

Análisis de amenaza por procesos de remoción en masa bajo agentes climatológicos en el municipio de Villavicencio, Meta, zona de estudio La Nohora

**Análisis de amenaza por procesos de remoción en masa bajo agentes climatológicos
en el municipio de Villavicencio, Meta, zona de estudio La Nohora.**



Hamilton Sebastián Espitia Pinilla

Miguel Ángel Herrera Rendón

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

**Análisis de amenaza por procesos de remoción en masa bajo agentes climatológicos
en el municipio de Villavicencio, Meta, zona de estudio La Nohora**

Hamilton Sebastián Espitia Pinilla

Miguel Ángel Herrera Rendón

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

Director

Esp. Iván Darío Acosta Sabogal

Especialista en Recursos Hídricos

CoDirector

M.Sc. German Ernesto Chincangana Monton

Magister en Ciencias Geológicas

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ingeniería Civil

Villavicencio,

Mayo

2018

AUTORIDADES ACADÉMICAS

P. JUAN UBALDO LÓPEZ SALAMANCA, O.P.

Rector General

P. MAURICIO ANTONIO CORTÉS GALLEGO, O.P.

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ARTURO RESTREPO RESTREPO, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. FERNANDO CAJICÁ GAMBOA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

JHON JAIRO GIL PELÁEZ, Ph.D.

Decano Facultad de Ingeniería Civil

NOTA DE ACEPTACIÓN

JHON JAIRO GIL PELÁEZ, Ph.D

Decano de Facultad Ingeniería Civil

Esp. IVÁN DARÍO ACOSTA SABOGAL

Director Trabajo de Grado

M.Sc. EDUIN FERNANDO VALDÉS ALVARADO

jurado

Villavicencio, Mayo 2018

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primero que todo eternamente a Dios por su infinita bondad. A nuestras familias, por el apoyo incondicional en nuestro proceso de formación personal y profesional. Expresamos nuestra más sincera gratitud a nuestro director del proyecto, el ingeniero Iván Darío Acosta Sabogal pilar fundamental para la estructuración y desarrollo de la investigación, al ingeniero German Chicangana por su apoyo incondicional en las diferentes etapas de la misma, profesionales íntegros que con toda la disposición nos brindaron su tiempo y conocimientos proporcionándonos las herramientas académicas necesarias para culminar la investigación, a ellos gracias por su respaldo y amistad.

Agradecemos a todos los compañeros que de una u otra manera nos prestaron su colaboración para el desarrollo de la investigación, tanto en la etapa de recolección de información como en el análisis de esta.

Por último, agradecemos a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomas Sede Villavicencio por brindarnos en la medida de lo posible el apoyo para la realización de la investigación.

RESUMEN

Villavicencio se ubica en la región de la Orinoquía colombiana, al nororiente del departamento del Meta en el piedemonte de la Cordillera Oriental, con presencia importante de precipitaciones y alta susceptibilidad a deslizamientos.

La Nohora es un asentamiento subnormal que ha ocasionado pérdida de la cobertura vegetal en la ladera y aumento de las probabilidades de deslizamiento. Este estudio nos brinda la posibilidad de determinar la probabilidad de deslizamiento producido por la precipitación en un determinado tiempo partiendo del análisis de los componentes que tiene el suelo en la zona de estudio y los eventos extremos que puedan desencadenar un fenómeno de remoción.

El objetivo de esta investigación es identificar la probabilidad de un evento de remoción en masa bajo agentes climatológicos de lluvias extremas mediante la simulación de las características que se presentan en la zona con el fin de evaluar el nivel de amenaza de la zona de estudio, realizando un diagnóstico de la condición actual de la ladera, distribución del uso del suelo y el nivel de amenaza a lo largo de todo el asentamiento subnormal como tal.

Según los resultados de la presente investigación se evidencia que el 92.2% del área se encuentra en un nivel de amenaza entre medio y alto, lo cual genera cierta preocupación a la hora de revisar posibles alternativas de mitigación y normalización de la condición legal de la zona.

Palabras Clave: Amenaza, Remoción en masa, Precipitación, Flujo, Probabilidad

ABSTRACT

Villavicencio is located in the region of the Colombian Orinoquía, the northeast of the Department of Meta in the foothills of the Cordillera Oriental, with an important presence of precipitation and high susceptibility to landslides.

The Nohora is a subnormal settlement that has caused loss of vegetation cover on the hillside and increased sliding probabilities. This study gives us the possibility of determining the probability of landslide produced by precipitation in a given time based on the analysis of the components of the soil in the study area and the extreme events that may trigger a removal phenomenon.

The objective of this research is to identify the probability of a mass removal event under extreme rainfall weather agents by simulating the characteristics presented in the area in order to evaluate the threat level of the area of Study, making a diagnosis of the current condition of the hillside, distribution of land use and the level of threat throughout the entire subnormal settlement as such.

According to the results of this research is evidence that 92.2% of the area is at a level of threat between medium and high, which generates some concern when revising possible alternatives to mitigation and normalization of the legal condition of the Area.

Key Word- *Threat, Mass removal, Precipitation, Flow, Probability*

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
TABLA DE CONTENIDO	8
1. INTRODUCCIÓN	15
1.1 MOTIVACIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2 FINALIDAD	16
1.2.1. Objetivo General	16
1.2.2. Objetivo Específicos	16
1.3 APORTES DEL TRABAJO	16
1.4 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO	17
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y CIENTÍFICA	18
2.1. MARCO TEÓRICO	18
2.1.1. Muestreo aleatorio simple	24
2.1.2. Curvas IDF	25
2.1.3. Cobertura y uso del suelo	28
2.1.4. Métodos de análisis	29
2.2. MARCO LEGAL	31
2.3. ESTADO DEL ARTE	34
3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	39
3.1. CRITERIOS DE DISEÑO	39
3.2. DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS	44
3.2.1. Diagnóstico de la zona de estudio	44
3.2.2. Climatología de la zona de estudio	45

3.2.3. Curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)	52
3.2.4. Modelo de elevación digital	53
3.2.5. Cobertura y uso del suelo	54
3.2.6. Geología zona de estudio	57
3.2.7. Suelos de la zona de estudio	58
3.2.8. Infiltración de la zona de estudio	65
3.2.9. Variabilidad del nivel freático.	66
3.2.10. Modelo de amenaza.	68
3.3. DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS FINALES	69
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	72
4.1. DIAGNÓSTICO DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE LA ZONA DE OBJETO DE ESTUDIO CON RELACIÓN A EVENTOS DE REMOCIÓN EN MASA.	72
4.2. MAPAS CLIMATOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO DE LA ZONA OBJETO DE ESTUDIO.	79
4.3. MAPA DE AMENAZA DE LA ZONA DE ESTUDIO.	82
4.4. INFORME DE REPERCUSIONES QUE SE GENERARÍAN TRAS UN EVENTO DE REMOCIÓN EN MASA DESDE UN PUNTO DE VISTA FÍSICO, ECONÓMICO, SOCIAL Y AMBIENTAL.	84
CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	90
5.1. CONCLUSIONES	90
5.2. TRABAJOS FUTUROS	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
ANEXOS	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 Volcamiento en bloque. Fuente: Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para la Comunidades Andinas, 2015.	20
Figura 2-2 Esquema de un deslizamiento rotacional mostrando los rasgos morfológicos característicos. Fuente Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para la Comunidades Andinas, 2015.	22
Figura 2-3 Esquema de expansiones laterales. Fuente Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para la Comunidades Andinas, 2015.	22
Figura 2-4 Esquema de flujos canalizados y no canalizados. Fuente Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para la Comunidades Andinas, 2015.	23
Figura 2-5 Acción de fuerza típica en una rodaja. Fuente Comparison study between traditional and finite element methods for slopes under heavy rainfall	30
Figura 2-6 Localización del Municipio de Villavicencio. Fuente Instituto Geográfico Agustín Codazzi – Alcaldía de Villavicencio, 2012	34
Figura 3-1 Corte transversal de la Ladera. Fuente Autores	43
Figura 3-2 Cobertura y uso del suelo. Fuente Autores	55
Figura 3-3 Segmento de la plancha Geológica 266 - Villavicencio con delimitación y ubicación del perímetro de La Nohora en color rojo. Fuente Servicio Geológico Colombiano, 2001	57
Figura 3-4. Segmento de las convenciones de formaciones geológicas mostradas en la plancha geológica 266. Fuente Servicio Geológico de Colombia, 2001.	58
Figura 3-5 Comparativo estratigrafías sondeos La Nohora. Fuente Autores	63
Figura 3-6 Esquema Nivel freático para un periodo de retorno de 20 años. Fuente Autores	67
Figura 3-7 Cortes del área de estudio. Fuente Autores	68
Figura 3-8 Cortes con el nivel de amenaza. Fuente Autores.	69
Figura 4-1 Esquema Precipitación Max 24h año 2012. Fuente Autores	80
Figura 4-2 Cobertura y uso del suelo. Fuente Autores	81
Figura 4-3 Mapa de Amenaza zona de estudio. Fuente Autores	84

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1 Clasificación de movimientos de falla de taludes según Varnes	18
Tabla 2-2 Clasificación de Varnes de los movimientos según su profundidad.....	19
Tabla 2-3 Valores de los parámetros de la Ecuación de Bernard	27
Tabla 2-4 Resultados para la Región Orinoquia.....	28
Tabla 2-5 Valores de número de curva para diferentes grupos hidrológicos y de uso del suelo	29
Tabla 2-6 Condición de los barrios del Municipio de Villavicencio.....	35
Tabla 3-1 Curva IDF sintética La Nohora	52
Tabla 3-2 Características de uso Suelos	55
Tabla 3-3. Equivalencia entre las clasificaciones de uso y cobertura del suelo entre Ven Te Chow y el POT de Villavicencio.....	56
Tabla 3-4 Coordenadas de los sondeos.....	59
Tabla 3-5 Cuadro Comparativo sondeos 1- 5 La Nohora.....	61
Tabla 3-6 Cuadro Comparativo sondeos 6- 11 La Nohora.....	62
Tabla 3-7 Índice de homogeneidad	64
Tabla 3-8 Características capas del suelo	65
Tabla 3-9 Infiltración Zona de Estudio.....	66
Tabla 3-10 Cortes del área de estudio	68
Tabla 4-1 Población Proyectada.....	74
Tabla 4-2 Porcentaje de usos del suelo.....	81
Tabla 4-3 Número de viviendas afectadas en cada nivel de amenaza.....	85
Tabla 4-4 Precio estimado por vivienda.....	86
Tabla 4-5 Valor estimado de cada nivel de amenaza	86
Tabla 4-6 Síntesis de resultados de la investigación	88

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 2-1 Caída de Rocas en la Comunidad de Chullpa Khasa, Bolivia. Fuente Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para la Comunidades Andinas, 2015.....	20
Imagen 2-2 Deslizamiento traslacional Quebrada la Troya, Argentina. Fuente: Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para la Comunidades Andinas, 2015.....	21
Imagen 2-3 Localización de la zona de estudio. Fuente Google Inc.....	36
Imagen 3-1 Socialización del proyecto en la asamblea de la JAC de La Nohora. Fuente Autores	39
Imagen 3-2 Modelo digital MIDAS. Fuente Autores.....	43
Imagen 3-3 Ortomosaico del asentamiento subnormal La Nohora. Fuente Autores	54
Imagen 3-4 Ubicación de sondeos. Fuente autores	60
Imagen 3-5 Proceso de recolección de información. Fuente Autores.....	70
Imagen 3-6 Polígono formado por las estaciones utilizadas. Fuente Autores.....	70
Imagen 3-7 Puntos críticos. Fuente Autores.....	71
Imagen 4-1 Localización asentamiento subnormal La Nohora. Fuente Google Inc.	72
Imagen 4-2 Vivienda con fachada en madera. Fuente Autores.....	74
Imagen 4-3 Captación de agua Caño Fanagra. Fuente Autores	75
Imagen 4-4 Alcantarillado actual. Fuente Autores.....	76
Imagen 4-5 Punto de acopio de Basura. Fuente Google Inc [30].....	76
Imagen 4-6 Redes de energía a lo largo del asentamiento. Fuente Autores.....	77
Imagen 4-7 Proceso de remoción en masa caso 1. Fuente Autores.....	79
Imagen 4-8 Proceso de remoción en masa caso 2. Fuente Autores.....	79
Imagen 4-9 Casos de estabilización artesanal. Fuente Autores.....	82
Imagen 4-10 Perfil de la ladera. Fuente Autores	83

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 3-1 Hietograma valore medios mensuales de precipitación (mms). Fuente Autores	46
Grafica 3-2 Hietograma valores de precipitación máxima en 24h (mms). Fuente Autores .	47
Grafica 3-3 Valores medios mensuales de Humedad Relativa Fuente Autores	48
Grafica 3-4 Valores medios mensuales de evaporación. Fuente Autores	49
Grafica 3-5 Valores medios mensuales de temperatura media. Fuente Autores	50
Grafica 3-6 Valores de temperatura máxima. Fuente Autores	51
Grafica 3-7 Valores de brillo solar. Fuente Autores.....	52
Grafica 3-8 Curva IDF sintética La Nohora. Fuente Autores.....	53

LISTA DE ANEXOS

Anexo A Tabla de variables climatológicas estación Unillanos	96
Anexo B Levantamiento Digital.....	96
Anexo C . Elaboración De Los Estudios De Pre-Inversión Dentro Del Proceso De Legalización Del Asentamiento De La Nohora -Viviendas De 2 Pisos	96
Anexo D Elaboración De Los Estudios De Pre-Inversión Dentro Del Proceso De legalización Del Asentamiento De La Nohora - Muro De Contención	96
Anexo E Mapa de Probabilidad de Amenaza de Evento de Remoción en Masa en La Nohora	96
Anexo F Mapa de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo	96

1. INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El análisis de los eventos de movimientos en masa tiene principal importancia en nuestra región debido a los constantes cambios climáticos que se han visto en el país provocando grandes desastres en diferentes puntos del mismo [1]. En las últimas décadas se han venido incrementando los asentamientos subnormales en sectores de inestabilidad del municipio, siendo este un factor adicional para que se produzcan eventos de remoción.

La unidad nacional para la gestión del riesgo de desastres tiene como objetivo desarrollar y gestionar procesos de estudios que vulnere la seguridad de la población, respecto a los posibles desastres en las zonas de alto riesgo, evaluando el riesgo y sus posibles consecuencias. Los instrumentos de planeación formularán e implementarán planes de gestión del riesgo para priorizar, programar y ejecutar acciones, en el marco de los procesos de conocimiento del riesgo. La Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimiento en Masa busca reducir los márgenes de subjetividad, por medio de variables y el uso de procedimientos basados en conceptos físicos, lo que involucra la estabilidad de las laderas; por lo tanto, los estudios requieren unas actualizaciones periódicas que se adopten a las condiciones dadas en los cambios naturales o urbanísticos que experimenten los municipios.

Sumado a esto la falta de estudios en este tema por parte de las diferentes entidades de la región para conocer el estado de las diferentes zonas del municipio para el crecimiento del mismo y la seguridad de todos los habitantes. Bajo este contexto, la presente investigación es pertinente, pues que existen algunos estudios que abordan el tema de una manera superficial [4], no existen estudios o trabajos académicos detallados en el departamento que analicen los eventos de remoción en masa en Villavicencio, zona de estudio la Nohora, y por otra parte con la presente investigación se realizara una actualización de los datos tanto de la condición de la zona como de la población que habita en la zona, convirtiéndose en un trabajo base para futuras investigaciones que se puedan presentar sobre el tema en la misma área..

1.2 FINALIDAD

1.2.1. Objetivo General

Analizar la probabilidad de un evento de remoción en masa bajo agentes climatológicos en periodos de precipitaciones máximas mediante la simulación de los mismos en el asentamiento subnormal La Nohora.

1.2.2. Objetivo Específicos

- Efectuar un diagnóstico de la condición actual de la zona de estudio.
- Realizar un análisis geomorfológico y climatológico de la zona de estudio.
- Simular las condiciones de la ladera y su reacción ante un evento de precipitación extrema a procesos de remoción en masa en el área de estudio.
- Identificar el nivel de riesgo que tiene el asentamiento subnormal La Nohora, en cuanto a la relación amenaza, de eventos de remoción en masa bajo agentes climatológicos.
- Determinar la repercusión que se obtendría como resultado de la simulación de un posible evento de remoción en masa desde el punto de vista físico, económico, social y ambiental en la zona de estudio.

1.3 APORTES DEL TRABAJO

Se realizó el mapa de probabilidad de amenaza, el cual se realizó mediante un software especializado, nos permite identificar las zonas más afectadas ante un posible proceso de remoción en masa en la ladera de la zona de estudio. Se realizó el diagnóstico mediante visitas en campo recorriendo predio a predio el estudio realizado en la zona permite identificar el número de predios que existen actualmente en el asentamiento subnormal además de un estimativo de la población del mismo discriminado en un intervalo de edades, lo cual es importante para la misma comunidad de la Nohora que no conoce a ciencia cierta el número de pobladores de la ladera. El mapa de cobertura vegetal se realizó mediante la metodología

de Ven Te Chow permite identificar las zonas en las cuales se presenta un proceso de intervención antrópica fuerte que afecta las condiciones naturales de la ladera, generando una pérdida de consistencia de la misma. El análisis por el factor climatológico es el inicio de un análisis complejo en el cual intervienen distintos detonantes como lo es el sismo, intervención antrópica.

1.4 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

En el presente documento contempla una fundamentación teórica necesaria para comprender los procesos de remoción que se están generando en la zona de estudio, además de esto, las normativas que brindan el soporte jurídico a la necesidad de realizar la investigación en dicho tema. Se muestran algunos casos de remoción en diferentes lugares del país y del mundo. Seguidamente se exponen las metodologías utilizadas para realizar la recolección de la información y su procesamiento, además de los resultados arrojados en cada una de las fases para su posterior interpretación.

Por último, se plasman las condiciones a las cuales se llegaron por medio de la investigación con los trabajos futuros a realizar que permiten complementar el trabajo realizado y comparar los resultados de los insumos necesarios para la simulación de las condiciones de la ladera. Efectuar un diagnóstico de la condición actual de la zona de estudio, el cual nos brinda información vital para el buen desarrollo de la investigación, identificar el nivel de riesgo que tiene el asentamiento subnormal La Nohora, en cuanto a la relación amenaza, de eventos de remoción en masa bajo agentes climatológicos, nos ayuda en la correcta elaboración mediante la utilización de software del mapa de amenaza y determinar la repercusión que se obtendría como resultado de la simulación de un posible evento de remoción en masa desde el punto de vista físico, económico, social y ambiental en la zona de estudio, el cual es fundamental para determinar el nivel de afectación informe de repercusiones que se generarían tras un evento de remoción en masa desde diferentes puntos de análisis.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y CIENTÍFICA

2.1. MARCO TEÓRICO

Remoción en masa: El término “remoción en masa” hace referencia a los movimientos hacia abajo y afuera de todo material que conforma una ladera, el cual puede ser por procesos naturales o procesos antrópicos. Cabe resaltar que solo se necesita un detonante para que se estimule la superficie y se incrementen los esfuerzos o se reduzca la resistencia de este provocando distintos tipos de fallas [2]

Este término también puede ser relacionado con movimiento en masa, deslizamientos o fallas de laderas y taludes, el cual hace referencia a todos los movimientos que se produce en una ladera en sentido descendente, por efecto de la gravedad, de una masa de roca, detritos o de tierras. [3]

Tipos de movimientos en masa

Para explicar los diferentes tipos de movimiento en masa existen diferentes clasificaciones, entre las que se destaca la clasificación de Varnes el cual propone como se puede ver en la Tabla 2-1 una clasificación de los movimientos en masa, aplicable para suelo y rocas. [4]

Tabla 2-1 Clasificación de movimientos de falla de taludes según Varnes

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: Estabilidad de Taludes, 2015.

Otra de las clasificaciones que se le dan a los movimientos en masa dependen de la velocidad y la profundidad del mismo, como lo recomienda en sus estudios Varnes [5] el cual es citado en su libro por Gerscovich [4] y se evidencia en las Tabla 2-2 y la Tabla 2-3.

Tabla 2-2 Clasificación de Varnes de los movimientos según su Velocidad

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: Estabilidad de Taludes, 2015.

Tabla 2-2 Clasificación de Varnes de los movimientos según su profundidad

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

Fuente: Estabilidad de Taludes, 2015.

Caídas: 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 [5]. Como se puede observar en la Imagen 2-1 el proceso de remoción en masa de tipo caída los puntos en los cuales sucede este movimiento son puntuales y no se presenta huella alguna sobre el resto del terreno.



Imagen 2-1 Caída de Rocas en la Comunidad de Chullpa Khasa, Bolivia. Fuente Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para la Comunidades Andinas, 2015.

Volcamiento: se denomina así al 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 y se puede apreciar en la Figura 2-1.

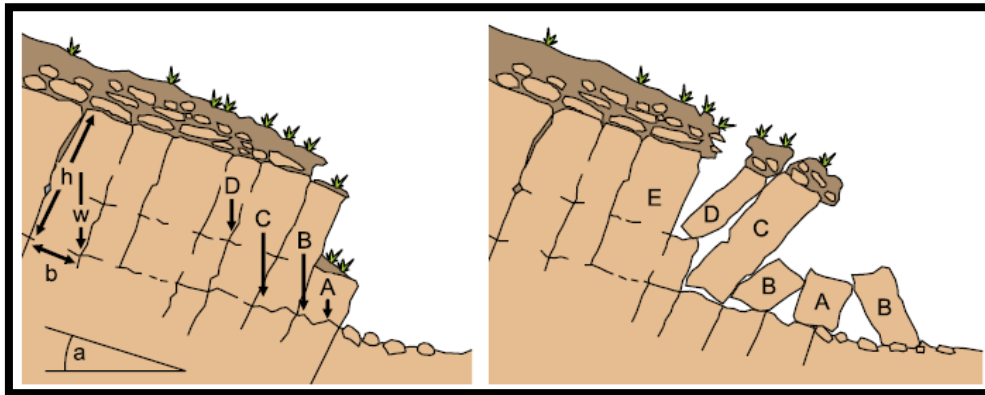


Figura 2-1 Volcamiento en bloque. Fuente: Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para la Comunidades Andinas, 2015.

