

**CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA, CARTOGRAFÍA Y GEOLÓGICA DE LOS
BARRIOS CRISTO REY PARTE ALTA Y PARTE BAJA DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA,
NORTE DE SANTANDER, APLICADA A ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR
MOVIMIENTOS EN MASA A ESCALA 1:2.000**

YAMID FABIAN VILLAMIZAR ALBARRACIN



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA Y GEOLOGÍA
PROGRAMA DE GEOLOGÍA

**CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA, CARTOGRAFÍA Y GEOLÓGICA DE LOS
BARRIOS CRISTO REY PARTE ALTA Y PARTE BAJA DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA,
NORTE DE SANTANDER, APLICADA A ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR
MOVIMIENTOS EN MASA A ESCALA 1:2.000**

YAMID FABIAN VILLAMIZAR ALBARRACIN

Trabajo de grado modalidad Practica Empresarial para optar al título de Geólogo.

DIRECTOR ACADÉMICO

ILICH SEBASTIAN VILLAMIZAR SOLANO

DIRECTOR EMPRESARIAL

MARIO ALBERTO SAUCEDO COLEY

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA Y GEOLOGÍA

PROGRAMA DE GEOLOGÍA

Cúcuta, Norte de Santander

Enero de 2022

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por permitirme la constancia y no rendirme en el camino.

A mi madre Eumenia y mi hermana Yesmin, por el apoyo brindado a lo largo de este sueño e impulsarme siempre.

A los profesores de Geología que aportaron sus conocimientos y fueron forjando mi proceso de formación como profesional. De la misma manera a mis tutores académico y empresarial por su colaboración.

A la Secretaria de Planeación con dependencia de Gestión del Riesgo y Desastres del Municipio de Pamplona, por permitirme realizar mis prácticas empresariales.

Finalmente, a mis amigos y compañeros de la universidad que me aconsejaban y compartían buenos momentos.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	8
Abstrac	9
1 Introducción	10
2 Objetivos.....	11
2.1 Objetivo General	11
2.2 Objetivos Específicos	11
3 Generalidades	12
3.1 Localización	12
4 Marco teórico	13
4.1 Geomorfología.....	13
4.1.1 Jerarquización Geomorfológica	13
4.2 Morfología	14
4.3 Morfometría.....	15
4.4 Movimientos en masa.....	15
4.4.1 Tipos de movimientos en masa	16
4.5 Unidades Geológicas Superficiales (UGS)	17
5 Geología Regional	18
5.1 Geología Estructural.....	18
5.1.1 Falla de Pamplona	18
5.1.2 Falla de Chitagá	18
5.2 Estratigrafía Local	19
5.2.1 Formación Aguardiente	19
5.2.2 Formación Tibú-Mercedes.....	19
6 Metodología	21
6.1 Recopilación Bibliográfica.....	21
6.2 Selección área de trabajo y escala de trabajo	21
6.3 Etapas del Pre-Análisis	21
6.4 Fase de campo.....	22

6.5	Fase de ajuste.....	25
6.6	Conclusiones y Resultados	25
6.7	Informe Final	25
7	Resultados.....	26
7.1	Unidades Geológicas Superficiales	26
7.1.1	<i>Unidades Geológicas superficiales de roca.....</i>	<i>27</i>
7.1.2	<i>Unidades Geológicas superficiales de suelo</i>	<i>30</i>
7.2	Inventario movimientos en masa	32
7.2.1	<i>Deslizamiento por volcamiento (Dv)</i>	<i>33</i>
7.2.2	<i>Deslizamiento traslacional (Dt)</i>	<i>34</i>
7.3	Componentes Geomorfológicos	35
7.3.1	<i>Ambiente estructural</i>	<i>36</i>
7.3.2	<i>Ambiente denudacional.....</i>	<i>43</i>
7.4	Zonificación de susceptibilidad	43
7.4.1	<i>Susceptibilidad Baja</i>	<i>44</i>
7.4.2	<i>Susceptibilidad Media.....</i>	<i>44</i>
7.4.3	<i>Susceptibilidad Alta.....</i>	<i>45</i>
7.4.4	<i>Susceptibilidad Muy Alta</i>	<i>45</i>
8	Conclusiones	46
9	Recomendaciones	47
10	Referencias Bibliográficas.....	48
11	Apéndices.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Localización general del área de estudio (polígono rojo), sugerido por la oficina de Planeación Alcaldía de Pamplona.....	12
<i>Figura 2</i> Esquema de jerarquización geomorfológica (SGC,2012).....	14
<i>Figura 3</i> Tipos de movimiento en masa.	16
<i>Figura 4</i> Esquema metodológico. Fuente: Autor, 2022	21
<i>Figura 5</i> Unidades geológicas superficiales.	27
<i>Figura 6</i> Movimientos en masa.	33
<i>Figura 7</i> Componentes geomorfológicos.....	36
<i>Figura 8</i> Panorámica de la ladera convexa escarpada Cristo Rey parte alta.....	37
<i>Figura 9</i> Panorámica Ladera cóncava escarpada.	38
<i>Figura 10</i> Ladera convexa abrupta en los barrios Simón Bolívar y Cristo Rey parte Alta.	38
<i>Figura 11</i> Ladera convexa muy abrupta en vista aérea.....	39
<i>Figura 12</i> Ladera convexa muy inclinada presente en el límite norte del área de estudio.	40
<i>Figura 13</i> Ladera cóncava muy inclinada en límite de la zona sur del área de estudio.	40
<i>Figura 14</i> Ladera recta escarpada de rocas intermedias de la Fm Aguardiente.....	41
<i>Figura 15</i> Panorámica de una ladera cóncava abrupta.	42
<i>Figura 16</i> Panorámica ladera cóncava inclinada.	42
<i>Figura 17</i> Zonificación de susceptibilidad.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1</i> Tipo de movimiento en masa	16
<i>Tabla 2</i> Parámetros en estaciones de macizo rocoso	23
<i>Tabla 3</i> Parámetros en estaciones de suelos residuales.....	24

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<i>Fotografía 1</i> Afloramiento de la estación 8 compuesto por cuarzoarenisca de la unidad R1aa	28
<i>Fotografía 2</i> Afloramiento compuesto de arenisca de tipo sublitoarenita de la estación 12.	29
<i>Fotografía 3</i> Afloramiento compuesto por cuarzoarenita del techo de la unidad, perteneciente a la estación 15 de la unidad R1baa1.....	29

<i>Fotografía 4</i> Afloramiento compuesto por arenisca subarcosa de la estación 11.	30
<i>Fotografía 5</i> Afloramiento de suelo residual arcillo-arenoso de la estación 13.	31
<i>Fotografía 6</i> Afloramiento de suelo residual arcillo-arenoso de la estación 7.	32
<i>Fotografía 7</i> Movimiento en masa compuesto, deslizamiento traslacional de arcillolitas y arenisca con caída de rocas con una orientación N82°W.....	34
<i>Fotografía 8</i> Deslizamiento traslacional sector Cristo Rey parte baja.....	35
<i>Fotografía 9</i> Efecto denudacional puntual de una ladera cóncava inclinada por erosión.....	43

Resumen

Este proyecto de investigación de modalidad práctica empresarial tiene como fin contribuir un aporte investigativo e identificar las variables geológicas de algunos procesos naturales que afectan la ciudad; la secretaria municipal para la gestión del riesgo y desastres del municipio de Pamplona está encargada de evaluar los riesgos urbanos y rurales que afecten la integridad de la población, a modo estas prácticas se realizaron estudios de caracterización cartográfica y geomorfológica, para identificar los procesos de movimientos en masa siguiendo los lineamientos del servicio geológico colombiano, aplicando estas metodologías como la zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa a escala detallada, cartografiar unidades geológicas superficiales (UGS), caracterizar componentes geomorfológicos y un inventario de movimientos en masa para el barrio Cristo Rey parte alta y baja pertenecientes al área urbana del municipio de Pamplona.

Con la finalidad de caracterizar el área asignada, se identificaron 5 unidades geológicas superficiales, tres de roca como: Roca intermedia arenisca de la Formación Aguardiente (Riaa), Roca blanda arenisca de la Formación Aguardiente (Rbaa1), Roca blanda arenisca de la Formación Aguardiente (Rbaa2) y las dos restantes de suelo residual; Suelo residual arcillo-arenoso, plástico de la Formación Aguardiente (Srapa1) y Suelo residual arcillo-arenoso, plástico de la Formación Aguardiente (Srapa2). Geomorfológicamente se establecieron 10 componentes de ambiente estructural-denudacional que corresponde a laderas cóncavas y convexas con pendientes inclinadas a muy inclinadas, escarpadas a muy escarpadas. En cuanto a las variables morfodinámicas, se establecieron 2 movimientos en masa traslacional y por volcamiento.

Palabras clave: Geomorfología, Geología, Cartografía, Unidades Geológicas Superficiales.

Abstrac

This business practice research project aims to contribute an investigative contribution and identify the geological variables of some natural processes that affect the city; The municipal secretary for risk and disaster management of the municipality of Pamplona is in charge of evaluating urban and rural risks that affect the integrity of the population, in order to carry out these practices, cartographic and geomorphological characterization studies were carried out to identify movement processes. in mass following the guidelines of the Colombian geological service, applying these methodologies such as the zoning of susceptibility by mass movements at a detailed scale, mapping surface geological units (UGS), characterizing geomorphological components and an inventory of mass movements for the Cristo Rey neighborhood upper and lower part belonging to the urban area of the municipality of Pamplona.

