

Zonificación De La Susceptibilidad Por Movimientos En Masa Del Barrio Nueva Ilusión De
La Ciudad De Cúcuta, Norte De Santander.

Cristian Leonardo Botello Albarracín



Universidad De Pamplona

Facultad De Ciencias Básicas

Departamento De Física Y Geología

Programa De Geología

2022



Zonificación De La Susceptibilidad Por Movimientos En Masa Del Barrio Nueva Ilusión De
La Ciudad De Cúcuta, Norte De Santander.

Cristian Leonardo Botello Albarracín

Trabajo de grado, modalidad Practica Empresarial para optar al título de GEÓLOGO.

Director Académico:

Ilich Sebastian Villamizar Solano

Director Empresarial:

Huber Hernando Plaza Villamizar

Universidad De Pamplona

Facultad De Ciencias Básicas

Departamento De Física Y Geología

Programa De Geología

2022

Dedicatoria

Primero a Dios quién ha sido mi guía ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera.

A mis padres en especial mi madre ELLIANA, por ser el pilar más importante en mi vida, por demostrarme siempre su amor y apoyo incondicional, creyendo siempre en mi y sacrificándose para darme siempre lo mejor y llevándome siempre de la mano a encontrar el camino del éxito.. De igual manera a mi padre LEONARDO, que también ha sido un gran apoyo en mi vida y quien ha sido mi gran amigo, con sus palabras de aliento no me dejaban decaer para que siguiera adelante.

A mi amada esposa LAURA gracias por tanto amor, tanta paciencia y por darme las fuerzas que necesitaba cada día para culminar mis estudios y así iniciar una nueva etapa en nuestras vidas como profesionales.

A mi hijo SAMUEL por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más, poder llegar a ser un ejemplo para él y poderle brindar un gran futuro.

A mis abuelos MARLENY Y VICTOR que me han dado incondicionalmente todo su amor y han estado conmigo desde que nací, gracias por apoyarme y creer siempre en mí.

A ALFREDO que me ha brindado incondicionalmente su apoyo en todos los aspectos y siempre ha estado ahí para mi mamá, para mi familia y para mí.

Agradecimientos

Agradecer a mi universidad de Pamplona y a todos mis profesores que me vieron crecer como persona y aportarme sus conocimientos, en especial al profesor ILICH VILLAMIZAR por tantos aportes a mi conocimiento a lo largo de estos años de carrera..

Agradezco a la docente, RUTH BELEN PACHECO, por su ayuda para hoy culminar mi proyecto de grado.

Agradezco también a mi director empresarial, el INGENIERO HUBER HERNANDO PLAZA, y a la Secretaria Municipal de Gestión de Riesgo de Desastres por darme la oportunidad de realizar las prácticas y brindarme todo su apoyo.

Igualmente estoy muy agradecido a la licenciada CLAUDIA VERA, quien me apoyo incondicionalmente durante mi proyecto de grado.

CONTENIDO

1) Resumen	10
2) Abstract	11
3) Introducción.....	12
4) Objetivos	14
4.1) Objetivo General	14
4.2) Objetivos específicos	14
5) Generalidades.....	15
5.1) Localización	15
5.2) Geología local.....	16
5.2.1 Grupo Guayabo (N1N2g)	17
5.2.2 Formación León (E1N1I)	18
6) Marco Teórico.....	19
6.1) Movimientos En Masa	19
6.2) Susceptibilidad	21
6.2.1 Sistema de la Experiencia	21
6.2.2 Sistema Teórico	22
6.3) Geomorfología	22
6.4) Unidades Geológicas Superficiales.....	24
6.5) Coberturas	26
6.6) Métodos de zonificación.....	26
7) Metodología	27

7.1)	Etapa de recopilación bibliográfica	27
7.2)	Etapa de selección	28
7.3)	Etapa de procesamiento de datos.....	28
7.4)	Etapa de trabajo de campo	31
7.5)	Etapa de análisis de resultados.....	32
7.6)	Etapa de informe final	33
8)	Resultados	34
8.1)	Pendientes	34
8.2)	Geomorfología	35
8.2.1	Ambiente denudacional	36
8.2.2	Ambiente antropogénico.....	40
8.2.3	Ambiente estructural.....	40
8.2.4	Ambiente Fluvial.....	42
8.3)	Unidades Geológicas Superficiales.....	42
8.3.1	Roca dura Grupo Guayabo (N1N2D).....	43
8.3.2	Roca blanda Grupo Guayabo (N1N2gB)	43
8.3.3	Depósitos Aluviales (Qal).....	44
8.4)	Coberturas	45
8.4.1	Tejido urbano discontinuo.....	45
8.4.2	Bosques fragmentados	46
8.4.3	Tierras desnudas.....	46
8.4.4	Pastos enmalezados	46
8.5)	Zonificación de Susceptibilidad.....	46
8.5.1	Susceptibilidad baja	47
8.5.2	Susceptibilidad media.....	47
8.5.3	Susceptibilidad alta.....	48
9)	Conclusiones y recomendaciones.....	49
10)	Referencias bibliográficas	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ilustración simplificada del buzamiento de las capas a favor de las pendientes del barrio Nueva Ilusión. (Elaboración propia).	13
Figura 2 Ubicación de la zona de estudio al oeste de la ciudad de Cúcuta (Tomado de Google Earth).....	16
Figura 3 Localización en Google Earth del Barrio Nueva Ilusión. (Tomado de Google Earth).....	16
Figura 4 Columna de unidades litológicas Fm León y Grupo Guayabo (Tomado y modificado de SGC, 2016)	17
Figura 5 Tipos de movimientos en masa. Tomado de PMA: GCA, 2007.	20
Figura 6 Esquema de jerarquización geomorfológica (Carvajal et al., 2004).....	23
Figura 7 Flujograma de la metodología propuesta para el estudio.	27
Figura 8 Herramienta Create TIN de ArcGIS para la generación de superficie TIN.	29
Figura 9 Herramienta TIN to RASTER para la generación del Modelo de Terreno.	29
Figura 10 Procedimiento para generar el mapa de pendientes mediante la herramienta Slope.	30
Figura 11 Reclasificación de los rangos de pendientes.	30
Figura 12 Herramienta Hillshade para la generación del mapa de sombras.....	31
Figura 13 Mapa de pendientes.	35
Figura 14 Mapa geomorfológico	36
Figura 15 Colina residual (Dcr).	37
Figura 16 Cerro residual (Dcrs).	37
Figura 17 Ladera erosiva (Del.).....	38
Figura 18 Flujos de detritos (Dlfd).	39

Figura 19 Flujo menor de detritos (Dfe).....	39
Figura 20 Llanura de relleno antropogénico (Ar).....	40
Figura 21 Ladera estructural (Sle).....	41
Figura 22 Ladera estructural de contrapendiente (Slcp).....	41
Figura 23 Llanura antigua de inundación (Fpi).....	42
Figura 24 Mapa de Unidades Geológicas Superficiales.....	43
Figura 25 Estratificación areniscas Grupo Guayabo.....	44
Figura 26 Contacto entre Grupo Guayabo y Depósitos Cuaternarios.....	44
Figura 27 Mapa de coberturas.....	45
Figura 28 Mapa de zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa,.....	47
Figura 29 Tipos de vivienda presentes en la zona.....	47

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Vértices polígono área de estudio, Sistema de coordenadas de Gauss-Krüger Origen Magna Colombia Este.....	15
Tabla 2 Rangos clasificatorios de pendientes (Carvajal et al., 2004).....	34

LISTA DE ANEXOS

Anexo A: Plancha geológica 88 – Cúcuta

Anexo B: Mapa curvas de nivel

Anexo C: Mapa de Pendientes

Anexo D: Mapa de Sombras

Anexo E: Mapa Geomorfológico

Anexo F: Mapa Unidades Geológicas Superficiales



Anexo G: Mapa de coberturas

Anexo H: Mapa de Zonificación de Susceptibilidad de movimientos en masa

1) Resumen

En este trabajo de grado en modalidad de prácticas profesionales se presenta una zonificación de la susceptibilidad a movimientos en masa en un área de 1350 m² en la cual se encuentra el barrio Nueva ilusión de la ciudad de San José de Cúcuta, departamento de Norte de Santander. Para llevarse a cabo la metodología, el estudio fue dividido en las siguientes etapas; recopilación de información bibliográfica, interpretación de información tomada a partir de sensores remotos, inspección ocular del área de estudio, levantamiento de información en campo, elaboración de mapas temáticos, análisis final y resultados. Para la elaboración de los insumos, gracias al mapa topográfico de la zona a escala 1:2000, el cual fue proporcionado por la Secretaría de Gestión de Riesgo de Desastres de la ciudad, se realizó un modelo de elevación digital (DEM), mapa de pendientes, mapa de sombras, superficie TIN y red de drenajes, los cuales permitieron realizar la interpretación geomorfológica, siguiendo la metodología de Carvajal (2012). De igual forma se determinaron cuatro Ambientes Geomorfológicos; Antropogénico, Denudacional, Fluvial y Estructural. En las visitas de campo se identificaron cinco Unidades Geológicas Superficiales, donde predominan rocas del Grupo Guayabo (Mioceno) y depósitos cuaternarios. Finalmente se agrupó la información y se clasificó cada variable con un valor numérico, donde entre más alto es el valor, mayor es la susceptibilidad, le fue asignado a cada variable un porcentaje de acuerdo a su nivel de influencia en la determinación de la susceptibilidad de movimientos en masa, todo lo anterior de acuerdo a lo propuesto por Servicio Geológico Colombiano (SGC). Finalmente se obtuvo como resultado la zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa del total de área, donde el 29.7% corresponde a susceptibilidad alta, y el área restante a susceptibilidad media y baja.

2) Abstract

In this degree work in the modality of professional practices, a zoning of the susceptibility to mass movements is presented in an area of 1350 m² in which the Nueva ilusión neighborhood of the city of San José de Cúcuta, department of Norte de Santander is located. . To carry out the methodology, the study was divided into the following stages; compilation of bibliographic information, interpretation of information taken from remote sensors, visual inspection of the study area, information gathering in the field, elaboration of thematic maps, final analysis and results. For the elaboration of the inputs, thanks to the topographic map of the area, which was provided by the Secretary of Disaster Risk Management of the city, a digital elevation model (DEM), slope map, shadow map was made, TIN surface and drainage network, which allowed the geomorphological interpretation, following the methodology of Carvajal (2012). In the same way, four Geomorphological Environments were determined; Anthropogenic, Denudational, Fluvial and Structural. In the field visits, five Superficial Geological Units were identified, where rocks from the Guayabo Group (Miocene) and Quaternary deposits predominate. Finally, the information was grouped and each variable was classified with a numerical value, where the higher the value, the greater the susceptibility, a percentage was assigned to each variable according to its level of influence in determining the susceptibility of mass movements, all of the above according to what was proposed by the Colombian Geological Service (SGC). Finally, the zoning of susceptibility due to mass movements of the total area was obtained as a result, where 29.7% corresponds to high susceptibility, and the remaining area to medium and low susceptibility.

