

**MANUAL DE ANÁLISIS DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN
EN MASA BAJO AGENTES CLIMATOLÓGICOS EN EL ÁREA URBANA Y
PERIURBANA DE VILLAVICENCIO A ESCALA 1:2000**



Jhon Andrey Pasive Agudelo

**Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Civil
Villavicencio,
2018**

Proyecto aplicado a temas de ingeniería civil

**MANUAL DE ANÁLISIS DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN
EN MASA BAJO AGENTES CLIMATOLÓGICOS EN EL ÁREA URBANA Y
PERIURBANA DE VILLAVICENCIO A ESCALA 1:2000**

Jhon Andrey Pasive Agudelo

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

Director

Ing. Iván Darío Acosta Sabogal

Especialista en Recursos Hídricos

Codirector

Ing. German Ernesto Chicangana Montón

Magister en Geología

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ingeniería Civil

Villavicencio,

2018

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 CAJICÁ GAMBOA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

ING. JHON JAIRO GIL PELAEZ, PHD.

Decano Facultad de Ingeniería Civil

NOTA DE ACEPTACIÓN

ING. JHON JAIRO GIL PELAEZ, PHD.

Decano de Facultad

ING. IVAN DARIO ACOSTA SABOGAL

Director Trabajo de Grado

EMIRO ANDRES LOZANO PEREZ

jurado

RESUMEN

La ciudad de Villavicencio está ubicada en la Orinoquía colombiana, al nororiente del departamento del Meta en el piedemonte de la Cordillera Oriental, con presencia importante de precipitaciones y topografía abrupta que refiere alta susceptibilidad a deslizamientos. Esto produce grandes desastres debido a los movimientos en masa ocurridos en zonas de alta densidad poblacional o de paso de servicios públicos de carácter vital. Por esta razón es necesario contar con estudios pertinentes para analizar la amenaza que presentan las zonas de ladera en el municipio de Villavicencio. El manual de análisis de amenaza por fenómenos de remoción en masa bajo agentes climatológicos busca ser una guía práctica, que permite zonificar la amenaza por este tipo de fenómenos, a bajo costo, en las laderas ubicadas en el área urbana y periurbana de Villavicencio. De igual manera es un aporte indirecto para las bases de un mejoramiento del Plan de Ordenamiento Territorial. El motivo de realizarlo exclusivamente bajo agentes climatológicos, se debe a las altas precipitaciones que se han presentado en el municipio como consecuencia del cambio climático. El presente proyecto se caracteriza como de enfoque cualitativo y de alcance exploratorio, debido a que actualmente no existe un manual que permita identificar estos procedimientos de manera minuciosa, exclusivamente bajo el detonante de precipitación. Para lograr este objetivo se consultó la “Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos de remoción en masa” del Servicio Geológico Colombiano, junto con un estudio en el asentamiento sub-normal La Nohora, que permitió conocer de primera mano, las actividades necesarias para realizar el análisis de estos fenómenos en una zona específica del municipio. El desarrollo del manual permitió identificar que es posible realizar una zonificación de amenaza de manera más sencilla en comparación con los requerimientos exigidos por las entidades gubernamentales.

Palabras Clave: *Remoción en masa, Precipitación, Guía metodológica, Zonificación, Amenaza.*

ABSTRACT

Villavicencio's city is located in the Colombian Orinoquía, to the northeast of the Meta's departament in the piedmont of the Eastern Cordillera, with important presence of precipitations and topography that refers high susceptibility to landslides. This produces great disasters due to the mass movements occurring in areas of high population density or pass of vital public services. For this reason, it is necessary to have pertinent studies to analyze the threat presented by hillside areas in the municipality of Villavicencio. The manual of analysis of threat by mass movement under climatological agents aims to be a practical guide, which allows to zonify the threat by this type of phenomena, at low cost, in the hillsides located in the urban and periurban area of Villavicencio. Likewise, it is an indirect contribution to the basis of an improvement of the Territorial Planning Plan. The reason for making the manual under climatological agents is due to the high rainfall that has occurred in the municipality as consequence of climate change. The present project is characterized as a qualitative and exploratory approach, because at present there is no manual to identify these procedures in a thorough way, exclusively under the precipitation detonator. To achieve this objective the "Methodological guide for studies of threat, vulnerability and risk by mass movements" of the Colombian Geological Survey, was consulted, together with a study in the sub-normal settlement La Nohora, which allowed us to know firsthand the activities necessary to carry out the analysis of these phenomena in a specific area of the municipality. The development of the manual allowed identifying that it is possible to perform a zoning of threat in a simpler way in comparison with the requirements demanded by the governmental entities in charge of generating these studies.

Key Word: *Mass movement, Precipitation, Methodologic guide, Zoning, Threat*

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo 1 Introducción	12
Capítulo 2 Fundamentación Teórica y Científica	14
2.1. Marco Teórico	14
2.1.1 Taludes	14
2.1.1.1 ¿Cómo ocurre la rotura de un talud?	14
2.1.1.2 Taludes Naturales	15
2.1.2 Movimientos en masa	16
2.1.2.1 Tipos de movimientos en masa	16
2.1.2.1.1 Caídas	18
2.1.2.1.2 Volcamiento	19
2.1.2.1.3 Deslizamiento	19
2.1.2.1.4 Deslizamiento Traslacional	19
2.1.2.1.5 Deslizamiento Rotacional	20
2.1.2.1.6 Propagación lateral	21
2.1.2.1.7 Flujo	22
2.2. Marco Legal	23
2.2.1 Ley 1523 de 2012	23
2.2.2 Ley 388 de 1997	24
2.2.3 Ley 164 de 1994	24
2.2.4 Decreto 1807 de 2014	24
2.2.5 Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano	25
2.3. Estado del Arte	26
2.4. Glosario	32
Capítulo 3 Metodología Experimental	34
3.1. Criterios de Diseño	34
3.2. Descripción de etapas y tareas	34
3.2.1 Revisión Bibliográfica	35
3.2.2 Selección de la Metodología Base	35

3.2.3	Análisis de caso: Asentamiento sub-normal La Nohora	36
3.2.3.1	Identificación de los procesos necesarios para zonificar la amenaza	36
3.3.	Descripción de los productos finales	37
Capítulo 4	Análisis de resultados	40
4.1	Cumplimiento de los objetivos planteados	42
4.1.1	Objetivo específico 1	42
4.1.2	Objetivo específico 2	46
4.1.2.1	Caracterización geomorfológica	46
4.1.2.2	Caracterización Climatológica	47
4.1.2.3	Caracterización del suelo	50
4.1.2.3.1	Homogenización de estratos	51
4.1.2.4	Cobertura y ocupación del suelo	53
4.1.3	Objetivo específico 3	56
4.1.4	Objetivo específico 4	59
Capítulo 5	Conclusiones y Futuros Trabajos	60
5.1.	Conclusiones	60
5.2.	Trabajos Futuros	61
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
	ANEXOS	67
	Anexo A	67
	Anexo B	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 2–1 Respuestas geodinámicas de laderas, de acuerdo con su forma	16
Tabla 2–2 Clasificación de movimientos de falla de taludes según Varnes (1978)	17
Tabla 2–3 Clasificación en cuanto a la velocidad del movimiento según Varnes (1978)	17
Tabla 2–4 Clasificación en cuanto a profundidad de la masa deslizada según Varnes (1978)	18
Tabla 2–5 Artículos de la ley 1523 de 2012 relacionados con el proyecto de investigación	24
Tabla 2–6 Artículos del decreto 1807 de 2014 relacionados con el proyecto de investigación	25
Tabla 2–7 EPFRM en las distintas etapas de planificación	27
Tabla 2–8 Relación Sub-Producto; Procedimiento; Objetivos específicos del proyecto de investigación	27
Tabla 4–1 Relación Sub-Producto; Procedimiento; Objetivos específicos del proyecto de investigación	41
Tabla 4–2 Objetivos específicos - Manual de análisis de amenaza por FRM	42
Tabla 4–3 Porcentaje mínimo de ensayos que se recomienda realizar sobre el total de muestras obtenidas	51
Tabla 4–4 Valores de número de curva para diferentes grupos hidrológicos y de usos de suelo	53
Tabla 4–5 Igualación de categorías de cobertura y ocupación del suelo de la metodología del SCS y Corine Land Cover	55
Tabla 4–6 Clasificación de la amenaza de un talud ante deslizamiento	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 2–1 Zona débil, zona cizallada y superficie de falla	15
Figura 2–2 Caída de rocas - Margen izquierda del río Huara, provincia de Oyon, Lima, Perú	18
Figura 2–3 Esquema de vuelco en bloque	19
Figura 2–4 Esquema de un deslizamiento traslacional, llamado resbalamiento y corrimiento	20
Figura 2–5 Esquema de un deslizamiento rotacional mostrando los rasgos morfológicos característicos	21
Figura 2–6 Esquema de expansiones laterales	22
Figura 2–7 Esquema de flujos canalizados y no canalizados	23
Figura 4–1 Talud artificial vertical para construcción de vivienda	43
Figura 4–2 Zanja de evacuación de aguas residuales	43
Figura 4–3 Proceso de remoción en la base de una vivienda	44
Figura 4–4 Sendero peatonal	44
Figura 4–5 Talud artificial vertical socavado	45
Figura 4–6 Archivo .tif generado por el procesamiento de la totalidad de fotografías capturadas por el dron, mediante el software Pix4D Mapper	47
Figura 4–7 Mapa climatológico de la zona de estudio – Año 2016	48
Figura 4–8 Representación de los términos utilizados para calcular la profundidad el nivel freático asociada a un periodo de retorno de 20 años	49
Figura 4–9 Resultados de Esfuerzos Cortantes Máximos dentro del talud analizado	58

LISTA DE ANEXOS

ANEXOS	67
Anexo A	67
Anexo B	73

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

Actualmente en Colombia se presentan Fenómenos de Remoción en Masa (FRM) en distintas regiones del país, estos provocan grandes desastres que generan pérdidas significativas de vidas humanas y económicas. A pesar de que existen políticas que buscan articular los estudios de zonificación de fenómenos de remoción en masa con la planificación del ordenamiento territorial, estas no se aplican en la totalidad de los departamentos, y por ende municipios, esto se evidencia en los diferentes asentamientos y urbanizaciones que se establecen en zonas altamente susceptibles de presentarse estos fenómenos. No solo el uso ineficaz de las políticas de gestión genera esta problemática, también la inexistencia de estudios relacionados con los fenómenos de remoción en masa es uno de los pilares fundamentales a que ocasionan el problema.

Villavicencio se encuentra en una zona de pie de cordillera, lo cual, junto con las altas precipitaciones que se han evidenciado en los últimos años debido al cambio climático, generan una condición de peligro considerable por movimientos en masa, específicamente en aquellos sectores de ladera, esto sumado a la existencia de urbanizaciones cerca o sobre la ladera, generan grandes desastres como los ocurridos entre los años 1990 y 1997 en los sectores Cristo Rey, Playa Rica y Quebrada la Honda, donde perdieron la vida 11 personas, 15 heridas, 3 desaparecidas y 33 viviendas destruidas [1]. El presente trabajo pretende exponer, mediante un manual, los procedimientos para zonificar aquellas áreas en condición de amenaza por fenómenos de remoción en masa bajo agentes climatológicos a escala 1:2000, es decir, teniendo en cuenta tan solo el factor lluvia como detonante, para así evitar que más personas o recursos públicos se establezcan en estas zonas. Para ello se realizó un análisis de fenómenos de remoción en masa bajo agentes climatológicos en el asentamiento sub-normal la Nohora, ubicado en la periferia de Villavicencio; este estudio permitió conocer de primera mano cada uno de los procesos y actividades que se deben realizar para ejecutar una investigación de esta índole, estos procesos se registran en el manual, el cual da instrucciones específicas y detalladas en base al estudio realizado en la Nohora, como también alternativas para desarrollar cada una de las actividades. En la actualidad ninguna entidad de orden público o privado de Villavicencio, cuenta con un manual de este tipo, en

marcado en un estudio a escala 1:2000, realizado en el área de aferencia, debido a que la ocurrencia de estos fenómenos no había sido tan alarmante sino hasta el desencadenamiento de las consecuencias del cambio climático. Adicionalmente se consultó la “*Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos de remoción en masa*” del Servicio Geológico Colombiano; instituto científico y técnico nacional, encargado de la investigación, seguimiento y monitoreo de las amenazas geológicas, para obtener la metodología general del estudio de amenaza de estos fenómenos.

Este proyecto busca beneficiar a los investigadores independientes y entidades municipales que deseen realizar este tipo de estudios de manera práctica a bajo costo en comparación con lo dictado por la metodología nacional para la realización de estos, además es una base para el mejoramiento del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) en el municipio, lo cual afecta de manera indirecta la calidad de vida de los ciudadanos de Villavicencio, al contar con un distribución de uso del suelo que considera las amenazas por fenómenos naturales.

CAPÍTULO 2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y CIENTÍFICA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1 Taludes

Según Gerscovich, D [2] “Talud es la denominación que se da a cualquier superficie inclinada de suelo o de un macizo rocoso. Puede ser natural, también llamado ladera, o construido por el hombre, como en los cortes y terraplenes”. Los lineamientos del manual de análisis de amenaza por FRM se centra en analizar los taludes; naturales y/o creados por el hombre, que generen un potencial peligro para asentamientos humanos y/u obras de infraestructura de carácter vital para una población. En la práctica, para realizar una zonificación de la amenaza por FRM, se analizan terrenos de ladera extensos que contienen taludes creados por el hombre, debido a la construcción de infraestructura necesaria para su sustento. Es esta la razón de tener en cuenta los taludes creados por el hombre, pero el objetivo del manual no es analizar estos taludes de manera individual, pues abarca un área muy pequeña, que afecta directamente a una sola edificación, por esta razón el presente estudio se centra en los taludes naturales, que pueden contener, o no, taludes creados de manera artificial.

2.1.1.1 ¿Cómo ocurre la rotura de un talud?

Según Gerscovich, D. [2, p. 2]:

La rotura de un talud se caracteriza por la formación de una superficie de cizallamiento continua en la masa de suelo. Por lo tanto, existe una capa de suelo en vecindad de la superficie de cizallamiento que pierde sus características durante el proceso de rotura, formándose así una zona cizallada (ver Figura 2-1). Inicialmente se forma la zona cizallada y luego se desarrolla la superficie de rotura o de cizallamiento.