In order to characterize the assigned area, 5 surface geology units were identified, three of which were rock: Intermediate sandstone rock from the Aguardiente Formation (Riaa), Soft sandstone rock from the Aguardiente Formation (Rbaa1), Soft sandstone rock from the Aguardiente Formation (Rbaa2) and the remaining two from residual soil; Plastic sandy-clay residual soil from the Aguardiente Formation (Srapa1) and plastic sandy-clay residual soil from the Aguardiente Formation (Srapa2). Geomorphologically, 10 components were established with of structural-denudational environment that corresponds to concave and convex slopes with steep to very steep, steep to very steep slopes. The morphodynamic variables were established 2 movements in translational and overturning.

Keywords: Geomorphology, Geology, Cartography, Geological Superficials Units.

1 Introducción

Colombia es un país con complejidad geológica debido a la interacción de las placas tectónicas ubicadas al NE del continente suramericano sus grandes extensiones de cadenas montañosas. El territorio de Norte de Santander se ha visto impactado a lo largo de su historia por procesos de desestabilización de laderas que han afectado tanto a su población como a su infraestructura. El municipio de Pamplona carece de estudios de vulnerabilidad física en las áreas zonificadas como amenaza alta y media (PBOT, 2015). El Mapa Nacional de Amenaza por Movimientos en Masa a escala 1:100.000 del año 2017, se presenta para el municipio de Pamplona una susceptibilidad media-alta 32% a 64%. En el barrio Cristo Rey parte alta y baja, se encuentra en amenaza por movimientos en masa. Estos procesos presentan variables litológicas, estructurales y geomorfológicas; teniendo en cuenta que es una zona de alto crecimiento urbano, es probable que esta situación afecta la estabilidad del terreno en el área.

La secretaria de Planeación Municipal junto a la dependencia de Gestión de Riesgo y Desastres del municipio de Pamplona prioriza las condiciones establecidas en el área, de allí surge la necesidad en realizar estudios detallados. Como los movimientos en masa presentan una amenaza geológica, estos estudios contribuirán a mitigar el riesgo y la vulnerabilidad. Desde aquí, se realiza una cartografía geomorfológica y de UGS para definir estas variables y así realizar la zonificación de la susceptibilidad por movimiento en masa a escala detallada empleando distintas metodologías para su modelamiento.

Este trabajo presenta la información obtenida en la fase de oficina y de campo, con la finalidad de identificar las variables geológicas superficial, geomorfológica e inventario de movimientos en masa. Los productos corresponden a los mapas de las Unidades Geológicas Superficiales, de Elementos Geomorfológicos y de Inventario de Movimientos en Masa a escala 1:2.000.

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

Definir y caracterizar las Unidades Geológicas Superficiales y geomorfología del barrio Cristo Rey parte alta y parte baja del municipio de Pamplona del departamento Norte de Santander; aplicada a la zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa a escala 1:2.000.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar mapa geomorfológico a escala 1: 2000 del área de estudio aplicando las características morfológicas, morfodinámicas y morfométricas, imágenes satelitales y modelos de elevación digital.
- Definir las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) a la escala 1:2.000 en el área de estudio siguiendo la normatividad del Servicio Geológico Colombiano.
- Recopilar de manera exacta los lugares donde ocurren movimientos en masa a escala 1:2.000 del área de estudio, siguiendo los parámetros del SGC.
- Conocer las áreas susceptibles y elaborar un mapa de zonificación de susceptibilidad de estos fenómenos.

3 Generalidades

En este apartado se enunciarán las características generales del área de estudio, las cuales servirán como contextualización al trabajo de investigación.

3.1 Localización

El área de estudio se encuentra al noreste del casco urbano del municipio de Pamplona, ubicado en el kilómetro uno de la vía nacional que conduce Pamplona-Bucaramanga, en el flanco derecho de la vía, sector la curva se encuentra el aparte y de allí se recorren 2.5 Km de vía para encontrar el área de estudio, que limita con los barrios Cristo Rey parte alta y Baja, Simón Bolívar y Brisas del Pamplonita. Geológicamente adyace en la plancha 110 del servicio geológico colombiano a escala 1:100.000, donde afloran rocas de la formación Aguardiente y Tibú-Mercedes de edades cretácicas. La zona comprende un perímetro de 2,72 Km y un área de 0,43 Km².

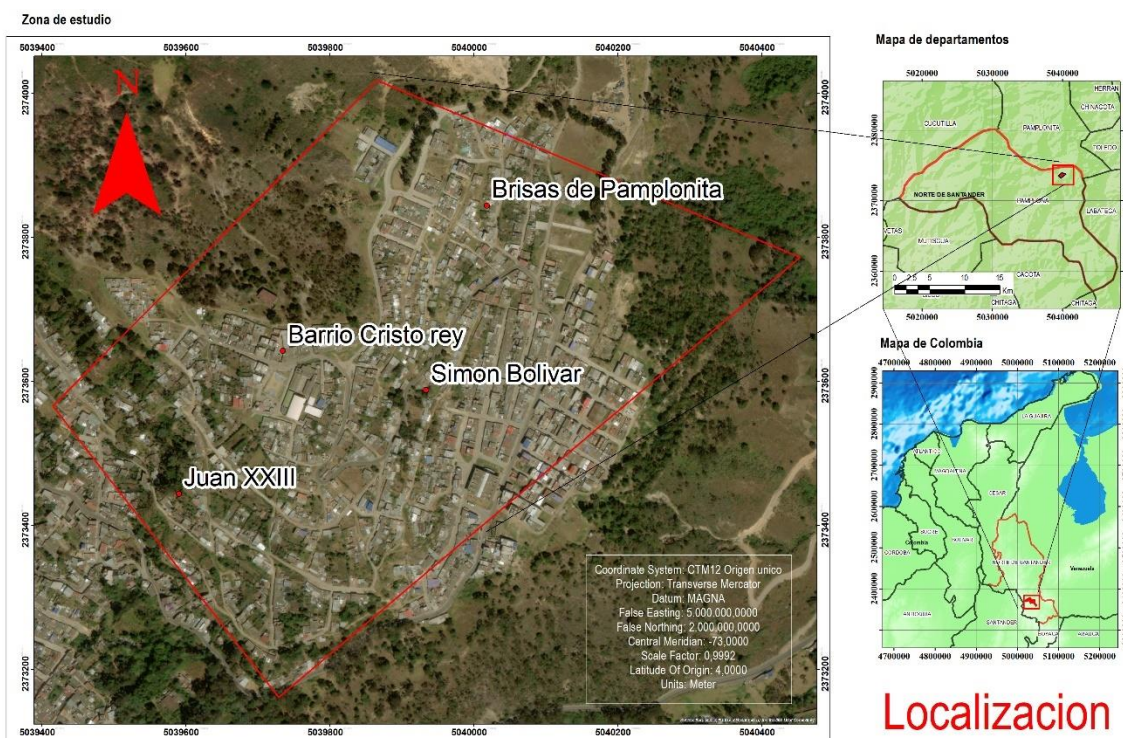


Figura 1 Localización general del área de estudio (polígono rojo), sugerido por la oficina de Planeación Alcaldía de Pamplona. Fuente: Autor 2022

4 Marco teórico

4.1 Geomorfología

La geomorfología está enfocada en el análisis de la superficie terrestre, donde interactúan la hidrósfera, atmósfera, litosfera y biósfera. Asimismo, las geoformas por definición son una expresión superficial del terreno, resultado de la interacción de forma independiente de los materiales que las comprende y su disposición estructural, de los procesos geomórficos y su duración según el ambiente morfogenético donde se desarrolla (Carvajal, 2012).

Los procesos geomorfológicos son dinámicos y corresponden a los procesos que ha sufrido la tierra, desde los endógenos que son los formados en su interior, como los generados por la dinámica externa, que son los procesos generados tanto por la biosfera, atmosfera e hidrosfera (Carvajal, 2012).

Los procesos exógenos son los encargados de construir y modelar tanto como a reducir los relieves primarios, por la acción independiente o en conjunto de los procesos de meteorización química o física de las rocas, la erosión y el transporte de los materiales resultantes y de los fenómenos de remoción en masa. Estos procesos que destruyen y modelan las geoformas iniciales son, a la vez, constructores de nuevas formas del terreno, debido a la sedimentación o transporte de los materiales denudados. Esto conlleva a un equilibrio denudación – acumulación, cuya duración depende del tipo de roca o sedimento, la acción y el tiempo de duración de los agentes meteóricos propios de las condiciones climáticas prevalecientes (Carvajal, 2012).

4.1.1 Jerarquización Geomorfológica

La propuesta metodológica de Carvajal, (2012) le da una jerarquía a las unidades geomorfológicas que se puedan presentar en una región específica, dependiendo la escala de trabajo; y sistemáticamente debe permitir el análisis de la evolución geomorfológica y geológica de ésta. La clasificación de Carvajal, (2012) se justifica en ciertos niveles y ordenes de magnitud temporo-espaciales (Zinck, 2012); donde la base regional está fundamentada en la génesis geológica de las geoformas y los ambientes morfogenéticos, y el detalle basado en los ambientes

morfogenéticos, expresión morfológica, litología y procesos morfodinámicos (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2012).



Figura 2 Esquema de jerarquización geomorfológica (SGC,2012).

Para este trabajo y siguiendo los parámetros de Carvajal, (2012) se cartografiaron componentes geomorfológicos como unidades básicas a la escala 1:2.000. Los componentes o elementos geomorfológicos corresponden al máximo nivel de detalle, estableciendo los rasgos del relieve como (relieves internos de laderas, escarpes naturales o antrópicos) determinado por la morfometría detallada del terreno en una subunidad geomorfológica. La nomenclatura propuesta está definida por caracteres combinados de letras y números, especificados por el origen de la geoforma, nombre de las unidades y subunidades y, al final, número que determinan la posición del elemento en la subunidad. Cartográficamente, se propone hacer la diferenciación de elementos geomorfológicos acorde con las características de los tipos de material (rocas o sedimentos), utilizando los achurados estándar de geología (Carvajal, 2012).