Deslizamiento: Según el PMA: GCA (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas) deslizamiento es un movimiento 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. [6] Los deslizamientos según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material se pueden clasificar

en traslacionales y rotacionales.

Deslizamiento Traslacional: Un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. Como se puede observar en la Imagen 2-2 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. [7]



Imagen 2-2 Deslizamiento traslacional Quebrada la Troya, Argentina. Fuente: Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para la Comunidades Andinas, 2015.

Deslizamiento Rotacional: 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 un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal como se evidencia en la Figura 2-2. 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.

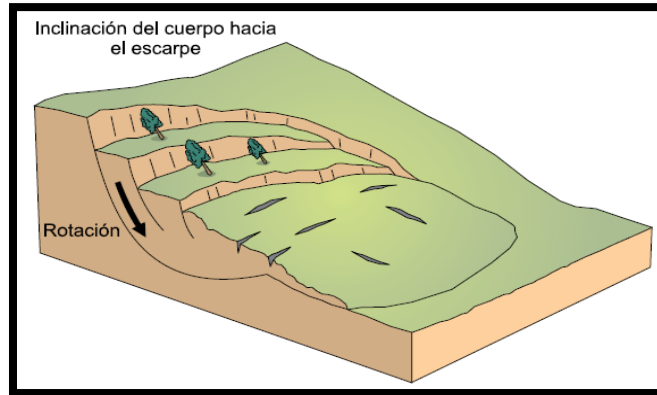


Figura 2-2 Esquema de un deslizamiento rotacional mostrando los rasgos morfológicos característicos. Fuente Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para la Comunidades Andinas, 2015.

Propagación lateral: 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 como se evidencia en la Figura 2-3. 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. [6]

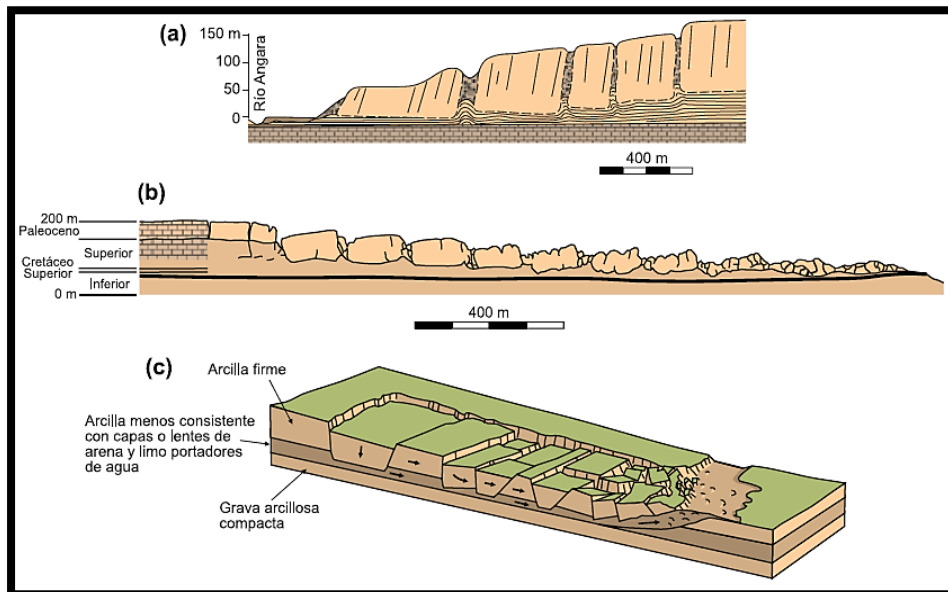


Figura 2-3 Esquema de expansiones laterales. Fuente Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para la Comunidades Andinas, 2015.

Flujo: Tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido ver Figura 2-4; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un ya sea un deslizamiento o una caída [6]

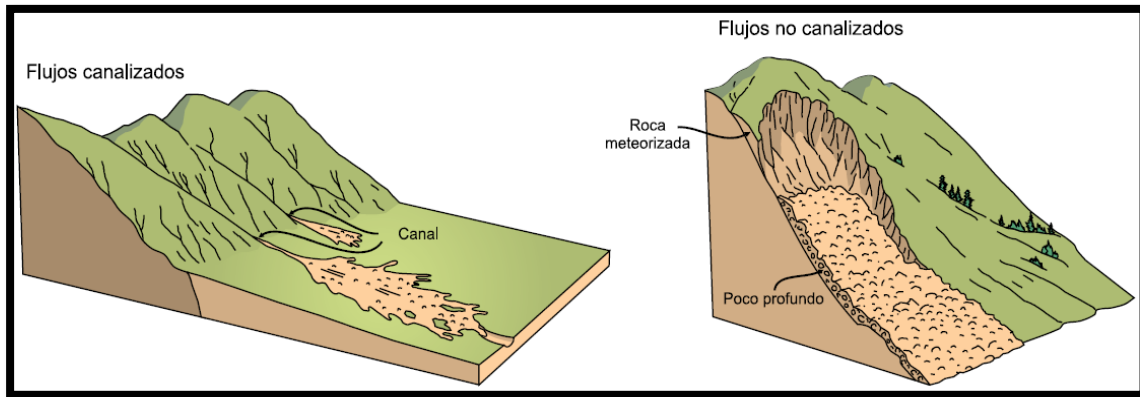


Figura 2-4 Esquema de flujos canalizados y no canalizados. Fuente Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para la Comunidades Andinas, 2015.

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 [3]

Gestión del riesgo: Es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia de este, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible. [3]

Talud: toda aquella superficie que se encuentre inclinada respecto a la horizontal que haya conformado de manera permanente las estructuras de la tierra. [8]

2.1.1. Muestreo aleatorio simple

El muestreo aleatorio simple (M.A.S.) es la técnica de muestreo en la que todos los elementos que forman parte de una población y que, por lo tanto, están descritos en el marco muestra, tienen idéntica probabilidad de ser seleccionados para la muestra. En este tipo de muestreo aleatorio simple, el elemento extraído de la población queda descartado de cara a la siguiente extracción. Es decir, un elemento sólo puede aparecer una vez en la muestra. En el muestreo aleatorio simple sin reposición, la probabilidad de que un elemento de la población sea elegido para formar parte de la muestra es, en la primera elección $1/N$, siendo N el tamaño de la población. La probabilidad que tienen los $N-1$ elementos restantes de ser elegidos en la segunda extracción será $1/(N-1)$, y tras ésta, la probabilidad de ser elegido es $1/(N-2)$. En general, en la n -ésima extracción, cada elemento de la población posee una probabilidad de ser elegido. Es decir, la probabilidad de ser elegido es igual para todos los Centros en cada extracción. Sin embargo, de una extracción a otra, la probabilidad depende del número de extracciones que se hayan realizado hasta el momento.

La probabilidad de obtener una muestra (e_1, e_2, \dots, e_n) cualquiera, o sea, la probabilidad de que el elemento e_1 sea elegido en primer lugar, el elemento e_2 en segundo, y el elemento en n -ésimo lugar vendrá dada por la probabilidad conjunta que calculamos como producto de las probabilidades respectivas para la elección de cada elemento de la muestra, por tanto, la probabilidad que tiene una muestra de ser elegida, de acuerdo con un muestreo aleatorio simple sin reposición corresponde precisamente al número de variaciones sin repetición de tamaño n , que es posible obtener a partir de un conjunto de N elementos. Las variaciones sin repetición de orden n a partir de N elementos representan las muestras ordenadas de n elementos que pueden ser extraídas en la población de tamaño N .

De acuerdo con esto, en el muestreo aleatorio simple sin reposición no sólo todos los elementos tienen idéntica probabilidad de ser elegidos en cada extracción, sino que todas las muestras ordenadas posibles de un mismo tamaño son además equiprobables, esto es esperezado de la siguiente manera.

$$n = \frac{Z^2_{\alpha/2} P Q N}{\varepsilon^2 (N - 1) + Z^2 P Q} \quad (2-1)$$

n: tamaño muestral

N: tamaño de la población

Z: valor correspondiente a la distribución de gauss

P: prevalencia esperada del parámetro a evaluar

Q: 1 – p

ε: error que se prevé cometer

2.1.2. Curvas IDF

Las curvas de Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) se construyen por medio puntos representativos de la intensidad media de precipitación para diferentes duraciones, correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno [9]. Por medio de las curvas IDF es posible estimar la intensidad de tormentas en distintas duraciones y para diferentes periodos de retorno. La metodología tradicional usada para el cálculo de las curvas IDF consiste básicamente en realizar un análisis de frecuencia a cada una de las series de valores máximos de precipitación obtenidas para cada duración.

La serie a la cual se le realiza el análisis de frecuencias puede ser seleccionada de tres formas, a saber:

- Serie máximas anuales, es aquella serie que está conformada por cada uno de los valores máximos de precipitación observados en cada uno de los años de registro.
- Serie de duraciones parciales, en la cual la serie de datos está conformada por aquellos datos que sobrepasan un valor base predefinido.
- Serie de excedencias anuales, en la cual el valor base, de la serie anterior, es seleccionada de tal forma que el número de datos que conforman la serie sea igual al número de años de registros.

No existe un consenso entre los diferentes investigadores de cual tipo de serie de datos

debería ser utilizada en los análisis, sin embargo, algunos reportan que diferentes investigadores le han encontrado sentido teórico al análisis de series parciales [10].

Otros autores reportan que la utilización de cada uno de los tipos de series es determinada por cada proyecto específico en el cual se vayan a utilizar los resultados del análisis de los eventos extremos [11].

2.1.2.1. Ecuaciones que describen las curvas IDF

En 1932, Bernard propuso una ecuación general para las curvas IDF

$$I = a \frac{T^b}{t^c} \quad (2-2)$$

En donde I es la intensidad media en mm/h, T es el tiempo de retorno en años, t es la duración en horas; a, b y c son constantes que dependen del sitio.

Powell, por su parte, propuso en el mismo año los valores de b y c de la ecuación de Bernard como 0.25 y 0.75 respectivamente. De esta forma la ecuación de Powell es:

$$I = K \frac{T^{0.25}}{t^{0.75}} \quad (2-3)$$

En donde K es una constante que depende del sitio; T y t son los mismos parámetros de la ecuación de Bernard. Como parte del análisis, se estableció la aplicabilidad de estas dos ecuaciones. En la primera fase del estudio, [12] después de analizar 62 estaciones se concluyó lo siguiente: siendo la ecuación de Powel un caso particular de-la ecuación de Bernard, restringe las pendientes de las curvas y la separación entre las/mismas (lo cual sucede al asignar valores únicos a los coeficientes e y b respectivamente). En la segunda fase del estudio se verificó la ecuación de Bernard con las 165 curvas IDF obteniendo los valores para cada parámetro de la ecuación que se presentan en la Tabla 2-3. El análisis se hizo por regiones y para el conjunto total de curvas.

Tabla 2-3 Valores de los parámetros de la Ecuación de Bernard

	a		b		c		-2
	μ	e	μ	e	μ	e	
R. Andina (R1)	30.4	9.9	0.19	0.04	0.65	0.09	0.98
R. Caribe (R2)	42.3	9.3	0.21	0.10	0.49	0.12	0.97
R. Pacífico (R3)	36.4	10.6	0.19	0.07	0.56	0.12	0.96
R. Orinoquia (R4)	41.3	10.3	0.20	0.08	0.56	0.08	0.98
TODAS	33.3	10.9	0.19	0.06	0.61	0.12	0.97

Fuente: Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia, 1998.

La ecuación de Bernard es válida para duraciones de lluvias mayores o iguales a 5 minutos.

2.1.2.2. Ecuaciones propuestas para Colombia

En la primera etapa de la investigación se consideró apropiado utilizar la ecuación de Kothyari y Garde pero en una forma más generalizada [12]:

$$I = a \frac{T^b}{t^c} M^d \quad (2-4)$$

Por otro lado, durante la primera etapa se consideró que, dado que la ecuación de Kothyari y Garde no tiene en cuenta el número de días 'tormentosos' al año (el cual si se tiene en cuenta la ecuación de Bell), resultaba conveniente ajustar una ecuación que tuviera un parámetro adicional que contribuyera a describir el régimen de lluvias de un sitio. Se tomó el número de días con lluvia al año. De esta manera, la ecuación correspondiente es:

$$I = a \frac{T^b}{t^c} M^d N^e \quad (2-5)$$

Uno de los objetivos de la segunda etapa era la incorporación de un mayor número de estaciones en todo el país. De esta forma se podrían calibrar de nuevo las Ecuaciones

anteriores, Y eventualmente regionalizarlas. A partir de las 165 curvas se calibraron y verificaron las Ecuaciones anteriores, y dos nuevas ecuaciones que involucran dos parámetros adicionales [12]. Estas ecuaciones son:

$$I = a \frac{T^b}{t^c} M^d N^e P T^f \quad (2-6)$$

Donde:

I: Intensidad

a, b, c, d, e, f: Constante de sitio

T: Tiempo de Retorno en Años

t: Duración en Horas

N: Promedio de días con lluvia al año

PT: Precipitación media anual en mm

Los valores de las constantes de sitio para la región Orinoquia de Colombia las cuales son tomadas a partir de las 4 estaciones las presentan los autores [12] de en la Tabla 2-4

Tabla 2-4 Resultados para la Región Orinoquia

	a	b	C	d	e	f	g	r ²
ec.8	5.53	0.17	0.63	0.42				0.91
ec.9	75.03	0.17	0.63	0.12	-0.23			0.91
ec.11	1.3E-26	0.19	0.58	1.19	-1.46	8.28		0.97
ec.12	1.4E-28	0.19	0.58	5.63	-1.52	6.64	-0.62	0.97

Fuente: Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia

2.1.3. Cobertura y uso del suelo

La interpretación de los valores de cobertura y uso del suelo está relacionada con la estimación del denominado número de curva (CN, por su sigla en inglés), del método lluvia-esorrentía del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de Estados Unidos. El valor de CN depende de la cobertura y uso del terreno, al igual que de la clasificación hidrológica del suelo superficial (A, B, C y D). [6]

Los valores para los distintos usos de suelo y los diferentes grupos hidrológicos del suelo se hallan en la Tabla 2-5 de números de curva escurrentía para usos de tierras agrícolas, suburbana y urbana de Ven te Chow: [13]

Tabla 2-5 Valores de número de curva para diferentes grupos hidrológicos y de uso del suelo

USO DE SUELO	GRUPO HIDROLÓGICO DE 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 porcentaje promedio impermeable				
1/8 de acre 65	77	85	90	92
1/4 de acre 38	61	75	83	87
1/3 de acre 30	57	72	81	86
1/2 de acre 25	54	70	80	85
1 de acre 20	51	68	79	84
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 Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para la Comunidades Andinas, 2015

2.1.4. Métodos de análisis

2.1.4.1 Método de Bishop Simplificado

Este método satisface el equilibrio de la fuerza vertical para cada corte y el equilibrio del momento general alrededor del centro de la superficie de prueba circular. Dado que las fuerzas horizontales no se consideran en cada sector, el método simplificado de Bishop también asume que no hay fuerzas de corte [14]. El momento general de equilibrio de las fuerzas que actúan en cada rebanada es provisto por:

$$\sum M_0 = \sum_{i=1}^n [W(1 - k_v) + U_\beta \cos\beta + Q \cos\delta] R \sin\alpha \quad (2-7)$$

$$- \sum_{i=1}^n [U_\beta \sin\beta + Q \sin\delta] (R \cos\alpha - h) \quad (2-8)$$

$$- \sum_{i=1}^n [S_m] R + \sum_{i=1}^n [k_h W (R \cos\alpha - h_c)] = 0 \quad (2-9)$$

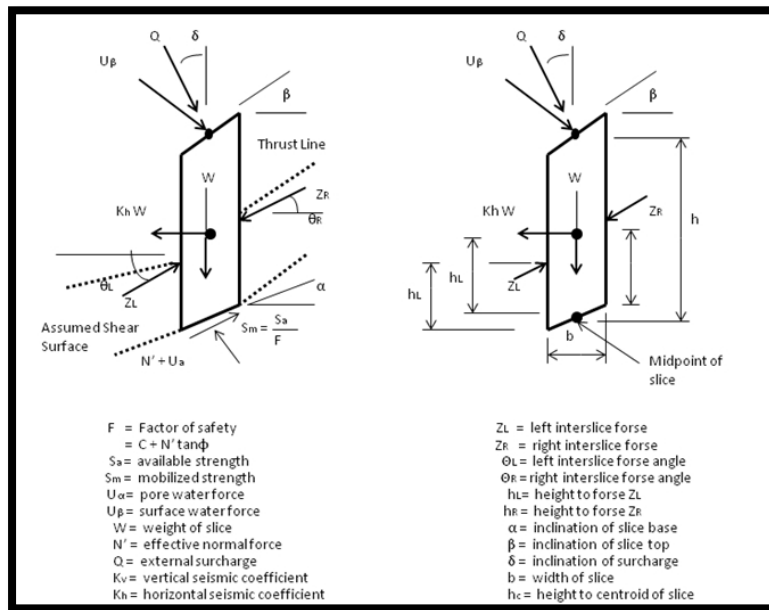


Figura 2-5 Acción de fuerza típica en una rodaja. Fuente Comparison study between traditional and finite element methods for slopes under heavy rainfall

El Método de Bishop, con las siguientes hipótesis [15]:

1. Se supone una superficie de ruptura circular.
2. La masa deslizante se divide en n rebanas o bloques verticales.
3. Se establece el equilibrio de momentos de las fuerzas actuantes en cada rebanada respecto al centro del círculo.
4. A partir de la condición de equilibrio de fuerzas verticales de cada rebanada se obtienen las fuerzas N (normales a la superficie de ruptura) y se sustituyen a la ecuación resultante del equilibrio de momentos.
5. El Método de Bishop Simplificado ignora las tensiones tangenciales entre rebanadas.

Es necesario realizar varias iteraciones para obtener el valor de FS, y la convergencia acostumbra a determinarse rápidamente. Una vez se obtiene el valor del Factor de Seguridad de la superficie considerada, se supone una segunda superficie circular y se determina un nuevo valor de FS; y así sucesivamente hasta obtener un mínimo. Normalmente, las ecuaciones se programan y se analizan círculos con diferentes radios y centros, hasta que se consigue el que proporciona un valor del Factor de Seguridad mínimo.

El método de Bishop puede ser aplicado también a superficies no circulares adoptando un centro de rotación virtual. Es un método adecuado para los cálculos a mano y obtener la convergencia de forma rápida. Haciendo equilibrio de momentos al centro del círculo se obtiene la estabilidad global y su factor de seguridad FS.

2.2. MARCO LEGAL

En el año 1997 el gobierno nacional expidió la ley 388 de 1997, conocida como la “Ley de Desarrollo Territorial”, para diferenciarla de la “Ley de Ordenamiento Territorial” (Ley 1454 de 2011), que establece un mandato para que todos los municipios del país formulen sus respectivos Planes de Ordenamiento Territorial [16].

Dicha ley define el Ordenamiento Territorial como: “...un conjunto de acciones político-administrativas y de planificación física concertadas... en orden a disponer de instrumentos eficientes para orientar el desarrollo del territorio bajo su jurisdicción y regular la utilización, transformación y ocupación del espacio, de acuerdo con las estrategias de desarrollo socioeconómico y en armonía con el medio ambiente y las tradiciones históricas y culturales.”(Artículo 5, ley 388 de 1997).

Y define el Plan de ordenamiento territorial como: “...el conjunto de objetivos, directrices, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas adoptadas para orientar y administrar el desarrollo físico del territorio y la utilización del suelo”. (Artículo 9, ley 388 de 1997).

Según la Norma Sismo Resistente del 2010 (NSR-10) en su capítulo H.5.2. nos menciona las consideraciones generales: Para los análisis de estabilidad de laderas naturales o intervenidas y taludes de excavación, se deben tener en cuenta la geometría del terreno antes y después de cualquier intervención constructiva, la distribución y características geomecánicas de los materiales del subsuelo que conforman el talud, las condiciones hidrogeológicas e hidráulicas, las sobrecargas de las obras vecinas, los sistemas y procesos constructivos y los movimientos sísmicos. [17]

Ley 1523 de 2012 de Abril 24, por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres, establece que todo los municipios del país deben de realizar estudios de riesgo naturales como parte de las políticas donde el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones, gestiona el proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explicitito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible. Constituye una política de desarrollo para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos, mejorar la calidad de vida de las poblaciones y las comunidades en riesgo y, por lo tanto, está intrínsecamente asociada con la planificación del desarrollo seguro, con la gestión ambiental territorial sostenible, en todos los niveles de gobierno y la efectiva participación de la población. Para todos los efectos legales, la gestión del riesgo incorpora lo que hasta ahora se ha denominado en normas anteriores prevención, atención y recuperación de desastres, manejo de emergencias y reducción de riesgos. [18]

La unidad nacional para la gestión del riesgo de desastres tiene como objetivo llevar a cabo el proceso social de la gestión del riesgo con el propósito de ofrecer protección a la población en el territorio colombiano, mejorar la seguridad, el bienestar y la calidad de vida y contribuir al desarrollo sostenible mediante la Identificación de los factores del riesgo, entiéndase: amenaza, exposición y vulnerabilidad, así como los factores subyacentes, sus orígenes,

causas y transformación en el tiempo y análisis y evaluación del riesgo incluyendo la estimación y dimensionamiento de sus posibles consecuencias. Los instrumentos de planeación tienen planes de Gestión del Riesgo. Los tres niveles de gobierno formularán e implementarán planes de gestión del riesgo para priorizar, programar y ejecutar acciones por parte de las entidades del sistema nacional, en el marco de los procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y de manejo del desastre, como parte del ordenamiento territorial y del desarrollo, así como para realizar su seguimiento y evaluación, el Plan Nacional de Gestión del Riesgo abordará las acciones necesarias para la identificación y análisis del riesgo, el monitoreo de los factores de riesgo, la comunicación del riesgo, la reducción de los factores de riesgo mediante la intervención correctiva y prospectiva.

