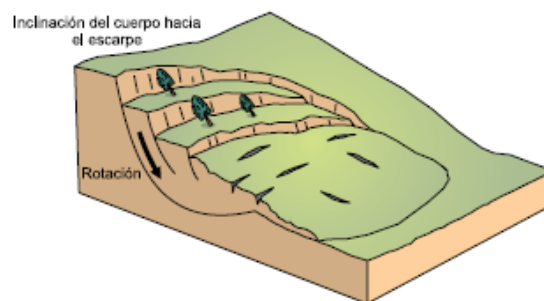


Figura 2-5. Esquema de un deslizamiento rotacional
Fuente: Servicio Nacional de Geología y Minería [2]

2.1.2.5. Deslizamiento traslacional

La masa se desplaza a lo largo de una superficie de ruptura plana o suavemente ondulada y superponiéndose a la superficie original del terreno [10]. El movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo y tiene muy poco movimiento de rotación o volteo lo que hace que la masa se desplace de manera progresiva indefinidamente a lo largo de la ladera.

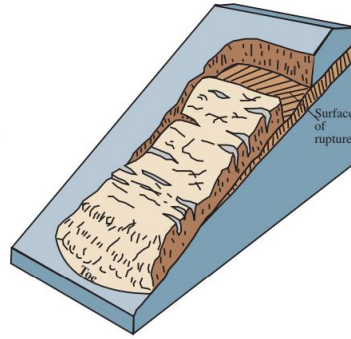


Figura 2-6. Esquema de deslizamiento traslacional
Fuente: United States Geological Survey [12]

2.1.2.6. *Expansión lateral*

Se define como una extensión de una masa cohesiva de suelo o roca combinada con un hundimiento general de dicho material sobre otro material más blando. La superficie de ruptura no es una superficie de corte intenso y el proceso es el producto de la licuefacción o flujo (extrusión) del material más blando [10].

Los movimientos de expansión lateral se presentan en dos tipos, los movimientos distribuidos que tienen una superficie definida de corte lo cual no permite conocer su dinámica y los movimientos que envuelven fracturas y una extensión de roca o suelo debido a la licuación haciendo que las capas superiores se hundan, se trasladen y se desintegran hasta convertirse en flujo.

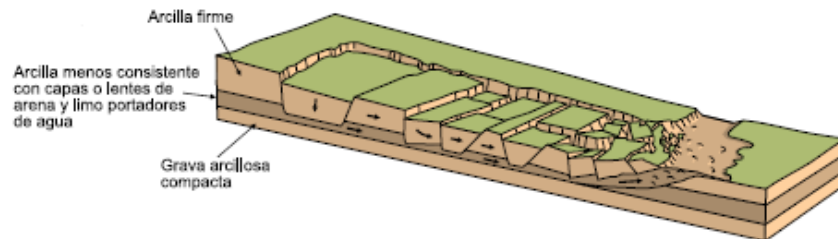


Figura 2-7. Propagación o expansión lateral
Fuente: Servicio Nacional de Geología y Minería [2]

2.1.2.7. *Flujo*

Es un movimiento ladera debajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido, puede ser rápido o lento, saturado o seco. Según

el tipo de material involucrado, contenido de humedad, velocidad de movimiento y otros factores, se pueden clasificar en:

Flujo de detritos: Es una forma de movimiento rápido en el cual una combinación de suelo, roca, materia orgánica, aire y agua movilizan como una mezcla que fluye cuesta abajo. Los flujos de escombros incluyen más del 50% de finos. Los flujos de escombros son comúnmente causados por intenso flujo de agua superficial debido a la fuerte precipitación que erosiona y moviliza suelo o rocas en pendientes pronunciadas.

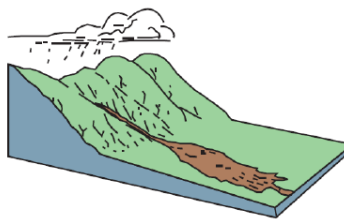


Figura 2-8. Esquema Flujo de detritos según Varne(1998)
Fuente: United States Geological Survey [12]

Flujo de tierra: Tienen una forma característica de “reloj de arena”, el material se licua y se acaba, formando un cuenco o depresión en la cabeza. El flujo en sí mismo es alargado y por lo general ocurre en materiales de grano fino o rocas con arcilla en pendientes moderadas y en condiciones saturadas.

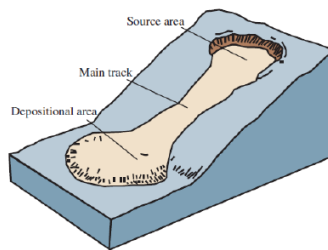


Figura 2-9. Esquema de flujo de tierras
Fuente: United States Geological Survey [12]

Flujo de lodo: es un flujo de tierra que consiste en un material lo suficientemente húmedo para fluir rápidamente y que contiene al menos un 50 por ciento de partículas del tamaño de arena, limo y arcilla.

Flujo rápido canalizado: cuyo movimiento es muy rápido, se desplaza de manera no canalizada o por cauces de montaña y se detiene cuando encuentra una zona de planicie [10].

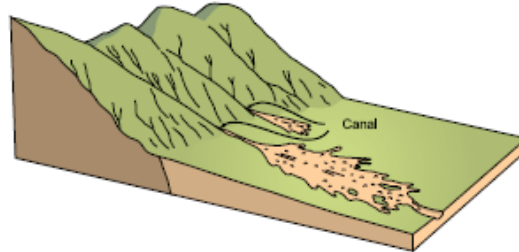


Figura 2-10. Esquema de flujo rápido canalizado
Fuente: Servicio Nacional de Geología y Minería [2]

Flujo no canalizado: El material desplazado se mueve preferencialmente a lo largo de una ladera sin un canal definido

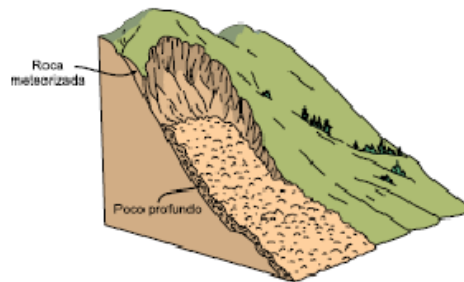


Figura 2-11. Flujo rápido no canalizado
Fuente: Servicio Nacional de Geología y Minería [2]

2.1.2.8. *Reptación*

Cuyo movimiento es extremadamente lento (unos pocos centímetros al año). Se manifiesta por la acumulación de sus efectos inclinación de postes y árboles, agrietamiento de viviendas y daños recurrentes en tuberías y obras de urbanismo [10].

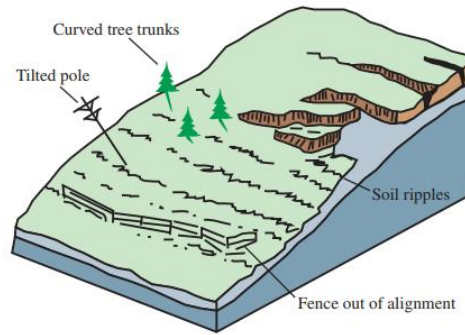


Figura 2-12. Esquema de reptación
Fuente: United States Geological Survey (2004) [12]

2.1.3. Condiciones básicas que favorecen un proceso de remoción en masa

Cuando se habla de factores condicionantes se hace referencia a aquellos factores naturales o antrópicos que condicionan o contribuyen a la inestabilidad de una ladera o talud, pero que no constituyen el evento detonante del movimiento. [2]

Según M. R. Vázquez [13] los factores condicionantes son:

2.1.3.1. Litología

Presencia de formaciones suaves tales como rocas deshidratadas o talcosas, lutitas, sedimentos pobremente cementados, materiales no consolidados incluyendo arenas, limos y gravas; y especialmente cualquier material arcilloso que pueda actuar como lubricante o fluir bajo presión.

2.1.3.2. Topográficas

Acantilados o pendientes fuertes causados por erosión, fracturamiento de bloques, fracturamiento y plegamiento combinado y acantilamiento por medios artificiales.

2.1.3.3. Estratigráficas

Presencia de una o más capas masivas descansando sobre capas suaves; presencia de una o más capas permeables; alternancia de capas competentes e incompetentes, especialmente si algunas son arcillosas.

2.1.3.4. Orgánicas

Perdida del suelo al deteriorarse su cubierta vegetal como resultado de clima caliente o seco, deforestación, cultivos o incendios.

2.1.4. Causas activas o iniciadoras de los procesos de remoción en masa

El hombre ha sido un permanente modificador de los elementos que conforman la superficie de la tierra y el efecto sobre los taludes y laderas ha sido un agente desestabilizador. M. R. Vázquez [13] separa las causas de los procesos de remoción en agente naturales y agentes humanos o antrópicos de la siguiente manera:

2.1.4.1. Remoción del soporte debido a

Agentes naturales: como socavación por corrientes de agua, flujo de capas subyacentes de arcilla plástica o aren, disminución del volumen de capa subyacente de material fino suelto como resultados de esfuerzos (licuación), reblandecimiento del terreno por absorción de agua a lo largo de un curso de agua o por elevación del nivel del agua y falla del terreno saturado cuando el nivel desciende y alteración química (intemperismo) de los materiales subyacentes.

Agentes Antrópicos: como aumento de la pendiente por socavación, excavación, explotación de canteras y cortes para obras civiles tales como cimentaciones, carreteras o canales.

2.1.4.2. Sobrecarga

Esta puede ser provocada por **agentes naturales** como la saturación por agua de lluvia, manantiales, arroyos, etc, o por **agentes antrópicos** por actividades como volteo de material de mina o excavaciones, así como la colocación de rellenos o terraplenes para carreteras o cimentaciones.

2.1.4.3. Reducción de la fricción

Agentes naturales: debido a la lubricación del plano de deslizamiento por precipitaciones intensas o inundaciones, remoción de la cubierta vegetal por incendios, deslizamientos previos o flujos de lodo. Grietas en la superficie del terreno causadas por desecación o temblores. Cambios en el drenaje con el desarrollo de nuevos canales o bloqueo de los antiguos. Sobresaturación de las capas de material fino suelto debido a la disminución de vacíos, filtraciones de aceite y alteración química que producen materiales como el plástico

Agentes Antrópicos: como la interrupción de drenaje de un área por colocación de relleno o material de rezaga o conformación del terreno elevando el nivel freático. Filtraciones de embalses, acueductos, remoción de la vegetación por incendio o deforestación.

2.1.4.4. Reducción de la cohesión

Esto factor es influyente debido a la desecación u disturbios que se generan en las capas de arcilla.

2.1.4.5. Vibraciones de la tierra

Agentes naturales como temblores resultantes de fracturamiento, actividad volcánica, deslizamientos o colapsos de cavernas. Así como vibraciones menores debidas a tránsito de animales, tormentas eléctricas, etc.

Agentes Antrópicos: como perforaciones, explosiones, cañonazos y pasos de vehículos.

2.1.4.6. Producción o formación de escarpes sobrecargados

Estos escarpes se generan por fracturamiento natural, plegamiento natural y colocación de relleno o material de rezaga en ángulos o inclinaciones mayores al ángulo usual de reposo.

2.2. MARCO LEGAL

Para realizar el proyecto se ha recurrido a desarrollar el marco legal con base en la normativa nacional vigente relacionada con el tema de estudio y los factores que influyen en el mismo.

2.2.1. Ley 388 de 1997

Conocida como la “Ley de desarrollo territorial”, uno de los objetivos de esta ley es *“El establecimiento de los mecanismos que permitan al municipio promover el ordenamiento de su territorio, el uso equitativo y racional del suelo...y la prevención de desastres en asentamientos de alto riesgo”* [14]. Define algunos conceptos para la estructuración de planes de ordenamiento territorial mediante un conjunto de acciones político administrativas que permitan orientar y administrar el desarrollo físico del territorio y la utilización del suelo (Artículo 9, ley 188 de 1997).

2.2.2. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10

La norma sismo resistente en el Capítulo H – Estudios Geotécnicos establece la obligatoriedad de los estudios geotécnicos definitivos para todos los tipos de edificaciones tanto urbanas como suburbanas de cualquier uso. De igual manera *“Establece los criterios para realizar estudios geotécnicos de edificaciones, basados en la investigación del subsuelo y las características arquitectónicas y estructurales con el fin de proveer las recomendaciones geotécnicas de diseño y construcción de estructuras de cimentación o reforzamiento existentes... para soportar los efectos por sismos y otras amenazas geotécnicas desfavorables”* [15]. El objetivo de este capítulo es exigir a los ingenieros el cumplimiento a la normativa establecida, realizando todos los estudios necesarios que permitan identificar cualquier tipo de amenaza geotécnica que puedan afectar la estabilidad de las construcciones e infraestructuras existentes.