4.2 Morfología

Se relaciona con los aspectos de la geometría del relieve e incluye los gradientes topográficos y las formas del mismo descritos mediante adjetivos descriptivos y representativos (SGC,2012), la morfología de la superficie terrestre se debe a los procesos que suceden en el interior de la corteza (endógenos) y los que suceden sobre la corteza terrestre (exógenos) mayores, tales

como plegamiento, vulcanismo, denudación, sedimentación fluvial torrencial, sedimentación-erosión simultánea y sedimentación fluvial tranquila por desbordamiento lateral o sedimentación fluvial por diseminación, entre otros (Villota, 2005). El análisis morfológico del relieve incluye la comparación según la relación geométrica entre las diferentes posiciones espaciales de una forma determinada del terreno.

4.3 Morfometría

Se basa en los aspectos cuantitativos en términos de medida de longitud, área, forma y pendiente; También se incluye la comparación según la relación geométrica entre las diferentes posiciones espaciales. Los parámetros más frecuentemente medidos incluyen: altitud (altura sobre el nivel del mar), pendiente, dirección, curvatura y rugosidad del relieve, entre otros, La distribución espacial de estos parámetros permite inferir la variabilidad de procesos hidrológicos, geomorfológicos y biológicos en el paisaje (SGC, 2012). Los componentes del terreno para su descripción son los siguientes: pendiente del terreno, forma de ladera, longitud de ladera, contraste del relieve o relieve relativo. Rangos clasificatorios son referenciados en (Carvajal, 2012).

4.4 Movimientos en masa

Un movimiento en masa es un proceso denudacional en el que el material constituido por roca, suelo o detritos se desplaza a lo largo de una ladera por acción de la gravedad, bajo la influencia de fuerzas desestabilizadoras o factores detonantes como el agua, los eventos sísmicos y actividades antrópicas, y factores condicionantes del terreno como la pendiente, la geología, la geomorfología, los suelos, la cobertura de la tierra, entre otros. (Montero, 2017).

Los movimientos en masa pueden ser explicados según sus características geomorfológicas (morfografía, morfología, morfogénesis, morfocronología y morfometría), considerando elementos propios de la masa desplazada, así como también del terreno circundante al desplazamiento. Los términos más utilizados para nombrar estos tipos de fenómenos son: movimiento en masa, movimiento de terreno, deslizamientos de terreno, deslizamiento de vertiente, movimiento de

ladera, remoción en masa, entre otros términos conocidos popularmente. (Cuervo, 2000).

4.4.1 Tipos de movimientos en masa

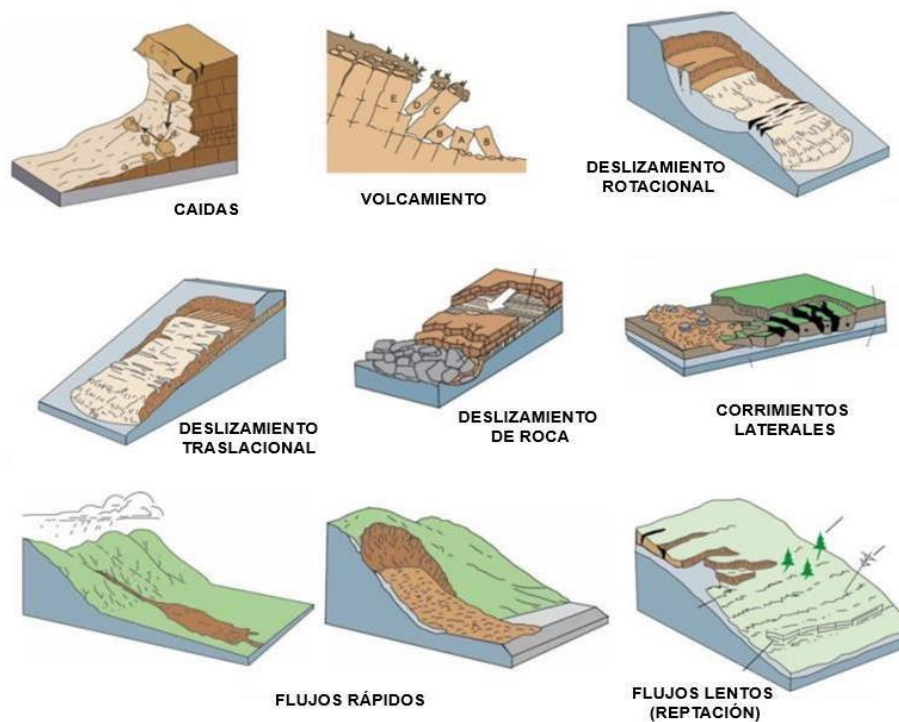


Figura 3 Tipos de movimiento en masa. Fuente: Adaptado de SKEMPTON, A. W., & HUTCHINSON, J. N. Stability of natural slopes and embankment foundations. Proceedings of the Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1969.

Tabla 1 Tipo de movimiento en masa

Tipos de movimientos en masa	
Tipo	Subtipo
Caídas	Caída de rocas (detritos o suelos)
Volcamiento	Volcamiento de roca (bloque)
	Volcamiento Flexural de roca o del macizo rocoso
Deslizamiento roca o suelo	Deslizamiento traslacional
	Deslizamiento rotacional
Propagación Lateral	Deslizamiento en cuña
	Propagación lateral lenta
	Propagación lateral por licuación (rápida)

Tipos de movimientos en masa

Tipo	Subtipo
Flujo	Flujo de detritos
	Flujo de lodo
	Flujo de tierra
Reptación	Avalancha de rocas
	Reptación de suelos
	Solifluxión, gelifluxión
Deformaciones gravitacionales profundas	

Fuente: Autor, 2022

4.5 Unidades Geológicas Superficiales (UGS)

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

Las UGS incluyen los diferentes tipos de rocas clasificadas según su origen y composición mineralógica, grado de meteorización o alteración, dureza o resistencia e índice de resistencia geológica (GSI), así como, los suelos diferenciados de acuerdo con su origen, composición mineralógica, clasificación genética, características y propiedades del suelo, estructura o empaquetamiento, selección, gradación, color, tamaño, forma y composición de las partículas, grado de meteorización, consistencia, resistencia, condición de humedad, densidad relativa, compacidad, propiedades de la masa del suelo, estructuras relictas o discontinuidades en la masa de suelo y propiedades ingenieriles (SGC, 2017).

5 Geología Regional

La zona de estudio se encuentra localizada a un flanco del sinclinal de Pamplonita; estructuralmente ubicada en el flanco norte del macizo de Santander sobre la cordillera Oriental, enmarcado en un sistema de fallas como lo es Bucaramanga-Santa Marta y al este por el Sistema de Fallas Pamplona-Cubugón-Mercedes (García *et al.*, 2005).

La expresión topográfica se encuentra controlada por el origen de las rocas suprayacentes (ígneas, sedimentarias y metamórficas), la tectónica encargada de la deformación de estas a través de millones de años y los procesos degradantes a los cuales son sometidas con el paso del tiempo. El área de estudio está constituida principalmente por rocas de origen sedimentario de edad cretácica, producto del transporte, la acumulación de sedimento y su posterior consolidación sobre la cuenca del Maracaibo (Goldsmith *et al.*, 1973).

5.1 Geología Estructural

El área de estudio se encuentra afectada principalmente por las fallas Pamplona y Chitagá pertenecientes al sistema de fallas de Bucaramanga-Santa Marta.

5.1.1 Falla de Pamplona

Esta falla se extiende desde el norte y continúa con dirección sur a sur-suroeste al oeste de Pamplona, para terminar en la Falla Morro Negro. Pone en contacto rocas del Pre-Devónico con rocas del Cretácico. Hacia el noroeste de Pamplona la falla presenta un desplazamiento vertical aproximado de 2000-2500 m. Presenta una tasa de movimiento aproximada de 0.2-1.0 mm/yr. (Ward *et al.*, 1973).

5.1.2 Falla de Chitagá

Es la falla más grande y larga del flanco, de dirección sureste en la parte noreste, desviando al suroeste hacia el río Chitagá, siguiendo el amplio arco de este río. Pone en contacto rocas Pre-Cámbricas con rocas Jurásicas, Triásicas y Cretácicas. Presenta un desplazamiento vertical

mínimo de aproximadamente 2300 m, y una tasa de movimiento aproximada de 0.2-1.0 mm/yr. (Ward et al., 1973).

5.2 Estratigrafía Local

El área de estudio en el municipio de Pamplona aflora rocas de edad cretácico superior de tipo sedimentarias pertenecientes a las formaciones Aguardiente y Tibú-Mercedes, a continuación, se describirá de manera resumida cada una de las unidades.

5.2.1 Formación Aguardiente

Litológicamente consiste en arenisca blanca amarillenta a gris amarillenta, clara, dura, de grano fino a medio, feldespática, micácea, conglomerática y con estratificación cruzada. Se observa shale carbonáceo, micáceo y negro, fisil, en capas delgadas de espesores aproximados de 70 cm. (Ward et al., 1973). Se considera que esta formación está constituida principalmente por arenisca en la región de estudio. En base a esto se ha calificado en cuanto a textura como clástica matriz soportada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría intermedia. caracterizada por representar el 4,51% de las unidades presentes. Con suelos residuales, producto de la degradación y meteorización de la litología, con profundidades entre >25 a 150 cm, asociados a climas fríos a extremadamente fríos, secos y húmedos. La densidad de fractura miento se encuentra entre bajo a muy alta, con predominancia de la primera; son producto de la actividad de fallas locales y regionales como la de Chitagá y Morro Negro (Goldsmith et al., 1973).