El plan de ordenamiento municipal norte contempla Artículo 54°. - Estudios de Detalle. Los estudios de detalle están orientados a determinar la categorización del riesgo y establecer las medidas de intervención correspondientes en un área determinada. Los titulares de predios que se encuentren en zonas con amenaza media o alta por fenómenos naturales deberán realizar los estudios de detalle que permitan establecer las zonas clasificadas como riesgo mitigable y no mitigable. El Municipio a través de la Secretaria de Planeación y Oficina de Gestión del Riesgo priorizará los estudios de detalle de los que trata el presente artículo teniendo en cuenta prioritariamente los siguientes sectores:

1. Para amenaza por fenómenos de remoción en masa: La Nohora, La Salle, La Colina parte alta, Doce de Octubre, La Pradera y las veredas Buenavista, Pipiral. (parte alta Vereda Buenos Aires donde nace el Caño Tigre).

La norma nacional se basa en la Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimiento en Masa, esta busca reducir los márgenes de subjetividad, por medio de variables y el uso de procedimientos basados en conceptos físicos, lo que involucra la estabilidad de las laderas y su interacción con aspectos sociales, culturales y económicas de las personas que ellas habitan, los estudios de riesgo involucran necesariamente un cierto margen de incertidumbre que es complejo de eliminar, incluso las condiciones de riesgo no son contantes en el tiempo, por lo tanto los estudios requieren unas actualizaciones periódicas que se adopten a las condiciones dadas en los cambios naturales o

urbanísticos que experimenten los municipios. [19]

Esta metodología trabajada se basa en las evaluaciones de las amenazas de tipo cuantitativo, considerando análisis probabilísticos, interrelacionado la vulnerabilidad física de los elementos expuestos, dado que la valoración del riesgo se hace en función de las pérdidas anuales esperadas, separando las pérdidas de vidas humanas y las pérdidas económicas.

2.3. ESTADO DEL ARTE

El municipio de Villavicencio está ubicado en la región de la Orinoquia colombiana, es la capital del departamento del Meta y se visualiza en el contexto nacional como una ciudad funcional y joven con más de 490.000 habitantes. Se ubica a 467 msnm en el piedemonte de la Cordillera Oriental, al nororiente del departamento del Meta. Sus límites político-administrativos son los municipios de Restrepo y El Calvario al norte; Puerto López al este; Acacias y San Carlos de Guaroa al sur; Acacias y el Departamento de Cundinamarca al Oeste. [20]



Figura 2-6 Localización del Municipio de Villavicencio. Fuente Instituto Geográfico Agustín Codazzi – Alcaldía de Villavicencio, 2012

Villavicencio es la ciudad del Departamento del Meta y en general de la región de la Orinoquía, que presenta mayor concentración poblacional. Según las estimaciones DANE para el año 2017 el municipio de Villavicencio cuenta con 505,996 de habitantes los cuales equivalen al 50.69% de la población del departamento, donde 482,045 habitantes se encuentran en la cabecera del municipio y 23,951 en el resto del municipio. [21]

La extensión total del territorio es de 130.084,86 ha (1.300 km²), de la cual 3.923 ha (39,23 km²) corresponden al área urbana [22], por consiguiente, se evidencia una densidad poblacional de 389.23 personas/km² y 12287.66 personas/km² en su área urbana mientras en su área rural es de 19 personas/km². Sin embargo, no se puede precisar una población exacta en el municipio de Villavicencio debido al constante cambio que ha sufrido el municipio y a la población flotante y de víctimas del conflicto que han llegado a refugiarse en la ciudad, para lo cual en estimaciones no oficiales de la Secretaria de Planeación Municipal la cifra de habitantes del municipio estaría cerca de los 530.000 habitantes.

Tabla 2-6 Condición de los barrios del Municipio de Villavicencio

Clasificación	Número de Barrios	%Porcentaje
Legales	321	64%
Informales	153	30.5%
Reconocidos	28	5.5%

Fuente: Secretaria de Planeación Municipal, 2015.

El asentamiento subnormal de La Nohora se encuentra ubicada en el km 11 de la vía entre el municipio de Villavicencio y el municipio de Acacias en la latitud 4° 4'54.50"N y longitud 73°41'50.21"O (ver Imagen 2-3), fundado en 1999 cuenta actualmente con un área aproximada de 21.5 hectáreas (0.22 km²) es un asentamiento subnormal sobre un predio del municipio de Villavicencio que en sus inicios fue adquirido con el fin de construir ahí el relleno sanitario de la ciudad. [23]

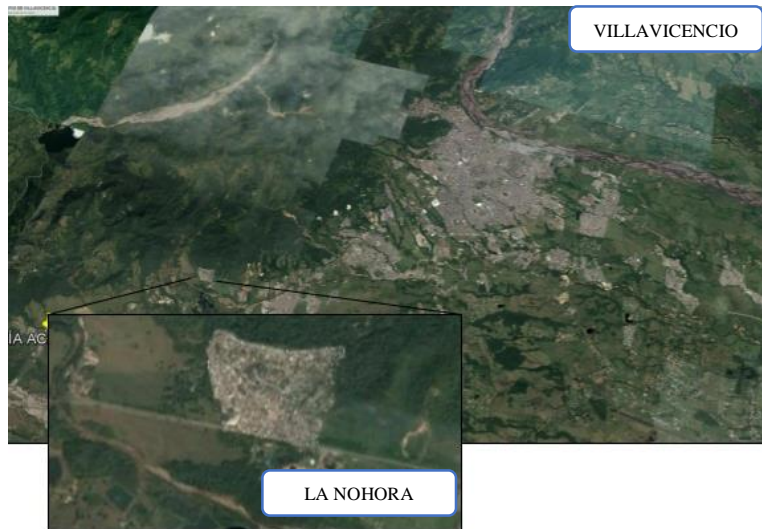


Imagen 2-3 Localización de la zona de estudio. Fuente Google Inc.

La Nohora según la Agencia de la ONU para los Refugiados (ACNUR) cuenta con una población de 4000 al año 2008 [24], dato que no tiene corroboración actualmente ya que ni la Junta de Acción Comunal (JAC) de la Nohora tiene conocimiento de este valor, y hacen referencia a un aproximado de 1300 predios construidos en el asentamiento. Actualmente la Nohora está dividida en 7 sectores internos, dados por el orden de las ocupaciones iniciando por el Sector 1 que fue donde se asentaron los primeros invasores provenientes de las masacres de Mapiripán y Puerto Alvira.

La remoción en masa es un fenómeno que se presenta frecuentemente en Colombia, 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 de este, así mismo los constantes eventos de lluvias extremas que se producen en dichas zonas geográficas. 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. [2]

Por otro lado, 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. Lo que realmente llama la atención 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. 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. [25]

De este modo las investigaciones que buscan determinar la influencia de los factores climáticos en el proceso de remoción en masa se evidenciaron principalmente en la ciudad de Tampico, México, donde se determinó la peligrosidad de las precipitaciones extremas y sus implicaciones en la evaluación y zonificación de los procesos de remoción en masa en dicha ciudad, con el fin de generar una adecuada planificación urbana [26]. Allí se 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.

Una revisión dada sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias, se analizan por métodos estadísticos los cuales definen umbrales críticos donde interactúan la intensidad y la magnitud de los datos y su veracidad con la ocurrencia de posibles eventos.

De esta forma, cuantificar el mecanismo detonante es un paso esencial hacia el pronóstico de la amenaza por movimientos en masa, por lo cual el reto actual se enfoca en cuantificar los procesos físicos relacionados con la infiltración de la lluvia, la recarga de los flujos sub-superficiales y consecuentemente la ocurrencia de los movimientos. [27]

En el análisis al movimiento de masas, requiere de conocimiento de un conjunto de factores, los cuales fundamentalmente son asociados a la infiltración del agua, donde es complejo

determinar. Los deslizamientos de tierra suelen ocurrir como resultado de lluvias fuertes (extremas), algunos de los factores que aumentan el riesgo en zona pobladas, son drenajes deficientes, los efluentes de tanques sépticos, fugas de canales o redes de distribución defectuosas. El documento analiza el movimiento de los deslizamientos de tierra desde el punto de vista de las diferentes etapas de la actividad de deslizamiento de tierra: etapa de pre-falla, falla de salvia, etapa de post-falla y etapa de reactivación [28]

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Es un análisis con un enfoque cuantitativo, descriptivo y de corte transversal, ya que permite detallar e interpretar los factores detectados en los eventos de remoción en masa que se presentan, debido a las precipitaciones máximas en el municipio de Villavicencio. En esta investigación se identificará la probabilidad de remoción en masa, que tiene el talud natural, donde se desarrolló un modelo digital de elevación del terreno, en el que se aplicaran sondeos de suelos en diferentes puntos de la zona de estudio, con los datos obtenidos realizar la estratigrafía del mismo, acompañado del análisis climatológico del área de estudio, donde se simularan en software para el análisis de la información, con el fin de realizar un mapa de amenazas de un posible evento de remoción en masa.

3.1. CRITERIOS DE DISEÑO

En un primer paso se procedió a realizar un diagnóstico a la zona de estudio para determinar el perímetro donde se establecerá el área correspondiente a la zona de estudio, por lo cual se realizó una socialización con la Junta de Acción Comunal (JAC) de la Nohora para exponer los criterios que se tendría durante la investigación y escuchar las opiniones de la comunidad para complementar los mismos.



Imagen 3-1 Socialización del proyecto en la asamblea de la JAC de La Nohora. Fuente Autores

Este diagnóstico tiene como fin de detectar las zonas con mayor probabilidad a un evento de

remoción en masa y ajustados a unos datos más reales, que no se obtendrían si se realizara un análisis con variables generales, con tal fin se ajustó la zona de estudio en un perímetro alrededor de las edificaciones existentes.

Se estableció en primera instancia la importancia del nivel de detalles para generar el mapa de amenaza debido a esto nos basamos en la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimiento en masa el cual se estableció en la elaboración de un estudio básico en una escala 1:5000 la cual permite la definición de zonas en condición de amenaza, para general este nivel de detalle se procedió a definir el mejor método de generar las curvas de nivel para el modelo del terreno de la zona de estudio.

Para el análisis climatológico de la zona de estudio se realizó el análisis de la información de 7 variables de la estación meteorológica Unillanos, ubicada en la 942572.66 NORTE, 1055021.73 ESTE y con altitud 340 msnm. Dichas variables fueron: Precipitación mensual (mms), Precipitación máxima en 24 horas (mms), brillo solar (horas), temperatura media (°C), temperatura máxima (°C), evaporación (mms), humedad relativa (%), La información para esta parte del proyecto fue suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM. Los años que se analizaron están comprendidos dentro del intervalo de tiempo 1983-2016 de manera mensual, para completar los datos faltantes en algunos de los años se hizo una estimación por el método de regresión lineal tomando los datos de la estación UNILLANOS, SENA la cual tiene 948168.783 NORTE, 1048627.461 ESTE, VANGUARDIA la cual tiene 951991.708 NORTE, 1051065.595 ESTE en la ciudad de Villavicencio, la estación ACACIAS la cual tiene 933485.597 NORTE, 1034639.698 ESTE en la ciudad de Acacias.

La generación de las curvas intensidad-duración-frecuencia, permite evaluar las intensidades asociadas al fenómeno de la precipitación presente en una zona determinada para un periodo de retorno dado, de esta forma también se puede calcular el valor de la escorrentía del terreno analizado. Dado a que no se cuenta con una curva IDF real de la zona de estudio, se realiza la elaboración unas curvas IDF sintéticas por medio del método propuesto para las curvas sintéticas regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia propuestas por

Rodrigo Vargas y Mario Diaz-Granados.

En el proceso de determinar la cobertura vegetal de la zona, se procedió a realizar la división de los usos mediante la clasificación propuesta por Ven Te Chow, por medio de la cual también se pudo identificar el grupo hidrológico del suelo, la infiltración se realiza a partir de la clasificación del suelo (A, B, C y D) propuesta en la Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimiento en masa del Servicio Geológico Colombiano donde podemos clasificar la permeabilidad de la zona de estudio, a partir de esto se define qué porcentaje de suelo se presenta y el tipo de cobertura vegetal, cada uno de estos contiene un grupo hidrológico del suelo que a partir del área y su grupo hidrológico se determina su número de curva (CN), este número de curva permite calcular la retención potencial máxima (S).

Para la generación de este modelo de elevación se procedió a hacer la investigación y búsqueda de bases catastrales y cartografías de la zona de estudio la cual no se obtuvo éxito en encontrar dicha información en la escala necesaria, por tal motivo de debió generar nuestro propio modelo, para esto se estableció que el método más viable para generarlo fue por Dron, para esto se procedió a investigar cual es el software más óptimo para la tarea a ejecutar siendo el agisoft photoscan que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos en 3D el cual produce resultados precios y de calidad pero por motivos de capacidad de procesamiento no se pudo ejecutar con dicho software, por tal motivo se ejecutó en el software Pix4D el segundo mejor que se obtiene en el mercado siendo muy similar en precisión y calidad.

Es importante determinar las principales características y los parámetros geotécnicos del subsuelo de la zona subnormal de La Nohora, para comprender el alcance y limitaciones a los cuales nos enfrentamos enmarcado a la remoción en masa. Para caracterizar los materiales de suelo y determinar su comportamiento mecánico ante una sollicitación esperada.

Los materiales geológicos son el producto de la dinámica interna y externa de la tierra que dan lugar a la distribución de los tipos de suelos o rocas y que sus características cambien de

sitio a sitio. Sin embargo, casi nunca es posible conocer completamente las características y tipo de material que subyacen a una zona y siempre hay que regirse a la aproximación de ellas con base en las muestras que se obtenga de la exploración del subsuelo mediante los estudios in situ realizados. Asimismo, las propiedades a determinar dependerán no solo del tipo de material, sino también de las características del proyecto. De igual manera, el grado de aproximación a los valores reales de esas propiedades varía con la cantidad, calidad y pertinencia de la información que se obtenga de los ensayos; a menor información disponible mayor será el grado de generalización, e inclusive llegar al punto de no poder expresar numéricamente una propiedad sino en términos cualitativos.

La determinación del nivel de variabilidad del nivel freático en un periodo de retorno de 20 años, debido a la falta de información de la profundidad del mismo en los sondeos a 6 metros realizados por la alcaldía municipal y el grupo investigador, se plantearon 3 hipótesis para los sondeos en los cuales no se halló nivel freático, a 7m – 8m -10m, y se procede a aplicar la fórmula del pf20 para determinar la profundidad del nivel freático en la cual también influye el valor medio de infiltración y la varianza del mismo.

Se procedió a desarrollar el modelo de elevación en el software donde ejecutaremos el análisis para determinar la probabilidad de falla, en una primera instancia se desarrolló el modelo en el software Midas GTSNX como se evidencia en la Imagen 3-2 donde lo ejecutaríamos en 3D mediante el método de análisis SMR, que tiene como beneficio mostrar los resultados desde cualquier ángulo, identificar qué perfil del suelo detona la falla, volumen de movimiento entre otros datos, debido al tamaño del modelo no fue posible realizar el modelo en dicho software.

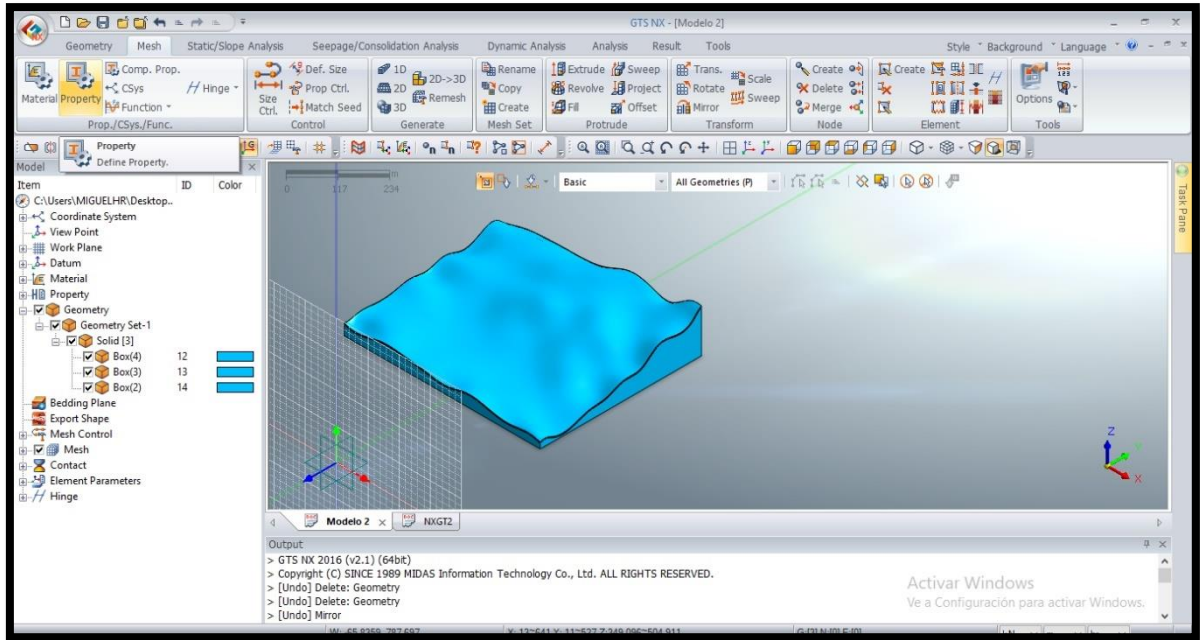


Imagen 3-2 Modelo digital MIDAS. Fuente Autores

Como opción se desarrolló el análisis con el software Rocscience Slide 2018 el cual trabaja el modelo en 2D mediante el método de Bishop que consiste en el análisis mediante rebanadas, donde el software nos permite cargar los datos mecánicos del suelo la malla geográfica del corte del suelo, el nivel freático y la probabilidad de falla del mismo, pero para ello se debe de realizar cortes transversales al talud Figura 3-1 para determinar la malla y realizar interpolaciones de datos para general el mapa de amenaza.

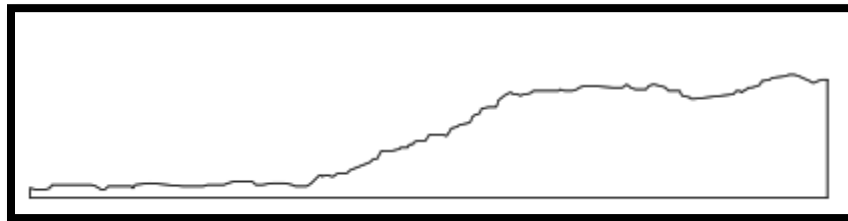


Figura 3-1 Corte transversal de la Ladera. Fuente Autores

Fuente: Autores

3.2. DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS

3.2.1. Diagnóstico de la zona de estudio

Se realizaron recorridos en la zona de estudio ya establecida para identificar las variables principales que se deben evidenciar para su debido desarrollo del sondeo socioeconómico que se realizó siendo las siguientes:

- ¿Tipo de vivienda que habita es? Casa, Apartamento, Casa-lote, Habitación.
- ¿Con cuáles de los siguientes servicios cuenta la vivienda? Luz, Agua, Gas, Alcantarillado, Tv cable, Basura, Teléfono, Internet.
- ¿Cada cuánto recibe el servicio del agua? Todos los días, Intermediario, Semanalmente.
- ¿El agua llega las 24h del día? SI, No.
- ¿Número de electrodomésticos en el hogar? Camas, Lavadora, Calentador, Televisor, Estufa, Computador, Teléfono, Celular, Equipo, Nevera.
- ¿La vivienda es de tipo? Propia, Pagando, Arriendo, Usufructo, Posesión, Otro.
- ¿Su ocupación es? Empleado, Desempleado, Cuneta propia, Oficios hogar, Incapacitado, Estudiar, Pensionado, Otro.
- ¿Edad de las personas que habitan en el hogar? 1-10, 10-15, 15-20, 20-40, 40-60, más 60.

Se recorrió el 100% de la zona de estudio dando como resultado la identificación de la totalidad de las viviendas que hay en la zona, así mismo se estableció el perímetro de la zona para realizar el estudio siendo un contorno de 2.058m. Para establecer la proyección de habitantes se realizó mediante un muestreo aleatorio simple ecuación (2-1), debido a la falta de información de censos residentes en la zona se establece una probabilidad de éxito del 50%, con un error del 5%, como resultado se obtuvo una muestra piloto de 311 encuestas, pero al ajustar esta muestra se obtuvo que las encuestas necesarias serian 261, de las cuales se realizaron 300 encuestas aleatoriamente por toda la zona de estudio previamente definidas.

La dificultad de la recolección de la información radicó en el estilo de vida que tienen los pobladores del asentamiento ya que la mayoría de las personas se dedican a trabajos informales por los cuales no se encontrarían en las viviendas los días que se realizara la

encuesta.

