

**ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR FENOMENOS DE REMOCIÓN
EN MASA EN EL MUNICIPIO DE CHACHAGÜÍ. DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

**ANDERSON MAURICIO LOPEZ REVELO
VILMER ARTURO GOMEZ GOMEZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
SAN JUAN DE PASTO
2017**

**ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR FENOMENOS DE REMOCIÓN
EN MASA EN EL MUNICIPIO DE CHACHAGÜÍ. DEPARTAMENTO DE NARIÑO.**

**ANDERSON MAURICIO LOPEZ REVELO
VILMER ARTURO GOMEZ GOMEZ**

**Trabajo de grado modalidad diplomado presentado como requisito para
optar por el título de geógrafos**

**Asesor:
CESAR IVAN CORDOBA RUIZ
Geógrafo con énfasis en Planificación Territorial, Magister en Sistemas de
Información Geográfica**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO.
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS.
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA.
SAN JUAN DE PASTO
2017**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de Grado son Responsabilidad de los autores.

Artículo 1 del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del honorable Concejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

San Juan de Pasto, Junio de 2017..

RESUMEN

La finalidad de este trabajo fue implementar una metodología para el análisis de la distribución espacial de la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa en el municipio de Chachagüí, en el departamento de Nariño. A través del desarrollo y ejecución de herramientas de Sistemas de información geográfica, ejecutadas mediante el álgebra de mapas con funciones identificadas en arctoolbox como Spatial Analyst, 3D Analyst, Analysis Tools entre otros del software ArcGis 10.4, se pretendió establecer la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa, como un aporte aplicativo de la ciencia geográfica en la gestión de riesgos naturales. En este caso la identificación, zonificación y análisis de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa, se obtuvo a partir de la unión entre los procesos obtenidos entre modelo digital de elevación (DEM), la geología, la cobertura del suelo. En relación a lo anterior se generó un resultado probabilístico a partir de la aplicación de un método indirecto que consistió en la valoración de cada una de las cuatro variables a través de un índice de susceptibilidad y un peso en porcentaje para la influencia de cada factor, la suma ponderada de estos factores a través de la combinación semicuantitativa de los mapas lo generó como resultado un mapa definitivo de susceptibilidad. A partir de la información primaria se infiere que los fenómenos de remoción en masa, son los eventos más recurrentes en el municipio de Chachagüí y por consiguiente el producto final de este trabajo se estableció en una zonificación en cinco categorías de susceptibilidad: Muy baja, baja, media, alta y muy alta. Se espera que este resultado cartográfico a escala 1: 50000, pueda considerarse útil para la priorización de escenarios en la toma de decisiones rápidas en los procesos de la gestión integral del riesgo en el área de estudio.

Palabras Claves: zonificación, remoción en masa, susceptibilidad, DEM, Álgebra de mapas

ABSTRACT

The purpose of this project was to implement a methodology for the analysis of the spatial distribution of susceptibility by phenomena of mass removal in the municipality of Chachagüí, in the department of Nariño. Through the development and execution of tools of Geographic Information Systems, executed through the algebra of maps with functions identified in arctoolbox as Spatial Analyst, 3D Analyst, Analysis Tools among others of the software ArcGis 10.4, it was tried to establish the susceptibility to the processes of Mass removal, as an application of geological science application in the management of natural risks. In this case the identification, zoning and susceptibility analysis by mass removal phenomena, was obtained from the union between the processes obtained; between digital elevation models (DEM), geology, and soil cover. In relation to the above, a probabilistic result was generated from the application of an indirect method that consisted in the evaluation of each one of the four variables through a susceptibility index and a weight in percentage for the influence of each factor, The weighted sum of these factors through the semi-quantitative combination of the maps resulted in a definitive map of susceptibility. From the primary information it is inferred that the mass removal phenomena are the most recurrent events in the municipality of Chachagüí and consequently the final product of this work was established in a zoning in five categories of susceptibility: Very low, low, Medium, high and very high. It is expected that this cartographic result at a scale of 1: 50000 can be considered useful for the prioritization of scenarios in the fast decision making processes of the integral risk management in the area of study.

Keywords: zoning, mass removal, susceptibility, DEM, map algebra

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	12
1. PROBLEMA DE INVESTIGACION	13
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	13
1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA	13
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GENERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. JUSTIFICACIÓN	15
4. MARCO DE REFERENCIA	16
4.1 MARCO CONTEXTUAL	16
4.1.1 Contexto internacional.	16
4.1.2 Contexto nacional..	18
4.1.3 Contexto regional.	19
4.2 MARCO ESPACIAL	21
4.3 MARCO CONCEPTUAL	23
4.3.1 Amenazas. '	23
4.3.2 Fenómenos de remoción en masa.	23
4.3.3 Factores condicionantes de remoción en masa	27
4.3.4 Factores condicionantes de remoción en masa.	30
4.3.5 Susceptibilidad en fenómenos de remoción en masa.	30
4.3.6 Sistemas de información geográfica.	31
4.4 MARCO LEGAL	33
5. METODOLOGÍA	35
5.1 LINEAS DE INVESTIGACION	35
5.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	35
5.3 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	35

5.4 DEFINICIÓN DEL EVENTO DE ESTUDIO	35
6. DESARROLLO DE LA PROPUESTA	37
6.1 DESARROLLO OBJETIVO ESPECÍFICO 1	37
6.1.1 Identificación de información existente sobre el municipio de Chachagüí que resultó de utilidad para la implementación del modelo de datos en el análisis de la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa.	37
6.2 DESARROLLO OBJETIVO ESPECÍFICO 2	38
6.2.1 Selección del método.	38
6.2.2 Selección de variables.	39
6.2.3 Definición rangos de susceptibilidad.	41
6.2.4 Variable pendiente.	41
6.2.5 Variable Geología.	46
6.2.6 Variable Cobertura y uso del suelo.	50
6.2.7 Variable geomorfología.	
6.3 DESARROLLO OBJETIVO ESPECÍFICO 3	57
6.3.1 Elaboración mapa final de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa en el municipio de Chachagüí.	57
6.4 DESARROLLO OBJETIVO ESPECÍFICO 4	60
6.4.1 Análisis susceptibilidad fenómenos de remoción en masa en el municipio de Chachagüí departamento de Nariño.	60
7. CONCLUSIONES	63
BIBLIOGRAFÍA	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. División político administrativa y localización del municipio de Chachagüi.	22
Figura 2. Deslizamiento traslacional.	24
Figura 3. Deslizamiento rotacional.	25
Figura 4. Esquema de flujo canalizado (izq.) y no canalizado (der.)	26
Figura 5. Figura 5. (a) y (b) Esquema de volcamiento en bloque .	26
Figura 6. Factores condicionantes relevantes para cada tipo de remoción en masa	28
Figura 7. Temas para generación del mapa de susceptibilidad a deslizamientos	39
Figura 8. Modelo espacial cartográfico.	40
Figura 9. Modelo digital de elevación del área de estudio	42
Figura 10. Obtención el mapa de pendientes con la herramienta Slope	43
Figura 11. Variable geología y pesos de calificación.	48
Figura 12. Variable geomorfología y pesos de calificación.	55
Figura 13. Vista tridimensional (3D) de las zonas de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa, municipio Chachagüi, departamento de Nariño	59
Figura 14. Distribución espacial por categoría de susceptibilidad a FRM.	61
Figura 15. Análisis de áreas susceptibles a FRM	62

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estructura de la unidad de análisis.	36
Tabla 2. Información secundaria sobre el municipio de Chachagüi.	37
Tabla 4. Escala de pesos de susceptibilidad asignados a cada uno de las variables.	41
Tabla 5. Tabla reclasificación por pesos para la variable pendientes	43
Tabla 6. Clasificación de las unidades de cobertura y uso del suelo de acuerdo al nivel de susceptibilidad a FRM	50
Tabla 7. Criterios de calificación empleados para calificar los sistemas morfogénicos según geoformas	53
Tabla 8. Pesos en % por cada variable o factor, según influencia en los Fenómenos de remoción en masa.	57

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Mapa de pendientes.	44
Mapa 2. Mapa de pendientes reclasificado en función del peso de la susceptibilidad a FRM.	45
Mapa 3. Mapa de Geología reclasificado en función del peso de la susceptibilidad a FRM	49
Mapa 4. Cobertura y uso del suelo	51
Mapa 5. Cobertura y uso del suelo reclasificado en función del peso de la susceptibilidad a FRM.	52
Mapa 6. Mapa de Geomorfología reclasificado en función del peso de la susceptibilidad a FRM.	56
Mapa 7. Susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa en el municipio de Chachagüi. Departamento de Nariño	58

INTRODUCCION

La pertinencia de la actual propuesta de trabajo encuentra su origen en la búsqueda continua del equilibrio entre la comprensión de las amenazas naturales asociadas a los procesos de remoción en masa y el conocimiento del riesgo que implica una adecuada gestión por parte de los entes territoriales. Esta propuesta se desarrolló recorriendo a todos los conocimientos, criterios y herramientas con las que fue posible abarcar y modelar la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, como una alternativa que reconoce la necesidad de partir del conocimiento previo acerca de este tipo de eventos naturales, objeto primordial dentro de la gestión integral del riesgo.

Esta monografía fue de carácter aplicada en el sentido de que se implementaron herramientas conocidas en el análisis de la información primaria que se pudo recopilar. A través del DEM geosar de resolución de 12 metros, la información de las planchas geológicas 410 y 429 del departamento de Nariño, y los shp de geomorfología y uso y cobertura del suelo; tomando como área de estudio el municipio de Chachagüí, se hace un análisis exploratorio de las áreas potencialmente susceptibles a procesos de remoción en masa. La iniciativa surge a partir de la lectura preliminar del plan de gestión del riesgo municipal y el Esquema de ordenamiento territorial EOT, los cuales son la base técnica fundamental con la que se hizo el análisis del resultado final.

Como fundamentación técnica y teórica de este trabajo se utilizaron las guías manuales de zonificación de susceptibilidad a procesos de remoción en masa a nivel nacional tanto del Servicio Geológico Colombiano y el IDEAM. También se revisó diferentes antecedentes sobre el tema tanto a nivel internacional, nacional y regional, los cuales permitieron la adaptación metodológica final del presente trabajo. Se implementó una combinación metodológica de técnicas indirectas en cuanto al análisis de la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa, más la aplicación de la combinación semicuantitativa de mapas y la suma ponderada de variables, esto a través de la herramienta del Algebra de Mapas del software Arcgis 10.4.

El mapa de susceptibilidad por procesos de remoción en masa se vuelve un insumo indispensable en la toma de decisiones para la planificación del territorio en cuanto a la gestión del riesgo y en el manejo de las amenazas naturales propiciando un acercamiento académico y técnico para la gestión local del riesgo.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La susceptibilidad a procesos de remoción en masa depende de las condiciones topográficas y geológicas de un área específica, sus factores detonantes y los eventos ocurridos en el pasado. La ausencia de un conocimiento oportuno de la distribución espacial de este tipo de susceptibilidades puede ser motivo de un aumento progresivo en el grado de vulnerabilidad y por consiguiente de una dificultad a la hora de un buen ejercicio de gestión integral del riesgo debido a este tipo de fenómenos naturales

En los últimos años es común encontrar sistemas de asentamientos humanos tanto en los sectores urbanos como también rurales emplazados y construidos de manera inadecuada en zonas que por sus características topográficas son potencialmente susceptibles a ser afectadas por algún tipo de evento o fenómeno natural asociados a procesos de remoción en masa. En el contexto de la gestión integral del riesgo estas circunstancias generan cierto grado de vulnerabilidad en estas comunidades.

En este sentido, en el municipio de Chachagüí en el departamento de Nariño, en los últimos años se han llevado a cabo procesos de crecimiento urbano en zonas inapropiadas atribuidos a los bajos niveles de vida y el aumento poblacional. Tal es el caso que estos asentamientos y la presión de la población por construir han generado cortes en zonas de ladera y eliminación de cobertura vegetal, lo que ha venido originando un aumento en el grado de vulnerabilidad de estas comunidades ante procesos de erosión y fenómenos de remoción en masa.

Bajo estas circunstancias, en el municipio de Chachagüí se presentan debilidades técnicas en cuanto al conocimiento del riesgo por fenómenos de remoción en masa, por lo anterior se hace necesario elaborar un mapa de susceptibilidad como primer paso para la determinación del grado de amenaza y riesgo que estos procesos pueden generar.

1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cómo elaborar el mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa a partir de información disponible y a través de herramientas SIG en el municipio de Chachagüí?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar el mapa de zonificación de la susceptibilidad por procesos de remoción en masa del municipio de Chachagüí. Departamento de Nariño.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar información existente sobre el Municipio de Chachagüí que resulte de utilidad para la implementación del modelo de datos en el análisis de la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa.
- Aplicar un modelo metodológico a través de herramientas SIG para el análisis y la clasificación de variables que influyen en los niveles de susceptibilidad a los procesos de remoción en masa en el área de estudio.
- Zonificar las áreas susceptibles a amenazas por remoción en masa en el municipio de Chachagüí, departamento de Nariño a partir de la combinación semicuantitativa de los mapas reclasificados de : Pendientes, Geología Geomorfología, Uso y Cobertura del suelo
- Hacer un análisis susceptibilidad a FRM en el municipio de Chachagüí de acuerdo al mapa final de acuerdo a las variables analizadas.

3. JUSTIFICACIÓN

Según el plan de Gestión del riesgo los fenómenos de remoción en masa son los eventos que tienen mayor preponderancia en el municipio de Chachagüí, en las zonas de laderas del casco urbano (barrios La Loma, Panamericano) y en zonas rurales por donde confluyen las fallas de romeral, Taminango y Manchabajoy junto con fuentes hídricas como cuencas, ríos y quebradas. Es el fenómeno de mayor frecuencia en el Municipio de Chachagüí. En este sentido se hace indispensable elaborar el mapa de zonificación de susceptibilidad a estos procesos en la medida que puede servir como insumo para los procesos de planificación dentro de la gestión local del riesgo municipal, así como referencia para un mejor conocimiento de la amenaza en función de la vulnerabilidad que puede generarse si no se toman medidas en cuanto al manejo de este conocimiento por parte de la administración municipal y la comunidad en general.

Este trabajo partió del análisis de información disponible acerca del contexto geográfico del área de estudio como también de un análisis de metodologías pertinentes para la fundamentación y la ejecución del propósito final que es zonificar la distribución espacial de las áreas susceptibles a los fenómenos de remoción en masa. La combinación cualitativa de información temática, la adaptación de métodos indirectos, semicuantitativos e información espacial fueron fundamentales en cuanto al manejo de herramientas SIG, como el geoprocesamiento vectorial y el álgebra de mapas que permitieron conseguir el resultado final que es el mapa de zonificación de la susceptibilidad en función de la información disponible, por tanto esta investigación se justifica metodológicamente por la relación entre la disciplina geográfica, el conocimiento de riesgos naturales y el manejo de estas herramientas.

La geografía como acción académica orientada a generar conocimientos sobre el territorio, aporta estrategias para aprovechamiento de la oferta natural y el desarrollo sostenible de las comunidades. La profesión del geógrafo como gestor de los riesgos naturales se promueve a partir de sus valores, habilidades y destrezas, la producción de conocimiento, metodologías, estrategias y técnicas nuevas para el equilibrio y la relación individuo-sociedad-naturaleza bajo los principios de armonía, equilibrio y respeto por los límites y leyes que regulan a los subsistemas del medio ambiente. Por esto, este trabajo podría ser fundamento para nuevas investigaciones sobre el área de estudio al igual que servir de punto de partida para la discusión y la propuesta de otras metodologías que implique conocer más a detalle sobre el de la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 MARCO CONTEXTUAL

4.1.1 Contexto internacional. Entre las diversas fuentes recolectadas en el ámbito internacional relacionados a estudios de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa para la fundamentación de este trabajo se contó con los siguientes estudios.

“Mapa de susceptibilidad a deslizamientos de Nicaragua. El método Mora-Vahrson.”¹ Sergio Mora y Wilhelm-Guenther Vahrson en el año 1991 posteriormente en 1993 Mora y Vahrson realizaron estudios de casos de fallas de taludes en Nicaragua y propusieron un método de predicción de amenaza para establecer los sectores con potencial de presentar deslizamientos en caso de existir los factores detonantes: lluvias de intensidad alta.

“Metodología empleada para la zonificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa en cuencas de drenaje del estado Vargas, Venezuela”². Un estudio realizado por la Universidad Pedagógica Experimental Libertador Instituto Pedagógico de Caracas, en el cual se hace una combinación del Método Estadístico univariado y multivariado aplicado en Cuencas de drenaje del Estado de Vargas en Venezuela, se llevó a cabo a través de herramientas de procesamiento geoestadístico para determinar cuantitativamente la relación de cada unidad de parámetro con respecto a los procesos de remoción en masa; elaboración del algoritmo de mapa para realizar el cruce de capas; y tratamiento estadístico multivariado para obtener el mapa de susceptibilidad. Este procedimiento se ejecutó

¹ INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES, [En línea]. Mapa de susceptibilidad a deslizamientos de Nicaragua. El método Mora- Vahrson: Método para clasificar la amenaza por deslizamientos en áreas tropicales con alta sismicidad: Proyecto: Mitigación de Georriesgos en Centroamérica, Costa Rica, 1991. 103 p. (Consultado, 17 Abril. 2017). Disponible en la dirección electrónica: http://webserver2.ineter.gob.ni/desliza/estudios/Mora_Vahrson.pdf

² UNIVERSIDAD PEDAGOGICA EXPERIMENTAL LIBERTADOR, INSTITUTO PEDAGOGICO DE CARACAS. [En línea]. Metodología empleada para la zonificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa en cuencas de drenaje del estado de Vargas Venezuela. En: Revista de investigación. Caracas. No 64; 2008; p. 164. En: www.google.com. (Consultado, 29 Abril. 2017). Disponible en la dirección electrónica: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiButHjqJjUAhXni1QKHbhoBYEQFggsMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.academia.edu%2F21832689%2FCaracterizaci%25C3%25B3n_y_evaluaci%25C3%25B3n_de_la_susceptibilidad_por_fenomenos_de_remoci%25C3%25B3n_en_masa_en_el_municipio_de_Choach%25C3%25AD_Cundinarmarca&usg=AFQjCNEDeYnqlYOKMKDQrsOMrQYFfehI7A&sig2=_ZABYSddNhqFT0pN6lzi2A

de manera experimental en la cuenca de la quebrada Curucutí, y como muestra piloto en las de las quebradas Piedra Azul, San Julián, San José de Galipán y Cerro Grande. En todos los casos los mayores pesos en orden decreciente lo obtuvieron las variables geología, geomorfología, pendiente del terreno y conflicto de uso.