3) Introducción

En el territorio nacional se presenta la interacción de tres principales placas tectónicas, la Suramericana, la de Nazca y la placa Caribe, lo cual genera una complejidad geológica y estructural importante en el país. Esta complejidad se evidencia por la presencia de grandes cadenas montañosas, las cuales favorecen la ocurrencia de sismos, erupciones volcánicas y movimientos en masa, siendo estos últimos potenciados por altas lluvias, elevadas pendientes, material meteorizado y mal uso del terreno. El Servicio Geológico Colombiano, el cual es la entidad encargada de realizar investigación y monitoreo de amenazas geológicas en las que se incluyen los movimientos en masa, publicó en el año 2015 la actualización del Mapa Nacional de Amenaza relativa por Movimientos en Masa a escala 1:100.000, a partir del cual se categorizó aproximadamente el 50% del territorio nacional en amenaza baja, el 22% en amenaza media, el 20% amenaza alta y el 4 % en amenaza muy alta por movimientos en masa.

Existen datos que ubican a la ciudad de Cúcuta en una mala posición respecto a la susceptibilidad de que ocurran movimientos en masa, tanto en la zona urbana como rural. Según el Mapa Nacional de Amenaza por Movimientos en Masa a escala 1:100.000 del año 2017, el municipio de Cúcuta presenta un área de 1135 Km², de la cual el 32.77% se encuentra en Amenaza Media, el 59,15% en Amenaza Alta y el 8.71% en Amenaza Muy Alta.

A partir de lo anterior surge la necesidad de responder el siguiente interrogante con el fin de realizar el aporte tanto a la comunidad científica como a la comunidad en general: ¿Cómo se distribuye y que tan alta es la susceptibilidad a movimientos en masa del barrio Nueva Ilusión?

El barrio Nueva Ilusión se encuentra sobre rocas de las Formación Guayabo y Formación León, siendo éstas principalmente lodolitas y arcillolitas, contando además con una complejidad estructural enmarcada por el flanco oeste del anticlinal de Tasajero. Localmente las rocas se

encuentran altamente fracturadas y el buzamiento de estas se encuentran a favor de la pendiente del terreno. Debido a la filtración de agua y su posterior saturación en arcillas, en los planos de estratificación se forman flujos lodosos que favorecen los desplazamientos del terreno. Además, la zona cuenta con una importante intervención antropogénica y de deforestación, con importante presencia de viviendas de asentamiento irregular que generan una carga considerable del terreno.

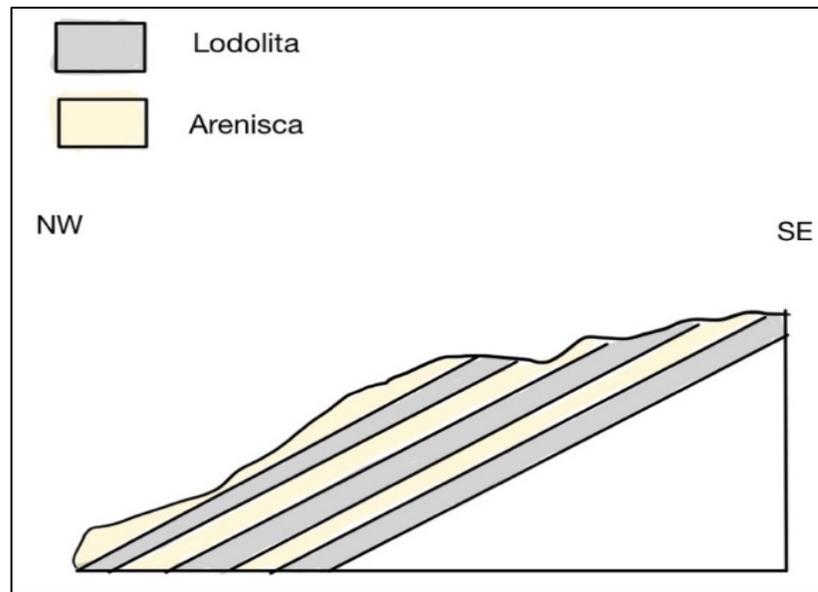


Figura 1 Ilustración simplificada del buzamiento de las capas a favor de las pendientes del barrio Nueva Ilusión. (Elaboración propia).

Según el Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad, el terreno se localiza en una zona que presenta amenaza alta y media por fenómeno de remoción en masa, esto se debe a que la configuración litológica, estructural y geomorfológica de la zona favorece esta susceptibilidad a sufrir fenómenos de remoción en masa, por lo tanto desde la Secretaria Municipal para la Gestión de Riesgo de Desastres de Cúcuta se tiene la necesidad de realizar estudios en las zonas que presentan este tipo de amenazas, en este estudio se incluye la elaboración de la cartografía de

estas variables ya que dichas variables son un insumo necesario a la hora de obtener una zonificación de la susceptibilidad de movimientos en masa.

4) Objetivos

4.1) Objetivo General

Zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa del barrio Nueva Ilusión de la ciudad de Cúcuta.

4.2) Objetivos específicos

-Elaborar mapas temáticos a escala 1:2.000 siguiendo las guías metodológicas para zonificación a la susceptibilidad por movimientos en masa propuestas por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (IDEAM).

-Realizar la caracterización de las Unidades Geológicas Superficiales a escala 1:2.000 en la zona de estudio, siguiendo las pautas del Servicio Geológico Colombiano SGC.

-Determinar los elementos geomorfológicos y los parámetros morfométricos de la zona de estudio, teniendo en cuenta la metodología de Carvajal (2012).

5) Generalidades

5.1) Localización

El área de estudio está localizada al oeste del municipio de San José de Cúcuta, del Departamento Norte de Santander, en el barrio Nueva Ilusión (Ver Figura 2), específicamente en las coordenadas mostradas en la Tabla 1. Geológicamente se encuentra en el cuadrante H-12 al oeste de la Plancha 88 del Servicio Geológico Colombiano a escala 1:100.000, sobre el flanco oeste del Anticlinal de Tasajero, donde afloran, rocas de la Formación Guayabo de edad Mioceno medio – Plioceno (Oviedo et. Al, 2016). El área de la zona es de 1350 m².

Tabla 1 Vértices polígono área de estudio, Sistema de coordenadas de Gauss-Krüger Origen Magna Colombia Este.

X	Y
838.205	1.366.898
838.450	1.366.653
837.999	1.366.202
837.755	1.366.450

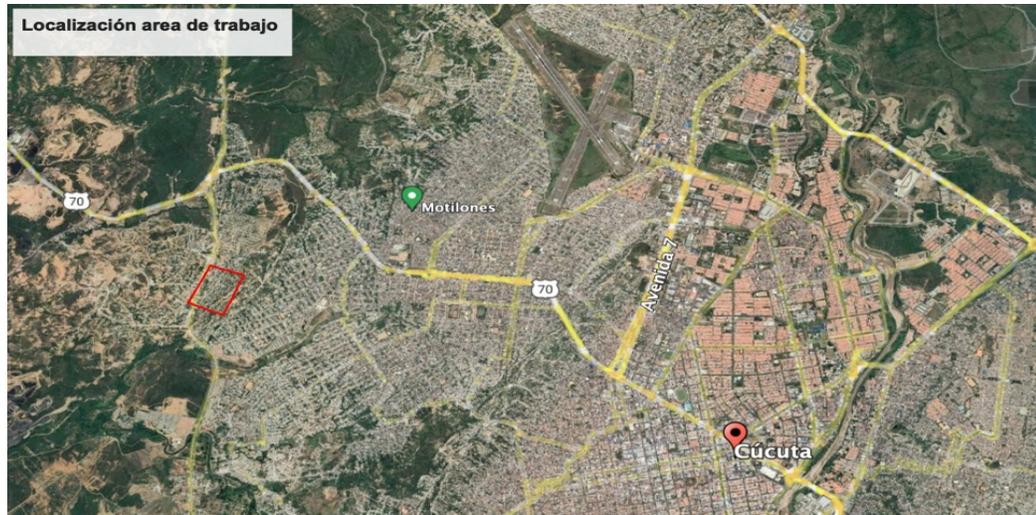


Figura 2 Ubicación de la zona de estudio al oeste de la ciudad de Cúcuta (Tomado de Google Earth).



Figura 3 Localización en Google Earth del Barrio Nueva Ilusión. (Tomado de Google Earth)

5.2) Geología local

La zona de trabajo se encuentra localizada en el Noroeste de Colombia concretamente en la Cuenca del Catatumbo, la cual representa la extensión suroeste de la cuenca de Maracaibo en territorio colombiano, esta es una cuenca de antepaís, con una extensión de 7700 km² y con una cobertura sedimentaria de 4.57 Km (ANH, 2012). En la zona de trabajo estratigráficamente se

encuentra la Formación León del Oligoceno/Mioceno, sobre la cual suprayace el Grupo Guayabo de edad Mioceno, ambas de origen marino.

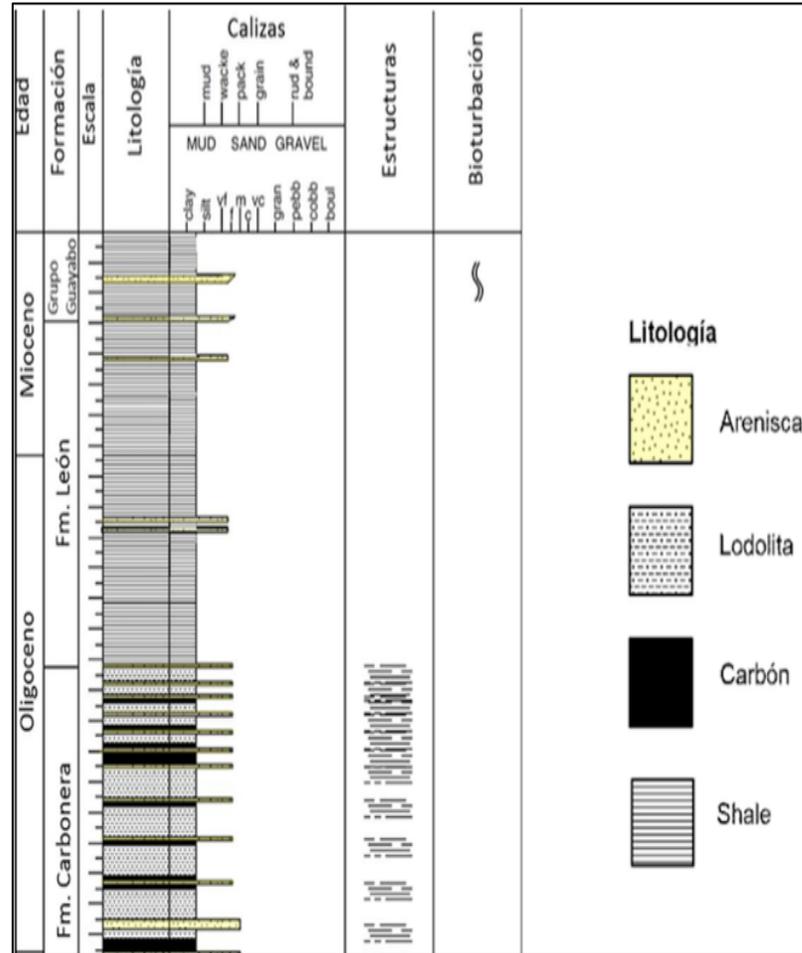


Figura 4 Columna de unidades litológicas Fm León y Grupo Guayabo (Tomado y modificado de SGC, 2016)

5.2.1 Grupo Guayabo (N1N2g)

El Grupo Guayabo consiste litológicamente en lodolitas arenosas, limolitas, areniscas friables de color gris claro y arcillolitas moteadas (varicoloreadas) (Oviedo et al., 2016). El grupo Guayabo reposa sobre la Formación León.