5.2.2 Formación Tibú-Mercedes

Esta formación litológicamente la componen areniscas guijosas de grano grueso, areniscas de grano fino. Mercedes consiste de intercalaciones de caliza, shale y arenisca. El shale es gris oscuro a negro, micáceo y carbonáceos. Las areniscas son grises de grano fino a medio, comúnmente glauconíticas y algunas muy calcáreas. La caliza y shale predominan en el tope. (Ward et al., 1973). Se considera que esta formación está constituida principalmente por areniscas y shale en la región de estudio; Esta unidad se encuentra ubicado oriente de la plancha, de sur a norte, caracterizada por representar el 3,97% de las unidades presentes, con suelos residuales,

producto de la degradación y meteorización de la litología, con profundidades entre >25 a 150 cm, asociados a climas templados a fríos, secos y húmedos. La densidad de fracturamiento se encuentra entre bajo a intermedio, son producto de la actividad de fallas locales y regionales como la de Mutiscua y Chitagá.

6 Metodología



Figura 4 Esquema metodológico. Fuente: Autor, 2022

6.1 Recopilación Bibliográfica

Esta etapa permite al investigador recolectar información y datos relacionados al estudio, además de trabajos de estudios semejantes en zonas distintas; todo esto con tener un esbozo acerca del desarrollo del trabajo.

6.2 Selección área de trabajo y escala de trabajo

Durante el proceso de selección del área al cual se va a desarrollar la investigación, primeramente, se obtienen observaciones usando los softwares Google Earth y Google Maps para identificar las dimensiones del área la cual fue asignada por parte de la secretaria Municipal de Planeación; conjunto a la dependencia de Gestión de Riesgos y Desastres del municipio de Pamplona. Seguidamente se visita el área de investigación para ratificar la metodología de la propuesta, Dicho polígono sobrepasa los límites catastrales del barrio Cristo Rey parte alta y parte baja, cotejando que estuviera incluido en el mismo.

6.3 Etapas del Pre-Análisis

En esta etapa se logró llevar a cabo con la realización de los mapas preliminares de elementos geomorfológicos (Ver Apéndice D) y de unidades geológicas superficiales (UGS) (Ver Apéndice E). Estos fueron generados a partir de curvas de nivel, insumo suministrado por parte de la Alcaldía de Pamplona para la elaboración del mapa topográfico a escala 1:2.000 (Ver Apéndice F). A partir de estos también se obtuvieron insumos de superficies TIN (Redes Triangulares Irregulares) (Ver Apéndice G), DEM (Modelo de Elevación Digital) (ver Apéndice H), Mapa de

pendientes (ver Apéndice I) y Mapa de sombras (ver Apéndice J).

6.4 Fase de campo

En esta etapa se realiza un reconocimiento del área haciendo un barrido general para efectuar una línea de trabajo, el segundo paso es inventariar y caracterizar los movimientos en masa que se localizan en la zona y a su vez, describir y consolidar las variables propuestas. Al inventariar los movimientos en masa se describen las Unidades Geológicas Superficiales (Apéndice A) encontradas siguiendo el lineamiento de la guía del Servicio Geológico Colombiano del año 2017. Esta guía caracteriza las UGS en parámetros como Genesis, litología (textural y composicional), grado de meteorización, rasgos estructurales y propiedades ingenieriles. Para este trabajo se omitirán las propiedades ingenieriles debido a las limitaciones en ensayos de laboratorio y pruebas instrumentales en campo, de otra modalidad se realizará una clasificación geomecánica para cada UGS por medio del método GSI siguiendo los parámetros del Servicio Geológico Colombiano, (Ver Apéndice K. Parámetros de campo y Apéndice L. Índice de resistencia).

La caracterización geotécnica se realizó por el método del Índice Geológico de Resistencia (GSI), su clasificación es sencilla y está basado en la impresión visual de la estructura rocosa, en términos de bloques y de la condición superficial de las discontinuidades indicadas por la rugosidad y alteración de las diaclasas. El GSI propuesto por Hoek (1994) y Hoek *et al.* (1995) proporciona un sistema para estimar la disminución de la resistencia que presenta un macizo rocoso con diferentes condiciones geológicas. Esta clasificación se basa en la observación detallada del macizo rocoso y, por consiguiente, es esencialmente cualitativa (SGC, 2017). La determinación del GSI se hace a partir del Apéndice M., se presenta el factor GSI para clasificar macizos rocosos homogéneos y en el Apéndice N., para macizos rocosos heterogéneos con intercalaciones tipo *Flysch*, en las que se ingresa desde 2 puntos diferentes, uno horizontal: referente al tamaño y entramamiento de bloques, composición y estructura; el ingreso vertical es referente a las condiciones de las discontinuidades, se converge posteriormente en el valor del GSI dispuesto en las líneas diagonales. En el Apéndice O., se presentan los rangos de calificación del macizo rocoso según el GSI (SGC, 2017).

La clasificación para el perfil de meteorización en la masa del suelo describe igualmente a los

macizos rocosos en el Apéndice P., la cual refiere una correlación de los perfiles de meteorización generalizados para un macizo rocoso (SGC, 2017).

Al caracterizar los suelos existen, se tienen en cuenta las particularidades generales que son comunes para cualquier tipo de suelo, entre las que se encuentran: génesis, composición de las partículas, color, condición de humedad y estructuras relictas y/o discontinuidades en la masa de suelo; también caracteriza los suelos finos tal sea la consistencia y la plasticidad, en suelos gruesos (redondez y esfericidad) y tamaño, gradación, selección, estructura y empaquetamiento, compacidad y densidad relativa (SGC, 2017). En el Apéndice Q. se describe como se realiza la estructuración en la descripción de los suelos.

El resultado que se obtiene siguiendo los anteriores parámetros es una descripción sistemática de las unidades que se presentan en el mapa, conjugando los lineamientos ya mencionados; nos permite definir las unidades de suelo siguiendo un patrón de descripción como es la génesis, propiedades geomecánicas y litología que son complementadas con otra información como lo es el grado de meteorización, espesores de suelos y rasgos estructurales. De manera de ejemplo, si se tiene un suelo residual arcilloso de la formación pájaro; la unidad será identificada como (Srafp). En el caso que la unidad sea de rocas se realiza una descripción de este orden clasificación geomecánica, génesis, litología y propiedades ingenieriles complementadas con información sobre el grado de meteorización y rasgos estructurales. Cuando una unidad corresponde a un macizo rocoso de arenisca de buena calidad será identificado como roca dura de arenisca de la formación colorada (Rdafc) o macizo rocoso de arenisca tipo II de la formación colorada; siguiendo los parámetros (SGC, 2017).

Los parámetros en la ejecución de la etapa de campo siguen una estructura donde se maneja un orden establecido para cada estación geológica vista en el área de investigación. Generando un mapa con las estaciones realizadas en la zona de estudio, (Apéndice R. y Apéndice S.) y finaliza con el diligenciamiento de formatos para el registro de los movimientos en masa (ver Apéndice V).

Tabla 2 Parámetros en estaciones de macizo rocoso

Parámetros en estaciones de macizo rocoso	
Estaciones	Parámetros
Macizo	1. Ubicación geográfica

Parámetros en estaciones de macizo rocoso

Estaciones	Parámetros
Rocoso	2. Medidas del afloramiento 3. Datos estructurales (estratificación y diaclasas) 4. Descripción litológica (tipo de roca, color, granulometría, mineralogía, estructuras sedimentarias) 5. Estado de meteorización y alteración 6. Grado de meteorización 7. Resistencia a compresión simple 8. Grado GSI 9. Llenado del formato de UGS (Apéndice T) 10. Fotografía

Fuente: Autor, 2022

Tabla 3 Parámetros en estaciones de suelos residuales

Parámetros en estaciones de suelos residuales

Estaciones	Parámetros
	1. Ubicación geográfica
Suelos residuales grueso y finos	2. Medidas del afloramiento 3. Génesis del suelo 4. Descripción litológica (composición de las partículas, color, granulometría, humedad, estructuras, espesor)
Suelos R. gruesos	5. Gradación, estructura y empaquetamiento, estado de meteorización, compacidad, densidad relativa y selección. 6. Consistencia y plasticidad
Suelos R. finos	7. Llenar formato UGS para suelos (Apéndice U) 8. Fotografía

Fuente: Autor, 2022

6.5 Fase de ajuste

De acuerdo con la información recolectada en la fase de campo se reinterpretan los datos y se comparan con la imagen satelital (ver Apéndice W) y las fotografías tomadas en campo, de allí se hacen los ajustes de interpretación siguiendo los parámetros morfodinámicos pertinentes para clasificar los elementos geomorfológicos determinados, por la propuesta de estandarización de la cartografía y geomorfología en Colombia, junto con la propuesta metodológica para el desarrollo de la cartografía geomorfológica para la zonificación geomecánica (Carvajal, 2012). Los mencionados trabajos no tienen una metodología clara sobre la simbología que debe usarse a un trabajo al detalle como lo es con una escala de 1:2.000, por tal motivo no fueron adaptadas estas metodologías en su totalidad, fue adaptada a las condiciones que el proyecto exigía. Por lo tanto, la nomenclatura de los elementos es definida en primer lugar por el ambiente morfogenético seguido por el elemento geomorfológico su forma y pendiente.

6.6 Conclusiones y Resultados

Luego de tener los productos finales (mapas) se realizó el análisis de la información tomada en campo, donde se determinó las variables caracterizadas a la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa. Como resultados obtenemos un mapa geológico de Unidades Geológicas Superficiales a una escala 1:2.000, un mapa de componentes geomorfológicos a escala 1:2.000 y un mapa de inventario de procesos morfodinámicos con escala 1:2.000; dichos mapas siguen los parámetros del Servicio Geológico Colombiano.