Zonación de susceptibilidad por procesos de remoción en masa en la cuenca del río Tartagal, Salta (Argentina)³. En este estudio en esta tesis de maestría de la Universidad Nacional de Córdoba se realiza un análisis de susceptibilidad, a través de una línea de base, un mapa inventario y topografía digital automatizada, como un insumo en futuros estudios de peligrosidad y riesgo por procesos de remoción en masa en dicha área de estudio. Los resultados de este estudio pretenden ser así mismo, herramienta de planeamiento e implementación de estrategias de mitigación y reducción del riesgo.

Evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa en la quebrada de los chanchos, región metropolitana, Chile⁴. Las metodologías empleadas para evaluar susceptibilidad y o peligro de remociones en masa en Chile corresponden principalmente a metodologías cualitativas o semicuantitativas, que incorporan criterios geológicos, geomorfológicos y geotécnicos, como análisis geomorfológico y mapas mediante ponderación de índices que se otorgan a cada uno de los factores condicionantes de remociones en masa (Sepúlveda et al., 2006). En este estudio se presentan metodologías para Chile Central. Lo interesante de este trabajo de grado es que se desarrolla a través de la comparación de dos metodologías Lara (2007) y Muñoz (2013) que permiten determinar un índice de susceptibilidad a las anteriores variables, pero a partir de un cambio de escala que va de 1:20000 a 1:5000.

³ CARDOZO Claudia Paola. Zonación de susceptibilidad por procesos de remoción en masa en la cuenca del río Tartagal, Salta (Argentina), Tesis para optar al título de Magister en aplicaciones espaciales de alerta y respuesta temprana a emergencias. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Matemática, Astronomía y Física, 2013. 127 p

⁴ CAMPOS MAZA, Francisca Paz. Evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa en la quebrada de los Chanchos, región metropolitana, Memoria para optar al título de geóloga. Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Departamento de Geología, 2014. 143 p

4.1.2 Contexto nacional. A nivel nacional en cuanto a estudio de análisis, evolución y zonificación de susceptibilidad por procesos de remoción en masa, se parte de la literatura general concerniente a estos fenómenos teniendo en cuenta los insumos técnicos como la guía metodológica para el estudio de amenazas, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa suministrada por el instituto Geológico Colombiano, y la metodología para la zonificación de la susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa del IDEAM.

Entre las diversas fuentes recolectadas en el ámbito internacional relacionadas a estudios de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa para la fundamentación de este trabajo están:

“Evaluación de amenaza por fenómenos de remoción en masa en algunos sectores de la comuna 14 del municipio de Bucaramanga utilizando el método estadístico con variables locales”⁵. Este estudio se realiza la predicción y zonificación de la amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa, utilizando un método estadístico con variables locales. El área de estudio para la realización del proyecto fueron algunas zonas de la comuna 14 del municipio de Bucaramanga, Nororiente de Colombia. Si bien este trabajo se orienta a determinar la amenaza antes que la susceptibilidad, implementa una metodología semicuantitativa planteada por Ramírez (1988), basándose la selección de ocho parámetros, entre los cuales cuatro son intrínsecos (Material, relieve, drenaje y vegetación) y los otros cuatros son parámetros detonantes de movimientos en masa (erosión, clima, sismo y factor antrópico).

“Caracterización y evaluación de la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa en el municipio de Choachí. Cundinamarca”⁶. Esta

⁵ BLANCO MORENO, Diana y JIMENEZ DELGADO Sebastián, [En línea]. Evaluación De Amenaza Por Fenómenos De Remoción En Masa En Algunos Sectores De La Comuna 14 Del Municipio de Bucaramanga utilizando el Método Estadístico Con Variables Locales. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenieras Físico Matemáticas, 2009. 103 p. (Consultado, 17 Abr. 2017). Disponible en la dirección electrónica: repositorio/jspui/bitstream/123456789/2290/2/144154.pdf

⁶ PRIMICIERO LOPEZ, Erika, [En línea]. Caracterización y Evaluación de la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa en el municipio de Choachí. Cundinamarca. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ciencias humanas, Departamento de geografía BOGOTA 2010,51 p. (Consultado, 17 Abr. 2017). Disponible en la dirección electrónica: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi9vY2RqZjUAhVJ1QKHcGNCAAQFggkMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.academia.edu%2F21832689%2FCaracterizaci%25C3%25B3n_y_evaluaci%25C3%25B3n_de_la_susceptibilidad_por_fenomenos_de_remoci%25C3%25B3n_en_masa_en_el_municipio_de_Choach%25C3%25AD_Cundinamarca&usq=AFQjCNEDeYnqIYOKMKDQrsOMrQYFfehI7A&sig2=RkZxyjpdVAHls_-xjgH4Bg

investigación se enfoca en el análisis y estimación de la probabilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa en el municipio de Choachí Cundinamarca, asentamiento cercano a la ciudad de Bogotá. Este estudio de susceptibilidad se aborda desde la ciencia geográfica en función del campo de los riesgos naturales.

“Análisis de la distribución espacial de la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, a través herramientas sig”⁷. Este trabajo propone una metodología para contribuir al conocimiento del grado de susceptibilidad a los fenómenos de remoción en masa en el municipio de Sylvania Cundinamarca, mediante el uso y ejecución de herramientas de geoprocetamiento, sentenciadas mediante el álgebra de mapas utilizando herramientas del software ArcGis 10, como Spatial Analyst, Analyst Tools, 3d Analyst tools. Herramienta potente para este tipo de análisis geográfico de este tipo de fenómenos.

“Uso de sig para la evaluación de amenaza por procesos de remoción en masa en la localidad de Suba”⁸ Este trabajo se basa en información de mapas de topografía, Geología, Geomorfología y Uso del suelo (suministrados por Ingeocing Ltda.) se utiliza la aplicación de software libre Quantum Gis para la conversión de estos de formato dwg a vector y de vector a ráster con el fin de generar un mapa de Amenaza por procesos de remoción en masa. Inicialmente, el proceso definitivo se realiza a través de una ponderación de cuatro convenciones temáticas de acuerdo con el estudio a realizar, dándole peso a cada unidad, siendo 5 el punto más alto (mayor riesgo) y 1 el punto más bajo (menor riesgo). Se puede decir que este trabajo es significativo en el sentido de que aplica un método indirecto a través de la combinación cualitativa de mapas.

4.1.3 Contexto regional. A nivel regional son pocos los estudios detallados en cuanto a zonificación, análisis y evaluación de la susceptibilidad a fenómeno de remoción en masa, sin embargo en la búsqueda de literaria ha sido valioso el aporte de trabajos como:

⁷ RINCÓN CAMACHO, Jason, [En línea]. Análisis de la distribución espacial de la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, a través herramientas sig. Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de ciencias humanas, Departamento de geografía, BOGOTA 2010, 51 p. (Consultado, 17 Abr. 2017). Disponible en la dirección electrónica:
repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/.../RinconCamachoJasonRicardo2015.pdf

⁸ CASALLAS GALINDO, Yuli, [En línea]. Uso de sig para la evaluación de amenaza por procesos de remoción en masa en la localidad de Suba. universidad católica de Colombia facultad de ingeniería, Programa de ingeniería civil, Bogotá 2014, 46 pag. (Consultado, 17 Abr. 2017). Disponible en la dirección electrónica:
http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1696/1/Uso_SIG_evaluaci%C3%B3n_amenaza-por-procesos-remoci%C3%B3n_masa-Suba.pdf

“Zonificación de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa mediante geoprocesamiento con herramientas sig en la cuenca del río Azufral”⁹. En este trabajo se demuestra la ventajas de la automatización de una metodología empleada para el análisis de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa en la cuenca del río Azufral del municipio de Consacá, mediante el desarrollo y ejecución de herramientas de geoprocesamiento, ejecutadas mediante el álgebra de mapas con funciones identificadas en arctoolbox como Spatial Analyst, 3D Analyst, Analysis Tools entre otros del software ArcGis 10, caso Se realiza una identificación, zonificación y análisis de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa, uniendo los procesos obtenidos del modelo digital de elevación (MDE), la geología, la cobertura del suelo y otros factores externos como la precipitación y áreas de influencia por sismos causados por las fallas de Romeral y Buesaco y generando el resultado final en ModelBuilder.

La investigación titulada **“Zonificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa en el corregimiento de Las Mesas, municipio de el Tablón de Gómez, departamento de Nariño”¹⁰** Es un trabajo de investigación enfocado al análisis de información de índole físico natural y espacial, con el fin de comprender el comportamiento y dinámica de los fenómenos de remoción en masa, partiendo de su identificación y evaluación. Este estudio es un análisis espacial que parte de la procedimientos que permitieron valorar, relacionar, evaluar e identificar las variables geoambientales geología, geomorfología, pendiente del terreno, cobertura y uso del suelo, y fenómenos de remoción en masa, utilizando para ello el método estadístico univariado.

El aporte académico **“Estimación del grado de riesgo generado por la amenaza relacionada con fenómenos de remoción en masa (frm) de tipo hidrogravitatorio en los barrios de Juanoy Alto, San Antonio, Nuevo amanecer y conjunto cerrado Morasurco, municipio de Pasto ,departamento de Nariño”¹¹** va más allá del análisis de susceptibilidad asociada a procesos de remoción en

⁹ HIDALGO CUPACAN, Harold, [En línea]. Zonificación de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa mediante geoprocesamiento con herramientas sig en la cuenca del río Azufral. IGAC, Bogotá, D.C, 22 pag. (Consultado, 17 Abr. 2017). Disponible en la dirección electrónica: <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11588/1/Trabajo%20de%20Grado.pdf>

¹⁰ OBANDO MESIAS, Jorge. Zonificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa en el corregimiento de Las Mesas, municipio del Tablón de Gómez, departamento de Nariño. Trabajo de grado para optar al título de geógrafo con énfasis en planificación regional. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias humanas, Departamento de Geografía, 2009. 222 p.

¹¹ VELÁSQUEZ CADENA, Julio. Estimación del grado de riesgo generado por la amenaza relacionada con fenómenos de remoción en masa (frm) de tipo hidrogravitatorio en los barrios de Juanoy alto, San Antonio, Nuevo amanecer y conjunto cerrado Morasurco, municipio de Pasto ,departamento de Nariño. Trabajo de grado para optar al título de geógrafo. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias humanas, Departamento de Geografía, 2013. 156 p.

masa, pues se focaliza especialmente en fenómenos de remoción en masa tipo hidrogravitatorio debido a las condiciones topográficas del área de estudio, dando paso a la determinación del grado de riesgo en función de la vulnerabilidad determinada a través de la alta concentración poblacional en dicha área, establece las posibles áreas susceptibles a este tipo de fenómenos naturales

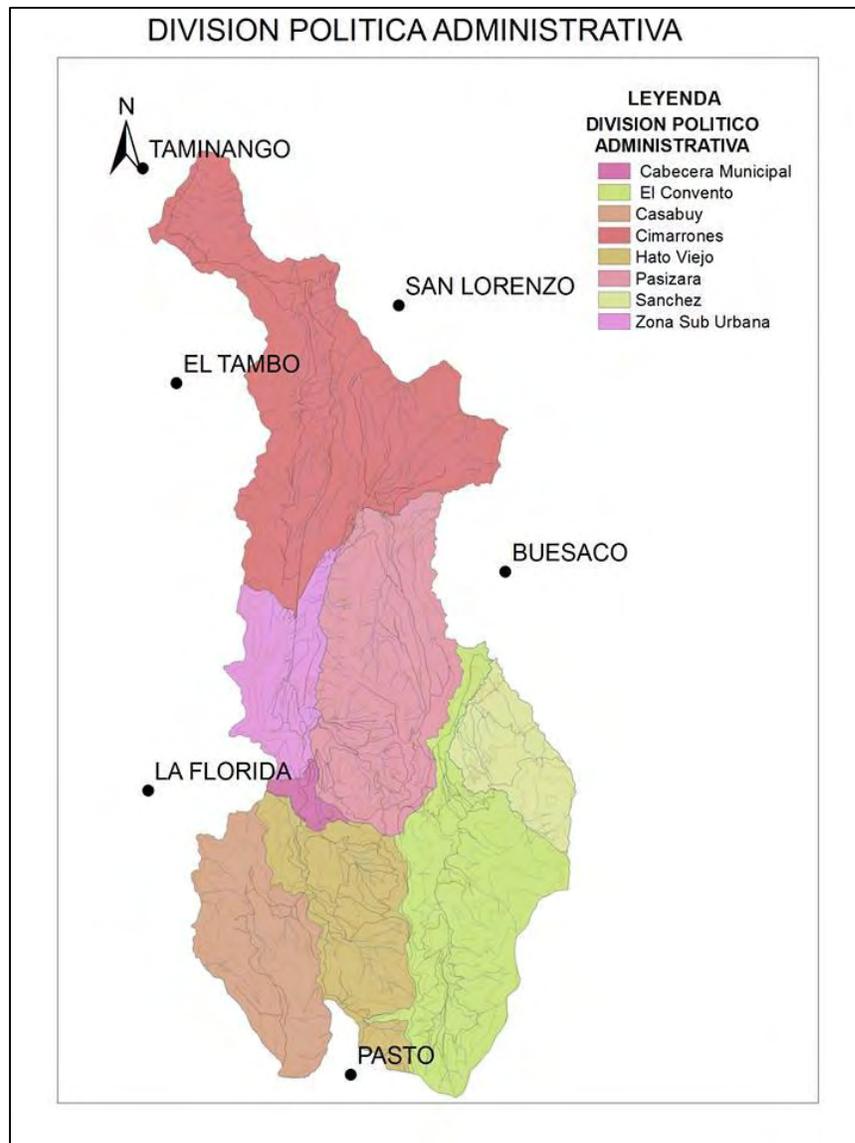
4.2 MARCO ESPACIAL

Según el EOT Chachagüí se encuentra ubicado entre las coordenadas 621.200m. Y 634.520m. N. Y 972.400m, y 984.900m, tiene una altura promedio de 1.950 m.s.n.m, una temperatura media de 20 grados centígrados. La cabecera está localizada a una distancia de 28 kilómetros de la ciudad de San Juan de Pasto. Tiene una extensión de 152 k2 y está conformado por la cabecera municipal y 6 corregimientos.

Limita al norte con los municipios de Taminango y San Lorenzo, por el sur con el municipio de Pasto, por el oriente con el municipio de Buesaco y al occidente con los municipios de El Tambo y La Florida.

El municipio de Chachagüí se divide políticamente en zona urbana y zona rural. La zona urbana está dividida en barrios y la zona rural en corregimientos: Sánchez, Pasizara, Cimarronas, Casabuy, Hato Viejo y El Convento.

Figura 1. División político administrativa y localización del municipio de Chachagüi.



Fuente: Este estudio.

4.3 MARCO CONCEPTUAL

4.3.1 Amenazas. De acuerdo con su origen pueden clasificarse en “naturales”, “antropogénicos” y “socionaturales¹²”

- **Amenazas naturales.** Tienen su origen en procesos de la misma naturaleza, y comprende fenómenos como terremotos, tsunamis, tormentas, erupciones volcánicas, fuertes granizadas¹³
- **Amenazas antropogénicas.** Son atribuibles por completo a la acción humana, como los derrames de sustancias peligrosas, accidentes tecnológicos, incendios provocados, explosiones.¹⁴
- **Amenazas socio-naturales.** Son resultado de la interacción entre una sociedad con su ambiente natural, normalmente en condiciones tipificadas de degradación ambiental o de inadaptabilidad al entorno. Por ejemplo, un deslizamiento puede estar provocado por la deforestación, el monocultivo y/o la inadecuada conservación de los suelos.¹⁵

4.3.2 Fenómenos de remoción en masa. El término remoción en masa ha sido definido por Varnes (1978), como: “Procesos de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca, o ambos, en diversas proporciones, generados por distintos factores, correspondiendo intrínsecamente a procesos gravitacionales, considerando que una porción específica del conjunto del terreno se desplaza hasta una cota o nivel inferior al original”¹⁶

- **Caídas de roca.** Son movimientos abruptos de bloques independientes de roca, siendo sus causas principales la presencia de discontinuidades en el

¹² ESCUELA VIRTUAL PNUD DIPLOMADO DE ESPECIALIZACIÓN EN DESARROLLO LOCAL Y GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO, [En línea]. Unidad 2. Introducción a la Gestión Integral del Riesgo, en: Diplomado de Especialización en Desarrollo Local y Gestión Integral del Riesgo.22 pag. (Consultado, 17 Abr. 2017). Disponible en la dirección electrónica: www.escuelapnud.org

¹³ *Ibíd.*, p. 22

¹⁴ *Ibíd.*, p. 22

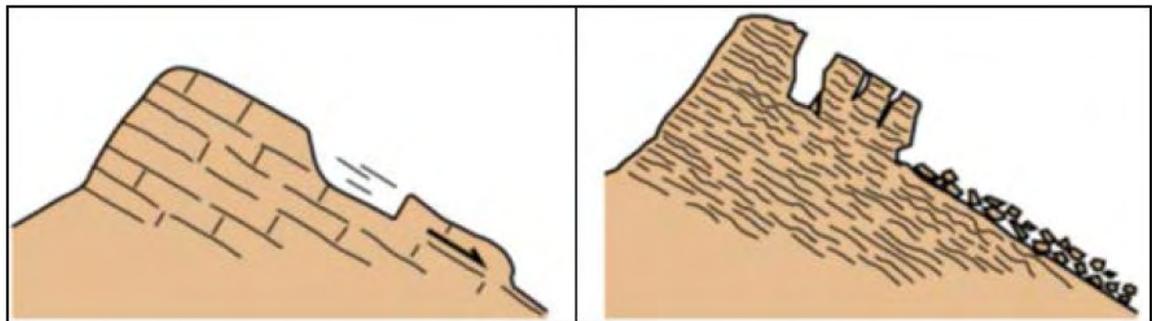
¹⁵ *Ibíd.*, p. 22

¹⁶ VARNES, D.J., 1978. Slope movement types and processes, citado por CAMPOS MAZA, Francisca Paz. Evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa en la quebrada de los Chanchos, región metropolitana, Memoria para optar al título de geóloga. Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Departamento de Geología, 2014. 127 p

macizo rocoso. El material desprendido podrá alcanzar el pie del talud mediante caída libre, rodando y rebotando, lo que dependerá principalmente de la forma del bloque y del ángulo de pendiente del talud. Durante la caída, los materiales podrán adquirir una alta energía cinética, permitiéndoles abarcar una amplia área a los pies de la ladera, lo cual se acrecentaría si se suma una cantidad importante de material aportado¹⁷.