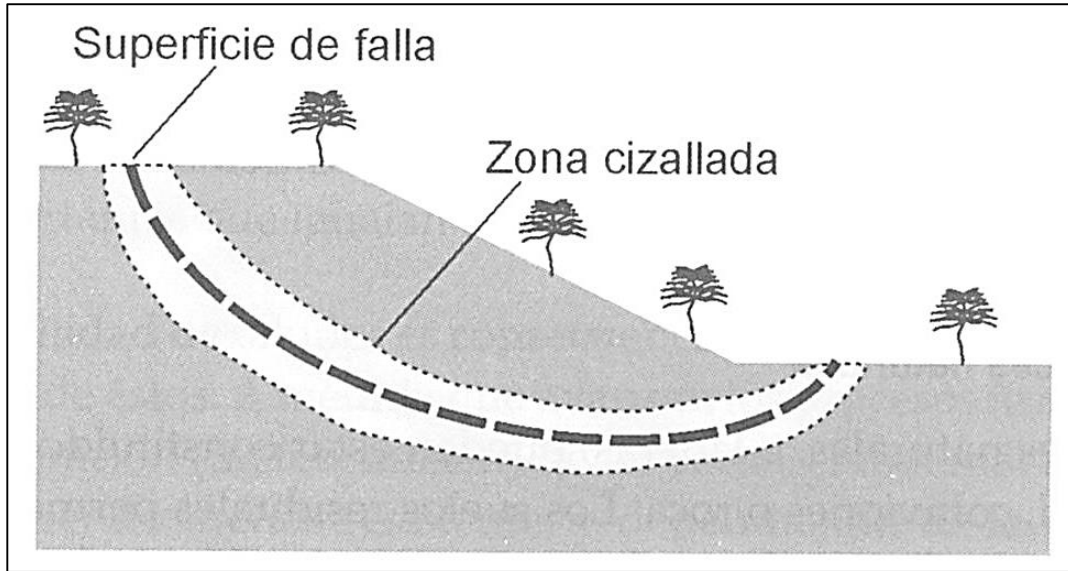
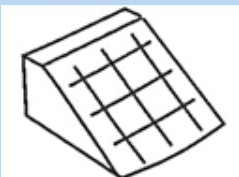

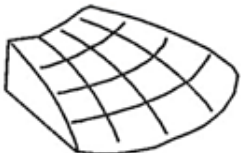
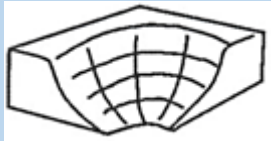
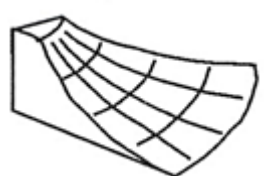


Figura 2-1 Zona débil, zona cizallada y superficie de falla. Fuente: Gerscovich, D. [2]

2.1.1.2 Taludes Naturales

De acuerdo a la forma, los taludes “pueden presentar cara plana o curvilínea y ésta puede ser cóncava o convexa, generando así condiciones de flujo preferenciales de agua”. [2, p. 4] (ver Tabla 2-1)

Tabla 2–1 Respuestas geodinámicas de laderas, de acuerdo con su forma

Tipo de talud	Superficie	Condición de la ladera en relación con el agua superficial
	Plana	
 	Convexa	Colectora Difusora
 	Cóncava	Colectora Difusora

Fuente: Gerscovich, D. (2015) [2]

2.1.2 Movimientos en masa

Según Cruden [3], citado en el PMA: GCA [4, p. 1], “El termino movimientos en masa hace referencia a aquellos movimientos de ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad”, estos fenómenos pueden ser detonados por factores como la lluvia, sismos o intervención antrópica.

2.1.2.1 Tipos de movimientos en masa

Varnes, D.J. [5], citado por Gerscovich, D. [2], propone una clasificación de los movimientos en masa, aplicable para suelo y rocas, tal como se evidencia la Tabla 2-2.

Tabla 2–2 Clasificación de movimientos de falla de taludes según Varnes (1978)

Tipo de movimiento (Clasificación)		Tipo de material		
		Roca	Suelo ingenieril	
			Grueso	Fino
Caídas		De roca	De detritos	De tierra
Volcamiento (volteo)		De roca	De detritos	De tierra
Deslizamiento	Rotacional (Pocas unidades)	Deslizamiento de roca	Deslizamiento de detritos	Deslizamiento de tierra
	Traslacional (Muchas unidades)	De bloques rocosos	De bloques de detritos	De bloques de tierra
		De roca	De detritos	De tierra
Propagación lateral		De roca	De detritos	De tierra
Flujos		De roca (superficial profundo)	De detritos	De tierra
Complejos: combinación de dos o más de los tipos principales de movimientos				

Fuente: Gerscovich, D. [2]

De igual manera Varnes, D.J. [5], recomienda otras clasificaciones de estos movimientos de acuerdo con la velocidad y la profundidad de la masa deslizada (ver Tabla 2-3 y 2-4).

Tabla 2–3 Clasificación en cuanto a la velocidad del movimiento según Varnes (1978)

Designación	Velocidad
Extremadamente rápido	>3 m/s
Muy rápido	0,3 m/min a 3 m/s
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	<0,06m/año

Fuente: Gerscovich, D. [2]

Tabla 2–4 Clasificación en cuanto a profundidad de la masa deslizada, según Varnes (1978)

Designación	Profundidad
Superficial	< 1,5 m
Poco profundo	1,5 a 5 m
Profundo	5 a 20 m
Muy profundo	> 20 m

Fuente: Gerscovich, D. [2]

2.1.2.1.1 Caídas

Según Varnes, D.J. [5], citado en el PMA: GCA [4, p. 4], las caídas son:

Un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento.



Figura 2–2 Caída de rocas - Margen izquierda del río Huara, provincia de Oyon, Lima, Perú (Fotografía L. Fidel). Fuente: PMA: GCA [4]

2.1.2.1.2 Volcamiento

En la clasificación de Varnes [5], citado en el PMA: GCA [4, p. 6], se denomina volcamiento a:

Un tipo de movimiento en masa en el cual hay una rotación generalmente hacia adelante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior. Este movimiento ocurre por acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas.

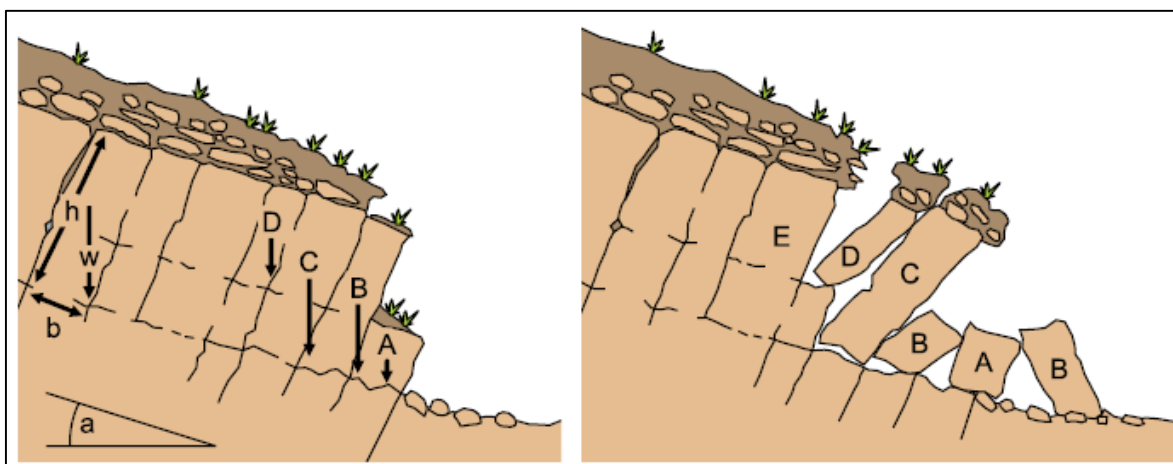


Figura 2-3 Esquema de vuelco en bloque. Fuente: De Freitas y Watters [31]

2.1.2.1.3 Deslizamiento

Según el PMA: GCA [4, p. 9], un deslizamiento es: “un movimiento de ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante.

En el sistema de Varnes, D.J. [5], citado por el PMA: GCA [4, p. 9], se clasifican los deslizamientos, según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales.

2.1.2.1.4 Deslizamiento Traslacional

Según Cruden y Varnes [6], citado por el PMA: GCA [4, p. 9], Un deslizamiento traslacional es:

Un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella..

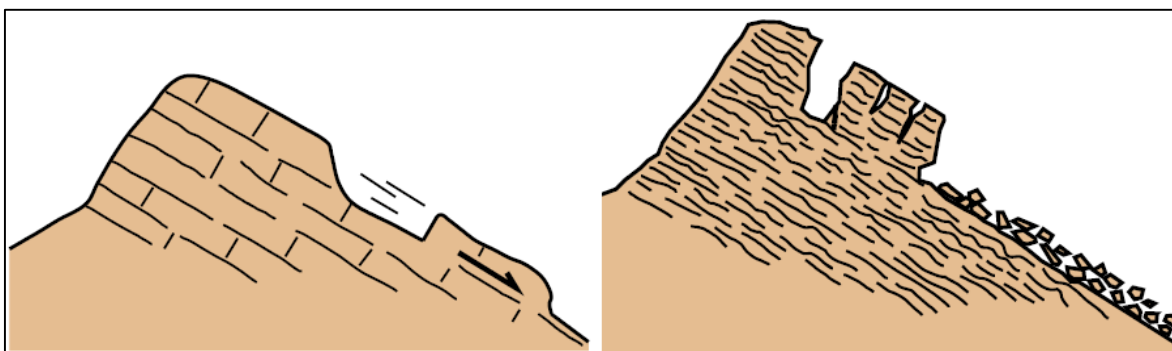


Figura 2–4 Esquema de un deslizamiento traslacional, llamado resbalamiento y corrimiento

Fuente: Corominas Dulcet y García Yagué (1997) [32]

2.1.2.1.5 Deslizamiento Rotacional

De acuerdo con el PMA: GCA [4, p. 11], un deslizamiento rotacional es:

Un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y una contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal. La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca. Debido a que el mecanismo rotacional es auto-estabilizante, y éste ocurre en rocas poco competentes, la tasa de movimiento es con frecuencia baja, excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas sensitivas.

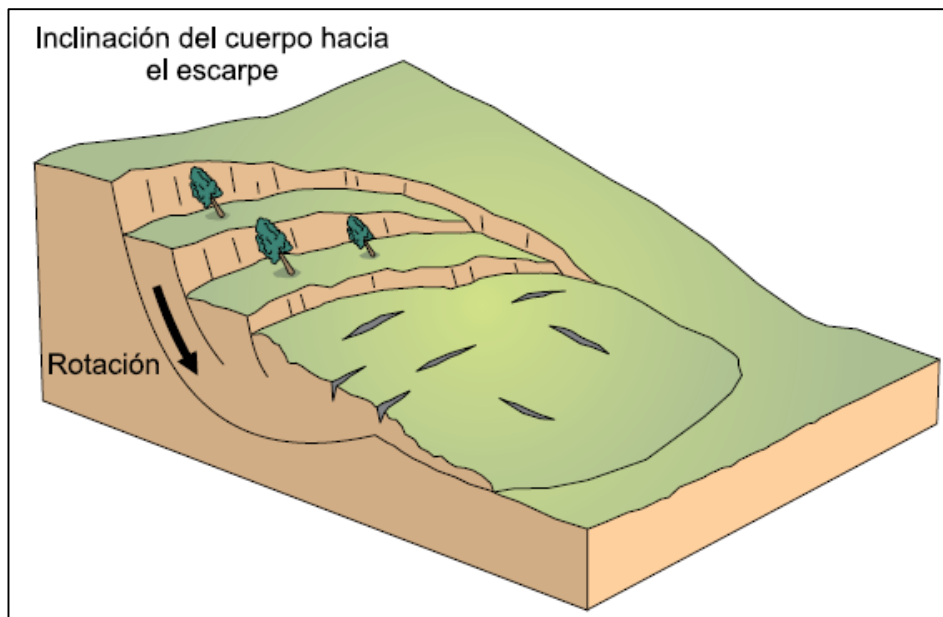


Figura 2-5 Esquema de un deslizamiento rotacional mostrando los rasgos morfológicos característicos. Fuente: PMA: GCA [4]

2.1.2.1.6 Propagación lateral

De acuerdo con el PMA: GCA [4, p. 16]:

La propagación o expansión lateral es un tipo de movimiento en masa cuyo desplazamiento ocurre predominantemente por deformación interna (expansión) del material. La mayoría de los deslizamientos y los flujos involucran algún grado de expansión. Las propagaciones laterales pueden considerarse como la etapa final en una serie de movimientos donde la deformación interna predomina decididamente sobre otros mecanismos de desplazamiento como los que imperan en el deslizamiento o el flujo.

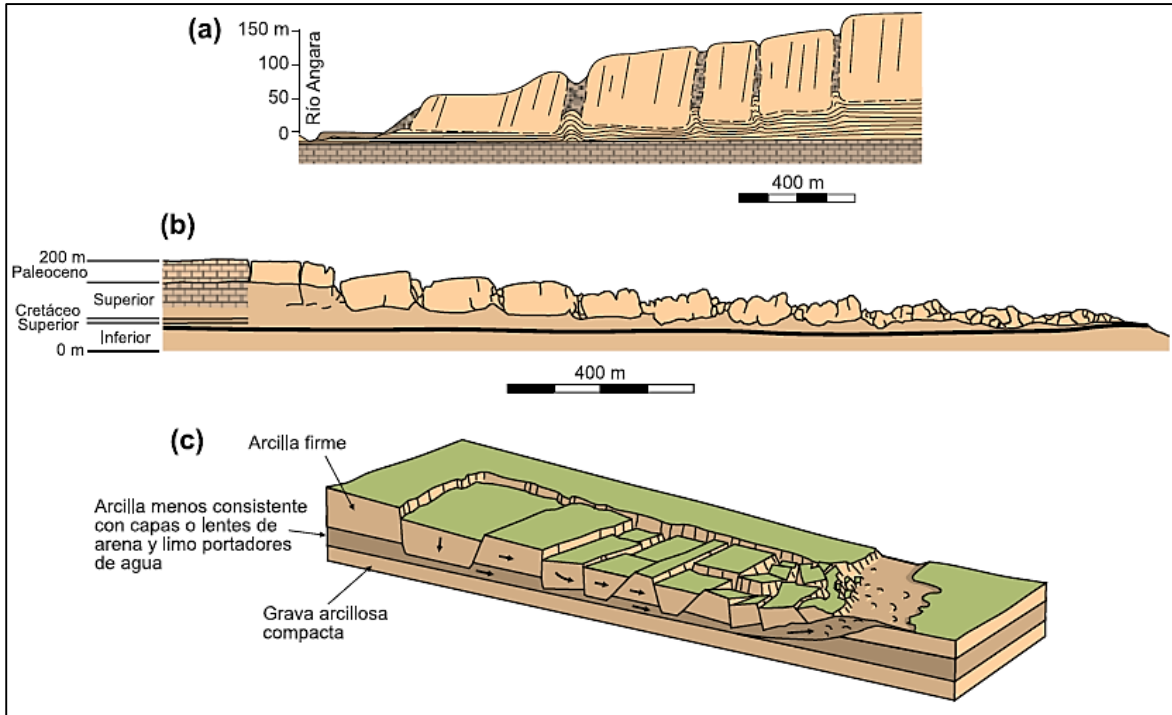


Figura 2–6 Esquema de expansiones laterales. Fuente: Varnes [5]

2.1.2.1.7 Flujo

Según Varnes [5], citado por el PMA: GCA [4, p. 17], un flujo es:

Un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída.