En la zona de estudio se pueden encontrar estructuras geológicas con tendencia NNE como el Sinclinal del Zulia, Anticlinal de Mucurera, Sinclinal de Oripaya, Anticlinal de Tasajero, Sinclinal de Pamplonita, Anticlinal de Ricaurte, Falla Tasajero, Falla Tasajero Norte, y las fallas de Cúcuta, Aguascalientes y El Lomito todas estas definidas por Diederix et al. (2009) las cuales son reportadas en la geología regional (Oviedo et. Al, 2016).

5.2.2 Formación León (E1N1)

Consiste litológicamente en shales con alto grado de fracturamiento, es inusual la presencia de capas delgadas de areniscas grises con láminas carbonosas, y hacia la base y techo se presencia mayores granulometrías con la presencia de limolitas. Se presencia intercalaciones de areniscas con shales hacia la parte media de la formación. La Formación León suprayace a la Formación Carbonera en contacto conforme, la Formación Guayabo la suprayace en un contacto transicional (Oviedo et al., 2016).

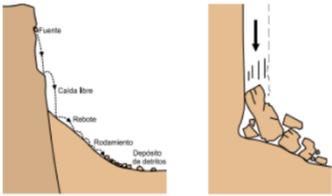
6) Marco Teórico

6.1) Movimientos En Masa

Los movimientos en masa forman parte de los procesos denudativos que modifican la superficie terrestre. Estos se originan por una gran serie de procesos geológicos, mecánicos y químicos que se producen en la corteza terrestre y su relación con la hidrosfera y atmosfera. Por una parte los procesos tectónicos son los que actúan en la generación de montañas y por otra la precipitación, meteorización, sismos y procesos antropogénicos actúan sobre las laderas para desestabilizarlas y modificar su relieve. (PMA:CGA, 2007). En Colombia las lluvias intensas y/o prolongadas son el principal detonante de estos eventos. Sin embargo, también están influenciados por factores antrópicos como el uso inadecuado del territorio (UNGRD, 2017).

Algunos movimientos en masa, como la reptación de suelos, son lentos, a veces imperceptibles y difusos, en tanto que otros, como algunos deslizamientos pueden desarrollar velocidades altas y pueden definirse con límites claros, determinados por superficies de rotura (Crozier, 2005)

Los principales movimientos se clasifican en caídas, deslizamientos, volcamientos, propagación lateral y flujos (Vargas, 1999).

Tipo	Figura	Característica	Velocidad del movimiento
Caída		<p>Desprendimiento de uno o más bloques de roca o suelo de una ladera. El material cae desplazándose principalmente por el aire, pudiendo generar rebotes, volcamientos y rodamientos.</p> <p>Este no es un movimiento de tipo masivo.</p>	Rápido a extremadamente rápido.

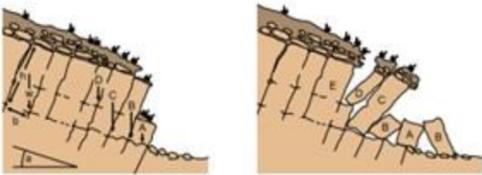
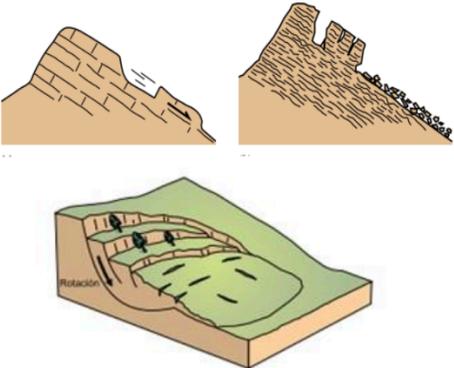
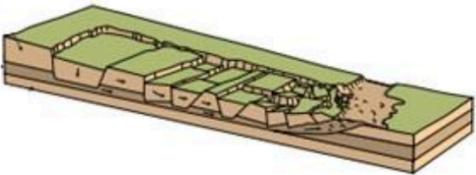
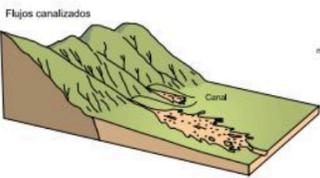
<p>Volcamiento</p>		<p>Rotación de uno o varios bloques de roca o suelo alrededor de un punto en su parte inferior. Este movimiento ocurre por acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas.</p>	<p>Lento a gradual</p>
<p>Deslizamiento</p>		<p>Es un movimiento ladero, 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. Se clasifican los deslizamientos, según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, rotacional (superficie de falla cóncava o curva) y traslacional (superficie de falla plana u ondulada)</p>	<p>Traslacional: Rápida a extremadamente rápida. Rotacional: de lenta a rápidamente.</p>
<p>Propagación lateral</p>		<p>Este desplazamiento ocurre predominantemente por deformación interna (expansión) del material. Se distinguen dos tipos de propagación, uno en el que el movimiento afecta a todo el material sin distinguirse la zona basal de cizalla, típico de masas rocosas, y otro que ocurre en suelos cohesivos que sobreyacen a materiales que han sufrido licuefacción o a materiales en flujo plástico.</p>	<p>Extremadamente lento.</p>
<p>Flujos</p>		<p>Tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser saturado o seco. En muchos casos, se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída. Se clasifican como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Flujo de detritos. - Crecida de detritos. - Flujo de lodo. - Flujo de tierra. - Deslizamiento por flujo. - Avalancha de detritos. 	<p>Rápido o lento.</p>

Figura 5 Tipos de movimientos en masa. Tomado de PMA: GCA, 2007.

Un movimiento en masa comprende una parte alta o superior convexa con una cabeza, cima, cresta o escarpe, donde se presentan procesos de denudación o erosión; una parte intermedia semi-recta y una parte baja o inferior cóncava con un pie, pata o base, en la cual ocurren principalmente procesos de deposición (Suárez, 2003). Un movimiento en masa puede ser descrito por las características geomorfológicas de la masa desplazada y el terreno alrededor del movimiento.

6.2) Susceptibilidad

La susceptibilidad a los movimientos en masa es una medida cualitativa o cuantitativa, la cual expresa la probabilidad de que ocurra un deslizamiento de tierra en un área de acuerdo a las condiciones locales de un terreno. La metodología usada para el estudio de la susceptibilidad de movimientos en masa en una zona, es un proceso de análisis de los factores que los condicionan, factores como los litológicos, geomorfológicos y ambientales, entre otros. (Gutierrez, 2008).

Los sistemas de información geográfica permiten realizar dicho análisis mediante superposición de mapas temáticos de los diferentes factores condicionantes, gracias al establecimiento de bases de datos asociadas. La susceptibilidad es la potencialidad de un terreno o área a la ocurrencia de deslizamientos y no implica el aspecto temporal del fenómeno (Lana, et al 2004).

La susceptibilidad se puede evaluar de dos formas diferentes:

6.2.1 Sistema de la Experiencia

Se utiliza la observación directa de la mayor cantidad de deslizamientos ocurridos en el área estudiada y se evalúa la relación entre los deslizamientos y la geomorfología del terreno.

6.2.2 Sistema Teórico

Se mapea el mayor número de factores que se considera que puedan afectar la ocurrencia de deslizamientos y luego se analiza la posible contribución de cada uno de los factores.

No existe un procedimiento estandarizado para la preparación de mapas de susceptibilidad a los deslizamientos y existe mucha libertad en la determinación de los pasos a seguir.

6.3) Geomorfología

La geomorfología se define como la ciencia que se preocupa de la forma de la Tierra, estudiando los fenómenos que ocurren cerca y sobre la superficie de la misma preocupándose por la interacción de los diferentes tipos de materiales o procesos. El relieve de la superficie terrestre es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las primeras actúan como creadoras de las grandes elevaciones y depresiones, producidas fundamentalmente por movimientos de componente vertical y, las segundas, como desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado. Esta lucha constante se manifiesta a diferentes escalas y ha sido un devenir continuo a lo largo de la historia de la Tierra. Estos procesos de la dinámica externa se agrupan en la cadena meteorización-erosión, transporte y sedimentación. El resultado se manifiesta en la creación de un conjunto de modelos erosivos y deposicionales, que suelen presentar rasgos específicos, en relación con los procesos actuantes en diferentes ambientes morfogenéticos (Gutiérrez, 2008).

En la zonificación de amenazas por movimientos en masa, la geomorfología constituye el factor más importante para el análisis de la evolución del territorio y su relación con la ocurrencia de procesos con características definidas. Existen incluso metodologías de zonificación basadas en el mapeo directo de unidades geomorfológicas, en las que la amenaza es determinada

directamente por expertos en el tema o por combinaciones cualitativas con otras temáticas relacionadas (SGC, 2017).

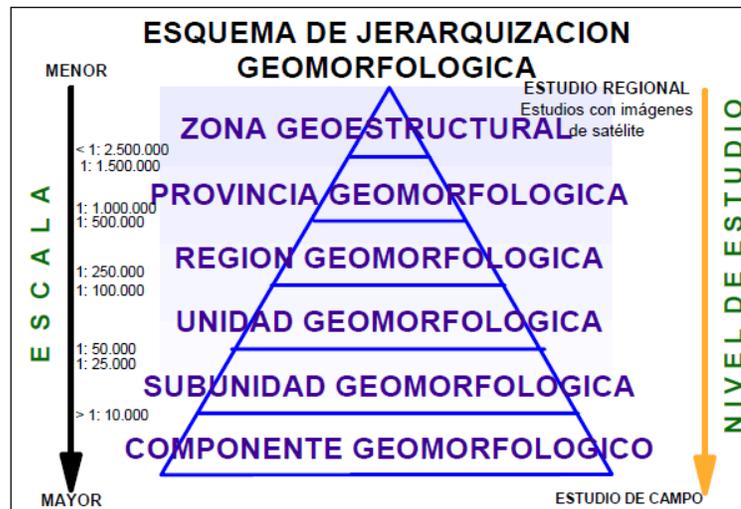


Figura 6 Esquema de jerarquización geomorfológica (Carvajal et al., 2004).