- **Deslizamientos.** Corresponde a un movimiento ladera abajo de masas de suelo o roca a través de superficies de cizalle definidas. Según Varnes los movimientos más comunes que presentan los deslizamientos, son los traslacionales y rotacionales.

Figura 2. Deslizamiento traslacional.



Fuente: Varnes 1973

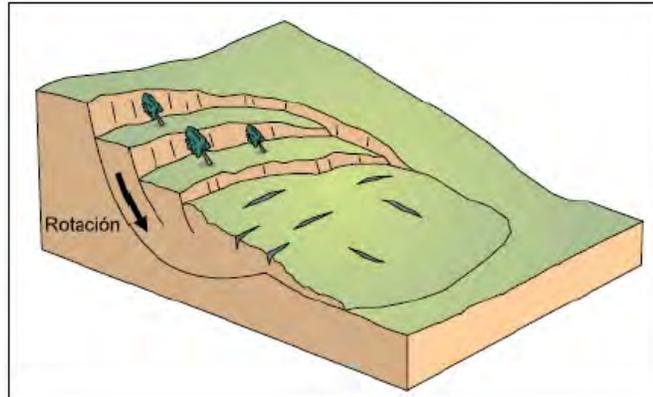
- **Deslizamiento traslacional.** Pueden darse en suelo o en roca y tienen lugar en superficies preexistentes más o menos planas, generadas por discontinuidades presentes en el macizo rocoso (por ejemplo diaclasas, fallas o planos de estratificación), y donde la masa a deslizar supera la resistencia que le ocasiona la discontinuidad mediante características propias de la estructura, como propiedades mecánicas resistentes de la superficie y del relleno¹⁸
- **Deslizamiento rotacional.** Son más frecuentes en suelos cohesivos o roca muy meteorizada, donde la rotura, ya sea superficial o profunda, tiene lugar a favor de superficies curvas, en que una vez iniciada la inestabilidad, la

¹⁷ *Ibíd.*, p. 22.

¹⁸ GONZÁLEZ DE VALLEJO, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L.; Oteo, C. 2002. Ingeniería Geológica. Editorial Pearson, citados por CAMPOS MAZA, Francisca Paz. Evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa en la quebrada de los Chanchos, región metropolitana, Memoria para optar al título de geóloga. Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Departamento de Geología, 2014. 127 p

masa empieza a rotar, pudiendo dividirse en varios bloques que deslizándose entre sí y dan lugar a “escalones” con la superficie basculada hacia la ladera y a grietas de tracción estriada¹⁹

Figura 3. Deslizamiento rotacional.



Fuente: Varnes 1973

- **Flujos.** Corresponden a movimientos continuos en el espacio, de masas de suelo (flujos de barro o tierra), derrubios (coladas de derrubios) o bloques rocosos (coladas de fragmentos rocosos) con abundante presencia de agua, el material está disgregado y se comporta como un fluido, donde las masas desplazadas son fuertemente deformadas internamente, sin presentar superficies de rotura definidas²⁰
- **Volcamiento (Toppling).** Tipo de movimiento en masa dado por acción de la gravedad, empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas, 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 inferior²¹.

Según Goodman y Gray (1976)²² hay dos tipos de volcamientos: El volcamiento de bloques el cual involucra roca relativamente competente, donde el fallamiento ocurre por pérdida de la estabilidad y rotación de uno o varios bloques a partir de un punto en su base, este es controlado por una orientación específica de discontinuidades y generalmente está asociado a velocidades altas ; y el

¹⁹ *Ibíd.*, p. 23.

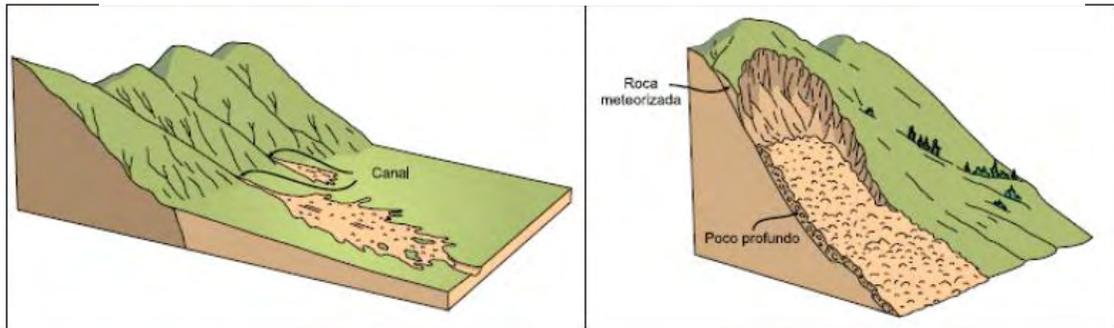
²⁰ *Ibíd.*, p. 24.

²¹ VARNES, D.J. Op. cit., p. 22.

²² CAMPOS MAZA, F. P. Op. cit., p. 16.

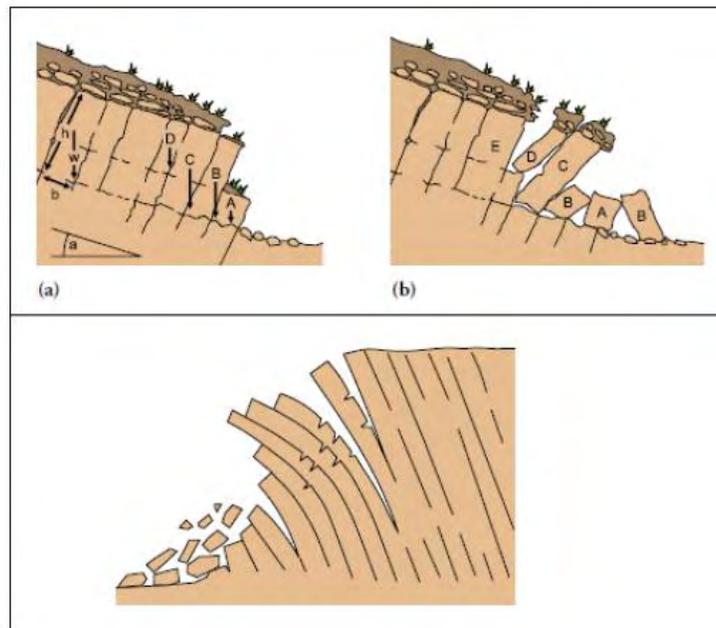
Volcamiento flexural: involucra roca más frágil y densamente diaclasada; el fallamiento ocurre por el doblamiento de columnas de rocas delgadas.

Figura 4. Esquema de flujo canalizado (izq.) y no canalizado (der.)



Fuente: Varnes 1973

Figura 5. (a) y (b) Esquema de volcamiento en bloque (Freitas y Waters, 1973 en Varnes, 1978). Abajo esquema de volcamiento flexural.



Fuente: Varnes 1973

- **Extensiones laterales.** Es un movimiento de bloques rocosos o masas de suelo muy coherente y cementado sobre un material blando y deformable. Los bloques se desplazan muy lentamente a favor de pendientes muy bajas. Los movimientos son debidos a la pérdida de resistencia del material

subyacente, que fluye o se deforma bajo el peso de los bloques rígidos. Las extensiones laterales se dan en laderas suaves, pueden ser muy extensos y provocados por licuefacción del material infrayacente, o por procesos de extrusión lateral de arcillas blandas y húmedas, bajo el peso de masas superiores²³.

- **Avalanchas o aludes:** Son desplazamientos de una masa de nieve o hielo sobre una ladera asociados a zonas de montaña, las avalanchas de nieve se generan por desprendimientos de cuerpos de nieve o hielo a través de fracturas o superficies fijadas de cambios de densidad existentes entre estos materiales, el principal agente es la gravedad. Estos fenómenos pueden variar de intensidad, desde un pequeño flujo superficial hasta una gigantesca masa destructiva.

4.3.3 Factores condicionantes de remoción en masa. Se denomina así a todo factor que pueda generar una situación potencialmente peligrosa, y que por lo tanto controlan la susceptibilidad de generar un fenómeno de remoción en masa. Se puede decir que estos factores corresponden a variables internas dentro del sistema a analizar, ya sea este una unidad geomorfológica, geológica, cuencas de drenaje o una unidad territorial completa como se trata en el presente caso de estudio.

Cada uno de los tipos de fenómenos de remoción en masa según Lara²⁴ presenta génesis y dinámicas distintas, así habrá factores con mayor influencia que otros dependiendo del mecanismo a estudiar.

- **Geomorfología.** Los principales rasgos geomorfológicos condicionantes de remociones en masa son la topografía, la altura de las laderas, su extensión y pendiente, incluyendo cambios fuertes en ella. Cualquier variación en estas características puede volver una ladera estable en inestable y generar remociones en masa²⁵ También puede considerarse un factor condicionante

²³ GONZÁLEZ DE VALLEJO, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L. Op. cit., p. 23

²⁴ LARA, M. 2007. Metodología para la evaluación y zonificación de Peligro de Remociones en Masa con Aplicación en la quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana. Citado por CAMPOS MAZA, Francisca Paz. Evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa en la quebrada de los Chanchos, región metropolitana, Memoria para optar al título de geóloga. Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Departamento de Geología, 2014. 127 p.

²⁵ POPESCU, M.E., 2002. Landslide causal Factors and Landslides Remedial Options, citado por CAMPOS MAZA, Francisca Paz. Evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa en la quebrada de los Chanchos, región metropolitana, Memoria para optar al título de geóloga. Santiago

importante la orientación de la ladera con respecto al norte, aspecto geográfico que puede influir por ejemplo en el tiempo de exposición al sol y por lo tanto, en el grado de humedad, presencia de vegetación y meteorización en la ladera.

Figura 6. Factores condicionantes relevantes para cada tipo de remoción en masa

Factores Condicionantes \ Tipo de remoción en masa	Caidas	Deslizamientos	Topping	Flujos	Extensiones Laterales
Geología y Geotecnia	X	X	X	X	X
Geomorfología	X	X	X	X	X
Hidrología e Hidrogeología	X	X	X	X	X
Vegetación y Clima		X		X	X
Actividad Antrópica	X	X	X	X	

Fuente: **Lara (2007)**, en: CAMPOS MAZA, Francisca Paz. Evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa en la quebrada de los Chanchos, región metropolitana

- **Geología.** Define las características o propiedades del suelo o roca. La formación geológica determina la presencia de materiales duros o de baja resistencia con características homogéneas, y las discontinuidades pueden facilitar la ocurrencia de movimientos a lo largo de ciertos planos de debilidad.
- **Unidad geológica:** Los materiales de origen ígneometamórfico poseen un comportamiento diferente a los suelos de origen sedimentario, aluviones, coluviones, etc.
- **Estructura y discontinuidades.** En los suelos residuales y rocas la estratificación y las discontinuidades actúan como planos de debilidad o

de Chile: Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Departamento de Geología, 2014. 143 p

como conductores de corrientes de agua subterránea y las características de estas pueden facilitar los movimientos.

- **Meteorización.** La descomposición física o química produce alteraciones en la roca o suelo, las cuales modifican substancialmente los parámetros de resistencia y permeabilidad, facilitando la ocurrencia de deslizamientos.
- **Usos de suelo.** Engloba los diferentes usos que el hombre puede hacer de la tierra, su estudio y los procesos que llevan a determinar el más conveniente en un espacio concreto. Menos del 30% de la superficie de nuestro planeta es tierra. No toda ella puede ser utilizada por los humanos, motivo por el cual constituye un recurso natural valioso y sometido, en muchas partes del mundo
- **Vegetación.** Según Muñoz “La vegetación está vinculada a la humedad del área, un clima húmedo propiciará la presencia de cobertura vegetal, que además de reducir la erosión, puede en algunos casos ser una barrera natural de contención de material movilizado por remociones en masa”²⁶
- **Pendientes.** La variable denominada pendiente, considera tanto el ángulo de inclinación como la longitud de la ladera y los marcados cambios de pendiente a través de las laderas. Todos los autores consideran que es una variable, algunos las combinan con las formas (morfología), el índice de relieve relativo, las diferencias de altura, y las direcciones de las pendientes; conceptos que son agrupadas en la ciencia denominada geomorfología, junto con la morfodinámica (procesos erosivos y neotectónicos)²⁷.

²⁶ MUÑOZ, E. 2013. Susceptibilidad de remociones en masa y de respuesta sísmica asociada a fallas mayores en zonas urbanas. Estudio de caso en Viña del mar, V región. Tesis para optar al grado de magíster en ciencias mención Geología. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y matemáticas. Departamento de Geología, 164 p.

²⁷ RODRIGUEZ, S. Estado del arte de los métodos de zonificación de la susceptibilidad, la amenaza y el riesgo por proceso de movimientos en masa en laderas, citado por GOMEZ CHAMORRO N, OSORIO BENTACUR Y, y SALAZAR TAMAYO Sig para determinar la susceptibilidad a movimientos en masa en la cuenca del río Campoalegre. IGAC, Bogotá, D.C, 22 pag.

4.3.4 Factores condicionantes de remoción en masa. Son considerados acciones externas, que provocan inestabilidad y desencadenan movimientos en masa al modificar las condiciones preexistentes. Estos son: precipitaciones, sismicidad, terremotos y vibraciones, erosión, agrietamiento por resequead del suelo, factores antrópicos²⁸.

4.3.5 Susceptibilidad en fenómenos de remoción en masa. La susceptibilidad se define como “la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno. La susceptibilidad es una propiedad del terreno que indica que tan favorables o desfavorables son las condiciones de este, para que puedan ocurrir deslizamientos. El mapa de susceptibilidad clasifica la estabilidad relativa de un área, en categorías que van de estable a inestable. El mapa de susceptibilidad muestra donde hay o no, condiciones para que pueda ocurrir un deslizamiento. La probabilidad de ocurrencia de un factor detonante como una lluvia o un sismo no se consideran en un análisis de susceptibilidad.”²⁹

- **Mapa de Zonificación de Susceptibilidad.** “La identificación y zonificación de la susceptibilidad forman parte de las primeras y más importantes labores en el contexto de la prevención y mitigación en la gestión del riesgo” El término “zonación” en sentido general, implica una división del terreno en áreas y su clasificación de acuerdo a los grados del actual o potencial peligro o susceptibilidad por movimientos en masa³⁰

²⁸ SEISDEDOS SANTOS, 2009; HERRERA ET AL., 2011, Los grandes paleo desplazamientos de Güimar y la Oratava (Tenerife); Aplicación de métodos indirectos para el análisis de susceptibilidad de deslizamiento en la subcuenca del río Gatuncillo, Panamá. , citados por CARDOZO Claudia Paola. Zonación de susceptibilidad por procesos de remoción en masa en la cuenca del río Tartagal, Salta (Argentina), Tesis para optar al título de Magister en aplicaciones espaciales de alerta y respuesta temprana a emergencias. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Matemática, Astronomía y Física, 2013. 127 p

²⁹ SUAREZ, J. (2009). Deslizamientos. Análisis Geotécnico. Volumen 1, citado por PRIMICIERO LOPEZ Erika Paola. Caracterización y evaluación de la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa en el municipio de Choachí. Cundinamarca. Trabajo de grado presentado para optar al título de Geógrafa. Universidad Nacional de Colombia Facultad de ciencias humanas departamento de geografía, 2010. p. 17.

³⁰ VARNES, D. J. 1984. IAEG Commission on Landslides and other mass movements. Landslide Hazard Zonation, citado por CARDOZO Claudia Paola. Zonación de susceptibilidad por procesos de remoción en masa en la cuenca del río Tartagal, Salta (Argentina), Tesis para optar al título de Magister en aplicaciones espaciales de alerta y respuesta temprana a emergencias. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Matemática, Astronomía y Física, 2013. 127 p

- **Métodos cualitativos.** Utilizan índice de deslizamiento basadas en opiniones de expertos para identificar las áreas con similares características geológicas y geomorfológicas que son susceptibles a deslizamientos de tierra.
- **Combinación cualitativa de mapas.** En éste método, el científico usa su criterio experto para asignar pesos (valores que representan un determinado grado de importancia) a una serie de mapas parámetro (mapas de factores condicionantes que se consideran relacionados con la ocurrencia de movimientos de laderas). Tales factores se suman de acuerdo con éstos pesos, dando como resultado valores de susceptibilidad que pueden ser agrupados en categorías o clases³¹

4.3.6 Sistemas de información geográfica. Un sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés [Geographic Information Sistema]) es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión³²

- **Funcionamiento de un SIG.** El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía. La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El Sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

³¹ CARDOZO Claudia Paola. Zonación de susceptibilidad por procesos de remoción en masa en la cuenca del río Tartagal, Salta (Argentina), Tesis para optar al título de Magister en aplicaciones espaciales de alerta y respuesta temprana a emergencias. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Matemática, Astronomía y Física, 2013. 30 p

³² LAGLERUBEN. Sistemas de información geográfica [en línea]. Bogotá: Laboratorio Unidad Pacifico Sur Ciesas. Disponible en internet: < <http://langleruben.wordpress.com.pdf>

- **Creación de datos.** Las modernas tecnologías SIG trabajan con información digital, para la cual existen varios métodos utilizados en la creación de datos digitales. El método más utilizado es la digitalización, donde a partir de un mapa impreso o con información tomada en campo se transfiere a un medio digital por medio digital por el empleo de un programa de Diseño Asistido por Ordenador (DAO o CAD) con capacidades de georreferenciación.
- **Representación de los datos.** Los datos SIG representan los objetos del mundo real (carreteras, el uso del suelo, altitudes). Los objetos del mundo real se pueden dividir en dos abstracciones: objetos discretos (una casa) y continuos (cantidad de lluvia caída, una elevación). Existe dos formas de almacenar los datos en un SIG: ráster y vectorial.
- **Representación de los datos.** Los datos SIG representan los objetos del mundo real (carreteras, el uso del suelo, altitudes). Los objetos del mundo real se pueden dividir en dos abstracciones: objetos discretos (una casa) y continuos (cantidad de lluvia caída, una elevación). Existe dos formas de almacenar los datos en un SIG: ráster y vectorial.
- **Algebra de mapas.** Es un lenguaje diseñado específicamente para sistemas geográficos basados en celdas. El lenguaje permite al usuario ordenar sus pensamientos y ofrece las reglas y sintaxis necesaria para que el usuario se pueda comunicar con el computador.
- **Modelo Espacial Cartográfico:** Representa un estado o un proceso. Generalmente son una simplificación que requiere la selección de los elementos o procesos más importantes. Un modelo cartográfico es un conjunto de operaciones ordenadas e interrelacionadas de mapas que actúan en datos crudos, así como en datos intermedios o derivados, para estimular un proceso de toma de decisión Un modelo cartográfico tiene las siguientes características: Es una secuencia lógica de operaciones analíticas expresadas en forma de diagramas de flujo, Generalmente codificada en macros (lenguaje de comandos) y Los procesos mostrados son cíclicos³³

³³ Tomlin, C. D. 1990. Geographic Information Systems and Cartographic Modeímg. Englewood Cliffs, Prentice Hall, New Jersey, citado por SIERRA Rodrigo. Taller: Introducción a Aplicaciones de Técnicas Espaciales para la Conservación de la Biodiversidad. Ciudad de Panamá. [En línea]. Universidad Nacional de Colombia Facultad de ciencias humanas departamento de geografía, 2010. p. 16. . (Consultado, 17 Abr. 2017). Disponible en la dirección electrónica: <http://www.aag.org/galleries/mycoe-files/modulo1.pdf>

4.4 MARCO LEGAL

Colombia está tutelada por un régimen constitucional, por lo que nuestra carta de navegación instaurada en 1991, establece obligaciones específicas para cada uno de los ciudadanos como individuos y como miembros de un colectivo.

Es así, como encontramos en el artículo 95 “.....deberes de la persona y del ciudadano” ordena “Obrar conforme al principio de solidaridad social, respondiendo con acciones humanitarias ante situaciones que pongan en peligro la vida o la salud de las personas”; de la misma manera, en el artículo 215 se fijan facultades para el Presidente de la República, en caso que sucedan hechos que afecten o amenacen con afectar en forma grave e inminente el orden económico, social y ecológico del país, o que constituyan grave calamidad pública”, con lo cual se da potestad para declarar estado de emergencia por un período de hasta un mes en cada caso, así como dictar decretos con fuerza de ley, destinados exclusivamente a conjurar la crisis y a impedir la extensión de sus efectos.

Ley 99 de 1993. Por medio de la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y establece en su artículo 1: “La prevención de desastres será materia de interés colectivo y las medidas tomadas para evitar o mitigar los efectos de su ocurrencia serán de obligatorio cumplimiento” como uno de los principios de la política ambiental colombiana.

Por otro lado, encontramos en su artículo 3 el concepto de desarrollo sostenible, con lo cual es importante basar no sólo los procesos de gestión del riesgo sino en general los procesos de planificación y desarrollo local. Descentralizó el desarrollo de actividades de “análisis, seguimiento, prevención y control de desastres, en coordinación con las demás autoridades competentes, y asistirles en los aspectos medioambientales en la prevención y atención de emergencias y desastres; adelantar con las administraciones municipales o distritales programas de adecuación de áreas urbanas en zonas de alto riesgo, tales como control de erosión, manejo de cauces y reforestación”, al ponerlas en cabeza de las Corporaciones Autónomas Regionales.

Ley 46 de 1988. Por la cual se crea y organiza el sistema para la prevención y atención de desastres. Contempla como objetivos de las Instituciones públicas y privadas el cumplimiento de funciones, responsabilidades, esfuerzos y manejo oportuno tanto de recursos humanos, técnicos, administrativos y económicos para La prevención de desastres, en las fases de prevención manejo rehabilitación y reconstrucción. Establece como uno de sus principios, velar por el cumplimiento administrativo por parte de los entes territoriales al incluir aspectos como el manejo

oportuno de recursos técnicos y humanos, para crear conciencia de la inclusión y ejecución de estrategias que permitan desarrollar medidas tendientes a la prevención de las amenazas, facilita contar con mecanismo administrativos que permiten actuar en todas las fases de prevención así como en el monitoreo y seguimiento de las amenazas naturales

Decreto 919 de 1989. Por el cual se organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres. Define las responsabilidades y funciones de los organismos y entidades públicas y privadas, en las fases de prevención, manejo rehabilitación, reconstrucción y desarrollo que dan lugar a situaciones de desastres, como consecuencia del desconocimiento de las amenazas por ello todo organismo y entidad deberá justificarse como ente activo en la participación en planes programas y proyectos que permitan la definición de las amenazas.

Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el ministerio del medio ambiente, se reordena El sector publico encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los Recursos naturales renovables, organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA). La ley 99 de 1993, establece como fundamentos de la política ambiental, la prevención de desastres como materia de interés colectivo, por ello las medidas para evitar o mitigar sus efectos son de obligatorio cumplimiento. Reglamenta la prevención de desastres como componente de utilidad colectiva, que implica tomar medidas para su prevención, indicando la zonificación de amenazas como etapa fundamental en todos los procesos de gestión del riesgo como mecanismo de planificación por parte de las entidades territoriales.

Ley 388 de 1997. Por la cual se modifica la ley 9a. De 1989, y la ley 3a. De 1991 y Se dictan otras disposiciones. Establece que el ordenamiento territorial debe estar inmerso en todo proceso de planificación, como mecanismo para promover por parte de las entidades territoriales el desarrollo y ordenamiento físico de los Municipios y áreas Metropolitanas. La ley en algunos de sus capítulos instituye la realización de zonificaciones de amenazas, como base para el ordenamiento territorial. Así mismo identifica como determinantes de mayor Jerarquía dentro del ordenamiento del territorio, las políticas directrices y regulaciones sobre prevención de amenazas y riesgos naturales. Señala la importancia de identificar localizar y establecer áreas de amenaza como estrategia en el manejo de zonas expuestas. Instituye que, el Plan de Ordenamiento Territorial deberá especificar la determinación y ubicación en planos de las zonas que representen alto riesgo para La localización de asentamientos humanos por amenazas naturales.

Decreto 93 de 1998. Por el Cual se adopta el Plan Nacional para la Atención y Prevención de Desastres. Fundamenta los determinantes del plan nacional, así como su competencia, para dirigir y orientar acciones de estado en concordancia con la sociedad civil, con el fin de prevenir y mitigar las situaciones de desastre y riesgo así como atender a comunidades vulnerables.

5. METODOLOGÍA

5.1 LINEAS DE INVESTIGACION

La presente investigación se enmarca en la línea de investigación Planificación Regional y las sublíneas Prevención de desastres y Sistemas de información geográfica del departamento de geografía de la universidad de Nariño

5.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo semicuantitativa, puesto que se hizo una identificación de áreas con similares características, en cuanto a las variables de pendientes, geomorfología, geología, cobertura y uso del suelo. Esto a través de una caracterización cualitativa de estas variables, luego una reclasificación de las mismas y posteriormente una combinación temática mediante el álgebra de mapas del programa ArcGis 10.4

5.3 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

En el contexto de la mapeación de la susceptibilidad a procesos de remoción en **el método indirecto**³⁴ se basa en la selección, jerarquización y asignación de pesos para finalmente combinar los factores geográficos asociados a la inestabilidad del área analizada, asignación de índices de susceptibilidad para finalmente combinar los factores geográficos asociados a la inestabilidad del área analizada.

5.4 DEFINICIÓN DEL EVENTO DE ESTUDIO

Susceptibilidad de fenómenos de remoción en masa municipio de Chachagüi (Nariño), mediante el cual se identifican la distribución espacial de las características favorables y/o desfavorables presentes en el espacio geográfico, para así determinar áreas potencialmente susceptibles o no, a presentar problemas de remoción en masa.

³⁴ Metodología de zonificación de áreas susceptibles a deslizamiento.(s.f). Recuperado de dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/739/1/ti866.pdf

Tabla 1. Estructura de la unidad de análisis.

EVENTO	CATEGORIAS DE ANALISIS (OBJETIVOS ESPECIFICOS)	PARAMETROS	INSTRUMENTOS E INSUMOS
ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR FENOMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN EL MUNICIPIO DE CHACHAGÜI. DEPARTAMENTO DE NARIÑO.	<ul style="list-style-type: none"> Identificar información existente sobre el Municipio de Chachagüi que resulte de utilidad para la implementación del modelo de datos en el análisis de la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa. 	Geología, Geomorfología, Cobertura y uso del suelo, Pendientes	Plan de Gestión del riesgo, EOT, DEM Geosar resolución 12m, planchas geológicas 429 de Pasto y la 410 de La Unión Nariño, Información temática tipo shp
	<ul style="list-style-type: none"> Aplicar un modelo metodológico a través de herramientas SIG para el análisis y la clasificación de variables que influyen en los niveles de susceptibilidad a los procesos de remoción en masa en el área de estudio. 	Antecedentes, Métodos Zonificación de susceptibilidad a FRM, técnicas SIG en estudios de susceptibilidad, amenaza y Categorización de susceptibilidad a FRM.	Método indirecto , Guía metodológica Servicio Geológico colombiano. Metodología general susceptibilidad a FRM Ideam Revisión de metodologías, Selección de escala, Software Arcgis 10.4, Modelo Espacial cartográfico, herramientas Arct Toolbox, Software herramientas Arct Toolbox, Spatial Análisis tools, Conversión tools,
	<ul style="list-style-type: none"> Zonificar las áreas susceptibles a amenazas por remoción en masa en el municipio de Chachagüi, departamento de Nariño a partir de la combinación semicuantitativa de los mapas reclasificados de : Pendientes, Geología Geomorfología, Uso y Cobertura del suelo 	Reclasificación de capas temáticas: Pendientes, Geología, Geomorfología, Cobertura del suelo	Map Algebra, Ráster Calculator,
	<ul style="list-style-type: none"> Hacer un análisis susceptibilidad a FRM en el municipio de Chachagüi de acuerdo al mapa final de acuerdo a las variables analizadas. 	Categorías de susceptibilidad total a FRM	Mapa final susceptibilidad a FRM en el municipio de Chachagüi departamento de Nariño, Plan de Gestión del riesgo municipal.

Fuente: Este trabajo

6. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

6.1 DESARROLLO OBJETIVO ESPECÍFICO 1

6.1.1 Identificación de información existente sobre el municipio de Chachagüí que resultó de utilidad para la implementación del modelo de datos en el análisis de la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa. A partir de la selección del área de estudio como todo el territorio del municipio de Chachagüí, se recopiló la información disponible en las entidades respectivas de cada una de las variables definidas, clasificando la información según la categoría de la variable, para posteriormente registrar los datos a analizar.

Los insumos tanto técnicos como metodológicos que se recopilaron fueron los siguientes:

Tabla 2. Información secundaria sobre el municipio de Chachagüí.

INSUMO	FUENTE
EOT municipio de Chachagüí. Esquema de ordenamiento territorial. 2001 - 2003	ALCALDIA MUNICIPAL CHACHAGUI
Plan municipal para La gestión del Riesgo de Desastres. Municipio de Chachagui. 2013	ALCALDIA MUNICIPAL CHACHAGUI
Planchas geológicas 410 y 429 a escala 1:100000	Instituto Geológico Colombiano
Memoria Explicativa Plancha geologica 429 de Pasto a escala 1:100000	Instituto Geológico Colombiano
DEM del sensor Interferómetro GeoSar, 12 metros de resolución	Equipo técnico Actualización EOT del municipio de Chachagui.
SHP Variable Geomorfología	Grupo de Investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales TERRA Fecha: Mayo de 2017
SHP Variable Cobertura del suelo	Equipo técnico Actualización EOT del municipio de Chachagui.
SHP Hidrografía	Equipo técnico Actualización EOT del municipio de Chachagui.
SHP División político administrativa	Equipo técnico Actualización EOT del municipio de Chachagui.

Fuente: Este trabajo

La información que se pudo obtener sirvió de base para establecer la metodología adecuada para llegar al final de la propuesta.

6.2 DESARROLLO OBJETIVO ESPECÍFICO 2

6.2.1 Selección del método. Para definir el tipo de investigación se tuvo en cuenta, la Metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa del IDEAM³⁵.

Es necesario anotar que por motivos de falta de información y tiempo para la realización del presente trabajo de grado, sería difícil implementar un método más complejo como determinístico o el estadístico, que implican conocer más a detalle las características del área de estudio e inventarios de hechos históricos referentes al fenómeno analizado.

En base a los anteriores argumentos y en la revisión de la literatura citada, se llegó a la conclusión que para efectuar el desarrollo de la anterior propuesta lo más indicado utilizar un método semicuantitativo. “Los métodos semicuantitativos son metodologías cualitativas que utilizan procedimientos de ponderación y calificación (Hutchinson y Chandler, 1991; Siddle et al. 1991; Luna et al. 1992; Fell et al. 1996; Ayalew y Yamagishi, 2005). A esta metodología pertenece el proceso analítico jerárquico (AHP) aplicado por Saaty (1980); Barredo (2000) y Yalcin (2008) y la combinación lineal ponderada empleada por Ayalew (2004); Ayalew y Yamagishi (2005)”³⁶

Dentro las metodologías semicuantitativas se pueden mencionar el método multicriterio, y el método indirecto³⁷, siendo este último el adecuado para desarrollar el objetivo general del presente trabajo. El mismo que posteriormente se describirá más a detalle.

Según la guía metodológica del IDEAM, para la generación de una zonificación de susceptibilidad general del terreno a los deslizamientos de tierra, se sugiere

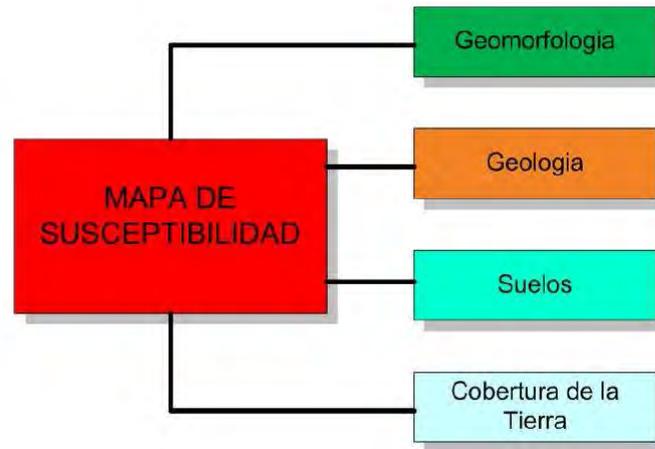
³⁵ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM [online]. Metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa, 2010. [Citado 14, Mayo, 2017]. Disponible en: <http://www.ucn.edu.co/institucion/salaprensa/Paginas/Publicaciones/manual-comunicacion-ambientes-virtuales.aspx>

³⁶ Metodología de zonificación de áreas susceptibles a deslizamiento.(s.f). Recuperado de dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/739/1/ti866.pdf

³⁷ El método indirecto se basa en la selección, jerarquización y asignación de pesos para finalmente combinar los factores geográficos asociados a la inestabilidad del área analizada, asignación de índices de susceptibilidad para finalmente combinar los factores geográficos asociados a la inestabilidad del área analizada.

disponer y utilizar como mínimo la información de los siguientes temas: Geomorfología, Geología, Suelos y Cobertura de la tierra, de acuerdo con la figura:

Figura 7. Temas para generación del mapa de susceptibilidad a deslizamientos

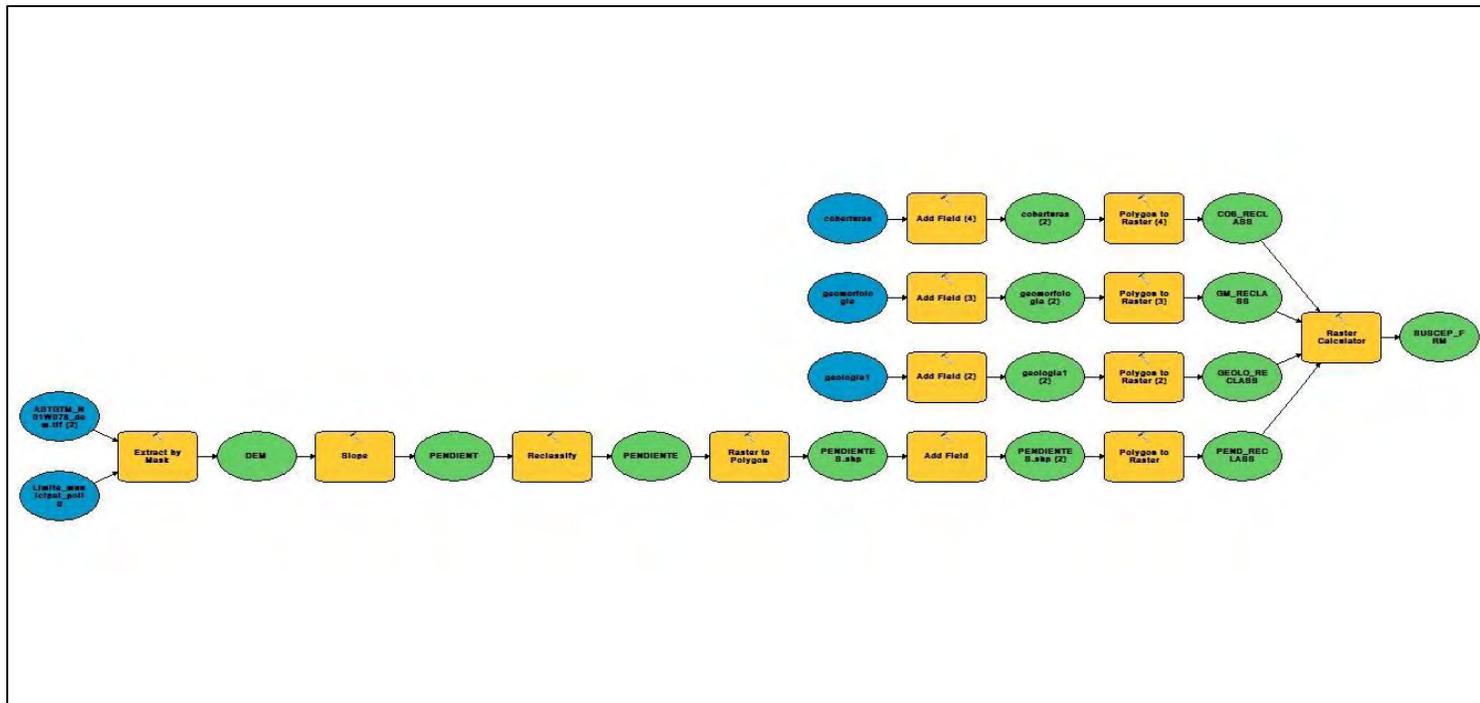


Fuente: Metodología Para la generación de una zonificación de susceptibilidad general del terreno a los deslizamientos de tierra, Bogotá, D.C. 2012

6.2.2 Selección de variables. A pesar que en esta metodología la variable pendiente hace parte de la variable geomorfología, al no contar con la variable suelos, se sustituyó este factor por la variable de pendientes, esto implica una valoración más subjetiva a la hora de establecer el peso general (%) de las variables.