6.7 Informe Final

En esta última fase se integran todas las etapas descritas, recopilando la información y dando respuesta a las incertidumbres de la investigación. Este producto final aplicará como trabajo de grado y como documento de presentación final a la secretaria Municipal para la Gestión de Riesgo de Desastres del municipio de Pamplona.

7 Resultados

En el transcurso de la fase de campo se cartografiaron 15 estaciones que correspondieron a 8 estaciones de roca y 7 de suelo residual. Los suelos exhiben una textura y composición parental de material rocoso, los deslizamientos están asociados a litologías blandas y los componentes geomorfológicos están asociados a ambiente estructural-denudacional.

7.1 Unidades Geológicas Superficiales

Se establecieron tres unidades geológicas superficiales de roca definidas por sus propiedades geomecánicas, litológicas, rasgos estructurales, propiedades ingenieriles y grado de meteorización como lo son Roca intermedia arenisca de la formación aguardiente (Riaa), Roca blanda arenisca de la formación aguardiente (Rbaa1) y Roca blanda arenisca de la formación aguardiente (Rbaa2). También se establecieron dos unidades superficiales de suelo descritas por sus propiedades geomecánicas, génesis, litología, rasgos estructurales y grado de meteorización como lo son, Suelo residual arcillo-arenoso plástico de la formación aguardiente (Srapa1) y la unidad Suelo residual arcilloso, plástico de la formación aguardiente (Srapa2), como se observa en el mapa de UGS final, en la Figura 5 (Ver Apéndice A).

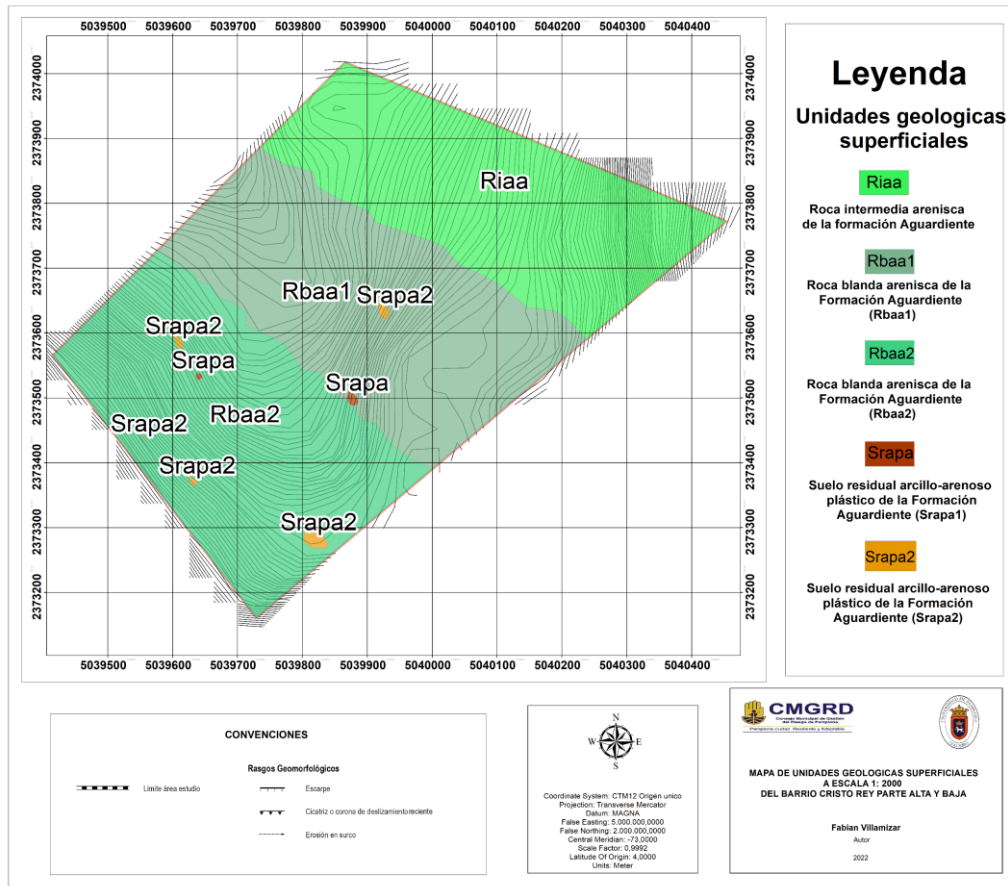


Figura 5 Unidades geológicas superficiales. Fuente: Autor, 2022

7.1.1 Unidades Geológicas superficiales de roca

7.1.1.1 Roca Intermedia Arenisca De La Formación Aguardiente (Riaa).

Unidad de roca compuesta por areniscas y arcillolita, areniscas amarillas de grano fino a medio en algunos sectores, con granos subredondeados a subangulares de alta esfericidad, bien sorteado, de permeabilidad y porosidad media, compuesta por Qz (95%), Fld (3%), Lit (2%) clasificada como cuarzoarenisca según Folk et al., 1974 (Fotografía 1); con una clasificación geomecánica de un GSI 40-45, esta unidad se encuentra decolorada, con un grado de meteorización III, en condiciones húmedas y con un grado R3, las arcillolitas son de color gris, con un grado de meteorización III y resistencia R1. Esta unidad se encuentra orientada con un rumbo N75°W y un buzamiento 45°SW, las capas se encuentran dispuestas de muy finas a medias.



Fotografía 1 Afloramiento de la estación 8 compuesto por cuarzoarenisca de la unida Riaa. Fuente: Autor, 2022

7.1.1.2 Roca Blanda Arenisca De La Formación Aguardiente (Rbaa1).

Unidad de roca competente compuesta por areniscas amarillas de grano fino a grueso, subredondeados, esfericidad alta, bien sorteados, clasificados principalmente en sublitoarenita, (Fotografía 2), según Folk et al., 1974, compuesta por Qz (80%), Fld (25%), Lit (5%), se presentan algunos niveles de cuarzoarenitas en el techo de la unidad (Fotografía 3) de composición Qz (96%), Fld (3%) Lit (1%) la clasificación para esta unidad geomecánicamente es de GSI promedio es de 35-40, esta arenisca presenta un grado de meteorización IV y resistencia R2. Los otros niveles en menor proporción de arcillolitas grises en capas finas meteorizadas de grado de meteorización III y resistencia R1, estructuralmente esta unidad se encuentra orientada al noroeste.



Fotografía 2 Afloramiento compuesto de arenisca de tipo sublitoarenita de la estación 12. Fuente: Autor, 2022

La unidad se encuentra predominantemente en condiciones húmedas y su grado de meteorización es IV, estructuralmente la unidad se encuentra orientada con dirección preferencial NW y un buzamiento 40°SE.



Fotografía 3 Afloramiento compuesto por cuarzoarenita del techo de la unidad, perteneciente a la estación 15 de la unidad Rbaa1. Fuente: Autor, 2022

7.1.1.3 Roca Blanda Arenisca De La Formación Aguardiente (Rbaa2).

Unidad de roca competente compuesta por areniscas de color amarillo a blanco decolorada de granos finos, subredondeados, alta esfericidad, bien sorteado, clasificadas principalmente en

subarcosas y sublitoarenitas (Fotografía 4) según Folk *et al.*, 1974 Qz (82%), Fld (15%), Lit (3%), con una clasificación geomecánica de GSI promedio 25-30, las areniscas presentan un grado de meteorización IV y una resistencia a la compresión simple de R2. Se presentan algunos niveles de arcillolita gris y café pardo decoloradas, fuertemente meteorizadas, de grado de meteorización IV y resistencia R1.



Fotografía 4 Afloramiento compuesto por arenisca subarcosa de la estación 11. Fuente: Autor, 2022

La unidad presenta niveles considerables de suelo residual producto de la alta meteorización del protolito, su grado de meteorización promedio es III a IV, su resistencia R2, se encuentra en condiciones húmedas la mayor parte de sus capas, estructuralmente la unidad se encuentra orientada noreste.

7.1.2 Unidades Geológicas superficiales de suelo

7.1.2.1 Suelo Residual Arcillo-Arenoso Plástico De La Formación Aguardiente (Srpa1).

Unidad de suelo residual matriz-soportado con un porcentaje de matriz de 90 % y un 10 % de clastos, su matriz la componen tamaños de grano fino con 70% y arena fina 30%, los clastos son de color grisáceo decolorado, tabulares, subangulares a subredondeados, se encuentran dispuestos isotrópicamente, poseen un grado de meteorización alta, la composición mineralógica del suelo es Qz (65%), Fld (25%), Lit (5%) debido a su alteración, el suelo se encuentra vari

coloreado de colores amarillo a gris, presenta condiciones húmedas, su resistencia del suelo es de grado medio, moderadamente plástico y su permeabilidad es media (Fotografía 5).



Fotografía 5 Afloramiento de suelo residual arcillo-arenoso de la estación 13. Fuente: Autor, 2022

7.1.2.2 Suelo Residual Arcillo-Arenoso Plástico De La Formación Aguardiente (Srpa2).

Unidad de suelo residual matriz-soportado con un porcentaje de matriz 87% y un 13% de clastos, su matriz está compuesta por granos tamaño arcilla 80% y arena muy fina 20%, los clastos son color gris de forma subangular a subredondeada, se encuentra en disposición isotrópica, altamente meteorizado. Su composición mineralógica del suelo es Qz (52%), Fld (40%), Lit (8%) de color café con decoloraciones grises, se dispone en condiciones húmedas, la resistencia del suelo es de grado blando debido a su plasticidad y permeabilidad es de grado medio (Fotografía 6).



Fotografía 6 Afloramiento de suelo residual arcillo-arenoso de la estación 7. Fuente: Autor, 2022

7.2 Inventario movimientos en masa

Siguiendo los parámetros de clasificación por el sistema de Cruden & Varnes (1996), mencionados en el PMA (2007), se establecieron dos movimientos en masa en el área de estudio. Los movimientos en masa que ocurrieron en dicha área son deslizamientos por volcamiento y traslacional, debido a sus desplazamientos lentos, principalmente por la pendiente de la ladera y humedad del terreno, en litologías blandas como son las arcillolitas y areniscas que se presentan. En la Figura 6 (Apéndice B.) se modela el mapa de inventario de movimientos en masa a escala 1:2.000.

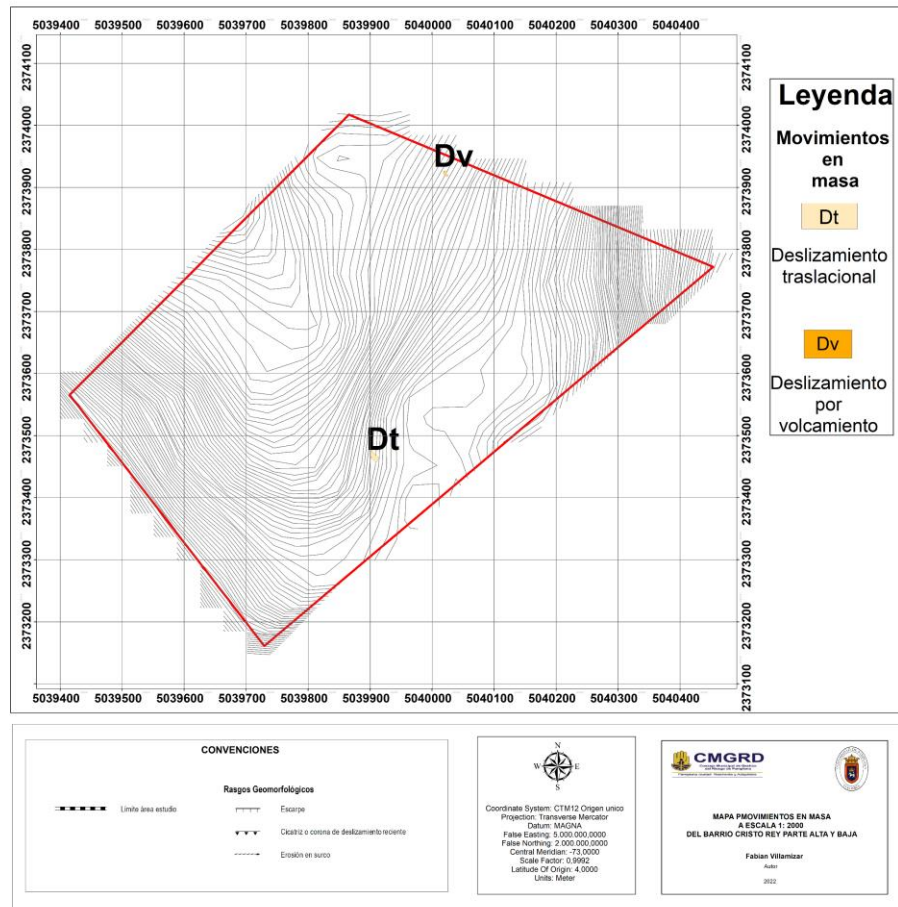


Figura 6 Movimientos en masa. Fuente: Autor, 2022

7.2.1 Deslizamiento por volcamiento (Dv)

Movimiento en masa de tipo deslizamiento por volcamiento, presenta caída de rocas ubicación geográfica N 2373920.944 E 5040023.23 del barrio Brisas del Pamplonita de una edad 8 a 15 años en estado activo, debido a la degradación de su material, su distribución es retrogresiva; la litología es de areniscas y arcillolitas con un grado de meteorización de III a IV, en condiciones húmedas con plasticidad moderada; la erosión se debe a la inclinación de la pendiente y el estado del material, las lluvias son un fuerte detonante para su movimiento y presente la caída de bloques de roca. El suelo no presenta ningún uso y su cobertura corresponde a un 20% de vegetación y el restante sin cobertura alguna (Fotografía 7).



Fotografía 7 Movimiento en masa compuesto, deslizamiento traslacional de arcillolitas y arenisca con caída de rocas con una orientación N82°W. Fuente: Autor, 2022

7.2.2 Deslizamiento traslacional (Dt)

Deslizamiento traslacional con ubicación geográfica N 2373683.745 E 5039959.55 coordenadas de origen único Colombia CMT 12, en el barrio Cristo Rey parte baja, presenta una edad <8 años en estado inactivo con una distribución retrogresiva compuesta por litologías de areniscas y bajo nivel de arcillolitas, se encuentra en condiciones húmedas, posee una plasticidad media y el grado de meteorización es III. Los factores de su desgaste es la erosión pluvial que generan el movimiento; el suelo no tiene ningún uso y está cubierto en un 70% por vegetación y el otro 30% se encuentra descubierto (Fotografía 8).



Fotografía 8 Deslizamiento traslacional sector Cristo Rey parte baja. Fuente: Autor, 2022

7.3 Componentes Geomorfológicos

En el estudio se interpretaron y delimitaron 10 componentes geomorfológicos a partir de las características obtenidas, de ambiente estructural y denudacional esto se llevó a cabo con los insumos y mapas temáticos obtenidos en la realización del proyecto de investigación que permitieron clasificar los componentes teniendo en cuenta el factor de la pendiente y ladera. Los componentes geomorfológicos son los siguientes: Sce (Ladera Convexa Escarpada), Sc2e (Ladera Cóncava Escarpada), Sc2a (Ladera Convexa Abrupta), Sc2ma (Ladera Convexa Muy Abrupta), Sc2mi (Ladera Convexa Muy Inclínada), Scmi (Ladera Cóncava Muy Inclínada), Sre (Ladera Recta Escarpada), Sra (Ladera Cóncava Abrupta), Sci (Ladera Cóncava Inclínada), Dicl2 (Ladera Concava Inclínada). En la Figura 7 y Apéndice C. se observa el mapa Geomorfológico a escala 1:2.000.

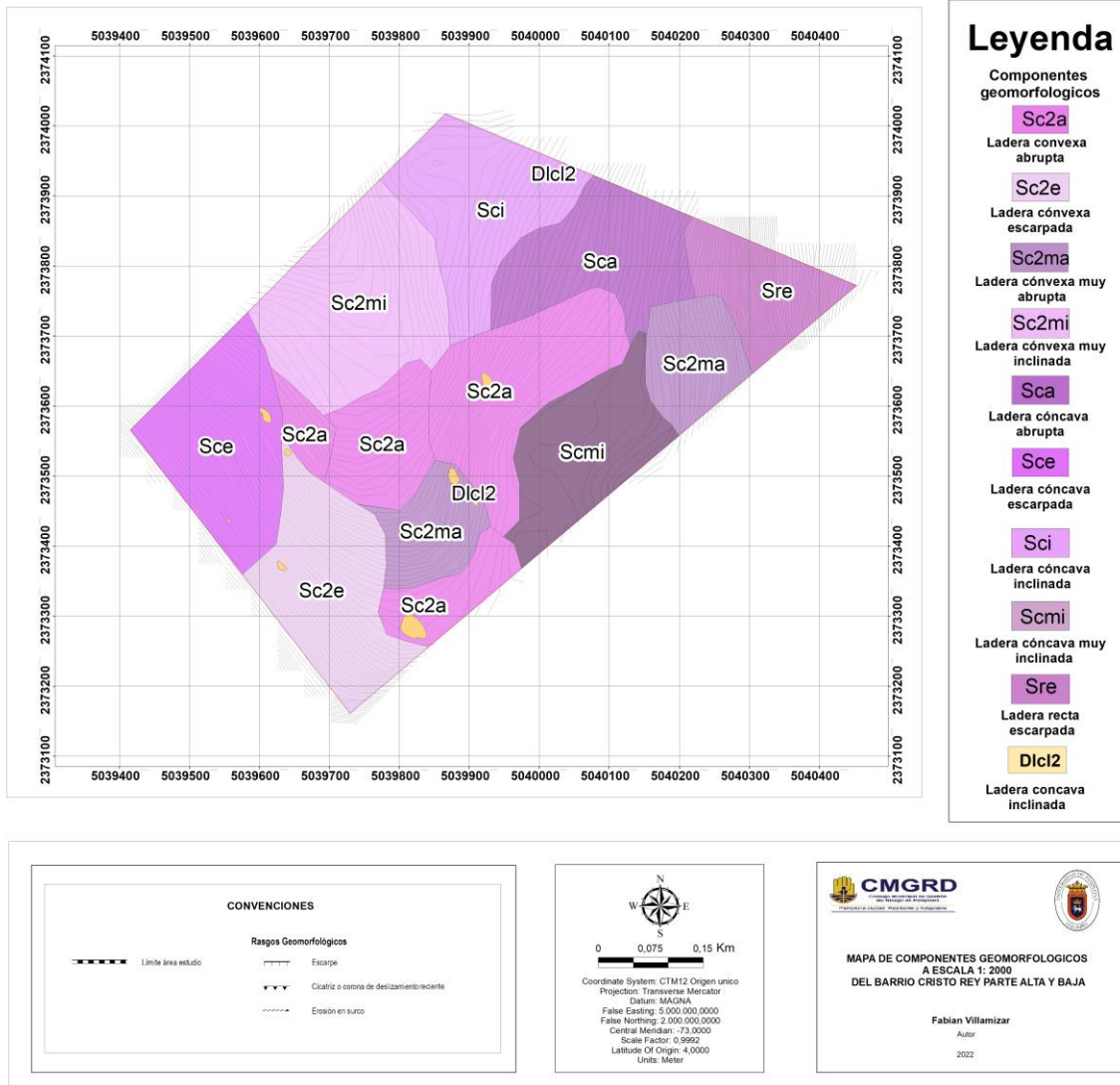


Figura 7 Componentes geomorfológicos. Fuente: Autor, 2022

7.3.1 Ambiente estructural

En este ambiente se presentan las geoformas que se originan por procesos relacionados con la dinámica interna de la tierra, asociándose principalmente a plegamientos y fallamientos de las rocas.

7.3.1.1 Ladera Convexa Escarpada (Sce).

Componente geomorfológico de forma montañosa, de pendientes escarpadas, esta ladera es de forma convexa de longitud corta de 51-250m, el relieve de la geoforma es extremadamente alto valores superiores > 500 , producto de una erosión laminar en las litologías blandas de arenisca y arcillolitas. Esta se encuentra ubicada en la zona noroeste en los barrios Juan XXIII y Cristo Rey parte alta (Figura 8).



Figura 8 Panorámica de la ladera convexa escarpada Cristo Rey parte alta. Fuente: Google Earth, grado de exageración vertical usado 2, adaptada por el autor, 2022

7.3.1.2 Ladera Cóncava Escarpada (Sc2e).

Componente geomorfológico montañoso de pendiente escarpada y forma cóncava, su relieve es extremadamente alto, la longitud de la ladera es corta entre 120-170m, la erosión que se presenta en esta ladera es laminar suave con espaciamiento menos a 2m debido a su litología de areniscas y suelos residuales, esta geoforma se encuentra ubicada en los barrios Simón Bolívar y Cristo Rey parte baja (Ver Figura 9).



Figura 9 Panorámica Ladera cóncava escarpada. Fuente: Google Earth, grado de exageración vertical usado 2, adaptada por el autor, 2022

7.3.1.3 Ladera Convexa Abrupta (Sc2a).

Geoforma de relieve montañosa de pendientes abruptas, la forma de la ladera es convexa abrupta de 16° - 20° de inclinación y posee una longitud corta que va de los 50-160m, se encuentra en un relieve muy alto según sus contrastes, su composición litológica es de rocas sedimentarias blandas (Figura 10).

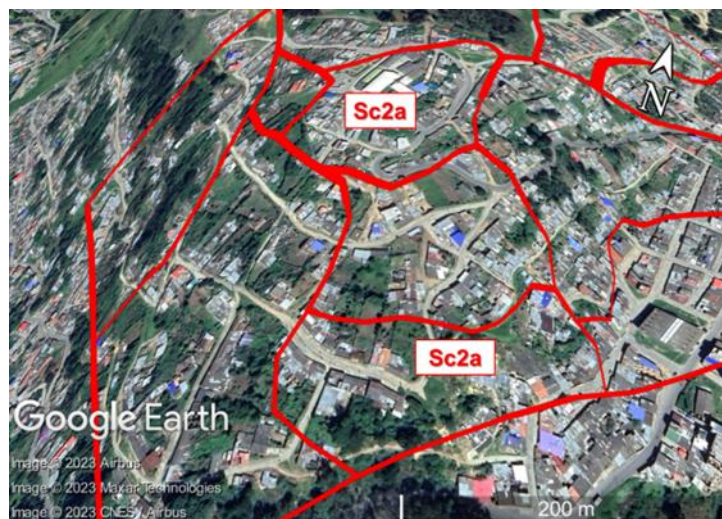


Figura 10 Ladera convexa abrupta en los barrios Simón Bolívar y Cristo Rey parte Alta. Fuente: Google Earth, grado de exageración vertical usado 2, adaptada por el autor, 2022

7.3.1.4 Ladera Convexa Muy Abrupta (Sc2ma).

Componente geomorfológico de relieve montañoso extremadamente alto > 500m caracterizado por ser propenso a la erosión pluvial debido a la litología de arcillolitas y arenisca en estado suelo residual, su grado de inclinación es 21° - 30° que la hace muy abrupta, su longitud es corta de 100-120m, esta geoforma está situada en el barrio Cristo Rey parte alta y baja como se aprecia en la Figura 11.



Figura 11 Ladera convexa muy abrupta en vista aérea. Fuente: Google Earth, grado de exageración vertical usado 2, adaptada por el autor, 2022

7.3.1.5 Ladera Convexa Muy Inclínada (Sc2mi).

Geoforma montañosa de relieve extremadamente alto, muy inclinada con una longitud en su relieve corta de 200-220m en promedio, presenta una erosión laminar muy suave, debido a su litología que la comprenden rocas blandas e intermedias de areniscas, esta ladera está ubicada en el barrio Cristo Rey parte alta y Brisas del Pamplonita al norte del área de estudio (Ver Figura 12).



Figura 12 Ladera convexa muy inclinada presente en el límite norte del área de estudio. Fuente: Google Earth, grado de exageración vertical usado 2, adaptada por el autor, 2022

7.3.1.6 Ladera Cóncava Muy Inclinada (Scmi).

Componente geomorfológico montañoso de relieve extremadamente alto, muy inclinado con valores 11° - 15° , ladera de forma cóncava con una longitud corta de 51-250m, presenta una erosión laminar muy suave, se encuentra compuesta litológicamente por rocas intermedias y blandas, esta ladera está ubicada al noreste del área de estudio en el barrio Brisas del Pamplonita (Ver Figura 13).

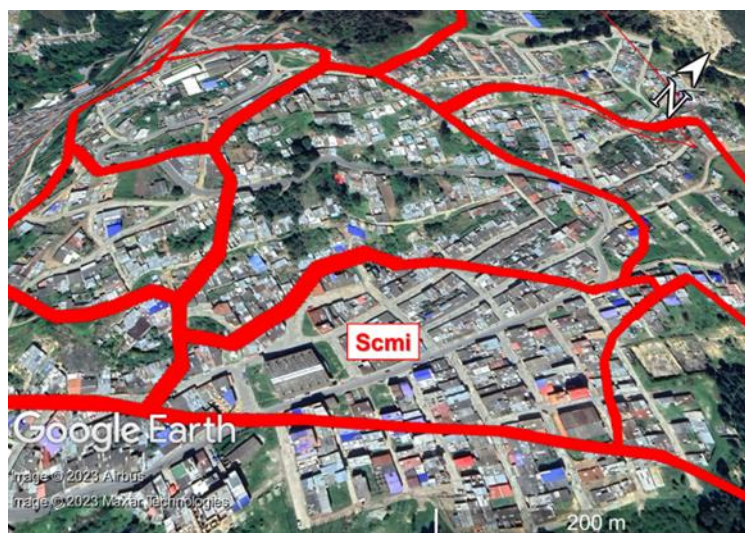


Figura 13 Ladera cóncava muy inclinada en límite de la zona sur del área de estudio. Fuente: Google Earth, grado de exageración vertical usado 2, adaptada por el autor, 2022

7.3.1.7 Ladera Recta Escarpada (Sre).

Componente geomorfológico montañoso caracterizado por la pendiente uniforme lo que la cataloga recta por su ausencia de cambios de pendiente, su relieve es extremadamente alto > 500m, propenso a una erosión alta y su grado de inclinación oscila 31° - 45° que la cataloga escarpada, su longitud es corta varia en 60-90m, litológicamente compuesta por roca sedimentaria intermedia que por su grado de inclinación es favorable a tener una erosión laminar moderada, ubicado en la zona sureste en el barrio Simón Bolívar tal como se ilustra en la Figura 14.



Figura 14 Ladera recta escarpada de rocas intermedias de la Fm Aguardiente. Fuente: Google Earth, grado de exageración vertical usado 2, adaptada por el autor, 2022

7.3.1.8 Ladera Cóncava Abrupta (Sca)

Componente geomorfológico montañoso de pendiente abrupta con valores 16° - 20° dicha ladera tiene una longitud corta de 100 a 130m, su relieve es extremadamente alto, posee una erosión laminar suave, reposa en litología de areniscas y arcillolitas de roca intermedia y se encuentra ubicada en la zona este del área de investigación en los barrios Simón Bolívar, Cristo Rey parte baja y Brisas del Pamplonita (Ver Figura 15).



Figura 15 Panorámica de una ladera cóncava abrupta. Fuente: Google Earth, grado de exageración vertical usado 2, adaptada por el autor, 2022

7.3.1.9 Ladera Cóncava Inclínada (Sci).

Componente geomorfológico montañoso de relieve extremadamente alto, muy inclinada, con una longitud en su relieve corta de 170-190m en promedio, presenta erosión pluvial, su litología esta compuestas por rocas intermedias de arenisca, esta ladera se encuentra ubicada en el barrio Cristo Rey parte alta y Brisas del Pamplonita al norte del área de estudio (Ver Figura 16).



Figura 16 Panorámica ladera cóncava inclinada. Fuente: Google Earth, grado de exageración vertical usado 2, adaptada por el autor, 2022

7.3.2 Ambiente denudacional

Son Geoformas donde su expresión morfológica la define la acción de procesos, intensos a moderados, de meteorización, erosión y transporte, de origen gravitacional y pluvial, que remodelan dejando remanentes en los componentes geomorfológicos.

7.3.2.1 Ladera Cóncava Inclínada (Dlci2).

Componente geomorfológico de relieve muy bajo <50 metros caracterizado, por una inclinación que varía entre los 5-10°, forma cóncava inclinada, depositación de material coluvial, con una longitud <50 metros (muy corta), este componente litológicamente se compone de areniscas y material muy blando debido a los procesos erosivos.



Fotografía 9 Efecto denudacional puntual de una ladera cóncava inclinada por erosión. Fuente: Autor 2022.

7.4 Zonificación de susceptibilidad

La zonificación por susceptibilidad se determinó en rangos bajo, medio, alto y muy alto identificando las ocurrencias del área de interés de acuerdo con el control de estabilidad, condiciones físicas, evaluando las variables geomorfológicas, pendientes, geología y cobertura de suelos como se ilustra en la Figura 17. (ver Apéndice X).

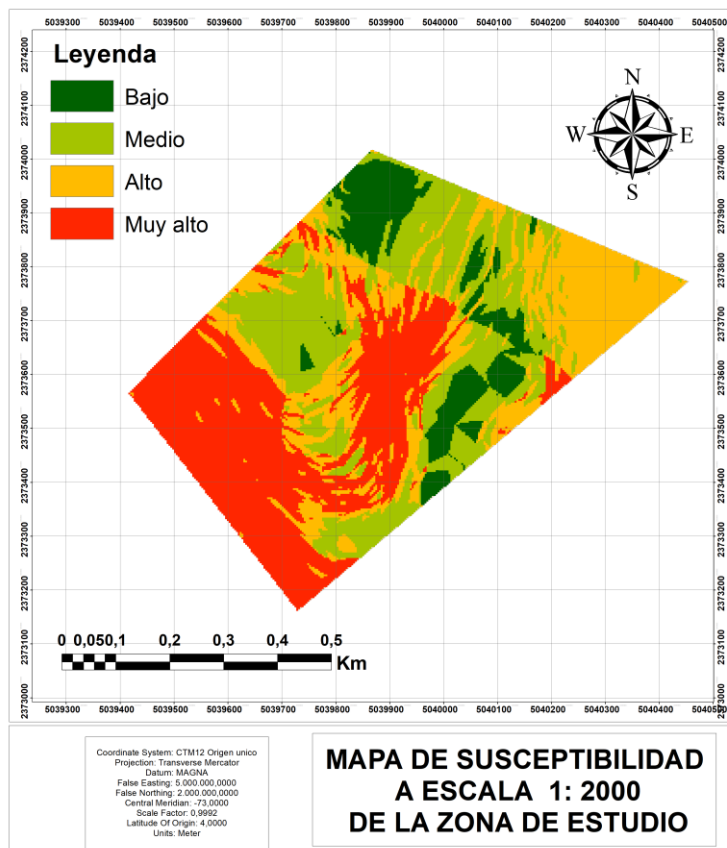


Figura 17 Zonificación de susceptibilidad. Fuente: Autor, 2022

7.4.1 Susceptibilidad Baja

Esta zona presenta susceptibilidad baja localizada en la parte norte y sureste del área de trabajo, asociado geomorfológicamente a laderas cóncavas inclinadas a muy inclinadas de bajas pendientes, cobertura asociada a bosques fragmentados y tejido urbano discontinuos, de acuerdo a su distribución porcentual obtenida, se observa que el 14,7% clasificándolo por sus variables en una susceptibilidad baja.

7.4.2 Susceptibilidad Media

La susceptibilidad de esta zona es media localizado en la parte norte a sur distribuido en algunas áreas de la parte central, asociado geomorfológicamente a laderas convexas muy inclinadas, laderas convexas abrupta y ladera cóncava abrupta de pendientes bajas y longitudes cortas, su cobertura es asociada a tejido urbano discontinuo, bosques fragmentados y pastos enmalezados

su distribución es del 26,5% clasificado por sus variables en susceptibilidad media.

7.4.3 Susceptibilidad Alta

La zona de susceptibilidad alta está localizada en la parte este y central del área de estudio, geomorfológicamente es asociado a componentes como ladera recta escarpada y laderas convexas muy abruptas, de pendientes moderadas y longitudes cortas, su cobertura es asociado a tejido urbano discontinuo, bosque fragmentado y abierto, distribuido porcentualmente 16,2% clasificado por sus variables en susceptibilidad alta.

7.4.4 Susceptibilidad Muy Alta

Esta zona de susceptibilidad muy alta se localiza al suroeste del área de estudio, extendiéndose a la parte central, asociado geomorfológicamente a laderas cóncavas escarpadas, ladera convexa escarpada y ladera convexa abrupta, de relieve extremadamente alto y longitudes cortas, la cobertura que presenta es tejido urbano discontinuo y bosque fragmentado, su distribución porcentual es 42,6% clasificándolo en una susceptibilidad muy alta.

8 Conclusiones

En el presente trabajo de investigación se cartografiaron cinco unidades geológicas superficiales, tres de estas compuestas por macizos rocosos y las dos restantes de suelos residuales, las unidades rocosas, están compuestas litológicamente por areniscas y niveles de arcillolitas. Las areniscas presentan un grado de meteorización general III, las arcillolitas presentan alta meteorización de grado IV. Las unidades de suelos la componen suelos matriz-soportados con variaciones desde tamaños de grano fino a arena muy fina, en condiciones húmedas, plasticidad moderada, resistencia media, estas unidades pertenecen a rocas de la Formación Aguardiente.

La geomorfología del área de estudio es de ambiente morfogenético estructural y denudacional, en estos ambientes se cartografiaron laderas de formas cóncavas y convexas según sus pendientes que determinaban sus rasgos de inclinación hasta escarpadas; estos componentes geomorfológicos fueron generados a partir de las condiciones endógenas por deformación tectónica y procesos erosivos que modelan la superficie.

En cuanto a los movimientos en masa reportados en el área de estudio se determinaron dos tipos de deslizamiento, traslacional y volcamiento de rocas, el deslizamiento traslacional obedece al grado alto de meteorización en las litologías blandas como las arcillolitas y areniscas que con otros factores como la humedad y el grado de su pendiente se generan este tipo de movimientos sobre todo en épocas de alta precipitación. Las caídas de rocas, detritos corresponde a procesos erosivos que se presentan en las rocas y suelos por factores antrópicos y de erosión pluvial.

La susceptibilidad del área de estudio corresponde a sus variables principalmente a su relieve extremadamente alto el cual condiciona su estructura en los suelos, que se modifican por procesos erosivos y el factor antropogénico. El resultado de la zonificación nos indica que se tiene una susceptibilidad muy alta al sector oeste del área y al sector este una ponderación media.

9 Recomendaciones

Se recomienda realizar estudios de mayor amplitud en las localidades con mayor vulnerabilidad con el fin de beneficiar a la comunidad del Municipio de Pamplona.

En base al desarrollo de este trabajo que evidencia los componentes geomorfológicos y de Unidades Geológicas Superficiales, se sugiere apoyar con estudios geotécnicos más detallados para futuros proyectos de estabilización de laderas en zonas proclives a movimientos en masa.

Se aconseja que este estudio sea tomado en cuenta a la hora de la planificación territorial del Municipio de Pamplona.

10 Referencias Bibliográficas

- Alcaldía de Pamplona, (2015). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Pamplona Norte de Santander*.
- Carvajal, H., Cortés, R., Romero, F., Olarte, J., Calderón, Y., (2004). *Propuesta metodológica para el desarrollo de la cartografía geomorfológica para la zonificación mecánica. Volumen I*. Bogotá, INGEOMINAS.
- Carvajal, J., (2012). *Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia*. Bogotá, Servicio Geológico Colombiano.
- Servicio Geológico Colombiano [SGC], 2014. *Memoria explícita del mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa escala 1:100.000. Plancha 110-Pamplona, Departamento Norte de Santander*.
- Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Primera edición. Madrid: Pearson Educación.
- Folk, R., (1974). *Diagram for classification for sedimentary rocks*.
- Olarte, J., (2017). *Clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia*. Servicio Geológico Colombiano.
- Ward, D.E., Goldsmith, R., Jimeno, A., Cruz, J., Restrepo, H. Gómez, E. N 1973. *Geología de la plancha 109 Rio Negro; plancha 110 Pamplona escala 1:100.000*. INGEOMINAS.
- SKEMPTON, A. W., & HUTCHINSON, J. N. *Stability of natural slopes and embankment foundations. Proceedings of the Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. México. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. 1969.
- PMA, (2007). *Movimientos en masa para la región andina: Una guía para las comunidades andinas. Publicación geológica multinacional No. 4*.
- Servicio Geológico colombiano [SGC], (2013). *Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000*. Versión No. 2. Bogotá.
- Servicio Geológico Colombiano. [SGC], (2016). *Guía metodológica para estudios de amenaza*,

vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, escala detallada.

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

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

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

11 Apéndices

Apéndice A. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales.

Apéndice B. Mapa de Inventarios de Movimientos en Masa.

Apéndice C. Mapa de Componentes Geomorfológicos.

Apéndice D. Mapa preliminar de Componentes Geomorfológicos.

Apéndice E. Mapa preliminar de Unidades Geológicas Superficiales.

Apéndice F. Mapa topográfico a escala 1:2000.

Apéndice G. Mapa de superficies TIN.

Apéndice H. Mapa modelo elevación digital DEM.

Apéndice I. Mapa de pendientes.

Apéndice J. Mapa de sombras.

Apéndice K. Parámetros en campo para afloramientos rocosos, propuesta por el SGC.

Apéndice L. Índices de campo a determinar la resistencia a la compresión simple, suelos y rocas.

Apéndice M. Factor GSI para macizos rocosos SGC.

Apéndice N. Esquema general para estimar el valor GSI para macizos heterogéneos como Flysch.

Apéndice O. Rango de clasificación de macizo según el GSI.

Apéndice P. Comparación de perfiles de meteorización de un macizo rocoso SGC.

Apéndice Q. Parámetros para describir UGS de suelo en campo.

Apéndice R. Mapa de estaciones realizadas en campo.

Apéndice S. Tabla de estaciones realizadas en campo.

Apéndice T. Formato de campo para caracterización de macizo rocoso.

Apéndice U. Formato de campo para descripción de suelos.

Apéndice V. Formato para inventario de movimientos en masa.

Apéndice W. Imagen satelital.

Apéndice X. Zonificación de la susceptibilidad a escala 1:2000.