3.2.2. Climatología de la zona de estudio

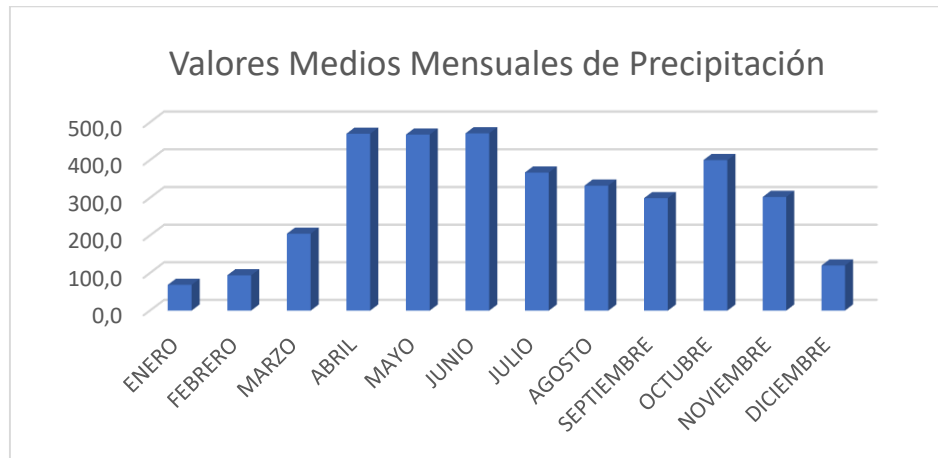
Para realizar el análisis climatológico se solicitó la información de las 4 estaciones mediante el sitio web del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM, los años que se analizaron están comprendidos dentro del intervalo de tiempo 1983-2016 de manera mensual, dependiendo el año a completar de las variables climatológicas se realizó la integración de los datos faltantes entre la estación Unillanos y una de las demás estaciones iniciando por la estación Vanguardia, si dicha estación no contenía la información necesaria para completar el dato en la estación Unillanos se procedía a utilizar la información de una de las otras dos estaciones, en todo caso se utilizaba el método de regresión mediante las herramientas del programa Excel para la generación de gráficos de dispersión, de los cuales se generaban las diferentes ecuaciones que describían el comportamiento de los datos, se escogía la que contara con mayor R² y mediante el comando Buscar Objetivo en el mismo programa se hallaba el dato del mes faltante en la estación Unillanos. Posterior a la generación de los datos faltantes se procede a graficar el comportamiento de los datos a lo largo de los 12 meses del año, por medio de los promedios multianuales de la información en las diferentes variables climatológicas. El clima que se presenta es cálido con un aumento en las últimas décadas de los meses y niveles de precipitación.

PRECIPITACIÓN:

El promedio aritmético de las precipitaciones medias anuales de la estación fue de 302.5mm. La precipitación media mensual mínima se presentó en el mes de febrero en el año 2007 con un valor registrado de 5.4 mm mientras que el valor máximo registrado fue en el mes de octubre del año 2006 con un valor de 766.5mm, los datos analizados están comprendidos dentro del intervalo de los años 1983-2016 como se puede evidenciar en el Anexo A.

En la Gráfica 3-1 se observa el comportamiento de los niveles de precipitación de manera mensual promedio. La precipitación de la estación nos muestra un comportamiento bimodal

en el cual se presenta una creciente en el mes de abril de más del doble del valor presentado en el mes inmediatamente anterior, se presentan niveles altos hasta el mes de noviembre lo cual nos indica que durante todos estos meses se presentan precipitaciones constantes. Se evidencia que durante los últimos años el comportamiento de la precipitación ha sido constante a lo largo de los diferentes meses.



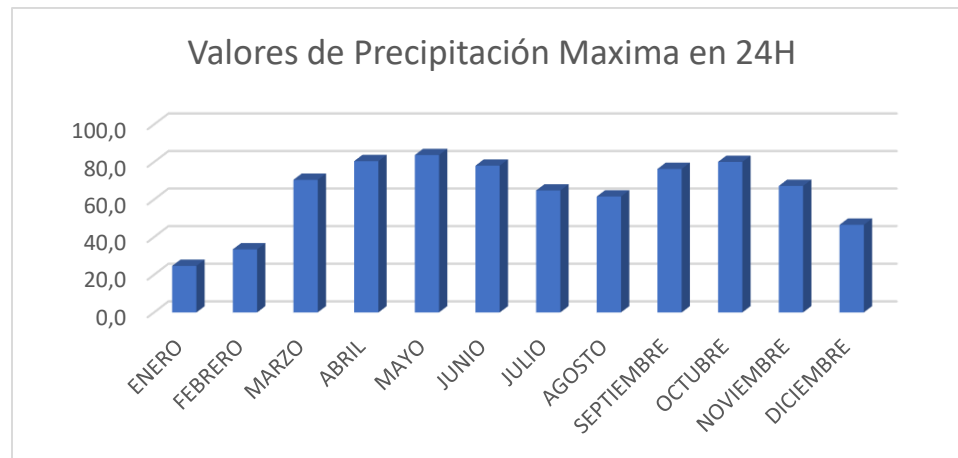
Grafica 3-1 Hietograma valore medios mensuales de precipitación (mms). Fuente Autores

PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS

El promedio aritmético de las precipitaciones máximas en 24 horas de la estación fue de 64mm. La precipitación máxima en 24H mínima se presentó en el mes de enero en el año 2010 con un valor registrado de 0.2 mm mientras que el valor máximo registrado fue en el mes de diciembre del año 2012 con un valor de 223.4mm, los valores mensuales que se analizaron están comprendidos dentro del intervalo de años de 1985-2016 y se puede observar en el Anexo A.

En la Gráfica 3-2 se observa el comportamiento de los valores mensuales promedios de precipitación máxima en 24h. Los valores de precipitación máxima en 24h de la estación nos muestra un comportamiento bimodal en el cual se presenta un incremento en los valores a partir del mes de marzo con más del doble del valor presentado en el mes inmediatamente anterior, entre los meses de julio y agosto se presentó una reducción con relación a los meses anteriores volviendo a incrementar hasta el mes de diciembre. Se podría considera un que

durante la mayoría del año el promedio de precipitación máxima en 24h estuvo por encima de 61 mm de precipitación. Se observa que durante los últimos años el comportamiento de los valores de máximos de precipitación en 24h ha sido constante entre los meses de marzo a diciembre.

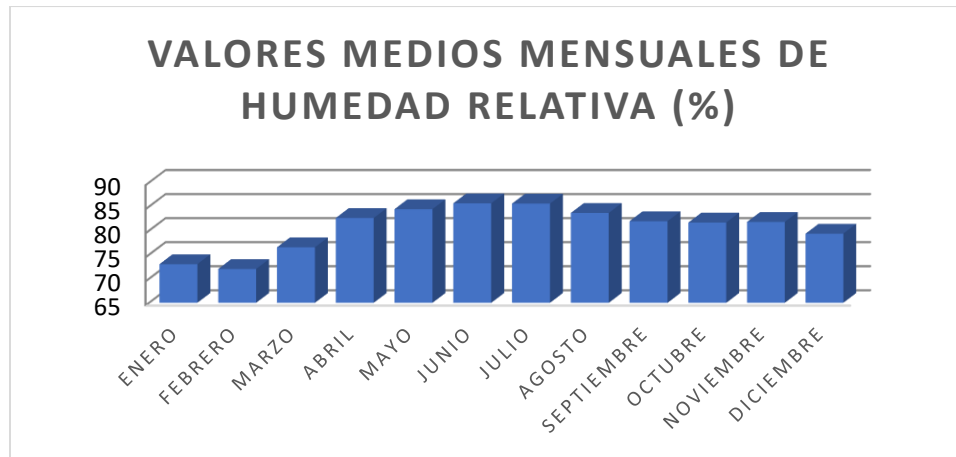


Grafica 3-2 Hietograma valores de precipitación máxima en 24h (mms). Fuente Autores

HUMEDAD RELATIVA (%)

El promedio aritmético de humedad relativa de la estación fue de 81%. La humedad relativa mínima se presentó en el mes de febrero en el año 2007 con un valor registrado de 56% mientras que el valor máximo registrado fue en los meses de mayo y junio del año 2007 con un valor de 90%, valor que no se presentaba desde el mes de junio del año 1995, 12 años después, los datos analizados están comprendidos dentro del intervalo de los años 1985-2016 como se puede evidenciar en el Anexo A.

En la Gráfica 3-3 se observa el comportamiento de los valores de humedad relativa de la estación Unillanos. Los valores de humedad relativa de la estación nos muestran un comportamiento mono modal, en donde el pico más alto de los valores se evidencia en los meses de junio y julio. Se observa una saturación del aire elevado típico de una zona tropical y del piedemonte llanero. En los últimos años el comportamiento de la humedad relativa en la zona de estudio ha sido constante a lo largo de los meses durante cada año, mostrando una tendencia en los valores de cada mes.

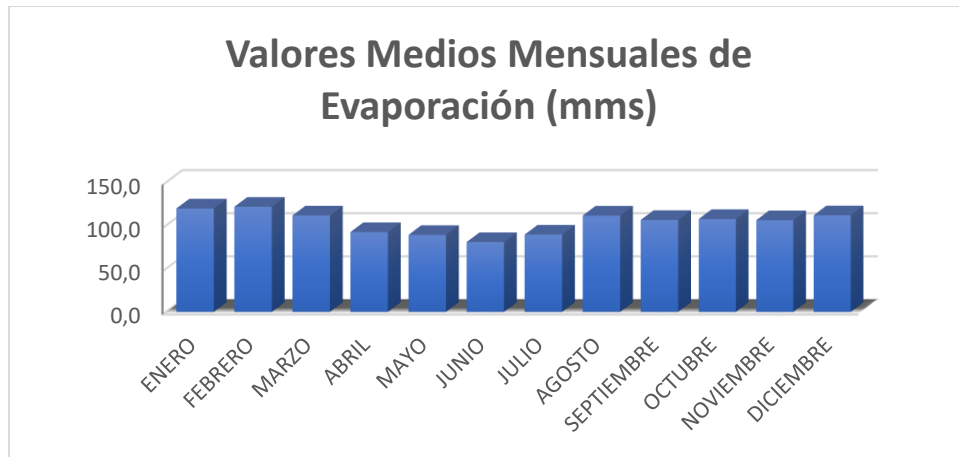


Grafica 3-3 Valores medios mensuales de Humedad Relativa Fuente Autores

EVAPORACION

El promedio aritmético de evaporación de la estación fue de 104.2 mm. La evaporación mínima se presentó en el mes de febrero en el año 1990 con un valor registrado de 45.5mm mientras que el valor máximo registrado fue en los meses de octubre del año 1986 con un valor de 172.2mm. dichos valores son atípicos y no han presentado repetición a lo largo de todos los meses, los valores mensuales que se analizaron están comprendidos dentro del intervalo de años de 1985-2016, salvo los años comprendidos entre 1997-1999 ya que se evidencian problemas para el registro de esta variable por lo cual para estos años solo se presentan los valores relacionados en el informe de la estación pero no se tienen en cuenta para el análisis de los resultados, se puede observar en el Anexo A.

En la Grafica 3-4 se presentan los valores medios mensuales de evaporación en la estación Unillanos donde se observa prácticamente un comportamiento mono modal inversamente proporcional al de la precipitación, en el cual se puede analizar que a lo largo de los diferentes meses los niveles de evaporación son similares por encima de los 100mms.

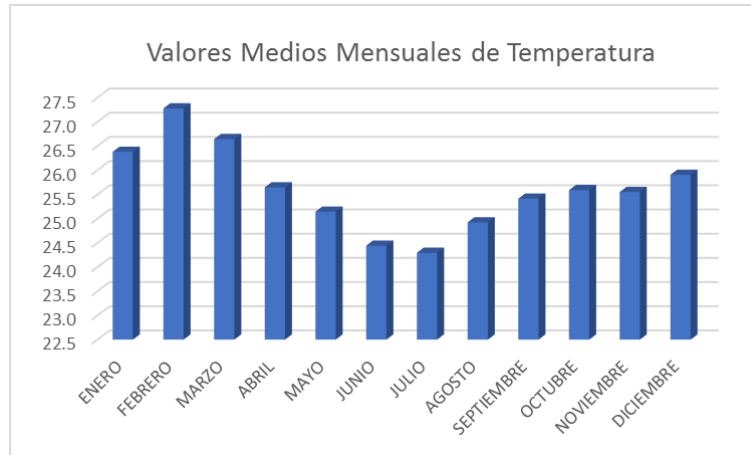


Grafica 3-4 Valores medios mensuales de evaporación. Fuente Autores

TEMPERATURA MEDIA

La variable de temperatura media tuvo un promedio aritmético en la estación de 25.6 °C. La temperatura media mínima se presentó en el mes de julio en el año 1998 con un valor registrado de 23.1 °C mientras que el valor máximo registrado fue en los meses de febrero del año 2007 con un valor de 32.1 °C se observa en la tabla de temperatura media en la estación de referencia oscila entre los 24 °C y los 26°C presentando los cambios más drásticos en los meses de Enero a Marzo donde se presentan los valores registrados más altos, los datos analizados están comprendidos dentro del intervalo de los años 1985-2016 como se puede evidenciar en el Anexo A.

En la Grafica 3-5 se presentan los valores medios mensuales de temperatura media registrados en la estación Unillanos donde se observa prácticamente un comportamiento mono modal en el cual comienza a crecer a partir de julio y presenta su pico más alto en el mes de febrero donde comienza a decrecer nuevamente, los meses de septiembre a noviembre muestran un comportamiento muy similar en la temperatura media de la estación.

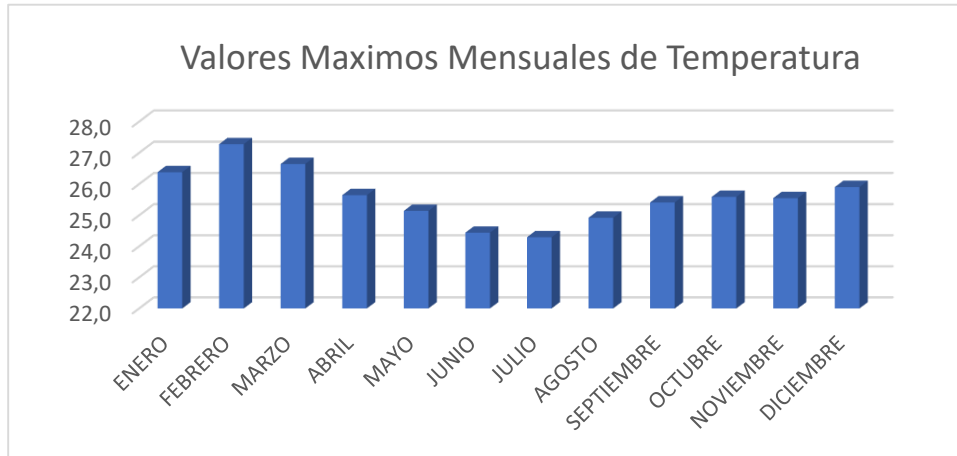


Grafica 3-5 Valores medios mensuales de temperatura media. Fuente Autores

TEMPERATURA MAXIMA

La variable de temperatura máxima tuvo un promedio aritmético de 33 °C. El valor de temperatura máximo mínimo se presentó en el mes de julio en el año 1988 con un valor registrado de 30 °C mientras que el valor máximo registrado fue en los meses de febrero del año 2010 con un valor de 37.8 °C se observa en la tabla de temperatura media en la estación de referencia oscila entre los 32 °C y los 35°C presentando los cambios más drásticos en los meses de Enero a Marzo donde se presentan los valores registrados más altos de todos los 12 meses, los valores mensuales que se analizaron están comprendidos dentro del intervalo de años de 1985-2016 como se puede observar en el Anexo A.

En la Grafica 3-6 se presentan los valores medios mensuales de temperatura máxima registrados en la estación Unillanos donde se observa prácticamente un comportamiento mono modal en el cual comienza a crecer a partir de julio y presenta su pico más alto en el mes de febrero donde comienza a decrecer nuevamente, los meses de septiembre a noviembre muestran un comportamiento muy similar en la temperatura media de la estación, este comportamiento está en concordancia con los valores de temperatura media.

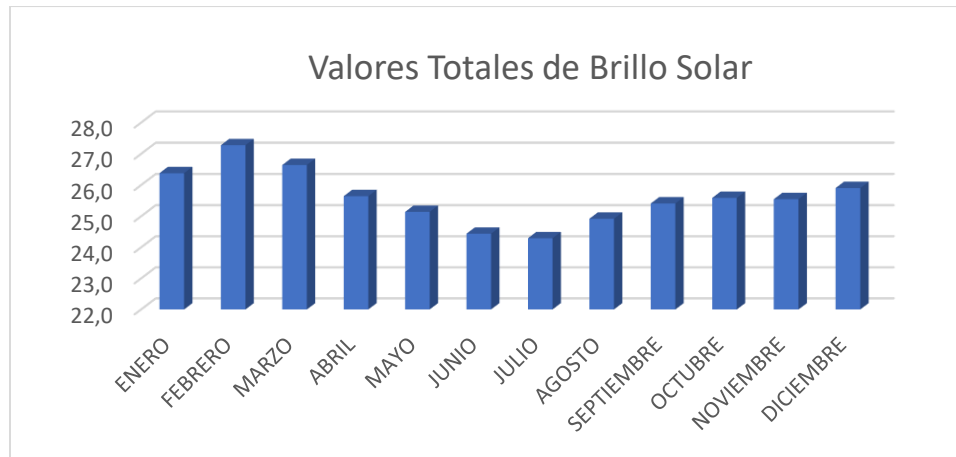


Grafica 3-6 Valores de temperatura máxima. Fuente Autores

BRILLO SOLAR

El promedio aritmético de brillo solar de la estación fue de 135 horas. El valor de brillo solar mínimo se presentó en el mes de marzo en el año 1996 con un valor registrado de 46.8 horas mientras que el valor máximo registrado fue en el mes de diciembre del año 1997 con un valor de 251.9 horas valores atípicos ya que los valores medios de la estación oscilan entre 140 a 160 horas, los datos analizados están comprendidos dentro del intervalo de los años 1985-2016 como se puede evidenciar en el Anexo A.

En la Grafica 3-7 se presentan los valores totales de brillo solar registrados en la estación Unillanos donde se observa prácticamente un comportamiento mono modal en el cual comienza a crecer a partir de julio y presenta su pico más alto en el mes de febrero donde comienza a decrecer nuevamente, los meses de octubre y noviembre muestran un comportamiento muy similar los valores de brillo solar de la estación, este comportamiento está en concordancia con los valores de temperatura lo que nos indica que a mayor temperatura, mayor horas de brillo solar.



Grafica 3-7 Valores de brillo solar. Fuente Autores

3.2.3. Curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)

Para la realización de las curvas IDF, se utilizó la fórmula 11 propuesta para las curvas IDF regionales, teniendo en cuenta para las constantes utilizadas para la región Orinoquia de Colombia donde $a=1.3E-26$, $b=0.19$, $c=0.58$, $d=1.19$, $e=-1.46$ y $f=8.29$ y la sumaria de los promedio del valor máximo anual de precipitación mensual, el promedio de días con lluvia al año de la estación Unillanos fórmula 11 (ecuación 2-6), con periodos de retorno 2.33, 5, 10, 20, 50 y 100 años y con tiempos de retorno 24 horas con periodos de 1 hora. Dando así los resultados que se evidencia en la Tabla 3-1 y en la Grafica 3-8 de las curvas IDF para cada periodo de retorno.

La Tabla 3-1 muestra el comportamiento de las curvas IDF para los periodos de retorno de 2.33,5,10,20,50 y 100 años durante intervalos de 1 hora hasta completar el equivalente a un día, o sea 24 horas.

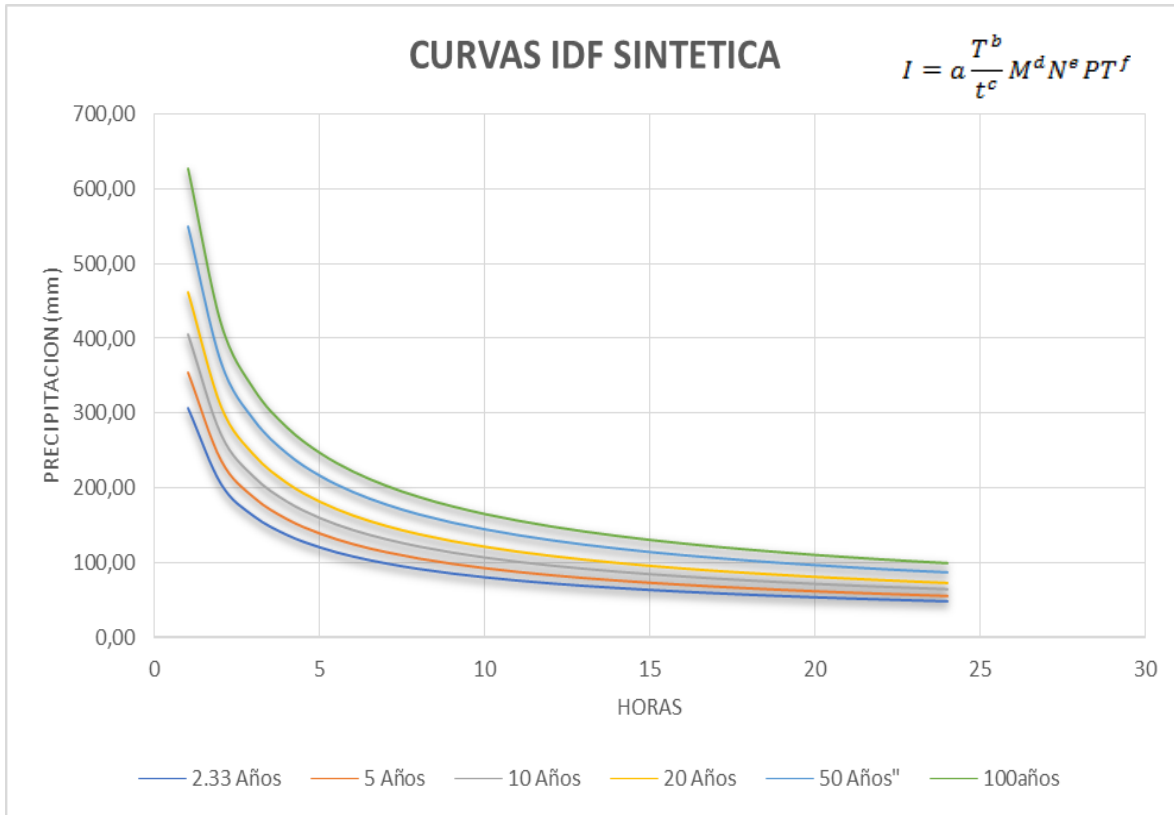
Tabla 3-1 Curva IDF sintética La Nohora

T/t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2,33	306,62	205,12	162,13	137,22	120,56	108,46	99,18	91,79	85,73	80,65	76,31	72,56	69,26	66,35	63,75	61,41	59,28	57,35	55,58	53,95	52,45	51,05	49,75	48,54
5	354,49	237,14	187,45	158,64	139,38	125,39	114,67	106,12	99,12	93,24	88,23	83,88	80,08	76,71	73,70	70,99	68,54	66,31	64,26	62,37	60,63	59,02	57,52	56,12
10	404,39	270,52	213,83	180,97	159,00	143,05	130,81	121,06	113,07	106,37	100,65	95,69	91,35	87,51	84,08	80,99	78,19	75,64	73,30	71,15	69,17	67,33	65,61	64,01
20	461,31	308,60	243,93	206,44	181,38	163,18	149,22	138,10	128,98	121,34	114,81	109,16	104,21	99,83	95,91	92,39	89,19	86,29	83,62	81,17	78,91	76,81	74,85	73,03
50	549,04	367,29	290,32	245,70	215,87	194,21	177,60	164,37	153,51	144,41	136,65	129,92	124,03	118,81	114,15	109,96	106,16	102,69	99,52	96,61	93,91	91,41	89,08	86,91
100	626,33	418,99	331,18	280,29	246,26	221,55	202,60	187,50	175,12	164,74	155,88	148,21	141,49	135,53	130,22	125,43	121,10	117,15	113,53	110,21	107,13	104,28	101,62	99,15

Fuente: Autores

La Grafica 3-8 nos muestra el comportamiento de la información de la Tabla 3-1, en la cual

se evidencia como a medida que transcurre el tiempo, los mms de precipitación disminuyen. Para el análisis de la amenaza y en concordancia con [19] la información que se utilizara es la correspondiente a la curva IDF para el periodo de retorno de 20 años.