Los ambientes morfogenéticos son:

- **Ambiente Morfoestructural:** Corresponde a las geformas generadas por la dinámica interna de la tierra, especialmente las asociadas a plegamientos y fallamientos.
- **Ambiente Volcánico:** Definido para las geformas generadas por la extrusión de materiales fundidos procedentes del interior de la tierra.
- **Ambiente Denucional:** Determinado por la actividad de los procesos erosivos hídricos y pluviales y de fenómenos de transporte y remoción en masa en geformas pre existentes.
- **Ambiente Fluvial:** Corresponde a las geformas generadas por los cursos de agua tales como rios, quebradas, caños.
- **Ambiente Marino Profundo Y Costero:** Determinado por las geformas construidas o esculpidas por la actividad de las corrientes y procesos del mar.

- **Ambiente Glacial:** Definido por las geoformas originadas por los glaciares tanto de los casquetes polares como de las altas montañas.
- **Ambiente Eólico:** Geoformas formadas por la acción de los vientos en zonas desérticas principalmente.
- **Ambiente Kárstico:** Definido por las formas producto de meteorización y dilución en rocas y materiales de fácil dilución en ambientes húmedos, tales como las calizas y sal.
- **Ambiente Antropogénico:** Morfologías formadas por la actividad del hombre que modifica la superficie del terreno.

6.4) Unidades Geológicas Superficiales

Las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) corresponden a un conjunto (homogéneo) de materiales geológicos que afloran en la superficie, que provienen del mismo origen y conservan en general las mismas características físicas y de comportamiento geo-mecánico, hasta algunas decenas de metros por debajo de la superficie del terreno. Cada UGS se considera como el resultado de una serie de procesos tanto exógenos como endógenos que modelan la superficie terrestre y le confieren al terreno una serie de propiedades que la hacen más o menos susceptible a la ocurrencia de movimientos en masa (SGC, 2017).

Las UGS incluyen los diferentes tipos de rocas clasificadas según su origen y composición mineralógica, grado de meteorización o alteración, dureza o resistencia e índice de resistencia geológica (GSI), así como, los suelos diferenciados de acuerdo con su origen, composición mineralógica, clasificación genética, características y propiedades del suelo, estructura o empaquetamiento, selección, gradación, color, tamaño, forma y composición de las partículas, grado de meteorización, consistencia, resistencia, condición de humedad, densidad relativa,

compacidad, propiedades de la masa del suelo, estructuras relictas o discontinuidades en la masa de suelo y propiedades ingenieriles (SGC, 2017).

La dureza de la roca se determinó mediante el uso de martillo geológico, mediante la siguiente clasificación (Hoek & Brown, 1980):

- R_0 : Roca extremadamente blanda, se puede marcar con la uña.
- R_1 : Roca muy blanda, desmoronable con golpes del martillo geológico.
- R_2 : Roca blanda, puede rayarse con dificultad con la navaja, se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente con la punta del martillo.
- R_3 : Roca moderadamente dura, no se puede rayar con una navaja la muestra en mano, se puede romper con un golpe firme del martillo de geólogo, al impacto la punta del martillo indenta hasta 5 mm.
- R_4 : Roca dura, se necesita más de un golpe con el martillo de geólogo para romper la muestra, especímenes sostenidos en la mano se rompe con un simple golpe de martillo.
- R_5 : Roca muy dura, se necesita muchos golpes con el martillo de geólogo para romper la muestra.

Una vez determinadas las UGS se procede a definir su nomenclatura, la cual se realiza de acuerdo a la comprobación de campo mediante el siguiente sistema:

- La primera letra, en mayúscula, indica si es roca (R) o suelo (S).
- La segunda letra, si es roca, indica su resistencia (Muy dura, dura, intermedia, blanda muy blanda), si es suelo, indica el origen (transportado, residual o antrópico).
- La tercera letra indica el tamaño de grano predominante.
- Finalmente es posible agregar más letras que ayuden a indicar sus características.

6.5) Coberturas

De acuerdo con el IDEAM “la cobertura de la tierra es un resultado de la interacción de la dinámica natural geológica, geomorfológica, los suelos, el clima y sistemas de comunidades bióticas, interrumpida por el hombre para su supervivencia y desarrollo. Dicha interrupción genera o contribuye a la aparición de diferentes procesos como cambios en el patrón de ciclos hidrológicos, cambios en las formas del relieve (en gran número de casos en forma negativa produciendo movimientos en masa, flujos, avalanchas, erosión), afectación en la evolución de las especies, deterioro de ecosistemas, entre otros” (IDEAM, 2010).

6.6) Métodos de zonificación

La zonificación de susceptibilidad se entiende como la división del territorio, áreas o dominios homogéneos (PMA: GCA, 2007). Para este caso particular, un área dada es subdividida en sectores de acuerdo a la susceptibilidad a generar movimientos en masa (SCG, 2017), con lo cual es realizada la zonificación de un área en particular a los movimientos en masa; dicha zonificación se clasifica en tres rangos: alto, medio y bajo. Existen de igual manera varias metodologías para la zonificación, ya sea de susceptibilidad, amenaza o riesgo.

7) Metodología

El proyecto se ejecutó mediante el desarrollo de una serie de etapas, las cuáles fueron realizadas de manera consecutiva con el fin de cumplir con los objetivos planteados y permitiendo realizar el informe final como resultado.

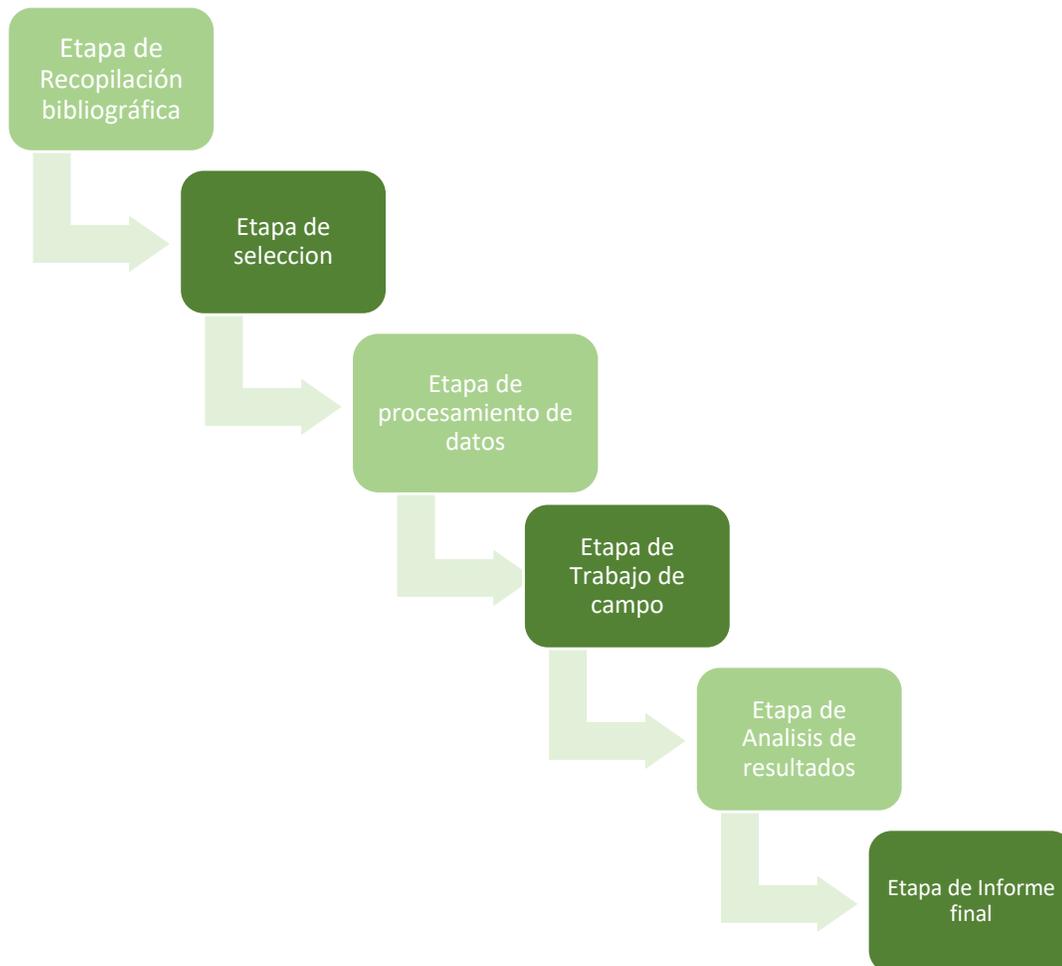


Figura 7 Flujograma de la metodología propuesta para el estudio.

7.1) Etapa de recopilación bibliográfica

Durante esta etapa se recolectó la información de bases de datos bibliográficos nacionales e internacionales, se buscaron trabajos similares que se realizaron en la zona o en cualquier otra

región y se recopiló información de datos meteorológicos. Durante esta etapa también se definieron los alcances y objetivos que se esperaron alcanzar durante el desarrollo del trabajo.

7.2) Etapa de selección

En esta etapa, según los objetivos y alcances definidos, se procedió a seleccionar el área donde se desarrolló el proyecto siempre según las necesidades de la Secretaría Municipal de Gestión de Riesgo de Desastres, posteriormente se realizó un análisis del área en Google Earth y una visita a la zona para determinar la factibilidad para realizar allí la metodología propuesta.

7.3) Etapa de procesamiento de datos

En esta etapa se revisaron los inventarios y catálogos de movimientos en masa que se realizaron con anterioridad referentes al área de estudio. Durante esta etapa se generaron el mapa de pendientes (Anexo B) y de sombras (Anexo C) para desarrollar el mapa preliminar de elementos geomorfológicos, el cual fue posteriormente verificado en campo.

Para la realización de los mapas de pendientes y sombras fue necesario generar una superficie TIN, de la cual se generó un Modelo de elevación digital (DEM).