Para el análisis de la información se partió del procesamiento de los shp obtenidos y suministrados y su ajuste en la tabla de atributos a través de la adición de un nuevo campo tipo Short para así, darle un peso de susceptibilidad a cada atributo de cada variable, finalmente se convirtieron estos polígonos a formato ráster con la herramienta coonversions tools.

Figura 8. Modelo espacial cartográfico.



Fuente: Este trabajo

6.2.3 Definición rangos de susceptibilidad. Se tuvo en cuenta los parámetros del IDEAM.

Tabla 3. Escala de pesos de susceptibilidad asignados a cada uno de las variables.

PESO	SUCEPTIBILIDAD
1	MUY BAJA
2	BAJA
3	MEDIA
4	ALTA
5	MUY ALTA

Fuente: Este trabajo

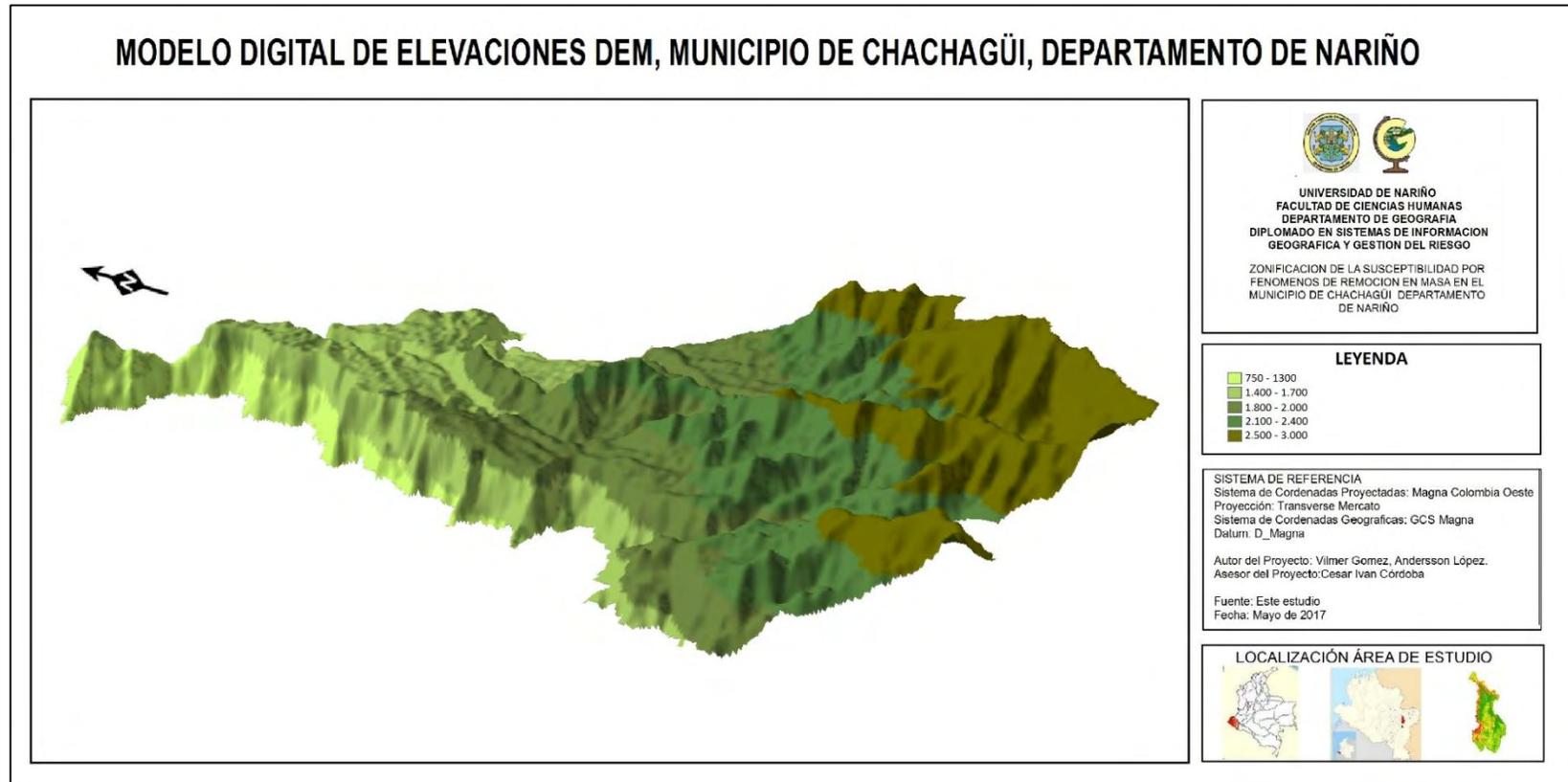
De acuerdo a esta asignación de pesos se procedió a trabajar cada variable a través de la información disponible, asignándole a cada una el peso que vendría hacer el índice de susceptibilidad de acuerdo a la valoración del grado de propensión o inestabilidad del material a los fenómenos de remoción en masa.

6.2.4 Variable pendiente. La pendiente está muy relacionada con la aparición de movimientos en masa dado que es el principal factor geométrico que aparece en los análisis de estabilidad y es una de las principales condiciones para que ocurra un movimiento en masa.

En primer lugar, para la elaboración del mapa de pendientes se ejecuta (DEM) del sensor Interferómetro GeoSar de la empresa FUGRO con 12 metros de resolución.

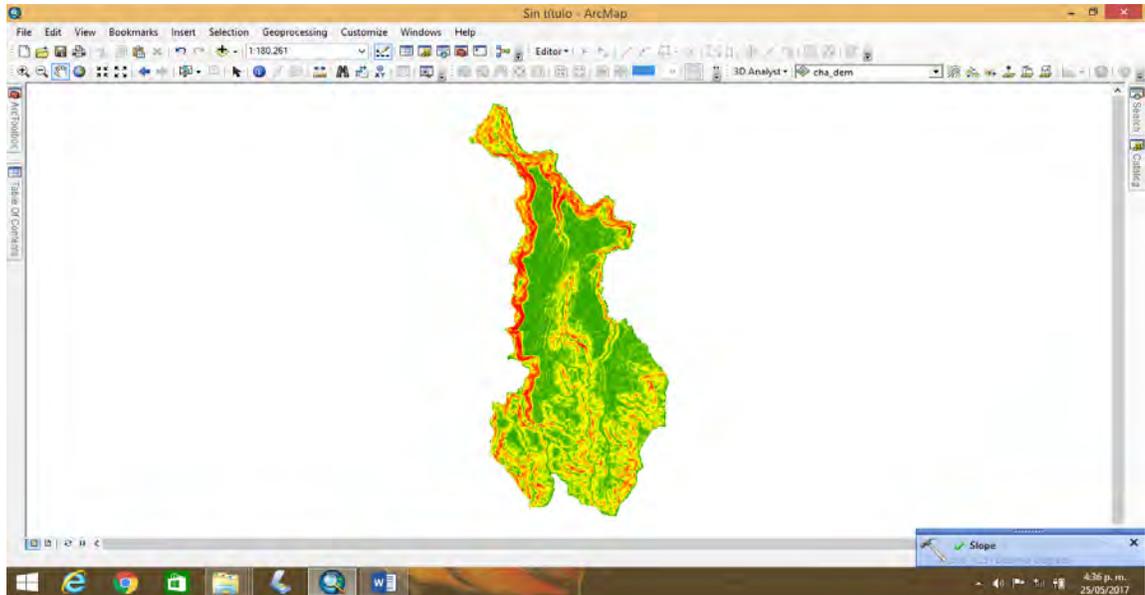
Obtenido el mapa de pendientes se lo convirtió en formato vector para asignarle el campo de pesos, y luego se lo volvió a convertir a ráster para reclasificarlo en los cinco rangos de susceptibilidad. Para hacer esta reclasificación se tuvo en cuenta la última categorización establecida por el instituto Agustín Codazzi en nueve categorías, de las cuales a criterio de los autores se simplificaron en los cinco niveles de susceptibilidad utilizados en el presente trabajo. Es importante anotar que el nombre de cada clase de pendiente se generó en función del rango de susceptibilidad establecido.

Figura 9. Modelo digital de elevación del área de estudio



Fuente: Este trabajo a partir de DEM del sensor Interferómetro GeoSar 12 metros de resolución

Figura 10. Obtención el mapa de pendientes con la herramienta Slope



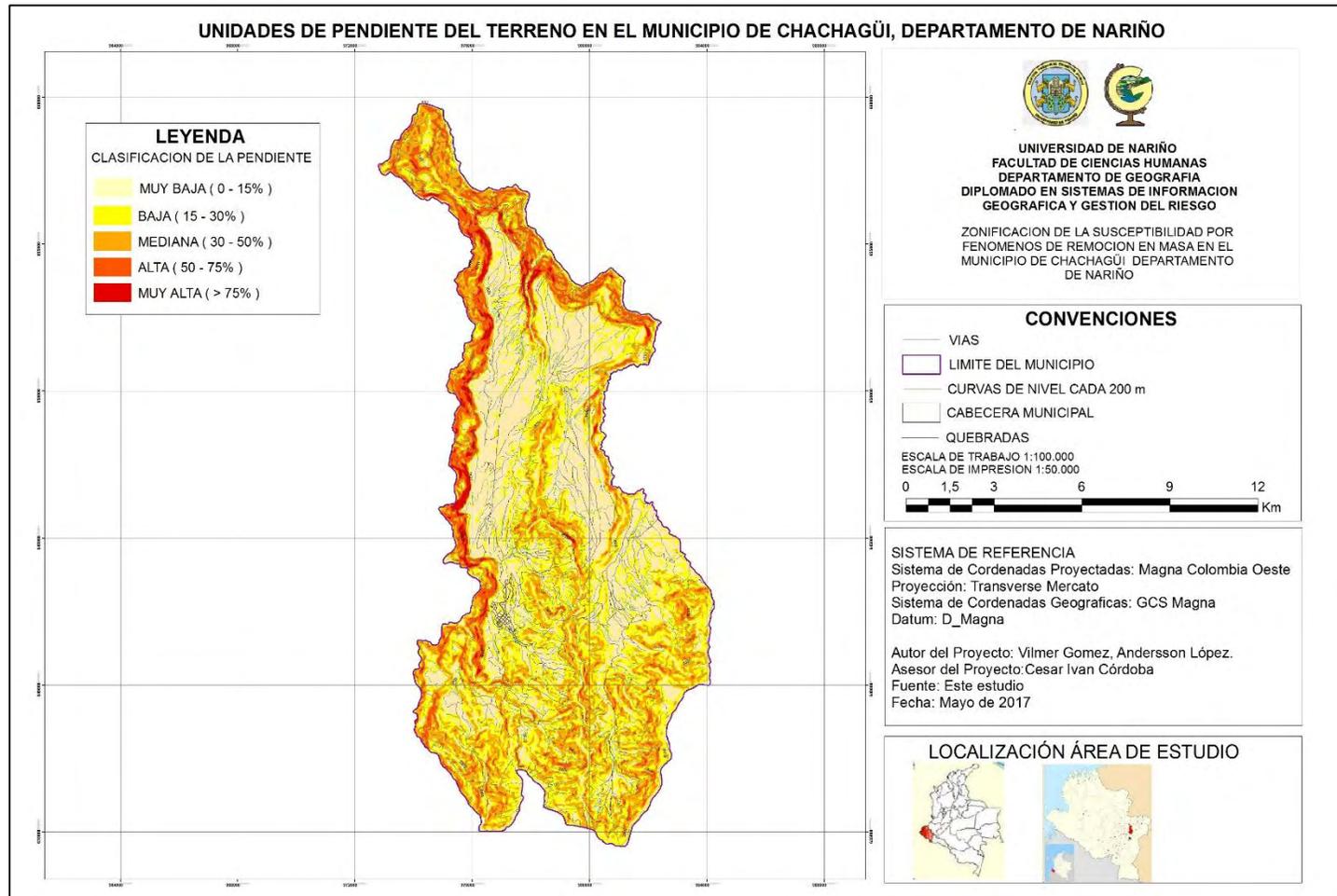
Fuente: Este trabajo

Tabla 4. Tabla reclasificación por pesos para la variable pendientes

Pendientes/Susceptibilidad FRM	PORCENTAJE	Peso_Pen
1 Muy Baja	0 - 15	1
2 Baja	16 - 30	2
3 Mediana	31 - 50	3
4 Alta	51 - 75	4
5 Muy Alta	> 75	5

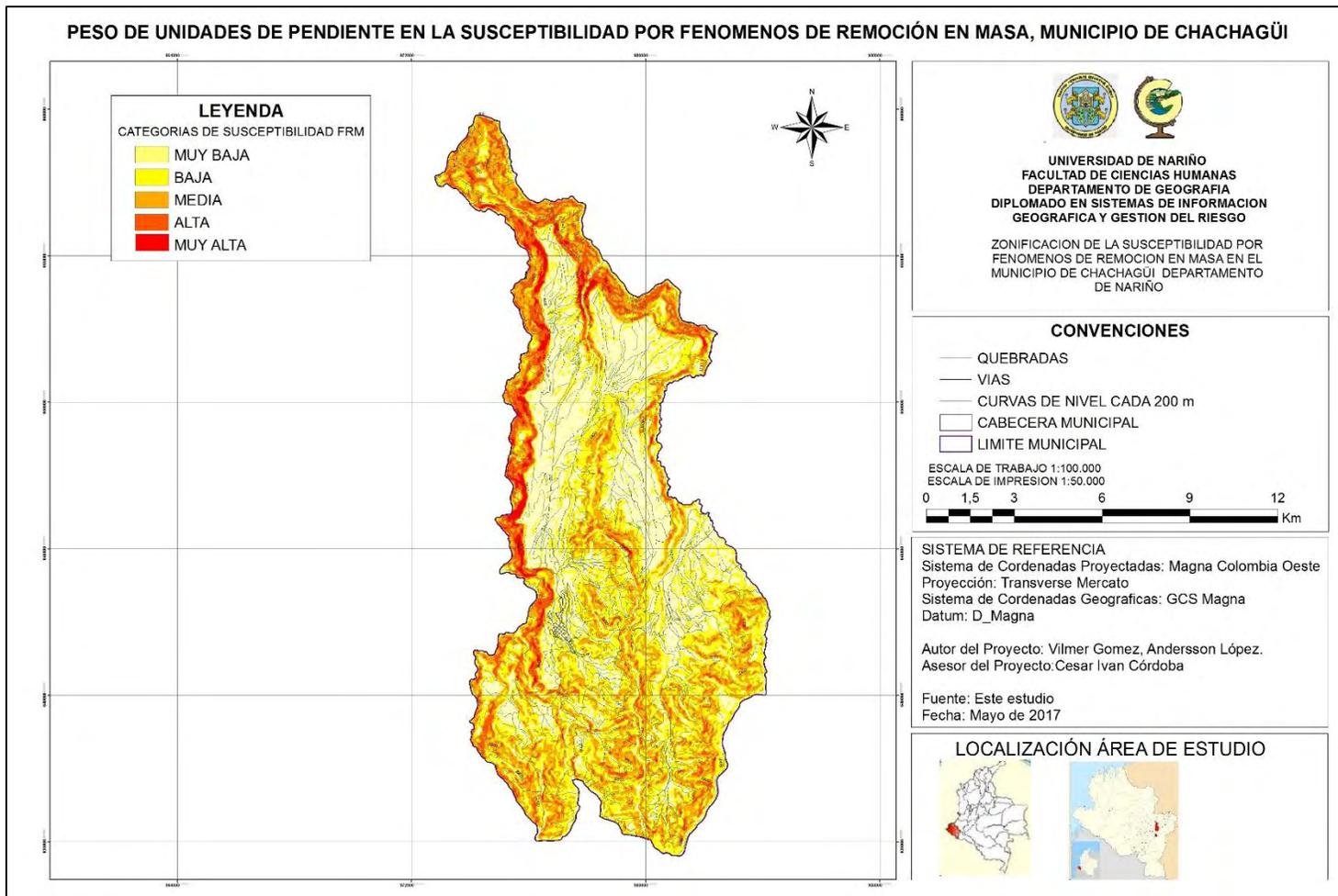
Fuente: Este trabajo

Mapa 1. Mapa de pendientes.



Fuente: Este trabajo

Mapa 2. Mapa de pendientes reclasificado en función del peso de la susceptibilidad a FRM.



Fuente: Este trabajo

6.2.5 Variable Geología. A partir del análisis EOT municipal y la memoria de la plancha geológica nº 429 de Pasto, en el área de estudio se pudo identificar las siguientes formaciones geológicas con su respectivo análisis grado de inestabilidad a los procesos de remoción en masa. Para realizar el análisis se preguntó a diferentes personas expertas en el campo de la geología, y así reducir el grado de subjetividad al asignar el peso a cada atributo.

Es importante recalcar que en la calificación de esta variable se acudió a utilizar la metodología recomendada por el IDEAM “Calificación heurística por panel de expertos”³⁸. De acuerdo a estos parámetros se hizo el siguiente análisis”.