Grafica 3-8 Curva IDF sintética La Nohora. Fuente Autores

3.2.4. Modelo de elevación digital

Para desarrollar el modelo se estableció unas etapas de ejecución siendo la primera de ella la captura de información, utilizando la aplicación de planificación de vuelo Pix4D para la operación de campo del dron, revisión de vuelo y la captura de datos óptimos, se procedió hacer el vuelo con el Dron dji phantom 3 que tiene como características graba JPG a 12 Megapíxeles con un sensor 1/2.3”, la lente principal de f/2.8, y el enfoque preestablecido están todos optimizados para fotografías áreas, se realizaron 4 vuelos en toda el área de estudio cada uno de ellos en dos direcciones para obtener resultados precisos a 80 m de altura

sobre el nivel del suelo, para la segunda etapa se analizaron la información para la generación de la nube de puntos 3D derivada de imágenes superpuestas la proporción la ubicación precisa en el espacio de objetos reconstruidos, que se muestra en colores RGB o de clasificación originales, el modelo digital de superficies y terreno que brindan el valor de elevación de cada pixel, con o sin objetos sobre el suelo, listos para su flujo de trabajo por último se procedió a generar el ortomosaico un mapa de alta resolución con cada pixel de las imágenes originales correctamente proyectadas en el modelo de superficie digital Imagen 3-3, sin distractores de perspectiva, pero con geolocalización precisa, realizando estos procesos y se puede observar en el Anexo B.



Imagen 3-3 Ortomosaico del asentamiento subnormal La Nohora. Fuente Autores

3.2.5. Cobertura y uso del suelo

La Nohora es un asentamiento subnormal ubicado en el Cinturón Verde de la ciudad de Villavicencio, para hablar del uso del suelo debemos referirnos a los usos auto-establecidos por los habitantes de la zona y compararlos con la clasificación prevista por Ven Te Chow. La Figura 3-2 muestra la distribución de las zonas según su uso en el asentamiento, dentro

Análisis de amenaza por procesos de remoción en masa bajo agentes climatológicos en el municipio de Villavicencio, Meta, zona de estudio La Nohora

de los cuales se encuentran los pastizales, bosques, áreas abiertas, áreas residenciales y calles, aunque recalcando que lo considerado como calles hace referencia las vías improvisadas que hay a lo largo del mismo, los senderos y caminos que atraviesan la ladera.

Después de realizar el levantamiento digital, se delimito el área de incidencia de los pobladores de la Nohora la cual es aproximadamente 22 Ha de las cuales más del 50% corresponde al uso residencial, como se muestra en la Tabla 3-2

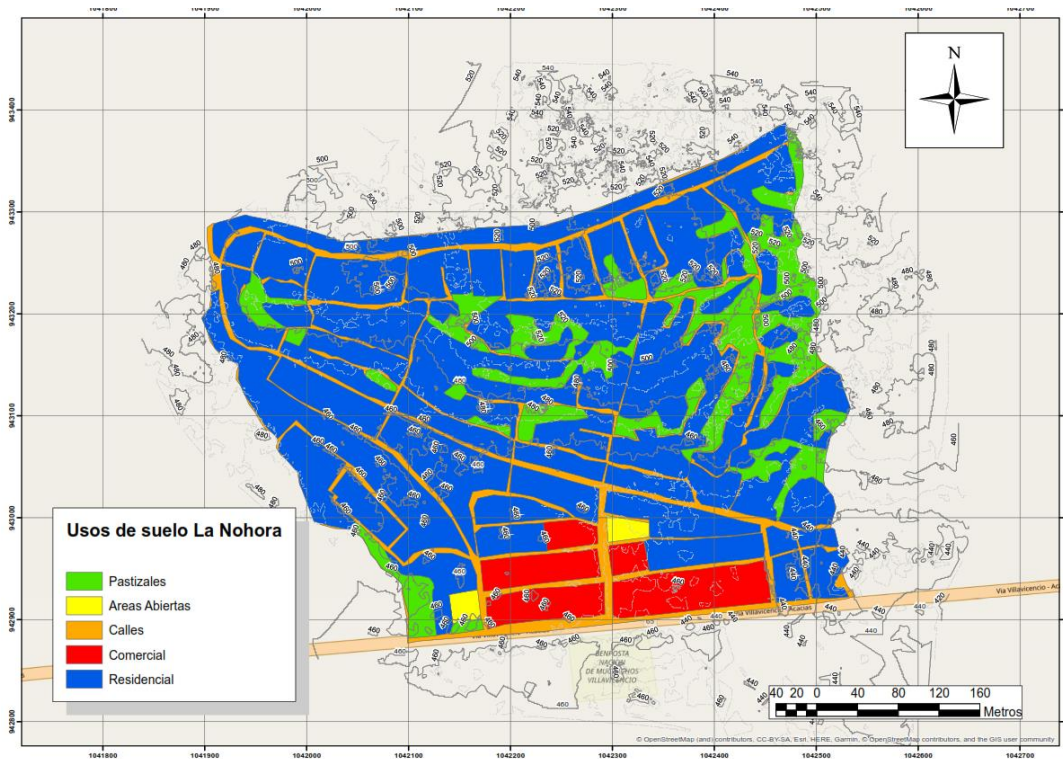


Figura 3-2 Cobertura y uso del suelo. Fuente Autores

Tabla 3-2 Características de uso Suelos

Clasificación	Area (ha)	%	GHS
Comercial	1,59	7,21	94
Abiertas	0,16	0,73	79
Residenciales	13,98	63,39	83
Pastizales	2,60	11,79	74
Calles	3,70	16,78	87

Fuente: Autores

Para una futura adaptación de esta clasificación del uso y cobertura del suelo en el POT del municipio de Villavicencio, se toma como referencia el plano *Clasificación del suelo urbano*, para así, mediante la observación establecer un criterio para hacer esta equivalencia entre clasificaciones. En la Tabla 3-3 se muestran los resultados.

Tabla 3-3. Equivalencia entre las clasificaciones de uso y cobertura del suelo entre Ven Te Chow y el POT de Villavicencio.

Clasificación	Ven te Chow	Residencial	Comercial	Calles	Áreas abiertas	Pastizales
según	POT de Villavicencio	Suelo Urbano	Suelo Urbano	Suelo Urbano	Parques y zonas Verdes	Parques y Zonas Verdes

Fuente: Autores

3.2.6. Geología zona de estudio

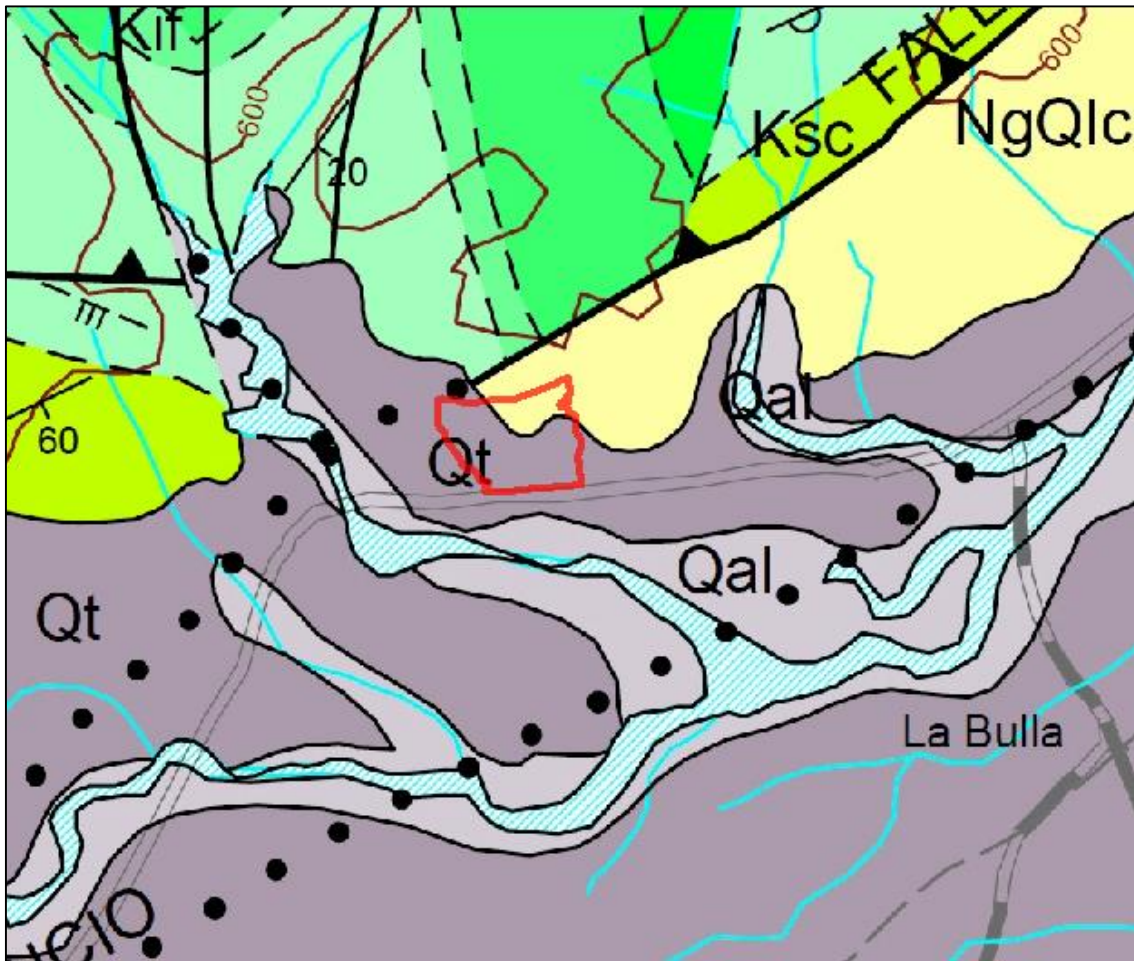


Figura 3-3 Segmento de la plancha Geológica 266 - Villavicencio con delimitación y ubicación del perímetro de La Nohora en color rojo. Fuente Servicio Geológico Colombiano, 2001

En la Figura 3-3 se pueden identificar dentro del asentamiento los tipos de formaciones geológicas al transponer en el programa Arcgis la plancha geológica 266 y el polígono que se delimito en la presente investigación , que según las convenciones mostradas en la Figura 3-4, estas formaciones corresponden a *terrazas aluviales (Qt)* y a *formación la corneta (NgQlc)*, cabe resaltar que estas convenciones fueron extraídas directamente de la plancha [29]

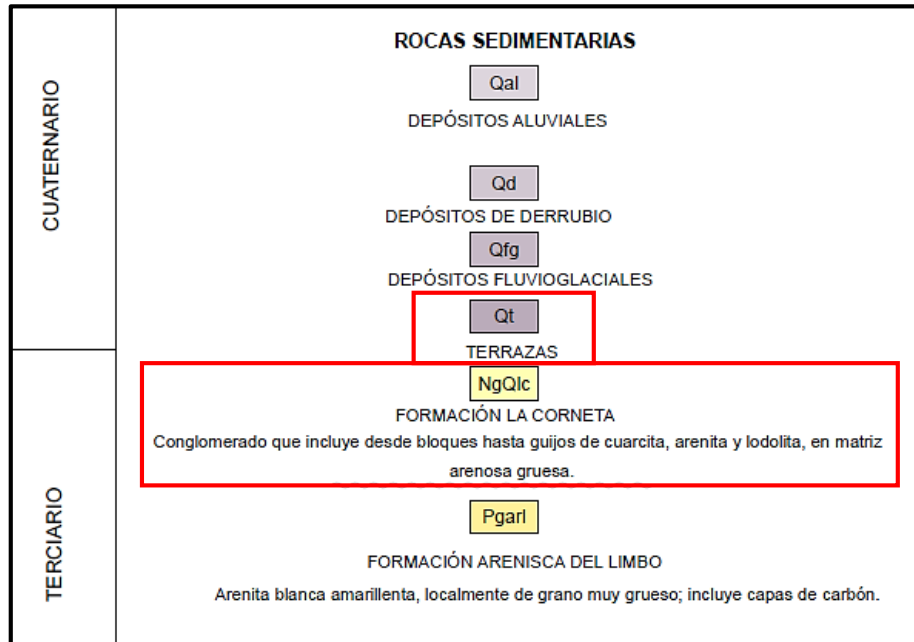


Figura 3-4. Segmento de las convenciones de formaciones geológicas mostradas en la plancha geológica 266. Fuente Servicio Geológico de Colombia, 2001.

Terrazas aluviales (Qt). El sector de la Nohora está compuesto en su gran mayoría por este tipo de formación geológica, estas terrazas están conformadas por guijos y gravas de rocas sedimentarias y metamórficas [29]

Formación la corneta (NgQlc). Como se observa en la solo una pequeña parte de la Nohora está conformada por esta formación rocosa, en esta formación rocosa “se observan conglomerados que incluyen desde bloques hasta guijos de cuarcita, arenita y lodolita en una matriz arenosa gruesa, de color amarillento”, estas originan pequeñas elevaciones que sobresalen al resto de terrazas que conforman la parte de llanura. Se estima que para este sector el espesor de esta formación es de 50 metros infrayaciendo los niveles de las terrazas. [29]

3.2.7. Suelos de la zona de estudio

Para el objeto de la investigación se recopilaron y detallaron (10) estudios de suelos; ellos se relacionan, los cuales fueron proporcionados por la Alcaldía municipal de Villavicencio que se realizaron en el marco de proceso de legalización que se estaba ejecutando en el periodo

2008 – 2011(Anexo C – D)

El reconocimiento de la zona estudio, se llevó a cabo mediante la visita de campo, lo cual nos brindó la forma preliminar el alcance de los trabajos de investigación del subsuelo, la localización y profundidades de los sondeos a realizar; En la visita se realizó una inspección visual del área a estudiar y se observaron los puntos más favorables estratégicamente en donde se realizarían los sondeos Tabla 3-4, con el fin de obtener una concepción general de las características estratigráficas y principales parámetros de los suelos de la zona de estudio.

Tabla 3-4 Coordenadas de los sondeos

Sondeo	Este	Norte
1	1042352	943021
2	1042170	943023
3	1042146	943026
4	1042252	942939
5	1042409	942953
6	1042268	942972
7	1042362	942979
8	1042298	943063
9	1042061	943130
10	1042427	943069
11	1042506	943399

Fuente: Autores

Una vez realizado el reconocimiento del terreno, se ubicaron de forma específica los puntos estratégicos de exploración en los sectores que se escogieron para que abarcaran la zona de estudio se estableció que se realizaran (11) sondeos Imagen 3-4 hasta una profundidad de 6.00 m.

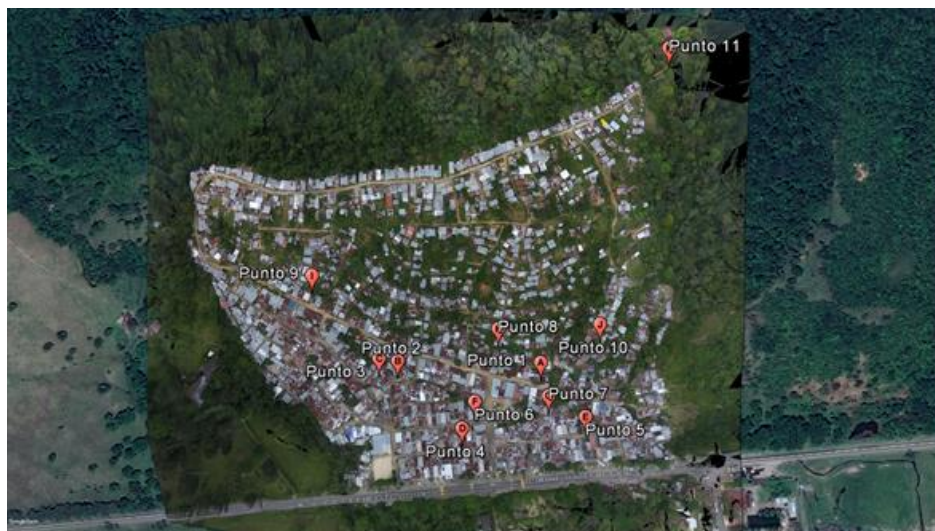


Imagen 3-4 Ubicación de sondeos. Fuente autores

Se realizó un comparativo de los resultados obtenidos de laboratorio de cada uno de los sondeos realizados como se puede observar en la Tabla 3-5 y la Tabla 3-6, se concluyó que las variables entre sondeos se comportaban similar teniendo así resultados cercanos unos a los otros, para determinar los espesores de las capas y la cantidad de las mimas, se realizó un comparativo de las estratigrafías se cada sondeo Figura 3-4 y se procedió a realizar un índice de homogeneidad.

Análisis de amenaza por procesos de remoción en masa bajo agentes climatológicos en el municipio de Villavicencio, Meta, zona de estudio La Nohora

Tabla 3-5 Cuadro Comparativo sondeos 1- 5 La Nohora

Sondeo	Profundidad	Caracterización	Peso unitario en seco en Ton/m3	Angulo fricción interna del suelo	Modulo de elasticidad (Kg/cm2)	Consistencia	Compacidad	Cohesión (C)	Peso unitario total
1	0.00 a 0.05 m	Relleno material granular color amarillo	1,44-1,68	4 - 6 °	90 - 200	Firme	N/A	0.00 Ton/m2	1.876 Ton/m3
	0.05 a 3.00 m	Suelo en matriz arcillo arenosa de color cafe claro, de consistencia FIRME (qu = 1.00 - 2.00 kg/cm2), clasificando como una arcilla de baja plasticidad CL	1,44-2,08						
	3.00 a 6.00 m	Cantos rodados TM 8", en matriz arcillo-arenosa de color café claro, de consistencia MUY FIRME (qu = 2.00 - 4.00 kg/cm2)	2,08-2,32	6 - 12 °	> 200	Muy Firme	N/A		
NO PRESETA NIVEL FREÁTICO									
2	0.00 a 0.05 m	Relleno material granular color amarillo	1,44-1,68	4 - 12 °	90 - > 200	Firme	N/A	0.00 Ton/m2	1.876 Ton/m3
	0.05 a 3.00 m	Suelo en matriz arcillo arenosa de color cafe oscuro , variando su consistencia de FIRME (qu = 1.00 - 2.00 kg/cm2) a MUY FIRME (qu = 2.00 - 4.00 kg/cm2)	1,44-2,08						
	3.00 a 6.00 m	Cantos rodados TM 22", en matriz arenosa-arcillosa de color café, de compacidad DENSA (qu = 2.00 - 4.00 kg/cm2)	2,08-2,32	36 - 41 °	500 - 1000	Muy Firme	Densa		
PRESENTO NIVEL FREÁTICO A UNA PROFUNDIDAD DE 2.50 Mts.									
3	0.00 a 0.05 m	Relleno material granular color amarillo	1,44-1,68	30 - 33 °	250 - 325	N/A	Firme	0.00 Ton/m2	1.876 Ton/m3
	0.05 a 1.00 m.	suelo en matriz arcillo arenosa de color cafe con vetas blancas , de compacidad FIRME (qu = 0.50 - 1.00 kg/cm2) clasificando como un suelo no plástico.	1,76-2,00						
	1.00 a 3.00 m.	Cantos rodados TM 8" en matriz arenosa-arcillosa de color café, variando su compacidad de MUY FIRME (qu = 1.00 - 2.00 kg/cm2) a compacidad DENSA (qu = 2.00 - 4.00 kg/cm2).	2,08-2,32	33 - 41 °	325 - 1000	N/A	Densa		
	3.00 a 6.00 m.	Cantos rodados TM 24" en matriz arenosa-arcillosa de color café, de compacidad MUY DENSA (qu > 4.00 kg/cm2) .	2,08-2,32	> 41 °	> 1000	N/A	Muy densa		
NO PRESENTO NIVEL FREÁTICO.									
4	0.00 a 0.05 m.	Relleno granular de color amarillo	1,44-1,68	4 - 6 °	90 - 200	Firme	N/A	0.00 Ton/m2	1.876 Ton/m3
	0.05 a 1.00 m.	suelo en matriz arcillo arenosa de color cafe, de consistencia FIRME (qu = 1.00 - 2.00 kg/cm2) clasificando como una arcilla de baja plasticidad CL.	1,44-2,08						
	1.00 a 3.00 m.	Cantos rodados TM 12" en matriz arenosa-arcillosa de color café, de compacidad DENSA (qu = 2.00 - 4.00 kg/cm2).	2,08-2,32	36 - 41 °	500 - 1000	N/A	Densa		
	3.00 a 6.00 m	Cantos rodados TM 20" en matriz arenosa-arcillosa de color café, de compacidad MUY DENSA (qu > 4.00 kg/cm2) .	2,08-2,32	> 41 °	> 1000	N/A	Muy densa		
NO PRESENTO NIVEL FREÁTICO.									
5	0.00 a 0.05 m	Relleno granular de color amarillo.	1,44-1,68	4 - 6 °	90 - 200	Firme	N/A	0.00 Ton/m2	1.876 Ton/m3
	0.05 a 1.00 m.	suelo en matriz arcillo arenosa de color cafe con vetas blancas , de compacidad FIRME (qu = 1.00 - 2.00 kg/cm2) clasificando como una arcilla de baja plasticidad CL.	1,44-2,08						
	1.00 a 3.00 m.	Cantos rodados TM 12" en matriz arenosa-arcillosa de color café, variando su compacidad de SUELTA (qu = 0.25 - 0.50 kg/cm2). A MUY FIRME (qu = 1.00 - 2.00 kg/cm2). el suelo no presento plasticidad.	1,60-2,16	28 - 36 °	100 - 500	N/A	Muy firme		
	3.00 a 6.00 m.	Cantos rodados TM 20" en matriz arenosa-arcillosa de color café, variando su compacidad de DENSA (qu = 2.00 - 4.00 kg/cm2). A MUY DENSA (qu > 4.00 kg/cm2) .	2,08-2,32	36 - > 41 °	500 - > 1000	N/A	Muy densa		
PRESENTO NIVEL FREÁTICO A UNA PROFUNDIDAD DE 1.50 Mts.									