La superficie TIN se genera a partir del mapa de curvas de nivel a escala 1:2000, proporcionado por la Secretaría, mediante la herramienta de análisis 3D “Create TIN” del software ArcGIS:

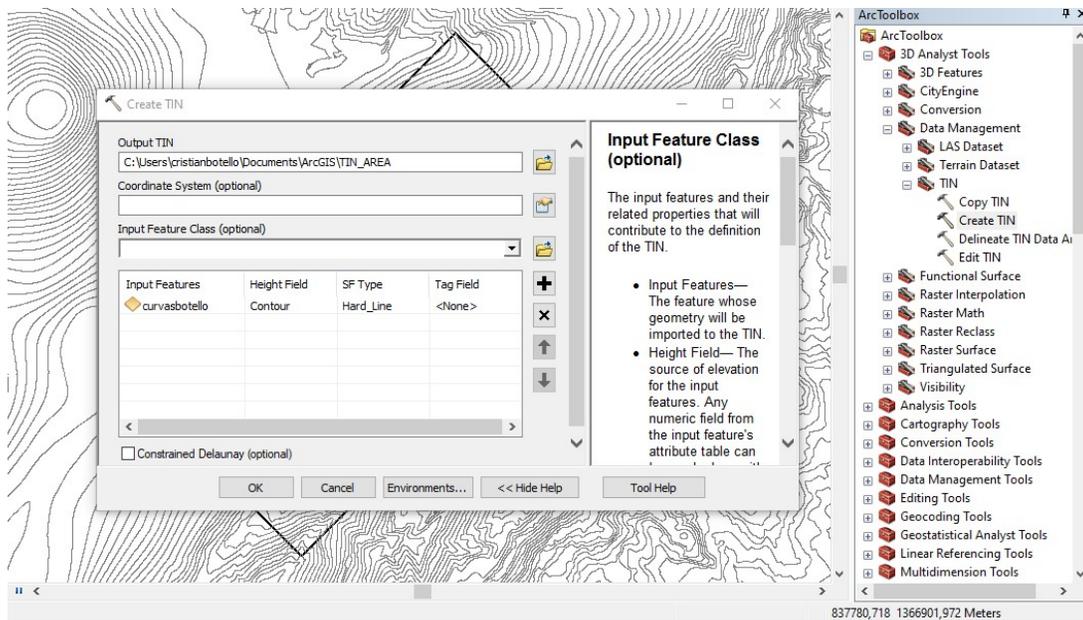


Figura 8 Herramienta Create TIN de ArcGIS para la generación de superficie TIN.

El Modelo de elevación digital (DEM) fue generado a partir del TIN, usando la herramienta “TIN to raster” de la sección de conversión de herramientas de análisis 3D:

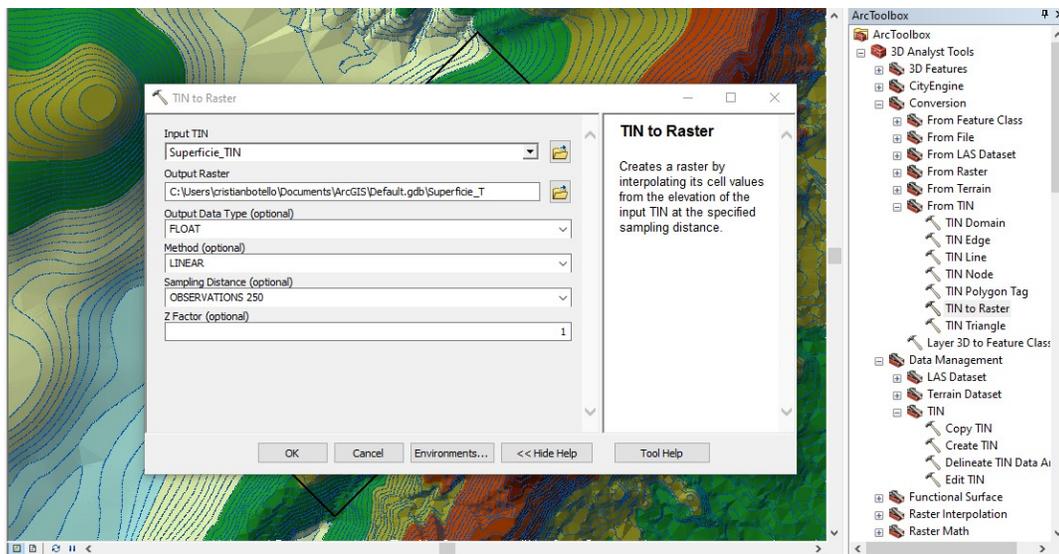


Figura 9 Herramienta TIN to RASTER para la generación del Modelo de Terreno.

Después de la generación del DEM se uso la herramienta “Slope” para generar el mapa de pendientes de la zona:

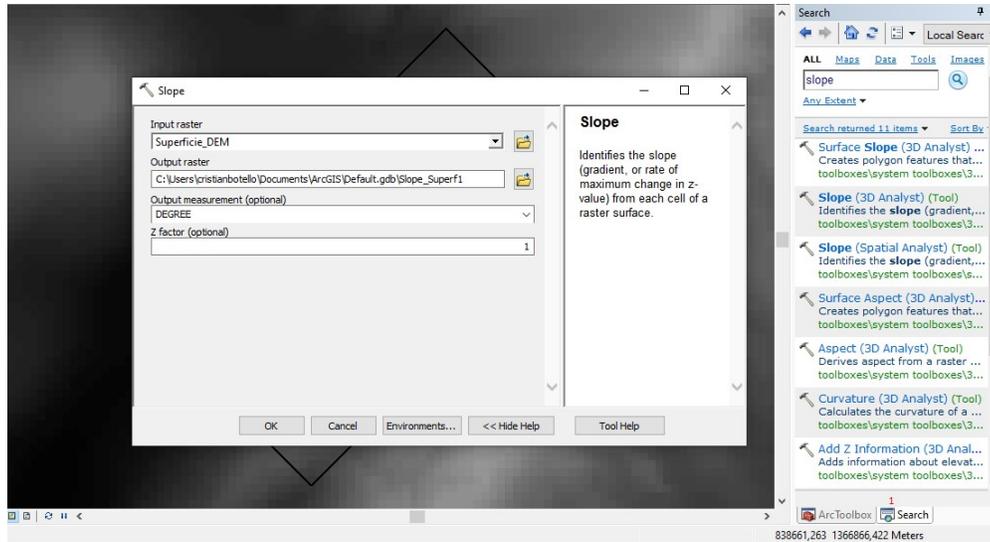


Figura 10 Procedimiento para generar el mapa de pendientes mediante la herramienta Slope.

Posteriormente en las propiedades de la capa de pendientes se realizó una reclasificación manual de los rangos de las pendientes, acorde a la metodología:

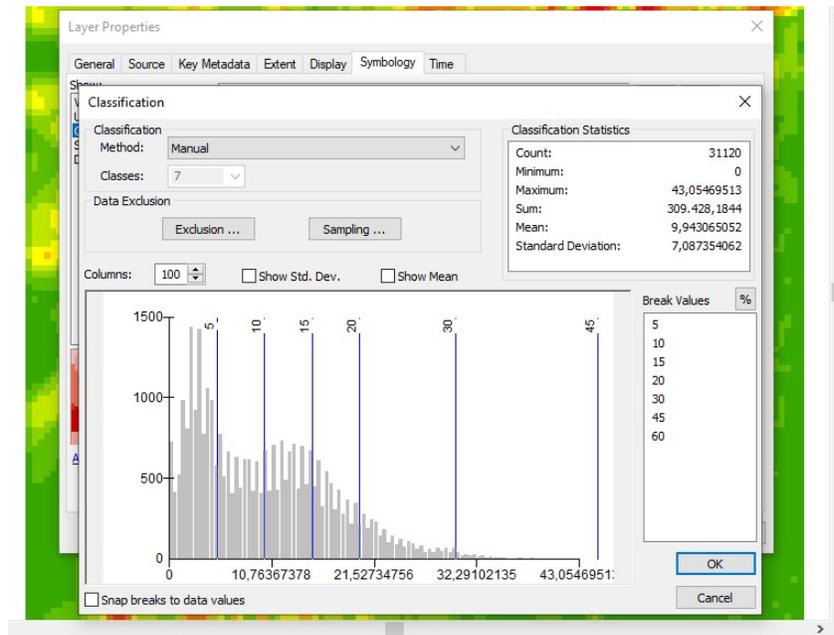


Figura 11 Reclasificación de los rangos de pendientes.

Para la realización del mapa de sombras fue necesario utilizar la herramienta de análisis espacial “Hillshade”:

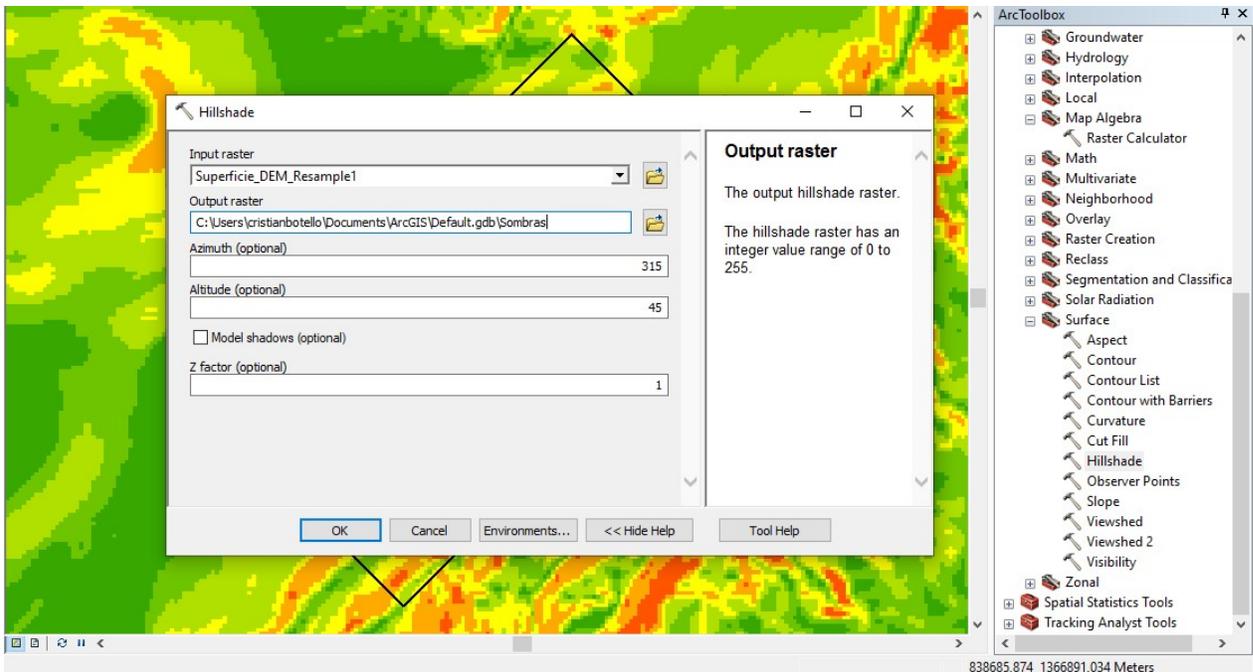


Figura 12 Herramienta Hillshade para la generación del mapa de sombras.

Una vez realizados los anteriores productos de apoyo se procedió a realizar una interpretación de estos, para realizar la caracterización geomorfológica, la cual se encuentra en el capítulo de Resultados.

7.4) Etapa de trabajo de campo

Inicialmente se realizó un recorrido de reconocimiento del área para determinar un plan de trabajo. Posteriormente se realizó la descripción de las Unidades Geológicas Superficiales que fueron encontradas, según los parámetros de las guías para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa del Servicio Geológico Colombiano. Para la descripción y caracterización de las UGS los siguientes parámetros:

7.4.1) Composición mineralógica y clasificación genética: La composición mineralógica permite clasificar litológicamente la roca y determinar su origen.

7.4.2) Tamaño y forma de los granos: La forma se describe haciendo referencia a la forma de las partículas, su angularidad y características superficiales. Los tamaños se clasifican desde los granos muy finos (<0,002mm), hasta el grano muy grueso (>60mm).

7.4.3) Color: El color de las rocas se puede describir de manera semejante al de los suelos, dando un color principal seguido de uno secundario e indicando por último la intensidad que presentan.

7.4.4) Estado de meteorización: Con base en los cambios mecánicos y químicos observados en la matriz rocosa, puede establecerse un esquema descriptivo para los grados de meteorización. Los términos usados para la descripción son: fresca, descolorida, descompuesta y desintegrada.

7.4.5) Textura y estructura: La textura de la roca se refiere a los granos individuales y a su arreglo, este último puede mostrar alguna orientación preferencial. Para los planos de separación entre estructuras planares, incluyendo la estratificación y la laminación en rocas sedimentarias, la exfoliación en rocas metamórficas y el bandeamiento de flujo en rocas ígneas, se usan términos descriptivos.

7.5) Etapa de análisis de resultados

Luego de tener los productos finales se realizó el análisis conjuntamente con la información previamente recopilada, de manera que se determinó la implicación de las variables caracterizadas en la zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa. Se procederá a realizar la integración de la información y aplicación de la metodología de análisis que permita generar el mapa de susceptibilidad a deslizamientos. La zonificación de la susceptibilidad de movimientos en masa en la zona fue generada mediante el método heurístico, a partir de variables como pendientes, geología, geomorfología y cobertura.

Después de obtener los componentes de cada variable, se realizó una evaluación cualitativa clasificando cada unidad dentro de la variable con un valor numérico, donde entre más alto es el valor, mayor es la susceptibilidad. De igual manera le fue asignado a cada variable un porcentaje de acuerdo a su nivel de influencia en la determinación de la susceptibilidad de movimientos en masa, posteriormente se generó el mapa de Zonificación de la susceptibilidad con la herramienta “Map Algebra” del software ArcGis.

7.6) Etapa de informe final

En esta etapa se realizó el informe final en donde se uso la información recolectada en las fases anteriores para dar respuesta a las preguntas de investigación, y se realizaron las conclusiones y recomendaciones necesarias.

8) Resultados

8.1) Pendientes

La pendiente se define como el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal. Su valor se expresa en grados de 0 a 90 y se relaciona con los movimientos en masa de manera que a mayor el grado de pendiente aumenta la susceptibilidad a los movimientos en masa (SGC, 2017).

Teniendo en cuenta el modelo de pendientes realizado, sobre el cual se aplicó el rango de clasificación de pendientes de Carvajal (Tabla 2),

Tabla 2 Rangos clasificatorios de pendientes (Carvajal et al., 2004)

INCLINACION (Grados)	DESCRIPCION	CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y COMPORTAMIENTO
< 5°	Plana a suavemente inclinada.	Muy blanda y Muy baja susceptibilidad a FRM.
6° – 10°	Inclinada.	Blanda y baja FRM.
11° – 15°	Muy Inclinada.	Moderadamente Blanda y Moderada susceptibilidad a FRM.
16° – 20°	Abrupta.	Moderadamente Resistente y Moderada susceptibilidad a FRM.
21° – 30°	Muy abrupta.	Resistente y Alta susceptibilidad a FRM.
31° - 45°	Escarpada.	Muy Resistente y Alta susceptibilidad a FRM.
> 45°	Muy Escarpada.	Extremadamente Resistente y Alta susceptibilidad a FRM.

se encuentra que los rangos de pendientes abruptas y escarpadas se encuentran hacia el sureste del barrio hacia la parte alta de la pendiente donde se encuentran localizadas una gran cantidad de viviendas.

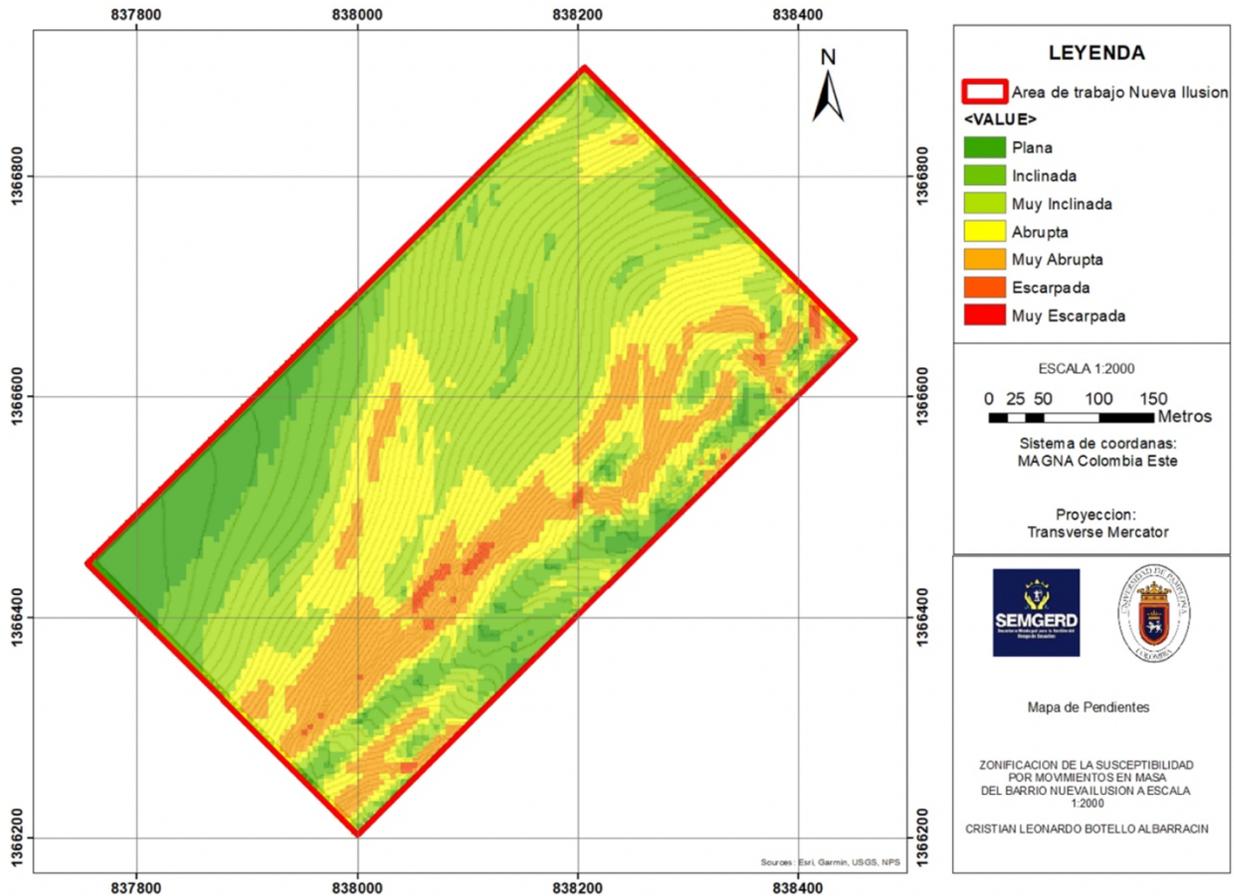


Figura 13 Mapa de pendientes.

8.2) Geomorfología

La interpretación geomorfológica se realizó mediante el uso de los diferentes insumos con los que fue permitido contar para el desarrollo del trabajo, entre los que se encuentran: Mapa topográfico a escala 1:2000 y mapas preliminares usando estos dos mediante herramientas del software ArcGis: DEM (Modelo de elevación digital), Mapa de pendientes, Mapa de sombras, Superficie TIN y Red de drenajes.

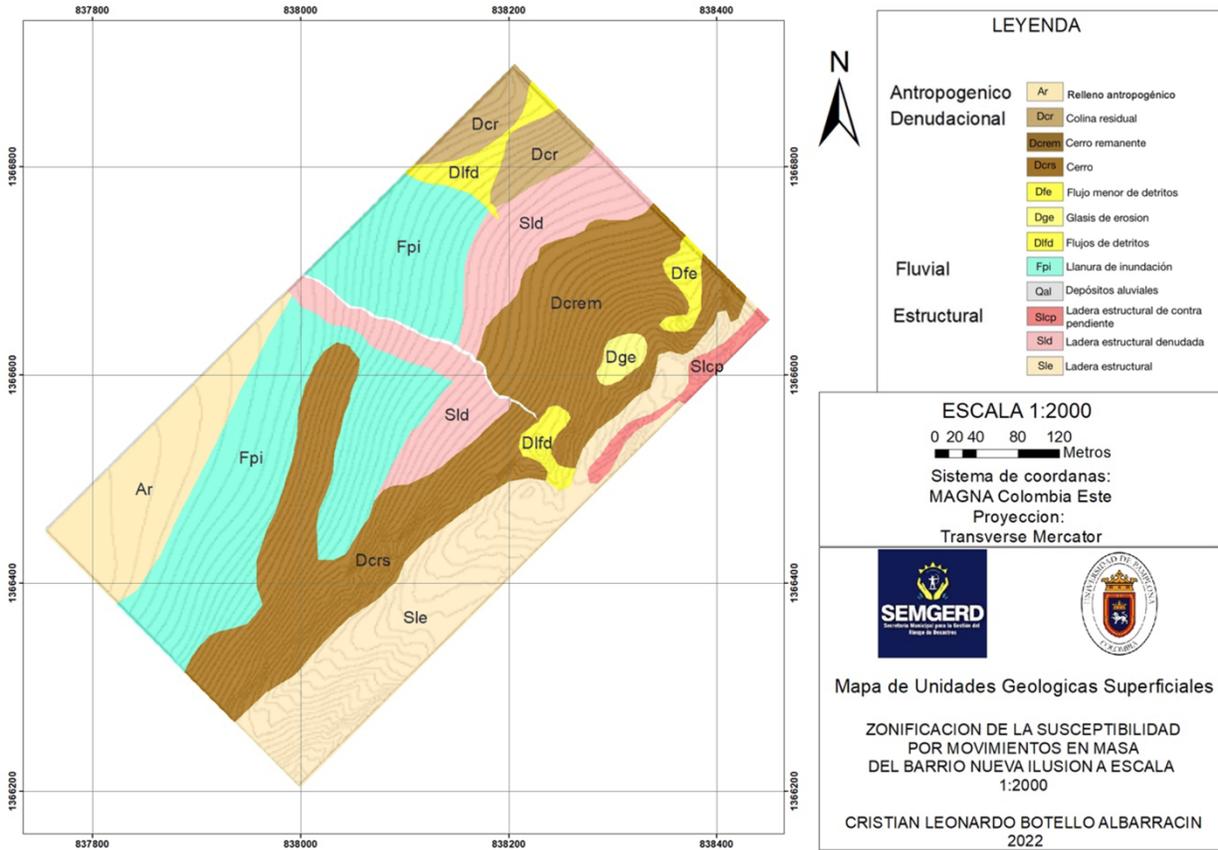


Figura 14 Mapa geomorfológico

En la zona, fueron encontrados los siguientes ambientes geomorfológicos: Antropogénico, Denudacional, Estructural y Fluvial:

8.2.1 Ambiente denudacional

8.2.1.1 Cerro remanente (Dcrem)

Prominencia topográfica aislada de morfología colinada, su origen está asociado a procesos de meteorización acentuados y agudos (SGC, 2015). Esta geoforma se encuentra en la zona noreste del polígono del área de estudio ocupando un 4.7% del área total.

8.2.1.2 Colina residual (Dcr)

Elevación del terreno que presenta una cima redondeada con pendientes abruptas, su origen se asocia a procesos tectónicos y denudacionales (SGC, 2015). Esta geoforma se encuentra al norte del área de estudio teniendo una ocupación del 4.6% del área total.



Figura 15 Colina residual (Dcr).

8.2.1.3 Cerro residual (Dcrs)

Prominencia topográfica sobre saliente, con morfología colinada, cima plana a ondulada y laderas largas (SGC, 2015). Esta geoforma representa un 32% del área total ubicándose al sureste del área de estudio.



Figura 16 Cerro residual (Dcrs).

8.2.1.4 Ladera erosiva (Del)

Superficie del terreno con pendientes inclinadas a escarpadas con un patrón de drenaje detrítico (SGC, 2015). Representa un 13.5% del área total.



Figura 17 Ladera erosiva (Del.)

8.2.1.5 Glasis de erosión (Dge)

Superficie de erosión cóncava y suavemente inclinada (SGC, 2015). Representa 1% del área total de estudio.

8.2.1.6 Flujos de detritos (Dlfd)

Masa móvil con saturación de agua desplazada pendiente abajo debido a la gravedad. Representa un 4.4% del porcentaje del área total.



Figura 18 Flujos de detritos (Dfd).

8.2.1.7 Flujos de detritos (Dfe)



Figura 19 Flujo menor de detritos (Dfe).

8.2.2 Ambiente antropogénico

8.2.2.1 Llanura de rellenos antropogénicos (Ar)

Montículos aterrazados formados por acumulación de material, dispuestos de manera mecánica o manual (SGC, 2015). Localizado en la zona Oeste del polígono del área de estudio, comprende un 11.2% del área total. Relleno



Figura 20 Llanura de relleno antropogénico (Ar).

8.2.3 Ambiente estructural

8.2.3.1 Ladera estructural (Sle)

Superficie en declive con planos preferentes (estratificación, foliacion, diaclasamiento) a favor de la pendiente (SGC, 2015). Representa un 23% del área total.



Figura 21 Ladera estructural (Sle).

8.2.3.2 Ladera estructural de contra pendiente (Slcp)

Superficie en declive con planos preferentes (estratificación, foliación, diaclasamiento) en contra de la pendiente del terreno (SGC, 2015). Representa un 1.9% del área total de la zona de estudio.



Figura 22 Ladera estructural de contrapendiente (Slcp).

8.2.4 Ambiente Fluvial

8.2.4.1 Llanura de inundación antigua (Fpi)

Es una zona que fue eventualmente inundable. Constituye el 5% del área total de la zona de estudio.



Figura 23 Llanura antigua de inundación (Fpi).

8.3) Unidades Geológicas Superficiales

En el área de estudio se determinaron 3 unidades geológicas superficiales de roca las cuales fueron clasificadas principalmente por su caracterización geomecánica y su litología, descritas a partir de estas variables y de la génesis: Roca dura Grupo Guayabo (N1N2D), Roca blanda Grupo Guayabo (N1N2gB) y Depósitos aluviales (Qal).

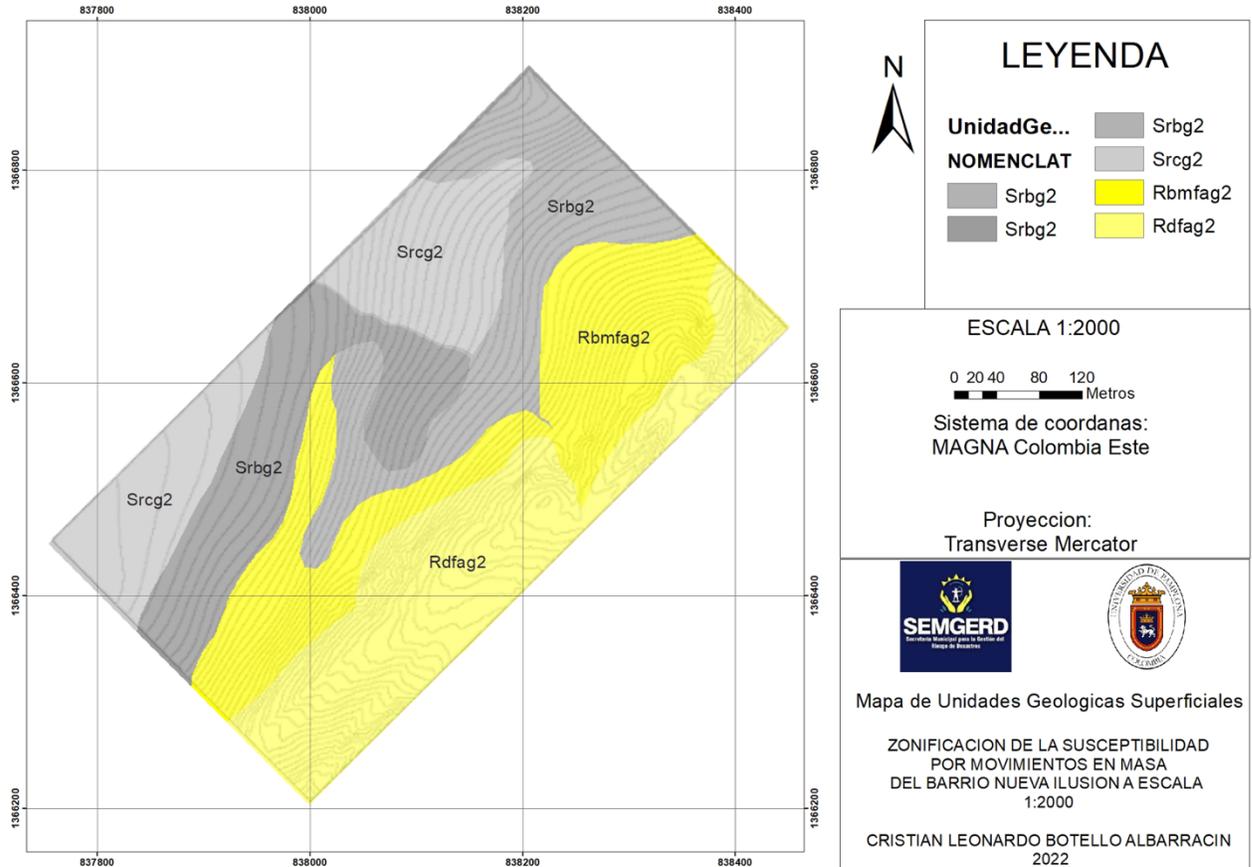


Figura 24 Mapa de Unidades Geológicas Superficiales.

8.3.1 Roca dura Grupo Guayabo (Rdfag2)

Unidad de roca sedimentaria dura compuesta por areniscas de grano fino, sub redondeados, con esfericidad media, mineralógicamente compuesta de Cuarzo (96%) y líticos (4%), con intercalaciones de arcillolita fuertemente meteorizada y oxidada.

8.3.2 Roca blanda Grupo Guayabo (Rbmfag2)

Unidad de roca sedimentaria blanda compuesta de intercalaciones de arcillolita, fuertemente meteorizada, y areniscas de grano muy fino de color amarillo con granos subredondeados de alta esfericidad, mineralógicamente compuesta de Cuarzo (90%), Feldespato (7%) y líticos (3%)



Figura 25 Estratificación areniscas Grupo Guayabo.

8.3.3 Depósitos Aluviales (Srcg2)

Depósitos aluviales de variación granulométrica que va desde gravas a muy finos, de consistencia blanda.



Figura 26 Contacto entre Grupo Guayabo y Depósitos Cuaternarios.

8.4) Coberturas

A continuación, se presentan las diferentes coberturas encontradas en el área de interés, con su respectiva área y porcentaje con respecto a la extensión total del área.

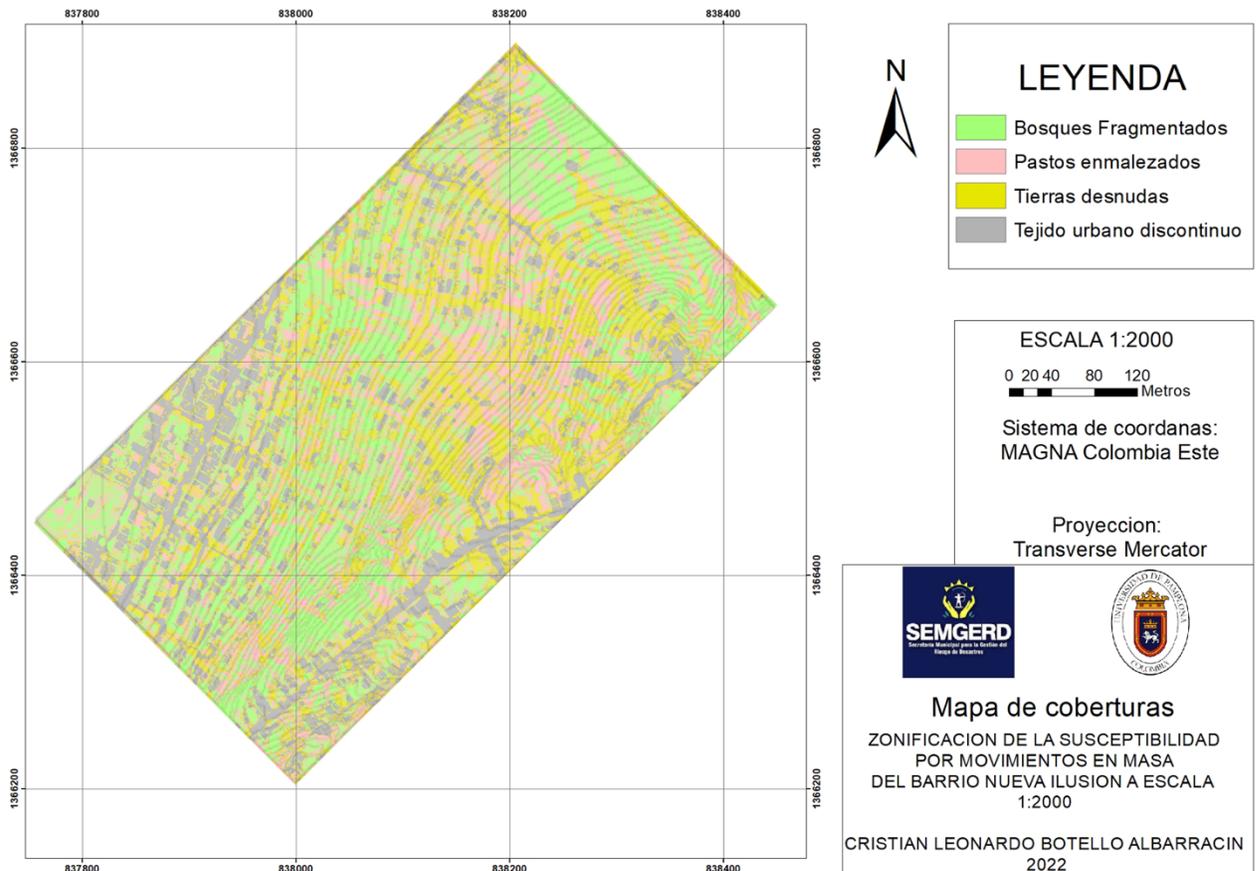


Figura 27 Mapa de coberturas.

8.4.1 Tejido urbano discontinuo

Corresponde a aquellas porciones de suelo ocupadas por edificaciones tanto de vivienda, como de infraestructura y zonas verdes. Corresponde al 25% del área de la zona de estudio.

8.4.2 Bosques fragmentados

Debido a las actividades realizadas en la zona, la cobertura correspondiente al bosque se encuentra distribuido a lo largo de la zona, más sin embargo al estar sectorizado no existe interconexión entre éste. Corresponde al 27% del área de la zona de estudio.

8.4.3 Tierras desnudas

Los suelos con estas características son producto principalmente de actividades relacionadas con la adecuación de laderas para la construcción de viviendas y fuertes procesos de meteorización. Corresponde al 38 % del área de la zona de estudio.

8.4.4 Pastos enmalezados

Este tipo de cobertura, corresponde a aquella que se constituye por pastos asociados a malezas o vegetación arbustiva de baja altura. Corresponde al 10% de la zona del área de estudio.

8.5) Zonificación de Susceptibilidad

La susceptibilidad de la zona fue dada en rangos: Alta, media y baja.

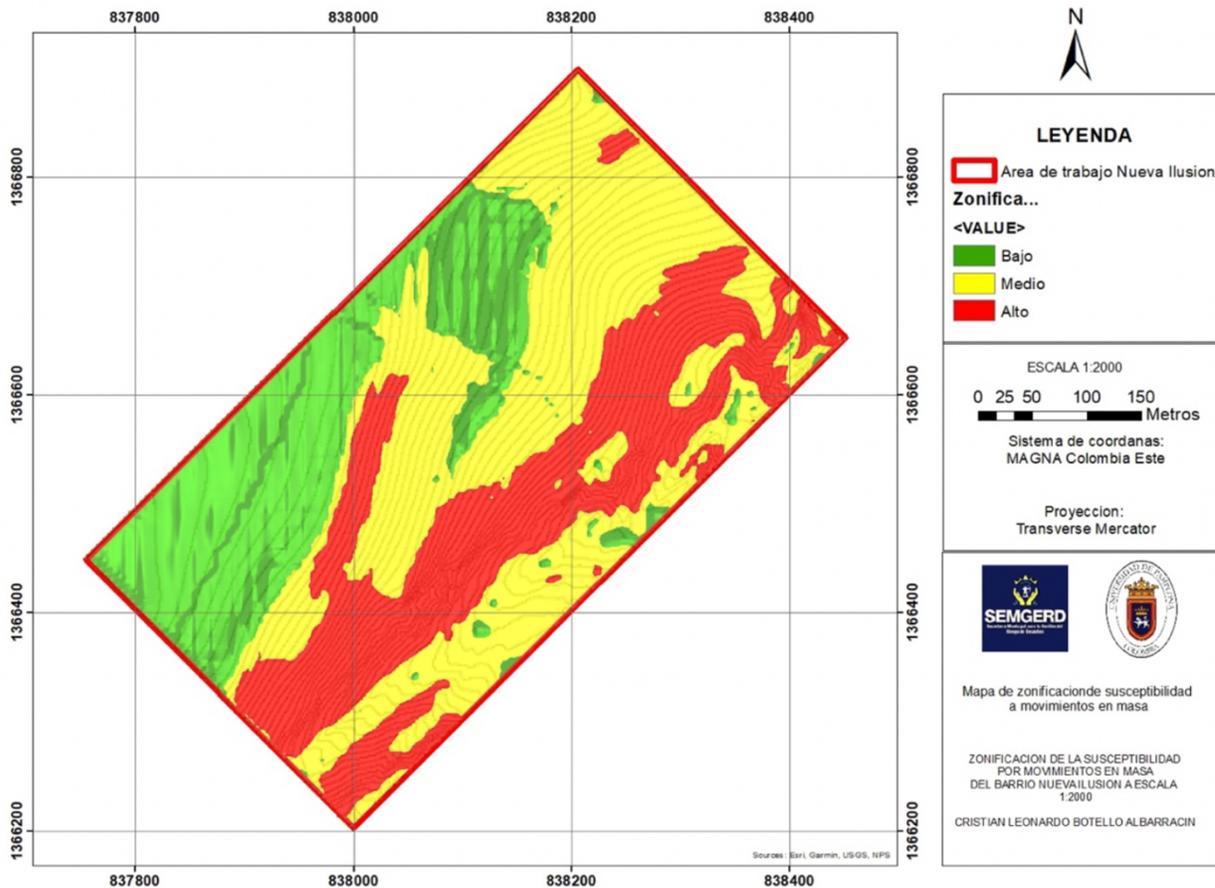


Figura 28 Mapa de zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa.

8.5.1 Susceptibilidad baja

Esta zona de susceptibilidad baja se localiza al oeste del polígono del área de trabajo, asociándose geomorfológicamente a zonas de baja pendiente, como llanuras de inundación o rellenos antropogénicos, a nivel de coberturas está asociada a tejido urbano discontinuo, bosques fragmentados y tierras desnudas principalmente. Abarca un 25.5 % del área total de la zona.

8.5.2 Susceptibilidad media

La zona de susceptibilidad media está localizada en la parte central y noroeste de la zona de estudio, asociándose geomorfológicamente a zonas con pendientes suavemente inclinadas a muy inclinadas de longitudes largas, a nivel de coberturas está asociada a pastos enmalezados, bosques

fragmentados y tierras desnudas en mayor medida. Cubre un 44.8% del área total de la zona de estudio.

8.5.3 Susceptibilidad alta

La zona de susceptibilidad alta va del suroeste al noreste del polígono de la zona, se asocia geomorfológicamente a ladera estructural con pendientes bastante inclinadas, las coberturas están asociadas a tejido urbano discontinuo, tierras desnudas, bosques fragmentados y pastos enmalezados. Corresponde a un 29.7% del área total de la zona.



Figura 29 Tipos de vivienda presentes en la zona.

9) Conclusiones y recomendaciones

Las variables que condicionan la susceptibilidad a deslizamientos en la zona de estudio, corresponden principalmente a zonas de pendientes medias a altas, suelos con texturas finas a medias, control estructural, modificaciones en el uso de suelos y procesos denudativos importantes. Lo anterior no solo corresponde a procesos naturales, sino al factor antropogénico presente en la zona.

La geomática tiene gran valor en el estudio de la susceptibilidad a movimientos en masa pues permite utilizar modelos de elevaciones digitales con el fin de generar variables morfométricas que nos permiten, junto a otras variables, analizar la inestabilidad de determinada zona.

En la zona de estudio hay cerca de un 30% (405 m²) del área que tiene una susceptibilidad alta principalmente en las zonas donde se encuentran las pendientes más abruptas, un 45% (608 m²) del área tiene susceptibilidad media y un 25% (338 m²) de susceptibilidad baja en la zona más plana. Hay que tener en cuenta que el riesgo aumenta de acuerdo a los factores climáticos, uso indebido de suelos y la disposición de los planos de estratificación de la zona encontrándose estos a favor de la pendiente permitiendo la filtración y circulación de agua entre ellos.

Es recomendable realizar un estudio geológico y geomorfológico a detalle para tener más conocimiento de la zona y definir el comportamiento de la misma.

10) Referencias bibliográficas

- Carvajal, J. (2007). Mapa Geomorfológico de la Plancha 88 III D, Escala 1:25.000. INGEOMINAS.
- Carvajal, M. (2008). Geomorfología. Primera edición. Madrid: Pearson Educación.
- Chen, T., Niu, T., Jia, X., 2016. Comparison of information value and logistic regression models in landslide susceptibility mapping by using GIS. Environmental Earth Sciences. 75: 867 – 882.
- Correa, O., (2015) Inventario de Movimientos en Masa de Manzales Formato Unificado. Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) – Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales
- Deslizamientos ponen a Cúcuta contra la pared, La Opinión, 30 de noviembre del 2016. 16 de septiembre del 2018, <https://www.laopinion.com.co/cucuta/deslizamientos-ponen-cucuta-contra-la-pared-123585#OP>.
- Diedrix, H., Torres, E., Hernández, C., Bohórquez, O. (2009). Evolución tectónica y morfodinámica durante el cuaternario en la zona de Cúcuta y alrededores, Norte de Santander. Ingeominas.
- Eeckhaut, M. Van Den, Marre, A., Poesen, J. 2010. Geomorphology Comparison of two landslide susceptibility assessments in the Champagne – Ardenne region (France). Geomorphology, 115(1–2), 141–155.
- Hoek, E. and Brown, E.T. 1980. Empirical strength criterion for rock masses. J. Geotech. Eng Div., ASCE 106(GT9), 1013-1035.

Oviedo, J., Ríos, P., García, G. (2016). Mapa Geológico de la Plancha 88 Cúcuta. Escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano.

PMA, (2017). Movimientos en masa para la región andina: Una guía para las comunidades andinas. Publicación geológica multinacional No. 4.

SGC, (2017). Clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia. Servicio Geológico Colombiano.

SGC, (2017). Las amenazas por movimientos en masa en Colombia: Una visión a escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano.

SGC, (2016). Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, escala detallada. Servicio Geológico Colombiano.

SGC, (2016). Mapa Nacional de Amenaza por Movimientos en Masa, escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano.

Vargas, G., (1999). Guía técnica para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por movimientos en masa. Villavicencio. Cooperación Colombo Alemana GTZ. Proyecto río Guatiquía. 199.

Ospina, M., (2018). Zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa. Comparación de resultados a partir de cartografía base del igac y cartografía base obtenida mediante vehículos tripulados remotamente (rpas). Caso de estudio: cabecera municipal de cisneros, antioquia.