2.2.3. Ley 1523 de 2012

“Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. Define los parámetros que determinan la zona de calamidad” [16]. Esta ley pone en manifiesto el carácter de obligatoriedad y exigencia a las entidades que se encargan de la gestión del riesgo de desastres, de generar planes de prevención y mitigación frente a cualquier tipo de amenaza de tipo natural. De igual modo solicita a los habitantes del terreno nacional actuar con precaución y protección acatando la directriz de las autoridades.

2.2.4. Decreto 1807 de 2014

Este decreto tiene como objetivo *“Establecer las condiciones y escalas de detalle para incorporar de manera gradual la gestión del riesgo en la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los nuevos planes de ordenamiento territorial”* [17]. Define cuales son los diferentes estudios que se deben elaborar en diferentes tipos de suelo ya sean urbanos, de expansión urbana o rural con respecto a los fenómenos de inundación, avenida torrencial o movimiento en masa.

Los resultados de estos estudios se deben incorporar en los Documentos Técnicos de soporte de la unidad de gestión del riesgo ubicando las zonas que presentan alto riesgo, con su respectiva caracterización, esto con el fin de establecer medidas de prevención y mitigación que aseguren el desarrollo seguro del territorio. *“Este soporte debe contener la justificación, descripción, el desarrollo y la aplicación de las determinaciones de planificación de los componentes y contenidos del plan de ordenamiento territorial”*. (Artículo 22, decreto 1807 de 2014)

Este decreto es fundamental para la elaboración de esta investigación debido a que establece los parámetros que se deben tener en cuenta al momento de realizar el análisis de procesos de remoción en masa tal como se estima en el Capítulo 1. Artículo 8 en el que expone las

especificaciones de los estudios básicos que se deben realizar ya que la zona en la cual se hará el análisis hace parte del perímetro urbano de la Ciudad de Villavicencio.

De igual manera de este decreto se tomará en cuenta el Artículo 11. “*Delimitación y zonificación de las áreas en condición de amenaza*”, con la información obtenida a partir de del análisis de las áreas zonificadas como de amenaza alta y media se elabora el mapa de zonificación de amenaza estableciendo los criterios para la caracterización de aquellas unidades que requieran la elaboración de estudios detallados.

2.2.5. Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano

Esta guía Describe los lineamientos metodológicos para realizar los estudios por movimiento en masa a escala detallada o local, los cuales pueden ser aplicables en la mayoría de las cabeceras municipales y centros poblados pequeños y medianos de Colombia.

Presenta con detalle el procedimiento que se debe seguir para realizar la evaluación del riesgo por movimientos en masa de modo que su ejecución sea viable a partir de la información y las herramientas disponibles y que con ellos se consigan condiciones básicas de calidad, rigurosidad y uniformidad en los estudios. [18]

2.3. ESTADO DEL ARTE

En el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Villavicencio (2015), en el capítulo 6.4. Zonificación y producto del Componente de Gestión del Riesgo (2d DTS), se presenta una zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa para el municipio de Villavicencio, teniendo en cuenta los estudios disponibles de INGEOMINAS actualmente Servicio Geológico Colombiano [3]. Dicha zonificación presenta tres niveles de amenaza para el municipio: amenaza baja, amenaza media y amenaza alta.

Amenaza baja: Corresponde a zonas relativamente estables donde no se observan procesos de inestabilidad recientes. Laderas generalmente con pendientes bajas, o con áreas de pendientes empinadas pero que se conservan gran parte de la cobertura vegetal nativa.

Amenaza Media: Corresponden a zonas de estabilidad marginal susceptibles a procesos denudacionales por el mal manejo del terreno y de las aguas superficiales. Son zonas de pendientes media a alta, donde son comunes procesos como deslizamientos, reptación, flujos de tierras y/o detritos y carcavamiento profundo.

Amenaza alta: Corresponden a zonas inestables en sectores de alta pendientes, afectadas por procesos denudativos como carcavamiento profundo y extenso en caños y quebradas, deslizamientos y flujos de tierra y/o detritos, en donde es común encontrar cicatrices de antiguos deslizamientos.

Más del 70% del área total del municipio se encuentra en zonas con un relieve plano a levemente inclinado lo cual se ve reflejado en la calificación de amenaza baja. A pesar de que los factores detonantes persisten, las variables intrínsecas del terreno, como la geología y la geomorfología atenúan el grado de amenaza.

Dentro del desarrollo del POT (2015), se presenta un análisis de amenaza y riesgo por movimientos en masa tanto para el sector rural como urbano del municipio de Villavicencio. Definiendo entonces que, dentro de áreas de amenaza por remoción en masa, se encuentran aquellas zonas calificadas con amenaza media y alta, pero que estuvieran sin ocupación

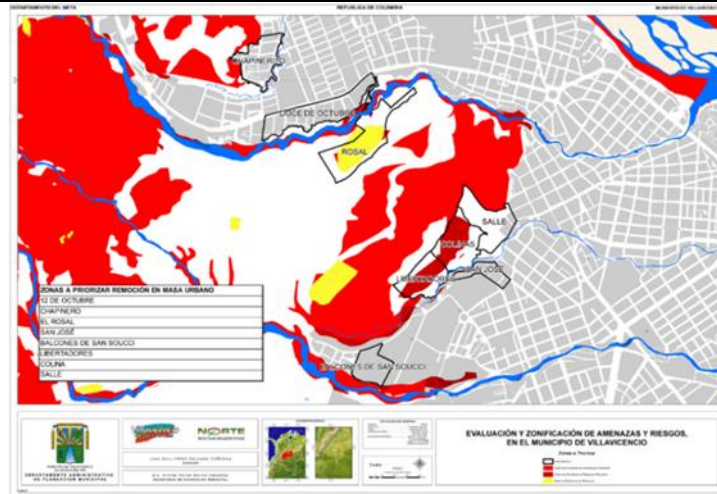


Figura 2-13. Zonificación de áreas con condición de Amenaza y riesgo por remoción en masa donde se deben priorizar estudios detallados en la zona.

Fuente: Alcaldía de Villavicencio [19]

Según la Figura 2-16 se contempla que los Barrios San José, Colinas, Islas y los libertadores se encuentran dentro del rango de Amenaza Alta, por lo cual en el capítulo 8 “Determinación de las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas”, del componente Gestión del Riesgo del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Villavicencio, se recomienda que se deben realizar estudios detallados de amenaza y riesgos por procesos de remoción en masa donde se delimiten y zonifiquen las categorías de amenaza con la determinación de aquellas zonas de amenaza alta que se consideren como mitigables y no mitigables y la definición de las medidas de intervención para el desarrollo de las zonas de riesgo mitigable.

2.3.1. Localización

El municipio de Villavicencio está ubicado en la región de la Orinoquia colombiana, es la capital del departamento del Meta y se visualiza en el contexto nacional como una ciudad funcional y joven con más de 490.000 habitantes. Esta localizado a los 04°09'12'' de latitud norte y 73°38'06'' de longitud oeste a una altura de 467 msnm en el piedemonte de la Cordillera Oriental, al nororiente del departamento del Meta. Sus límites político-administrativos son los municipios de Restrepo y El Calvario al norte; Puerto López al este; Acacias y San Carlos de Guaroa al sur; Acacias y el Departamento de Cundinamarca al Oeste [19]

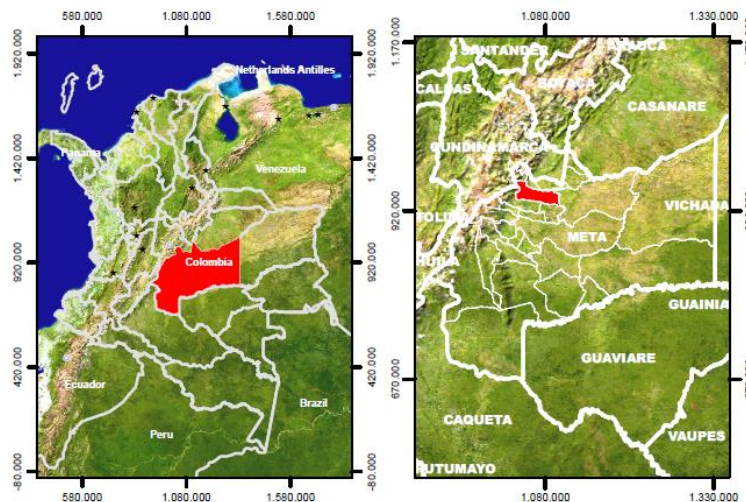


Figura 2-14. Localización del municipio de Villavicencio

Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi [20]

En la comuna 2 de la ciudad de Villavicencio se encuentran los Barrios San José (el cual surgió entre los años 70 y 80), Colinas, Islas, Camilo Torres y los libertadores los cuales poseen un área total de 208364 m². Estos se encuentran localizados hacia el noroeste del casco urbano de la ciudad sobre la ladera oriental del Cerro Cristo Rey y colindante con el centro de la ciudad, estos barrios, los cuales comprende el área de estudio están habitados en

gran parte por asentamientos poblacionales ilegales los cuales se establecen a lo largo de dicha ladera.

La principal red de drenaje que existe en el área de estudio es el Caño Gramalote el cual confluye al río Guataquí



Figura 2-15. Localización geográfica de la zona de estudio
Fuente: Google Earth© (2018)

2.3.2. Antecedentes

Se han presentado diferentes eventos de remoción que han afectado la zona, causando pérdidas humanas y económicas tal como se muestra en la siguiente tabla

Tabla 2-3. Reporte histórico de deslizamientos en la ciudad de Villavicencio

FECHA	LUGAR	GENERALIDADES	REFERENCIA
06/12/1990	Cerro Cristo Rey (El rincón de María)	6 muertos, 10 heridos, 3 viviendas arrasadas	Periódico El tiempo [20]
11/21/1996	cerro cristo rey (san José)	1 muerto, 5 heridos, 3 viviendas arrasadas	Periódico El tiempo [21]
05/28/1997	Cerro Cristo Rey (El Espejo)	3 muertos, 5 heridos, 4 viviendas arrasadas	Periódico El tiempo [22]
06/10/1997	Cristo Rey (El Espejo)	15 viviendas arrasadas; 4 muertos	Periódico el Tiempo [23]
06/2011	Cristo Rey (El espejo)	1 vivienda afectada	Periódico El Tiempo
005/2016	Cerro El Redentor	Deslizamiento en la parte alta del cerro	Alcaldía de Villavicencio

Fuente: Adaptada y modificada de A.Ramos & A.Alfaro (2000) [4]

Se puede observar que el sector ha presentado un número representativo de deslizamientos de las cuales tres han sido en el mismo sector.

Esta es una zona que en diversas ocasiones ha tenido que ser vigilada por las autoridades ambientales ya que las lluvias constantes activan las alarmas debido a la inestabilidad y las características geomorfológicas del sector. Para el año 2011 un desprendimiento de tierra generado por las fuertes lluvias esto a punto de generar una tragedia a pocos metros de un centro educativo. La advertencia emitida por la Secretaría de Medio Ambiente es clara: en el sector está latente el riesgo de posibles deslizamientos de tierra, acelerados por reptación tipo de corrimiento del suelo, provocado por la inestabilidad del suelo [23]

Diferentes medios periodísticos han informado los diferentes procesos de remoción que se presentaron en la zona, así como las opiniones de expertos que acuden a la zona para realizar sus respectivos análisis

“El problema que existente en el sector se atribuye a procesos de reptación del suelo, desprendimiento y erosión debido a la deforestación, a las invasiones y tala del cerro” [24]

Según lo expuesto por el periódico El Tiempo en el derrumbe ocurrido en el mes de Noviembre del año 1990 la población sentía el temor de presentarse derrumbes que afectarían las viviendas localizadas en el piedemonte del Cerro Cristo Rey, sobre lo que antes estaba constituido por árboles centenarios que fueron talados para hacer una vía que llega a la Concha Acústica construida en la parte superior del cerro. [21]

El gobierno de la ciudad a través de secretaria del medio ambiente advierte sobre posibles deslizamientos que serían ocasionados por la intensidad de las lluvias registradas en los últimos días en Villavicencio. Nelson Vivas Mora, titular de la dependencia, manifestó que se presenta un fenómeno de remoción en masa, así- mismo, confirmó que en la parte superior del cerro se registra la reptación del suelo acelerado por la precipitación de lluvias sobre la capital metense. [25]



Figura 2-16. Deslizamiento Cerro Cristo Rey año 2013

Fuente: Medio Informativo “Villavo al revés” [25]

Capítulo 3. METODOLOGÍA

Cuando se evalúan los factores que pueden llevar a la generación de un proceso de remoción en masa se puede hacer una división entre los factores que están asociados a las composición y estructura interna de la masa rocosa y llamarlos intrínsecos (litología, estructura, meteorización, pendiente, entre otras). Así mismo están los factores que provienen de fuentes externas ajenas y muchas veces lejanas a la masa rocosa llamados extrínsecos (lluvia, sismos, acción antrópica). Estos factores son los que en conjunto condicionan la ocurrencia de procesos de remoción en masa, los factores intrínsecos se relacionan con la susceptibilidad que presenta el terreno a generarlos y los factores extrínsecos, en especial las lluvias y sismos son los que finalmente desencadenan el fenómeno por lo que son reconocidos como eventos detonantes.

Esta metodología trabajada se basa en las evaluaciones de las amenazas de tipo cualitativo, interrelacionado la vulnerabilidad por remoción en masa de los elementos expuestos.

Para establecer el procedimiento metodológico se realizó un análisis previo a la “*Guía metodológica para estudios de amenaza y vulnerabilidad y riesgo por movimientos de remoción en masa*” del Servicio Geológico Colombiano de la cual se adaptaron algunos de los métodos establecidos que permitieron definir las diferentes etapas de la elaboración de la investigación.

3.1. Criterios de diseño

Como primera medida se establece la importancia del nivel de detalle para generar el mapa de amenaza, así como los mapas necesarios en los estudios básicos (cartografía base), para esto se consulta las escalas estándar utilizadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) tomando como referencia la tabla 3-3 en la cual se establece una relación entre la escala recomendada para la elaboración de los mapas según el área del terreno en que se realiza el estudio.

Tabla 3-4. Relación entre mapa y terreno para las escalas estándar

ID	Escala del mapa	Tamaño del mapa en cm	Distancia terrestre equivalente a un cm en el mapa	Área geográfica cubierta por cada plancha para varias unidades de medición		
				M2	Hectáreas	Km2
1	1:500	75cmx50cm	5	93750	9.375	0.09375
2	1:1000	75cmx50cm	10	375000	38	0.375
3	1:2000	75cmx50cm	20	1500000	150	1.5
4	1:5000	75cmx50cm	50	9375000	937.5	9.375
5	1:10000	75cmx50cm	100	37500000	3750	37.5
6	1:25000	60cmx40cm	250	15000000	15000	150
7	1:50000	60cmx40cm	500	600000000	60000	600
8	1:100000	60cmx40cm	1000	2000000000	200000	2000
9	1:200000	52.5cmx40cm	2000	8400000000	840000	8400
10	1:500000	66cmx48cm	5000	79200000000	7920000	79200

Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi [26]

Teniendo en cuenta que el área de estudio cuenta con un área de 208.362 m² se resuelve elaborar los mapas de estudios básicos (cartografía base) a una escala 1:1100 la cual permite obtener un mejor nivel de detalle.

3.2. Descripción de Etapas y tareas

3.2.1. Recopilación de información

En esta etapa se realiza la averiguación y selección de información concerniente a estudios previos realizados dentro de la zona de estudio. Dicha información corresponde a guías o metodologías existentes para la elaboración de estudios de remoción en masa, registros de eventos de remoción a través del tiempo, trabajos de investigación, publicaciones científicas y la bibliografía base para la respectiva ejecución del proyecto.

3.2.2. Consulta de estudios de amenaza por remoción en masa presentados en el POT Villavicencio, 2015

Se consulta los estudios de amenaza por remoción en masa presentados en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Villavicencio, 2015 en el componente de gestión del

riesgo con el objetivo de identificar las metodologías aplicadas, áreas trabajadas, proyectos de zonificación y referencias bibliográficas. Esta información sirve como insumo para la elaboración de estudios detallados.

3.2.3. Recopilación de cartografía base y Modelos de elevación digital del terreno

Este tipo de información se obtendrá en formato digital mediante el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Los resultados cartográficos que se producen deben estar referidos al sistema de coordenadas Magna Sirgas, siguiendo los respectivos lineamientos, de igual manera se muestran en un sistema de proyección cartesiana (N, E).

Para la elaboración de la cartografía base Se utiliza un Modelo de Elevación Digital (DEM) 12.5 m x 12.5 m del satélite Alos Palsar

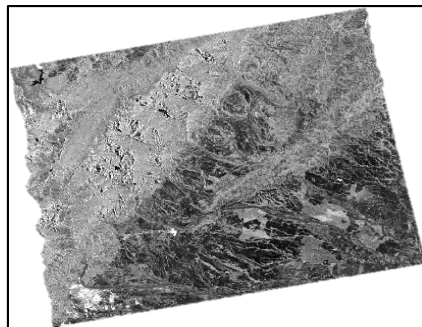


Figura 3-17. Modelo de elevación digital del Área de estudio

Fuente: Satélite Alos Palsar

3.2.4. Registro de lluvias

Se solicitó al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) los datos meteorológicos, los cuales fueron obtenidos de manera digital y se organizaron por medio de procesos aritméticos y compilados para determinar el comportamiento pluviométrico que se presenta en la zona.

3.2.5. Elaboración de insumos básicos

Se realizan mapas mediante los cuales se determina la cobertura y uso del suelo, geología, tipología de suelos y pendientes del área de estudio con el fin de exponerlas diferentes características del suelo mediante las cuales se puede analizar el comportamiento que este presenta y que puede conllevar al desencadenamiento de una remoción en masa.

3.2.6. Análisis de resultados

En esta etapa se relaciona la información recolectada de la primera etapa junto con la información registrada durante el desarrollo del proyecto, este análisis se hace conjunto con el fin de determinar el posible comportamiento de la zona al momento de generarse algún evento de remoción en masa, para eso se tienen en cuenta los factores detonantes y las características geológicas de la zona que permitan estimar el grado de amenaza.

3.2.7. Zonificación detallada de la amenaza

Mediante la combinación de los mapas temáticos realizados, en esta etapa se realizará el mapa a escala 1:1.100 en el cual se mostrarán los niveles de amenaza que se presentan en la zona de estudio con el fin de determinar las zonas que se verán más afectadas frente a un posible proceso de remoción en masa.

Para la elaboración del mapa de amenazas se unirán los mapas de uso de suelo, vegetación y el mapa de zonificación de la amenaza.

Capítulo 4. RESULTADOS

4.2. Cobertura y uso del suelo

La cobertura de la tierra, es la cobertura biofísica que se observa sobre la superficie de la tierra, no solamente describe la vegetación y los elementos antrópicos existentes sobre la tierra, sino que también describen otras superficies terrestres como afloramientos rocosos y cuerpos de Agua. La cobertura vegetal influye en la estabilidad mediante efectos hidrológicos y mecánicos. Los efectos hidrológicos tienen en cuenta la capacidad de infiltración y de la humedad. Los efectos mecánicos relacionan la resistencia que proporcionan las raíces al suelo con la protección frente a la erosión o la sobrecarga que el material vegetal puede generar sobre las laderas. También se valoran efectos antrópicos que sean relevantes como cambios en el uso del suelo, cortes de ladera y explanaciones.

Para la realización del mapa de cobertura vegetal y uso del suelo se tuvo como referente la metodología “*Metodología Corine Land Cover*”, adaptada para Colombia y se complementó con la “*leyenda Nacional de Coberturas de Tierra*” ambas propuestas por el IDEAM. [27]

Esta metodología tiene como propósito la realización del inventario homogéneo de la cobertura de la superficie de la tierra a partir de la interpretación visual de imágenes de satélite asistida por computador y la generación de una base de datos geográfica [27]

Este recurso permitió definir las diferentes unidades de cobertura y uso actual con un nivel de detalle 1:100.000

Se determinaron cinco clases temáticas, por medio de clasificación supervisada mediante el algoritmo de máxima verosimilitud tal como se muestra en el Mapa de cobertura y uso del suelo (figura 4-16).



Grafica 4-1. Relación porcentual de cobertura y uso del suelo en la zona de estudio
Fuente: Autor

Tabla 4-5. Áreas clasificación de cobertura

Cobertura	Área m2
Vegetación baja (Bosque fragmentado)	1.104
Zona Boscosa (Bosque denso alto de tierra firme)	92.067
Zona Urbanizada	93.590
Red vial	18.827
Institución educativa	2.773

Fuente: Autor

Se identificó un 1% correspondiente a vegetación baja o bosque fragmentado, corresponde los territorios cubiertos por bosques naturales densos o abiertos cuya continuidad horizontal está afectada por la inclusión de otros tipos de cobertura como pastos, cultivos o vegetación en transición

Se identificó un 44% de Zona boscosa o Bosque denso alto de tierra firme, Corresponde a las áreas con vegetación de tipo arbóreo caracterizada por un estrato más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa más de 70% del área total de la unidad, con una altura superior de a 15 metros y que se encuentran localizados en zonas que no presentan procesos

de inundación periódicos Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas en su totalidad lo cual no ha alterado su estructura original y características funcionales.

Se identificó un 45% que corresponde a la zona urbanizada de uso residencial, dentro de esta se encuentra tejido urbano continuo donde hay presencia de vegetación la cual no es tan representativa en las zonas reconocidas como barrios y discontinuo correspondiente al Asentamiento subnormal Colinas donde las edificaciones están construidas de manera dispersa en la zona colindante al área de bosque abierto el cual está siendo modificado y deforestado para urbanización.

Finalmente se encuentra la red vial correspondiente a 9% de la totalidad de cobertura y un área institucional que corresponde al Colegio Francisco Arango con un área de m².

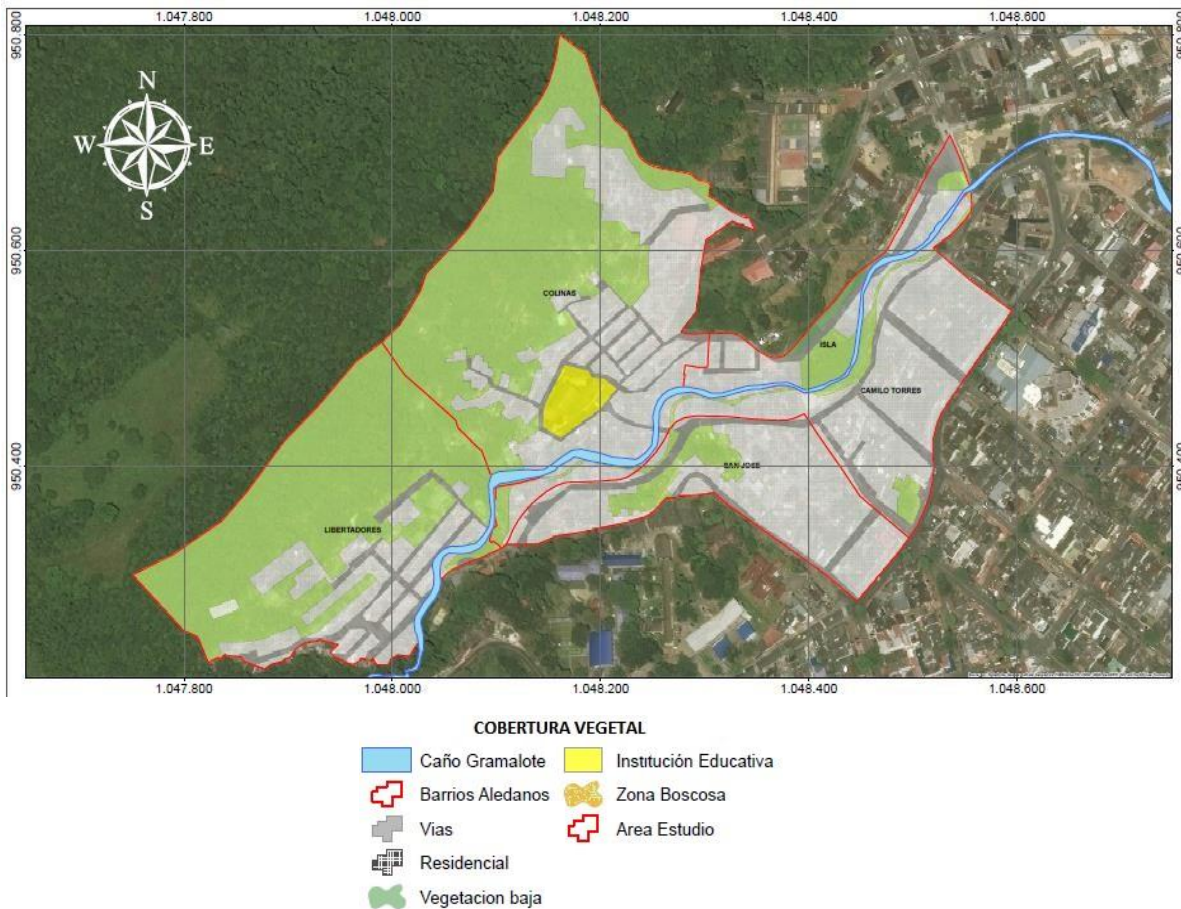


Figura 4-18. Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo según la metodología Corine Land Cover. Fuente: Autor

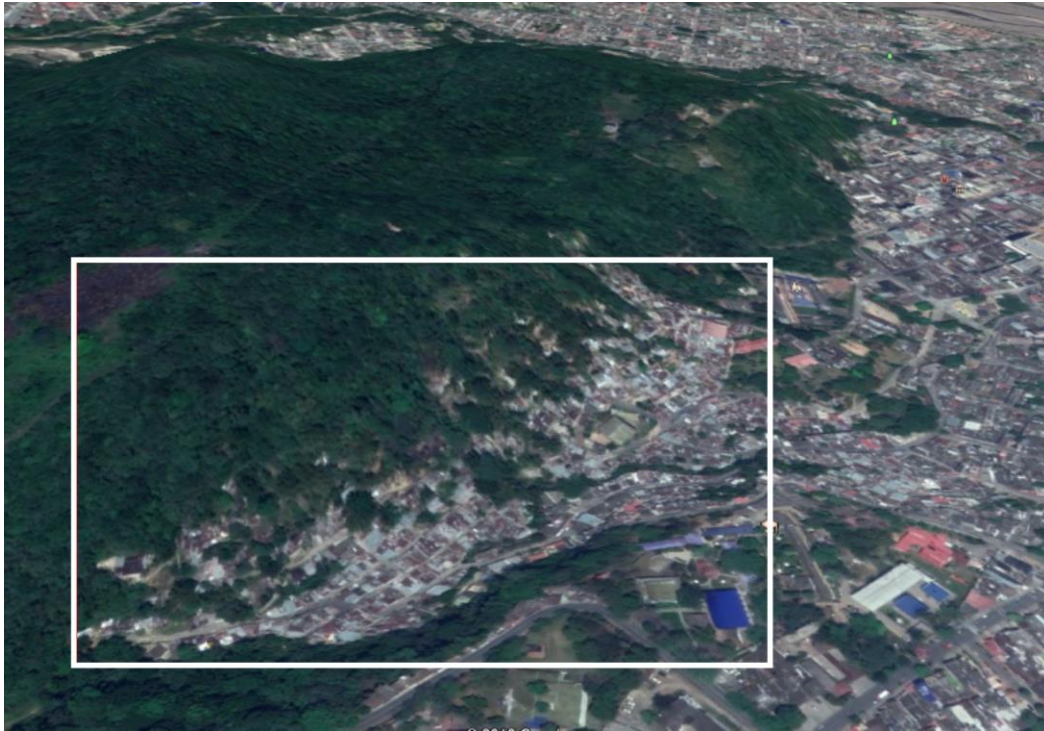


Figura 4-19 Vegetación existente en la zona de estudio

Fuente: Google Earth©

En color natural el color verde oscuro predomina sobre la cobertura correspondiente a vegetación boscosa, verde claro con tonalidades cafés sobre pastos y cultivos, de igual manera presentan se observa textura media a gruesa para elementos arbóreos y más finas para otras coberturas asociadas (vegetación herbácea) que comprenden menos del 30% de la unidad.

4.3. Geología

El mapa de geología se elabora a partir de las unidades cronoestratigrafías las cuales permiten diferenciar tres aspectos fundamentales para obtener los modelos que permitan realizar los análisis de estabilidad: 1) diferenciar los materiales aflorantes entre suelos y rocas, 2) definir

los espesores de suelo o las características estructurales del macizo rocoso, y 3) caracterizar los materiales de acuerdo con sus propiedades mecánicas.

Para la elaboración del mapa de Geología de la zona de estudio se toma como base la plancha 266 “*Mapa geológico del casco urbano de la ciudad de Villavicencio*” del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC (Anteriormente INGEOMINAS), la cual se exportó al software ArcGis de tal manera que se delimitó únicamente la geología de la zona.

Este mapa contiene información acerca de la distribución del suelo y las rocas, así como sus propiedades físicas y mecánicas, las características del relieve y los procesos geodinámicas que son considerados los componentes básicos del ambiente geológico.

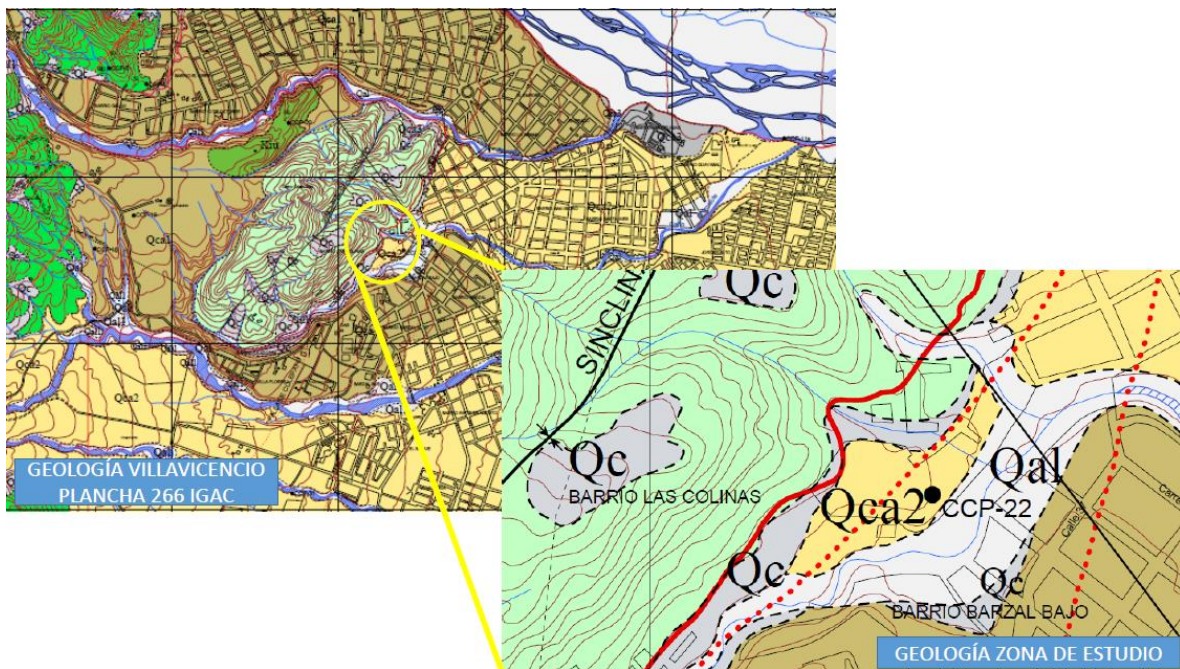


Figura 4-20. Mapa de geología superior izquierda aspecto regional, inferior derecha geología del área de estudio. Fuente: INGEOMINAS (2002) [3]

Teniendo delimitadas las unidades geológicas que se encuentran en la zona se cambia la escala de colores utilizados en la plancha 266 según la edad geológica de las unidades tomando como referencia el “*Código de color RGB según la comisión para el mapa*

geológico del mundo”, la asignación de este código de color depende de los conocimientos cronológicos de cada unidad.

Finalmente se obtiene el mapa geológico de la zona de estudio con las respectivas convenciones tomadas de la “zonificación integral por amenazas naturales para la ciudad de Villavicencio, Meta” (INGEOMINAS, 2002)

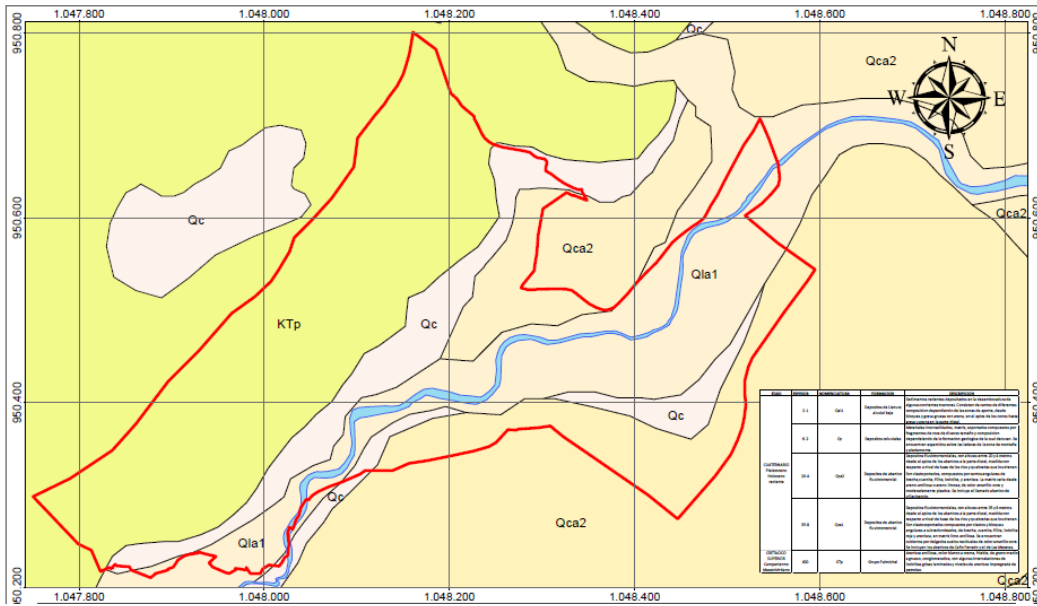


Figura 4-21. Mapa de geología de la zona escala 1:1.100

Fuente: Autor

A continuación se describen la unidades lito estratigráficas aflorantes en el área

4.3.1. Depósito de llanura aluvial baja (Qal1)

Son sedimentos recientes que han sido transportados por crecientes normales o interanuales de los ríos y caños del área, formando terrazas bajas con alturas no mayores de 2 metros, en los que se incluyen depósitos de canal y puntos de barras.

Estos depósitos se componen en general de clastos subredondeados a redondeados de cuarcitas, areniscas, areniscas conglomeráticas y lodolitas rojas de diversos diámetros, pero no mayores a 1 metro, la matriz es areno-limosa.

4.3.2. Depósitos coluviales (Qc)

Son depósitos matriz soportados, compuestos por fragmentos de roca de diverso tamaño y composición, dependiendo de la forma geológica de la cual estos derivan.

4.3.3. Depósitos de abanico fluviotorrencial (Qca2)

Estos depósitos están cubriendo los materiales aluviales antiguas que conforman los llanos orientales y sobre este se encuentra construida la mayor parte de la ciudad de Villavicencio.

Corresponde a un depósito fluviotorrencial clastosoportado, compuesto por cantos angulares de brechas, cuarcitas, filitas, lodolitas y areniscas. Predominan, los tamaños hasta de 30 cm, pero esporádicamente se presentan bloques de hasta 1m. La matriz varía desde areno-arcillosa a areno-limosa, de color amarillo-ocre y moderadamente plástica.

4.3.4. Depósitos de abanico fluviotorrencial (qca1)

Estos depósitos son de origen fluviotorrencial clastosoportados, compuestos por cantos y bloques angulares a sub redondeados, de brechas, cuarcitas, filitas, lodolitas rojas y areniscas, siendo estas últimas más escasas. La matriz es limo-arcillosa. En su parte superior se desarrollan suelos delgados de hasta 1,5 metros, arcillosos, de color naranja, oxidado e impermeables, con cantos altamente meteorizados.

4.3.5. Grupo Palmichal (KTp)

Esta unidad Consiste de areniscas arcillosas, de color blanco a crema, friables de grano medio a grueso, con algunas intercalaciones de lodolitas grises laminadas y niveles de areniscas impregnadas de petróleo.

4.4. Suelos

El origen y desarrollo de los suelos del departamento del Meta tiene una relación muy estrecha con el proceso evolutivo de la cordillera Oriental de la cual ha heredado los materiales y sedimentos que son el punto de partida de su formación. [28]

Para identificar el tipo de suelo presente en el área se toma como referencia el “*Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Meta*” realizado por el IGAC, para generar este mapa se ubica el polígono de la zona de estudio en el mapa de las

unidades cartográficas del suelo con escala 1:100.000 (Mapa de la subdirección de agrología del IGAC) determinando la tipología de los suelos según las diferentes categorías taxonómicas teniendo en cuenta la simbología correspondiente encontrada en el área.

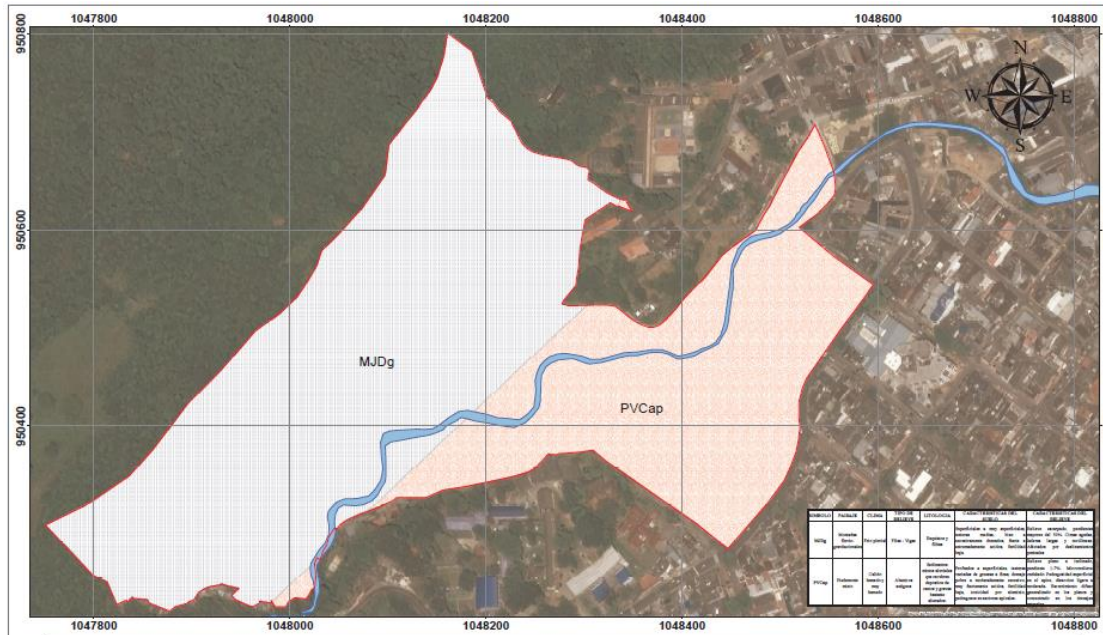


Figura 4-22. Mapa de Suelos del área de estudio

Fuente: Autor

Según la taxonomía de los suelos encontrados a continuación se describen las unidades representativas con sus respectivas características

4.4.1. Suelo de Orden Entisol. Asociación Typic Troporthents. Símbolo en el mapa MJDg

En esta unidad los suelos se han originado a partir de materiales metamórficos (esquistos y filitas), son superficiales moderadamente bien drenados, de texturas con volúmenes mayores del 60% de gravilla y fragmentos de roca poco meteorizada. Ocupan la posición de filavigas, caracterizadas por cimas agudas y laderas largas y rectilíneas. El relieve es escarpado, con pendientes que superan el 75%, constituido por cimas agudas y laderas largas, afectado por procesos de remoción en masa. La unidad corresponde al nivel mas alto dentro de las

terrazas de piedemonte, estas terrazas tienen origen tectónico, reflejando un movimiento diferencial de varias partes del terreno al lado y lado de los planos de falla. Estos niveles antes y después de su formación han recibido diferentes aportes aluviales de los ríos procedentes de la cordillera razón por la cual presentan una acumulación de gravas, cascajo y piedra localizada a diferente profundidad.

Morfológicamente presentan perfiles A-C-R. El horizonte A, es delgado, de color negro y estructura migajosa, fina, débil; descansa sobre un horizonte C, caracterizado por altos volúmenes de roca (mayor del 70%), este a su vez yace directamente sobre el estrato rocoso (R).

Químicamente son fuertemente ácidos, bajas las saturaciones de bases, fósforo, potasio y materia orgánica, media la capacidad de intercambio catiónico y alta saturación de aluminio. El relieve escarpado, las pendientes fuertes, la alta pluviosidad y la baja fertilidad constituyen serios limitantes para el uso y manejo de los suelos. Actualmente están cubiertos con bosque natural.

4.4.2. Consociación Oxic Dystropets. Símbolo en el mapa PVcap

Esta unidad se localiza en altitudes entre 400 y 900 m, bajo clima ambiental húmedo, con temperaturas mayores a 24°C y precipitaciones superiores a los 2000 mm/año. Son áreas localizadas en abanicos antiguos, el relieve es ligeramente plano a ligeramente inclinado y las pendientes son inferiores al 7%.

Los suelos se han desarrollado a partir de sedimentos mixtos aluviales que recubren depósitos de cantos y gravas bastante alterados. Son profundos a superficiales limitados por pedregosidad subsuperficial, el drenaje natural es moderadamente excesivo y las texturas varían de finas a gruesas.

La vegetación natural ha sido casi talada en su totalidad para dar paso al establecimiento de potreros. Estos suelos tienen una reacción extremadamente ácida, niveles altos de saturación de aluminio intercambiable, bajos contenidos de carbono orgánico y bases (Ca, Mg;K), valores altos de fósforo y bajos de saturación de bases y capacidad de intercambio catiónico, su fertilidad es baja.

4.5. Pendientes

La pendiente es uno de los factores principales que controlan los procesos gravitacionales. Los derrumbes se originan a partir de pendientes fuertes, de 35 a 40 grados; los corrimientos de tierra se producen en pendientes de 18 a 25 grados; los deslizamientos de bloques se favorecen con inclinaciones de 6 a 18 grados; las corrientes de solifluxión se realizan en terrenos con pendiente de 3 a 8 grados; la acumulación se lleva a cabo en las zonas de menor pendiente, un caso ideal es aquel donde esta no supera los 0.5 grados. [13]

De acuerdo a la legislación colombiana de avalúos Resolución No. 2965 de septiembre 12 de 1995, el terreno la clasificación por pendientes es la resultante de dividir la diferencia de nivel entre dos puntos (alto y bajo) por la distancia horizontal entre ellos, expresado en porcentaje.

Tabla 4-6. Clasificación de las pendientes.

Clasificación	Pendiente (Angulo 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°)

Fuente: J. Suárez (1998)

El análisis de este factor se efectuó a partir de la información obtenida del satélite Alos Palsar que permitió generar el mapa de pendientes, realizado con base en tecnologías radiométricas. El criterio para establecer los rangos de pendiente fue tomado de Suárez (1998). Estos rangos se transformaron de formato ráster a formato vectorial, para efectos de su manejo.

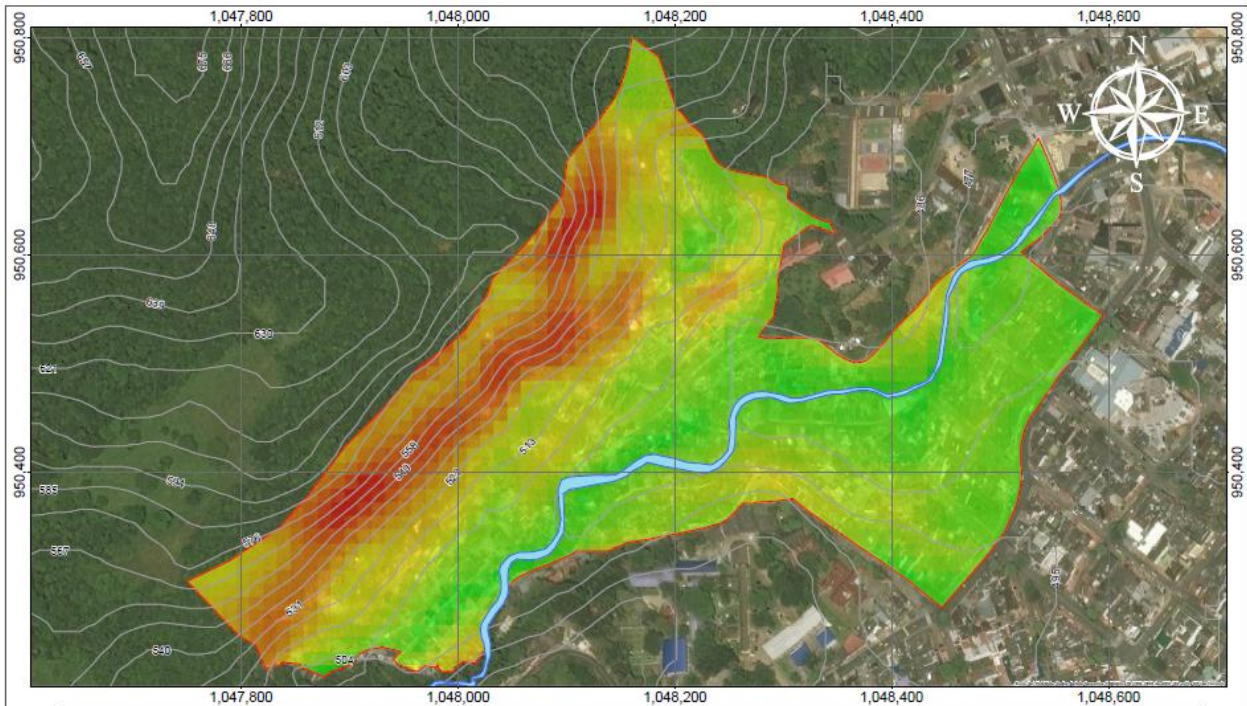


Figura 4-23. Mapa de pendientes del área de estudio

Fuente: Autor

Tabla 4-7. Pendientes del área de estudio

símbolo	Pendiente	Área m ²	Porcentaje inclinación	Angulo de inclinación
	Ligeramente ondulada	59.785	0 - 15%	0° - 8.5°
	Fuertemente ondulada o inclinada	51.585	15 - 30%	8.5 - 16.7
	Moderadamente escarpado	43.901	30 - 50%	16.7 - 26.6
	Moderadamente empinado	51.572	50 - 100%	26.6 - 45°
	Fuertemente escarpada o empinada	214	<100%	<45°

Fuente: Autor, adaptada de J. Suárez (1998)

Con este mapa se definieron las pendientes de la zona donde se demuestra una predominancia de terreno ondulado y escarpado.

Los deslizamientos ocurridos con anterioridad se han generado en zonas con menor pendiente pero que presentan una composición de suelo más fracturada e inestable, generalmente en sectores aledaños a la ronda del caño gramalote que geológicamente están conformados por terrazas aluviales constituidas por fragmentos de roca sedimentaria con un alto porcentaje de

matriz areno-arcillosa proporcionando una susceptibilidad alta a procesos de remoción según A. Ramos [4]

4.6. Aspectos Hidrometeorológicos

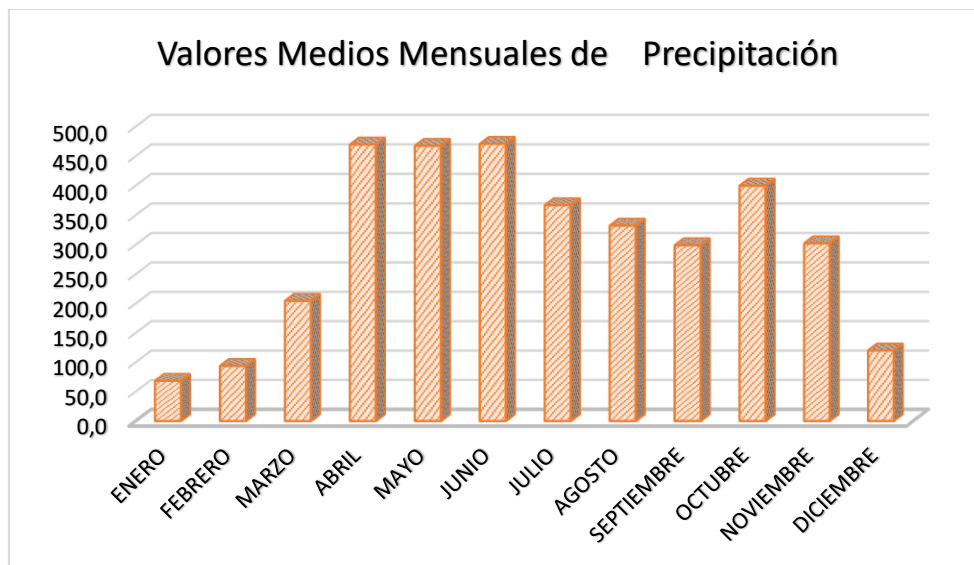
La climatología de la zona de estudio fue realizada mediante la obtención de datos de cuatro estaciones climatológicas las cuales son la esmeralda, Vanguardia, Unillanos y Apiay ubicadas en la zona urbana del municipio de Villavicencio, información que fue obtenida mediante el sitio web del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM. Una vez obtenida la información se analizaron los datos mensualmente (información la cual fue tomada desde el año 1983 hasta el 2016) pero debido a que se encontraron datos inexistentes se hizo necesario complementar dichas variables climatológicas con el fin de eliminar errores los cuales limitarían el desarrollo del proyecto.

Este proceso se logró llevar a cabo mediante la utilización del software Excel en el cual se utilizó el método de regresión de valores para la generación de gráficos de dispersión, Cuando se obtenía la gráfica de dispersión se empezaban a generar dos ecuaciones las cuales determinaban el comportamiento de los datos y de esta manera se hacía mucho más fácil escoger los valores que remplazarían los espacios en blanco en las tablas de la estación a analizar.

Para el análisis de la variabilidad temporal de la precipitación en el área de estudio se tomaron los datos de todas las estaciones con el fin de establecer la relación del comportamiento y la concentración de precipitación que se presenta de la zona de estudio frente al comportamiento anual de la ciudad en su totalidad.

4.6.1. Precipitación

De acuerdo a los valores medio mensuales de precipitación registrados (Grafica 4-2) se determina que la distribución de la precipitación a lo largo del año presenta tendencia o comportamiento bimodal ya que muestra dos picos de precipitación alta con valores de 400 mm y 500 mm durante los meses abril, mayo y junio, octubre (350 a 400mm).



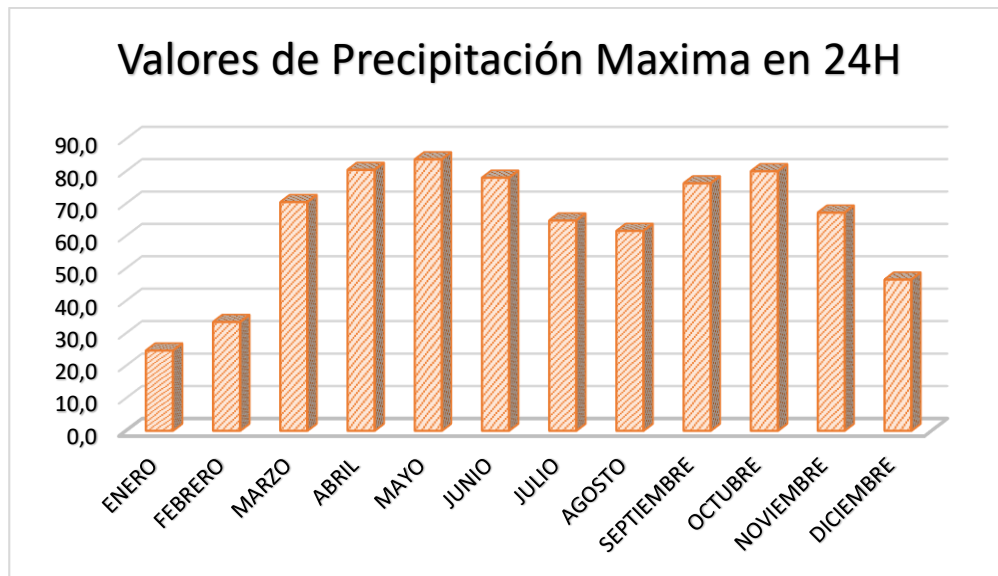
Grafica 4-2 Hietograma valores medios mensuales de precipitación (mms).
Fuente: Autor

4.6.2. Precipitación máxima en 24 horas

Los valores de la precipitación máxima en 24 horas nos muestran un comportamiento bimodal dado a que podemos observar que se presentan dos épocas de alta precipitación las cuales varían en estas dos épocas entre los 60 mms y 80 mms durante los meses de Marzo, Abril, Mayo, Junio, Septiembre, Octubre y Noviembre.

Se observó que en el mes de Enero se presentó el valor mínimo de la precipitación máxima en 24 horas con un valor registrado de 20 mm en el año 2010 y el valor máximo registrado fue de 223,4 mm el cual se presentó en el mes de Diciembre del 2006, estos datos fueron

analizados en un periodo de tiempo de 33 años el cual inicio en el año 1983 y finalizo en el 2016.



Grafica 4-3 Hietograma valores de precipitación máxima en 24h (mms).

Fuente Autor

4.6.3. Temperatura máxima

La temperatura máxima media cual varía entre los 32°C y 35°C, estos datos fueron analizados en un periodo de tiempo de 31 años el cual inicio en el año 1985 y finalizo en el 2016.

Se observó que en el mes de Julio se presentó el valor mínimo de la temperatura máxima con un valor registrado de 30°C en el año 1988 y el valor máximo registrado fue de 37. 8° C el cual se presentó en el mes de Febrero del 2010.

4.6.4. Distribución espacial de precipitación

La ciudad de Villavicencio cuenta con registros pluviométricos del IDEAM con promedios entre 200 y 250 días con lluvia

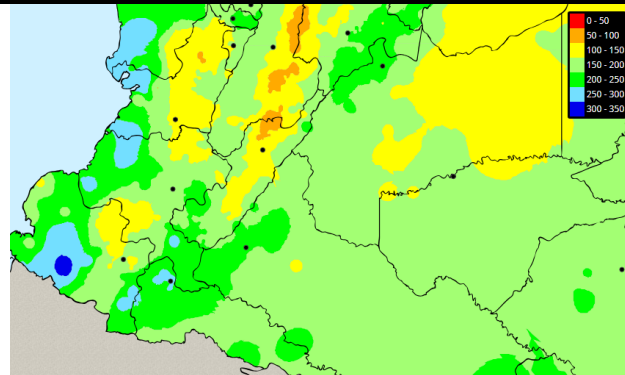


Figura 4-24. Distribución espacial de precipitación de la ciudad de Villavicencio

Fuente. IDEAM

4.6.5. Mapa de Isoyetas

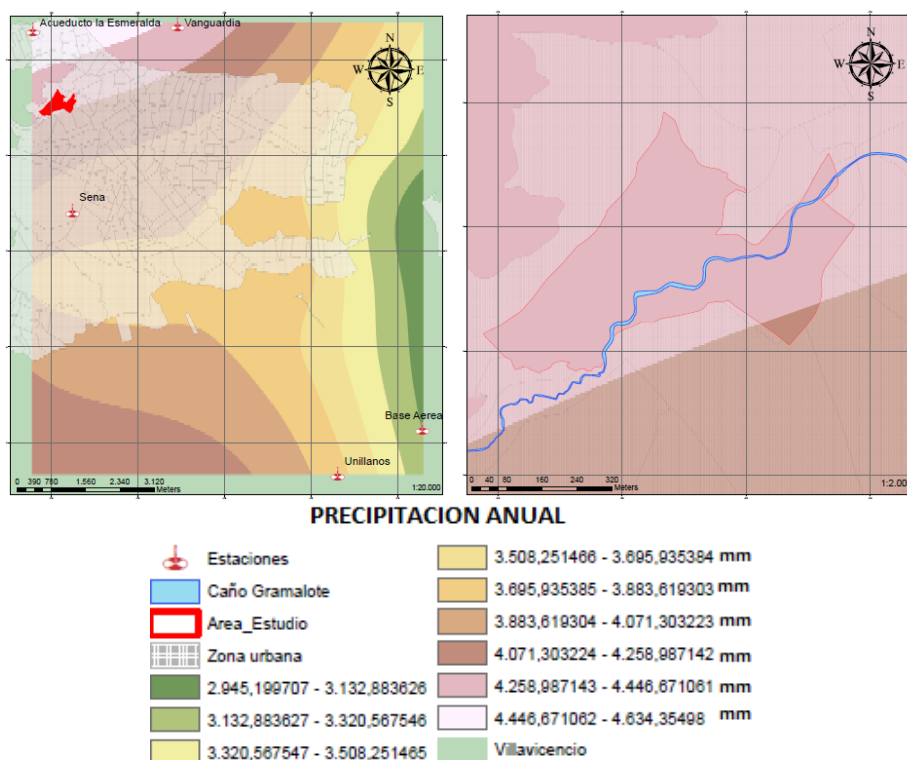


Figura 4-25. Mapa de Isoyetas (precipitación anual) del área de estudio. Fuente: Autor

El mapa presenta nueve áreas geográficas de precipitación de los cuales dos se encuentran en la zona de estudio representado valores de precipitación anual en la primera región de 4.258 mm – 4.446mm y en la segunda región 4.071 mm – 4.258 mm

4.7. Amenaza por remoción en masa

Amenaza natural es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructor, en un área específica dentro de un periodo determinado de tiempo. [10] La amenaza a los deslizamientos generalmente se muestra en planos que indican la distribución espacial de diversos tipos de amenaza.

La susceptibilidad del terreno depende principalmente del tipo de material que lo compone y también del ángulo de inclinación de la ladera (pendiente 5%), que es la que condiciona la dirección en la que la fuerza de gravedad va a actuar sobre el material, y favorecerá su desplazamiento, además el tipo de suelo, geología y la cobertura vegetal influyen en la estabilidad del terreno.

Tabla 4-8. Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos.

Grado de susceptibilidad	Criterio
Muy alta	Laderas con zonas de falla, masas de suelo altamente meteorizadas y saturadas, y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe alta posibilidad de que ocurran
Alta	Laderas que tienen zonas de falla, meteorización alta a moderada y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe la posibilidad de que ocurran.
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 que tienen algunas fisuras, materiales parcialmente erosionados no saturados con discontinuidades favorables, donde no existen indicios que permitan predecir deslizamientos.
Muy baja	Laderas no meteorizadas con discontinuidades favorables que no presentan ningún síntoma de que puedan ocurrir deslizamientos.

Fuente: J. Suarez (1998)

El siguiente mapa muestra las zonas de amenaza el cual se elaboró mediante la combinación de las capas de los mapas temáticos realizados como cartografías básicas con su respectiva clasificación o importancia generando así cinco niveles Amenaza muy baja, Amenaza baja, Amenaza media, Amenaza alta y Amenaza muy alta.

La susceptibilidad se determinó tomando la información de geología y tipo del suelo realizando una clasificación según los tipos de formaciones y también se tomó el porcentaje de pendiente.

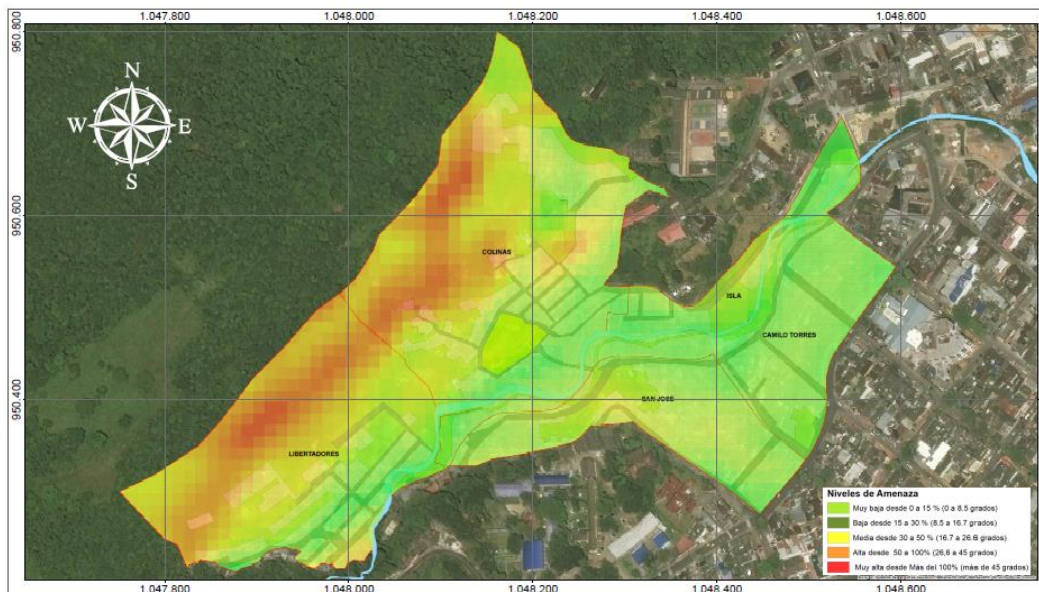


Figura 4-26. Mapa de zonificación de la amenaza por procesos de remoción en masa en el barrio San José. Fuente: Autor

Se observa que la zona que presenta un nivel mayor de amenaza es aquella donde están ubicados los barrios Los Libertadores y Colinas los cuales se encuentran localizados sobre la parte más elevada de la ladera (522 m a 594 m).



Grafica 4-4. Relación porcentual de los niveles de amenaza
Fuente: Autor

Un 25% comprende una amenaza por remoción alta esto debido a las altas pendientes de la zona, sin embargo un 29% indica que habría una probabilidad muy baja esto se relaciona debido a que las zonas que abarca este porcentaje tiene una inclinación menor pero está comprendida por un tipo de suelo más inestable, en esta zona es donde se ha presentado la mayoría de eventos anteriores debido a la inestabilidad del terreno siendo más propensa a que se presenten eventos futuros. El 21% correspondiente a media abarca los dos asentamientos que aún no están reconocidos como barrios es decir que son asentamientos ilegales en los cuales las viviendas no son construidas bajo la normativa legal vigente en el país y no cuentan con sistemas constructivos ni materiales convencionales lo que hace que la población sea más susceptible frente a un evento de remoción ya que estas viviendas no tendrían la resistencia suficiente y presentarían colapsos.

Tabla 4-9. Criterios de clasificación por rango de pendiente.

Nivel de amenaza	Pendiente (Ángulo de inclinación)
Muy baja	0 a 15 % (0 a 8.5 grados)
Baja	15 a 30 % (8.5 a 16.7 grados)
Media	30 a 50 % (16.7 a 26.6 grados)
Alta	50 a 100% (26,6 a 45 grados)
Muy alta	Más del 100% (más de 45 grados)

Fuente: J. Suarez (1998)

Según el tipo de material se podía presentar fenómenos de remoción del tipo flujo de detritos o flujo de escombros dicho movimiento hace que cambie la topografía y que se deforme la masa debido a las altas pendientes

Capítulo 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La zona donde se encuentra el cerro Cristo Rey presenta un relieve escarpado y accidentado debido a las notorias irregularidades de la cordillera oriental, estos factores y sumando el alto régimen pluviométrico en la zona y la acción antrópica que de manera desconsiderada hace que el barrio San José se vea en un alto grado de amenaza

El cambio de la cobertura del suelo originado por factor antrópico ocurre con rapidez y en grandes magnitudes, generando la pérdida de la cobertura boscosa y disminución de la calidad del suelo, afectando de manera directa a las comunidades que se asientan en esta zona.

El análisis multitemporal se realiza con el objetivo de detectar cambios entre fechas de referencia permitiendo deducir la evolución o deterioro del suelo ya sea por intervención humana o acción natural.

Se realizó un análisis multitemporal con el uso de imágenes tomadas de Google Earth© y fotografías aéreas previamente clasificadas por separado. Esto consiguió definir las transiciones o zonas de cambio de la cobertura de la zona analizada desde el año 1939.

Los pastos o peladeros observados en la foto del año 1939 representan zonas de uso ganadero, tal como se observa en varios puntos del Cerro Cristo Rey en donde se asentaban cuadrillas de ganado provenientes de San Martín siguiendo el curso del Caño Gramalote. Esta es la razón por la que las laderas del cerro y zonas como las de San José han sido relacionadas desde hace tiempo por efecto antrópico, lo que sumado a la tectónica y el clima local han generado los procesos de remoción en masa. [29]

De acuerdo a este análisis, se observó que el suelo urbano ha tenido un crecimiento progresivo, el cual se hace más notorio en el periodo comprendido entre 1950 y 1970. Según Turkstra (1998) el asentamiento del Barrio San José como asentamiento ilegal surgió entre 1968 y 1970, mediante la invasión de predios baldíos que se encuentra en zonas inestables de corrimiento de masa o son susceptibles de inundación al estar situado en la ronda del caño (Gramalote) [30]

Se observan cambios significativos en la ronda del caño Gramalote, la cual disminuye a partir del año 1970 se observa que está canalizado.

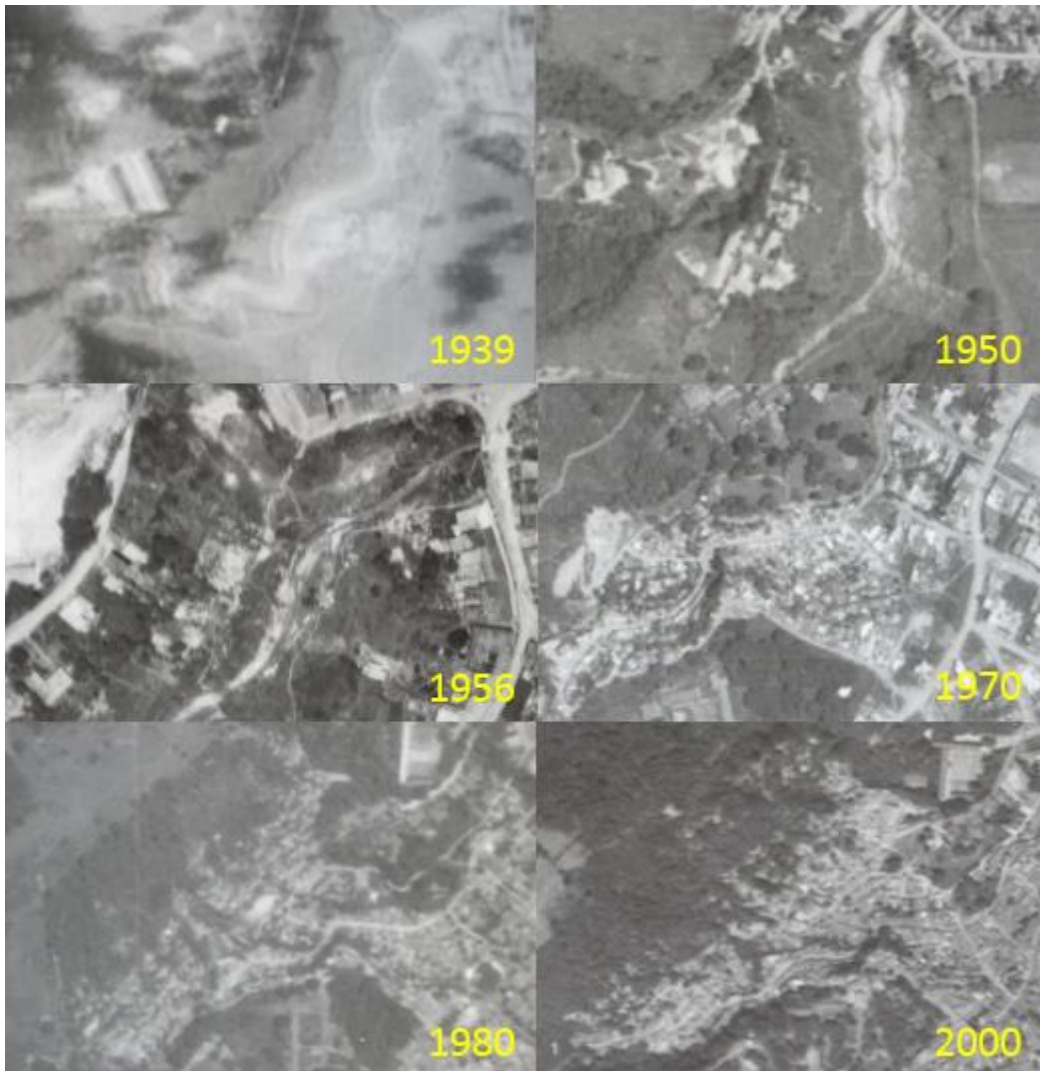


Figura 5-27. Análisis multitemporal de la zona de estudio mediante fotografías aéreas

Fuente:IGAC [31]

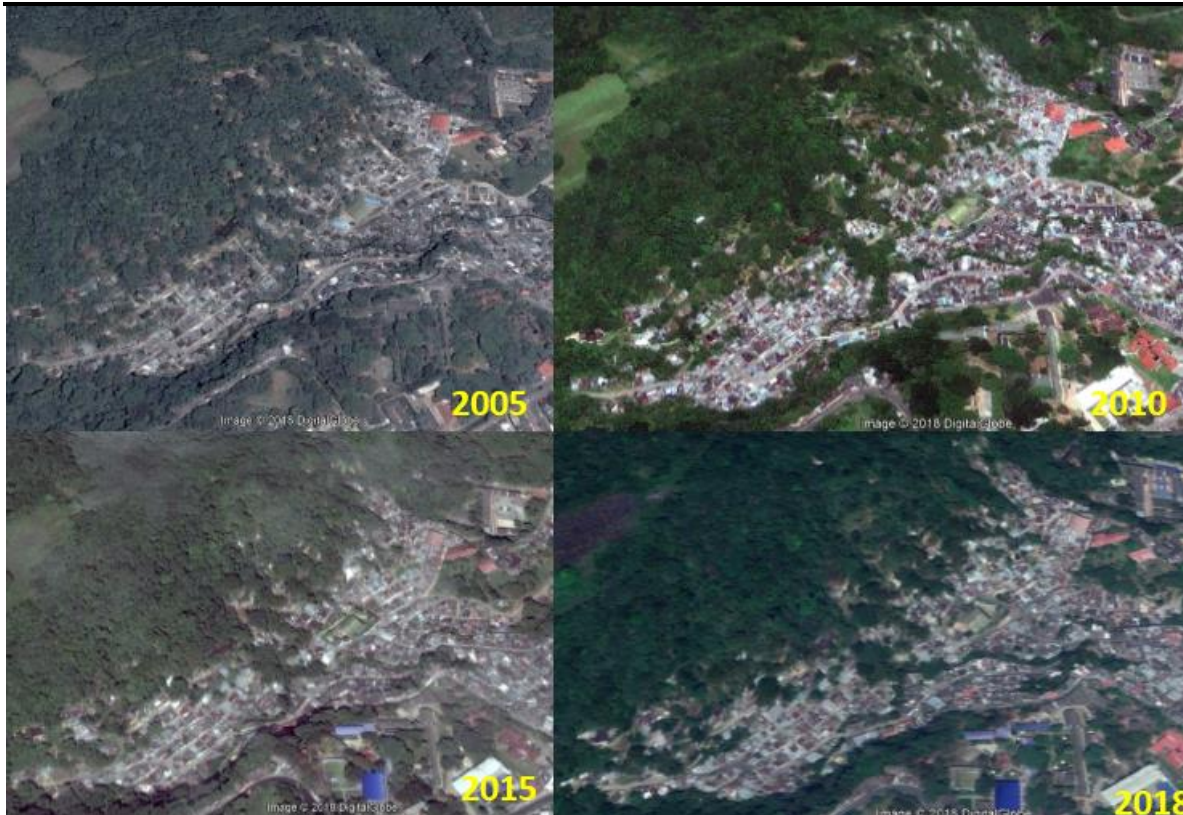


Figura 5- 28. Análisis multitemporal mediante imagen satelital.
Fuente: Autor

La mala planificación del suelo y los asentamientos inapropiados que se detallan que, a través del tiempo, muestran con claridad que las zonas de alto riesgo dentro del municipio son las primeras en ser habitadas, sin embargo la falencia no está en habitarse sino en no tener un control adecuado por parte de los planificadores del municipio. [6]

Con respecto a la geología se observa que el sector principalmente está comprendido por depósitos coluviales que se encuentran sobre los macizos rocoso ya que corresponde a la zona de piedemonte, la ladera oriental muestra un grado de amenaza alto coincidente con la influencia de flujo de detritos al presentar una topografía homogénea de forma recta u ondulada correspondiente a materiales provenientes de procesos de remoción en masa antiguos y actuales depositados sobre las laderas en depresiones o cambios de pendiente.

Los depósitos coluviales son los materiales más inestables, su naturaleza y mecanismos de formación hacen que sean los materiales que presentan el nivel más alto de susceptibilidad

(Muy alta), ha a los fenómenos de remoción, y hay que tener en cuenta que la estabilidad de estos cuerpos es muy delicada a cualquier cambio en sus factores interno y/o externos, como cortes para el paso de carreteras, sobrecarga con depósitos residuales o construcciones, los hacen muy sensibles a choques o vibraciones, características que los hacen muy inestables.

La presencia de escarpes aterrazados que delimitan el cauce del caño Gramalote hacen que esta zona pueda verse afectada por deslizamientos por el mal manejo de aguas servidas, así como el aumento del nivel de agua de este cuerpo hídrico llegando a generar desprendimiento de material e inundaciones.

Para estimar la condición actual de la ladera se tomaron imágenes de una visita realizada por la unidad de Gestión del riesgo y otras imágenes tomadas de Google Earth© que permitieron efectuar un diagnóstico de las viviendas posiblemente afectas por procesos de remoción.



Figura 5-29. Tipos de vivienda Barrio Colinas cimentadas sobre rocas naturales del terreno.

Fuente: Autor



Figura 5-30. Degradación del suelo como producto de paso peatonal, también por un tipo de proceso de remoción lento (reptación). Fuente: Autor



Figura 5-31. Aspecto de la remoción de masa en los asentamientos del barrio Colinas, en donde se observa bajo la casa el desprendimiento del suelo por efecto de los flujos de escombros, los cuales se incrementan en épocas lluviosas. Fuente: Autor



Figura 5-32. Muros de contención construidos para mitigar los efectos de la escorrentía superficial. Fuente: Autor

En la figuras anteriores se evidencia el mal estado de las cimentaciones y la ingeniería de las viviendas, senderos peatonales construidos por la misma comunidad y el deterioro de las estructuras de contención, es necesario que se identifique la población posiblemente afectada mediante la realización de censos que permitan definir la magnitud de afectación que podría generar un proceso de remoción en este sector, también estos datos son de gran importancia para que en trabajos futuros se pueda realizar el estimativo de vulnerabilidad y riesgo

Capítulo 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Según el análisis de la información consultada se observa que estos barrios son afectados por procesos de remoción en masa a causa de la alta pluviosidad que se presenta en la zona, las altas pendientes que presenta el sector y los diferentes materiales que componen las capas del suelo sobre el cual se encuentran asentados.

El tipo de proceso identificado en la zona de estudio es flujo de escombros debido a que se combina la alta meteorización del de la roca que constituye el talud y la fuerte escorrentía superficial debido a los altos eventos de precipitación.

Los procesos antrópicos como prácticas inadecuadas de deforestación para el desarrollo no planificado provocan disminución de bosque fragmentado.

El análisis multitemporal de fotografías aéreas e imágenes satelitales es importante para monitorear los cambios en la cobertura y uso del suelo a través del tiempo debido a que permite tener una visión más objetiva en la toma de decisiones de proyectos de recuperación o mitigación de posibles amenazas.

Se manifiesta el impacto de los deslizamientos en pérdidas de infraestructura y pérdidas de vidas humanas en los eventos de remoción demostrados en los antecedentes, esto quiere decir que la zona se encuentra en constante movimiento lo cual hace que los diferentes materiales o componentes del suelo se encuentren fragmentados.

La concentración de zonas de amenaza muy alta por procesos de remoción se presenta en pendientes comprendidas entre el 30% y 50% en zonas de rocas sedimentarias, muy fracturadas, añadiendo a eso que los métodos constructivos aplicados a las viviendas que se asientan sobre el talud que no aplican técnicas de cimentación adecuadas a dicho terreno, por lo que no están anclados de una manera adecuada en términos de ingeniería, dando lugar a la eventual ocurrencia de su destrucción por causa del evento de remoción de masa.

Es importante tener en cuenta que las pendientes mayores constituyen la cuenca del Caño Gramalote. Estas pendientes de la cuenca son susceptibles de generar remoción de masa que eventualmente pueden producir represamiento en el cauce del caño dando lugar con esto a una remoción de masa mayor peligrosa que constituiría un flujo de escombros mayor cuenca abajo produciendo mayores daños socio-económicos en comunidades que habitan por fuera de la zona de riesgo.

6.2. RECOMENDACIONES

Dentro del análisis de la amenaza en el barrio San José, éste proyecto representa una herramienta de evaluación, la cual junto con el análisis de la susceptibilidad será útil para que los organismos interesados en la problemática de la zona, tomen decisiones argumentadas en evidencias técnicas que fundamenten las acciones emprendidas por los mismos para crear mecanismos de respuesta rápida frente a las posibles emergencias que se puedan presentar o para evitar que estas generen de acuerdo a las medidas que se tomen

Una observación de los procesos de remoción más incidentes en la zona de estudio (Villavicencio), muestra que las altas precipitaciones que se presentan en la mayor parte del año son el factor detonante más recurrente, debido a que la presencia de agua en el terreno aumenta la presión de poros y disminuye los esfuerzos resistentes, provocando los fenómenos de remoción de masa. Esta condición hace imperativo que como medida de mitigación se construyan obras de drenaje en la parte alta del talud, con el fin de desalojar el agua que pueda ocasionar reactivación del proceso.

Es importante anotar que estas obras de drenaje deben ser construidas de tal forma que el descole de las aguas colectadas se haga de manera técnica y con las obras debidas, para evitar que se saturen terrenos aledaños y se amplíe el área afectada o se reactiven en procesos de remoción más complejos.

El uso de elementos del entorno para el manejo de este tipo de procesos es apropiado por las condiciones de accesibilidad y disponibilidad de materiales, obras como filtros, drenes,

tablestacados, cortacorrientes, disipadores de energía y revegetalización de las áreas denudadas (erodadas), han de ser valoradas para aplicar la solución técnica más efectiva. Se recomienda que estas obras de mitigación sean ambientalmente amigables con el entorno, como las denominadas obras de bioingeniería.

CAPITULO 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] EM-DAT, «The International Disaster Database,» 2011. [En línea]. Available: <https://www.emdat.be/publications>.
- [2] Mergili, M., Marchant Santiago, C., & Moreiras, S. «Causas características e impacto de los procesos de remoción en masa en áreas contrastantes de la región Andina,» *Revista Colombiana de Geografía*, [En línea]. 24(2), p. 113-131. 2015. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/50211>
- [3] Servicio Geológico Colombiano, Zonificación Integral por Amenazas Naturales para la Ciudad de Villavicencio - Meta, vol. II, Bogotá D.C., [En línea]. 2001. Disponible en: <http://recordcenter.sgc.gov.co/B2/11003010002668/documento/pdf/0101026681104000.pdf>
- [4] A. Ramos y A. Alfaro, «Fuentes Sismogénicas y deslizamientos en Villavicencio para la Microzonificación Sísmica,» *Revista Ingeniería y Universidad, Pontificia Universidad Javeriana*, [En línea]. pp. 42-51, 2000. Disponible en: http://ciees.org/doc_estudios/canon_alfaro_2000.PDF
- [5] J. F. Harman Ortiz y G. Chicangana Monton, «Zonificación de amenazas por remoción en masa, sector la Nohora - Montercarlo, Recomendaciones al Plan de Ordenamiento Territorial POT,» *Dialnet Cap&Cua*, [En línea]. vol. 10, p. 1, 2013. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4763037.pdf>
- [6] I. D. Acosta Sabogal, «Impacto del cambio climático en la remoción en masa del municipio de Villavicencio,» *Dialnet - Cap&Cua*, [En línea]. vol. 11, p. 10, 2014. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4763412.pdf>
- [7] D. S. Gonzales, «Precipitaciones extremas y sus implicaciones en procesos de remoción en masa en la planificación urbana de Tampico, México,» *Cuadernos Geográficos*, Monterrey, México, 48, p. 135-159, 2011. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17121091005>

-
- [8] J. Suarez, Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales, Bucaramanga, Colombia: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Ingeniería de Suelos Ltda., 1998.
- [9] S. Y. Edier Aristizabal, «Geomorfología aplicada a la ocurrencia de deslizamientos en el Valle de Aburra,» Universidad Nacional de Colombia , Medellín, Colombia , 2005.
- [10] D. Varnes, Slope movement types and processes, Washington D. C.: Schuster, R. L. & Krizek, R. J., 1978.
- [11] K. Terzaghi, Mecánica de suelos en la ingeniería práctica, Argentina: El Ateneo, 1976.
- [12] United States Geological Survey USGS, Landslide Types and Processes, Reston, Virginia, 2004.
- [13] M. R. Vazquez, Geología aplicada a la ingeniería civil, México: LIMUSA, 2015.
- [14] C. d. Colombia, «Ley 388 de 1997,» Cámara de comercio de Bogotá , 18 julio 1997. [En línea]. Disponible en: <http://recursos.ccb.org.co/ccb/pot/PC/files/ley388.html>. [Último acceso: 12 abril 2018].
- [15] Comisión Asesora permanente para el régimen de construcciones sísmo resistentes, «Título H - Estudios Geotécnicos,» de *Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente NSR-10*, Bogotá, Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2010.
- [16] Congreso de la República de Colombia, «Ley 1523 de 2012: Nivel Nacional,» 24 Abril 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=47141>. [Último acceso: 03 Mayo 2018].
- [17] Presidencia de la república de Colombia, «Decreto 1807 de 2014 Nivel nacional,» Alcaldía de Bogotá, 19 septiembre 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=59488>. [Último acceso: 28 Junio 2018].
- [18] Servicio Geológico Colombiano, Guía Metodológica para estudios de vulnerabilidad y riesgo por movimiento en masa, Bogotá, Colombia : Imprenta Nacional de Colombia , Mayo, 2015. Disponible en: <https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadadas/Documents/Guia-Metodologica-27-07-2016.pdf>

-
- [19] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Proyecciones de población. [En línea]. 2012 Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-poblacion/proyecciones-de-poblacion>.
- [20] Periodico El Tiempo , «Seis muertos por alud en Villavicencio,» 06 Diciembre 1990. [En línea]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-31530>. [Último acceso: 2018].
- [21] Periodico El Tiempo, «El invierno deja un muerto en Villavicencio,» 21 Noviembre 1996. [En línea]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM596049>. [Último acceso: 2018].
- [22] Periodico El Tiempo, «Tres muertos por avalancha en Villavo,» 28 Mayo 1997. [En línea]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-580190>. [Último acceso: 2018].
- [23] Periodico El Tiempo , «Cerro de Villavo, en riesgo por posibles deslizamientos de tierra,» 26 abril 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12765133>. [Último acceso: 2018].
- [24] Calle de la Red, «Cerro de Villavicencio en alto riesgo,» 27 Abril 2013. [En línea]. Disponible en: <https://callelared.blogspot.com/2013/04/cerro-de-villavicencio-en-altoriesgo.html>.
- [25] Villavo al Reves, «Medio Informativo,» 25 Abril 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.villavoalreves.co/gobierno-anuncia-precaucion-por-posiblesdeslizamientos-en-el-cerro-cristo-rey/>. [Último acceso: 2018].
- [26] Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), «Formatos y Escalas de mapas, Geografía y catastro,» [En línea]. Disponible en: <https://www.igac.gov.co/es/contenido/areas-estrategicas/formatos-y-escalas-demapas>. [Último acceso: 2018].
- [27] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), «Leyenda nacional de coberturas de la tierra,» de *Metodología CORINE Land cover adaptada para colombia*, Bogota D.C, Editorial Scripto ltda, 2010, p. 72p.

- [28] Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC),, «Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Meta,» Subdirección de agrología , Bogotá,D.C., 2004.
- [29] G. Chicangana, « Amenaza Sísmica en Villavicencio y el Piedemonte Llanero del Centro de Colombia » Corporación Universitaria del Meta, Villavicencio: Punto Gráfico Editores, ISBN: 978-958-8004-22-8. 110 p., 2009.
- [30] J. Turkstra, «Urban development and geographical information, spatial and temporal patterns of urban development and land values using integrated geo-data,» 20,268p., Villavicencio, Colombia , ITC Publication series, Enschede, Netherlands, ISBN 906164-147-0. 268 p., 1998.
- [31] Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC),, «Fotocontactos zona urbana del municipio de Villavicencio,» 1939(Vuelo B106), 1950(Vuelo C531), 1956 (VueloC784), 1970(Vuelo C1336), 1980(VueloC1976), 2000.
- [32] Periódico el tiempo, «En Villavicencio un torrencial aguacero dejó 6.000 víctimas en 2 horas,» *EL TIEMPO*, 15 Septiembre 2016.

ANEXOS

Los siguientes anexos se encuentran en medio magnético

Anexo A Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo

Anexo B Mapa de geología

Anexo C Mapa de tipos de suelo

Anexo D Mapa de pendientes

Anexo E Mapa de isoyetas

Anexo F Mapa de zonificación de la amenaza por procesos de remoción en masa