Fuente: Autores

Análisis de amenaza por procesos de remoción en masa bajo agentes climatológicos en el municipio de Villavicencio, Meta, zona de estudio La Nohora

Tabla 3-6 Cuadro Comparativo sondeos 6- 11 La Nohora

6	0.00 a 0.05 m	Relleno granular de color amarillo.	1,44-1,68	2 - 4°	45 - 90	Media	N/A	0.00 Ton/m2	1.876 Ton/m3
	0.05 a 1.00 m.	suelo en matriz arcillo arenosa de color café, de consistencia MEDIA (qu = 0.50 - 1.00 kg/cm2).	1,44-2,08						
	1.00 a 3.00 m.	Cantos rodados TM 10" en matriz areno-arcillosa de color café, variando su compacidad de FIRME (qu = 0.50 - 1.00 kg/cm2). A MUY FIRME (qu = 1.00 - 2.00 kg/cm2). el suelo no presenta plasticidad.	1,60-2,16	30 - 33°	250 - 325	N/A	Firme		
	3.00 a 6.00 m.	Cantos rodados TM 18" en matriz areno-arcillosa de color café, de compacidad MUY FIRME (qu = 1.00 - 2.00 kg/cm2).	2,08-2,32	33 - 36°	325 - 500	N/A	Densa		
NO PRESENTO NIVEL FREÁTICO.									
7	0.00 a 0.05 m.	Relleno granular de color amarillo	1,44-1,68	4 - 6°	90 - 200	Firme	N/A	0.00 Ton/m2	1.876 Ton/m3
	0.05 a 1.00 m.	suelo en matriz arcillo arenosa de color café, de consistencia FIRME (qu = 1.00 - 2.00 kg/cm2).	1,44-2,08						
	1.00 a 3.00 m.	Cantos rodados TM 10" en matriz areno-arcillosa de color café, variando de una consistencia de FIRME (qu = 1.00 - 2.00 kg/cm2). A una compacidad MUY FIRME (qu = 1.00 - 2.00 kg/cm2). clasificando como una arcilla de baja plasticidad CL.	1,44-2,08	33 - 36°	325 - 500	N/A	Muy firme		
	3.00 a 6.00 m.	Cantos rodados TM 18" en matriz areno-arcillosa de color café, de compacidad DENSA (qu = 2.00 - 4.00 kg/cm2). El suelo no presenta plasticidad.	2,00-2,32	36 - 41°	500 - 1000	N/A	Densa		
NO PRESENTO NIVEL FREÁTICO.									
8	0.00 a 0.05 m	Capa vegetal, suelo fino con presencia de raíces	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.00 Ton/m2	1.791 Ton/m3
	0.05 a 3.45 m.	Cantos rodados TM 12" en una matriz arenosa - arcillosa de color café, de compacidad DENSA (qu = 2.00 - 4.00 kg/cm2), clasificando como una arcilla de baja plasticidad CL.	1,44-2,08	36 - 41°	500 - 1000	N/A	Densa		
	3.45 a 6.00 m.	Cantos rodados TM 20", en matriz arenosa-arcillosa de color café oscuro, variando su compacidad de DENSA (qu = 2.00 - 4.00 kg/cm2) a MUY DENSA (qu > 4.00 kg/cm2).	2,00-2,32	> 41°	> 1000	N/A	Muy densa		
NO PRESENTO NIVEL FREÁTICO.									
9	0.00 a 0.05 m	Capa vegetal, suelo fino con presencia de raíces	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.00 Ton/m2	1.791 Ton/m3
	0.05 a 4.00 m.	Cantos rodados TM 12" en una matriz arenosa - arcillosa de color café, variando su compacidad de FIRME (qu = 0.50 - 1.00 kg/cm2), a MUY FIRME (qu = 1.00 - 2.00 kg/cm2), clasificando como una arcilla de baja plasticidad CL.	1,44-2,08	30 - 36°	250 - 500	N/A	Muy firme		
	4.00 a 6.05 m.	Cantos rodados TM 20", en matriz arenosa-arcillosa de color café oscuro, variando su compacidad de DENSA (qu = 2.00 - 4.00 kg/cm2)	2,00-2,32	36 - 41°	500 - 1000	N/A	Densa		
NO PRESENTO NIVEL FREÁTICO.									
10	0.00 a 0.05 m.	Capa vegetal, suelo fino con presencia de raíces	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.00 Ton/m2	1.791 Ton/m3
	0.05 a 4.00 m.	Cantos rodados TM 15" en una matriz arenoarcillosa de color café, variando su compacidad de MUY FIRME (qu = 1.00 - 2.100 kg/cm2) a DENSA (qu = 2.00 - 4.00 kg/cm2), el suelo fino clasifíco como arcilla de baja plasticidad CL.	1,44-2,08	33 - 41°	325 - 1000	N/A	Muy firme		
	4.00 a 5.95 m.	Cantos rodados TM 22" en matriz arenoarcillosa de color café oscuro, de compacidad MUY DENSA (qu > 4.00 kg/cm2)	2,00-2,32	> 41°	> 1000	N/A	Muy densa		
NO PRESENTO NIVEL FREÁTICO.									
Sondeo	Profundidad	Caracterización	Peso unitario en seco en Ton/m3	Angulo friccion interna del suelo	Modulo de elasticidad (Kg/cm2)	Consistencia	Compasidad	Cohesión (C)	Peso unitario total
11	0.00 a 1.83 m.	Limo arcilloso poco plastico color café.	1,44-1,68	21°	N/A	N/A	N/A	0.01 Ton/m2	1.650 Ton/m3
	1.83 a 2.30 m.	Arena arcillosa con bastantes finos café t vetas amarillas.	1,84-2,16		N/A	N/A	N/A		
	2.30 a 6.00 m.	arcilla de alta plasticidad consistencia media griss con vetas rojizas.	1,44-1,84		N/A	N/A	N/A		
NO PRESENTO NIVEL FREÁTICO.									

Fuente: Autores

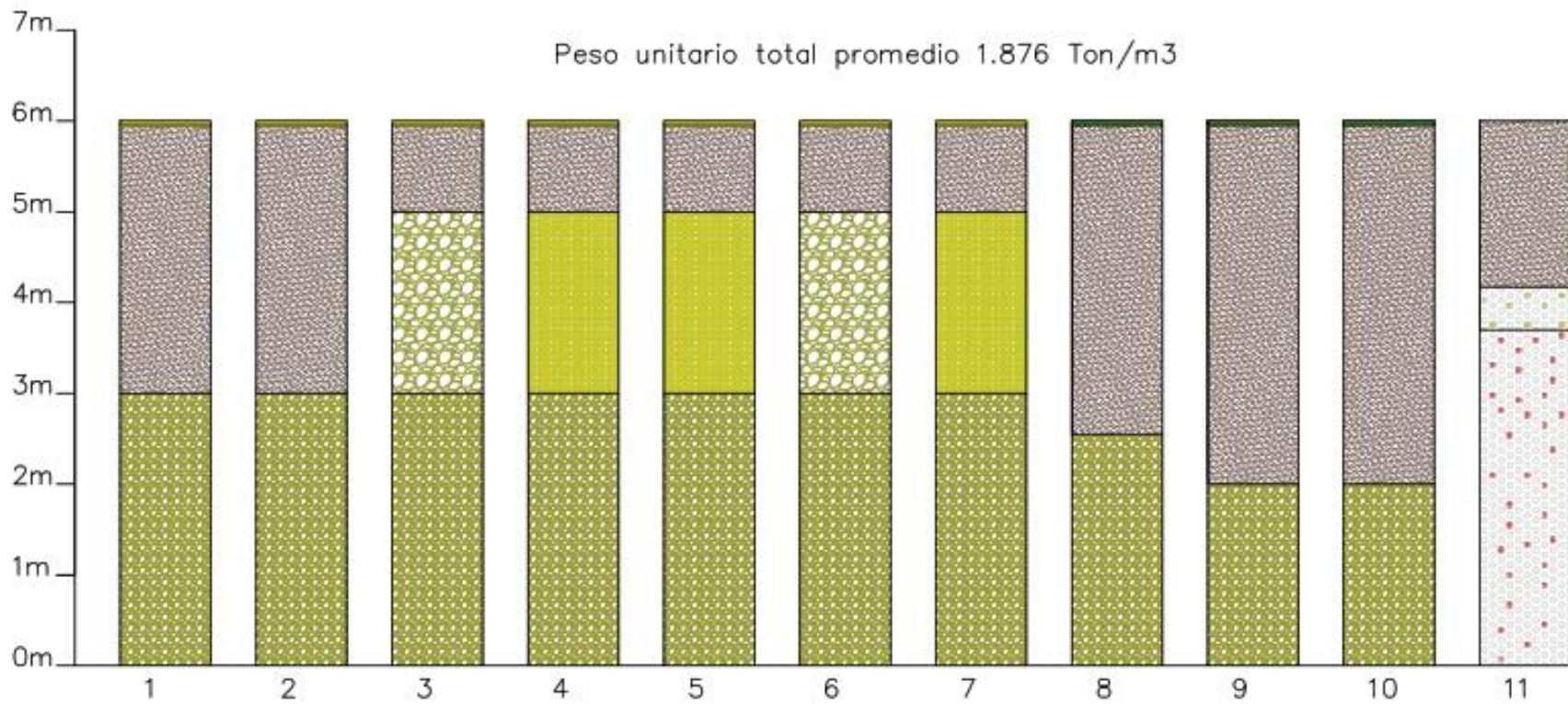


Figura 3-5 Comparativo estratigrafías sondeos La Nohora. Fuente Autores

Como se dispuso anteriormente, los estudios de suelos localizados en la zona de estudio dada la variabilidad de tipos de suelos y propiedades, y la poca cobertura de los sondeos respecto al área de estudio. Por estas razones se estableció un índice de homogeneidad bajo el siguiente razonamiento: 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. De esta manera, para el índice de Homogeneidad (Ih) se definió la ecuación 3-1:

$$Ih = \sum \left(\frac{h_i}{L} \right)^{\sqrt{NTS}} \quad (3-1)$$

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. Como se puede apreciar en la Tabla 3-7 el índice de homogeneidad en general del área del suelo se puede indicar como 0.34 el cual optamos que el suelo del área de estudio tenga en el modelo 3 capas.

Tabla 3-7 Índice de homogeneidad

Sondeo	Indice
1	0.44
2	0.41
3	0.27
4	0.27
5	0.27
6	0.27
7	0.27
8	0.41
9	0.42
10	0.42
11	0.31

Fuente: Autores

Se estableció que la primera de 1m de espesor, la segunda 2m y la tercera de 3m para así tengamos unos resultados óptimos ya que no cuenta con un solo tipo de suelo, las características del suelo de cada capa se muestran en Tabla 3-8.

Tabla 3-8 Características capas del suelo

Profundidad	Peso unitario en seco en Kn/m ³	Peso unitario en humedo en Kn/m ³	Cohesion	Angulo de friccion
0.00 a 1.00 m	18	21	0	32
1.00 a 3.00 m	29.2	31	0	32
3.00 a 6.00 m	19.2	22	0	32

Fuente: Autores

3.2.8. Infiltración de la zona de estudio

De acuerdo con el levantamiento digital realizado con Drone se establece que el área de afectación de la Nohora es de 22 ha, donde se presenta un tipo de suelo del grupo C dado de la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimiento en masa el cual corresponde a suelos francoarcillosos, francoarenosos poco profundos, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con alto contenido de arcillas de acuerdo con nuestro análisis del suelo.

Para esto se obtuvo que:

- Número de curva (CN) es igual a 83.39. El número de curva (CN) se determina por medio de la sumatoria del producto de la cantidad de área y el grupo hidrológico del suelo (GHS).
- Retención de potencial máxima (S) es igual a 50.58. Esta retención se obtuvo a partir del número de curva con la siguiente fórmula:

$$s = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3-2)$$

- Los valores de escorrentía e infiltración por cada hora de lluvia que se presenta con el periodo de retorno de 20 años se muestran en la Tabla 3-9:

Tabla 3-9 Infiltración Zona de Estudio

IDF 20			
HORA	PRECIPITACION	ESCORRENTIA	INFILTRACION
1	461,31	405,72	55,59
2	308,60	255,24	53,36
3	243,93	192,23	51,70
4	206,44	156,11	50,33
5	181,38	132,22	49,16
6	163,18	115,05	48,13
7	149,22	102,02	47,21
8	138,10	91,74	46,37
9	128,98	83,39	45,60
10	121,34	76,46	44,88
11	114,81	70,59	44,22
12	109,16	65,57	43,60
13	104,21	61,20	43,01
14	99,83	57,37	42,46
15	95,91	53,98	41,93
16	92,39	50,95	41,44
17	89,19	48,23	40,96
18	86,29	45,78	40,51
19	83,62	43,54	40,08
20	81,17	41,51	39,66
21	78,91	39,64	39,26
22	76,81	37,93	38,88
23	74,85	36,34	38,51
24	73,03	34,87	38,15
MEDIA			44,38
DESVIACION			4,95
VARIANZA			11%

Fuente: Elaboración propia

3.2.9. Variabilidad del nivel freático.

Dentro de los estudios de suelos realizados en diferentes ocasiones en el centro poblado, solo en dos puntos se logró determinar el nivel freático a 2.5m y 1.5, para lo cual fue necesario el planteamiento de profundidades hipotéticas en los 9 sondeos restantes. Se procedió a establecer 3 hipótesis, una en la cual la profundidad de los 9 sondeos era de 7m, otra en la cual la profundidad de los sondeos restantes era de 8m y la última en la que la profundidad

era de 10m. Una vez establecidas las profundidades de los de más sondeos, se procede a aplicar la ecuación 3-3 propuesta en la Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano para la profundidad del nivel freático asociado a una lluvia de 20 años de periodo de retorno, en una evaluación de la amenaza de remoción en masa bajo lluvia.

$$P_{f20} = (\bar{P}_f - 1,65 CV P_f) - (I_{i20} * 24) \quad (3-3)$$

Donde:

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

P_f corresponde a la profundidad media del nivel freático, en milímetros.

CVP_f corresponde a la desviación estándar asignada a la variación del nivel freático, expresada en términos del coeficiente de variación de los acumulados anuales de precipitación infiltrada, en milímetros.

Al realizar este procedimiento en cada hipótesis obtenemos 3 valores de nivel freático asociados a un periodo de retorno de 20 años para lo cual realizamos un promedio y obtenemos que el valor del nivel freático hipotético es de 4.7 m como se observa en la Figura 3-6

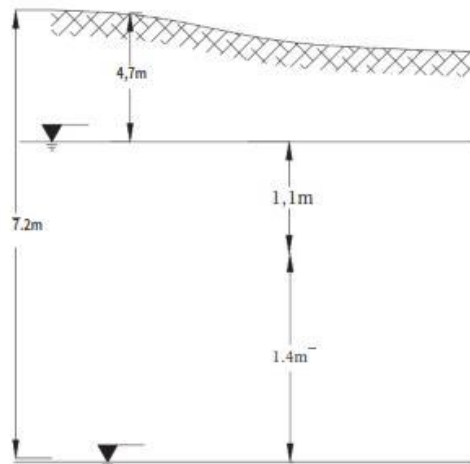


Figura 3-6 Esquema Nivel freático para un periodo de retorno de 20 años. Fuente Autores

3.2.10. Modelo de amenaza.

Para realizar el modelo del nivel de la amenaza se debió de hacer cortes transversales en la zona de estudio los cuales fueron tres cortes Figura 3-7 ya que el software trabajado se realiza el análisis en 2D.



Figura 3-7 Cortes del área de estudio. Fuente Autores

Posteriormente a cada corte se le realiza un análisis para establecer el rango de amenaza y se interrelacionan entre si los resultados Figura 3-8, se puede identificar que las altas pendientes son un detonante potencial debido al brusco cambio que se produce en la ladera Tabla 3-10

Tabla 3-10 Cortes del área de estudio

Corte	Coordenada X	Coordenada X	Pendiente Max	Pendiente promedio
1	1042037	942862	44.7	21.5
	1042037	943399		
2	1042297	942862	39.7	16.9
	1042297	943399		
3	1042500	942862	40.2	24
	1042500	943399		

Fuente: Autores

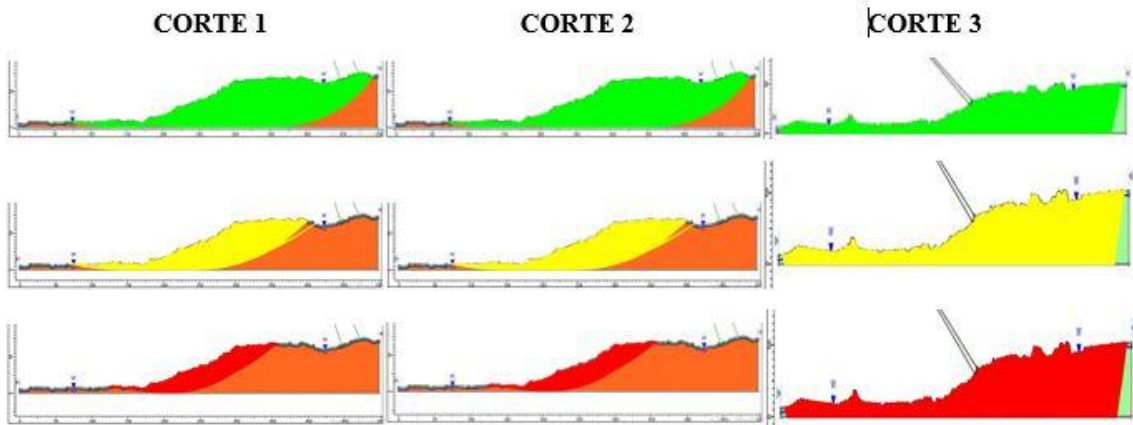


Figura 3-8 Cortes con el nivel de amenaza. Fuente Autores.

La ejecución de modelo se estableció los parámetros de análisis, tiempo de ejecución en horas, unidad de permeabilidad en metros/segundo, método de análisis Bishop simplificado siendo este el recomendado ya que realiza un análisis faja por faja identificando con mayor profundidad los factores de seguridad, número de fajas 500 fajas tolerancia 0.005 máximo de interacciones 500, nivel de infiltración a 4.7m sobre el nivel del suelo, para la clasificación de amenaza se establece un rango en función de factor de seguridad que se obtiene en cada faja dando así un grupo de fajas para cada tipo de nivel los cuales según la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimiento en masa se clasifican en tres tipos Alta con el rango menor a 1.1 se clasifica con el color rojo, Media con el rango 1.1-1.5 se clasifica con el color amarillo, Baja con el rango mayor a 1.5 se clasifica con el color verde, con los resultados se interpolan para generar el mapa de nivel de amenaza.

3.3. DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS FINALES

En el diagnóstico de la condición actual de la zona objeto de estudio con relación a eventos de remoción en masa se identificaron las características necesarias para determinar el estado socioeconómico y evidenciar las posibles repercusiones ante un evento de remoción en masa, de los cuales se identificaron la ubicación y perímetro de la zona, calidad de las viviendas de la zona de estudio, población actual que se presenta en la zona y su categorización por edades para identificar el tipo de población que existe, ver Imagen 3-5, servicios públicos como lo es el acueducto donde se identificó el método de captación del agua y su distribución a las viviendas, el sistema de alcantarillado que utilizan, proceso de recolección de basuras por

parte de Bioagricola del Llano S.A. E.S.P., distribución de la energía eléctrica, bienes que poseen la viviendas.



Imagen 3-5 Proceso de recolección de información. Fuente Autores.

Al realizar el esquema del comportamiento climatológico de la zona de estudio, se logró detectar la precipitación que se presentó para la zona de estudio como tal a partir de la interpolación de los datos de 5 estaciones que forman el perímetro en el que se encuentra el asentamiento subnormal como se ve en la Imagen 3-6.



Imagen 3-6 Polígono formado por las estaciones utilizadas. Fuente Autores

La ocupación de la ladera ha provocado una saturación de los espacios en los cuales residen los habitantes del asentamiento subnormal, generando en las zonas de cambio de pendientes escenarios para un evento de remoción debido a la pérdida de estabilidad del terreno. Actualmente se evidencian 3 puntos de posible remoción que no han tenido ningún tipo de control por parte de los pobladores ni del estado, la ubicación de algunos puntos se muestran en la Imagen 3-7.