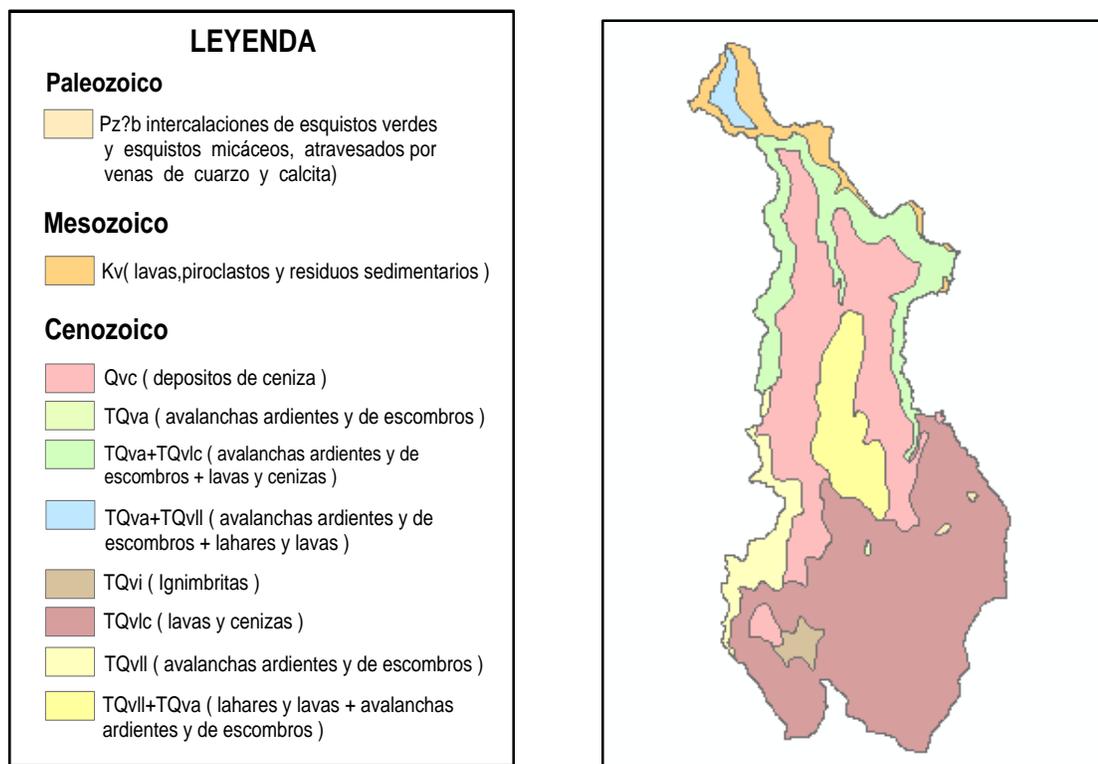
- **Lavas, piroclastos y residuos sedimentarios.** Las lavas se compone de material que fluye por la ladera de un volcán con alta viscosidad cerca del 100.000 a del agua pero por su temperatura puede fluir por la laderas de los volcanes, este material puede ser bastante resistente a la acción erosiva, pero si adicionalmente se encuentra con inclusiones piro clásticas que es la misma lava que ha salido expulsado al aire producto de estados explosivos del magma generan depósitos mezclados de rocas compactas y clastos hialinos tipo vidrio volcánico, algunos más porosos como la piedra pómez, si adicionalmente tenemos residuos sedimentarios que se conjugan con la lava y los productos piroclásticos, generan una masa que la lava permite la cohesión y por ende buena resistencia a la remoción en masa.
- **TQva + TQvlc (avalanchas ardientes y de escombros + lavas y cenizas).** Al predominar las avalanchas ardientes generan rocas más susceptibles a remoción en masa ya que no presentan una gran matriz fuerte que sostenga el deposito, así contenga en su desarrollo lavas consolidadas, pero que contienen cenizas que desmejoran esta resistencia de la roca, moderada a baja susceptibilidad a la remoción en masa.
- **Qvc (depósitos de ceniza).** Son depósitos sin ningún tipo de cohesión que dan una alta probabilidad de remoción en masa, son removibles por el mismo viento.
- **Tqva + TQvll (avalanchas ardientes y de escombros + lahares y lavas).** Las avalanchas ardientes, sumado a los lahares (depósitos de roca originados por avalanchas de lodo que contienen todo tipo de material

³⁸ La calificación de las variables se realiza con diferentes profesionales entre los que se encuentran geólogos, hidrólogos, agrólogos, geógrafos e ingenieros civiles, agrícolas, forestales y catastrales; quienes a partir de su experiencia y conocimiento, asignan el grado de susceptibilidad teniendo en cuenta las categorías presentadas.

vegetal, cenizas, sedimentos de las laderas de los volcanes- Tipo Armero) y lavas, No presentan adherencia entre partículas, que son fácilmente deleznable y por ende fácilmente erosionables.

- **TQvII (avalanchas ardientes y de escombros).** Las avalanchas ardientes y escombros son originados por material de tamaño irregular que no permite un arreglo intersticial entre partículas que deja muchos espacios vacíos entre fragmentos y partículas, permiten moderada respuesta a la remoción en masa.
- **TQvIc (lavas y cenizas).** Si se tiene una roca que predomina la lava aun conteniendo cenizas genera una roca con buena respuesta a la remoción en masa ya que son rocas con alta dureza y poco a nulo espacio vacío entre partículas.
- **TQvIc (lavas y cenizas). TQvI (lavas).** Son rocas cristalinas que forma una masa compacta que resiste en muy buena medida a la remoción en masa.
- **TQvII+Tqva (lahares y lavas + avalanchas ardientes y de escombros).** Las rocas donde predomina los lahares son rocas con mezcla de materiales de distinta índole que al sumar lavas ayuda en parte a mejorar la cohesión de la roca pero si se le suma avalanchas ardientes y de escombros, reducen esa resistencia a la remoción en masa.
- **Tqvi (Ignimbritas).** La ignimbrita es una roca ígnea y depósito volcánico que consiste en toba dura compuesta de fragmentos de roca y fenocristales en una matriz de fragmentos vítreos, su estructura cristalina es débil por su consistencia porosa formada por sedimentos de ceniza y granos pequeños, generando una roca con poca cohesión entre los fragmentos y resiste débilmente los agentes que generan la remoción en masa.
- **Pz?b (intercalaciones de esquistos verdes y esquistos micáceos, atravesados por venas de cuarzo y calcita).** son rocas que forma lamamiento regular por lo regular son rocas muy fracturadas y si ha tenido eventos de inclusión de venas de cuarzo y calcita repercute en la estructura de la roca y la hace fácilmente fracturable aun con la mano, lo que genera una roca con moderada a baja respuesta a la remoción en masa.

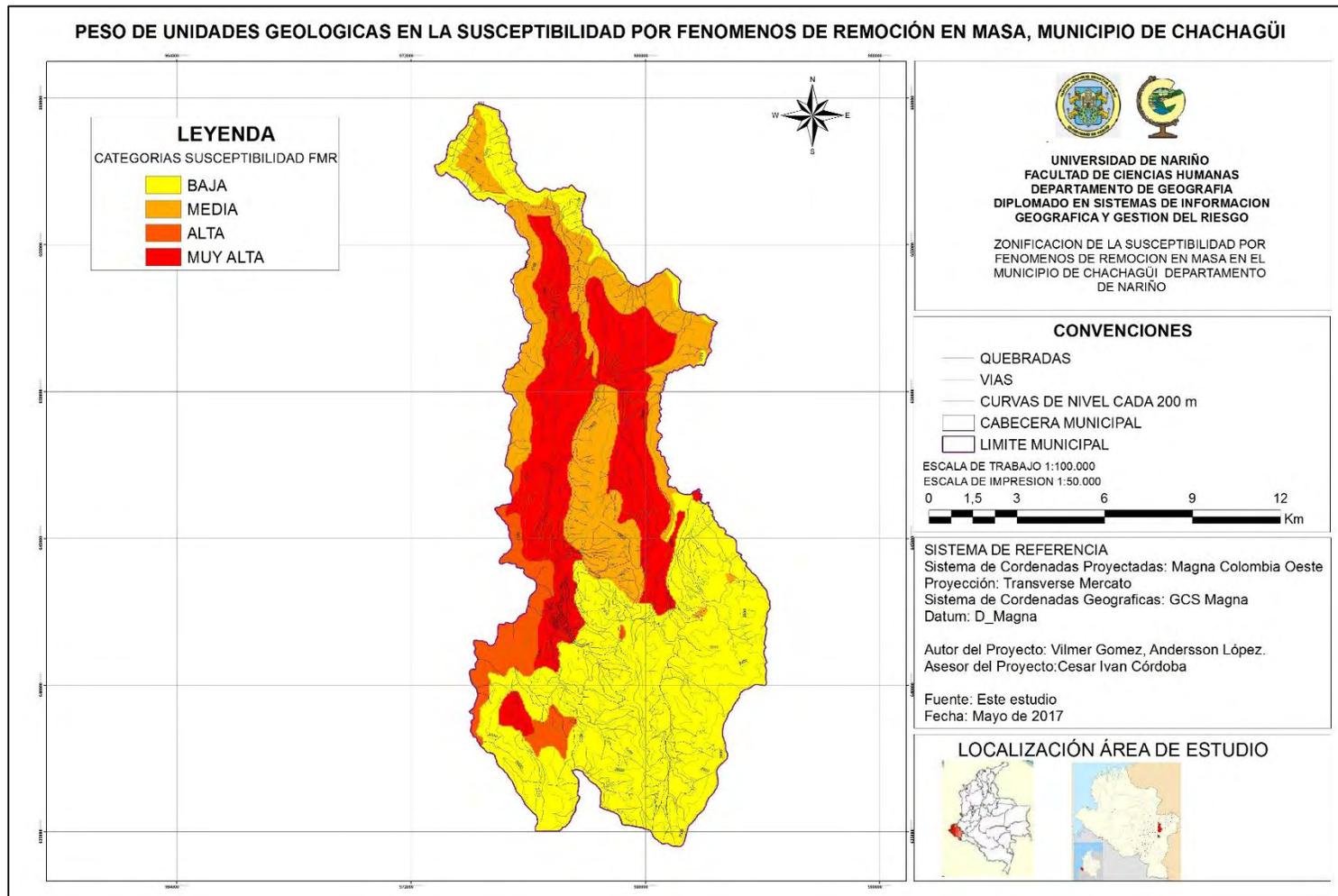
Figura 11. Variable geología y pesos de calificación



COD	Shape Leng	Peso_Geo
Kv	34895,6794	2
TQvlc	254571,202	2
TQvll	52571,5224	4
Qvc	4411,24566	5
TQvi	6779,66385	4
TQvll+TQva	137878,399	3
TQva+TQvll	7757,55745	3
Qvc	70010,0894	5
Kv	5439,73941	2
Qvc	2213,68282	5
Pz?b	1133,53399	3
Pz?b	1361,86006	3
TQva	1257,68269	4
TQva+TQvlc	119005,754	3

Fuente: Elaboración propia a partir de EOT municipio de Chachagüi y Memoria de las planchas geológicas 429 de Pasto y la 410 de La Unión Nariño

Mapa 3. Mapa de Geología reclasificado en función del peso de la susceptibilidad a FRM



Fuente: Elaboración propia a partir de EOT municipio de Chachagüi y Memoria de las planchas geológicas 429 de Pasto y la 410 de La Unión Nariño

6.2.6 Variable Cobertura y uso del suelo. Para su determinación espacial se utilizó la información suministrada por el equipo técnico de revisión y ajuste del EOT del municipio de Chachagüí corroborando la información a través de herramientas de fotointerpretación de imágenes de google earth en la zona de estudio.

Para la calificación de este factor se utilizó a información secundaria, puesto que la categorización de susceptibilidad a las variables de este estudio se hizo a través de una asignación de pesos o índices de susceptibilidad con valores fijos en la escala de 1 a 5, sin ningún tipo de ponderación.

Vale aclarar que no se tuvo en cuenta el coeficiente de Cobertura (KC), ni el índice de profundidad Radicular, recomendados por el IDEAM. Aunque se omitió aplicación de los anteriores criterios, la clasificación de la cobertura de forma directa a través de la calificación heurística por el panel de expertos y la información bibliográfica, puede decirse que es válida ya que el nivel de precisión de esta calificación es importante, ya que la vegetación incide en la morfodinámica³⁹ del relieve terrestre, factor importante en el análisis y calificación de la variable geomorfología.

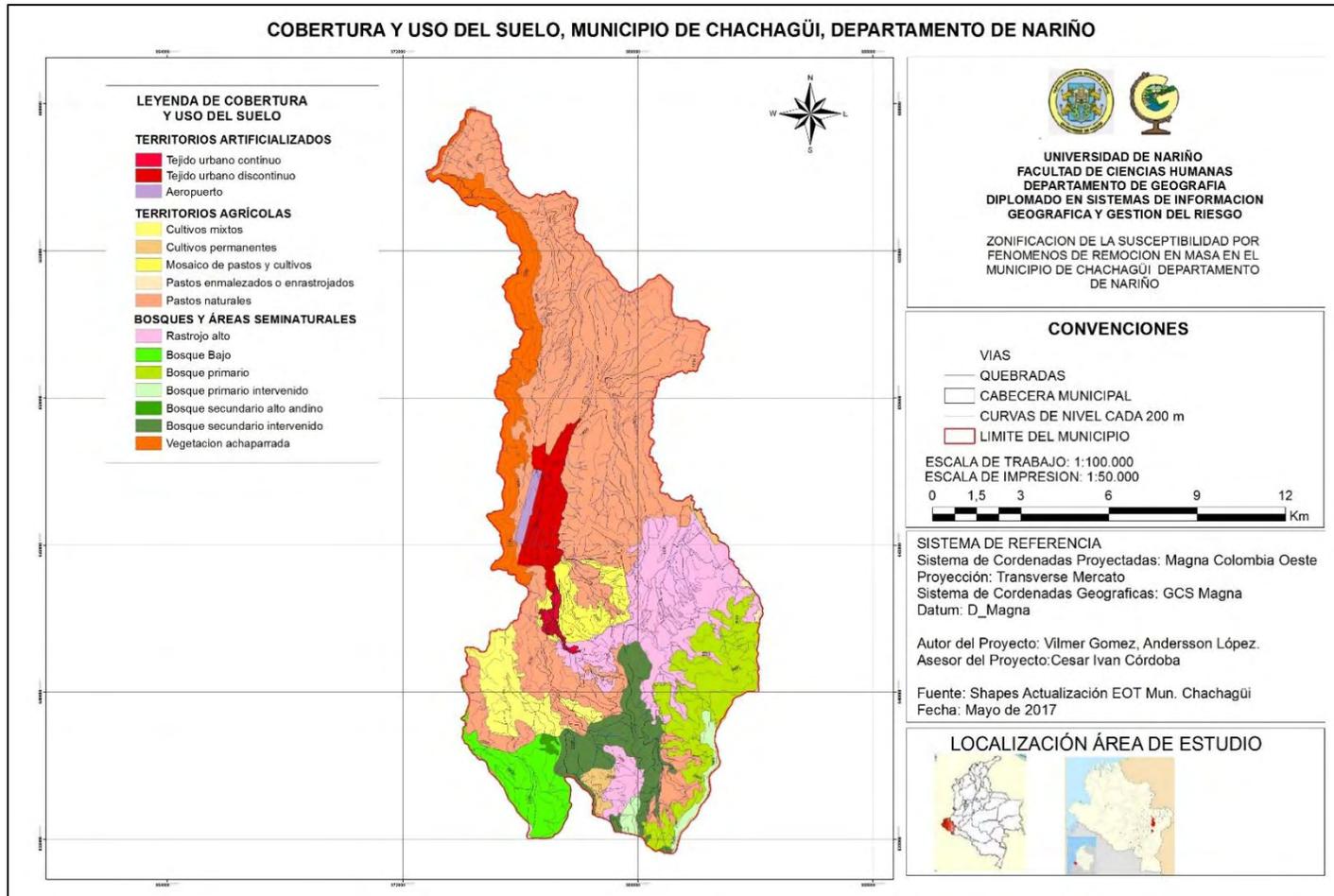
Tabla 5. Clasificación de las unidades de cobertura y uso del suelo de acuerdo al nivel de susceptibilidad a FRM

Cobertura	Simb_Corpc	Pon_Cob	DESCRIPCIÓN
Cultivos permanentes	Cp	3	MEDIA
Pastos enmalezados o enastrojados	Ps	3	MEDIA
Pastos naturales	Pn	1	MUY BAJA
Bosque primario intervenido	Bpi	2	BAJA
Cultivos mixtos	Cm	4	ALTA
Bosque Bajo	Bb	1	MUY BAJA
Bosque secundario alto andino	Bsa	1	MUY BAJA
Rastrojo alto	Ra	2	BAJA
Bosque primario	Bp	1	MUY BAJA
Vegetación achaparrada	Va	1	MUY BAJA
Bosque secundario intervenido	Bsi	2	BAJA
Mosaico de pastos y cultivos	Mpc	4	ALTA
Tejido urbano continuo	TUc	1	MUY BAJA
Tejido urbano discontinuo	TUd	1	MUY BAJA
Aeropuerto	A	1	MUY BAJA

Fuente: Este trabajo

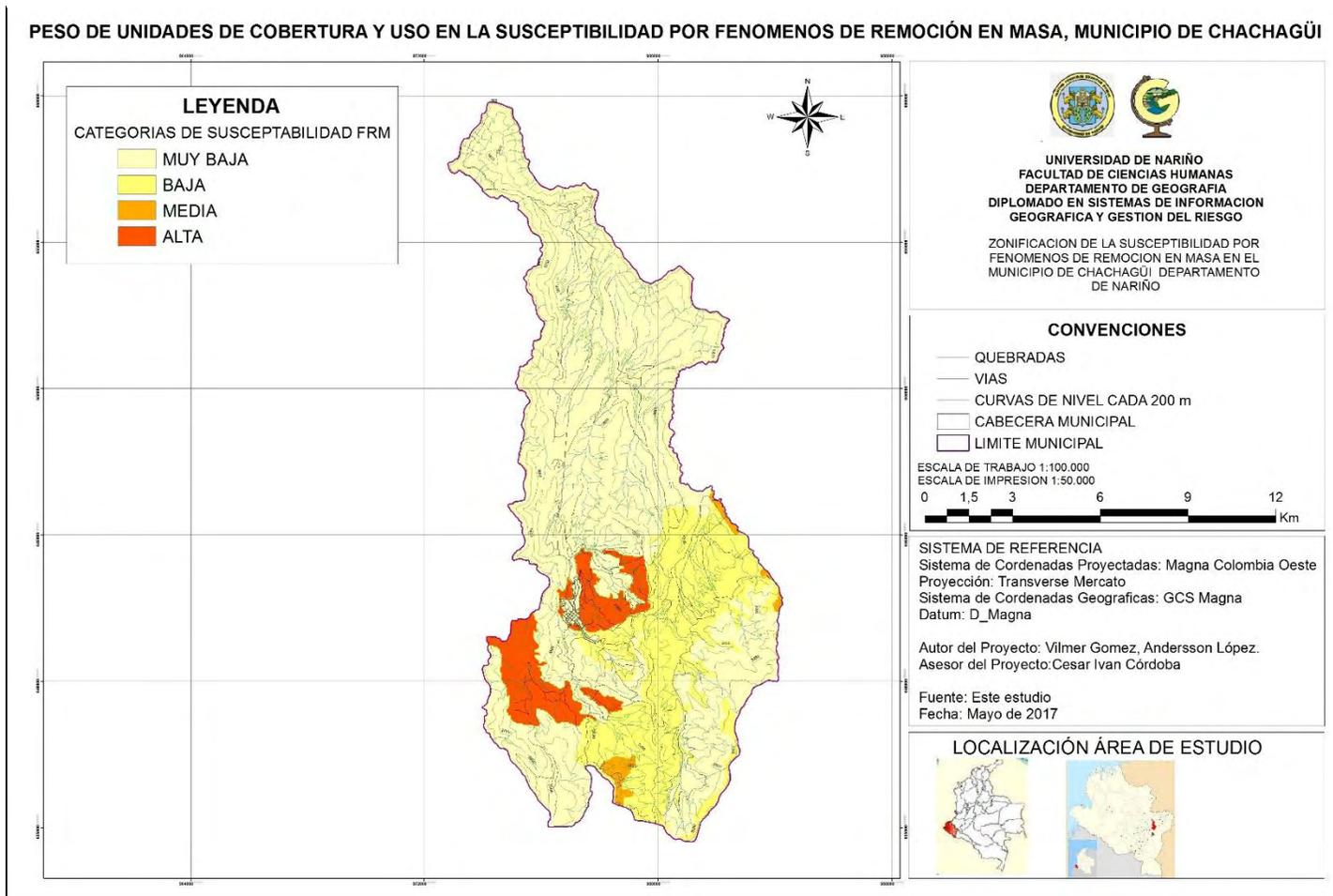
³⁹ La morfodinámica hace referencia a la evolución del relieve terrestre va evolucionando en la dinámica del ciclo geográfico.

Mapa 4. Cobertura y uso del suelo



Fuente: Este trabajo

Mapa 5. Cobertura y uso del suelo reclasificado en función del peso de la susceptibilidad a FRM.



Fuente: Este trabajo

6.2.7 Variable geomorfología. El territorio colombiano, en términos del tiempo geológico, se considera de formación reciente y en proceso de respuesta a los eventos estructurales y a las modificaciones bioclimáticas generadas y aún en proceso de desarrollo, esto define unas condiciones geomorfológicas de inestabilidad real y potencial de los diferentes espacios físicos del territorio⁴⁰.

Para la clasificación de esta variable es necesario siempre tener en cuenta la morfogénesis del relieve⁴¹ se utilizó la tabla de Criterios de calificación empleados para calificar los sistemas morfogénicos según geformas recomendados en la guía metodológica para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa

Tabla 6. Criterios de calificación empleados para calificar los sistemas morfogénicos según geformas

GRADO SUSCEPTIBILIDAD		CRITERIO 1	CRITERIO 2
0	Nula	Predominan procesos acumulativos formas planas.	Topografía plana
1	Muy baja	Predominan procesos acumulativos, se presentan formas con altura relativa menor.	Topografía inclinada
2	Baja	Ocurrencia de procesos acumulativos y erosivos. Formas altas y bajas con altura relativa media.	Topografía con pendientes suaves
3	Moderada	Predominan procesos erosivos, algunos procesos acumulativos. Formas altas y bajas, altura relativa moderada.	Topografía con pendientes moderadas
4	Alta	Predominan procesos erosivos, predominan formas altas con pendiente suave a abrupta y altura relativa considerable.	Topografía abrupta
5	Muy alta	Predominan procesos erosivos. Formas abruptas y de altura relativa considerable.	Topografía abrupta. Alternancia litológica

Fuente: Metodología Para la generación de una zonificación de susceptibilidad general del terreno a los deslizamientos de tierra, Bogotá, D.C. 2012

En la información suministrada se identificaron las unidades geomorfológicas, el de ambiente denudaciones cañones, laderas y lomas; y las unidades geomorfológicas de ambiente volcánico de terrazas volcánicas los cuales se procedieron a

⁴⁰ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM [online]. Sistemas morfogénicos del territorio colombiano, Junio de 2010, Bogotá. [Citado 24, Mayo, 2017]. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=15965sm>

⁴¹ La morfogénesis estudia el origen de geformas existentes en un sistema territorial determinado.

asignárseles los pesos de susceptibilidad a procesos de fenómenos de remoción en masa. Para realizar esta fase, además de la tabla 6 anteriormente referenciada se tuvo en cuenta las variables pendientes, geología y cobertura ya clasificadas para así evaluar el factor geomorfológico en relación a uno de sus características intrínsecas que es la morfodinámica.

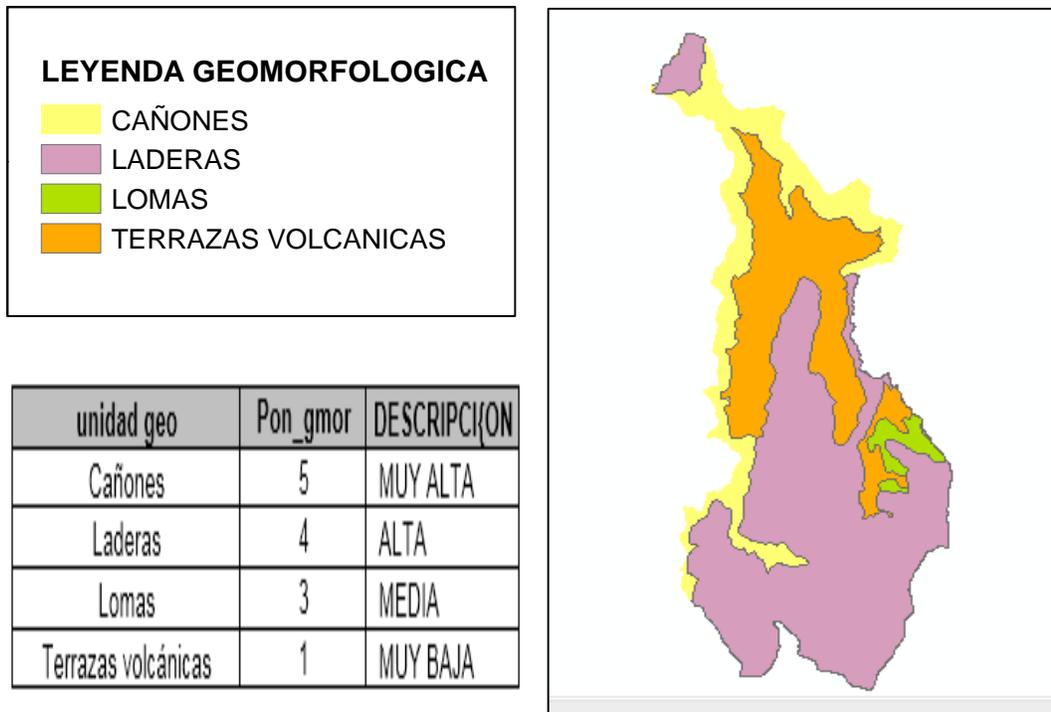
De acuerdo a lo anterior realiza el siguiente análisis de las geoformas.

- **Cañones.** Las unidades de Cañón se encuentran localizadas al occidente del territorio municipal de Chachagüí está con las quebradas que irrigan el río Pasto; y por el occidente, y por el nororiente el río Juanambú. Coincide en su mayoría con el rango de pendiente que va desde el 50% en adelante, por lo que se infiere según la escala de análisis y los parámetros morfogénicos del IDEAM que se trata de topografías abruptas las cuales se tratan de zonas con una alta susceptibilidad a movimientos en masa.
- **Laderas.** Con 282 ha parte de estas geoformas están localizadas Está localizadas al norte del territorio municipal en el corregimiento de Cimarrones en límites con el municipio de Taminango, y otra parte correspondiente 63526 ha se encuentran entre el centro del municipio entre los corregimientos de Pasizara que limita con el municipio de San Lorenzo, estribaciones orientales de la cabecera municipal, corregimiento; al sur corregimientos de Cassabuy, Hato Viejo y Sánchez.

En las laderas hay predominio de pendientes moderadas que van desde 31 al 50% por lo que se calificó esta variable con un valor de 4 en relación a las anteriores características mencionadas.

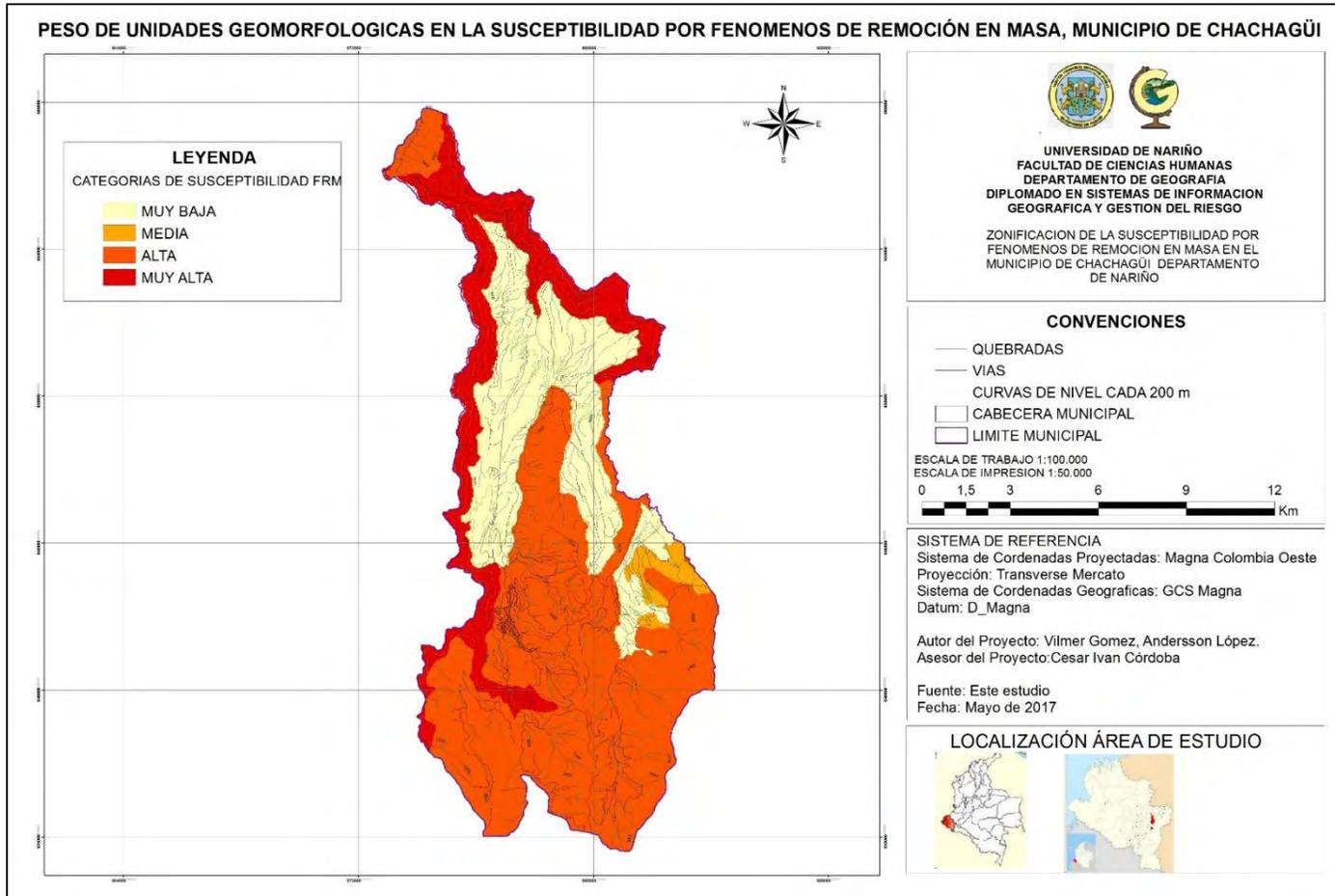
- **Lomas.** Estas geoformas se encuentran localizadas al norte del territorio municipal en el corregimiento de Cimarrones, en la parte central entre la zona suburbana, y la parte oriental del corregimiento de Pacizara y al occidente de Sánchez, básicamente en estas geoformas predominan formaciones de ceniza y Esquistos verdes y mizaceos a los que geológicamente se calificó como moderada remoción. Además están en zonas de pendientes muy bajas que van de 0 a 15 %.
- **Terrazas volcánicas.** Están espacialmente distribuidas laderas con rangos de pendientes bajas entre 0 y 30%. En estas geoformas predominan formaciones geológicas como avalanchas ardientes, lavas y cenizas, no obstante a esto, a partir de la escala de trabajo se calificaron como baja susceptibilidad.

Figura 12. Variable geomorfología y pesos de calificación.



Fuente: Este trabajo a partir de Shapes Grupo de Investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales TERRA Fecha: Mayo de 2017

Mapa 6. Mapa de Geomorfología reclasificado en función del peso de la susceptibilidad a FRM.



Fuente: Este trabajo a partir de Shapes Grupo de Investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales TERRA Fecha: Mayo de 2017

6.3 DESARROLLO OBJETIVO ESPECÍFICO 3

6.3.1 Elaboración mapa final de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa en el municipio de Chachagüí. Departamento de Nariño. Después de haber procesado la evaluación de cada variable a través de los índices de susceptibilidad se procedió a convertir todos los polígonos a formato ráster, para poder hacer la operación final en el álgebra de mapas que permitió obtener el resultado final.

La elaboración del mapa final de zonificación por fenómenos de remoción en masa se laboró mediante las herramientas del arco toolbox/ Spatial Analyst Tools/ Map Algebra/ Ráster Calculator. La suma lineal de las variables ponderadas a través de un peso en porcentaje general de influencia en la susceptibilidad de cada factor se operó para tener el resultado final.

Es importante anotar que este peso fue asignado de acuerdo al análisis subjetivo de cada variable y también con relación a lo establecido por la metodología general de zonificación de susceptibilidad a remoción en masa del IDEAM

Tabla 7. Pesos en % por cada variable o factor, según influencia en los Fenómenos de remoción en masa.

VARIABLES	PESO (%)
PENDIENTE	0.30
GEOLOGIA	0.30
GEOMORFOLOGIA	0.25
COBERTURA	0.15

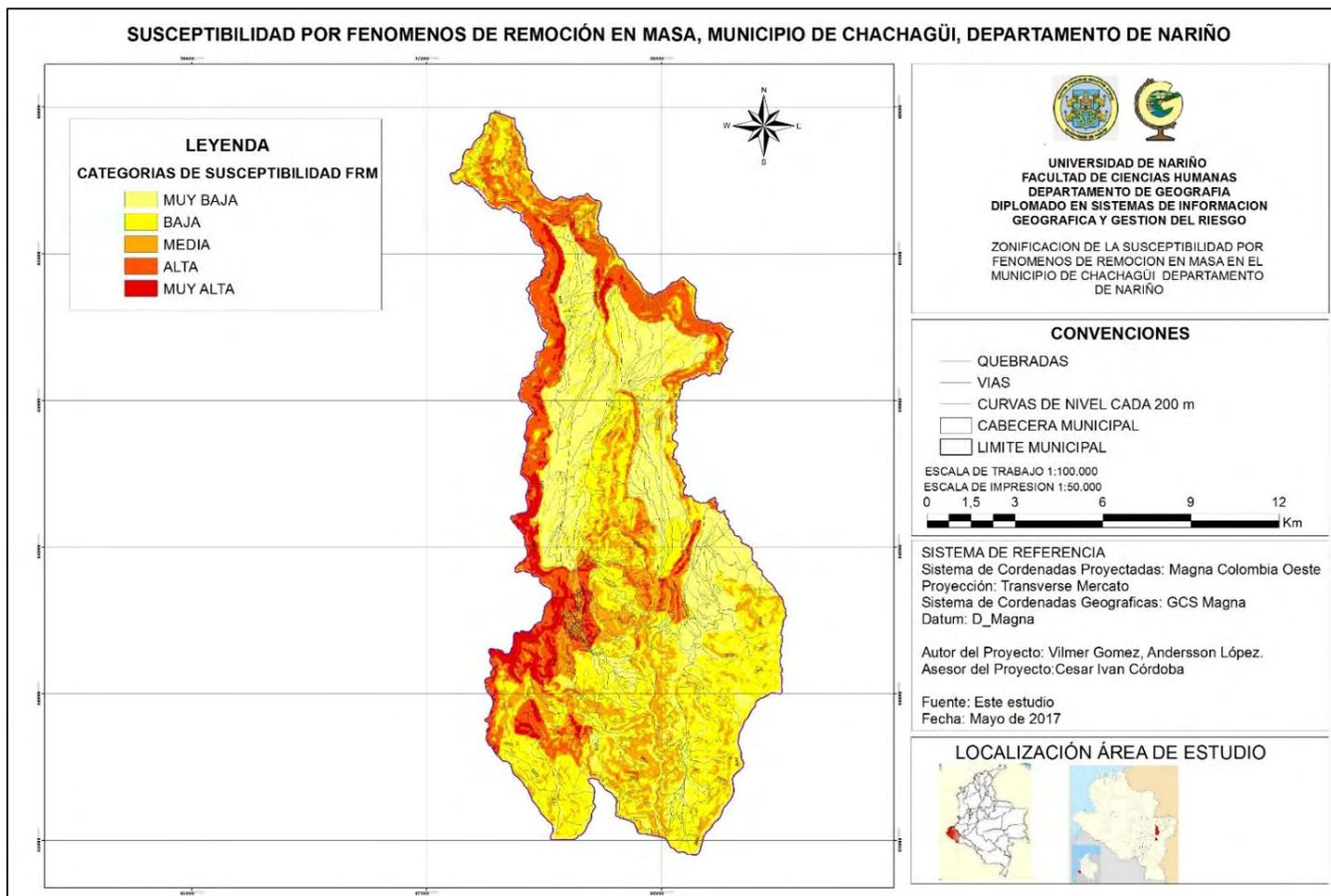
Fuente: Este trabajo

Según lo anterior se infirió que la fórmula para obtener el resultado final sería:

$$\text{SUCEP FRM} = \text{N} (\text{PENDIENTE} \times 0.30) + (\text{GEOLOGIA} \times 0.30) + (\text{GEOMORFOLOGIA} \times 0.25) + (\text{COBERTURA} \times 0.15)$$

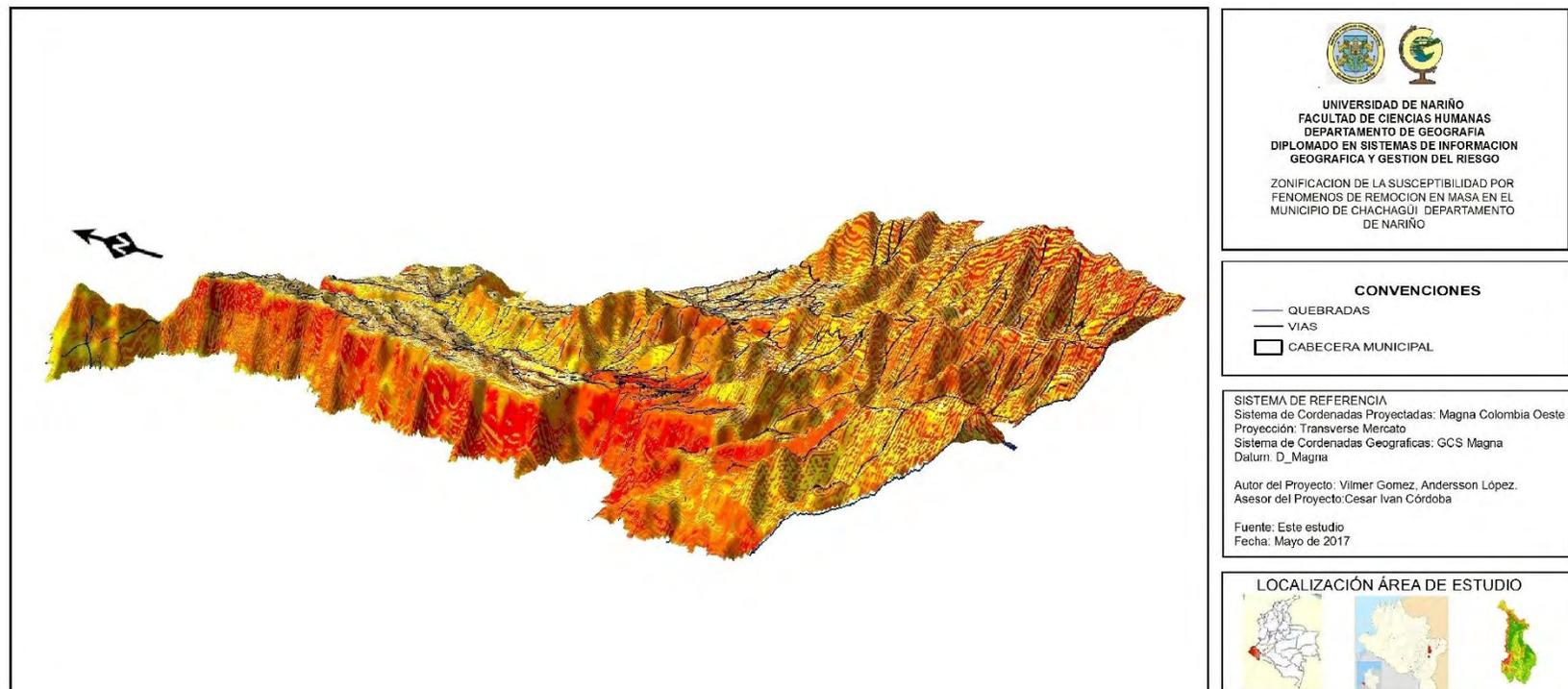
La escala de trabajo fue de 1:50000 ya que se considera una escala útil para la aplicación del método seleccionado.

Mapa 7. Susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa en el municipio de Chachagüi. Departamento de Nariño



Fuente: Este trabajo

Figura 13. Vista tridimensional (3D) de las zonas de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa, municipio Chachagüi, departamento de Nariño



Fuente: Este trabajo

6.4 DESARROLLO OBJETIVO ESPECÍFICO 4

6.4.1 Análisis susceptibilidad fenómenos de remoción en masa en el municipio de Chachagüí departamento de Nariño. De acuerdo al mapa final por FRM en el municipio de Chachagüí, cabe establecer un análisis en cuanto a la distribución espacial de las áreas susceptibles dentro de la zona de estudio, describiendo así los resultados obtenidos a partir de la aplicación metodológica que permitió establecer las áreas definidas por cada una de las categorías de susceptibilidad establecidas.

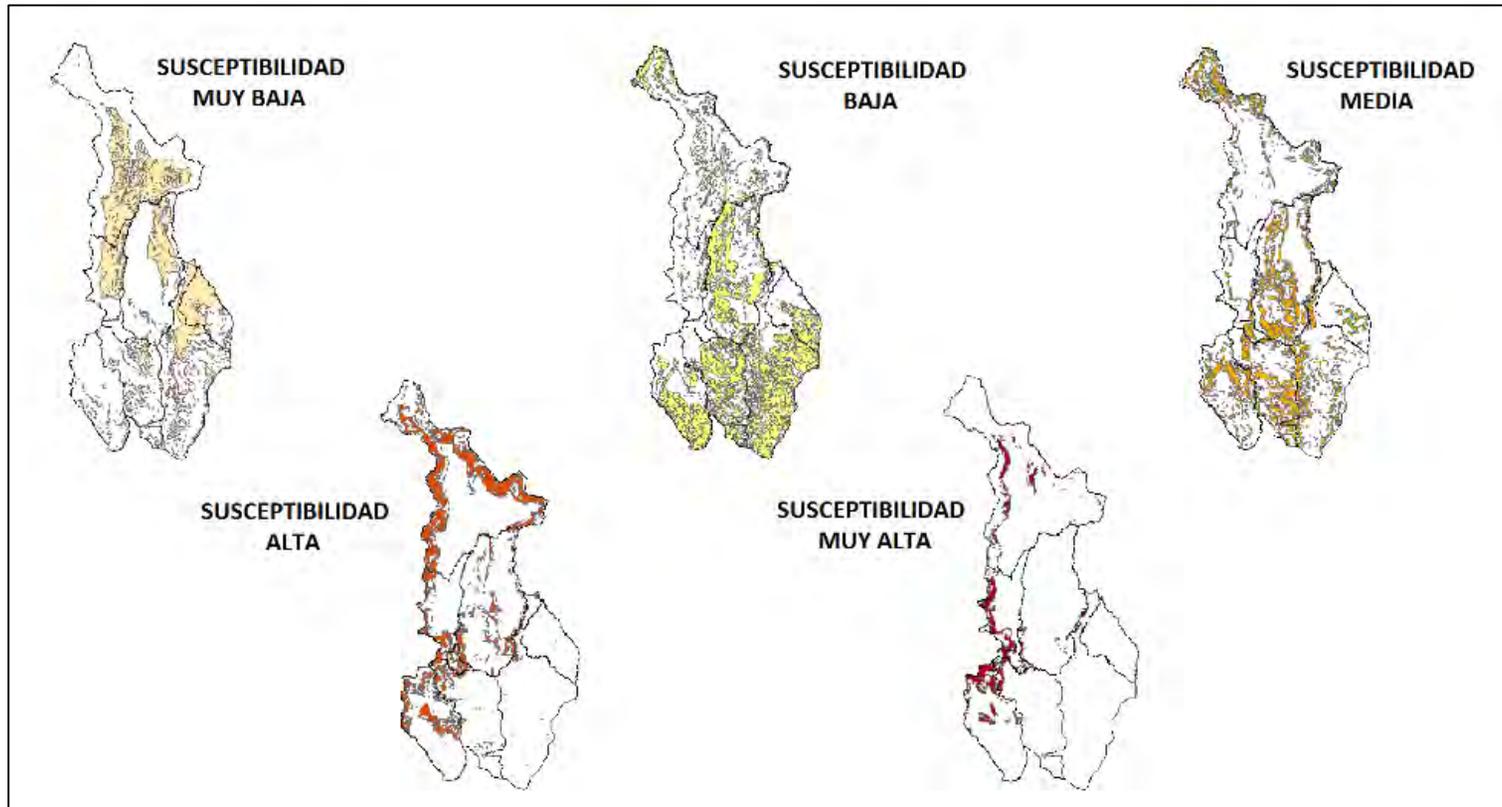
El municipio de Chachagüí al presentar una gran variedad en las unidades de pendientes, coberturas y demás factores geológicos y geomorfológicos, presenta áreas con susceptibilidad a fenómenos por remoción en masa lo que pueden generar una gran consecuencia para el desarrollo del municipio anteriormente mencionado.

- **Zonas con susceptibilidad muy alta y alta.** Corresponden a zonas de pendiente de 50-75% y < de 75% a las cuales se les otorgó un peso, que las clasifiqué como áreas de susceptibilidad alta y muy alta, están ubicadas principalmente en unidades de cañones y laderas establecidos en la variable geomorfología, a las cuales también se le otorgo un peso que las clasifiqué como áreas de susceptibilidad alta y muy alta.

A su vez esta categoría se combina con otras variables como la cobertura del suelo principalmente de vegetación achaparrada, cultivos mixtos y mosaico de pastos y cultivos, a los cuales se les dio una variable peso de muy baja y alta en relación a la susceptibilidad. Por último la geología en las cuales las formaciones como la Qvc (Lluvias de Cenizas) y TQvll (avalanchas ardientes y de escombros) obtuvieron un peso de muy alto y alto esta combinación de las variables es lo que estableció las zonas de mayor susceptibilidad por remoción en masa en el municipio de Chachagüí, ubicadas principalmente en las zonas de ladera, en el corregimiento de Casabuy, al norte del corregimiento de Hato Viejo, la Cabecera Municipal y al sur del municipio de Pasizara con una extensión 2.653 Has.

- **Zonas con susceptibilidad media.** Son zonas las cuales tienen cruces de variables geológicas, geomorfológicas, coberturas y pendientes con un peso medio (3), las cuales se caracterizan por ser poco susceptibles a los fenómenos de remoción en masa y se encuentra en una mayor proporción con una superficie de extensión de 2.662 Has.

Figura 14. Distribución espacial por categoría de susceptibilidad a FRM.



Fuente: Este trabajo

- **Zonas con susceptibilidad Baja y Muy Baja.** Son zonas donde la geomorfología, pendientes, geología, y cobertura del suelo son poco o nada favorables para que se produzcan susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa, estableciendo un peso de susceptibilidad baja (2) ya que permanecen estables aun ante factores o fenómenos detonantes como la precipitación es la zona que posee la mayor extensión del municipio con 8.654 Has

Figura 15. Análisis de áreas susceptibles a FRM



Fuente: Este trabajo

7. CONCLUSIONES

La aplicación del método indirecto como una técnica semicuantitativa para la identificación de la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, resultó apropiada para desarrollar la propuesta metodológica del presente estudio. En estudios más detallados se recomienda explorar otros métodos como el estadístico y el determinístico con el fin de asociar más directamente los factores condicionantes y detonantes de remoción en masa.

Los sistemas de información geográfica (SIG) son una herramienta necesaria, en el abordaje de las problemáticas asociadas a la gestión del riesgo. La combinación cualitativa de mapas a través del álgebra de mapas son aplicaciones con las cuales se pueden desarrollar análisis espaciales cuya precisión depende de los métodos empleados en términos de zonificación espacial.

La metodología general para zonificación a procesos de remoción en masa desarrollada por el IDEAM, fue una guía importante en el desarrollo de esta investigación. Al relacionar los pasos de la guía con el método establecido se pudo obtener el resultado final, lo que evidenció que la calidad de los procesos cartográficos y temáticos desarrollados depende de la capacidad subjetiva de aplicar los mismos.

La elección de una metodología para establecer análisis de susceptibilidad a movimientos en masa, depende de la disponibilidad de información, la escala de trabajo y la determinación puntual de una correlación que permita a partir de los resultados, establecer la vulnerabilidad, y los riesgos asociados a este tipo de amenazas

En este trabajo solo se sistematizaron las variables condicionantes de los movimientos en masa, por lo que se establece la necesidad de mejorar los procedimientos a través de metodologías más analíticas, de esta manera se podría determinar por ejemplo la clasificación de los diferentes tipos de remoción en masa en un determinado territorio, como también precisar condiciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

El mapa final de susceptibilidad a FRM coincide con la localización espacial de estos eventos en el plan de gestión del riesgo del municipio de Chachagüí. De lo anterior se infiere que la aplicación del método indirecto fue adecuada pese a la disponibilidad de información con la que se contó.

BIBLIOGRAFÍA

BLANCO MORENO, Diana y JIMENEZ DELGADO Sebastián. Evaluación De Amenaza Por Fenómenos De Remoción En Masa En Algunos Sectores De La Comuna 14 Del Municipio de Bucaramanga utilizando el Método Estadístico Con Variables Locales. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenieras Físico Matemáticas, 2009. 103 p.

CAMPOS MAZA, Francisca Paz. Evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa en la quebrada de los Chanchos, región metropolitana, Memoria para optar al título de geóloga. Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Departamento de Geología, 2014. 143 p.

CASALLAS GALINDO, Yuli, [En línea]. Uso de sig para la evaluación de amenaza por procesos de remoción en masa en la localidad de Suba. universidad católica de Colombia facultad de ingeniería, Programa de ingeniería civil, Bogotá 2014, 46 pag. (Consultado, 17 Abr. 2017). Disponible en la dirección electrónica: http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1696/1/Usos_SIG_evaluacion%20de%20amenaza_por_procesos_remocion%20en%20masa-Suba.pdf

CARDOZO Claudia Paola. Zonación de susceptibilidad por procesos de remoción en masa en la cuenca del río Tartagal, Salta (Argentina), Tesis para optar al título de Magister en aplicaciones espaciales de alerta y respuesta temprana a emergencias. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Matemática, Astronomía y Física, 2013. 127 p.

CASALLAS GALINDO, Yuli, [En línea]. Uso de sig para la evaluación de amenaza por procesos de remoción en masa en la localidad de Suba. universidad católica de Colombia facultad de ingeniería, Programa de ingeniería civil, Bogotá 2014, 46 pag.

ESCUELA VIRTUAL PNUD DIPLOMADO DE ESPECIALIZACIÓN EN DESARROLLO LOCAL Y GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO, [En línea]. Unidad 2. Introducción a la Gestión Integral del Riesgo, en: Diplomado de Especialización en Desarrollo Local y Gestión Integral del Riesgo. 22 pag. (Consultado, 17 Abr. 2017). Disponible en la dirección electrónica: www.escuelapnud.org.

GOMEZ CHAMORRO N, OSORIO BENTACUR Y, y SALAZAR TAMAYO Sig para determinar la susceptibilidad a movimientos en masa en la cuenca del río Campoalegre. IGAC, Bogotá, D.C, 22 pag.

HIDALGO CUPACAN, Harold, [En línea]. Zonificación de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa mediante geoprocésamiento con herramientas sig en la cuenca del río Azufral. IGAC, Bogotá, D.C, 22 pag. (Consultado, 17 Abr. 2017). Disponible en la dirección electrónica: <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11588/1/Trabajo%20de%20Graduado.pdf>

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA INGEOMINAS, [online]. GEOLOGÍA DE LAS PLANCHA 429 – PASTO ESCALA 1:100.000 MEMORIA EXPLICATIVA. Bogotá, 1991, 2010. [Citado 14, Marzo, 2017]. Disponible en: <http://www.tuinfo.com/?memoriae429>

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM [online]. Metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa, 2010. [Citado 14, Mayo, 2017]. Disponible en: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM [online]. Sistemas morfogénicos del territorio colombiano, Junio de 2010, Bogotá. [Citado 24, Mayo, 2017]. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-etail.pl?biblionumber=15965sm>.

INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES, [En línea]. Mapa de susceptibilidad a deslizamientos de Nicaragua. El método Mora- Vahrson: Método para clasificar la amenaza por deslizamientos en áreas tropicales con alta sismicidad: Proyecto: Mitigación de Georriesgos en Centroamérica, Costa Rica, 1991. 103 p. (Consultado, 17 Abril. 2017). Disponible en la dirección electrónica: http://webserver2.ineter.gob.ni/desliza/estudios/Mora_Vahrson.pdf.

LAGLERUBEN. Sistemas de información geográfica [en línea]. Bogotá: Laboratorio Unidad Pacífico Sur Ciesas. Disponible en internet: <http://langleruben.wordpress.com.pdf>. Metodología de zonificación de áreas susceptibles a deslizamiento.(s.f). Recuperado de dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/739/1/ti866.pdf.

MUÑOZ, E. 2013. Susceptibilidad de remociones en masa y de respuesta sísmica asociada a fallas mayores en zonas urbanas. Estudio de caso en Viña del mar, V región. Tesis para optar al grado de magíster en ciencias mención Geología. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y matemáticas. Departamento de Geología, 164 p.

OBANDO MESIAS, Jorge. Zonificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa en el corregimiento de Las Mesas, municipio del Tablón de Gómez departamento de Nariño. Trabajo de grado para optar al título de geógrafo con énfasis en planificación regional. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias humanas, Departamento de Geografía, 2009. 222 p.

PRIMICIERO LOPEZ, Erika, [En línea]. Caracterización y Evaluación de la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa en el municipio de Choachí. Cundinamarca. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ciencias humanas, Departamento de geografía BOGOTA 2010,51 p. (Consultado, 17 Abr. 2017). Disponible en la dirección electrónica:
repositorio/jspui/bitstream/123456789/2290/2/144154.pdf.

RINCÓN CAMACHO, Jason, [En línea]. Análisis de la distribución espacial de la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, a través herramientas sig. Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de ciencias humanas, Departamento de geografía, BOGOTA 2010,51 p. (Consultado, 17 Abr. 2017). Disponible en la dirección electrónica:
repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/.../RinconCamachoJasonRicardo2015.pdf

SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO, María [online]. Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Bogotá, 2015. [Citado 14, Mayo, 2017]. Disponible en: www2.sgc.gov.co/Noticias/archivos/Guia-Metodologica-Servicio-Geologico.aspx

Tomlin, C. D. 1990. Geographic Information Systems and Cartographic Modelling. Englewood Cliffs, Prentice Hall, New Jersey, citado por SIERRA Rodrigo. Taller: Introducción a Aplicaciones de Técnicas Espaciales para la Conservación de la Biodiversidad. Ciudad de Panamá. [En línea]. Universidad Nacional de Colombia Facultad de ciencias humanas departamento de geografía, 2010. p. 16. . (Consultado, 17 Abr. 2017). Disponible en la dirección electrónica: <http://www.aag.org/galleries/mycoe-files/modulo1.pdf>

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA EXPERIMENTAL LIBERTADOR, INSTITUTO PEDAGOGICO DE CARACAS. Metodología empleada para la zonificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa en cuencas de drenaje del estado de Vargas Venezuela. En: Revista de investigación. Caracas. No 64; 2008; p. 164.

VELÁSQUEZ CADENA, Julio. Estimación del grado de riesgo generado por la amenaza relacionada con fenómenos de remoción en masa (frm) de tipo hidrogravitatorio en los barrios de Juanoy alto, San Antonio, Nuevo amanecer y conjunto cerrado Morasurco, municipio de Pasto ,departamento de Nariño. Trabajo de grado para optar al título de geógrafo. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias humanas, Departamento de Geografía, 2013. 156 p.