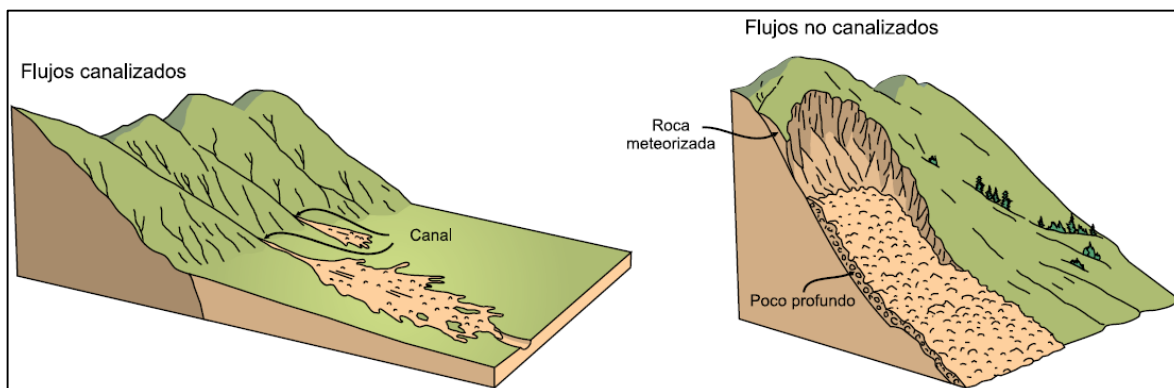


Figura 2–7 Esquema de flujos canalizados y no canalizados. Fuente: Cruden y Varnes [6]

2.2. MARCO LEGAL

2.2.1 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” [7]

En esta ley se manifiesta el carácter de obligatoriedad que tienen las diferentes entidades encargadas de la gestión del riesgo de desastres, en generar medidas de mitigación, prevención y atención para cualquier tipo de amenaza del tipo natural, como también algunas aclaraciones técnicas relacionadas con el tema, entre otras disposiciones. A continuación (Ver Tabla 2-5) se muestran los artículos relacionados con el presente proyecto de investigación.

Tabla 2–5 Artículos de la ley 1523 de 2012 relacionados con el proyecto de investigación

Ley 1523 de 2012		
Capítulo	Artículo	Descripción
I	1°	<i>De la gestión del riesgo de desastres</i>
	2°	<i>De la responsabilidad</i>
	4°	<i>Definiciones</i>
	6°	<i>Objetivos del Sistema Nacional</i>
II	31°	<i>Las Corporaciones Autónomas Regionales en el Sistema Nacional</i>
III	32°	<i>Planes de Gestión del Riesgo</i>
	40°	<i>Incorporación de la gestión del riesgo en la planificación</i>
	41°	<i>Ordenamiento territorial y planificación del desarrollo</i>

Fuente: Elaboración propia

2.2.2 Ley 388 de 1997

Uno de los objetivos de esta ley es “*El establecimiento de los mecanismos que permitan al municipio, en ejercicio de su autonomía, promover el ordenamiento de su territorio... y la prevención de desastres en asentamientos de alto riesgo...*”. En general se definen algunos conceptos y estructuración sobre los planes de ordenamiento territorial. [8]

2.2.3 Ley 164 de 1994

“*Por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecha en Nueva York el 9 de mayo de 1992.*” [9]

Esta ley se tiene como objetivo “*la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático*”. A pesar que la fundamentación de su aprobación es crear políticas que mitiguen el cambio climático, también se establece unos principios claros en pro de combatir los efectos adversos a esté, por esta razón, es pertinente esta ley, al proyecto de investigación, además de la definición de términos relacionados con el mismo. [9]

2.2.4 Decreto 1807 de 2014

En este decreto “*...se establecen las condiciones y escalas de detalle para incorporar de manera gradual la gestión del riesgo en la revisión de los contenidos de mediano y largo*

plazo de los planes de ordenamiento territorial municipal y distrital o en la expedición de un nuevo plan.” [10]

Es pertinente para el proyecto, pues este establece todo el aspecto técnico, de estudios básicos y detallados, que se debe tener en cuenta a la hora de analizar fenómenos de remoción en masa y como se debe incluir este a la planificación del ordenamiento territorial. A continuación (ver Tabla 2-6) se muestran los artículos relacionados con el presente proyecto de investigación.

Tabla 2–6 Artículos del decreto 1807 de 2014 relacionados con el proyecto de investigación

Decreto 1807 de 2014		
Títulos	Artículos	Descripción
I	Todos	<i>Disposiciones Generales</i>
II	6°	<i>Análisis de la información disponible</i>
	7°	<i>Las Corporaciones Autónomas Regionales en el Sistema Nacional</i>
	11°	<i>Delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza</i>
	15°	<i>Análisis detallado de amenaza por movimientos en masa</i>
	21°	<i>Incorporación de los resultados de estudios detallados al POT</i>

Fuente: Elaboración Propia

2.2.5 Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano

Esta guía metodológica es creada por el Servicio Geológico Colombiano (SGC), con más de 30 años de experiencia en evaluación de amenaza por movimientos en masa, y la Universidad Nacional de Colombia (UNAL), con una experiencia de más de 20 años en investigaciones sobre amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, en un Convenio Especial de Cooperación 020 de 2013, la cual describe los lineamientos metodológicos para realizar estudios de riesgo por movimientos en masa a escala detallada o local, aplicables en la mayoría de las caberas municipales y centros poblados de Colombia. [11]

2.3. ESTADO DEL ARTE

La remoción en masa es un fenómeno que normalmente se presenta alrededor del mundo, dejando una cantidad alarmante de víctimas mortales humanas e importantes pérdidas económicas, sobre todo aquellos detonados por lluvias; un ejemplo claro del impacto de estos fenómenos en la población civil es un evento ocurrido en la Sierra Norte de Puebla, México, en el año de 1999, donde se produjeron varios fenómenos de remoción en masa por la ocurrencia de un evento de lluvia excepcional, del cual registraron hasta 440mm de precipitación en 24 horas como lo menciona Lugo-Hubp *et al.* [12], citado por Capra *et al.* [13]. En esta región, el poblado de Zapotitlán de Méndez, fue uno de los más afectados, mayormente en su infraestructura. Por esta razón Capra *et al.* [13] investigó sobre la relación que existe entre los tipos de movimiento en masa y su litología, con fin de zonificar aquellas áreas más susceptibles a deslizamientos. En esta investigación pudo concluir que las lutitas plegadas son las rocas más susceptibles al deslizamiento y a la formación de flujos de escombros voluminosos y de gran alcance, en conjunto con una zona de geometría escarpada o de pendientes abruptas.

Además, Diego Sánchez [14], en Tampico, México, realizó una investigación que busca determinar la peligrosidad de las precipitaciones extremas y sus implicaciones en la evaluación y zonificación de los procesos de remoción en masa, con el fin generar una adecuada planificación urbana. En esta determinó que la distribución de precipitaciones extremas favorece la alta agresividad climática, la cual es determinante de los procesos de erosión del suelo y peligros geomorfológicos (desprendimientos, flujos de detritos, etc.), junto con un pronóstico de aumento del fenómeno de remoción en masa en los próximos años, inducido, por la ocurrencia e intensidad de las precipitaciones extremas.

No solo México, es uno de los países con estudios importantes de remoción en masa, en la provincia de Tungurahua, Ecuador; Ramírez, M. [15] realizó un estudio denominado “*La evaluación del peligro por fenómenos de remoción de masa y su aplicación en la planificación territorial*” debido a la inexistencia de un estudio de Fenómenos de Remoción en Masa (FRM) en dicha provincia. Como aporte particular, Ramírez, M [15] estableció unas

tareas específicas que se deben realizar para las distintas fases de una Planificación Territorial (PT) relacionadas con la Evaluación de Peligro por Fenómenos de Remoción en Masa (EPFRM), las cuales se muestran en la Tabla 2-7:

Tabla 2-7 EPFRM en las distintas etapas de planificación

Tipo de EPFRM	Etapas de Planificación	Escala adecuada para mapas de peligros
Identificación de la información disponible sobre los peligros	Organización previa	Como fuera posible
Evaluación general de los peligros y zonificación (susceptibilidad)	Análisis y diagnóstico	1:100.000 a 1:50.000
Evaluación de la susceptibilidad y riesgo. Medidas de mitigación para lugares específicos y proyectos	Formulación del plan	1:25.000 a 1:15.000
Gestión del riesgo y los peligros en los proyectos específicos	Gestión territorial u Ordenamiento territorial	1:10.000 a 1:5.000 o menores

Fuente: Ramírez, M. [15]

En Chile Elmes, M. [16], realizó una investigación denominada “Amenaza debido a eventos de precipitación máxima entre los 21° y 34° latitud Sur de Chile Continental: Análisis de umbrales hidrometeorológicos, gatillantes de remoción en masa por flujos en la Cuenca del Río Copiapó” cuyo objetivo principal fue “*conocer espacial y temporalmente la amenaza hidrometeorológica de las precipitaciones máximas y sus implicancias en la susceptibilidad en los procesos de remoción en masa por flujos*” [16], mediante la aplicación de diversas técnicas; estadísticas, geoestadísticas y de modelación, usando los softwares Easy fit (Cálculos de distribuciones) y ArcGis.

Venezuela, también entra en el grupo de aquellos países latinoamericanos que cuenta en estudios importantes de remoción en masa, Pues Cartaya *et al* [17] realizaron el estudio denominado “Modelo de Zonificación de la Susceptibilidad a los Procesos de Remoción en Masa a través de un Sistema de Información Geográfica” donde adaptó y aplicó un modelo para la zonificación y análisis de la distribución espacial de la susceptibilidad a procesos de remoción en masa empleando estadística multivariada y un Sistema de Información Geográfica (SIG), como una alternativa metodológica que permitiera colocar en manos de entes gubernamentales y de las comunidades una herramienta que facilite la toma de decisiones. Allí se obtuvo el mapa de susceptibilidad a los procesos de remoción en masa de la microcuenca de la quebrada Curucutí, en el municipio Maiquetía del Estado Vargas.

Para obtener el mapa final, empleando plataforma SIG, se seleccionaron 4 variables con incidencia en la remoción de material, a saber, geología de superficie, geomorfología, pendiente media del terreno y conflictos de uso. Como conclusión se recomienda pasar a una segunda etapa de la investigación, la cual consistirá en incorporar los detonantes, tales como las precipitaciones y/o los sismos, para generar mapas de amenaza por procesos de remoción en masa. Otra recomendación es la de usar el modelo como una herramienta de pronóstico de orden local, que permita orientar acciones tendentes a la prevención y mitigación de los efectos que puedan ocasionar los procesos de remoción en masa.

Dando una visión más global al estudio de remoción en masa, se procede a observar las investigaciones realizadas fuera del continente, específicamente en Las Alpujarras, España; donde Ayala, I [18] estudió las interacciones ambientales entre factores como el clima, la topografía y la geología con la finalidad de elaborar un índice de susceptibilidad a movimientos del terreno del tipo deslizamientos, esto en un ambiente semiárido montañoso. De esta investigación Ayala, I. [18, p. 74] concluyó:

El entendimiento de la interacción entre todos estos factores ambientales es fundamental para la identificación de zonas susceptibles a este tipo de procesos, lo cual permite la elaboración de estrategias adecuadas en la prevención de desastres naturales relacionados con este tipo de movimientos.

En Colombia, la remoción en masa es un fenómeno que se presenta de manera frecuente, debido a la geomorfología que presenta el país, altamente influenciada por la presencia de la cordillera de los Andes, la cual se divide en tres al interior del mismo. Uno de los eventos que más llama la atención es uno ocurrido en el municipio de Medellín, más exactamente en el barrio el Socorro; donde se presenciaron 27 personas muertas, 16 lesionadas y la destrucción total de 20 viviendas, debido a un deslizamiento rotacional simple, producto de la precipitación registrada 15 días antes del evento y a las pobres condiciones geo-mecánicas del material fuente. Debido a esto Aristizábal, E. [19] investigó, estudió y analizó, las variables que influyeron en este evento, junto con la caracterización propia del movimiento en masa. Cuya investigación está plasmada en el artículo “*Características, dinámica y causas del movimiento en masa del barrio el Socorro (31 de mayo de 2008) en Medellín*” donde se evidencia como la precipitación es un factor detonante para dichos movimientos, allí cobra gran valor los datos pluviométricos de 3 y 15 días antes del evento, donde, con un adecuado tratamiento de la información obtenida, se pudo haber dado una alerta temprana, evitando así las víctimas humanas producidas por el fenómeno. Además, como conclusión Aristizábal, E. [19, p. 28], afirmó:

Es necesario emprender y fortalecer nuevas investigaciones que permitan entender la lluvia como factor detonante de movimientos en masa en ambientes tropicales, ya que solo el conocimiento profundo de estas condiciones y la construcción de bases de datos adecuadas y sistemáticas por las entidades competentes facilitará mejorar y definir umbrales de lluvia críticos para las condiciones requeridas, lo que permitirá implementar sistemas de alerta temprana por movimientos en masa y de esta forma, lograr reducir las consecuencias generadas por estos trágicos eventos.

En el departamento de Antioquia, Colombia, ocurren con frecuencia lamentables tragedias producto de los fenómenos de remoción en masa, causados por altos niveles de precipitación registrados antes de la catástrofe natural. Uno de ellos es el ocurrido en el municipio de Guatapé, donde, según Restrepo, V. [20], columnista del diario “*El Colombiano*”, un deslizamiento de tierra cerca del complejo turístico del Peñol, arrasó con una finca hotel llamada LeRefuge, que, al momento del deslizamiento tenía nueve huéspedes registrados, dejando dos personas muertas y siete heridas. Además, Restrepo, V. [20] agregó “Los hechos

ocurrieron a las 3:30 de la madrugada, en medio de un torrencial aguacero”, lo que evidencia el carácter detonante de la precipitación en este tipo de fenómenos.

De la misma forma, en Dabeiba, Antioquia, Colombia, se registró un fenómeno similar al de Guatapé, donde según Isaza, M. [21], columnista del diario “*El Colombiano*”, luego de las fuertes lluvias que sean registrado en la zona, una de las quebradas se desbordó, ocasionando un gran deslizamiento de tierra que afectó a un resguardo indígena, cobrando así la vida de siete personas y dejando seis heridas.

El Valle de Aburra, que se encuentra en el centro del municipio de Antioquia, contiene diez municipios tales como; Barbosa, Girardot, Copacabana, Bello, Medellín, Envigado, Itagüí, Sabaneta, La Estrella y Caldas. Todo el Valle está lleno de escenarios propicios a un evento de remoción en masa, debido a la compleja topografía del terreno, además existe un grande y latente riesgo de pérdidas humanas y económicas. Por esta razón Aristizábal, Edier et al. [22] proponen un sistema de alerta temprana por movimientos en masa inducidos por lluvia, debido a los antecedentes que existen acerca de la lluvia como factor desencadenante de estos fenómenos. Este sistema de alerta está basado en determinados umbrales de lluvias, los cuales pretenden predecir posibles eventos de remoción logrando así notificar y evacuar a las personas, reduciendo los estragos del fenómeno natural.

No solo en Antioquia se analizan los eventos remoción en masa producto de fuertes precipitaciones, también en el municipio de Santa Rosa de Cabal; ubicada en el departamento de Risaralda. Esto se evidencia en el proyecto de grado de Álzate, M. [23], denominado “*Análisis de precipitaciones máximas como factor detonante para la amenaza por movimientos en masa en el municipio de Santo Rosa de Cabal – Risaralda*”. Para ello se estudiaron las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas localizadas en Santa Rosa de Cabal y en municipios cercanos, se usó el método de Gumbel para establecer las precipitaciones máximas, promedio y tiempo de retorno de las mismas de cada estación y se utilizó el software ArcGis 10.2 para desarrollar un modelo geo-estadístico que permita la posterior creación de un mapa de amenaza por movimientos en masa mediante el mismo software. Álzate, M. [23, p. 42], concluye:

Según los resultados obtenidos por sistemas de información Geográfica (SIG), demuestran la problemática y la influencia que genera la variable de precipitación, que, a mayor valor de lluvia máxima diaria, mayor saturación y por ende, mayor probabilidad de que se generen procesos de inestabilidad en las laderas.

Pamplona es un municipio ubicado en el noreste de Colombia, donde al igual que en otros municipios se han realizado estudios de remoción en masa. Esto se evidencia mediante el estudio denominado “*Zonificación del peligro de remoción en masa en las zonas urbanas según método de análisis Mora y Vahrson: Estudio de caso.*” [24]. Lo que realmente llama la atención de este documento es la utilización de factores climatológicos, entre otros, para crear mapas que permitan identificar las zonas que corren cierto nivel de riesgo por eventos de remoción en masa. Rodríguez *et al.* [24, p. 22] afirman:

La ocurrencia de los movimientos del terreno en los últimos dos años se ha desencadenado en los meses de marzo y abril, evidenciado por el aumento de las precipitaciones medias mensuales y máximas en 24 horas para estos meses según los datos del IDEAM.

En Villavicencio, ciudad objeto de estudio, Acosta [25, p. 14], realizó un estudio denominado “*Impacto del cambio climatológico en la remoción en masa del municipio de Villavicencio*” donde se pudo determinar: “La relación entre la precipitación con la mecánica de los suelos en este caso particular el grado de saturación del suelo, como también el cambio del uso del suelo son detonantes a los fenómenos de la remoción en masa.”. Es importante aclarar que cuando el autor se refiere a “cambio del uso del suelo” se refiere a la ocupación de un terreno, en el caso particular una ladera, como zona residencial, lo que genera erosión del suelo permitiendo una acelerada saturación del terreno, desencadenando un futuro evento de remoción.

2.4. GLOSARIO

La comprensión de los siguientes conceptos es fundamental para el desarrollo del proyecto. De acuerdo con la ley 1523 del 2012 [7], la Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano [11] y el PMA: GCA [4], se definen los siguientes términos:

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

Vulnerabilidad: Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos.

Riesgo: Medida de la probabilidad y severidad de un efecto adverso a la vida, salud, propiedad o el ambiente. Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural, o antrópico no intencional, en un periodo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad.

Cambio Climático: Importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más). El cambio climático se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras.

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

Movimiento en masa: Movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras.

Ladera: Superficie natural inclinada de un terreno.

Detrito: Material suelto con estructura desordenada y de baja plasticidad originado por procesos de movimientos en masa (coluviones), meteorización (suelo residual), transporte glaciar (tilita, morrenas), volcanismo explosivo (depósitos piroclásticos), o desechos antrópicos con estructura granular desordenada tales como los estériles de minería.

Detonante: Disparador, desencadenante, gatillante. Acción, o evento natural o antrópico, que es la causa directa e inmediata de un movimiento en masa. Entre ellos pueden estar, por ejemplo, los terremotos, la lluvia, la excavación del pie de una ladera y la sobrecarga de una ladera.

Erosión: Parte del proceso remoción de la capa vegetal de la superficie terrestre que consiste del arranque y transporte de material de suelo o roca por un agente natural como el agua, el viento y el hielo, o por el hombre.

CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1. CRITERIOS DE DISEÑO

La metodología empleada para la ejecución del presente proyecto de investigación, se permite caracterizarla, según la clasificación mostrada en Sampieri [26], como de un enfoque cualitativo y de alcance exploratorio, debido a que la investigación se centró en identificar los procedimientos necesarios para determinar la probabilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa bajo agentes climatológicos y en la actualidad no existe un manual que permita identificar estos procedimientos de manera minuciosa, a un nivel de detalle como el que se evidencia en el manual . Estos procedimientos se identificaron a partir de la “*Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos de remoción en masa*” del Servicio Geológico Colombiano, en conjunto con un estudio realizado en el asentamiento sub-normal la Nohora.

Para establecer los procedimientos a seguir se realizó un estudio previo de la “*Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos de remoción en masa*” del Servicio Geológico Colombiano e identifico los procesos generales para evaluar la amenaza de estos eventos bajo agentes climatológicos.

Seguido a esto se especificó el paso a paso de cada proceso general, de manera que el potencial lector comprenda, de manera sencilla, cuáles son los procedimientos puntuales a seguir, como también cada una de las posibles alternativas de ejecución. Para lograr este objetivo se plantearon ciertas etapas de estudio en el asentamiento sub-normal la Nohora, que permitieron conocer con exactitud las diferentes variables que pueden afectar la probabilidad de ocurrencia de un FRM, bajo agentes climatológicos, en la zona analizada.

3.2. DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS

Para llegar al producto final, se tuvo que ejecutar una serie de actividades, que permitieron identificar los procedimientos necesarios para zonificar la amenaza, por fenómenos de

remoción en masa bajo agentes climatológicos, de una ladera común en Villavicencio. A continuación, se muestran y explican, de manera detallada, cada una de las etapas por las que paso el proyecto de investigación para lograr delimitar una metodología confiable de zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa bajo la detonante precipitación:

3.2.1 Revisión Bibliográfica

Como es de esperar en la gran mayoría de los proyectos de investigación, la primera etapa es buscar, recopilar y revisar la bibliografía disponible, relacionada con el proyecto, con el fin de conocer los avances de la ciencia en el tema y aquella bibliografía base para la ejecución del mismo. Es ese el caso de actual proyecto, donde al verificar la existencia de un manual similar, que trabajara mediante un estudio de caso preciso, exclusivamente bajo agentes climatológicos, no se encontraron resultados; lo más cercano a esto fueron las guías metodológicas de las diferentes entidades nacionales encargadas de realizar los estudios de zonificación del riesgo.

3.2.2 Selección de la Metodología Base

Para el caso particular de la investigación se tomó como base de los procesos a seguir para generar una zonificación confiable, la “*Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos de remoción en masa*” del Servicio Geológico Colombiano (SGC), instituto científico y técnico, de orden nacional, encargado de la investigación, seguimiento y monitoreo de las amenazas geológicas del país. Si bien, no se tomaron en cuenta la totalidad de los procesos expuestos en la guía metodológica del SGC, debido a la rigurosidad en los lineamientos planteados, los cuales, en la posición de estudiantes de ingeniería civil, imposibilita la ejecución del mismo, por la exclusividad de información manejada, con la cual cuentan las entidades municipales. Aunque para generar un manual que aporte nuevos conocimientos o rutas de ejecución más prácticas y económicas, sin perder la confiabilidad en los procesos, se debía realizar un estudio de caso en la zona de influencia.

3.2.3 Análisis de caso: Asentamiento sub-normal La Nohora

Para lograr un grado de confiabilidad en los procesos a consignar en el manual, se realizó un estudio de zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa bajo agentes climatológicos, en el asentamiento sub-normal La Nohora, donde se logró identificar los procesos necesarios para lograr un zonificación de la amenaza de manera práctica a bajo costo, mediante la comparación de estos procesos con los que indica la “*Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos de remoción en masa*” del Servicio Geológico Colombiano.

3.2.3.1 Identificación de los procesos necesarios para zonificar la amenaza

Para ejecutar una zonificación de amenaza por FRM, exclusivamente bajo el detonante de precipitación, según el análisis realizado en La Nohora, se identificaron los siguientes procesos:

- Caracterización Geomorfológica
- Descripción del Suelo
- Caracterización Climatológica
- Simulación
- Zonificación

Luego se procedió a comprar estos procesos y su método de ejecución, con los estipulados en la “*Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos de remoción en masa*” del SGC, donde se encontraron algunas falencias en la toma de datos y se procedió a redefinir los procesos necesarios para la zonificación de la amenaza, de manera que el estudio apunte a la realización de futuros proyectos de zonificación de vulnerabilidad y riesgo, ampliando los alcances del manual.

Una vez redefinidos los procesos, se ajustaron las actividades específicas que se deben desarrollar en casa proceso, de acuerdo a la experiencia obtenida con La Nohora, y se establecieron los siguientes procesos:

- Reconocimiento de la zona
- Caracterización Geomorfológica
- Descripción del Suelo

- Cobertura y Ocupación del Suelo
- Caracterización Climatológica
- Simulación
- Zonificación

3.3. DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS FINALES

Como resultado final se obtiene un único producto, el cual es el “*Manual de análisis de amenaza por fenómenos remoción en masa bajo agentes climatológicos, en el área urbana y periurbana de Villavicencio a escala 1:2000*” el cual consta de ocho (8) capítulos en los cuales se observa el procedimiento, paso por paso, de cómo realizar un estudio de zonificación de amenaza por FRM, teniendo en cuenta la precipitación como factor detonante. Este manual se hace teniendo en cuenta las condiciones climatológicas y geomorfológicas de Villavicencio, por lo cual su aplicación está dirigida específicamente para el municipio, no obstante, es posible aplicarlo en cualquier tipo de ladera, sea de territorio nacional o internacional, modificando algunas condiciones de análisis del tipo climatológico y de suelos.

A continuación, se presentan los capítulos que componen el manual, junto con su respectiva descripción:

Capítulo 1: *Generalidades*

En este capítulo se genera una breve introducción del contenido del manual, junto con todo el referente teórico, conceptual y geográfico concerniente a la aplicación del manual, junto con el alcance que se espera tenga el uso y divulgación del manual.

Capítulo 2: *Reconocimiento de la zona*

Esta etapa consiste en visitar la zona de estudio, para identificar los posibles escenarios de amenaza, que pueden estar dados por un cambio abrupto de la pendiente, una fuerte densidad poblacional, o una constante erosión del suelo. Además de realizar un censo socio-económica

de la zona para conocer así la población total que habita en ella, como también los bienes existentes.

Capítulo 3: *Caracterización Geomorfológica*

Esta caracterización consiste en realizar un levantamiento topográfico de la zona de estudio, para ello es posible implementar la metodología clásica de levantamiento topográfico mediante una estación total, si se cuenta con los equipos y la condición del terreno lo permite. En caso contrario se pueden implementar otro tipo de estrategias para cumplir este objetivo. Además, se debe caracterizar el tipo de geología con el que cuenta la zona de estudio, ya sea mediante los mapas geológicos dispuestos por las entidades nacionales o mediante la descripción de un experto.

Capítulo 4: *Cobertura y Ocupación del Suelo*

Este proceso consiste en identificar aquellas porciones de área de la zona de estudio con una determinada clasificación de uso o cobertura del suelo en base a una tabla propuesta por la metodología Corine, para la elaboración del mapa. Además, se deberá calcular el número de curva, que permitirá calcular posteriormente; la infiltración de la zona de estudio a partir de las características de cobertura u ocupación mediante el método de lluvia – escorrentía del Soil Conservation Service (SCS).

Capítulo 5: *Descripción del suelo*

Para realizar una zonificación de amenaza por FRM es necesario conocer el perfil del suelo de la zona de estudio, para ello se deben extraer muestras del mismo y llevarlas a un laboratorio, este determinara los estratos de suelo que allí se encuentran, como también sus propiedades mecánicas, este capítulo explica que características deben tener dichos sondeos, como también el tratamiento posterior de los datos obtenidos.

Capítulo 6: *Caracterización Climatológica*

El manual, debido a su enfoque climatológico, solo se centra en la lluvia como detonante de los movimientos en masa, por ello es necesario conocer los milímetros de precipitación que caen sobre la zona de estudio en relación a un periodo de retorno de 20 años y la profundidad

actual del nivel freático. Para ello deben tomar los datos de precipitación de las estaciones más cercanas, para así procesar estos de acuerdo con los requerimientos de la fórmula de la curva Intensidad – Duración – Frecuencia propuesta por Vargas & Díaz-Granados [27].

Capítulo 7: *Simulación*

Una vez obtenido el levantamiento topográfico, el perfil del suelo y los mapas de precipitación. Se procede a crear un modelo digital del terreno mediante un software especializado en geotecnia que permita analizar la estabilidad de una ladera. Una vez analizada la ladera con los insumos anteriormente mencionados, el software elegido permitirá conocer la respuesta de la ladera o talud ante las condiciones anteriormente ingresar e incluidas en el análisis.

Capítulo 8: *Zonificación del Amenaza*

En esta etapa se busca identificar el nivel de amenaza (baja, media o alta) que presenta la zona de estudio por fenómenos de remoción en masa, de acuerdo a los resultados obtenidos mediante la simulación. Estos niveles de amenaza se establecerán mediante los diferentes factores de seguridad que se presenten dentro de la ladera o talud.

CAPÍTULO 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para empezar esta sección es importante conocer que el presente trabajo de investigación tiene un solo producto objetivo, el cual es; el manual de análisis de amenaza por fenómenos de remoción en masa bajo agentes climatológicos diseñado de acuerdo a las condiciones climatológicas y geomorfológicas del municipio de Villavicencio. Este manual consigna los procedimientos necesarios para ejecutar un estudio de amenaza, de manera que, se logre zonificar la misma. Para identificar estos procedimientos se ejecutó estudio de caso en el asentamiento sub-normal La Nohora, lugar altamente susceptible a estos fenómenos debido a su morfología y al actual nivel de precipitaciones registrado en los últimos años. Por esta razón, cada prueba o criterio de prueba que se pudiese aplicar al producto final, que en el caso específico es el manual, se realizaron previamente y durante el desarrollo del mismo, pues cada error u omisión ocurrida durante el estudio en La Nohora, permitió identificar el proceso correcto para llegar a la zonificación de la amenaza por FRM, de lo contrario no se hubiese podido llegar a este objetivo, teniendo en cuenta que los criterios con los cuales se ejecutó el estudio en la Nohora, se obtuvieron de la “Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos de remoción en masa” del Servicio Geológico Colombiano, bibliografía técnica habitualmente utilizada por las entidades municipales para la realización de estos estudios.

A continuación, se muestran en orden cronológico, a manera de *Sub-productos*, los procedimientos identificados mediante el estudio en el asentamiento sub-normal la Nohora:

- Identificación de escenarios de amenaza
- Censo Socio-Económico
- Levantamiento topográfico
- Estudio de Suelos
- Mapa de cobertura y ocupación del suelo
- Mapa de precipitación
- Áreas afectadas – Visualizadas en software
- Zonificación de la amenaza

Tabla 4–1 Relación Sub-Producto; Procedimiento; Objetivos específicos del proyecto de investigación

Sub - Producto	Procedimiento	Objetivo Relacionado
Identificación de escenarios de amenaza	Reconocimiento de la zona de estudio	Específico 1
Censo Socio-Económico	Reconocimiento de la zona de estudio	Específico 1
Levantamiento Topográfico	Caracterización Geomorfológica	Específico 2
Estudio de Suelos	Descripción del perfil de suelo	Específico 2
Mapa de cobertura y ocupación del suelo	Cobertura y ocupación del suelo	Específico 2
Mapa de precipitación	Caracterización Climatológica	Específico 2
Áreas afectadas - Visualizadas en software	Simulación mediante software	Específico 3
Mapa de zonificación de la amenaza	Zonificación de la amenaza	Específico 4

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 4-1 se muestra la relación entre los sub-productos y cada uno de los procedimientos identificados para realizar el estudio de zonificación de la amenaza por FRM. Allí se pueden observar los siguientes procedimientos ordenados de manera cronológica:

- Reconocimiento de la zona de estudio
- Caracterización geomorfológica
- Descripción del perfil de suelo
- Cobertura y ocupación del suelo
- Caracterización climatológica
- Simulación
- Zonificación de la amenaza

4.1 CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Para identificar los procedimientos que permitirán zonificar la amenaza por fenómenos de remoción en masa bajo agentes climatológicos, fue necesario realizar el estudio en el asentamiento sub-normal la Nohora; por lo cual, concluir con una de las etapas del estudio en campo, significa cumplir con la identificación de uno de los procedimientos para generar la zonificación, en ese orden de ideas los objetivos específicos se definieron a partir del cumplimiento de las etapas del estudio en el asentamiento sub-normal.

Tabla 4–2 Objetivos específicos - Manual de análisis de amenaza por FRM

Objetivos Específicos	
1	Reconocer la condición actual de la zona de estudio con relación a evento de remoción en masa.
2	Caracterizar la geomorfología, climatología y suelo de la zona de estudio.
3	Evaluar el comportamiento de la zona expuesta a la amenaza, mediante un software que permita la simulación de un evento de precipitación extrema.
4	Identificar el nivel de amenaza que tiene la zona de estudio de presentar eventos de remoción en masa bajo agentes climatológicos, de acuerdo con la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos de remoción en masa del Servicio Geológico Colombiano.

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 4-2 se muestra cada uno de los objetivos específicos delimitados para el proyecto de investigación. A continuación, se mostrará, por objetivo específico, los criterios utilizados para definir el correcto desarrollo de cada actividad y como se llegó al respectivo sub-producto, para así exponer los resultados de las pruebas realizadas a cada actividad, con el fin de asegurar calidad a cada procedimiento y el respectivo cumplimiento de cada objetivo específico.

4.1.1 Objetivo específico 1

Como lo menciona en la Tabla 4-2 el objetivo específico 1, consiste en *reconocer la condición actual de zona de estudio con relación a un evento de remoción en masa*. Para realizar un adecuado reconocimiento de la zona de estudio, es necesario ir directa y

personalmente a ella, con el fin de visualizar la condición actual de la ladera, identificar escenarios de peligro y realizar encuestas que permitan determinar la población total y bienes existentes, en caso de que existan urbanizaciones.

Para la condición actual de la ladera se buscó generar un diagnóstico de la zona de estudio, con el fin de verificar que posibles factores puedan detonar un FRM, teniendo en cuenta, precipitación, fallas geológicas visibles, factores antrópicos o mixtos. A continuación, se presenta un registro fotográfico de la actividad realizada



Figura 4–1 Talud artificial vertical para construcción de vivienda. Fuente: Propia



Figura 4–2 Zanja de evacuación de aguas residuales. Fuente: Propia



Figura 4-3 Proceso de remoción en la base de una vivienda. Fuente: Propia



Figura 4-4 Sendero peatonal. Fuente: Propia



Figura 4-5 Talud artificial vertical socavado. Fuente: Propia

En las fotografías mostradas anteriormente, se puede evidenciar el negligente estado de las obras de servicio público, contención de taludes para viviendas y senderos con los que cuenta la zona de estudio; mediante este registro fotográfico se pudo concluir que es necesario realizar un documento técnico donde se registre las posibles causas por las cuales puede ocurrir un fenómeno de remoción en la zona, este documento servirá para futuros estudios relacionados.

Además, se debe realizar un censo-socio económico en la zona de estudio para identificar la población afectada en caso de presentarse un fenómeno de remoción en masa, junto con un estado de las edificaciones y un estimativo de los bienes que allí se encuentran. Este último con el fin de calcular un valor aproximado de las pérdidas económicas que generaría un FRM.

Para el caso específico de la Nohora, se empleó un formato generado por la Oficina de Proyección Social de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, a cargo del Adm. Hernán Eduardo Laskar [28], el cual se creó con el fin de realizar una Caracterización Socio-Económica en los asentamientos subnormales Brisas del Guatiquia, Lambada y Delicias. Esta encuesta se modificó de acuerdo con las necesidades de la investigación, la cual se puede evidenciar en el anexo A.

Cabe aclarar que la aplicación del formato-encuesta se debe realizar en la totalidad del área de estudio, como lo señala la Guía Metodológica del SGC [11] “*Cada bien físico representado de manera cartográfica se debe identificar y caracterizar mediante el diligenciamiento total del formato.*”

La zonificación de la amenaza, tal como se explica en el manual, no requiere conocer el número de habitantes, estado de las edificaciones, ni un estimativo de los bienes existentes que se encuentran en la zona de estudio. Pero es de gran importancia obtener estos datos, para poder continuar con la zonificación de la vulnerabilidad y del riesgo, tal cual como se explica en la guía metodológica del SGC; Es decir, el censo socio-económico es realmente un insumo para futuras investigaciones que se quieran realizar en la zona de estudio.

4.1.2 Objetivo específico 2

Como lo menciona la Tabla 4-2 el objetivo específico 2, consisten en *Caracterizar la geomorfología, climatología y suelo de la zona de estudio*. Es importante mencionar que este objetivo específico contiene implícitamente tres actividades a realizar para llegar a la zonificación de la amenaza, por esta razón se expondrán los criterios utilizados para realizar cada actividad de manera individual.

4.1.2.1 Caracterización geomorfológica

De acuerdo con la Guía metodológica [11], se debe realizar un estudio de la cartografía base, disponible, de la zona de estudio, en caso contrario se debe generar una propia, por esta razón se definió para esta actividad la realización de un levantamiento topográfico con el fin de obtener las curvas de nivel actualizadas del terreno. Para el caso puntual de la Nohora se realizó dicho levantamiento mediante un sobre vuelo con Dron, el cual tomó fotografías de la zona con información específica de coordenadas, altitud y color, con las cuales, mediante el procesamiento por software, se obtuvieron las curvas de nivel, por esta razón en el **Manual VI – Ejemplarizado**, en el **Capítulo 3**, se muestran los criterios técnicos a la hora de realizar la toma de las fotos con el Dron y el procesamiento de imágenes a través de softwares para obtener las curvas de nivel. A continuación, se muestra el resultado del procesamiento de las imágenes.



Figura 4–6 Archivo .tif generado por el procesamiento de la totalidad de fotografías capturadas por el dron, mediante el software Pix4D Mapper. Fuente: Propia

4.1.2.2 Caracterización Climatológica

El criterio utilizado para realizar la caracterización climatológica se basó del método determinístico utilizado y expuesto por la Guía metodológica del SGC [11], el cual consiste en determinar la profundidad del nivel freático en un periodo de retorno de 20 años, teniendo en cuenta la precipitación de la zona, mediante el método de lluvia-escorrentía del Soil Conservation Service, método que se explica en el *Manual VI – Ejemplarizado*, en el **Capítulo 6**. Uno de los indicadores de esta actividad es la realización de mapas climatológicos por años que permitan evidenciar la precipitación en la zona de estudio, por año, mediante el ingreso de información de precipitación máxima en 24 horas por año, consultada de las diferentes estaciones climatológicas y/o pluviométricas cercanas a la zona de estudio, esta información se obtiene a través del IDEAM para el caso de Colombia. La

generación de estos mapas se realizó mediante el software ArcGIS 10.2.2. A continuación en la Figura 4-7 se muestra uno de los mapas climatológicos generados, con base en la información obtenida del año 2016.

El Servicio Geológico Colombiano [11], propone la Formula 4.1 para el cálculo de la

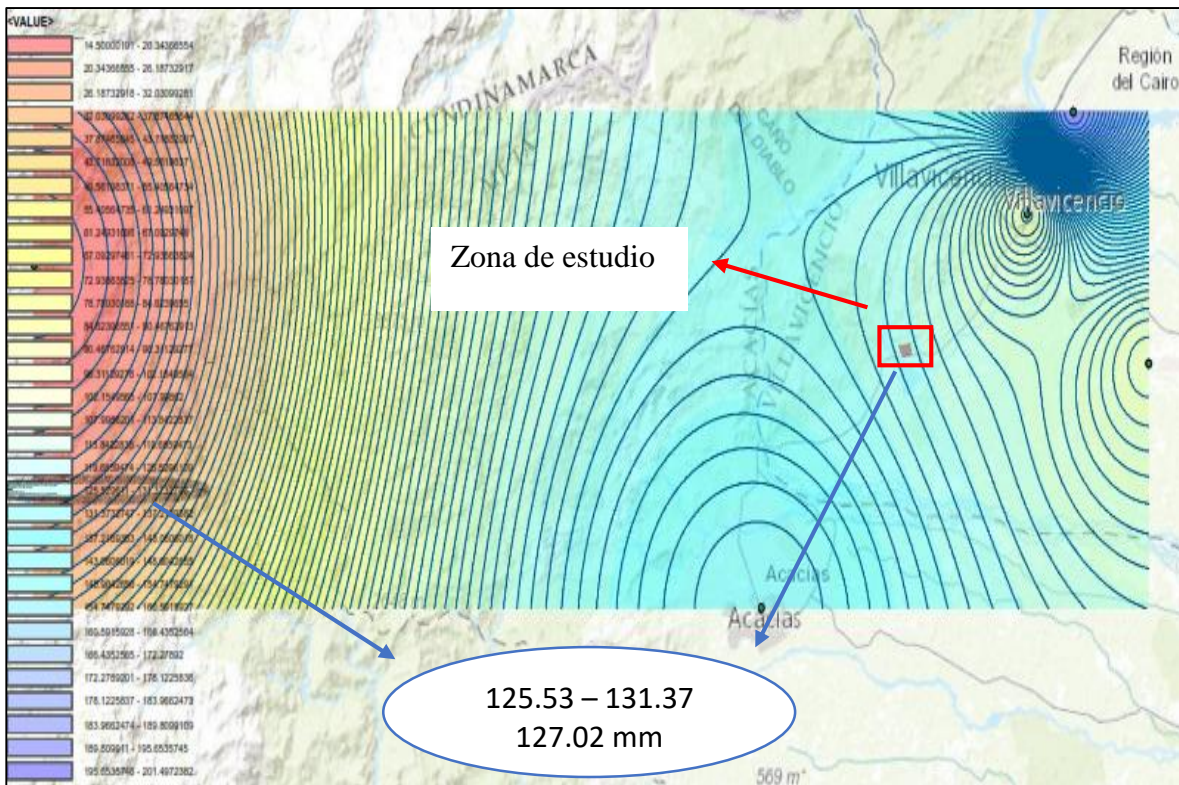


Figura 4–7 Mapa climatológico de la zona de estudio – Año 2016. Fuente: Elaboración propia

profundidad del nivel freático del suelo de la zona de estudio de acuerdo a un periodo de retorno de 20 años:

$$P_{f20} = (\bar{P}_f - 1,65 CV \bar{P}_f) - (I_{i20} * 24) \quad (4.1)$$

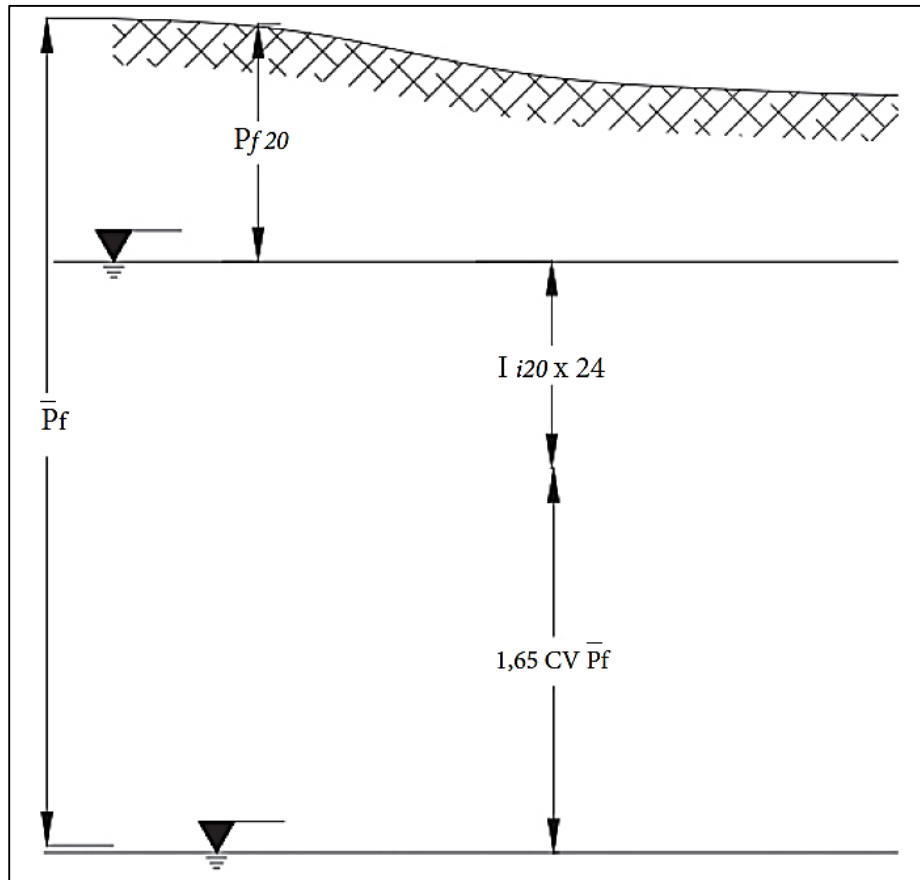
Donde:

P_{f20} : Profundidad del nivel freático asociado a una lluvia de 20 años de periodo de retorno, retorno, en milímetros.

\bar{P}_f : Profundidad media del nivel freático, en milímetros.

$CV \bar{P}_f$: Desviación estándar asignada a la variación del nivel freático, expresado en términos del coeficiente de variación de los acumulados anuales de precipitación infiltrada, en milímetros.

I_{i20} : Intensidad de la lluvia infiltrada diaria para un periodo de retorno de 20 años, en milímetros por hora, siendo 24 el número de horas al día para calcular la precipitación correspondiente acumulada a diario.



En la

Figura

Figura 4-8 Representación de los términos utilizados para calcular la profundidad del nivel freático asociada a un periodo de retorno de 20 años. Fuente: Servicio Geológico Colombiano [11]

4-8 se muestra gráficamente el procedimiento generado en la fórmula de profundidad del nivel freático asociado a una lluvia de 20 años de periodo de retorno

La generación de las curvas IDF para un periodo de retorno de 20 años y una duración de 24 horas, se realizan mediante el método de las *Curvas sintéticas regionalizadas IDF para Colombia* de Vargas & Díaz-Granados [27], la cual se basa en la Formula 4.2.

$$I = a \frac{T^b}{t^c} M^d N^e PT^f \quad (4.2)$$

Donde:

a , b , c , d , e y f : Son parámetros preestablecidos para cada tipo de región presente en Colombia, considerando como regiones a la zona Andina, Caribe, Pacífico y Orinoquia. En el **Manual VI – Ejemplarizado**, en el **Capítulo 6**, se muestran los valores de estos parámetros para cada una de las regiones nombradas anteriormente.

4.1.2.3 Caracterización del suelo

Para la caracterización del suelo se siguieron los lineamientos de una exploración básica, de acuerdo con lo mencionado por la Guía metodológica del SGC [11, p. 46] donde se indica lo siguiente:

- Un sondeo de mínimo 3 metros de profundidad por cada 5 hectáreas de superficie
- Muestreo continuo de por lo menos una muestra por cada metro de perforación
- Se debe determinar la posición del nivel freático en las perforaciones y su variación durante el periodo que dura la exploración. En caso de no encontrarse el nivel freático, se debe indicar claramente en el informe.

Para los ensayos de laboratorio la Guía metodológica del SGC [11, pp. 47 - 48], recomienda lo siguiente:

Todas las muestras obtenidas en la fase de exploración deberán trasladarse de forma adecuada a un laboratorio de suelos. Los tipos de ensayos y la cantidad sugerida se indican en la Tabla 4-3 como porcentaje del número total de muestras.

Tabla 4–3 Porcentaje mínimo de ensayos que se recomienda realizar sobre el total de muestras obtenidas

Tipo de Ensayo	Muestra (%)	Norma	Norma ASTM
Humedad natural	90	NTC-1495-01	ASTM D2216-11
Límites	40	NTC-4630-99	ASTM D4318-11
Granulometría	30	NTC-152299	ASTM D2487-11
Hidrometría	20	INV E-124-07	ASTM D2487-11
Peso unitario	50	INV E-217-07	ASTM D4254-11
Peso específico	10	INV E-223-07	ASTM D4254-11
Compresión simple	12	NTC-1527-00	
Corte directo	10	NTC-1917-00	ASTM D3080-11
Triaxial	5	INV E-153-07	ASTM D4829-11
Triaxial cíclico	2	INV E-153-07	ASTM D3999-11
Consolidación	5	NTC-1967-00	ASTM D2435-11
Expansión	3	INV E-132-07	ASTM D5311-13
Compresión roca	3		ASTM D7012-13

Fuente: Servicio Geológico Colombiano [11]

4.1.2.3.1 Homogenización de estratos

Debido a que el análisis que se propone en el manual, es en tres dimensiones, mediante un software especializado, conviene homogenizar los estratos de suelo, de manera que se facilite la representación gráfica de estos, debido a su variabilidad en un terreno determinado. Por ende, se propone dicha homogenización teniendo en cuenta las propiedades mecánicas, espesor y ubicación del nivel freático de cada estrato, de manera que se establezca un espesor de un estrato homogenizado constante para el escenario de peligro que se esté analizando. Para lograr dicha homogenización El Ministerio de Minas y Energía [29, pp. 113 - 114] propone el establecimiento de un Índice de Homogeneidad bajo la siguiente premisa:

La heterogeneidad de un perfil de suelo es mayor, a mayor número de estratos que lo conforman y más todavía si cada estrato tiene un tipo de suelo diferente, y viceversa; así, por ejemplo, un perfil conformado por un solo estrato es más homogéneo con relación a uno que tiene dos estratos.

De esta manera, para el Índice de Homogeneidad (Ih), El Ministerio de Minas y Energía [29] definió la siguiente formula:

$$Ih = \sum \left(\frac{hi}{L} \right)^{\sqrt{NTS}} \quad (4.3)$$

En donde:

hi : Altura del estrato i

L : Profundidad total de la perforación o apique

NTS : Número total de estratos diferenciados en la perforación o apique

De acuerdo con el criterio establecido, valores de Ih cercanos o iguales a 1.0 indicarían un perfil relativamente homogéneo y, por el contrario, valores cercanos a 0 una gran heterogeneidad.

Debido a que el Índice de Homogeneidad (Ih), mostrado anteriormente indica que tan homogéneo es el perfil de suelo obtenido del sondeo o apique realizado; se estableció una modificación a la Formula 4.3, para así calcular la homogeneidad por estratos y no por perforación. De esta manera la expresión quedaría como:

$$Ih = \sum \left(\frac{hi}{Ee} \right)^{\sqrt{NE}} \quad (4.4)$$

En donde:

hi : Altura del estrato i

Ee : Sumatoria del espesor de los estratos a homogenizar

NE : Número de estratos a homogenizar

4.1.2.4 Cobertura y ocupación del suelo

Como medida adicional, identificada durante el desarrollo del proyecto, se identificó la actividad cobertura y ocupación del suelo, indispensable en la ejecución del estudio de la zonificación de la amenaza, la cual consistió en hallar el número de curva (CN) correspondiente al terreno, derivado de los diferentes tipos de suelo (determinado de acuerdo a su grupo hidrológico) y usos de la tierra que se presenten mediante la clasificación del Soil Conservation Service, mostrada en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4 Valores de número de curva para diferentes grupos hidrológicos y de usos de suelo

Uso del suelo	Grupo Hidrológico del Suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada				
Sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
Con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales				
Condiciones pobres	68	79	86	89
Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos	30	58	71	78
Bosques				
Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
Cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
Óptimas condiciones: cubierta en pasto (75 % o más)	39	61	74	80
Condiciones aceptables: cubierta en pasto (50 al 75 %)	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85 % impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72 % impermeables)	81	88	91	93
Residencial				
Tamaño promedio lote	% promedio impermeable			
1/8 de acre	65	77	85	90
1/4 de acre	38	61	75	83
1/3 de acre	30	57	72	81
1/2 de acre	25	54	70	80
1 de acre	20	51	68	79
Parqueadero pavimentado, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Fuente: Ven Te Chow [33]

Además, se creó un mapa de acuerdo a la metodología Corine Land Cover, adaptada para Colombia por el IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, según lo recomendado por la Guía Metodológica del SGC. En el anexo B, se muestra la tabla de unidades de cobertura del terreno ajustada a la metodología Corine Land Cover para los niveles 1 a 5.

En el Anexo B, se muestra la tabla de unidades de cobertura del terreno ajustada a la metodología Corine Land Cover para los capítulos 1 a 5. Cabe resaltar que esta metodología no permite determinar un número de curva asociado a un tipo de cobertura o uso del suelo específico, por lo cual el manual propone una agrupación de categorías definidas por la metodología Corine e igualarlas a las categorías definidas por la metodología del Soil Conservation Service (ver Tabla 4-4), de esta manera es posible asociar un número curva a las categorías definidas por la metodología Corine. La igualación realizada se puede evidenciar en la Tabla 4 - 5.

Tabla 4-5 Igualación de categorías de cobertura y ocupación del suelo de la metodología del SCS y Corine Land Cover

Metodología SCS	Metodología Corine Land Cover	
	Nivel 2	Nivel 3
Tierra cultivada Sin tratamiento de conservación Con tratamiento de conservación	2.1. Cultivos anuales o transitorios - 2.2. Cultivos permanentes - 2.4. Áreas agrícolas heterogéneas ¹	Todas las clasificaciones existentes
Pastizales	2.3. Pastos	----
Condiciones pobres	----	2.3.3. Pastos enmalezados
Condiciones óptimas	----	2.3.1 Pastos limpios - 2.3.2. Pastos arbolados
Vegas de ríos	4.1. Áreas húmedas continentales - 4.2. Áreas húmedas costeras	Todas las clasificaciones existentes
Bosques	3.1. Bosques - 3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva - 3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	----
Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	Todas las clasificaciones existentes
Cubierta buena	3.1. Bosques - 3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	Todas las clasificaciones existentes
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. Óptimas condiciones: cubierta en pasto (75 % o más) Condiciones aceptables: cubierta en pasto (50 al 75 %)	1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	----
	----	1.4.1. Zonas verdes urbanas
	----	1.4.2. Instalaciones recreativas
Áreas comerciales de negocios (85 % impermeables)	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.1. Zonas industriales o comerciales - 1.2.3. Zonas portuarias - 1.2.5. Obras hidráulicas
Distritos industriales (72 % impermeables)	1.3. Zonas de extracción minera y escombrera	Todas las clasificaciones existentes
Residencial		
Tamaño promedio lote	porcentaje promedio impermeable	
1/8 de acre	65	
1/4 de acre	38	
1/3 de acre	30	
1/2 de acre	25	
1 de acre	20	
	1.1. Zonas urbanizadas	Todas las clasificaciones existentes ²

Tabla 4.5. Continuación

Parqueadero pavimentado, techos, accesos, etc.	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.2 Red vial, ferroviarias y terreno asociados - 1.2.4. Aeropuertos
Calles y carreteras Pavimentados con cunetas y alcantarillados Grava Tierra	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	----
	----	1.2.2 Red vial, ferroviarias y terreno asociados - 1.2.4. Aeropuertos
	No presenta semejanza con la clasificación Corine	
	No presenta semejanza con la clasificación Corine	
No presenta semejanza con la clasificación del SCS	5.1. Aguas continentales ³	Todas las clasificaciones existentes
No presenta semejanza con la clasificación del SCS	5.2. Aguas marítimas ³	Todas las clasificaciones existentes
<p>¹ Tierra cultivada se divide en aquellas con tratamiento y sin tratamiento para asignar el número de curva; debido a que las clasificaciones semejantes de la metodología Corine no especifica esta condición de tratamiento es decisión del usuario que número de curva utilizar.</p> <p>² El numero de curva asociado al uso residencial del suelo depende de la extensión del terreno y el porcentaje promedio de impermeabilidad, características que no se especifican en la metodología Corine por lo cual es necesario que el usuario verifique estas características para asignar el número de curva indicado.</p> <p>³ El número de curva es un valor que indica el nivel de impermeabilidad del suelo, por lo cual las superficies de agua no aplican en la clasificación del SCS y por tanto no cuentan con un número de curva específico.</p>		

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Objetivo específico 3

Como lo menciona la Tabla 4-2 el objetivo específico 3, consisten en *Evaluar el comportamiento de la zona expuesta a la amenaza, mediante un software que permita la simulación de un evento de precipitación extrema*. En esta etapa se recopila toda la información generada de los procedimientos anteriormente ejecutados, para luego ser ingresados en un software especializado en geotecnia. El éxito de este proceso consiste en definir que metodología de análisis de estabilidad de taludes se quiere usar, para así escoger de manera adecuada, el software a usar. Para el caso específico del manual se usó el Método *Determinístico*, el cual consiste en el cálculo de un factor de seguridad (FS) mediante la comparación entre los esfuerzos externos e internos, con la resistencia al corte (τ_f) del suelo.

De acuerdo con Gerscovich, Denise [2] los esfuerzos externos e internos, son denominados como esfuerzos cortantes movilizados (τ_{mov}), definiendo así el factor de seguridad mediante la fórmula:

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_{mov}} \left| \begin{array}{l} > 1 \rightarrow \text{obra estable} \\ = 1 \rightarrow \text{ocurre falla del talud} \\ < 1 \rightarrow \text{no tiene significado físico} \end{array} \right. \quad (4.5)$$

Según Gerscovich, Denise (2015) [2, p. 98] “Existen dos tipos de enfoques para establecer el FS desde un punto de vista determinístico: teoría del equilibrio límite y análisis de esfuerzos”. En el manual no se tratará el enfoque de la teoría del equilibrio límite, debido a que este método es solo para análisis en dos dimensiones (2D) y además presenta algunas deficiencias frente al análisis de esfuerzos por deformación. El **análisis de esfuerzos por deformación** que se plantea en el manual, se ejecutará mediante el método de los **elementos finitos**, asistido por herramientas computacionales.

De acuerdo con Gerscovich, D. [2, p. 105]. Este procedimiento (Análisis de esfuerzos por deformación basados en elementos finitos) tiene la gran ventaja de que los programas disponibles en el mercado posibilitan la inclusión de varias características de los materiales involucrados en el problema, como las siguientes:

- No linealidad de la curva ($\sigma \times \varepsilon$)
- Anisotropía
- Heterogeneidad
- Influencia del estado de esfuerzos inicial
- Etapas de construcción

Además, con respecto al método, Gerscovich, Denise [2, pp. 105 - 106] añade:

El análisis de las condiciones de estabilidad puede hacerse mediante la comparación de los esfuerzos cortantes movilizados, determinados numéricamente, con la resistencia al corte. Esto permite lo siguiente:

- Establecer áreas falladas (plastificadas), en las cuales el esfuerzo cortante movilizado (τ_{mov}) ha igualado a la resistencia al corte ($\tau_{resistencia}$), aun sin establecer una superficie de falla (indicando falla progresiva).
- Establecer niveles de esfuerzo de interés para realizar los ensayos de laboratorio
- Conocer la magnitud de las deformaciones

Ya que el objetivo del manual, es mostrar de manera detallada, el paso a paso de cada una de las actividades necesarias para llevar a cabo la zonificación de la amenaza, en este se muestra el uso del software *Geo-Technical analysis System New eXperience* conocido por sus siglas **GTS NX** de la empresa MIDAS IT *Engineering Software*, ya que este permite utilizar el método de los elementos finitos para analizar taludes con altos niveles de precisión, de acuerdo con las características mismas del método que logran un mayor acercamiento a las condiciones reales del área en estudio. Este software calcula todos los resultados que son esenciales para el análisis del talud; resultados de esfuerzos cortantes, deformaciones y factor de seguridad. En la Figura 4-9 se puede visualizar los resultados de esfuerzo cortante máximo, para una ladera simulada por el software GTS-NX.

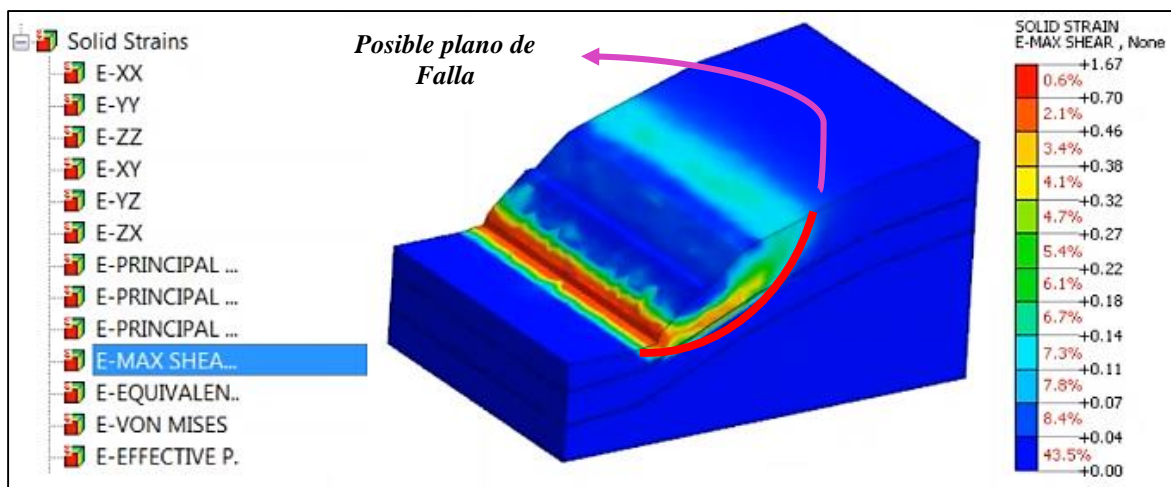


Figura 4-9 Resultados de Esfuerzos Cortantes Máximos dentro del talud analizado.
Fuente: GTS-NX 2016 v.2.1 (64bit) [34]

4.1.4 Objetivo específico 4

Como lo menciona la Tabla 4-2 el objetivo específico 4, consisten en *Identificar el nivel de amenaza que tiene la zona de estudio de presentar eventos de remoción en masa bajo agentes climatológicos, de acuerdo con la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos de remoción en masa del Servicio Geológico Colombiano*. La identificación del nivel de amenaza, según lo recomiendo la metodología del Servicio Geológico Colombiano (para el análisis por el método determinístico), se basa en el factor de seguridad, de manera que la amenaza Alta, Media y Baja está dada en rangos de valores del factor de seguridad obtenido de la simulación de las condiciones de la ladera en el software. En la Tabla 4-6 se muestran los rangos para la identificación de la amenaza.

Tabla 4–6 Clasificación de la amenaza de un talud ante deslizamiento

Nivel de Amenaza	Factor de Seguridad	Color en el Mapa
Alta	< 1,1	Rojo
Media	1,1 - 1,5	Amarillo
Baja	> 1,5	Verde

Fuente: Servicio Geológico Colombiano [11]

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

5.1. CONCLUSIONES

El manual de análisis de amenaza por fenómenos remoción en masa bajo agentes climatológicos fue creado con la finalidad de que sea aplicable para cualquier lugar ubicado en el área urbana o periurbana de la ciudad de Villavicencio. Este producto no tiene precedentes en la región, por lo cual, es un aporte importante para el análisis y prevención de desastres que desencadenan estos fenómenos en la capital del departamento del Meta, además tiene un carácter practicidad, el cual permite que cualquier tipo de interesado en realizar un estudio de amenaza por fenómenos de remoción en masa, lo pueda hacer, sin necesidad de contar con información privilegiada retenida por los distintos entes de control, a un costo accesible.

Si bien el presente estudio generó un solo producto el cual es el manual, la metodología usada para la determinación de los procedimientos incluidos dentro del manual, se basó en un estudio de caso en el asentamiento sub-normal La Nohora, esto permitió tener unos subproductos los cuales se mencionaron Tabla 4-1, estos tienen un impacto directo, positivo, en la comunidad ubicada en la zona de estudio, debido a que es una zona que no cuenta con ayuda por parte de las entidades municipales debido a su estado de ilegalidad predial. De esta misma forma el manual pretende que, a partir de la divulgación del mismo, sea usado por parte de la alcaldía y universidades del municipio, para así generar nuevos estudios de amenaza por fenómenos de remoción en masa bajo agentes climatológicos en otras zonas del municipio, susceptibles por este tipo de evento, teniendo en cuenta que la generación de estos estudios son un aporte directo para la mejora del plan de ordenamiento del municipio.

Como contribución adicional, el manual se creó con el fin de que sea aplicado no solo a la ciudad de Villavicencio específicamente, sino a cualquier lugar donde cuente con características similares a las que presentan las laderas del municipio y donde se establezca un tratamiento de las variables geotecnias, geológicas y climatológicas, es decir a un gran parte del territorio nacional.

5.2. TRABAJOS FUTUROS

Como contribución a futuros trabajos que se pueden derivar del presente proyecto, se pudieron identificar dos oportunidades de mejora durante su ejecución, una de ellas es la inclusión de la sismicidad como factor detonante de los fenómenos de remoción en masa y la otra es la inclusión de la intervención antrópica como factor detonante de los fenómenos de remoción en masa, estos factores se identificaron mediante la revisión bibliográfica y el uso de la Guía metodológica del SGC [11], pues en esta última se incluye la sismicidad al análisis de la amenaza y otros autores usan los factores antrópicos como detonante para el respectivo análisis. La inclusión de estos detonantes dentro del análisis permitirá generar un mayor grado de fidelidad de resultados con respecto a lo que probablemente pueda suceder en la zona de estudio.

Como extensión del presente trabajo o de aquellos que resulten de la mejora del mismo, de acuerdo a las recomendaciones anteriormente señaladas, se propone la generación de manuales de estudio de vulnerabilidad y riesgo, debido a que la generación de áreas de amenaza no es suficiente para solicitar mejoras al plan de ordenamiento territorial, debido a que el estudio de la vulnerabilidad y el riesgo define el grado de exposición de los elementos frágiles (personas y edificaciones) y las posibles consecuencias ocurrido un evento de remoción, respectivamente.

Los fenómenos de remoción en masa no son el único fenómeno natural, de interés nacional, que causa desastres en medio de la población Colombiana, como lo deja ver el Artículo 3 del Decreto 1807 de 2014 [10, p. 3] donde se menciona “...se deben elaborar estudios en los suelos urbanos, de expansión urbana y rural para los fenómenos de inundación, avenidas torrenciales y movimientos en masa”. Por esta razón también se propone la creación de manuales que contengan el análisis de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo para los fenómenos de inundación y avenidas torrenciales, teniendo en cuenta los diferentes que intervienen en la ocurrencia de los mismos, sin importar que ello requiera, antes, la creación de manuales que trabajen tan solo una variable como se hace en el presente proyecto, para poder llegar al resultado final donde se incluyen todas los factores como también todos los

tipos de análisis para generar un impacto positivo en la seguridad de la población de la zona estudiada.

Las recomendaciones y medidas de mitigación son un parte importante en la gestión del riesgo de desastres, pues estas, según la Ley 1523 de 2012 [7, p. 8], se encargan de las:

Medidas de intervención prescriptiva o correctiva dirigidas a reducir o disminuir los daños y pérdidas que se puedan presentar a través de reglamentos de seguridad y proyectos de inversión pública o privada cuyo objetivo es reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible, y la vulnerabilidad existente.

Es por eso que cabe resaltar la importancia de incluir capítulos, dedicados a estas recomendaciones y medidas, en los estudios anteriormente propuestos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. F. Harman Ortiz y G. Chicangana Monton, «Zonificación de amenazas por remoción en masa, sector la Nohora - Montecarlo. Recomendaciones al Plan de Ordenamiento Territorial POT,» *Cap&Cua*, vol. 10, pp. 1-12, 2013.
- [2] D. Gerscovich y t. M. G. López, *Estabilidad de taludes*, Bogotá: Lemoine Editores, 2015.
- [3] D. Cruden, «A simple definition of a landslide,» *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, vol. 43, pp. 27-29, 1991.
- [4] Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para la Comunidades Andinas, «Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para evaluación de amenazas,» *Publicación Geológica Multinacional*, n° 4, 2007.
- [5] D. J. Varnes, *Landslides, analysis and control*, Washington: National Academy of Sciences, 1978.
- [6] D. Cruden y D. J. Varnes, «Landslide types and processes,» *Landslides investigation and mitigation*, vol. 247, pp. 36-75, 1996.
- [7] Congreso de Colombia, *LEY 1523, 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*, 2012.
- [8] Congreso de Colombia, *LEY 164, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, 1994.
- [9] Congreso de Colombia, *LEY 388, Ordenamiento Territorial*, 1997.
- [10] PRESIDENTE DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA, *DECRETO 1807, Integración de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial*, 2014.
- [11] Servicio Geológico Colombia - Universidad Nacional de Colombia, *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*, Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia, 2015.

- [12] J. V.-C. M. M.-P. G. G. Lugo-Hubp, «Procesos gravitacionales en las montañas de Puebla,» *Ciencia y desarrollo*, vol. 25, n° 157, pp. 24-33, 2001.
- [13] L. Capra, «Fenómenos de remoción en masa en el poblado de Zapotitlán de Méndez, Puebla: relación entre litología y tipo de movimiento,» *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 20, núm 2, pp. 95-106, 2003.
- [14] D. Sánchez González, «Precipitaciones extremas y sus implicaciones en procesos de remoción en masa en la palnificación urbana de Tampico, Mexico,» *Cuadernos Geográficos, Universidad de Granada*, vol. 48, pp. 135-149, 2011.
- [15] M. R. Ramírez Navas, «La evaluación del peligro por fenomenos de remoción en masa y su aplicación en la planificación territorial: Ejemplo Provincia de Tungurahua,» 2006.
- [16] M. Elmes Angulo, «Amenaza debido a eventos de precipitación máxima entre los 21° y 34° latitud sur de Chile continental. Análsis de umbrales hidrometeorologicos, gatillantes de remoción en masa por flujos en la cuenca del Río Copiapo,» 2006.
- [17] S. Cartaya, W. Méndez y H. Pacheco, «Modelo de zonificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa a través de un sistema de información geográfica,» *Interciancia: Revista de ciencia y tecnologia de América*, vol. 31, n° 9, pp. 638-643, 2006.
- [18] I. Alcantará Ayala, «ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS DEL TERRENO Y SU APLICACIÓN EN UNA REGIÓN SEMIÁRIDA,» *Revista Mexicana de Geocioencias*, vol. 17, n° 1, pp. 66-75, 2000.
- [19] É. Aristizábal, «Características, Dinámica y Causas del Movimiento en Masa del Barrio El Socorro (31 de Mayo de 2008) en Medellín,» *EIA*, n° 10, pp. 19-29, 2008.
- [20] V. Restrepo, «Dos turistas murieron tras deslizamiento en finca hotel de Guatapé,» *El Colombiano*, p. Digital, 3 Abril 2016.
- [21] M. Isaza, «Siete muertos y seis heridos por deslizamiento en Dabeiba,» *El Colombiano*, p. Digital, 12 Octubre 2016.
- [22] E. Aristizábal, M. F. Gamboa y F. Javier Leoz, «Sistema de Alerta Temprana por Movimientos en Masa Inducidos por Lluvia para el Valle de Aburrá, Colombia,» *Escuela de Ingenieria de Antioquia*, pp. 155-169, 2010.



- [23] M. Alzate Llano, «Análisis de precipitaciones máximas como factor detonante para la amenaza por movimientos en masa en el municipio de Santa Rosa de Cabal - Risaralda,» Univerisdad de Manizales, Manizales, 2015.
- [24] J. G. Rodriguez Solano, C. D. Quintana Cabeza, H. U. Rivera Alarcón y J. Mosquera Tellez, «ZONIFICACIÓN DEL PELIGRO DE REMOCIÓN EN MASA EN LAS ZONAS URBANAS SEGÚN MÉTODO DE ANÁLISIS MORA Y VAHRSON: ESTUDIO DE CASO,» *Revista Ambiental; Agua, Aire y Suelo*, pp. 13 - 22, 2013.
- [25] I. D. Acosta Sabogal, «IMPACTO DEL CAMBIO CLIMATICO EN LA REMOCION EN MASA DEL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO,» *Cap&Cua*, pp. 8 -15, 2014.
- [26] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio, *Metodología de la Investigación*, México: McGraw-Hill Interamericana, 2004.
- [27] R. Vargas y M. Diaz-Granados, «Curvas sintéticas de intensidad-duración-frecuencia para Colombia. Regionalización e implementación de un SIG,» Universidad de los Andes, Bogotá D.C., 1998.
- [28] H. E. Laskar, *CARACTERIZACION SOCIOECONÓMICA DE LA COMUNIDAD DEL CENTRO POBLADO LA NOHORA, VILLAVICENCIO, META*, Villavicencio: Universidas Santo Tomás, 2017.
- [29] Ministerio de Minas y Energía, «Zonificación Integral por Amenazas Naturales para la ciudad de Villavicencio - Meta,» Subdirección de Amenazas Geoambientales, Bogotá D.C., 2001.
- [30] I. Alcántara-Ayala, «Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries,» *Geomorphology*, vol. 47, pp. 107-124, 2002.
- [31] M. H. De Freitas y R. J. Watters, «Some field examples of toppling failure,» *Geotechnique*, vol. 23, p. 495–514, 1973.
- [32] J. Corominas Dulcet y A. García Yagué, «Terminología de los movimientos de laderas,» *Memorias, IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*, p. 1051–1072, 1997.
- [33] V. T. Chow, D. Maidment y L. Mays, *Hidrología aplicada*, Bogotá: McGraw-Hill, 1994.

[34] MIDAS GTS-NX, «MIDAS,» 2 Julio 2014. [En línea]. Disponible en:
<http://midasgtsnx.com/support/manual.asp>.

ANEXOS

ANEXO A

FORMATO ENCUESTA PARA CENSO SOCIO-ECONOMICO

 <p>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA VILLAVICENCIO</p>	<p>CARACTERIZACION SOCIOECONÓMICA DE LA COMUNIDAD DEL CENTRO POBLADO LA NOHORA, VILLAVICENCIO, META</p>	<p>Los datos solicitados en esta encuesta son estrictamente confidenciales y tienen una utilidad académica</p>	 <p>FAECUAD DE INGENIERÍA CIVIL <i>Forma la capacidad de los profesionales por la excelencia que demandamos</i></p>
---	--	--	---



Fecha: _____ Nombre del Recolector: _____

Objetivo: El propósito de esta encuesta es recopilar información que permita caracterizar la situación socioeconómica de los hogares del centro poblado La Nohora del municipio de Villavicencio.

Caracterización de la Manzana Catastral.

Predios definidos	Números de predios en la manzana	
Vías de Acceso	Sendero o Camino	
	Peatonal	
	Vehicular en Tierra	
	Vehicular en recebo	
	Vehicular en Cemento	
Focos de Contaminación	Aguas negras a la vista, botaderos de basura, matadero, plaza de mercado o de ferias, talleres, fábricas, terminales de buses, canchas de tejo, cantinas, billares, bares, etc	
	No	
Anden	Con Anden	
	Sin anden	
Antejardín	Con antejardín	
	Sin antejardín	
Garaje	Garaje cubierto	
	Garaje encerrado	
	Sin garaje	
Material de las Fachadas	En guadua, caña, esterilla, tabla o desechos	
	SIN CUBRIR (adobe, bahareque, tapia pisada, placa prefabricada, bloque o ladrillo común)	
	En revoque (pañete o repello) SIN PINTURA	
	En revoque (pañete o repello) CON PINTURA	
	Con enchapes, en ladrillo pulido o en madera fina	

Manual de análisis de amenaza por fenómenos de remoción en masa bajo agentes climatológicos en el área urbana y periurbana de Villavicencio a escala 1:2000

	<p align="center">CARACTERIZACION SOCIOECONÓMICA DE LA COMUNIDAD DEL CENTRO POBLADO LA NOHORA, VILLAVICENCIO, META</p>	<p align="center">Los datos solicitados en esta encuesta son estrictamente confidenciales y tienen una utilidad académica</p>	
---	---	---	---

Fecha: _____ Nombre del Recolector: _____

Caracterización de la vivienda y servicios:

La vivienda que habitan es:

Casa _____ Apartamento _____ Casa – lote _____ Habitación _____

¿Cuántas habitaciones tiene la vivienda? _____

En el cuarto donde cocinan, ¿también duermen? Sí _____ No _____

¿De qué material es la mayor parte del piso de la vivienda?

Baldosinado _____ Cemento sin baldosinar _____ Madera _____ Plástico _____ Tierra _____

¿De qué material es la mayor parte del techo de su vivienda?

Metálica _____ Asbesto _____ Madera _____ Eternit _____ Paja _____ Losa de concreto _____

¿De qué material son la mayoría de muros de la vivienda?

Ladrillo/concreto _____ Madera _____ Metal _____ Plástico _____ Adobe _____

¿Con cuáles de los siguientes servicios cuenta la vivienda?

a. Luz eléctrica	
b. Gas domiciliario	
c. Alcantarillado	
d. Televisión por cable	

e. Recolección de basura	
f. Agua potable	
g. Teléfono	
h. Internet	

La disposición final de

excretas (sanitario) que utiliza en su hogar es:

- a. Inodoro conectado a alcantarillado _____
- b. Inodoro conectado a pozo séptico _____
- c. Inodoro sin conexión, letrina _____
- d. No tiene servicio sanitario _____

¿Cada cuánto recibe el servicio de agua?

Todos los días _____ Interdiario _____ Semanalmente _____

¿El agua del acueducto llega las 24 horas del día? Sí _____ No _____

El sanitario del hogar es:

- a. Exclusivo de las personas del hogar _____
- b. Compartido con otras personas de otros hogares _____

¿Con qué energía o combustible cocinan principalmente en este hogar?

a. Energía eléctrica	Sí	No
b. Petróleo o gasolina	Sí	No

Manual de análisis de amenaza por fenómenos de remoción en masa bajo agentes climatológicos en el área urbana y periurbana de Villavicencio a escala 1:2000

c. Gas propano en cilindro	Sí	No
----------------------------	----	----

d. Leña, madera, carbón	Sí	No
e. Materiales de desechos	Sí	No
f. Gas natural	Sí	No

¿Cómo eliminan principalmente la basura en este hogar?

a. La recoge el servicio de aseo	Sí	No
b. La entierran	Sí	No
c. La queman	Sí	No

d. La tiran en un patio o calle	Sí	No
d. La tiran en un río o caño	Sí	No
e. La eliminan de otra forma	Sí	No

¿De dónde obtiene principalmente este hogar el agua para el consumo humano?

a. De acueducto	Sí	No
b. De pozo con bomba	Sí	No
c. De aljibe o jagüey	Sí	No
d. Aguas lluvias		

e. De pila pública	Sí	No
f. De carro tanque	Sí	No
g. Otro	Sí	No

Indique el número de los siguientes aparatos con que cuentan en el hogar:

a. Camas	
b. Lavadora de ropa	
c. Calentador de agua	
d. Televisor	
e. Estufa con horno	

f. Computador	
g. Teléfono fijo	
h. Celular	
i. Equipo de sonido	
j. Nevera	

¿En este hogar hay personas menores de tres años que asistan a un hogar comunitario, guardería o preescolar? Sí _____ No _____

En caso afirmativo, ¿cuántas? _____

¿Estas personas reciben en el plantel educativo alimentos (desayunos, medias nueves, almuerzos, etc.) en forma gratuita o por un pago simbólico? Sí _____ No _____

En los últimos doce meses ¿algún miembro de este hogar recibió ayudas o subsidios en dinero o especie de entidades del gobierno nacional o municipal por concepto de:

k. Familias en acción?	
l. Jóvenes en acción?	
m. Familias guardabosques?	
n. Ayudas para emergencias?	

o. Ayudas para desplazados	
p. Programas para adultos mayores?	
q. No recibió ninguna ayuda	
r. Otros subsidios. ¿Cuáles?	

¿Dentro del inventario de servicios y de bienes de este hogar hay computador? Sí _____ No _____

La vivienda permanentemente ocupada por este hogar es:

a. Propia, totalmente paga	Sí	No
b. Propia, la están pagando	Sí	No
c. En arriendo o subarriendo	Sí	No

d. En usufructo	Sí	No
e. Posesión sin título	Sí	No
f. Otro	Sí	No

Manual de análisis de amenaza por fenómenos de remoción en masa bajo agentes climatológicos en el área urbana y periurbana de Villavicencio a escala 1:2000

Información económica del hogar (para el (o la) jefe de hogar o su cónyuge)

¿Cuál es su nivel aproximado de ingresos mensuales (incluya mesadas)?

a. Ninguno	
b. De \$1 a \$200.000	
c. De \$201.000 a \$400.000	
d. De \$401.000 a \$700.000	

a. De \$701.000 a \$1.000.000	
b. De \$1.000.001 a \$\$1.500.000	
c. Más de \$1.500.000	
d. Ns/Nr	

¿Cuál es su nivel aproximado de gastos mensuales?

a. Alimentos	\$
b. Vivienda	\$
c. Vestuario	\$
d. Salud	\$
e. Agua, luz, gas	\$
f. Internet, TV cable	\$

g. Transporte	\$
h. Educación	\$
i. Diversión	\$
j. Celular/teléfono	\$
k. Otros gastos	\$

¿Considera que los ingresos mensuales de su hogar:

a. ¿Son insuficientes para cubrir los gastos básicos del hogar?	
b. ¿Son más que suficientes para cubrir los gastos básicos del hogar?	

¿Se considera usted pobre? Sí ____ No ____

¿La jefatura de este hogar es compartida? Sí ____ No ____

¿Actualmente su ocupación es?

a. Empleado	
b. Desempleado	
c. Trabaja por cuenta propia	
d. Oficios del hogar	

e. Incapacitado para trabajar	
f. Estudiar	
g. Pensionado	
h. Otro. ¿Cuál?	

¿Se dedica a alguna de las siguientes actividades?

a. Albañil	
b. Plomero	
c. Carpintero	
d. Electricista	
e. Estibador (cotero)	
f. Empleada doméstica	
g. Comerciante	
h. Obrero	

i. Conductor	
j. Tendero	
k. Ornamentador	
l. Secretaria	
m. Peluquería	
n. Artesano	
o. Ayudante sin retribución	
p. Otro. ¿Cuál?	

Información general de las familias

Manual de análisis de amenaza por fenómenos de remoción en masa bajo agentes climatológicos en el área urbana y periurbana de Villavicencio a escala 1:2000

Total de Familias que habitan en el hogar: ____

Total de personas que habitan en el hogar: ____

Índice de hacinamiento: No. Miembros del hogar/No. Habitaciones de la vivienda =

Índice de Dependencia: No. Miembros del hogar/No. Miembros que trabajan =

Edad de las personas que habitan en el hogar:

Edad (años)	No. personas	Edad (años)	No. personas
1 – 10		20 – 40	
10 – 15		40 – 60	
15 – 20		Más de 60	

Niños/Jóvenes que están estudiando:

Nivel Educativo	No. personas	Nivel Educativo	No. personas
Preescolar		Técnico	
Primaria		Tecnológico	
Secundaria		Universitario	

Género del jefe de la familia: Masculino ____

Femenino ____

Nivel educativo del jefe de la familia:

Nivel Educativo	Hombre	Mujer	Nivel Educativo	Hombre	Mujer
Analfabeta			Técnico		
Primaria			Tecnológico		
Secundaria			Universitario		

¿Algún miembro del hogar padece alguna discapacidad?:

Tipo de Discapacidad	No. Personas
No puede ver o solo ve sombras	
No puede hablar o tiene dificultades para hacerlo	
No puede oír o necesita un aparato para hacerlo	
Tiene algún retraso o deficiencia mental	
Le faltan brazos y/o piernas	
Tiene problemas para mover brazos y/o piernas	
Necesita ayuda de otra persona para o de un aparato para moverse o caminar	
Padece alguna enfermedad crónica (Obesidad, diabetes, corazón, hipertensión, cáncer, asma, artritis, osteoporosis)	
Ninguna	

Número de personas pensionadas o jubiladas, que residen en el hogar: ____

Manual de análisis de amenaza por fenómenos de remoción en masa bajo agentes climatológicos en el área urbana y periurbana de Villavicencio a escala 1:2000

Cuántas personas del hogar cuentan con alguno de los siguientes beneficios sociales:

Salud ___ COFREM ___ Cotiza a Pensiones ___ Riesgos Laborales ___ SISBEN ___

¿Alguien en el hogar recibe dinero proveniente de remesas del extranjero? Sí ___ No ___

¿Qué tipo de transporte utilizan con mayor frecuencia?

Carro propio ___ Moto propia ___ Bicicleta ___ Transporte público ___

Seguridad Alimentaria

¿Cuántas comidas al día acostumbran a hacer los miembros del hogar?

5 ___ 4 ___ 3 ___ 2 ___ 1 ___

Considerando los últimos 7 días, ¿cuántos días comieron/tomaron en este hogar los siguientes alimentos?

Maíz (incluye arepas) ___ Pasta ___ Pan ___ Arroz ___ Carne de res ___

Pollo ___ Pescado ___ Leche ___ Queso ___ Huevo ___ Aceite ___ Verduras ___

Tubérculos (papa, zanahoria, yuca) ___ Fríjol, lenteja ___ Fruta ___ Azúcar ___

En los últimos tres meses, por falta de dinero ¿alguna vez un (os) miembro (s) de su hogar

	Adulto mayor de 18 años	Joven o niño menor de 18 años
a. tuvo una alimentación basada en muy poca variedad de alimentos?		
b. dejó de desayunar, comer o cenar?		
c. comió menos de los usted piensa que debería comer?		
d. se quedó sin comida?		
e. sólo comió una vez al día o dejó de comer todo un día?		

ANEXO B

UNIDADES DE COBERTURA AJUSTADA SEGÚN METODOLOGÍA CORINE LAND COVER/IDEAM – PARTE I

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	COLOR/CODIGO NIVEL 3	
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.1. Zonas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo		111	
		1.1.2. Tejido urbano discontinuo		112	
	1.2. Zonas industriales o comercilaes y redes de comunicación	1.2.1. Zonas industriales o comerciales		1.2.1.1. Zonas Industriales	121
				1.2.1.2. Zonas Comerciales	
		1.2.2 Red vial, ferroviarias y terreno asociados		1.2.2.1 Red vial y territorios asociados	122
				1.2.2.2. Red ferroviaria y terrenos asociados	
		1.2.3. Zonas portuarias		1.2.3.1 Zonas portuarias fluviales	123
				1.2.3.2 Zonas portuarias marítimas	
		1.2.4. Aeropuertos		1.2.4.1. Aeropuertos con infraestructura asociada	124
			1.2.4.2. Aeropuertos sin infraestructura asociada		
		1.2.5. Obras hidráulicas		125	
	1.3. Zonas de extracción minera y escombrera	1.3.1. Zonas de extracción minera		1.3.1.1. Otras explotaciones mineras	131
				1.3.1.2. Explotación de hidrocarburos	
				1.3.1.3. Explotación de carbón	
				1.3.1.4. Explotación de oro	
				1.3.1.5. Explotación de materiales de construcción	
				1.3.1.6. Explotación de sal	
		1.3.2 Zonas de disposición de residuos		1.3.2.1. Otros sitios de disposición de residuos a cielo abierto	132
			1.3.2.2. Escombreras		
			1.3.2.3. Vertederos		
			1.3.2.4. Relleno sanitario		
	1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	1.4.1. Zonas verdes urbanas		1.4.1.1. Otras zonas verdes urbanas	141
				1.4.1.2. Parques cementerios	
				1.4.1.3. Jardines botánicos	
				1.4.1.4. Zoológicos	
			1.4.1.5. Parques urbanos		
			1.4.1.6. Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas		
1.4.2. Instalaciones recreativas			1.4.2.1. Áreas culturales	142	
			1.4.2.2. Áreas deportivas		
			1.4.2.3. Áreas turísticas		

UNIDADES DE COBERTURA AJUSTADA SEGÚN METODOLOGÍA CORINE LAND COVER/IDEAM – PARTE II

Manual de análisis de amenaza por fenómenos de remoción en masa bajo agentes climatológicos en el área urbana y periurbana de Villavicencio a escala 1:2000

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	COLOR/CODIGO NIVEL 3
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	2.1. Cultivos anuales o transitorios	2.1.1. Otros cultivos transitorios		211
		2.1.2. Cereales	2.1.2.1. Arroz	212
			2.1.2.2. Maíz	
			2.1.2.3. Sorgo	
			2.1.2.4. Cebada	
			2.1.2.5. Trigo	
		2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	2.1.3.1. Algodón	213
			2.1.3.2. Ajonjolí	
			2.1.3.3. Fríjol	
			2.1.3.4. Soya	
			2.1.3.5. Maní	
		2.1.4. Hortalizas	2.1.4.1. Cebolla	214
			2.1.4.2. Zanahoria	
			2.1.4.3. Remolacha	
		2.1.5. Tubérculos	2.1.5.1. Papa	215
	2.1.5.2. Yuca			
	2.2. Cultivos permanentes	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	221
			2.2.1.2. Caña	
			2.2.1.3. Plátano y banano	
			2.2.1.4. Tabaco	
			2.2.1.5. Papaya	
			2.2.1.6. Amapola	
		2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	222
			2.2.2.2. Café	
			2.2.2.3. Cacao	
			2.2.2.4. Viñedos	
			2.2.2.5. Coca	
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	223
			2.2.3.2. Palma de aceite	
			2.2.3.3. Cítricos	
			2.2.3.4. Mango	
	2.2.4. Cultivos agroforestales	2.2.4.1. Pastos y árboles plantados	224	
		2.2.4.2. Cultivos y árboles plantados		
2.2.5. Cultivos confinados		225		
2.3. Pastos	2.3.1. Pastos limpios	231		
	2.3.2. Pastos arbolados	232		
	2.3.3. Pastos enmalezados	233		
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de cultivos	241		
	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	242		
	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	243		
	2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	244		
	2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	245		

UNIDADES DE COBERTURA AJUSTADA SEGÚN METODOLOGÍA CORINE LAND
COVER/IDEAM – PARTE III

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	COLOR/CODIGO NIVEL 3
3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso	3.1.1.1. Bosque denso alto	311
			3.1.1.2. Bosque denso bajo	
		3.1.2. Bosque abierto	3.1.2.1. Bosque abierto alto	312
			3.1.2.2. Bosque abierto bajo	
		3.1.3. Bosque fragmentado	3.1.3.1. Bosque fragmentado con pastos y cultivos	313
			3.1.3.2. Bosque fragmentado con vegetación secundaria	
		3.1.4. Bosque de galería y ripario		314
		3.1.5. Plantación forestal	3.1.5.1. Plantación de coníferas	315
			3.1.5.2. Plantación de latifoliadas	
		3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.1. Herbazal	3.2.1.1. Herbazal denso
	3.2.1.2. Herbazal abierto			
	3.2.2. Arbustal		3.2.2.1. Arbustal denso	322
			3.2.2.2. Arbustal abierto	
	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición		3.2.3.1. Vegetación secundaria alta	323
			3.2.3.2. Vegetación secundaria baja	
	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3.3.1. Zonas arenosas naturales	3.3.1.1. Playas	331
			3.3.1.2. Arenales	
			3.3.1.3. Campos de dunas	
		3.3.2. Afloramientos rocosos		332
		3.3.3. Tierras desnudas y degradadas		333
3.3.4. Zonas quemadas			334	
3.3.5. Zonas glaciares y nivales		3.3.5.1. Zonas glaciares	335	
		3.3.5.2. Zona nivales		

UNIDADES DE COBERTURA AJUSTADA SEGÚN METODOLOGÍA CORINE LAND COVER/IDEAM – PARTE IV

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	COLOR/CODIGO NIVEL 3	
4. ÁREAS HÚMEDAS	4.1. Áreas húmedas continentales	4.1.1. Zonas pantanosas		411	
		4.1.2. Turberas		412	
		4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua		413	
	4.2. Áreas húmedas costeras	4.2.1. Pantanos costeros		421	
		4.2.2. Salitral		422	
		4.2.3. Sedimentos expuestos en		423	
5. SUPERFICIES DE AGUA	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Rios (50 m)		511	
		5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales		512	
		5.1.3. Canales		513	
		5.1.4. Cuerpos de agua artificiales	5.1.4.1. Embalses		514
			5.1.4.2. Lagunas de oxidación		
			5.1.4.3. Estanques para acuicultura continental		
	5.2. Aguas marítimas	5.2.1. Lagunas costeras		521	
		5.2.2. Mares y océanos	5.2.2.1. Otros fondos		522
			5.2.2.2. Fondos coralinos someros		
			5.2.2.3. Praderas de pastos marinos someras		
5.2.2.4. Fondos someros de arenas y cascajo					
5.2.3. Estanques para acuicultura marina		523			