Imagen 3-7 Puntos críticos. Fuente Autores

Por medio de la modelación de las secciones de ladera en el programa Slide 2018 se logra sectorizar los niveles de amenaza alta, media y baja en la zona de estudio La Nohora, por otra parte, se establece las áreas de incidencia de dichos niveles por medio de los cuales se puede analizar un posible evento de remoción y las repercusiones de este.

En esta sección se establece las repercusiones que podrían suceder al ocurrir un proceso de remoción en masa en cuatro ámbitos, en el físico donde determinamos la cantidad de vivienda afectadas ante un evento en una determinada área, el ámbito económico donde determinamos el costo en función de viviendas afectadas, en el ámbito social se determina la cantidad de personas afectadas en función de vivienda afectada.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. DIAGNÓSTICO DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE LA ZONA DE OBJETO DE ESTUDIO CON RELACIÓN A EVENTOS DE REMOCIÓN EN MASA.

Ubicación.

La Nohora es un asentamiento subnormal de la ciudad de Villavicencio, ubicado en los límites de la comuna ocho al extremo sur occidental Imagen 4-1, localizado en el kilómetro 11 de la vía que conduce al Municipio de Acacías, frente a la institución educativa Benposta. Sobre la cordillera a su costado norte limita con zona Boscosa de la cordillera, al sur con la Vía Nacional, al oriente con el Caño Fanagra y al occidente con el Caño Los Monos.



Imagen 4-1 Localización asentamiento subnormal La Nohora. Fuente Google Inc.

Vivienda

La Nohora actualmente cuenta con 1635 predios, donde viven alrededor de 6644 personas según la caracterización socioeconómica realizada en la presente investigación, cifra que se encuentra en aumento a medida que pasa el tiempo.

Las viviendas en el asentamiento, al igual que el espacio público, presenta diferentes

condiciones dependiendo del sector en el que se esté evaluando. En el sector contiguo a la vía nacional se puede diferenciar los límites entre lo público y lo privado, las condiciones de las viviendas son aceptables y se encuentran viviendas hasta de más de un nivel con bloques de ladrillos y acabados de enchape, en la zona de ladera baja las condiciones son diferentes se pierde el límite con el espacio público quedando solo senderos para transitar, pero el espacio del hábitat presenta iguales condiciones, la situación más crítica se presenta en la zona de ladera media alta, donde las condiciones de las viviendas son precarias y se observan procesos constructivos que atentan contra la integridad de las personas que habitan el sector, las condiciones de hábitat no ofrecen las mínimas condiciones de vida. Paradójicamente el sector de la ladera alta presenta condiciones para las personas un poco mejor que las del sector del medio ya que se ubican sobre un sector con características planas que presenta mejores condiciones para las personas asentadas en él.

Algunas de las construcciones que predominan en la ladera media – alta del asentamiento son en madera Imagen 4-2, la cual proviene de árboles del mismo sector, con lona verde (cerramiento) y en zinc (los techos), el piso de las viviendas es en tierra. Por lo general, estas construcciones son húmedas y oscuras. Las unidades sanitarias consisten en una letrina, ubicada fuera de la vivienda, y en algunos casos dentro de esta. La cocina consiste en un mesón donde se ubica la estufa, si es de gas, y un recipiente que recoge el agua potable que llega en mangueras y un improvisado fogón ubicado fuera de la vivienda, donde se cocina con leña, las viviendas construidas en bloque y concreto ubicadas en las primeras manzanas pertenecen a los primeros pobladores del asentamiento.

Algunas viviendas poseen una condición de hacinamiento debido entre otros factores a la mal distribución de los espacios y a que el número de personas que habitan estos espacios supera la capacidad de estos.



Imagen 4-2 Vivienda con fachada en madera. Fuente Autores.

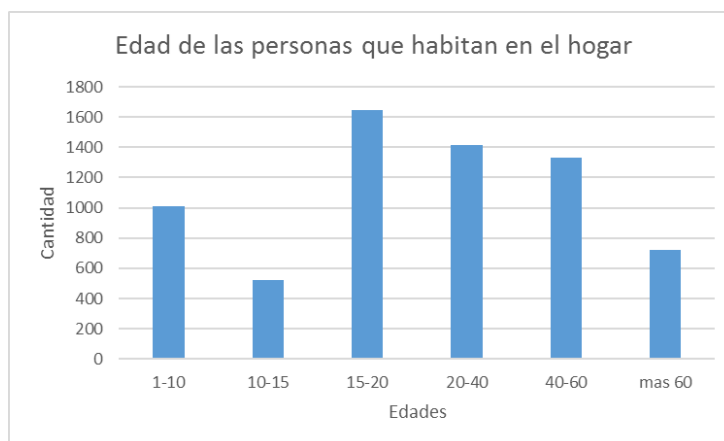
Población actual.

Actualmente La Nohora cuenta con 6644 personas según la proyección realizada Tabla 4-1 dentro de esta población se estableció unos rangos para identificar el tipo de población que habita en la zona, se identifica que la mayoría de la población es joven de entre 15 y 20 años, y la menos población adolescente entre 10 y 15 años como se observa en la Gráfica 4-1.

Tabla 4-1 Población Proyectada

	Casas	Personas	
Censo	300	1219	
Real	1635	6644	Proyectado

Fuente: Autores



Gráfica 4-1 Edad de las personas que habitan en el hogar. Fuente Autores

Servicios Públicos

Acueducto: en el asentamiento subnormal, el sistema de acueducto podría ser categorizado como comunitario, no cuentan con la intervención de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio (EAAV), poseen 3 puntos de captación del agua, dos ubicadas en el caño Fanagra y uno en el caño Los Monos por medio de entramados de mangueras que llegan a cada vivienda y son depositadas en tanques tipo lavaderos. El servicio dependiendo el sector del asentamiento es fraccionado, en la parte alta del asentamiento es constante el suministro. La captación del agua se realiza por medio de improvisados filtros tipo flautas que no cuentan con un mantenimiento adecuado (ver Imagen 4-3), la distribución se realiza mediante mangueras de baja presión en poliéster de diámetros entre 1”, 2” y 5”, las cuales se pueden observar contiguas a los ríos o pasando por encima de los mismos, hasta enterrarse ligeramente por todo lo largo de los senderos y llegar a los distintos predios. Este sistema no cuenta con ningún tipo de control ya que no posee un macromedidor ni tampoco con micromedidores.



Imagen 4-3 Captación de agua Caño Fanagra. Fuente Autores

Alcantarillado: en la condición actual del asentamiento no se evidencia un sistema de alcantarillado del cual se pueda evaluar, las aguas servidas y residuales son manejadas mediante pozos sépticos, escorrentías superficiales y canales artificiales con dirección a los caños Fanagra y los Monos o hasta infiltrarse en el subsuelo Imagen 4-4, creando diferentes problemáticas ambientales y de salubridad que se evidencian en diferentes sitios del asentamiento.



Imagen 4-4 Alcantarillado actual. Fuente Autores

Aseo: el servicio de recolección de basuras es prestado por la empresa municipal con una frecuencia de 3 veces por semana, las basuras generalmente son depositadas al margen de la vía principal en unos Shut de basuras que están al lado izquierdo de la cancha de arena sentido Villavicencio – Acacias, aunque durante los recorridos realizados se observaron basuras en algunos senderos del asentamiento y en algunas partes de la ronda de los ríos. Según testimonios de los habitantes, en la parte alta de la ladera se paga para bajar las bolsas de basura mediante carretillas.



Imagen 4-5 Punto de acopio de Basura. Fuente Google Inc [30]

Energía Eléctrica: el asentamiento cuenta con luz eléctrica en la mayor parte de este, cabe resaltar que estas instalaciones son ilegales ya que están conectadas por medio de una acometida de propiedad del asentamiento Imagen 4-6. Existen unos macromedidores de energía los cuales permiten que la electrificadora realice un promedio de consumo y coloca

una tarifa mensual, muchos de los residentes no cancelan este servicio ya que no cuentan con sus micromedidores por lo cual consideran no necesario este pago.

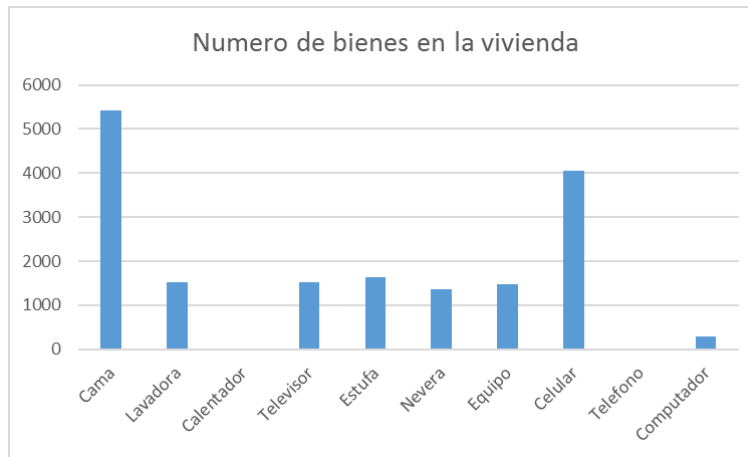


Imagen 4-6 Redes de energía a lo largo del asentamiento. Fuente Autores

Telefonía: La prestación del servicio de telefonía es predominantemente celular, pero algunos locales comerciales cuentan con telefonía fija.

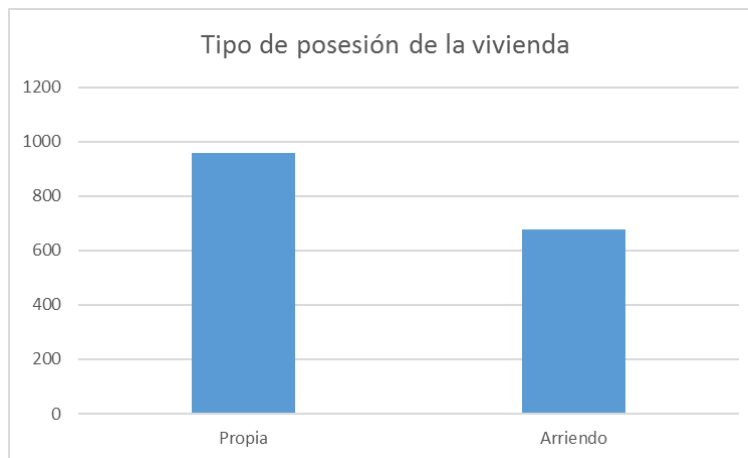
Gas Domiciliario: actualmente no existe la prestación de este servicio, debido a la condición de ilegalidad del asentamiento, las precarias condiciones en algunas partes y las grandes pendientes que tiene el mismo, por lo que es remplazado por pipetas de gas que se distribuyen en los carros de las empresas que lo comercializan o por estufas de leña.

Bienes en las viviendas: Se estableció una lista de los bienes principales Gráfica 4-2 para identificar la calidad de vida y determinar si existe hacinamiento en la vivienda dando así los siguientes bienes y la cantidad de ellos dentro del área de estudio.



Gráfica 4-2 Tipo y cantidad de bienes. Fuente Autores

Se procedió a identificar el tipo de vivienda, propia o en arriendo la cual nos identifica si la población de la zona es flotante Tabla 4-3, donde identificamos que el 59% de la vivienda son propias.



Gráfica 4-3 Tipo de Posesión. Fuente Autores

En la zona de estudio se identificaron dos puntos de colapso por proceso de remoción, los cuales uno de ellos pelagra una vivienda de colapso inminente Imagen 4-7, la cual está ubicada en las coordenadas 943172 N 1042452 E, esto puede ser causado por sobre cargas en el terreno



Imagen 4-7 Proceso de remoción en masa caso 1. Fuente Autores

Otro punto donde se evidencio proceso de remoción en la parte alta de la ladera donde se produce pequeños desprendimientos de tierra, la cual está ubicada en las coordenadas 943612N 1042511E.



Imagen 4-8 Proceso de remoción en masa caso 2. Fuente Autores

4.2. MAPAS CLIMATOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO DE LA ZONA OBJETO DE ESTUDIO.

Dentro del análisis realizado a los diferentes valores de precipitación mensual y 24horas máxima, se encontró que el año en el cual se presentó el mayor valor en la estación objeto de estudio fue el 2012, donde se presentó una precipitación de 233.4 mm, el cual al interpolarlo con las otras 4 estaciones y generar las isoyetas respectivas nos arrojó un resultado de 145.11

mm de precipitación para el área donde se encuentra localizada La Nohora como se observa en la Figura 4-1.

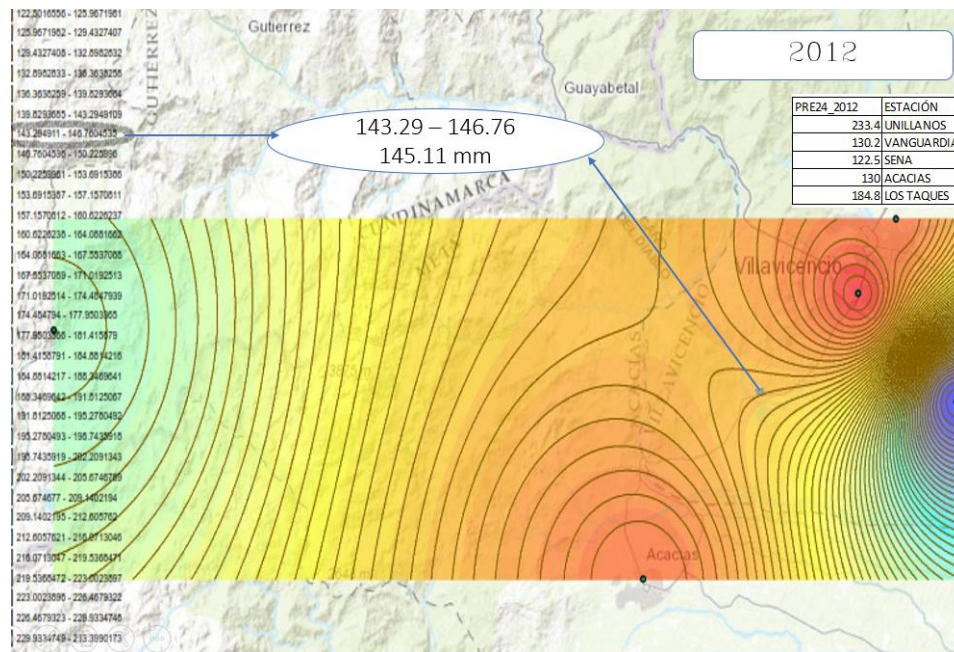


Figura 4-1 Esquema Precipitación Max 24h año 2012. Fuente Autores

Cabe resaltar que la falta de un instrumento de medición fijo en la zona de estudio no permite calibrar dicho valor, adicional a esto se debe tener en cuenta el error que se pudo generar al momento de realizar la toma de las medidas en las demás estaciones, la estación Los Taques se utilizó en este proceso debido a que era la estación Climatología ordinaria más cercana. Con relación al análisis geomorfológico que se realizó en la zona de estudio se evidencio una afectación antrópica en más del 88% del área del asentamiento subnormal, dentro de las cuales se encuentran los senderos y caminos que se han marcados a lo largo de la ladera, las viviendas residenciales y de uso comercial. Las áreas de ocupación para los distintos usos que se presentan en la zona de estudio Tabla 4-2 no cuentan con una estructura definida, en las áreas residenciales no se evidencia una distribución homogénea por lo que se evidencian agrupaciones sin forma alguna en algunos puntos de la ladera ver Figura 4-2 y el anexo F.

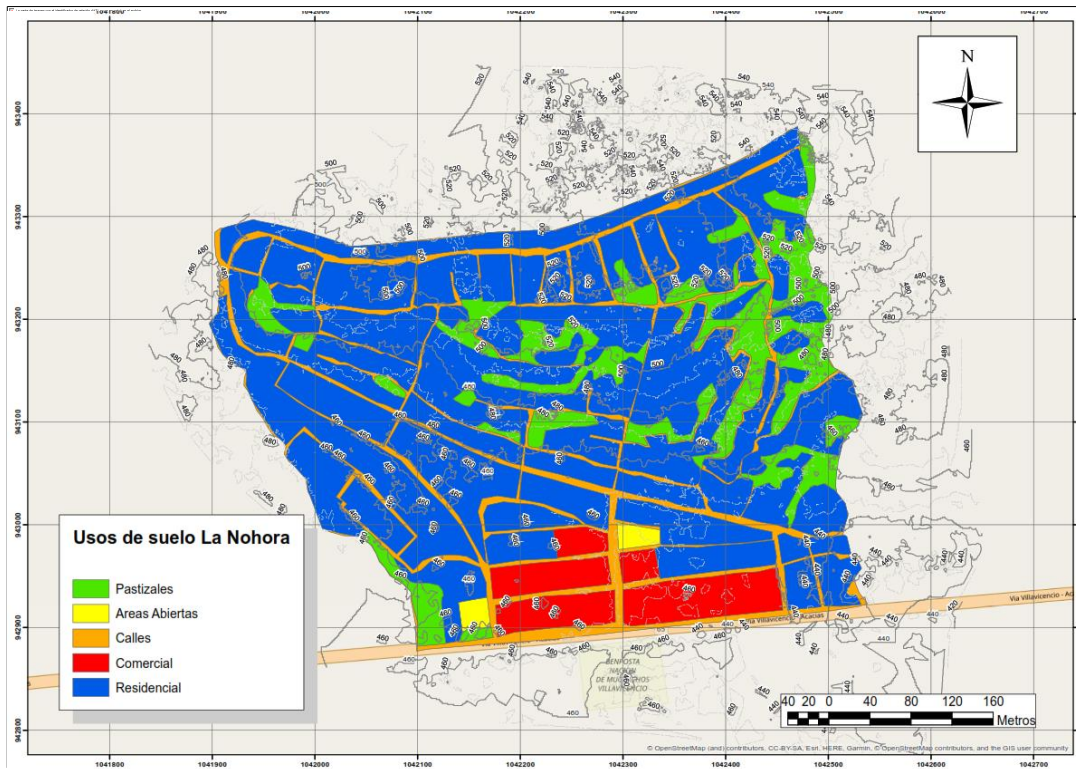


Figura 4-2 Cobertura y uso del suelo. Fuente Autores

Tabla 4-2 Porcentaje de usos del suelo

Clasificación	Area (ha)	%
Comercial	1,59	7,21
Abiertas	0,16	0,73
Residenciales	13,98	63,39
Pastizales	2,60	11,79
Calles	3,70	16,78

Fuente: Autores

La categoría de pastizales también encierra los pocos árboles que quedan en el centro de la ladera, muestra el alto impacto antrópico que se ha presentado en la zona con relación a la deforestación de esta, dentro de la zona de estudio se evidencian procesos de erosión en distintos puntos, lo cual incrementa el nivel de amenaza para la población que reside en la ladera para lo cual la comunidad ha realizado procesos de estabilización artesanales como se evidencia en la Imagen 4-9.



Imagen 4-9 Casos de estabilización artesanal. Fuente Autores

4.3. MAPA DE AMENAZA DE LA ZONA DE ESTUDIO.

El presente mapa muestra las zonas arrojadas por el modelo que se realizó en el programa Rocscience Slide 2018 en el cual se establecieron los rangos de los factores de seguridad para identificar el nivel de amenaza que se presenta en la ladera. Los rangos suministrados fueron amenaza alta, amenaza media y amenaza baja con valores de $FS < 1.1$, $1.1 < FS < 1.5$ y $FS > 1.5$ respectivamente.

Se analizó el comportamiento del suelo de la ladera en el cual se evidenció un tipo de suelo homogéneo por lo cual se puede identificar que los posibles planos de falla serían circulares. La morfología inicial de la Nohora refleja formaciones irregulares, presentando superficies semejantes a escalones, dicha morfología se podría identificar como un movimiento rotacional donde la superficie de falla es cóncava y el movimiento con respecto al eje es paralelo a la superficie y transversal al deslizamiento. Dicho movimiento puede generar que la masa se deforme debido a los latos cambios de pendientes que se presentan en la zona de estudio y convertirse en un deslizamiento tipo flujo como se observa en la Imagen 10.



Imagen 4-10 Perfil de la ladera. Fuente Autores

Al analizar los perfiles por el método de Bishop simplificado en el software se identificó que la ladera presenta un 73.6% de amenaza alta, con afectación de 16.2 Ha un nivel de amenaza medio con el 18.6% y una afectación de aproximadamente de 4.1 Ha y un nivel de amenaza bajo con el 7.8% y aproximadamente 1.7 Ha estas últimas se encuentran ubicadas en la parte inferior de la ladera contigua a la vía nacional que conduce desde el municipio de Villavicencio al municipio de Acacias en el departamento del Meta. La amenaza alta se representa con color Rojo, la amenaza media se representa con el color amarillo y la amenaza baja se representa con el color verde ver la Figura 4-3

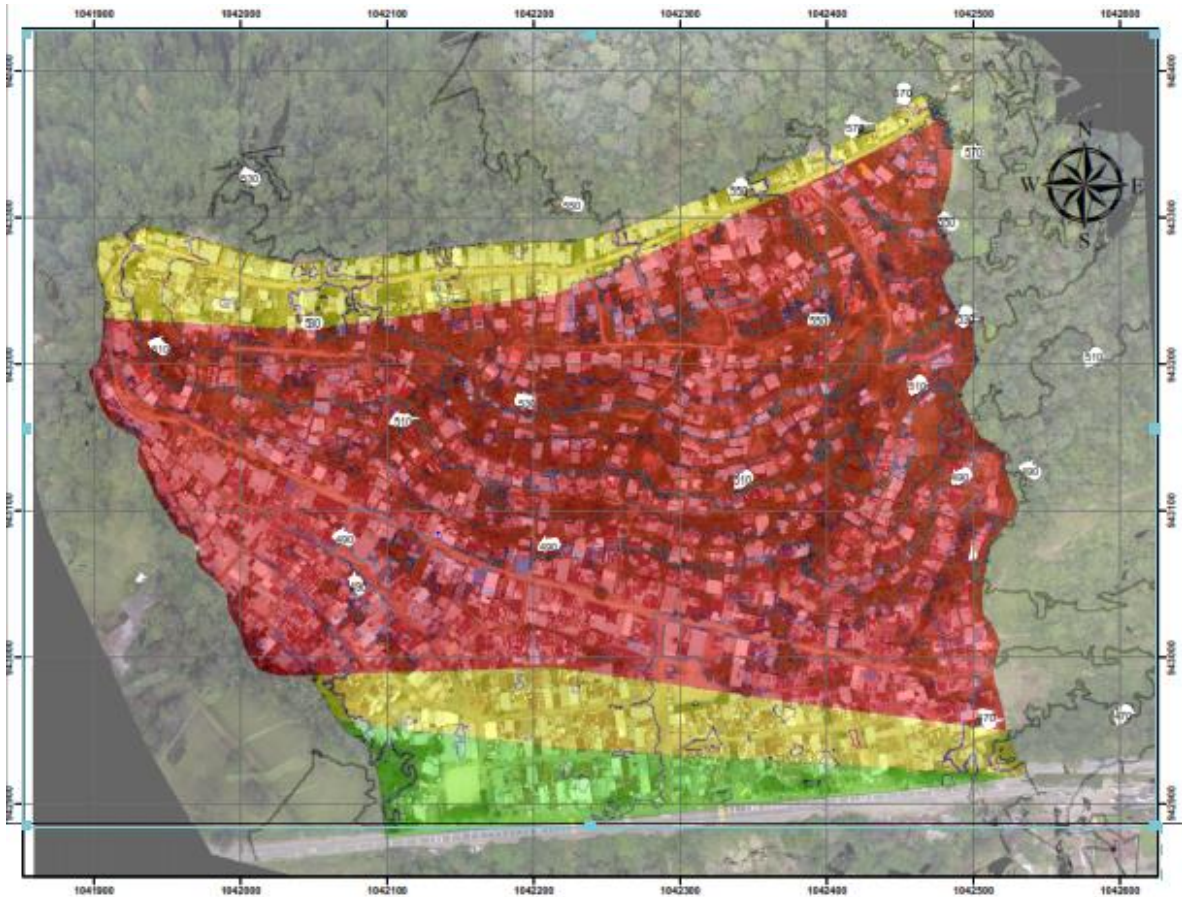


Figura 4-3 Mapa de Amenaza zona de estudio. Fuente Autores

4.4. INFORME DE REPERCUSIONES QUE SE GENERARÍAN TRAS UN EVENTO DE REMOCIÓN EN MASA DESDE UN PUNTO DE VISTA FÍSICO, ECONÓMICO, SOCIAL Y AMBIENTAL.

Dentro del proceso de análisis de la información que se recolecto en campo y se procesó a lo largo de la investigación se logra presentar una alternativa para estimar las repercusiones que se presentarían después de un evento de remoción en masa.

Desde el punto de vista físico, se interpreta el desprendimiento algún porcentaje de ladera el cual afecta las viviendas que se encuentren en el sector. A partir del volumen desprendido y su incidencia sobre el resto de la ladera se plantea que las viviendas tipo para la zona de estudio está entre 40 m² y 48 m² las cuales se pueden clasificar el estado de las viviendas según sus materiales de construcción como buena con un 27%, regular con un 23% y mala

con un 50% esto debido al bajo nivel económico que presenta la población que se encuentra en la área de estudio, pero la incidencia que tiene los senderos laterales y los pastizales nos arrojan un área de 98 m² por vivienda por lo cual el número de viviendas afectadas tras un evento de remoción estaría dado en función de la ecuación 4-1

$$N = \frac{\text{Area desprendida (m2)}}{98 \text{ m2}} \quad (4-1)$$

En este procedimiento se debe revisar previamente las áreas de pastizales previstas en el mapa de uso de suelos para ser descontadas y no afectar el cálculo de las zonas residenciales. Dentro del mapa de amenaza generado en la presente investigación como se puede ver en el Anexo E, se identifican el número de viviendas que se encuentran en cada nivel de amenaza como se observa en la Tabla 4-3 y su porcentaje equivalente sobre el total de predios identificados.

Tabla 4-3 Número de viviendas afectadas en cada nivel de amenaza

Probabilidad de amenaza	Numero de Predios	%
BAJA	85	5.2
MEDIA	351	21.5
ALTA	1199	73.3

Fuente: Autores

Al revisar la información de los enseres que manifestaron los habitantes de la comunidad tener al momento de realizar la encuesta socioeconómica se logra establecer un precio base para las viviendas, en el cual se contemplan los valores promedios de una vivienda en la condición de ladera media en la Nohora como se evidencia en la tabla.

Tabla 4-4 Precio estimado por vivienda

Cantidad	Objeto	Precio
4	camas	\$ 2,600,000.00
1	computador	\$ 1,200,000.00
1	lavadora	\$ 1,000,000.00
1	televisor	\$ 1,000,000.00
1	equipo	\$ 550,000.00
1	estufa	\$ 650,000.00
1	nevera	\$ 1,000,000.00
1	casa base	\$50,000,000.00
Total Vivienda		\$58,000,000.00

Fuente: Autores

Se estima que el valor por vivienda es de \$58.000.000 de pesos para lo cual una vez establecido el número de viviendas afectadas por el deslizamiento se multiplicaría por el valor de las viviendas ver ecuación 4-2.

$$\text{Pérdida económica} = N * 58.000.000 \quad (4-2)$$

Donde N es el número de viviendas afectadas por el desplazamiento.

Siguiendo con el procedimiento se estima el valor económico de cada nivel de amenaza a partir de lo presentado anteriormente como se observa en la Tabla 4-5

Tabla 4-5 Valor estimado de cada nivel de amenaza

Probabilidad de amenaza	Valor del nivel de amenaza
BAJA	\$ 4,930,000,000
MEDIA	\$ 20,358,000,000
ALTA	\$ 69,542,000,000

Fuente: Autores

Para estimar el número de personas afectadas se estima después de realizar el censo que el promedio de personas por vivienda es de 4 personas, por lo tanto, el número de personas afectadas después de un evento de remoción se puede describir en la ecuación 4-3

$$\text{Número de personas afectadas} = N * 4$$

Donde N es el número de viviendas afectadas por el desplazamiento.

Predomina en el área de estudio la alta población joven que se encuentra con aproximadamente un 48% de la población total siendo esta la más afectada y predispuesta para dar respuesta rápida hacia un posible evento de remoción, mientras que un 11% de la población se puede categorizar como personas de la tercera edad siendo estas personas de más de 60 años las más vulnerables por sus discapacidades y poca agilidad, baja respuesta a los tratamientos. Se categoriza las familias como personas pobres según su misma consideración con el 82% de las encuestas realizadas, esta percepción se evidencia en las ayudas que el gobierno les entrega con un 62% de las familias reciben algún tipo de ayuda por parte del gobierno, y sus ingresos por familias son bajos relacionándolos con familias de tipo numerosas, en una relación de 56% a 32%, debido a sus bajos niveles de educación que la mayoría de los adultos carecen como lo es un 82% de las mujeres tienen la básica secundaria incompleta y un 88% en hombres.

En términos generales, el asentamiento subnormal de la Nohora se localiza en un polígono clara y fuertemente delimitado en sus cuatro coordenadas Norte, Sur, Oriente y Occidente, por una serie de afectaciones que le impiden crecer y ocupar el territorio horizontalmente. A pesar de que la propiedad tiene un área bruta de 22 Ha más del 40%, por encima de la cota topográfica 500 msnm, se considera área de reserva pertenecientes a un cordón ambiental.

Tres de las cuatro afectaciones más importantes pertenecen a una relación de elementos Estructurantes de Naturaleza Ecosistémica, entre los que se encuentran; Rondas de los caños Los Monos (Occidente), Ronda del caño Fanagra (Oriente) y Área de Reserva Ambiental en un Cinturón Verde (Norte). La cuarta afectación en el costado sur es de naturaleza antrópica y es el resultado de una afectación de ensanchamiento para una vía nacional. Dentro de las áreas de actividad forestal protectora – productora se definen como bordes o cinturones verdes a los suelos que se les asigna usos forestales y cumplen la función de contener la presión de la expansión urbana sobre el área del piedemonte y cordillera, al tiempo que integran los ecosistemas del área rural con los del área urbana, generando un conjunto de corredores ecológicos que mejoren la calidad ambiental del territorio municipal. De la cota 494 hacia arriba, corresponde a un área de importancia ecológica, donde hay un grado de intervención antrópica medio por algunos asentamientos ubicados allí.

El terreno presenta en algunos sectores erosión hídrica, no hay efectos erosivos antrópicos significativos, se puede deducir que el sitio todavía conserva sus propiedades y características bióticas y abióticas, especies representativas del piedemonte llanero y altiplanicie en buen estado, de la cota 493 a la cota 482 donde se observan gran parte de los asentamientos y el rastro de algunas especies del relicto boscoso intervenido y algunas especies representativas como níspero, limoncillo, guamo, guayabo, pavito entre otros, de la cota 481 a la cota 476, en esta zona al igual que en la anterior encontramos gran número de asentamientos y caminos definidos por los habitantes, al igual que existe durante el recorrido de estos la presencia de varias especies cultivadas por los habitantes en la parte trasera y en el frente de sus viviendas como: ají, yuca, mango, papayo, aguacate, maracuyá, naranjo entre otros, De la cota 475 a la cota 466, es el sitio mayormente intervenido ya que hay mayor área de terreno destapado, caminos, comercio e instituciones. A pesar del existente también se ven algunas especies en las partes traseras y delanteras de las casas, pero en este caso son especies nativas como pate vaca, platanillo, caño fisto, caballero de la noche, lacre entre otros, Se debe resaltar que la ronda del caño Fanagra está en buenas condiciones, cuenta con un buen número de especies nativas y es cuidado por la comunidad en su mayoría ya que es la fuente de abastecimiento del sector, la captación se hace en condiciones precarias, En cuanto al caño los monos, se encuentra en un grado de intervención antrópica más alta. La comunidad cuenta con sistemas de drenaje pluvial improvisados, los cuales representa en algunos de los asentamientos problemas de inundaciones.

Por último, en la Tabla 4-6 se sintetiza los objetivos planteados y el porcentaje de desarrollo que se alcanzó durante la presente investigación.

Tabla 4-6 Síntesis de resultados de la investigación

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado	Porcentaje de Desarrollo
Diagnóstico de la condición actual de la zona objeto de estudio con relación a eventos de remoción en masa	Informe	Objetivo específico 1	100%

Análisis de amenaza por procesos de remoción en masa bajo agentes climatológicos en el municipio de Villavicencio, Meta, zona de estudio La Nohora

Mapas Climatológico y Geomorfológico de la zona objeto de estudio.	Mapa	Objetivo específico 2	100%
Mapa de amenaza de la zona de estudio	Mapa	Objetivo específico 4	100%
Informe de repercusiones que se generarían tras un evento de remoción en masa desde diferentes puntos de análisis	Informe	Objetivo específico 5	100%

Fuente: Autores

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

5.1. CONCLUSIONES

Los procesos de remoción en masa están determinados principalmente, por las precipitaciones extremas y los agentes antrópicos que afectan directamente las condiciones de la ladera, y, principalmente, el crecimiento sub urbano insostenible en áreas no aptas para uso residencial.

Las precipitaciones intensas son un detonante en los procesos de remoción en masa causado por la distribución de las precipitaciones en el año, las diferencia espacio temporales de las mismas y la fragilidad de la geomorfología del suelo.

El máximo histórico de precipitación para la ciudad de Villavicencio fue captado por las estaciones climatológicas en el año 2012 con 145.11 mm en la zona de estudio, transcurrido en 24h, y posterior mente el aumento de los microclimas en la zona de estudio evitando el debido drenaje natural del suelo en la zona de estudio aumentado las escorrentías y por consiguiente mayor probabilidad ante un evento remoción en masa.

En el análisis geomorfológico de la zona se evidencia de la mayor área de uso del suelo, siendo esta la residencial con 13.98 ha de las 22 ha que comprende la zona de estudio, un 63.39% del área a analizar, produciendo mayor infiltración en el suelo debido a la alta urbanización que se presenta produciendo la baja permeabilidad del suelo.

Se identifica el tipo de movimiento que podría ocurrir ante un evento de remoción en masa más probable siendo movimiento rotacional con planos de fallas circulares produciendo movimientos de tipo flujo produciendo fallas en la superficie cóncava.

Debido a las altas precipitaciones producen infiltraciones más agresivas en la zona y aumento del nivel freático, y las altas pendientes que se presentan aproximadamente el 80% de la zona de estudio, esto produce que el 73.9% se identifique una amenaza alta con una afectación del 16.2 Ha un nivel de amenaza medio con el 19.6% y una afectación de aproximadamente de

4.1 Ha y un nivel de amenaza bajo con el 7.6% y aproximadamente 1.7 Ha estas últimas se encuentran ubicadas en la parte inferior de la ladera.

Se debe de realizar planes de reforestación en el área protegida, debido a la alta deforestación que se evidencia en la zona, por ello se recomienda plantar árboles en la protección de rondas hídricas cuya función es la de conservación de aguas y en parques y zonas verdes paisajísticas como las especies representativas del piedemonte llanero. Tratando de mitigar el impacto ambiental negativo existente, debido a la intervención de asentamientos humanos y conservando el ecosistema existente a través de la restauración ecológica que se irá estableciendo a medida que se ejecuten estas actividades.

Aunque se debe reconocer que a pesar de los problemas ambientales del sector la mayoría de los habitantes y los líderes comunales tienen una actitud positiva hacia el ambiente y los recursos naturales.

5.2. TRABAJOS FUTUROS

Para una investigación futura que permita complementar nuestra investigación consideramos necesario análisis de las condiciones del suelo con más información de las características de la estratigrafía de este. Es pertinente generar sondeos a mayor profundidad y que cubran unas áreas significativas para la estructuración de una simulación 3D en algún software tipo Midas GTS NX o en su defecto análisis en 2D con un número de fajas mayores a lo largo de toda la ladera.

Se considera pertinente analizar la zona de estudio en áreas que no sean superiores a 4 Ha ya que el proceso de la información en cualquier equipo se dificulta por el nivel de detalle y su dificultad en el procesamiento. También se puede sugerir realizar una comparación de métodos de levantamiento topográfico entre la toma de información por medio de estaciones topográficas y la toma de información por medios de Drones, importante para analizar la variación de la información con relación a las pendientes de la zona y la trascendencia del método utilizado.

Consideramos que se realizó un acercamiento significativo con la comunidad de la Nohora en la cual identificamos problemas importantes que podrían ser tratados con trabajos futuros, por ejemplo plantear una posible red de distribución que satisfaga la necesidad de las personas y no genere tanto daño en las características del suelo, manejo de aguas residuales, mejoramientos viales que se puedan realizar en una condición de pendiente alta como se presenta en la Nohora, programas que se enfoquen en la capacitación de los residentes de la zona que les permitan generar alternativas de solución a los problemas que ellos mismo han generado desde que han ocupado la ladera.

Se recomienda una estabilidad de taludes mediante anclajes en los límites de la zona de amenaza alta, y la instalación de geomallas las cuales tienen las ventajas tiene una alta resistencia y durabilidad las cuales complementan la resistencia a la tensión y así crear una resistencia Geomalla-suelo complementen para recibir cargas y distribuir las uniformemente

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. Costa Posada, "La adaptación al cambio climático en Colombia," *Cambio Climático: ¿Una caja de Pandora?*, vol. 1, pp. 18-24, 2008.
- [2] É. Aristizábal, "CARACTERÍSTICAS, DINÁMICA Y CAUSAS DEL MOVIMIENTO EN MASA DEL BARRIO EL SOCORRO (31 DE MAYO DE 2008) EN MEDELLIN," *Revista EIA*, vol. 10, pp. 19 - 29, Diciembre 2008.
- [3] C. Colombia, (2012, Abril 24) Ley 1523 de 2012: Alcaldía de Bogotá. [En línea]. Available: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=47141>. [Último acceso: 16 Marzo 2016].
- [4] D. Gerscovich y t. M. G. López, *Estabilidad de taludes*, Vol 1, Bogotá: Lemoine Editores, 2015.
- [5] D. J. Varnes, *Landslides, analysis and control*, Vol 1, Washington: National Academy of Sciences, 1978.
- [6] 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.
- [7] D. Cruden y D. J. Varnes, "Landslide types and processes," *Landslides investigation and mitigation*, vol. 247, pp. 36-75, Enero 1996.
- [8] Á. De Matteis. (2016 Abril 19). Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. [En línea]. Available: <http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiygeotecnia/Estabilidad%20de%20Taludes.pdf>.
- [9] J. Hinojosa, *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Vol 1. Madrid: Dirección General de Carreteras, 1987.
- [10] O. Bonacci, "Rainfall as the basis urban-runoff- Experience and practice in Yugoslavia," *Water Science and Technology*, vol. 16, n° 8-9, pp. 102-108, 1984.
- [11] V. t. Chow, *Statistical and probability analysis of hydrological data*. Vol 1. Frequency, McGraw Hill book, 1964.
- [12] R. Vargas, "Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia," pp. 192-194, 1998.
- [13] V. Chow, D. Maidment y L. Mays, *Hidrología Aplicada*, Bogota: McGraw-Hill, 1994.
- [14] M. Rabid, "Comparison study between traditional and finite element methods for slopes under heavy rainfall," *SCIENCEDIRECT*, vol. 10, n° 2, pp. 160-168, 09 10 2013.
- [15] C. y. P. d. B. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, "Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC", [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6529/05.pdf?sequence=6&isAllowed=y>. [Último acceso: 26 Febrero 2018].
- [16] C. Colombia. (1997, Julio 18). Ley 388 de 1997 Nivel Nacional: Alcaldía mayor de Bogotá D.C. [En ínea]. Available: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=339>. [Último acceso: 12 Mayo

- 2018].
- [17] Comisión Asesora Permanente Para El Régimen De Construcciones Sismo Resistentes, "Titulo H - ESTUDIOS GEOTÉCNICOS" de Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, Bogotá, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica , 2010, pp. H23-H25.
- [18] C. Colombia, (2012, Abril 24) Ley 1523 de 2012: Alcaldia de Bogotá. [En línea]. Available: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=47141>. [Último acceso: 16 Marzo 2016].
- [19] Á. Guillermo, C. Carlos, G. Alejandro, M. Enif, R. Édgar, R. Carlos y R. Gloria, *GUÍA METODOLÓGICA PARA ESTUDIOS DE AMENZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA*, Bogota: Imprenta Nacional de Colombia, 2015.
- [20] IGAC. (2012, Marzo 23). Alcaldia de Villavicencio [En línea]. Available: http://www.villavicencio.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=26&Itemid=80. [Último acceso: 13 Agosto 2016].
- [21] DANE. (2013). Departamento Administrativo Nacional de Estadistica (DANE). [En línea]. Available: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>. [Último acceso: 25 Febrero 2017].
- [22] Alcaldía de Villavicencio. (2015, Diciembre 30). Alcaldía de Villavicencio. [En línea]. Available: http://www.villavicencio.gov.co/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=1649&Itemid=209. [Último acceso: 12 Marzo 2016].
- [23] W. Rozo. (2013, Marzo 03). Wiroal [En línea]. Available: <http://www.wiroal.com/2013/03/de-la-nohora-operacion-e.html>. [Último acceso: 22 Abril 2016].
- [24] F. Fontanini. (2011, Enero 19) ACNUR.ORG [En línea]. Available: <http://www.acnur.org/noticias/noticia/soluciones-duraderas-para-los-desplazados-internos-en-colombia/>. [Último acceso: 13 Junio 2016].
- [25] R. Juan, Q. Cesar, R. Héctor y M. Jemay, "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*, vol. 4, no. 1, pp. 13-22, 2013.
- [26] D. Sánchez, "Precipitaciones extremas y sus implicaciones en procesos de remoción en masa en la planificación urbana de Tampico, México", *EUG - CUADERNOS GEOGRAFICOS*, vol. 48, pp. 135-159, 2011.
- [27] E. Aristizábal, H. Martínez y V. Jaime, "UNA REVISIÓN SOBRE EL ESTUDIO DE MOVIMIENTOS EN MASA DETONADOS POR LLUVIAS", *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. XXXIV, n° 131, pp. 209-227, 2010.
- [28] A. Rotaru, D. Oajdea y P. Raileanu, "Analysis of the Landslide Movements", *INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOLOGY*, vol. 1, n° 3, pp. 70-79, 2007.
- [29] O. Gomez y L. Pulido. (2001). Servicio geologico Colombiano [En línea]. Available:

<http://catalogo.sgc.gov.co/cgi-bin/koha/opac->

[detail.pl?biblionumber=13281&shelfbrowse_itemnumber=13185](http://catalogo.sgc.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=13281&shelfbrowse_itemnumber=13185). [Último acceso: 15 06 2017].

[30] Google Inc, (2014, Diciembre) Google Maps [En línea]. Available:

<https://www.google.com/maps/@4.0801911,-73.6983053,18z>. [Último acceso: 15 01 2018].

ANEXOS

Los siguientes anexos se encuentran en medio digital contenidos en el CD'S

Anexo A Tabla de variables climatológicas estación Unillanos

Anexo B Levantamiento Digital

Anexo C . Elaboración De Los Estudios De Pre-Inversión Dentro Del Proceso De Legalización Del Asentamiento De La Nohora -Viviendas De 2 Pisos

Anexo D Elaboración De Los Estudios De Pre-Inversión Dentro Del Proceso De legalización Del Asentamiento De La Nohora - Muro De Contención

Anexo E Mapa de Probabilidad de Amenaza de Evento de Remoción en Masa en La Nohora

Anexo F Mapa de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo