

Pasantía de investigación para el desarrollo del análisis morfodinámico de movimientos en
masa ubicados en los municipios de Rionegro y El Playón, Santander.

Valentina Campos Acevedo y Víctor Julián Rico Arévalo

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al Título de Geólogo.

Director
Juan Diego Colegial Gutiérrez
Geólogo PhD. Ingeniería Geológica

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físicoquímicas
Escuela de Geología
Bucaramanga

Tabla de Contenido

Introducción	12
1 Objetivos	14
1.1 Objetivo general	14
1.2 Objetivos específicos.....	14
2 Justificación	15
3 Generalidades.....	16
3.1 Localización	16
3.2 Características generales	17
4 Antecedentes	18
5 Marco Geológico	19
5.1 Geología	19
5.2 Geomorfología	22
5.3 Geología estructural	28
6 Marco Teórico.....	29
7 Métodos y procedimientos	44
7.1 Revisión bibliográfica	44
7.2 Corrección de la nube de puntos	45
7.3 Fotointerpretación y cartografía preliminar	46
7.4 Trabajo de campo	47
7.5 Análisis morfodinámico de los movimientos en masa.....	47
7.6 Análisis en conjunto de la información recolectada.....	48
7.7 Elaboración del informe final.....	48
8 Resultados	48
8.1 Modelo digital de elevación (DEM).....	48
8.2 Mapa geológico	51
8.3 Mapa geomorfológico	55
8.4 Mapa de Cobertura de suelos	91
8.5 Análisis morfodinámico	106
8.5.1 Movimientos en masa.....	106
8.5.2 Puntos críticos.....	125
8.5.3 Factores detonantes.....	127
9 Análisis final y discusión de resultados	128
9.1 Mapa Geológico	128
9.2 Mapa Geomorfológico	129

9.3 Mapa de cobertura de suelo.....	130
9.4 Análisis morfodinámico	131
10 Conclusiones	133
11 Recomendaciones	134
Referencias Bibliográficas	135
Apéndices.....	138

Lista de tablas

Tabla 1 Capacidad destructiva y velocidad del movimiento de Cruden & Varnes (1996).....	43
Tabla 2 Clasificación de pendientes	56
Tabla 3 Tabla de coberturas de suelo según Corine Land Cover identificadas en la zona de trabajo	92
Tabla 4 Eventos de movimientos en masa registrados en la zona de trabajo	108
Tabla 5 Tabla a modo de resumen de las características geológicas, geomorfológicas y de cobertura de suelo que presenta cada movimiento en masa en la zona de estudio	132

Lista de figuras

Figura 1 Mapa de localización de la zona de trabajo en los municipios de Rionegro y El Playón.	17
Figura 2 Geología de la Plancha 109 de Rionegro escala 1:100000. (INGEOMINAS, 1977).	20
Figura 3 Mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa 1:100000 Plancha 109 Rionegro.	23
Figura 4 Esquema de jerarquización geomorfológica propuesto para INGEOMINAS.	30
Figura 5 Esquema de caída de rocas.	32
Figura 6 Esquema de volcamiento de bloques.	33
Figura 7 Deslizamientos rotacionales y traslacionales.	36
Figura 8 Diagramas de flujos y flujos canalizados.	37
Figura 9 Diagrama de casos de propagación lateral.	38
Figura 10 Estado de actividad según la evolución de un volcamiento activo.	40
Figura 11 Distribución de la actividad.	41
Figura 12 Estilo de la actividad.	42
Figura 13 Clasificación de la nube de puntos en Pix4DMapper.	45
Figura 14 Levantamientos antes y después de la reclasificación de puntos	46
Figura 15 Modelo digital de elevación para el levantamiento A1.	49
Figura 16 Modelo digital de elevación para el levantamiento A2.	50
Figura 17 Modelo digital de elevación para el levantamiento A3.	51
Figura 18 Afloramientos y muestras de rocas de la Formación Bocas en la zona de trabajo.	52
Figura 19 Afloramientos y muestras de rocas de la cuarzomonzonita en la zona de trabajo.	54
Figura 20 Mapa geológico de la zona de trabajo escala 1:2500.	55
Figura 21 Ladera explanada ubicada en la parte norte del levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.311.499,38 E:1.098.491,60.	59
Figura 22 Cauce de la quebrada silgará ubicada en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.310.857,68 E:1.098.484,06.	60
Figura 23 Planicie de inundación ubicada en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.310.418,25 E:1.098.594,64.	61
Figura 24 Barra puntual menor ubicada en el cauce de la quebrada Silgará en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.310.418,25 E:1.098.594,64.	62
Figura 25 Escorrentía intermitente ubicada en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.310.829,33 E:1.097.586,98.	63
Figura 26 Abanico aluvial reciente ubicado en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.310.435,91 E:1.098.398,11.	64
Figura 27 Cima denudada suavemente inclinada ubicada en el NE del levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.561,47 E:1.096.445,10.	65
Figura 28 Colina remanente disectada de pendiente muy inclinada ubicada en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.309.998,20 E:1.096.606,91.	66
Figura 29 Ladera plana a suavemente inclinada ubicada en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.310.841,91 E:1.098.271,01.	67
Figura 30 Ladera de pendiente muy inclinada ubicada en el levantamiento A3. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.524,69 E:1.097.586,98.	68
Figura 31 Ladera de pendiente abrupta ubicada en el levantamiento A3. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.905,32 E:1.097.097,86.	69

Figura 32 Ladera convexa de pendiente abrupta ubicada en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.311.632,88 E:1.099.548,97.	70
Figura 33 Ladera convexa de pendiente muy inclinada ubicada en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.310.728,69 E:1.099.159,97.	71
Figura 34 Ladera cóncava de pendiente muy inclinada ubicada en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.310.929,42 E:1.099.450,91.	72
Figura 35 Ladera denudada de pendiente muy inclinada ubicada en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.311.535,17 E:1.099.368,27. ..	73
Figura 36 Lomo poco disectado de pendiente muy inclinada ubicado en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.311.668,74 E:1.098.333,11. ..	74
Figura 37 Ladera de pendiente abrupta de cono ubicado en el levantamiento A3. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.285,34 E:1.096. 860,93.	75
Figura 38 Ladera de pendiente muy inclinada de cono en el levantamiento A3. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.176,77 E:1.096.727,90.	76
Figura 39 Ladera abrupta de cerro remanente ubicado en el levantamiento A2. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.892,72 E:1.099.324,36.	77
Figura 40 Ladera muy inclinada de cerro remanente ubicado en el levantamiento A2. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.638,87 E:1.099.230,63.	78
Figura 41 Superficie de erosión o aplanamiento ubicado en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.888,64 E:1.098.610,60.	79
Figura 42 Lomo de pendiente muy inclinada ubicado en el levantamiento A1 y A3. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.008,80 E:1.097.474,72.	80
Figura 43 Lomo de pendiente abrupta ubicado en el levantamiento A3. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.466,49 E:1.097.453,58.	81
Figura 44 Ladera abrupta de lomo de falla ubicado en el levantamiento A2. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.891,17 E:1.098.316,80.	82
Figura 45 Ladera estructural cóncava de pendiente abrupta en el levantamiento A2. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.313.526,25 E:1.098.878,16.	83
Figura 46 Ladera estructural convexa de pendiente abrupta ubicada en el levantamiento A2. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.313.347,91 E:1.098.704,46. ..	84
Figura 47 Ladera estructural convexa de pendiente muy inclinada ubicada en el levantamiento A2. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.313.704,84 E:1.098.783,27.	85
Figura 48 Ladera estructural de pendiente inclinada ubicada en el levantamiento A2. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.313.048,27 E:1.098.835,32.	86
Figura 49 Ladera inclinada de lomo de falla ubicada en el levantamiento A2. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.313.304,86 E:1.097.917,75.	87
Figura 50 Ladera muy inclinada de lomo de falla ubicado en el levantamiento A2. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.313.178,80 E:1.098.216,46.	88
Figura 51 Ladera muy inclinada de contrapendiente ubicada en el levantamiento A2. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.814,14 E:1.099.029,02.	89
Figura 52 Mapa geomorfológico del levantamiento A1 escala 1:2500.	90
Figura 53 Mapa geomorfológico del levantamiento A2 escala 1:2500.	90
Figura 54 Mapa geomorfológico del levantamiento A3 escala 1:2500.	91
Figura 55 Tejido urbano discontinuo ubicado en el levantamiento A1. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.311.535,37 E:1.98.458,30.	93
Figura 56 Carretera principal Bucaramanga – Aguachica ubicada en el levantamiento A1. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.311.698,20 E:1.098.477,89.....	94
Figura 57 Cultivos permanentes ubicados en el levantamiento A1. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.311.056,10 E:1.097.394,49.	95

Figura 58 Pastos limpios ubicados en el levantamiento A1. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N: 1.310.831,99 E: 1.098.356,00.....	96
Figura 59 Pastos arbolados ubicados en el levantamiento A1. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.310.622,13 E:1.098.460,09.....	97
Figura 60 Pastos enmalezados ubicados en el levantamiento A3. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N: 1.312.136,44 E: 1.097.317,66.	98
Figura 61 Bosque denso alto de tierra firme ubicado en el levantamiento A1. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.310.315,77 E:1.097.310,09.	99
Figura 62 Bosque denso bajo de tierra firme ubicado en el levantamiento A1. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.310.075,55 E: 1.097.604,56.	100
Figura 63 Bosque fragmentado ubicado en el levantamiento A1. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.310.903,88 E: 1.099.198,34.	101
Figura 64 Herbazal denso de tierra firme arbolado ubicado en el levantamiento A3. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.312.084,66 E:1.097.250,18.....	102
Figura 65 Tierras desnudas y degradadas ubicadas en el levantamiento A2. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.311.475,53 E:1.097.430,89.	103
Figura 66 Curso de la quebrada silgará a lo largo del levantamiento A1. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.311.435,92 E:1.098.282,59.	104
Figura 67 Mapa de cobertura de suelo del levantamiento A1 escala 1:2500.....	105
Figura 68 Mapa de cobertura de suelo del levantamiento A2 escala 1:2500.....	105
Figura 69 Mapa de cobertura de suelo del levantamiento A3 escala 1:2500.....	106
Figura 70 Mapa localización de los movimientos en masa.	107
Figura 71 Diagrama idealizado de los atributos morfológicos de un movimiento de ladera y su descripción. (IAEG Commission on Landslides, 1990).	109
Figura 72 Movimiento en masa A1_1. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.310.315,64 E:1.097.066,00.	110
Figura 73 Resultado de las mediciones realizadas en el deslizamiento A1_1.....	111
Figura 74 Movimiento en masa A1_2. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.310.228,22 E:1.097.520,12.	112
Figura 75 Resultado de las mediciones realizadas en el movimiento en masa A1_2.....	113
Figura 76 Movimiento en masa A1_3. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.310.489,58 E:1.97.586,18.....	114
Figura 77 Resultado de las mediciones realizadas en el movimiento en masa A1_3.....	115
Figura 78 Movimiento en masa A1_4. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.311.407,86 E:1.098.970,74.....	116
Figura 79 Resultado de las mediciones realizadas en el movimiento en masa A1_4.....	117
Figura 80 Movimiento en masa A1_5. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.311.557,13 E:1.099.064,49.....	118
Figura 81 Resultado de las mediciones realizadas en el movimiento en masa A1_5.....	119
Figura 82 Movimiento en masa A2_1. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.313.104,83 E:1.098.897,22.....	120
Figura 83 Resultado de las mediciones realizadas en el movimiento en masa A2_1.....	121
Figura 84 Movimiento en masa A2_2. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.313.505,29 E:1.099.076,66.....	122
Figura 85 Resultado de las mediciones realizadas en el movimiento en masa A2_2.....	123
Figura 86 Movimiento en masa A3_1. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.312.253,05 E:1.097.145,73.	124
Figura 87 Resultado de las mediciones realizadas en el movimiento en masa A3_1.....	125

Figura 88 Punto crítico por la presencia de varios movimientos en masa ubicados en la parte SW del levantamiento A1 de la zona de trabajo. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N: 1.310.340,73 E:1.097.294,97.	127
Figura 89 Unidades geológicas identificadas para la zona de trabajo.	129
Figura 90 Elementos geomorfológicos identificados para la zona de trabajo	130
Figura 91 Coberturas de suelo identificadas para la zona de trabajo.....	131

Lista de apéndices

Apéndice A. Mapa geomorfológico.

Apéndice B. Mapa cobertura de suelo.

Apéndice C. Formato de inventario de movimientos en masa.

Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS.

Resumen

Título: Pasantía de investigación para el desarrollo del análisis morfodinámico de movimientos en masa ubicados en los municipios de Rionegro y El Playón, Santander*

Autores: Valentina Campos Acevedo, Víctor Julián Rico Arévalo**

Palabras Clave: Cobertura de suelo, Geomorfología, Morfodinámica, Movimiento en masa.

Descripción:

La presente pasantía de investigación busca contribuir al proyecto “Método para la estimación de distancias de viaje de movimientos en masa con base en aproximaciones geométricas” de los grupos de investigación GENKI de la Universidad Nacional de Colombia y GIGBA de la Universidad Industrial de Santander, consistió en realizar la geología, geomorfología, cobertura de suelos a escala 1:2500 y el análisis morfodinámico de ocho movimientos en masa ubicados entre los municipios de Rionegro y El Playón, Santander.

Estos movimientos en masa se encuentran situados litológicamente sobre rocas altamente meteorizadas que corresponden a areniscas, shales, limolitas y cuarzomonzonitas, que han desarrollado un suelo predominantemente arcilloso, con poca resistencia mecánica y cohesión. A su vez, están situados en laderas con pendientes que van desde muy inclinadas a abruptas principalmente. Se estableció que estos eventos corresponden a deslizamientos de cientos de metros de distancia, con alto grado de meteorización, que están ubicados cerca de vías de comunicación y viviendas.

La lluvia y eventualmente eventos sísmicos son los detonantes principales para estos eventos en la zona de trabajo, que junto con la litología y la pendiente dan lugar a un espacio propicio para causar las tipologías de movimientos caracterizados, que finalmente terminan afectando a la comunidad aledaña al sector.

*Trabajo de grado

**Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Juan Diego Colegial Gutiérrez. Geólogo PhD en Ciencias Geológicas.

Abstract

Title: Research internship for the development of morphodynamic analysis of mass movements located in the municipalities of Rionegro and El Playón, Santander*

Author: Valentina Campos Acevedo, Víctor Julián Rico Arévalo**

Key Words: Land cover, Geomorphology, Morphodynamics, Mass movement.

Description:

This research internship aims to contribute to the project "Method for the estimation of travel distances of mass movements based on geometric approximations" of the research groups GENKI of the National University of Colombia and GIGBA of the Industrial University of Santander, consisted in carrying out the geology, geomorphology, soil coverage at a scale of 1:2500 and morphodynamic analysis of eight mass movements located between the municipalities of Rionegro and El Playón, Santander.

These mass movements are lithologically located on highly weathered rocks corresponding to sandstones, shales, siltstones and quartzomonzonites, which have developed a predominantly clayey soil, with little mechanical strength and cohesion. At the same time, they are located on slopes ranging from very steep to steep slopes mainly. It was established that these events correspond to landslides hundreds of meters apart, with a high degree of weathering, which are located near roads and houses.

Rainfall and eventually seismic events are the main triggers for these events in the work zone, which together with the lithology and slope create a space that is conducive to causing the typologies of movements characterised, which ultimately end up affecting the community surrounding the sector.

*Bachelor Thesis.

**Industrial University of Santander. Faculty of Physicochemical Engineering. Geology School. Director: Juan Diego Colegial Gutiérrez. Geologist PhD Geological Sciences.

Introducción

Los movimientos en masa se pueden definir como todo desplazamiento de material litológico y/o de escombros hacia abajo (vertical o en dirección del pie de una ladera) debido a la gravedad. En el lenguaje común son conocidos bajo varios términos sinónimos como deslizamientos, derrumbes y movimientos de terreno entre otros (Vargas Cuervo, 2000).

Según la Unidad Nacional de Gestión de Desastres (UNGRD, 2020) en Colombia, las lluvias intensas y/o prolongadas son el principal detonante de estos eventos, sin embargo, también se ven influenciados por factores antrópicos como el uso inadecuado del terreno. La misma fuente señala que se han registrado en el país más de 11.800 eventos, en los cuales el departamento de Santander presenta un número de 785, siendo el sexto departamento con mayor registro de estos eventos.

La zona de trabajo corresponde a movimientos en masa ubicados en los municipios de Rionegro y El Playón, en el departamento de Santander, estos son municipios que tienen la lluvia como detonante de movimientos en masa; cada temporada ocurren estos eventos que terminan afectando a las comunidades y la infraestructura de los municipios, como se evidencia en distintos titulares de medios de comunicación como “Lanzan alerta por segunda temporada de lluvias en Santander” (Semana, 2022), en la que afirman que “en Santander hay una probabilidad de más del 30% por encima de los registros históricos de que se presenten el fenómeno de la niña y las lluvias, con una posibilidad de provocar inundaciones, deslizamientos, avalanchas, avenidas torrenciales y otras afectaciones”.

La presente pasantía de investigación corresponde a la fase de procesamiento de datos topográficos y geológicos del proyecto de investigación “Método para la estimación de distancia de viaje de movimientos en masa con base en aproximaciones geométricas” propuesto por los grupos de investigación GENKI de la Universidad Nacional de Colombia y GIGBA de la Universidad Industrial de Santander, el cual consiste en realizar la geología, geomorfología y la cobertura del suelo de la zona a escala 2:500, el análisis morfodinámico de los movimientos en masa seleccionados junto con su clasificación, descripción y mediciones pertinentes, con el fin de dar un aporte global a la investigación sobre los movimientos en masa y su posible relación con otras variables; tales como el tipo de roca, el clima, el relieve, entre otras.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Realizar el análisis morfodinámico que asista al proyecto “Método para la estimación de distancias de viaje de movimientos en masa con base en aproximaciones geométricas” para aportar información geológica y geomorfológica mediante la caracterización de movimientos en masa ubicados en los municipios de Rionegro y El Playón, Santander.

1.2 Objetivos específicos

Reclasificar las nubes de puntos generadas por fotogrametría mediante el software Pix4Dmapper para generar un modelo digital de elevación.

Realizar la fotointerpretación del área de estudio para generar los mapas geomorfológicos, geológicos y de cobertura de suelo de los levantamientos dados en escala 1:2500.

Realizar la caracterización y el análisis morfodinámico de los movimientos en masa pertenecientes al área de estudio.

Analizar en conjunto los resultados recolectados de la zona y los movimientos en masa para aportar la información al proyecto al cual se brinda asistencia.

2 Justificación

Como pasantía de investigación se brinda asistencia al proyecto “Método para la estimación de distancias de viaje de movimientos en masa con base en aproximaciones geométricas” propuesto por el grupo de investigación Geotechnical Engineering Knowledge and Innovation (GENKI) de la Universidad Nacional de Colombia en convenio con el grupo de investigación en Geología Básica y Aplicada (GIGBA) de la Universidad Industrial de Santander, apoyando en la elaboración de la geomorfología y geología de la zona, y a su vez en realizar un estudio morfodinámico de los movimientos en masa presentes dentro de la zona que permita al proyecto tener un análisis geológico amplio y detallado.

El proyecto establecido por el grupo de investigación GENKI tiene como objetivo proponer un método de estimación de la distancia de viaje de movimientos en masa tipo flujo y deslizamiento de suelos, con base en una familia de modelos empíricos fundados en la teoría del ángulo de alcance, validados con datos de eventos significativos ocurridos en la Región Andina Nororiental de Colombia; la selección de los movimientos en masa elegidos por el grupo se realizó con base en un muestreo combinatorio entre un método aleatorio en una primera fase y un método de elección por conveniencia empleando un análisis jerárquico de la información disponible desde el punto de vista geológico, geomorfológico, cartográfico, de uso del suelo, hidrológico y sísmico; la investigación de los grupos de investigación realizó una síntesis de eventos de interés partiendo de una base de datos de más de 1400 eventos, pasando por la evaluación aleatoria de aproximadamente 400 para llegar a la elección de 84 para su análisis por conveniencia, de los que finalmente se eligieron 34 distribuidos en diversas zonas del departamento de Santander, dentro de las que se encuentra la zona que comprende algunos movimientos entre los municipios de Rionegro y El Playón; así mismo, los grupos de

investigación establecieron la escala de trabajo como 1:2500 debido a que se requiere información con un nivel de detalle alto que sea suficiente para evaluar la participación de las variables que se puedan estudiar desde el punto de vista geológico y geomorfológico.

Por medio de esta pasantía se busca realizar la geología de la zona y las descripciones detalladas de los movimientos en masa presentes, realizar las mediciones y clasificaciones pertinentes que permitirán al proyecto tener una amplia visión de estos temas, lo que facilitará y complementará el estudio que están realizando para finalmente proponer un método de estimación de la distancia de viaje de movimientos en masa; igualmente esta pasantía es un aporte hacia la investigación de estos fenómenos que terminan afectando las vías y las comunidades presentes.

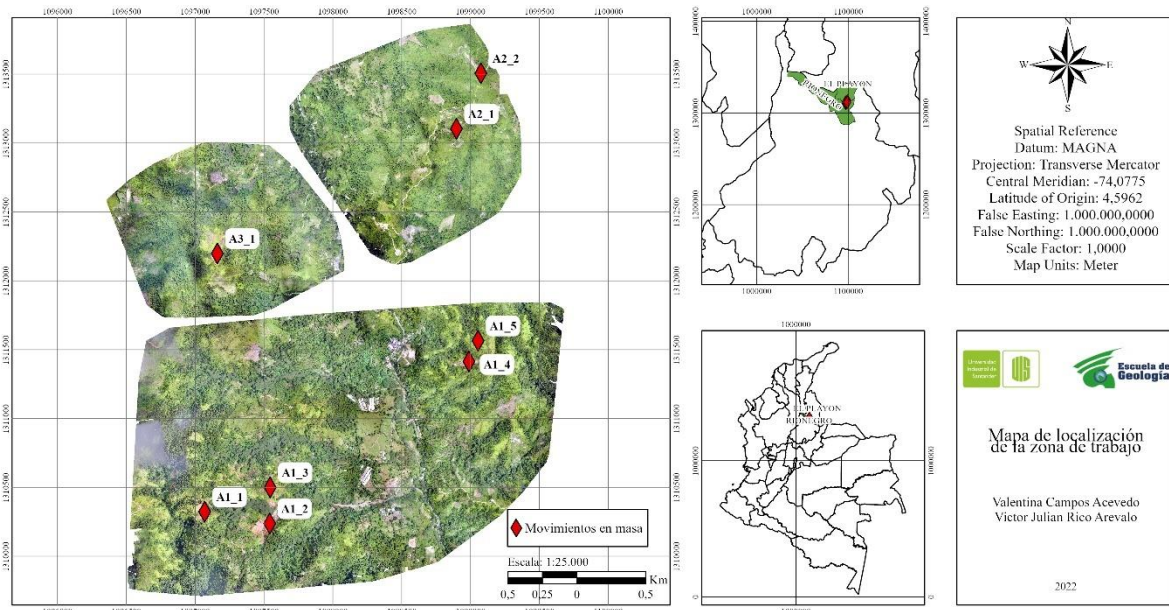
3 Generalidades

3.1 Localización

Los movimientos en masa a estudiar se encuentran repartidos en tres levantamientos presentados en la figura 1, la zona de trabajo se encuentra sobre la vía Bucaramanga - San Alberto, entre los municipios de Rionegro y El Playón, Santander, esta zona se ubica geológicamente en el Macizo de Santander y del sistema de fallas de Bucaramanga.

Figura 1

Mapa de localización de la zona de trabajo en los municipios de Rionegro y El Playón.



Nota. La zona de trabajo se divide en tres levantamientos realizados por medio de un dron brindados por los grupos de investigación, estos se distribuyen: el levantamiento inferior corresponde al levantamiento A1, el superior izquierdo al levantamiento A3 y el superior derecho al levantamiento A2.

3.2 Características generales

Los municipios de Rionegro y El Playón se encuentran situados en la región Andina, presentan un relieve montañoso dominado por la presencia de la Falla Bucaramanga.

En cuanto a su hidrografía, los ríos principales que tienen su curso por estos dos municipios son el Río Lebrija y el Río Cachiri, para el Municipio de Rionegro y El Playón, respectivamente, además de otros ríos secundarios como el Río Playón, el Río Cachiri, y quebradas como la Quebrada Silgará.

Las precipitaciones son más elevadas en el municipio de Rionegro, con una media anual de 2832 mm y para el municipio de El Playón este valor corresponde a 1913 mm anuales (SGC, 2014).

4 Antecedentes

El antecedente de la zona en materia de estudio geomorfológico y de movimientos en masa es la memoria explicativa del mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa escala 1:100.000 de la plancha 109 (Rionegro) publicada por el Servicio Geológico Colombiano en convenio con la Universidad Industrial de Santander (2014), el cual abarca parte de los municipios de interés y se establecen tres ambientes geomorfológicos: morfoestructural, denudacional y fluvial, que se ven fuertemente afectados por procesos denudativos que actúan de forma diferencial, por lo que algunas geoformas de origen estructural y fluvial se mantienen pero presentan procesos denudativos, mientras que geoformas denudadas aparecen como remanentes y residuales de estos mismos procesos.

Ospina (2018) publicó la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa en la cabecera municipal de Cisneros, Antioquia, en la que elaboró la geología, geomorfología, cobertura de suelos y los procesos morfodinámicos a escala 1:2000, en la que utiliza RPAS (Vehículos Aéreos Remotamente Tripulados) para generar la cartografía base por medio del procesamiento de la información mediante el software de fotogrametría Pix4D. A partir de esta concluye que el uso de RPAS es de gran utilidad para estudios a detalle ya que es información de alta calidad, actualizada y rápida, sin embargo, el procesamiento de la información contiene errores (ruidos) los cuales no son eliminados por lo que se debe tener en cuenta ese margen de error.

Adicionalmente, se consultó en el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA – SGC) en relación con el inventario de movimientos en masa de la zona de trabajo

encontrándose un total de 7 eventos registrados, de los cuales 4 son deslizamientos y 3 son flujos reportados para los años 2010 y 2013.

5 Marco Geológico

Los estudios cartográficos, geológicos y geomorfológicos de la zona han sido realizados por el Servicio Geológico Colombiano (INGEOMINAS). La zona de trabajo está ubicada en el Macizo de Santander marcado por la Falla de Bucaramanga como la estructura principal de la zona; las unidades geológicas presentes en la zona son la Cuarzomonzonita del Batolito de Rionegro, la Formación Bocas, la Formación Girón, y la formación Tambor, según la Plancha 109 de Rionegro de INGEOMINAS (1977).

En cuanto a la geomorfología, el SGC (2014) establece en la memoria explicativa de la plancha geomorfológica 1:100000 tres ambientes geomorfológicos para la zona de trabajo, el ambiente morfoestructural teniendo espolón festoneado, ladera estructural, lomo de falla, ladera de contrapendiente y sierra y lomo de presión, el denudacional teniendo conos de deslizamientos, sierra denudada, cono y flujo de detritos, colina y cerro remanentes y para el ambiente fluvial teniendo la llanura de inundación.

5.1 Geología

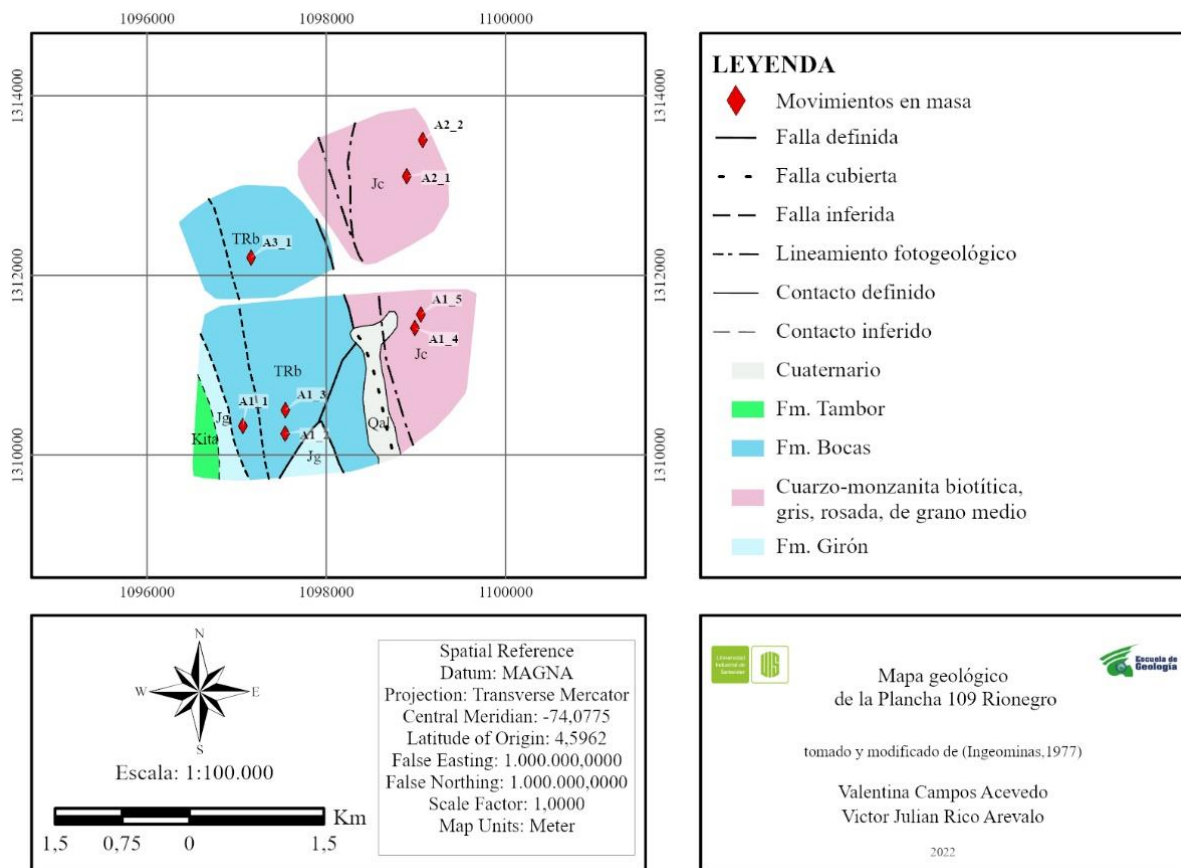
El sector occidental del Macizo de Santander está dividido en dos bloques geológicos debido a la Falla Bucaramanga; uno al oriente con dominio exclusivo de rocas cristalinas y el otro al occidente con predominio de rocas de origen sedimentario. El dominio cristalino se encuentra constituido por el Batolito de Rionegro, de edad Jurásico Temprano, de composición cuarzomonzonita, granítica y granodiorítica. Este Batolito intruye al este el Neis de

Bucaramanga y hacia el occidente se encuentra en contacto fallado con las formaciones Bocas, Tambor y Girón (Ward et al., 1973).

Tomando la plancha geológica 109 Rionegro a escala 1:100000 (figura 2), la zona de estudio presenta ambos dominios descritos anteriormente donde se presentan litologías descritas del Mesozoico como el Batolito de Rionegro, la Formación Girón, Formación Tambor y Formación Bocas.

Figura 2

Geología de la Plancha 109 de Rionegro escala 1:100000.



Nota. Tomado y modificado de (INGEOMINAS, 1977).

5.1.1 Cuarzomonzonita del Batolito de Rionegro

De una edad Jurásico Inferior a Medio, perteneciente al Batolito de Rionegro; consta de una cuarzomonzonita biotítica, de grano medio, equigranular a subporfirítica, rosada a gris

claro, que consiste en un 5% de biotita negra y cantidades aproximadamente iguales de cuarzo gris, plagioclasa blanca y feldespatos potásicos rosados naranjas a rosados pálidos. Generalmente está muy meteorizada y los afloramientos frescos no son fácilmente accesibles pero pueden verse a lo largo del este de la Falla de Bucaramanga (Ward et al., 1973).

5.1.2 Formación Bocas

La Formación Bocas, ubicada estratigráficamente en el intervalo Triásico Tardío - Jurásico Temprano (Ward et al., 1973). El nombre “Formación Bocas” fue usado para describir una secuencia constituida por arcillas pizarrosas negras con delgadas capas de areniscas arcillosas calcáreas y capas gruesas de caliza (Toro-Toro et al., 2021). La unidad está conformada por intercalaciones de limolitas grises verdosas con areniscas grises oscuras, shales, delgados niveles de conglomerados y calizas. Se encuentra al este en contacto fallado con el Batolito de Rionegro, al sur está suprayaciendo la Formación Diamante; al techo, es cubierta de forma transicional por las capas de la Formación Jordán y al oeste se encuentra en contacto fallado con la Formación Girón (Ward et al., 1973).

5.1.3 Formación Girón

Inicialmente como “Girón Series” fue usado para designar un conjunto grueso de areniscas, conglomerados y limolitas color marrón rojizo, de edad jurásico superior (Ward et al., 1973).

Moreno-Sánchez (2019) plantea cuatro intervalos, unos arenosos que constan de intercalaciones de areniscas, conglomerados de colores que varían de gris a verde claro y lodolitas de color violeta, y un intervalo lodolítico que consta de alternancia de lodolitas y limolitas de color naranja y areniscas color violeta, los que presentan variaciones texturales importantes.

5.1.3 Formación Tambor

Compuesto de alternancia de areniscas de tonalidad amarilla rojiza con shale de tonalidades rojizas, Ward et al, (1973) aplican el nombre Tambor a todas las areniscas que forman la parte más bajas del Cretácico y que afloran en toda la parte norte de la región Mesas y Cuestas. Además, Torres et al, (2021) define el Grupo Girón como una sucesión sedimentaria de edad Jurásica-Cretácica constituida por las formaciones Río Lebrija y Los Santos, en el tope de la Formación Río Lebrija existe el miembro tambor, caracterizado por lodolitas, areniscas conglomeráticas y conglomerados areno-lodosos siendo grises a la base y hacia el tope cambia a rojo grisáceo y violeta.

5.2 Geomorfología

El mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa escala 1:100.000 de la plancha 109 de Rionegro (figura 3), realizado por el Servicio Geológico Colombiano en convenio con la Universidad Industrial de Santander en el 2014, establecen dos dominios morfogenéticos para esta zona: estructural y denudativo. El ambiente morfoestructural está presente como espolón festoneado, lomo de falla, ladera de contrapendiente, sierra y lomo de presión, y ladera estructural, y del ambiente denudacional como conos de deslizamiento indiferenciado y traslacional, colina remanente muy disectada, cerro remanente, sierras denudadas y conos y flujos de detritos, y el ambiente fluvial está presente como plano o llanura de inundación.

5.2.1 Ambiente Denudacional

5.2.1.1 Cono de deslizamiento traslacional (Ddtr). Corresponde a una geoforma de morfología suavemente ondulada que se origina debido a un movimiento de material (rocas y/o suelo) a lo largo de una superficie de falla aproximadamente planar. El principal elemento que favorece este tipo de movimiento son los planos de debilidad (estratificación, diaclasamiento, contacto suelo-roca), los cuales permiten el desplazamiento de un bloque o capa de roca o suelo sobre otro (SGC, 2014).

En la zona de estudio esta unidad se presenta en rocas sedimentarias de la Formación Bocas que presentan gran densidad de fracturamiento y un alto grado de meteorización que da lugar al desarrollo de suelos residuales con espesores considerables (SGC, 2014).

5.2.1.2 Sierra denudada (Dsd). Esta geoforma corresponde a un conjunto de prominencias topográficas que presentan morfología montañosa y se encuentran limitadas por laderas largas a extremadamente largas, de forma cóncava a convexa, de pendiente muy inclinada a abrupta; en esta unidad predominan procesos erosivos y movimientos en masa acentuados (SGC, 2014).

Esta unidad suele encontrarse asociada a rocas ígneas cuarzomonzoníticas y a cuerpos metamórficos del Neis de Bucaramanga, Formación Silgará y Ortoneis, que son rocas que presenta un grado de meteorización alto y en algunos sectores, principalmente en el Playón, desarrollan suelos residuales areno-arcillosos (SGC, 2014).

5.2.1.3 Cono de deslizamiento indiferenciado (Ddi). Esta geoforma está ligada a procesos de movimientos en masa. Consiste en conos y lóbulos de suelo o roca con morfología baja, dispuestos en nichos semicirculares con bloques inclinados. Se caracteriza por formación de grietas y cambios súbitos de pendiente. Por lo general se asocian a suelos fallados por corte, que dan lugar a movimientos en masa que dejan como resultado esta geoforma (SGC, 2014).

5.2.1.4 Colina remanente muy disectada (Dcremd). Esta unidad se presenta como elevaciones del terreno con alturas que no superan los 400 metros sobre el nivel base local. Se caracterizan por presentar cimas redondeadas y estrechas limitadas por laderas moderadamente largas convexas con pendiente escarpada (SGC, 2014).

El origen de estas geoformas se asocia a procesos denudativos a través del tiempo geológico que han dado lugar a un alto grado de disección de las laderas, dando lugar a la Formación de valles en V (SGC, 2014).

5.2.1.5 Cerro remanente (Dcrem). Esta geoforma está representada por una elevación del terreno aislada, de morfología colinada, que sobresale de la topografía circundante. También se caracteriza por presentar cimas entre agudas y redondeadas, limitadas por laderas moderadamente largas, de formas convexas. El origen este elemento geomorfológico se asocia a procesos de erosión y meteorización diferencial antigua, que dan lugar a la aparición de formas remanentes de este tipo (SGC, 2014).

5.2.1.6 Cono y flujos de detritos (Dfe). Esta geoforma corresponde a un movimiento de tipo flujo de detritos cuyas dimensiones dan lugar a un lóbulo limitado por laderas de longitud larga, de forma convexa redondeada con pendiente inclinada. La característica típica es su disposición a manera de albardón o dique longitudinal con canales en forma de u. El origen de esta geoforma está asociado al transporte y depositación torrencial de sedimentos clasto soportados (SGC, 2014).

5.2.2 Ambiente Morfoestructural

5.2.2.1 Espolón festoneado (Sefes). Corresponde a laderas que presentan crestas simétricas con morfología alomada y cimas agudas, las cuales se disponen perpendicularmente al rumbo de estructuras geológicas. Esta unidad presenta pendientes que varían entre muy inclinada a muy abrupta y se presenta sobre laderas con intensa disección compuestas por rocas duras y blandas (SGC, 2014).

5.2.2.2 Ladera estructural (Sle). Corresponde a una superficie en declive, de morfología regular a irregular, definida por planos de diaclasamiento dispuestos en la misma dirección de la pendiente topográfica. Este tipo de ladera suele ser de longitud moderadamente larga con pendientes muy inclinadas a abruptas y no se encuentra asociada a ningún tipo de estructura regional. En los sectores de Las Rocas y San Ignacio sobre la vía que conduce hacia el corregimiento de El Filo en El Playón, se extiende una ladera asociada a planos de diaclasamiento en cuarzomonzonitas que se disponen a favor de la pendiente del terreno. En esta zona, el cuerpo ígneo se encuentra altamente meteorizado y desarrolla suelos residuales relativamente espesos que han sido afectados por carcavamiento y movimientos en masa de tipo flujos de tierra que no superan los 150 m de longitud y 70 m de ancho (SGC, 2014).

5.2.2.3 Lomo de falla (Slf). Saliente topográfico de morfología alomada, limitada por laderas cortas, de forma convexa y pendiente abrupta. Esta geoforma se localiza a lo largo de una falla de rumbo y su origen se da gracias al efecto del desplazamiento lateral y la geometría del plano de falla que da lugar a la expulsión de un bloque de terreno. En el área de estudio esta geoforma tiene importantes expresiones a lo largo del trazo principal de la Falla de Bucaramanga, en los sectores de las veredas Espuma Baja y Alto Bello (Rionegro) y en La Ceiba (El Playón), en donde el alto grado de meteorización del cuerpo intrusivo de Cuarzomonzonita y su suelo residual areno-arcilloso dan lugar fuertes procesos de erosión en cárcavas y a deslizamientos traslacionales y flujos de suelo (SGC, 2014).

5.2.2.4 Ladera de contrapendiente (Slcp). Corresponde a laderas de morfología regular, definida por planos de diaclasamiento dispuesto en sentido contrario a la inclinación natural del terreno. Por lo general este tipo de ladera es más corta con pendientes muy inclinadas a muy escarpadas. En este caso, no hay asociación directa de la ladera a ninguna estructura regional (SGC, 2014).

5.2.2.5 Sierra y lomo de presión (Sslp). Se trata de una elevación topográfica de morfología alomada elongada, limitada por laderas irregulares de longitud corta, de pendiente abrupta a escarpada. Esta geoforma se caracteriza por estar presente en zonas compresivas, en donde el truncamiento y desplazamiento vertical de dos fallas da lugar a la expulsión de un bloque de terreno (SGC, 2014).

5.2.3 Ambiente fluvial

5.2.3.1 Planicie o llanura de inundación (Fpi). Esta unidad se caracteriza por ser una porción de terreno topográficamente plano, de morfología baja a ondulada, eventualmente inundable, limitado por escarpes de terraza. Se localiza en el borde de los cauces fluviales, pero también incluye los planos fluviales menores en forma de U o V y también los conos coluviales menores que se presentan en los flancos de los valles intramontaños. En algunos casos se pueden presentar pequeñas colinas debido a procesos de erosión y acumulación de sedimentos en esta geoforma. El material que predomina en esta unidad son sedimentos finos debido a la sedimentación durante eventos de inundación fluvial (SGC, 2014).

Esta unidad tiene su mejor expresión geomorfológica en los bordes de los cauces de los ríos más importantes de la zona: río Lebrija, río Sogamoso, río de Oro, Rionegro, río Playonero (SGC, 2014).

5.3 Geología estructural

El área de estudio se localiza en un sector importante estructuralmente ya que se tiene presencia de la Falla de Bucaramanga, siendo esta la estructura principal, tiene un movimiento sinistral, una orientación N15°W y se extiende aproximadamente 600 km desde el borde occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta en la Costa Caribe hasta el límite occidental del Macizo de Santander al sur (Galvis et al, 2014); al este de la falla, se encuentra el Macizo de Santander, un bloque montañoso de basamento ígneo-metamórfico que es cortado por una serie de lineamientos y fallas, entre las que se destaca la Falla de Surata por su buena expresión geomorfológica, la cual ha levantado bloques de cuerpos metamórficos antiguos sobre rocas sedimentarias más jóvenes, evidenciando el predominio de procesos de deformación frágil (SGC, 2014). Hacia el oeste de esta, hay una zona controlada por el Sinclinal de Nuevo Mundo,

el cual presenta algunos pliegues menores asociados, que son el resultado de procesos de deformación dúctil (SGC, 2014). Así mismo, existen otras estructuras locales como la Falla Sardina que se extiende paralela a la intrusión ígnea de la Formación Bocas (Ward et al, 1973), y la Falla del Río Cáchira que se direcciona casi de forma paralela al valle del río Cáchira y genera grandes desplazamientos que son explicados como movimientos laterales, poniendo en contacto rocas dioríticas con rocas de la Formación Girón (Ward et al, 1973), así como diversos lineamientos.

6 Marco Teórico

6.1 Morfodinámica

Según (SGC, 2012) la geomorfología involucra estudios morfodinámicos, que se basan en estudiar los procesos activos en el presente o aquellos que se pueden activar en el futuro. Se refiere a la dinámica exógena relacionada con la actividad de agentes como el viento, agua, hielo y la acción de la gravedad terrestre, que modifica las geoformas preexistentes. Los procesos hacen referencia a los cambios físicos y químicos (meteorización, erosión y depositación) que generan modificación de los materiales y las formas superficiales de la tierra. Estos eventos naturales, específicos de cada ambiente morfogenético, afectan y modelan la superficie terrestre con diferentes grados de intensidad, imprimiendo al terreno características propias de cada ambiente.

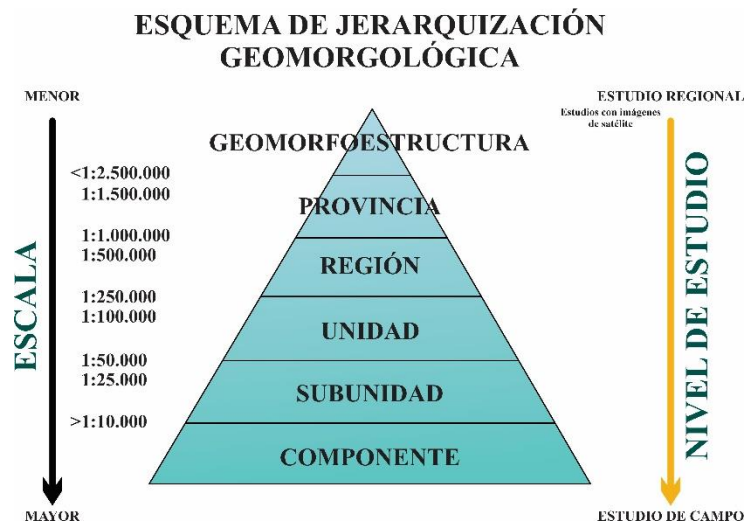
6.2 Cartografía geomorfológica

El Servicio Geológico Colombiano en 2012 publica la “Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia” en la que se propone retomar la jerarquización propuesta por INGEOMINAS haciendo una modificación en los nombres para que tengan un

sentido estrictamente morfogenético y así unificar criterios de estandarización de la información siguiendo los lineamientos de la metodología ITC. Finalmente proponen y adoptan los rangos de clasificación mostrados en la figura 4.

Figura 4

Esquema de jerarquización geomorfológica propuesto para INGEOMINAS.



Nota. Tomado y modificado de SGC (2012).

Por el alto nivel de detalle que se requiere para el desarrollo del proyecto, se utilizó el rango de componente o elemento geomorfológico que corresponde al máximo nivel de detalle de jerarquía en la subdivisión propuesta por el SGC, escalas mayores de 1:10.000. Esta categoría está establecida por los rasgos del relieve (escarpes naturales o antrópicos, relieves internos de laderas o flancos, crestas, formas de valle), definidos en sitios puntuales y determinados por morfometría detallada del terreno en una subunidad geomorfológica. Igualmente, puede estar definida por microrelieves asociados con una característica litológica o sedimentaria establecida con base en análisis detallados (SGC, 2012).

En la elaboración de la cartografía geomorfológica, el Servicio Geológico Colombiano (2012) plantea como primer paso la elaboración de un mapa geomorfológico analítico con

datos e información básica (mapas geológico y topográfico, fotografías aéreas, imágenes de satélite, modelos digitales de elevación), seguido de la interpretación de fotografías aéreas, teniendo como base la jerarquización geomorfológica, que facilita entender la evolución de un territorio; igualmente, se puede sustraer datos de pendientes, laderas y perfiles del terreno, drenajes, lineamientos, y entre otros parámetros. Esta información es preliminarmente georreferenciada y lista para la fase de reconocimiento y trabajo de campo, el cual se lleva a cabo con el propósito de corroborar las geoformas definidas previamente, como para conseguir información adicional como contrastes morfométricos, litología, procesos actuales, etc... Finalmente, se ajusta la cartografía realizada con los datos de campo y laboratorio, se realizan los modelos, mapas y/o perfiles y se elabora el informe o memoria final.

6.3 Clasificación de deslizamientos de Cruden & Varnes (1996)

Este sistema de clasificación, desarrollado en 1996, se acoge en gran parte la clasificación de Varnes (1978). En la Clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia por el SGC (2017) se compila la clasificación de Cruden & Varnes (1996) que propone los cinco tipos básicos de movimientos conocidos: caída, volcamiento, deslizamiento, propagación lateral y flujo, y se complementa introduciendo una terminología que considera factores tales como actividad (estado, distribución, estilo), tasa de movimiento y contenido de agua; además, propone la combinación de nombres según el orden en que se presentan los movimientos; por ejemplo, caída de rocas-flujo de detritos. A continuación se describen los movimientos definidos en este sistema de clasificación:

6.3.1 Caída

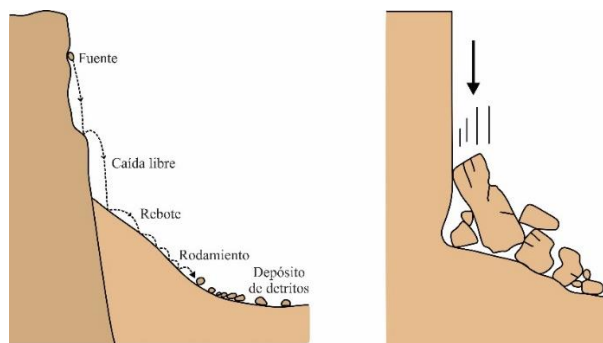
Separación de una masa de roca o suelo desde un talud empinado, a lo largo de una superficie sobre la cual se puede presentar o no desplazamiento por cortante. Una vez ocurrido

el desprendimiento, el material desciende a través del aire, principalmente en caída libre, rebotando o rodando. La caída es un tipo de movimiento muy rápido a extremadamente rápido (3 m/min y a 5 m/s).

Estos movimientos están controlados por la geometría y patrón de las discontinuidades y se deben por lo general a cortes en el pie de las laderas, vibraciones por equipos, maquinaria y sismos, meteorización o erosión por corrientes.

Figura 5

Esquema de caída de rocas.



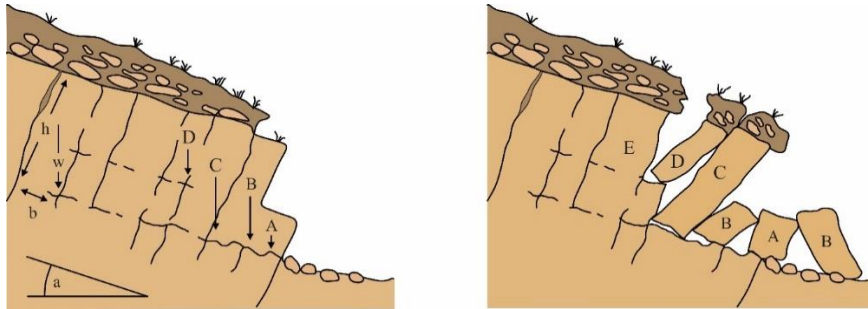
Nota. Tomado y modificado de: SGC (2017).

6.3.2 Volcamiento

Comprende la rotación hacia delante de una masa de roca o suelo en una ladera, alrededor de un pivote o eje, por debajo del centro de gravedad de la masa que se desplaza. Se consideran tres tipos:

Figura 6

Esquema de volcamiento de bloques.



Nota. Tomado y modificado de: SGC (2017).

- **Volcamientos de bloques de roca, delimitados por discontinuidades preexistentes:** se consideran dos subtipos: a) volcamiento de bloques individuales que reposan sobre una base inicialmente firme, que es socavada o que falla por cortante, y b) volcamiento múltiple de bloques dentro de un conjunto por interacción mutua entre ellos.
- **Volcamiento de bloques aislados liberados por tensión:** el desprendimiento es favorecido por agrietamientos de tensión en la parte superior de la ladera, que permite su liberación.
- **Volcamiento de detritos:** proceso en el cual se desprenden de algún sitio masas tabulares de detritos, en un mecanismo retrogresivo, por ejemplo, desde la corona de un deslizamiento, o el barranco de orilla de un cauce.

El reconocimiento de tipos de volcamiento en macizos de roca no es una tarea simple y en exploraciones de campo se requiere, además de realizar una inspección detallada de los sitios afectados, una amplia experiencia de campo por parte de las personas que caracterizan estos tipos de movimientos.

6.3.3 *Deslizamiento*

Se define este tipo de desplazamiento como un movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca, predominantemente a lo largo de una superficie de ruptura o de zonas relativamente delgadas sometidas a intensos esfuerzos de corte.

Según estos autores, la superficie de ruptura no se desarrolla de manera simultánea a lo largo de la masa que va a ser desplazada, sino que se inicia por agrietamientos en el terreno en la parte superior de la ladera, donde más tarde se conforma la corona del deslizamiento.

Estos autores proponen tres tipos básicos de deslizamientos: rotacional, traslacional y compuesto, dependiendo de la manera como falla el terreno.

- **Deslizamiento rotacional:** en este caso, la superficie de rotura es curvada y cóncava y la falla no está controlada estructuralmente. El material dispuesto en la cabeza del deslizamiento se mueve casi verticalmente hacia abajo, mientras que la superficie del terreno se inclina hacia el escarpe de la corona. Debido a este comportamiento, el deslizamiento rotacional se conoce también como hundimiento (slump).

Este movimiento es lento a moderadamente lento y se debe en parte a que el mecanismo de rotación es autoestabilizante debido a que la fuerza de la gravedad disminuye con el incremento del desplazamiento.

- **Deslizamiento rotacional retrogresivo:** debido a que el escarpe adyacente a la corona de un deslizamiento rotacional (hundimiento) es casi vertical y sin soporte, es muy común que a partir de la pata del escarpe se presente retrogresión del deslizamiento, proceso favorecido por la concentración de humedad en esta parte del deslizamiento como consecuencia de la geometría del terreno en la corona.

- **Deslizamiento traslacional planar:** En este tipo de movimiento la masa se desplaza a lo largo de una superficie de ruptura planar, por lo general, estructuralmente

controlado. En la corona, la masa puede estar separada del terreno estable por una enorme grieta de tensión.

El mecanismo del deslizamiento planar no es autoestabilizante, por lo que este movimiento tiende a ser extremadamente rápido, sobre todo si la superficie de falla es suficientemente inclinada y extensa. En este caso, la masa desplazada puede llegar a fragmentarse si su velocidad es suficientemente alta para que el material se disgregue, lo cual es frecuente cuando la superficie de ruptura sigue una discontinuidad paralela a la ladera. En este caso, el deslizamiento planar hace la transición a un movimiento más severo, como un flujo de detritos.

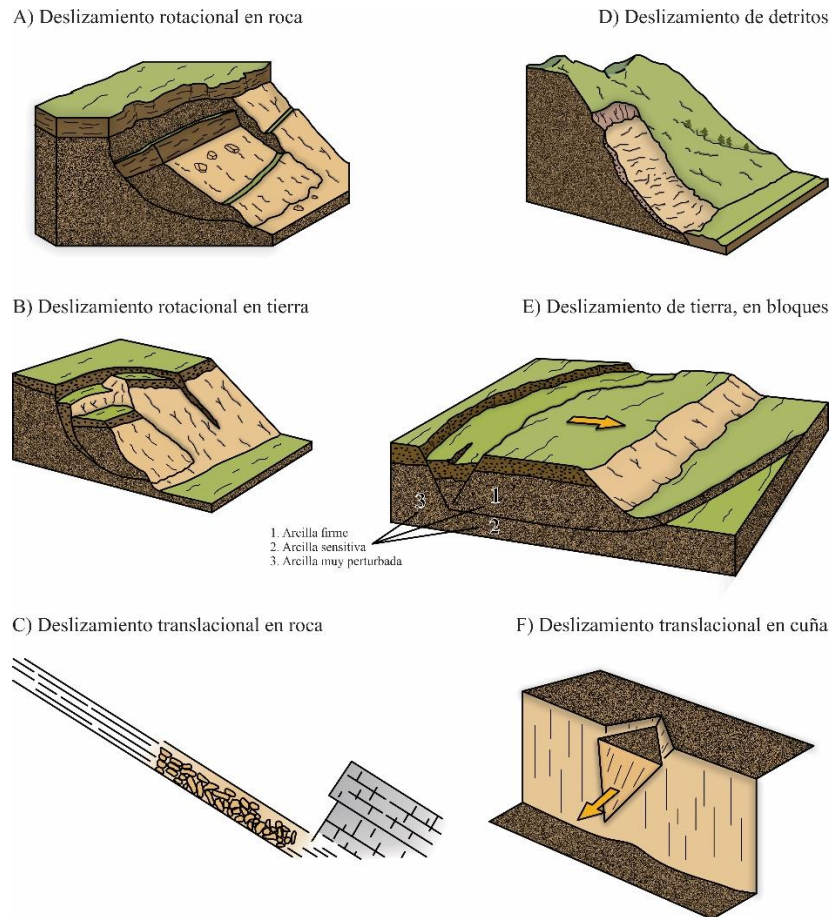
- **Deslizamiento traslacional de cuña:** constituye un caso especial de deslizamiento traslacional, en el cual la masa se desplaza a lo largo de la intersección de dos discontinuidades estructurales.

- **Deslizamiento compuesto:** se presenta algo de traslación y algo de rotación. La superficie de rotura presenta un escarpe principal muy pendiente, que puede suavizarse en profundidad y que remata con una sección casi plana; la pata puede llegar a inclinarse en sentido contrario del movimiento y en la zona de corona pueden presentarse bloques desplazados en graben.

El deslizamiento traslacional de bloques de tierra (*figura 5, E*) se reconoce también como deslizamiento compuesto, dado el mecanismo muy particular descrito.

Figura 7

Deslizamientos rotacionales y traslacionales.



Nota. Tomado y modificado de: SGC (2017).

6.3.4 Flujo

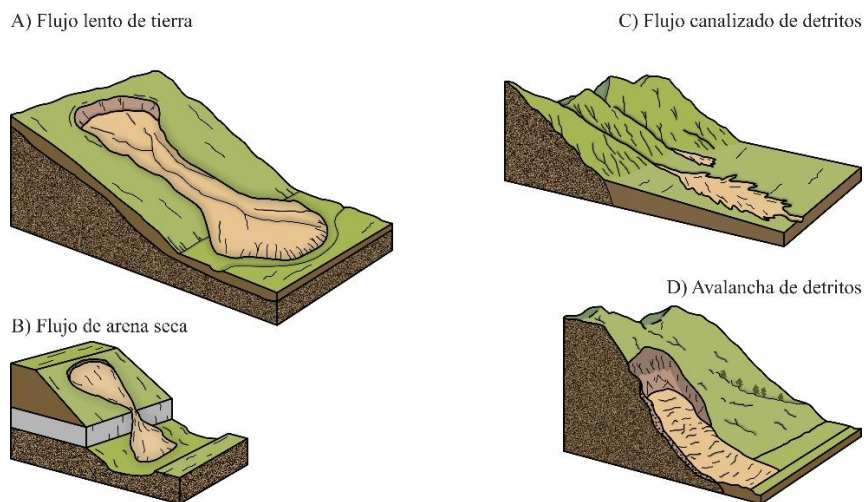
El término flujo se refiere a movimientos espacialmente continuos con superficies de corte efímeras y estrechamente espaciadas, las cuales por lo general no se preservan, la distribución de velocidades en la masa desplazada se asemeja a la de un líquido viscoso.

Según Cruden & Varnes los flujos más rápidos corresponden a los flujos canalizados de detritos, en los cuales el material pierde bastante cohesión, admite bastante agua o encuentra laderas más pendientes. Se pasa en forma gradual de flujos de detritos a avalanchas de detritos que son movimientos extremadamente rápidos.

En los flujos de detritos, bloques y detritos mezclados con agua se desplazan siguiendo el fondo de hondonadas o cauces naturales en épocas de intensa lluvia, estas masas viscosas pueden involucrar grandes bloques de roca y arrastrar troncos y otros materiales que hayan alcanzado el fondo de los cauces y tienen efectos más devastadores.

Figura 8

Diagramas de flujos y flujos canalizados.



Nota. Tomado y modificado de SGC (2017).

6.3.5 Propagación lateral

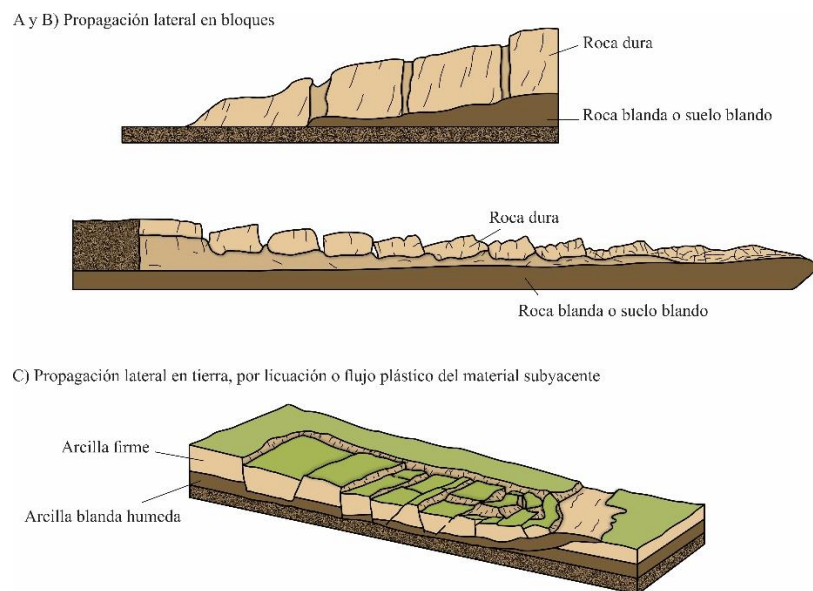
Este proceso se define como la extensión o dilatación lateral de un suelo cohesivo o masa de roca blanda, combinada con subsidencia general del material fracturado suprayacente en ese material blando, sin que se forme una superficie de falla bien definida. La extensión se manifiesta como la extrusión de material propenso a licuación o flujo plástico. Se pueden presentar dos casos generales:

- **Propagación lateral en bloque:** Una masa rocosa subhorizontal, que cubre material más blando, se fragmenta en bloques grandes, provocando la extrusión del material blando por entre las fracturas, las cuales pueden rellenarse a presión por el material más disgregado. El movimiento en este caso es muy lento.

- **Propagación lateral por licuación:** Un suelo blando y húmedo como arcilla sensitiva o limo cubierto por suelo firme, experimenta licuación o fluye plásticamente, cuando pierde resistencia a causa de alguna perturbación que destruye su estructura. Este movimiento es más rápido que el anterior.

Figura 9

Diagrama de casos de propagación lateral.



Nota. Tomado y modificado de SCG (2017).

6.3.6 Actividad asociada a los deslizamientos

El concepto de actividad asociada a los movimientos en masa hace referencia a su evolución en el tiempo. Se define de acuerdo con tres condiciones espacio temporales, las cuales contribuyen a visualizar la tendencia de los movimientos: estado, distribución y estilo.

- **Estado de la actividad:** Término que se relaciona con la situación temporal del movimiento, de tal manera que un movimiento se puede definir como:

(1). Activo: Es posible observar evidencias de movimiento.

(2). Interrumpido: Aunque el movimiento no está activo actualmente, podría reactivarse en el siguiente periodo invernal. La grieta en la corona sería un indicio de futura actividad.

(3). Reactivado: El movimiento que estaba inactivo, se activa nuevamente.

(4). Inactivo

(4.1). Latente: No mostró señales de actividad durante el último periodo de lluvias, pero podría reactivarse nuevamente por socavación.

(4.2). Abandonado: La causa original ya no está afectando el sitio.

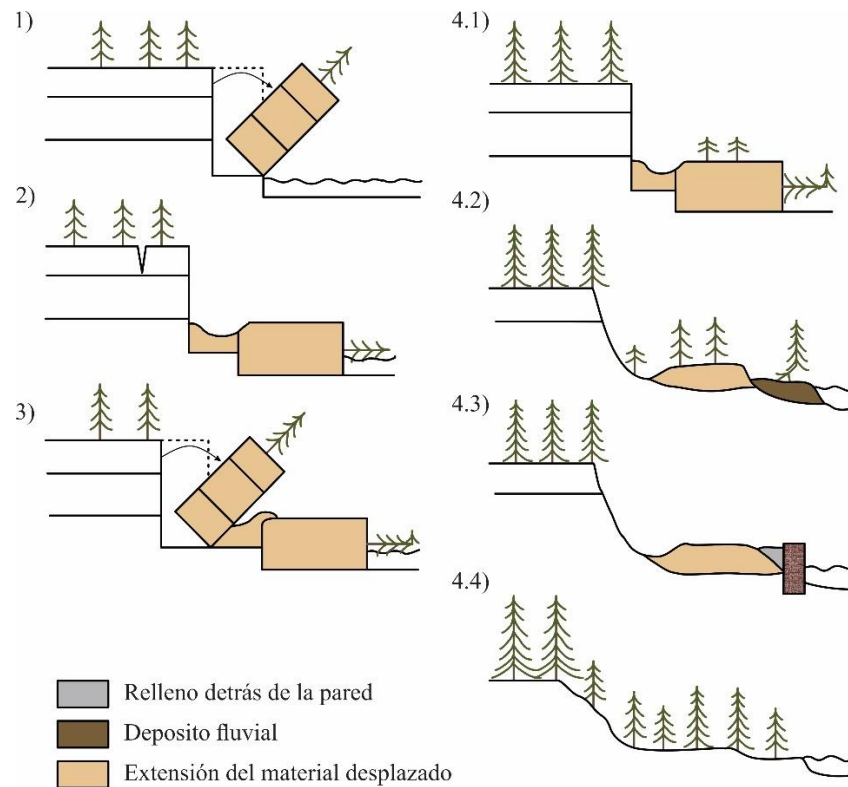
(4.3). Estabilizado: El deslizamiento se ha tratado con una medida remedial.

(4.4). Relicto: La condición climática actual es totalmente diferente de la original.

Los términos descritos de estado de actividad aplican a los casos de caída, volcamiento, deslizamiento, flujo y propagación lateral.

Figura 10

Estado de actividad según la evolución de un volcamiento activo.



Nota. Tomado y modificado de SCG (2017).

- **Distribución de la actividad:** Con este término se trata de establecer espacialmente la parte de la masa que se está moviendo, con referencia a la superficie de falla. Se considera que el movimiento puede encontrarse en cualquiera de las siguientes situaciones:

(1). Avanzado: La superficie de rotura se extiende en la misma dirección en que avanza el movimiento.

(2). Retrogresivo: Cuando la superficie de rotura se extiende en dirección opuesta a la del movimiento.

(3). Creciente: Cuando la superficie de rotura se prolonga hacia atrás y hacia adelante.

(4). Decreciente: Si el volumen del material desplazado disminuye con el tiempo, lo cual reduce sus implicaciones.

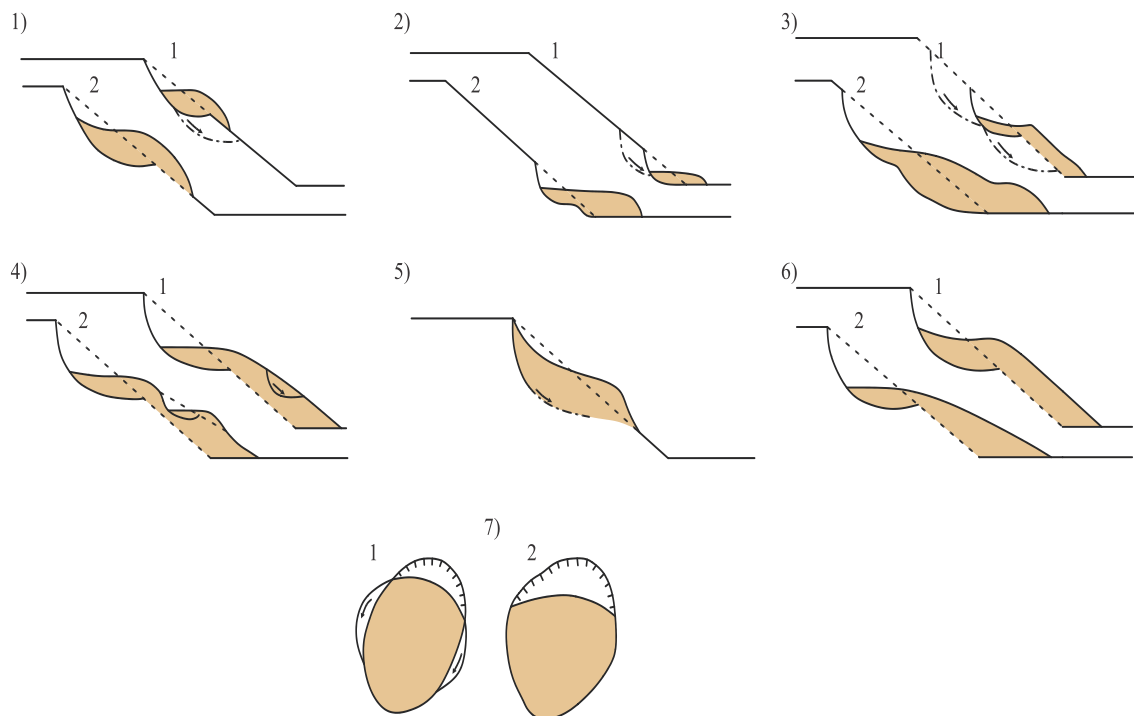
(5). Confinado: Si el movimiento presenta un escarpe evidente, pero la superficie de falla no se ha desarrollado totalmente en la pata, solo se presenta un ligero abultamiento en su extremo inferior.

(6). Móvil: El material desplazado continúa moviéndose sin un cambio notorio en la superficie de falla y el volumen del material desplazado.

(7). Ensanchado: La superficie de ruptura se amplía en uno a ambos flancos del movimiento.

Figura 11

Distribución de la actividad.



Nota. Tomado y modificado de SCG (2017).

- **Estilo de la actividad:** Este término se refiere a la manera como diferentes movimientos relacionados entre sí contribuyen a la inestabilidad. Al respecto el movimiento puede ser:

(1). Complejo: se refiere a la ocurrencia de una cadena de movimientos relacionados genéticamente y cuyos mecanismos se superponen.

(2). Compuesto: se trata de movimientos en partes diferentes de una ladera, con mecanismos también diferentes, algunas veces simultáneos.

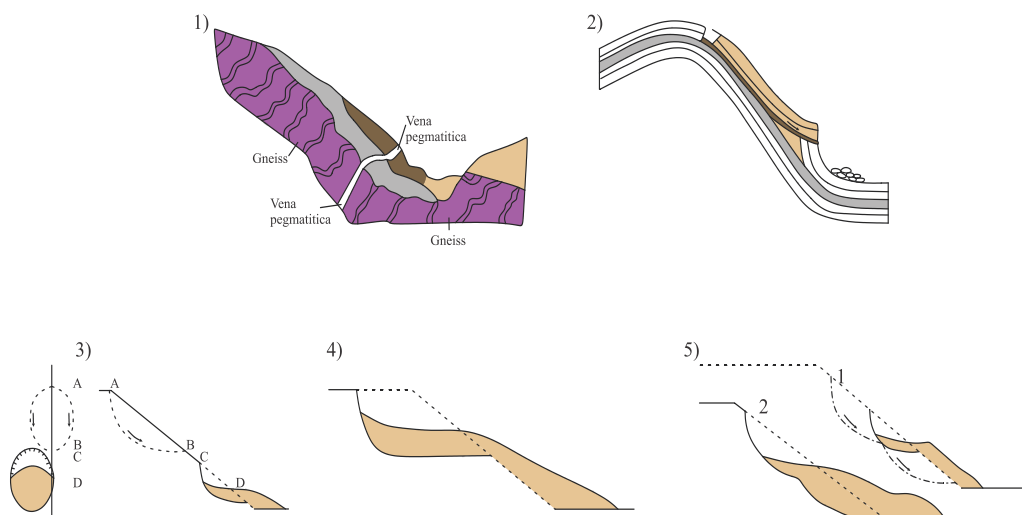
(3). Sucesivo: Se trata de pequeños deslizamientos rotacionales asociados genéticamente.

(4). Individual o único: Deslizamiento simple con una superficie de rotura y a menudo un bloque desplazado que no se fragmenta.

(5). Múltiple: Repetidos movimientos del mismo tipo, en un proceso en el cual la superficie de falla se puede alargar. La nueva masa desplazada está en contacto con parte de la masa desplazada previamente y a menudo comparte con ella la superficie de rotura.

Figura 12

Estilo de la actividad.



Nota. Tomado y modificado de SCG (2017).

Los términos descritos en relación con el estilo de actividad aplican a la manera como algunos deslizamientos interactúan espacial y temporalmente con otros tipos de movimientos.

6.3.7 Tasa de movimiento

Hace referencia a la velocidad de un movimiento, la cual controla, junto con su masa, la energía y potencial de daño de éste. Al respecto, Cruden & Varnes (1996) proponen una escala con base en clases de velocidad que se incrementan en múltiplos de cien entre sus extremos. En esta tabla se establecen siete clases de velocidad en forma análoga a la escala de Mercalli usada para evaluar la intensidad de los terremotos, y las definiciones sobre el probable significado destructivo para cada clase.

Tabla 1

Capacidad destructiva y velocidad del movimiento de Cruden & Varnes (1996).

Clases de velocidad del movimiento	Probable capacidad destructiva y velocidad
7	Catástrofe de mayor impacto; edificios destruidos por el impacto; muchas muertes; improbable posibilidad de escapar. Extremadamente rápida $5 \times 10^3 \text{mm/s}$ (velocidad típica: 5 m/s)
6	Algunas vidas perdidas; velocidad del movimiento demasiado grande para escapar. Muy rápida $5 \times 10^1 \text{mm/s}$ (velocidad típica: 3m/min)
5	Evacuación posible, pero las estructuras y vienes se han destruido. Rápida $5 \times 10^{-1} \text{mm/s}$ (velocidad típica: 1.8m/h)
4	Algunas estructuras pueden ser reparadas. Moderada $5 \times 10^{-3} \text{mm/s}$ (velocidad típica: 13m/mes)
3	Se pueden reparar y mantener algunas estructuras con el terreno en movimiento, pero el mantenimiento es muy costoso. Lenta $5 \times 10^{-5} \text{mm/s}$ (velocidad típica: 1.6m/año)
2	Solo algunas estructuras sufren daño. Muy lenta $5 \times 10^{-7} \text{mm/s}$ (velocidad típica: 16mm/año)
1	Se requiere adoptar ciertas precauciones para construir en la zona inestable. Extremadamente lenta.

Nota. Tomada de SGC (2017).

6.4 Corine Land Cover (CLC) adaptada para Colombia

La metodología Corine Land Cover (CLC), que ha sido aplicada en Europa, fue modificada para desarrollar el proyecto para la estandarización del sistema de clasificación y elaboración de la “Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, escala 1:100.000” la cual brinda las características y clasificaciones que el país requiere para el conocimiento de sus recursos naturales, para la evaluación de las formas de ocupación y la apropiación del espacio geográfico, así como la actualización de la información dinámica de las coberturas terrestres (IDEAM, 2010).

7 Métodos y procedimientos

El desarrollo de la pasantía de investigación se llevó a cabo por medio de siete fases secuenciales descritas a continuación:

7.1 Revisión bibliográfica

En esta etapa se realizó la búsqueda de información acorde a la temática, se consultó las planchas topográficas, la plancha geológica y geomorfológica de la zona junto con sus respectivas memorias explicativas, así como antecedentes sobre estudios de caracterización de movimientos en masa y análisis morfodinámicos, y estudios geomorfológicos de escala a detalle.

Igualmente, se recopiló la bibliografía referente a los modelos de clasificación de movimientos en masa, de la cartografía geomorfológica y de la clasificación de la cobertura de suelos.

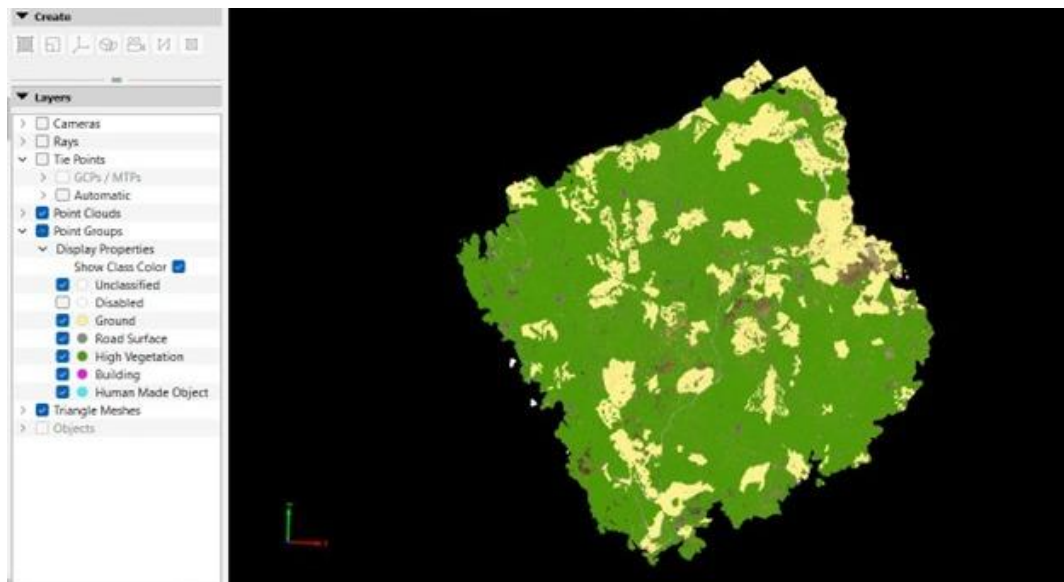
7.2 Corrección de la nube de puntos

El grupo de investigación GENKI brindó tres levantamientos realizados con dron en la zona de trabajo y por medio del software Pix4Dmapper se realizó la reclasificación de la nube de puntos generada por fotogrametría.

Esta reclasificación de puntos se realizó debido a que al importar al software se pudo observar que los objetos (vegetación, suelo, caminos, viviendas) presentaron una clasificación errónea por lo que se requirió hacer una reclasificación que permita darle un valor correcto a cada objeto. La reclasificación consistió en modificar los valores de la nube de puntos entre “sin clasificar”, “deshabilitado”, “suelo”, “superficie de carretera”, “vegetación alta”, “edificios” y “objetos hechos por el hombre” como muestra la siguiente figura 13:

Figura 13

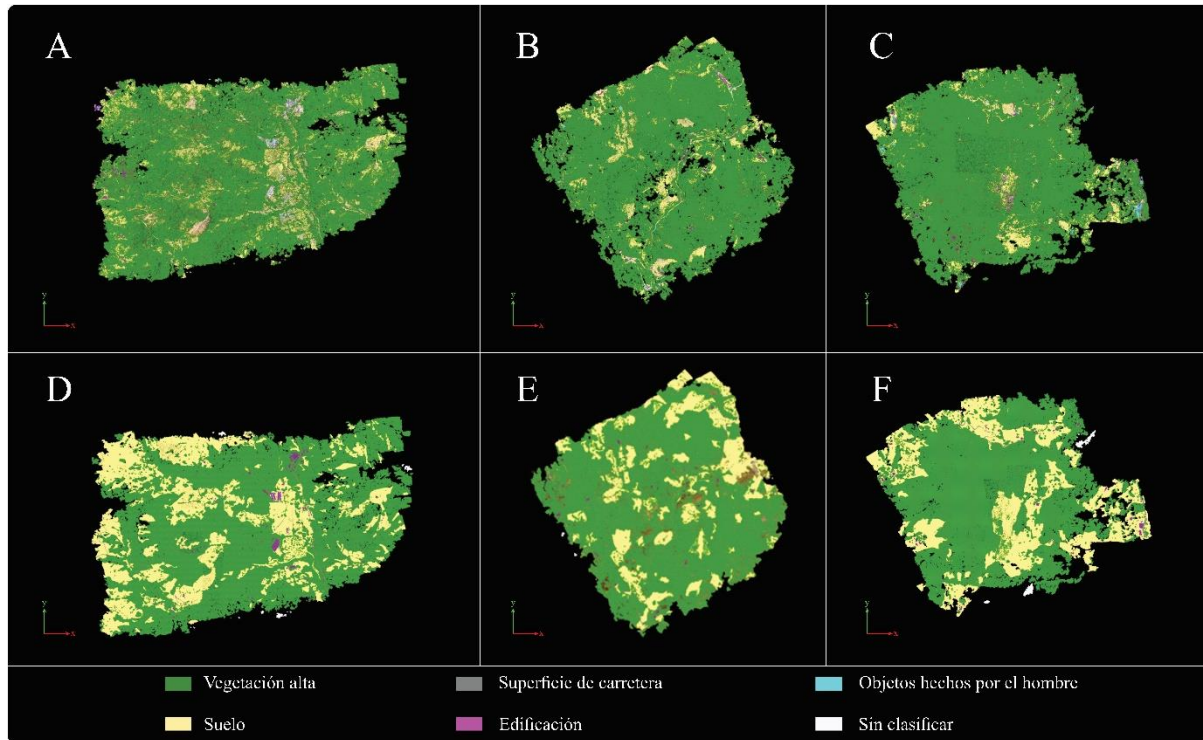
Clasificación de la nube de puntos en Pix4DMapper



Se realizó esta operación para cada uno de los tres levantamientos, y finalmente en la figura 14 se presentan el antes y el después de la reclasificación de cada levantamiento en el programa Pix4Dmapper.

Figura 14

Levantamientos antes y después de la reclasificación de puntos



Nota. La imagen A y D corresponden al levantamiento A1, la imagen B y E corresponden al levantamiento A2 y la imagen C y F corresponden al levantamiento A3.

Al finalizar, se configuraron las opciones del procesamiento para generar el modelo digital de elevación de cada levantamiento.

7.3 Fotointerpretación y cartografía preliminar

En esta etapa se realizaron los mapas preliminares para llevar a campo. Para realizar el mapa geomorfológico de cada levantamiento se tomó en cuenta el mapa de sombras, el mapa topográfico, el mapa de pendientes y el mapa geomorfológico 1:100.000 de la plancha 109 Rionegro, con el fin de identificar cada geofoma y delimitarla por medio de polígonos en el sistema de información geográfica QGIS. Para la leyenda se tuvo en cuenta el “Glosario de Unidades y Subunidades Geomorfológicas” del SGC (2012) y publicaciones y estudios realizados por el SGC a escalas de detalle, para construir los elementos geomorfológicos debido

a que no existe una guía o jerarquización para realizar un mapa geomorfológico con el nivel de detalle requerido.

Para el mapa geológico de cada levantamiento se tomó en cuenta el mapa geológico de la plancha 109 de Rionegro del SGC, el mapa de sombras y Google Earth para trazar los diferentes contactos y realizar los polígonos en el sistema de información geográfica QGIS, y finalmente, para la generación de los mapas de cobertura de suelo se tomó en cuenta imágenes satelitales Sentinel-2 y “La leyenda nacional de coberturas de la tierra”, escala 1:100.000, de acuerdo con la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia (2010) para realizar la clasificación de las diferentes áreas.

7.4 Trabajo de campo

El trabajo de campo se realizó en tres fases, en la primera, se hizo reconocimiento de la zona y de los deslizamientos, la segunda, por medio de un dron se tomaron las fotografías respectivas a las coberturas presentes y a cada uno de los deslizamientos ya que estos tienen un gran tamaño, el terreno era muy inestable y no había un fácil acceso a estos, a su vez, se realizó la fotogrametría a partir de estas imágenes; y finalmente, una tercera fase en la que se realizó el trabajo de geología y geomorfología de campo.

7.5 Análisis morfodinámico de los movimientos en masa

Para el análisis morfodinámico de los movimientos en masa estudiados en esta pasantía de investigación se realizó su clasificación de acuerdo con Cruden & Varnes (1996) y se realizaron las mediciones pertinentes por medio de la fotogrametría realizada en el programa Pix4DMapper.

7.6 Análisis en conjunto de la información recolectada

Se recopiló toda la información obtenida de campo, de fotogrametría y de los deslizamientos, se realizaron los mapas respectivos en el software QGIS 3.14.1 y se estableció un punto crítico de ocurrencia de estos movimientos así como sus posibles detonantes.

7.7 Elaboración del informe final.

Finalmente, la fase final de la pasantía de investigación consistió en organizar y estructurar toda la información obtenida en el presente documento, presentando las caracterizaciones y los mapas realizados con el fin de aportar a los grupos de investigación y al estudio de los movimientos en masa.

8 Resultados

8.1 Modelo digital de elevación (DEM)

A partir de la reclasificación de la nube de puntos se generó el Modelo digital de elevación (DEM) para los tres levantamientos.

Figura 15

Modelo digital de elevación para el levantamiento A1.

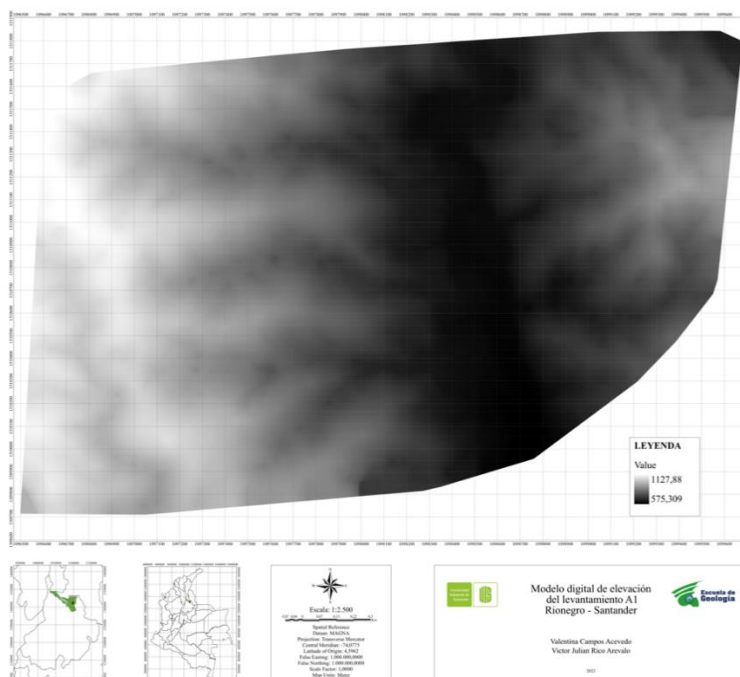


Figura 16

Modelo digital de elevación para el levantamiento A2.

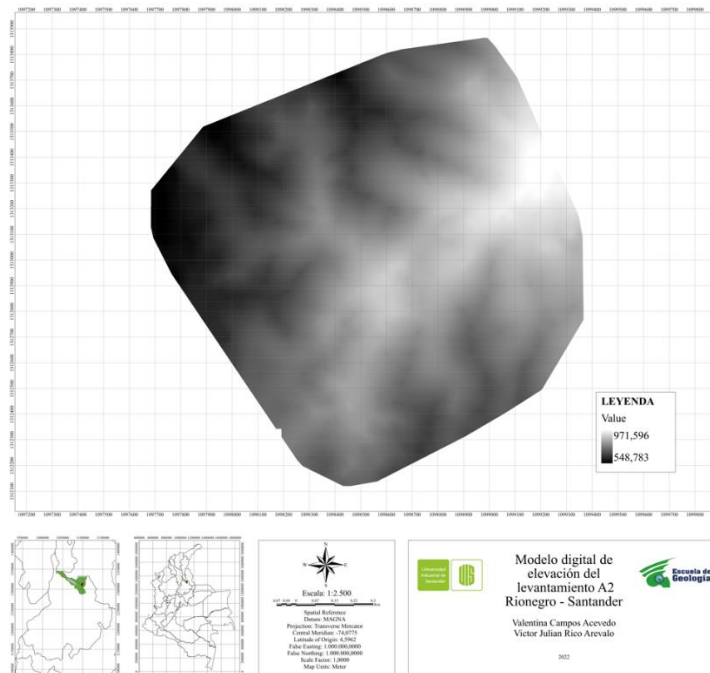
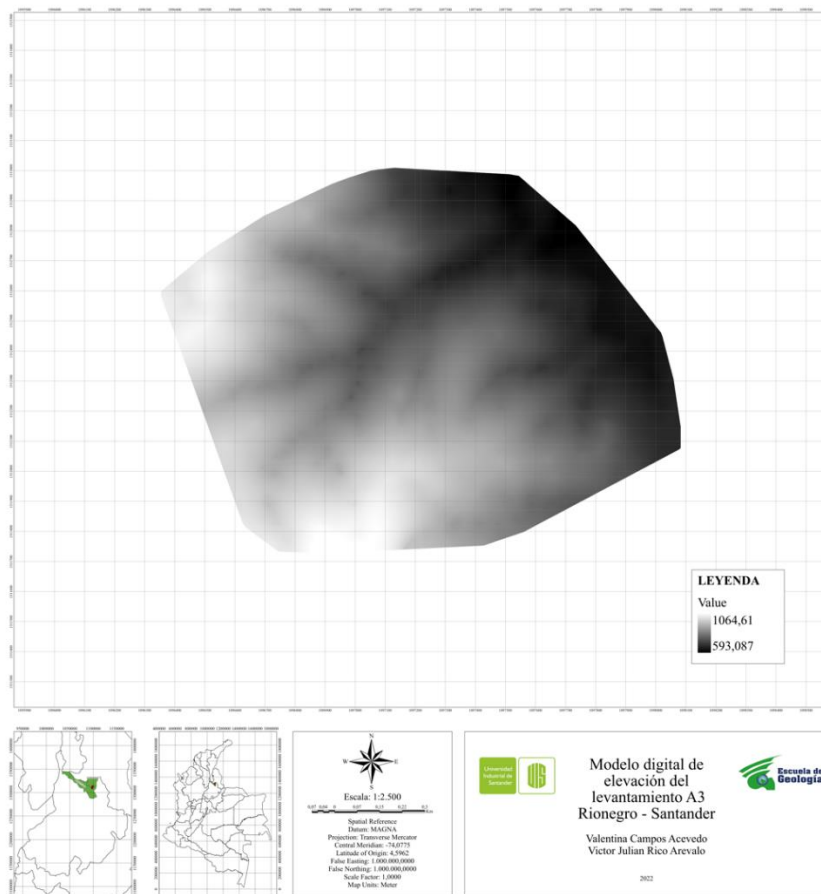


Figura 17

Modelo digital de elevación para el levantamiento A3.



8.2 Mapa geológico

En la presente pasantía de investigación se logró distinguir la Formación Bocas, la unidad ígnea cuarzomonzonita y el muy alto grado de meteorización de las rocas y un depósito cuaternario asociado al cauce de la quebrada Silgará.

8.2.1 Formación Bocas (TRb)

La Formación Bocas aparece en el bloque oeste de la zona de trabajo, algunos afloramientos se presentan con un suelo de material limo y arena que es deleznable en el que

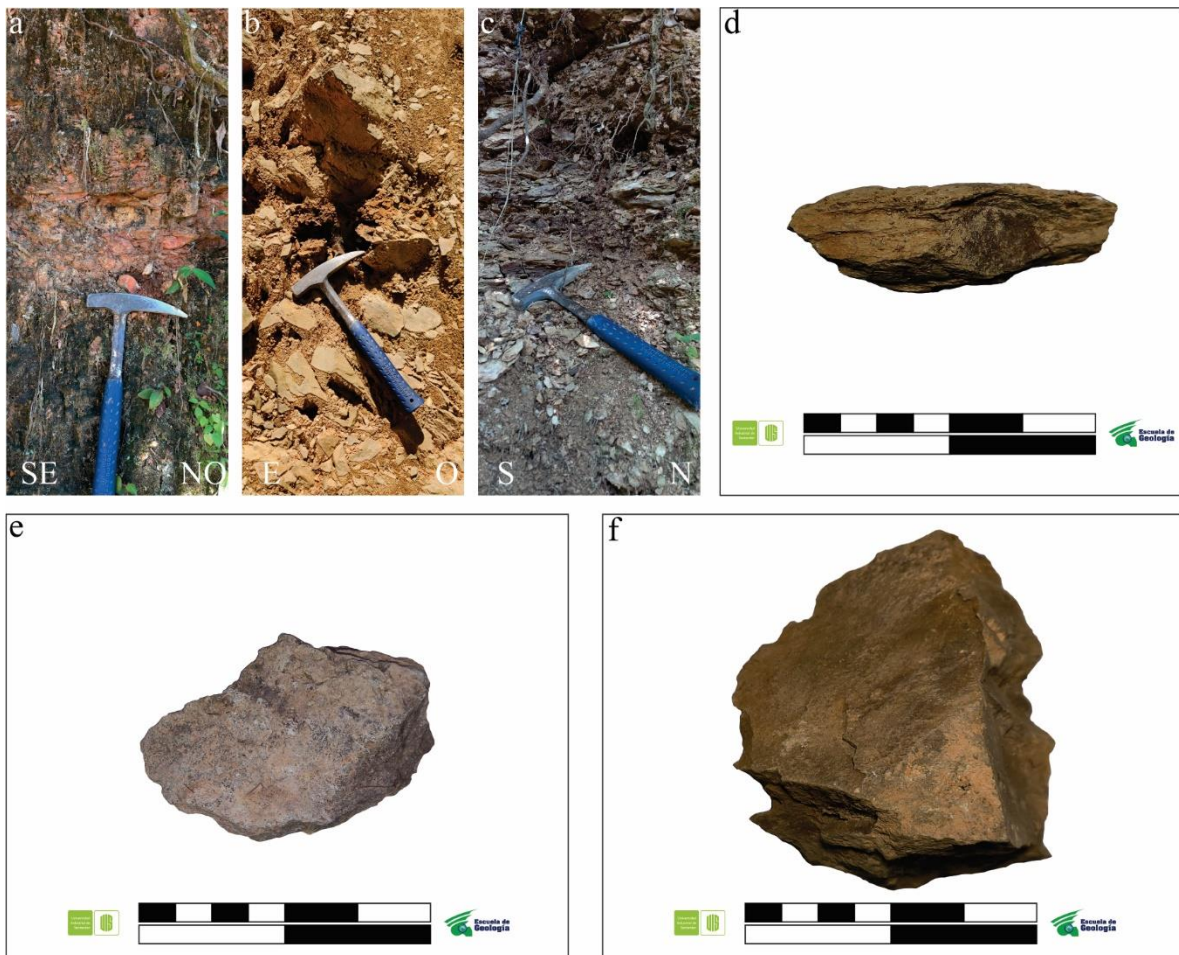
ya no se observa ninguna estructura como la estratificación, pero ocasionalmente se encuentran fragmentos de roca altamente meteorizada.

Se identifican areniscas pardas a rojizas, altamente meteorizadas, se observa un tamaño de grano fino a muy fino, compacta, y shales oscuros, altamente meteorizados, físisles, de un tamaño de grano muy fino.

En la figura 18 se muestran los afloramientos y muestras tomadas de la Formación Bocas en la zona de trabajo.

Figura 18

Afloramientos y muestras de rocas de la Formación Bocas en la zona de trabajo.



Nota. En las imágenes a-c se muestran los afloramientos de roca en los que se observa una roca altamente meteorizada y material arcilloso y en las imágenes d-f las muestras de roca de areniscas y shales.

8.2.2 Cuarzomonzonita (Jc)

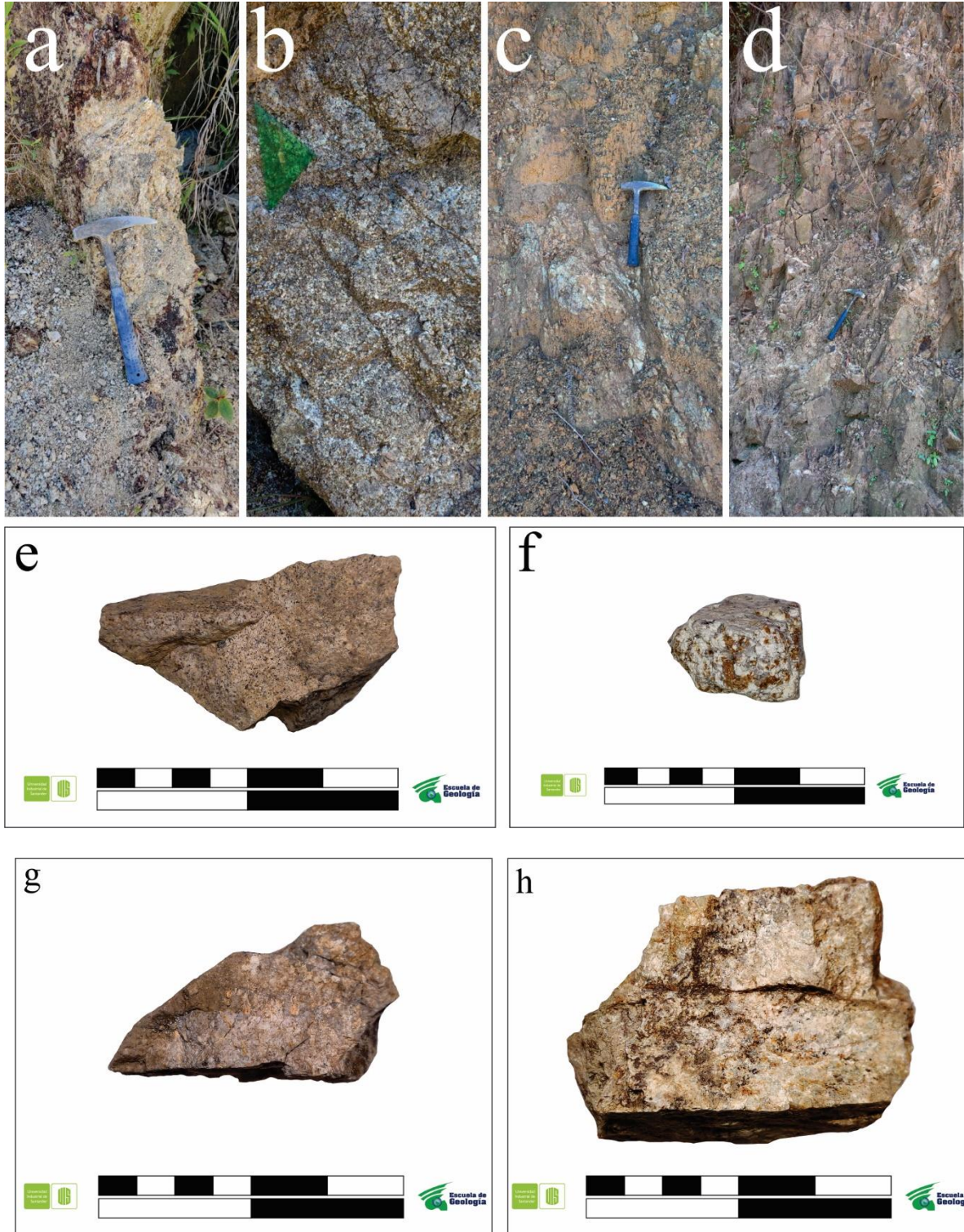
Esta aparece en el bloque este de la zona de trabajo, la cuarzomonzonita cartografiada se encuentra altamente meteorizada, en los afloramientos se identifica la fracción de suelo que aumenta en tamaño limo y arena el cual es un material deleznable, un poco húmedo y en el que se puede identificar algunos restos de minerales quebrados como el cuarzo.

Por la alta meteorización, los minerales que conforman la roca no son reconocibles a simple vista, sin embargo, se identifican algunos cristales de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico, estos últimos en mayor proporción y óxidos, de un tamaño de grano principalmente fino a medio.

En la figura 19 se presentan los afloramientos y muestras de la cuarzomonzonita cartografiada en la zona de trabajo.

Figura 19

Afloramientos y muestras de rocas de la cuarzomonzonita en la zona de trabajo.



Nota. En las imágenes a-d se muestran los afloramientos de roca en los que se observa un material deleznable y disgregado y en las imágenes e-h se presentan las muestras de roca en

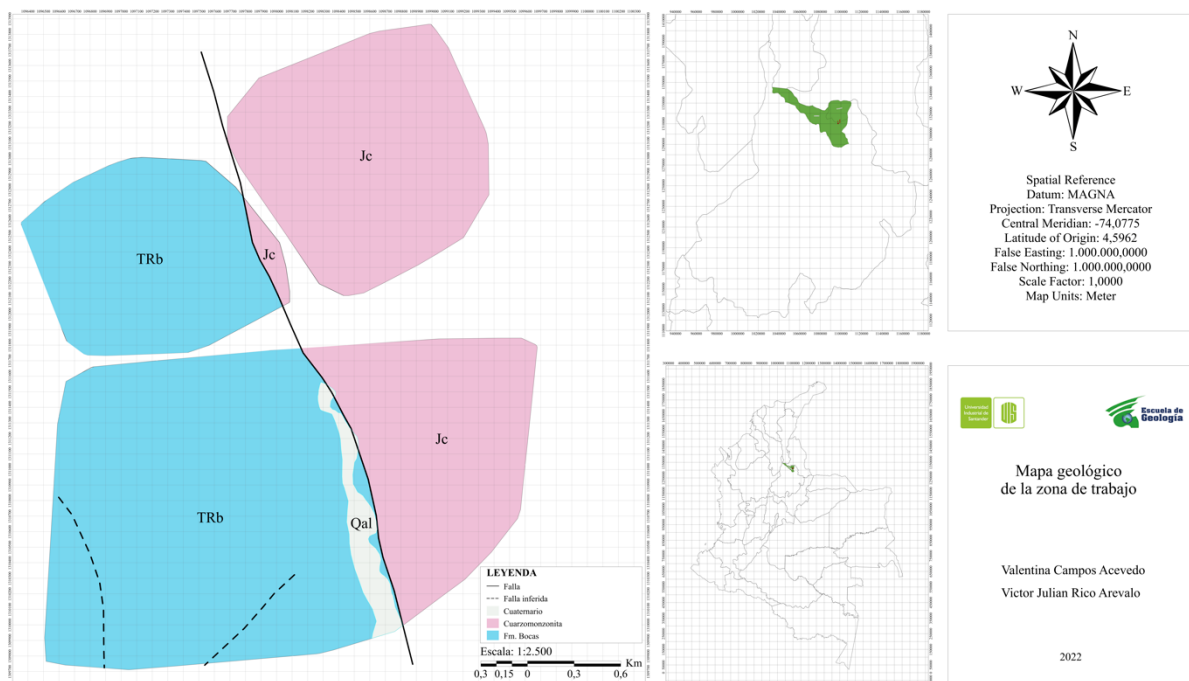
las que observa la meteorización a la que ha estado expuesta y la presencia de minerales principales como cuarzo, feldespato potásico, feldespato plagioclasa.

8.2.3 Cuaternario (Qal)

Depósitos aluviales que corresponden a superficies planas de muy baja pendiente conformados por arenas medias a finas y limos, compuestos por líticos, de granos subangulares a subredondeados, donde se acumula el material aluvial transportado por la Quebrada Silgará presente en el levantamiento A1.

Figura 20

Mapa geológico de la zona de trabajo escala 1:2500.



8.3 Mapa geomorfológico

Primeramente se realizó el procesamiento de los Modelos Digitales de Elevación (DEM) de los levantamientos y se obtuvo el mapa de pendientes de la zona de trabajo, se establecieron las clases de acuerdo con lo presentado en la tabla 2 con base en (SGC, 2015).

Tabla 2*Clasificación de pendientes.*

Inclinación (grados)	Descripción	Clasificación	Descripción del comportamiento
<7	Plana a suavemente inclinada	1	Muy baja tendencia a desarrollar movimientos en masa
7 – 11	Inclinada	2	Baja tendencia a desarrollar movimientos en masa
11 – 19	Muy inclinada	3	Media tendencia a desarrollar movimientos en masa
19 – 40	Abrupta	4	Alta tendencia a desarrollar movimientos en masa
>40	Escarpada	5	Muy alta tendencia a desarrollar movimientos en masa

Nota. Tomado de SGC (2015).

Como se presenta en los mapas de pendientes realizados para los levantamientos (figura 21, figura 22, figura 23) la zona de trabajo muestra una predominancia de la pendiente abrupta en las laderas de las montañas, la cual es una pendiente con un comportamiento con alta tendencia a desarrollar movimientos en masa.

Figura 21

Mapa de pendientes del levantamiento A1

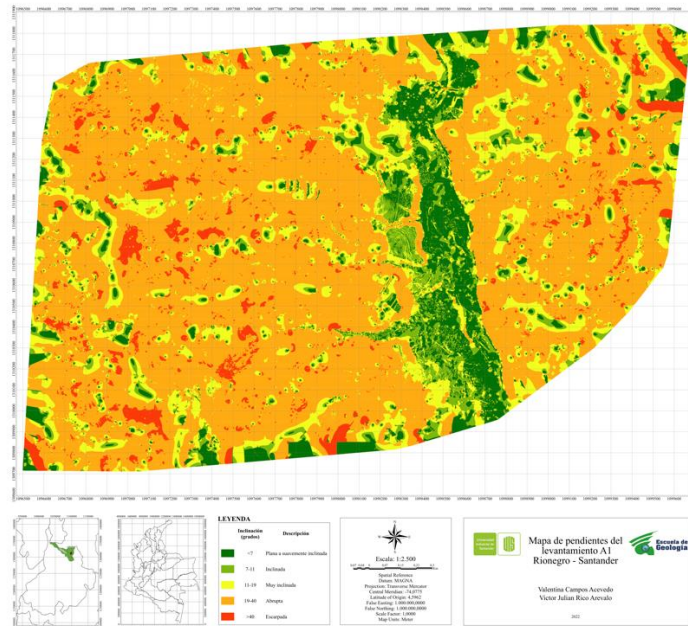


Figura 22

Mapa de pendientes del levantamiento A2

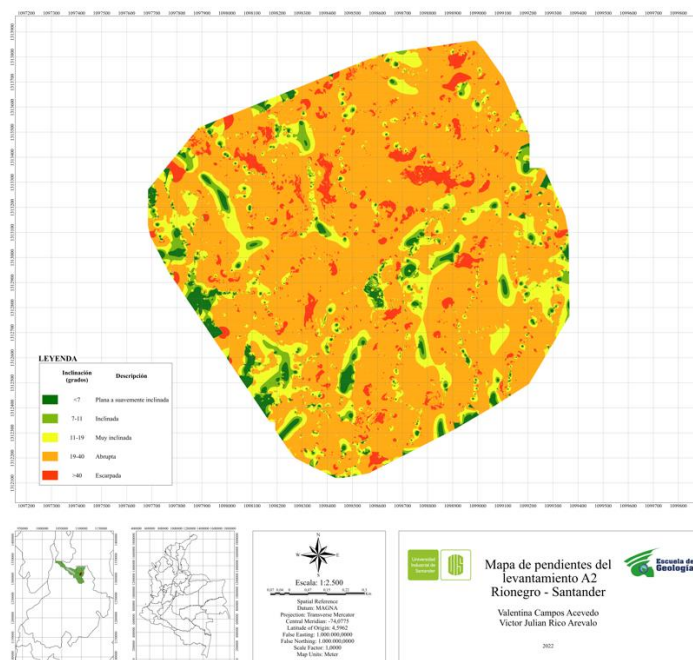
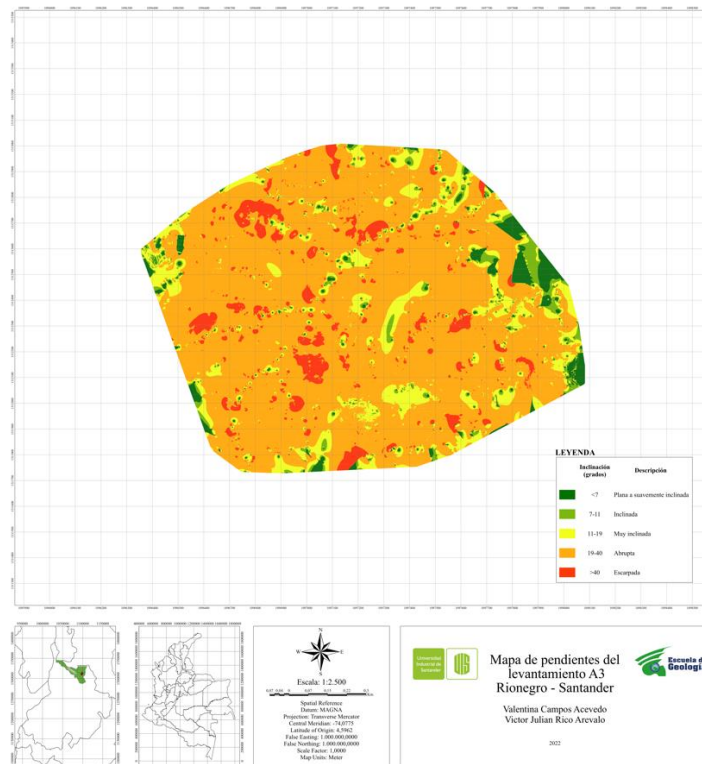


Figura 23

Mapa de pendientes levantamiento A3



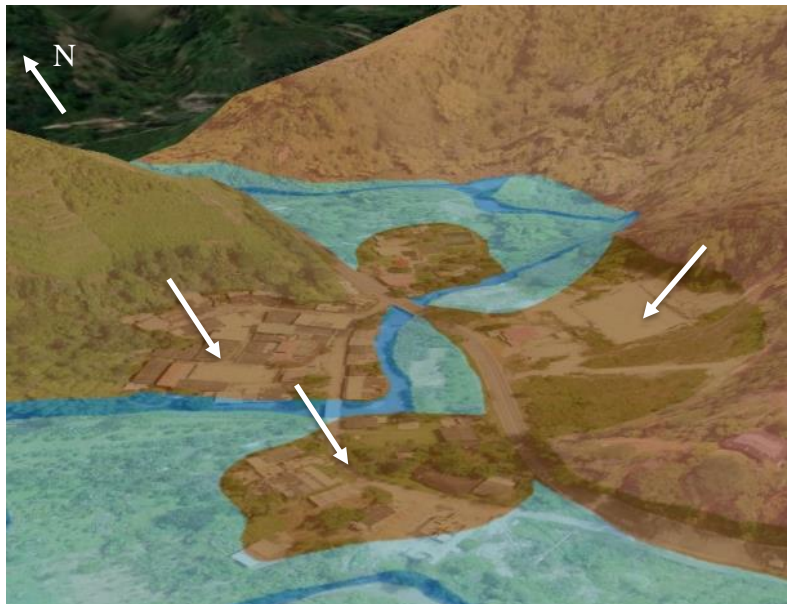
Se describen a continuación los elementos geomorfológicos identificados:

8.3.1 Elementos geomorfológicos de origen antrópico

8.3.1.1 Ladera explanada (Ale). Elemento geomorfológico definido como laderas que han sido intervenidas por el hombre para la construcción de vías, viviendas, cultivos o caminos. Estas laderas se observan principalmente cerca de la carretera principal. Tiene un área de 0.105 km² en el levantamiento A1, 0.076 km² en el levantamiento A2 y 0.03 km² del levantamiento A3 y de 2.27% del área total.

Figura 24

Ladera explanada ubicada en la parte norte del levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.311.499,38 E:1.098.491,60.



8.3.2 Elementos geomorfológicos de origen fluvial

8.3.2.1 Cauce aluvial (Fca). Elemento geomorfológico de canal con forma irregular que atraviesa el levantamiento A1, denominada Quebrada Silgará, presenta un ancho variable en su recorrido y una forma sinusoidal. Se puede observar su cauce en el levantamiento A1 de la zona de trabajo. Tiene un área de 0.037 km² en el levantamiento A1 y de 0.35% del área total.

Figura 25

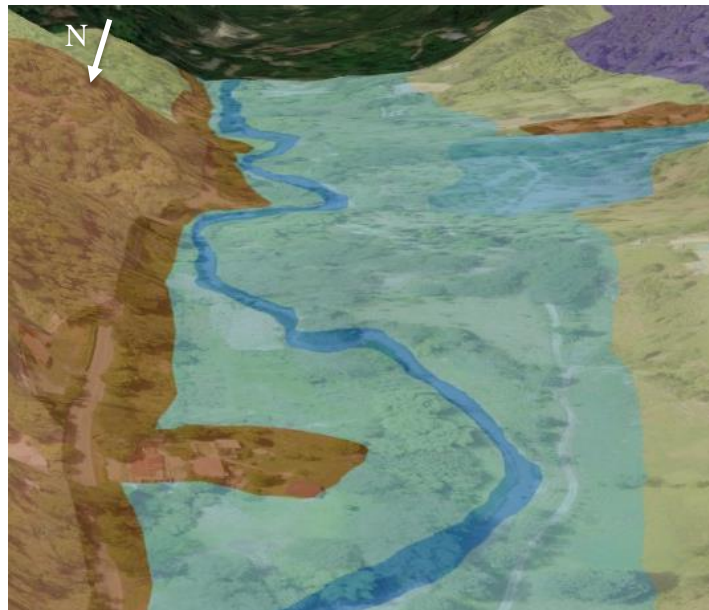
Cauce de la quebrada silgará ubicada en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.310.857,68 E:1.098.484,06.



8.3.2.2 Planicie de inundación (Fpi). Elemento geomorfológico de morfología plana que eventualmente puede ser inundable, que se ubica bordeando la quebrada y dentro de este elemento se ubican algunas viviendas. Tiene un área de 0.29 km² en el levantamiento A1, 0.056 km² en el levantamiento A2 y 0.04 km² del levantamiento A3 y de 4.19% del área total.

Figura 26

Planicie de inundación ubicada en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.310.418,25 E:1.098.594,64.



8.3.2.3 Barra puntual menor (Fbp). Elemento geomorfológico definido como un cuerpo en forma de medialuna, ubicada en la parte cóncava de la quebrada, se encuentra con vegetación arbustiva, formada por la sedimentación de la quebrada compuesta principalmente por arenas y gravas. Tiene un área de 0.002 km² en el levantamiento A1 y de 0.02% del área total.

Figura 27

Barra puntual menor ubicada en el cauce de la quebrada Silgará en el levantamiento A1.

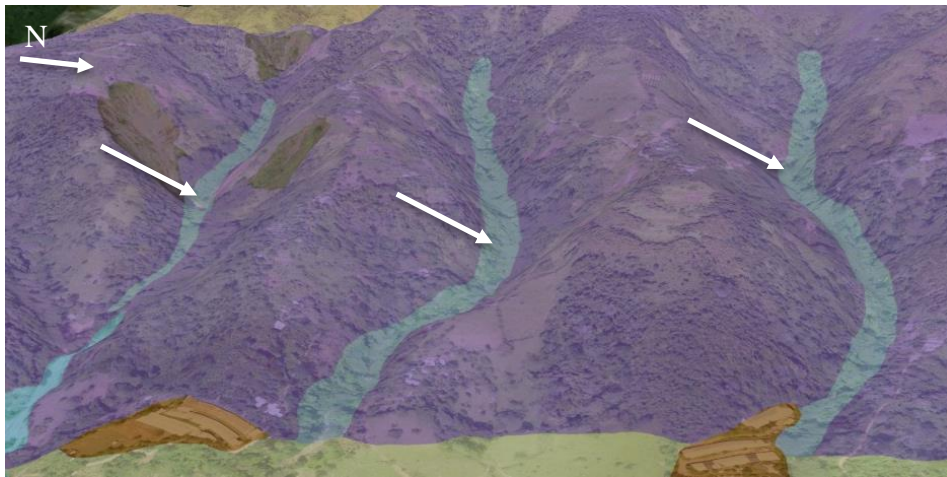
Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.310.418,25 E:1.098.594,64.



8.3.2.4 Escorrentía intermitente (Fei). Elemento geomorfológico que se ubica en la zona de drenajes del elemento geomorfológico de lomo de pendiente abrupta. Este se genera por las intensas lluvias en la zona y se generan flujos del material detrítico. Tiene un área de 0.138 km² en el levantamiento A1 y de 1.48% del área total.

Figura 28

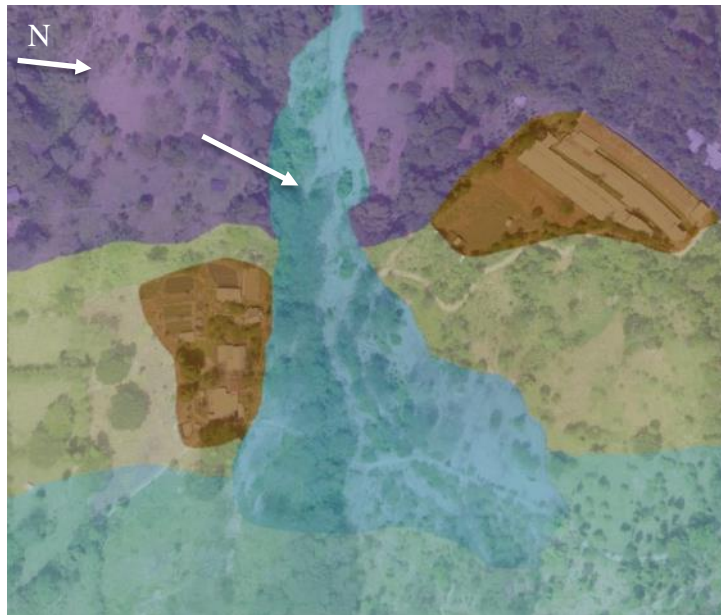
Escorrentía intermitente ubicada en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.310.829,33 E:1.097.586,98.



8.3.2.5 Abanico aluvial reciente (Faar). Elemento geomorfológico con una superficie en forma de cono de laderas cóncavas, formado a partir de la acumulación torrencial de material que desemboca en un terreno plano. Tiene un área de 0.046 km² en el levantamiento A1 y de 0.49% del área total.

Figura 29

Abanico aluvial reciente ubicado en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.310.435,91 E:1.098.398,11.

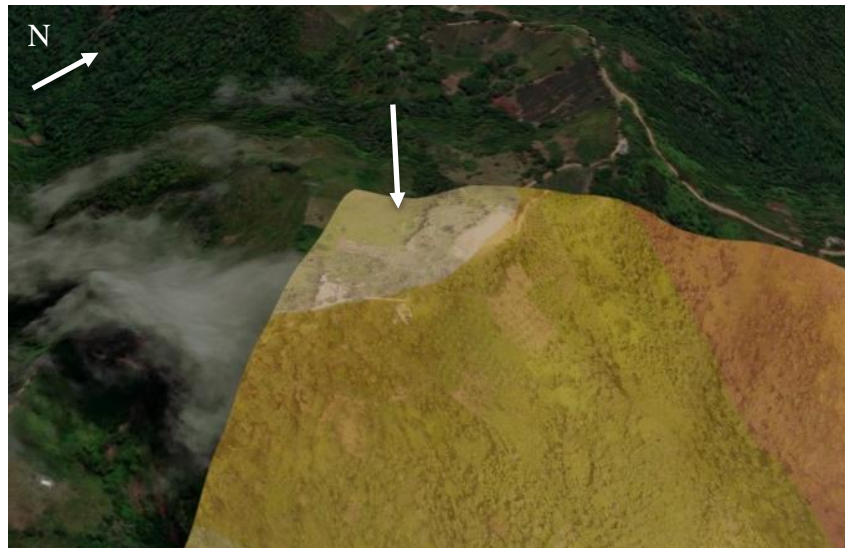


8.3.3 Elementos geomorfológicos de origen denudacional

8.3.3.1 Cima denudada suavemente inclinada (Dcsi). Elemento geomorfológico que corresponde a una superficie amplia plana a convexa, que presenta una pendiente plana a suavemente inclinada, limitada por laderas cuya inclinación puede ser entre muy inclinada a abrupta, originada de procesos de erosión intensa y actividad antrópica (SGC, 2014). Tiene un área de 0.03 km² del levantamiento A3 y de 0.32% del área total.

Figura 30

Cima denudada suavemente inclinada ubicada en el NE del levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.561,47 E:1.096.445,10.



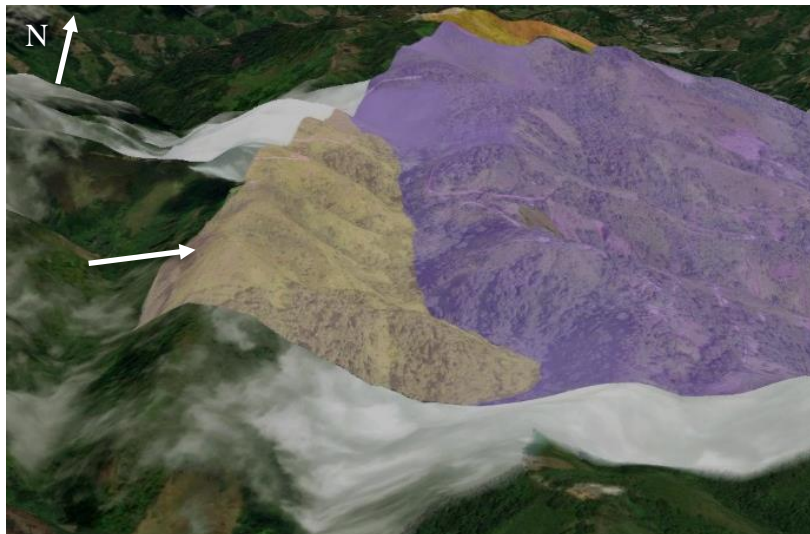
8.3.3.2 Colina remanente disectada de pendiente muy inclinada (Dcrdmi).

Elemento geomorfológico que se presenta como elevaciones del terreno y se caracteriza por presentar cimas redondeadas limitadas por laderas moderadamente largas de pendiente muy inclinada. Su origen se asocia a procesos denudativos (SGC, 2014). Tiene un área de 0.313 km² en el levantamiento A1 y de 3.37% del área total.

Figura 31

Colina remanente disectada de pendiente muy inclinada ubicada en el levantamiento A1.

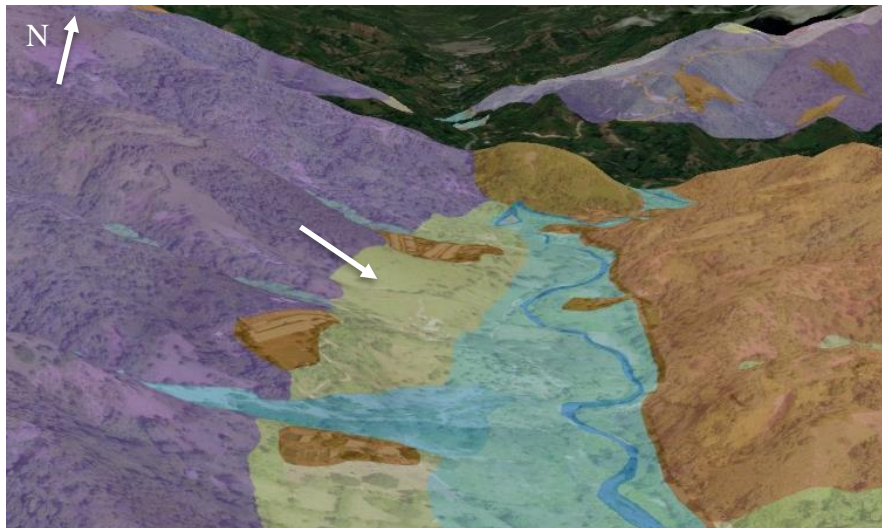
Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.309.998,20 E:1.096.606,91.



8.3.3.3 Ladera plana a suavemente inclinada (Dlp). Elemento geomorfológico que corresponde a superficies del terreno de pendiente plana a suavemente inclinada, donde la erosión es muy leve. Tiene un área de 0.223 km² en el levantamiento A1 y de 2.41% del área total.

Figura 32

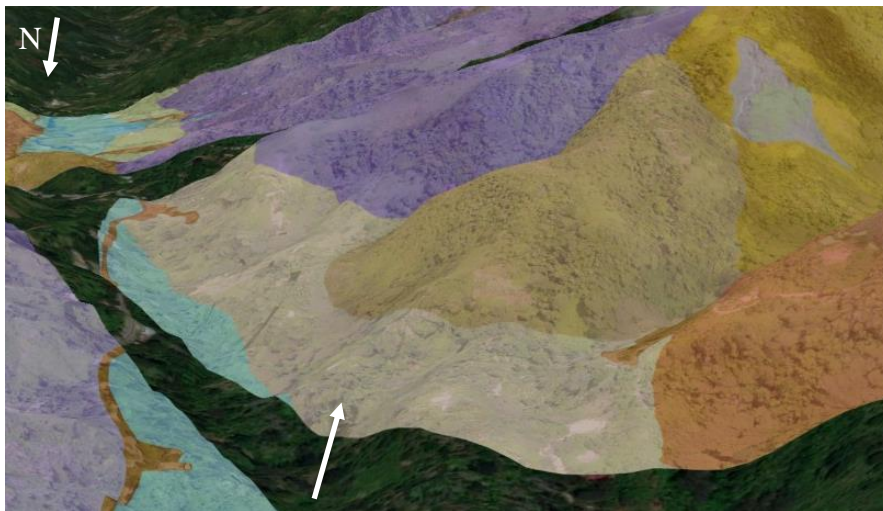
Ladera plana a suavemente inclinada ubicada en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.310.841,91 E:1.098.271,01.



8.3.3.4 Ladera de pendiente muy inclinada (Dlmi). Elemento geomorfológico que corresponde a superficies del terreno de pendiente muy inclinada, ubicada en las partes bajas de la montaña. Tiene un área de 0.209 km² del levantamiento A3 y de 2.26% del área total.

Figura 33

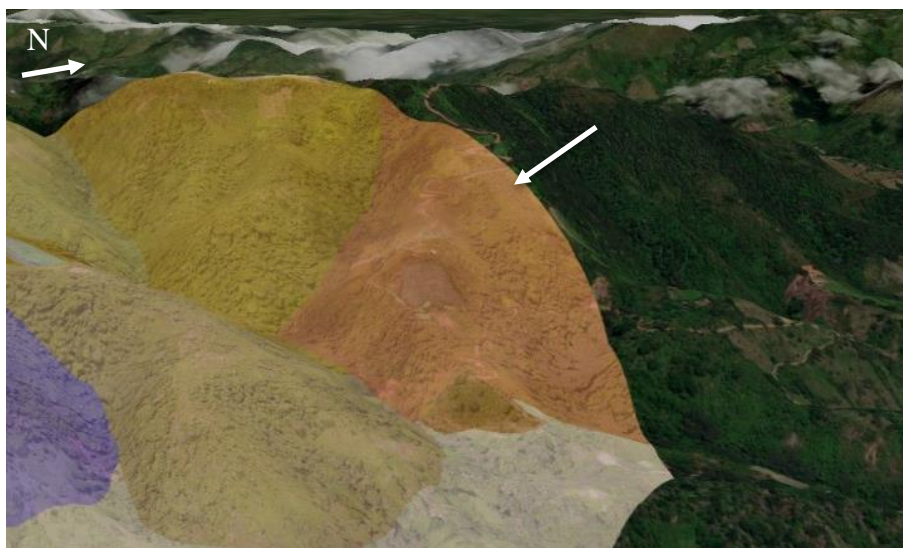
Ladera de pendiente muy inclinada ubicada en el levantamiento A3. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.524,69 E:1.097.586,98.



8.3.3.5 Ladera de pendiente abrupta (Dla). Elemento geomorfológico que corresponde a superficies del terreno de pendiente abrupta de prominencias topográficas, donde se observan procesos erosivos y laderas explanadas. Tiene un área de 0.216 km² del levantamiento A3 y de 2.32% del área total.

Figura 34

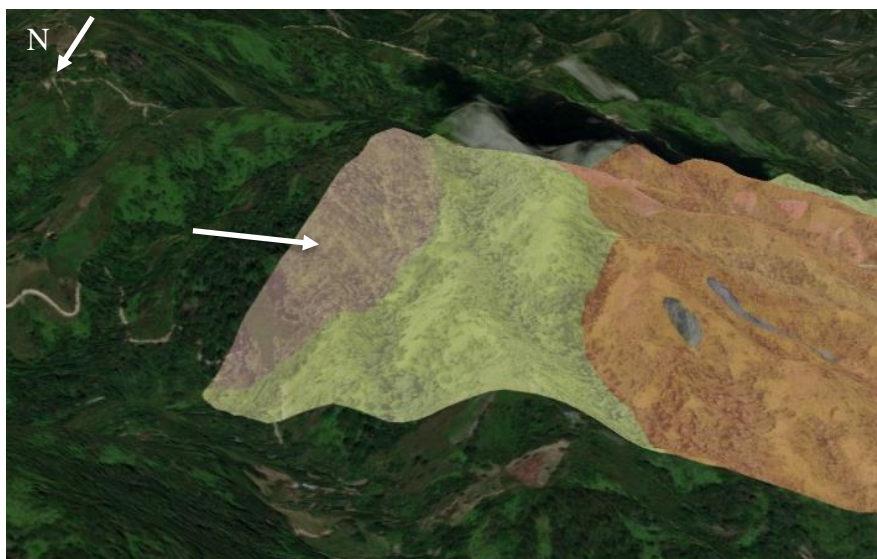
Ladera de pendiente abrupta ubicada en el levantamiento A3. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.905,32 E:1.097.097,86.



8.3.3.6 Ladera convexa de pendiente abrupta (Dlcxa). Elemento geomorfológico que corresponde a superficies del terreno de forma convexa de pendiente abrupta de prominencias topográficas. Tiene un área de 0.072 km² en el levantamiento A1 y de 0.78% del área total.

Figura 35

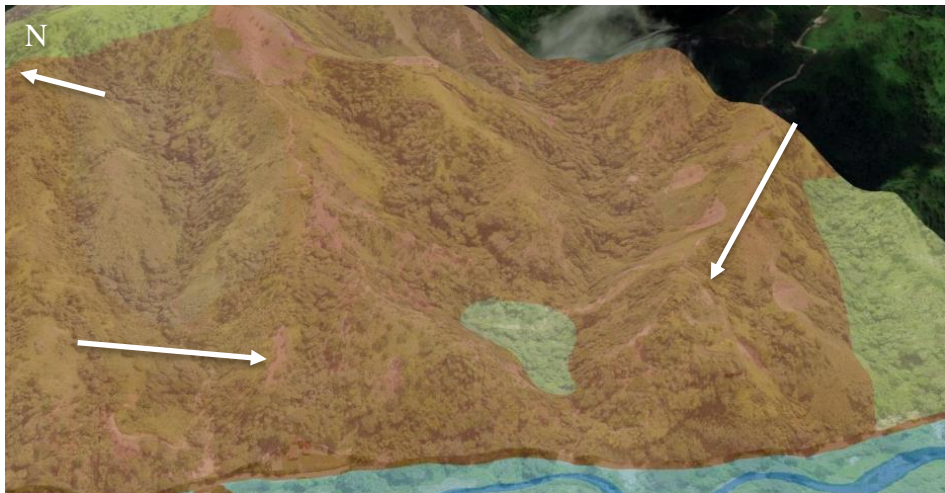
Ladera convexa de pendiente abrupta ubicada en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.311.632,88 E:1.099.548,97.



8.3.3.7 Ladera convexa de pendiente muy inclinada (Dlcxmi). Elemento geomorfológico que corresponde a superficies del terreno de forma convexa de pendiente muy inclinada de prominencias topográficas. En este elemento se presentan movimientos en masa y se observa procesos erosivos. Tiene un área de 0.88 km² en el levantamiento A1 y de 9.48% del área total.

Figura 36

Ladera convexa de pendiente muy inclinada ubicada en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.310.728,69 E:1.099.159,97.



8.3.3.8 Ladera cóncava de pendiente muy inclinada (Dlcvmi). Elemento geomorfológico que corresponde a superficies del terreno de forma cóncava de pendiente muy inclinada de prominencias topográficas. Tiene un área de 0.233 km² en el levantamiento A1 y de 2.51% del área total.

Figura 37

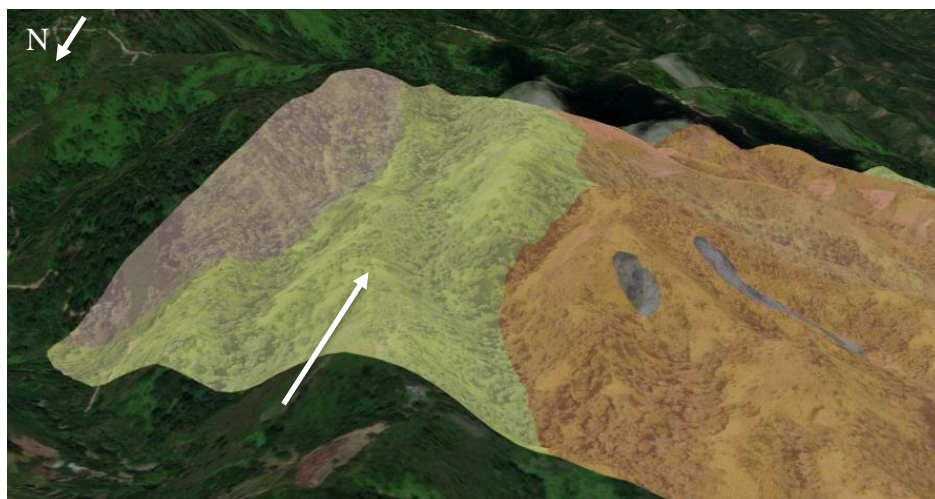
Ladera cóncava de pendiente muy inclinada ubicada en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.310.929,42 E:1.099.450,91.



8.3.3.9 Ladera denudada de pendiente muy inclinada (Dldmi). Elemento geomorfológico que corresponde a una prominencia topográfica de morfología montañosa formada de laderas largas muy inclinadas. Predominan procesos erosivos. Tiene un área de 0.313 km² en el levantamiento A1 y de 3.38% del área total.

Figura 38

Ladera denudada de pendiente muy inclinada ubicada en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.311.535,17 E:1.099.368,27.



8.3.3.10 Lomo poco disectado de pendiente muy inclinada (Dlpdmi). Elemento geomorfológico que corresponde a prominencias topográficas relacionadas a procesos tectónicos y de meteorización. Se caracterizan por tener topes redondeados, laderas cortas y pendientes de muy inclinadas a abruptas (SGC, 2014). Tiene un área de 0.066 km² en el levantamiento A1 y de 0.71% del área total.

Figura 39

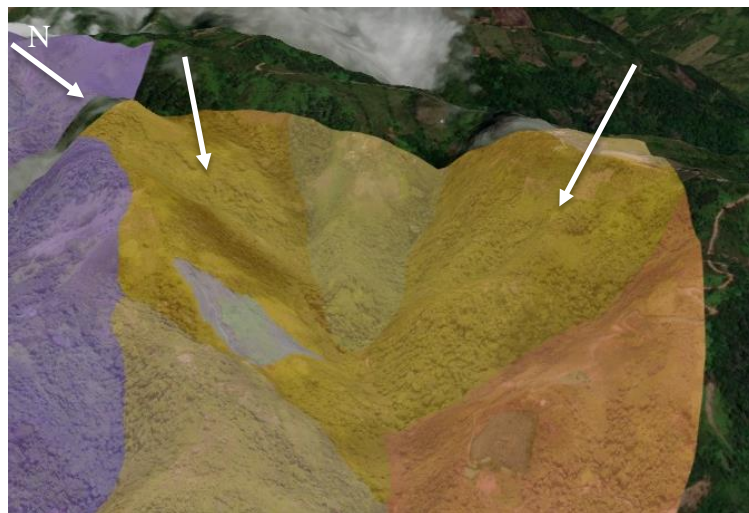
Lomo poco disectado de pendiente muy inclinada ubicado en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.311.668,74 E:1.098.333,11.



8.3.3.11 Ladera de pendiente abrupta de configuración cónica (Dlpac). Elemento geomorfológico que corresponde a superficies abruptas erosivas que hacen parte de una morfología en forma de cono. Tiene un área de 0.477 km² del levantamiento A3 y de 5.14% del área total.

Figura 40

Ladera de pendiente abrupta de cono ubicado en el levantamiento A3. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.285,34 E:1.096. 860,93.

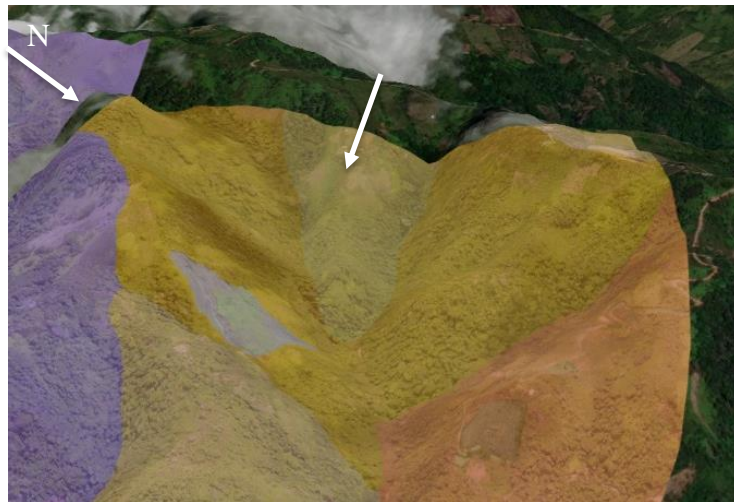


8.3.3.12 Ladera de pendiente muy inclinada de configuración cónica (Dlpmic).

Elemento geomorfológico que corresponde a superficies muy inclinadas erosivas que hacen parte de una morfología en forma de cono. Tiene un área de 0.109 km² del levantamiento A3 y de 1.18% del área total.

Figura 41

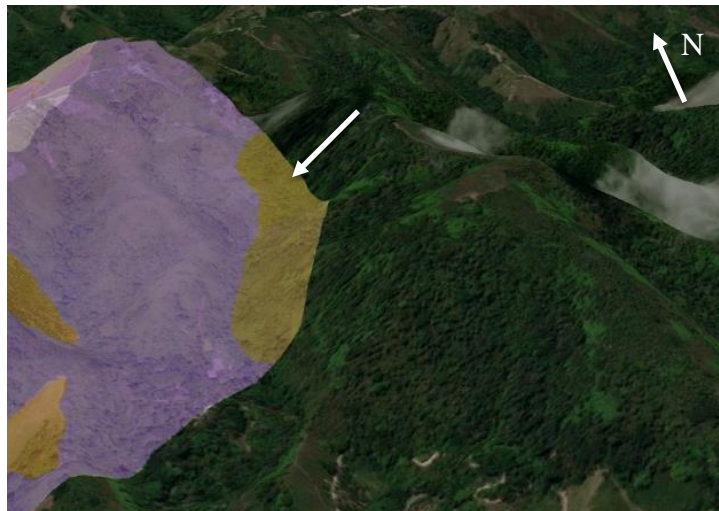
Ladera de pendiente muy inclinada de cono en el levantamiento A3. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.176,77 E:1.096.727,90.



8.3.3.13 Ladera abrupta de cerro remanente (Dlacr). Elemento geomorfológico que corresponde a una elevación topográfica de morfología colinada que sobresale de la topografía, limitado por laderas largas de pendiente abrupta. Su origen se relaciona a procesos de erosión y meteorización largos que dan lugar a geformas remanentes (SGC, 2014). Tiene un área de 0.0208 km² en el levantamiento A2 y de 0.22% del área total.

Figura 42

Ladera abrupta de cerro remanente ubicado en el levantamiento A2. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.892,72 E:1.099.324,36.



8.3.3.14 Ladera muy inclinada de cerro remanente (Dlmicr). Elemento geomorfológico *que* corresponde a una elevación topográfica de morfología colinada que sobresale de la topografía, limitado por laderas largas de pendiente muy inclinada. Su origen se relaciona a procesos de erosión y meteorización largos que dan lugar a geoformas remanentes (SGC, 2014). Tiene un área de 0.034 km² en el levantamiento A2 y de 0.37% del área total.

Figura 43

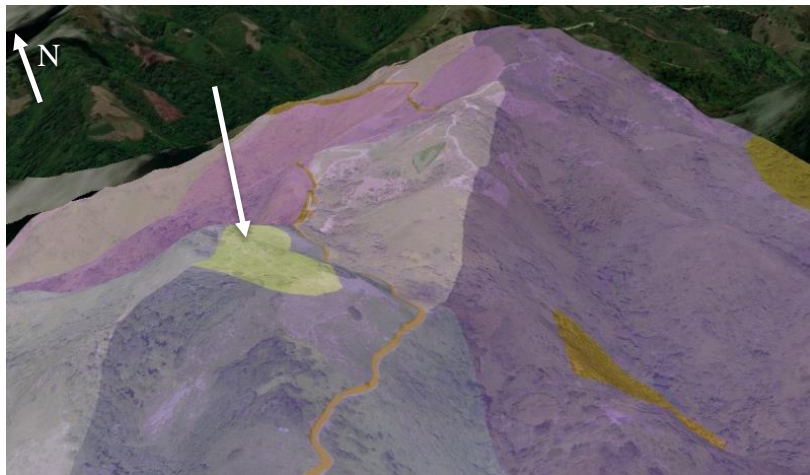
Ladera muy inclinada de cerro remanente ubicado en el levantamiento A2. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.638,87 E:1.099.230,63.



8.3.3.15 Superficie menor de erosión o aplanamiento (Dsma). Elemento geomorfológico que corresponde a un terreno plano a suavemente plano, que se ve afectado por una meteorización muy leve. Tiene un área de 0.015 km² en el levantamiento A1, 0.015 km² en el levantamiento A2 y de 0.33% del área total.

Figura 44

Superficie de erosión o aplanamiento ubicado en el levantamiento A1. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.888,64 E:1.098.610,60.

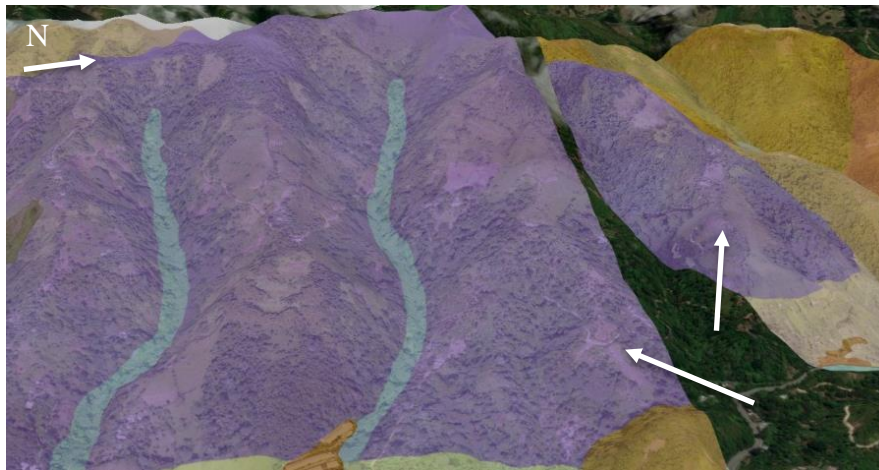


8.3.4 Elementos geomorfológicos de origen morfoestructural

8.3.4.1 Lomo de pendiente muy inclinada (Slpmi). Elemento geomorfológico definido como laderas simétricas alomadas dispuestas perpendiculares al rumbo de las estructuras geológicas, se caracteriza por tener una pendiente muy inclinada (SGC, 2014). Tiene un área de 2.811 km² en el levantamiento A1 y 0.323 km² en el levantamiento A3 y de 33.75% del área total.

Figura 45

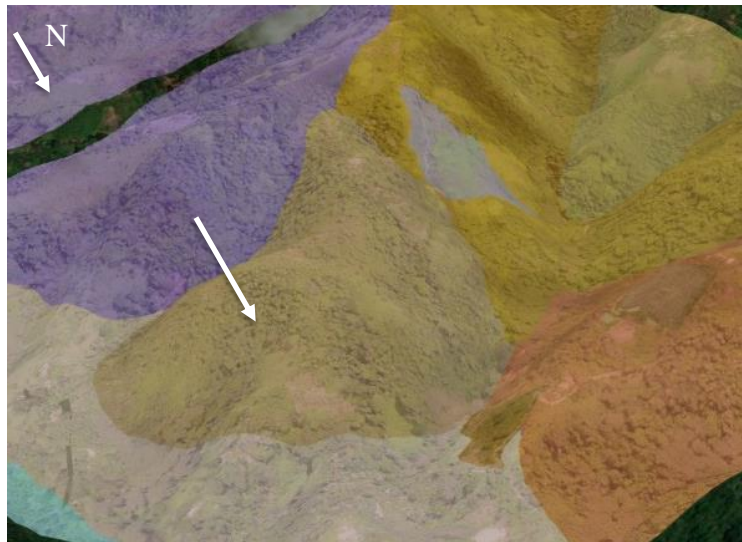
Lomo de pendiente muy inclinada ubicado en el levantamiento A1 y A3. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.008,80 E:1.097.474,72.



8.3.4.2 Lomo de pendiente abrupta (Slpa). Elemento geomorfológico definido como ladera alomada dispuestas perpendiculares al rumbo de las estructuras geológicas, se caracteriza por tener una pendiente abrupta (SGC, 2014). Tiene un área de 0.19 km² del levantamiento A3 y de 2.06% del área total.

Figura 46

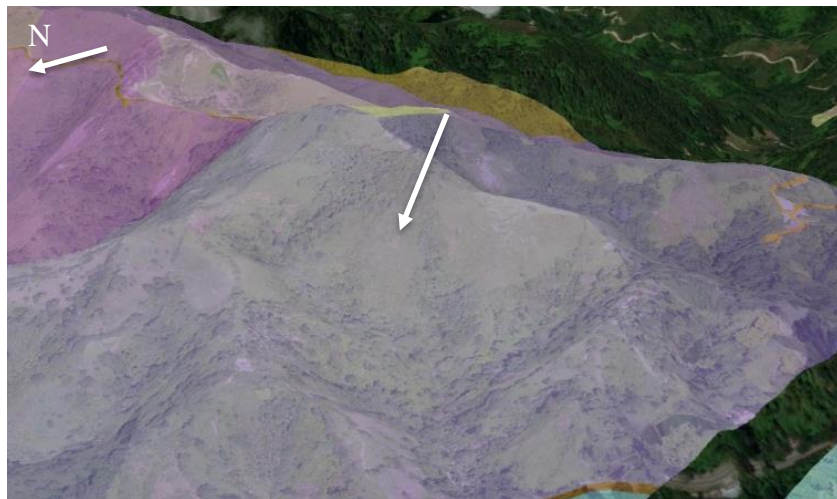
Lomo de pendiente abrupta ubicado en el levantamiento A3. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.466,49 E:1.097.453,58.



8.3.4.3 Ladera abrupta de lomo de falla (Slalf). Elemento geomorfológico que corresponde a superficies de pendiente abrupta en salientes topográficos alomados formados por la presencia de una falla de rumbo, el trazo de la falla de Bucaramanga, que por el desplazamiento lateral y la geometría del plano de falla, da lugar a la expulsión de un bloque de terreno (SGC, 2014). Tiene un área de 0.13 km² en el levantamiento A2 y de 1.40% del área total.

Figura 47

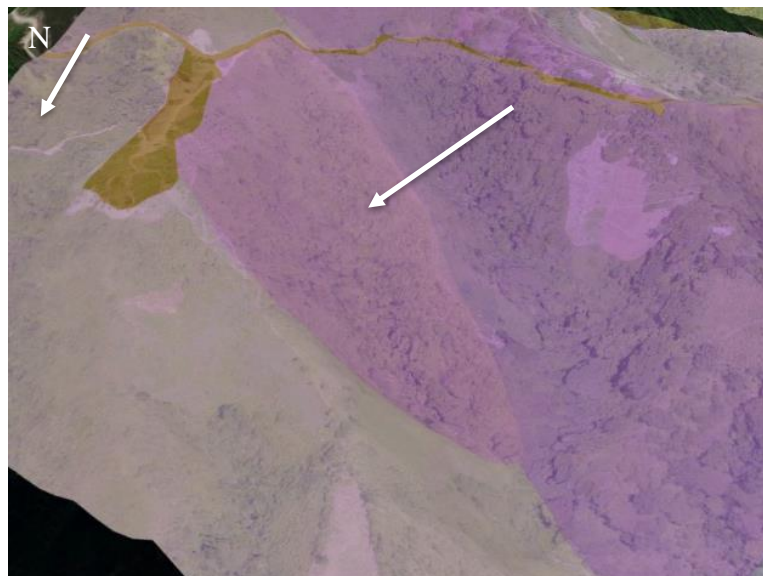
Ladera abrupta de lomo de falla ubicado en el levantamiento A2. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.891,17 E:1.098.316,80.



8.3.4.4 Ladera estructural cóncava de pendiente abrupta (Slecvpa). Elemento geomorfológico que corresponde a una superficie en declive, definida por planos de diaclasamiento en la misma dirección de la pendiente (SGC, 2014), la ladera es de morfología cóncava, longitud moderada a larga de pendiente abrupta. Tiene un área de 0.059 km² en el levantamiento A2 y de 0.64% del área total.

Figura 48

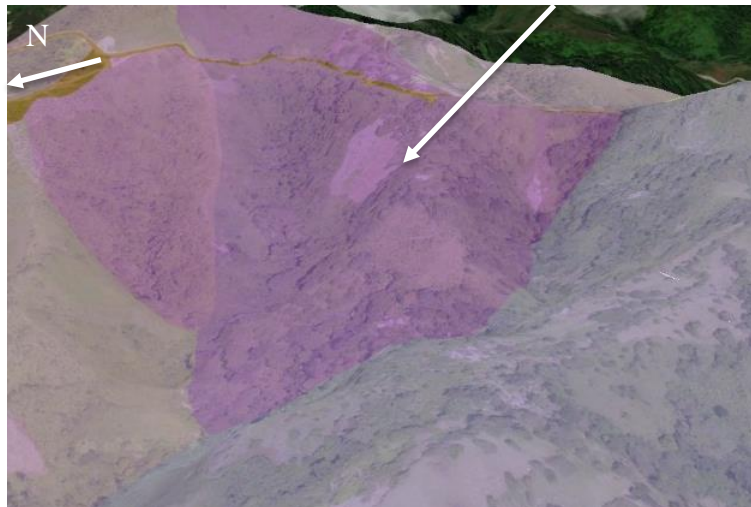
Ladera estructural cóncava de pendiente abrupta en el levantamiento A2. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.313.526,25 E:1.098.878,16.



8.3.4.5 Ladera estructural convexa de pendiente abrupta (Slecxpa). Elemento geomorfológico que corresponde a una superficie en declive, definida por planos de diaclasamiento en la misma dirección de la pendiente (SGC, 2014), la ladera es de morfología convexa, longitud moderada a larga de pendiente abrupta. Tiene un área de 0.188 km² en el levantamiento A2 y de 2.02% del área total.

Figura 49

Ladera estructural convexa de pendiente abrupta ubicada en el levantamiento A2. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.313.347,91 E:1.098.704,46.



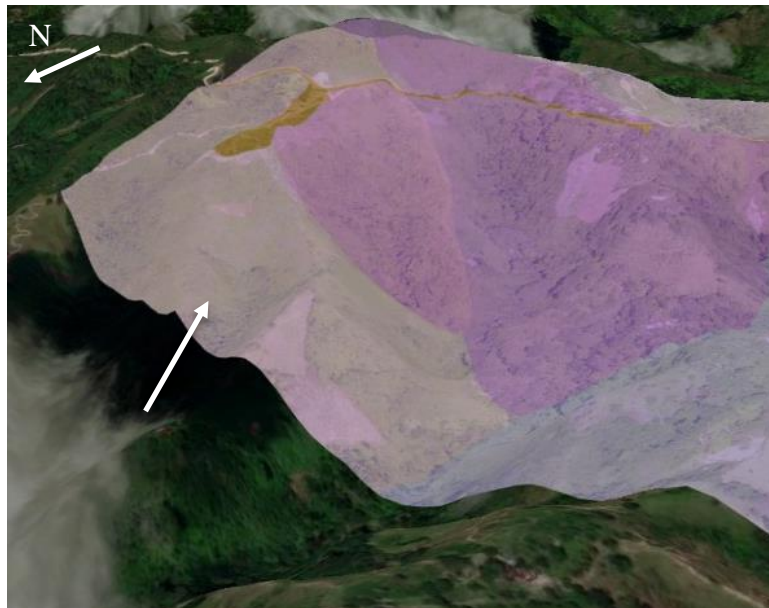
8.3.4.6 Ladera estructural convexa de pendiente muy inclinada (Slecxpmi).

Elemento geomorfológico que corresponde a una superficie en declive, definida por planos de diaclasamiento en la misma dirección de la pendiente (SGC, 2014), la ladera es de morfología convexa, longitud moderada a larga de pendiente muy inclinada. Tiene un área de 0.164 km² en el levantamiento A2 y de 1.77% del área total.

Figura 50

Ladera estructural convexa de pendiente muy inclinada ubicada en el levantamiento A2.

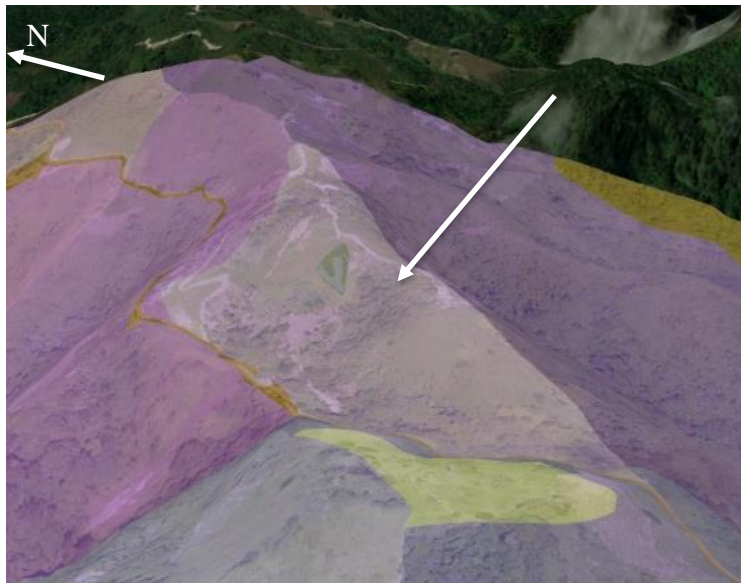
Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.313.704,84 E:1.098.783,27.



8.3.4.7 Ladera estructural de pendiente inclinada (Slepi). Elemento geomorfológico que corresponde a una superficie en declive, definida por planos de diaclasamiento en la misma dirección de la pendiente (SGC, 2014), la ladera es de longitud corta a moderada de pendiente inclinada. Tiene un área de 0.073 km² en el levantamiento A2 y de 0.79% del área total.

Figura 51

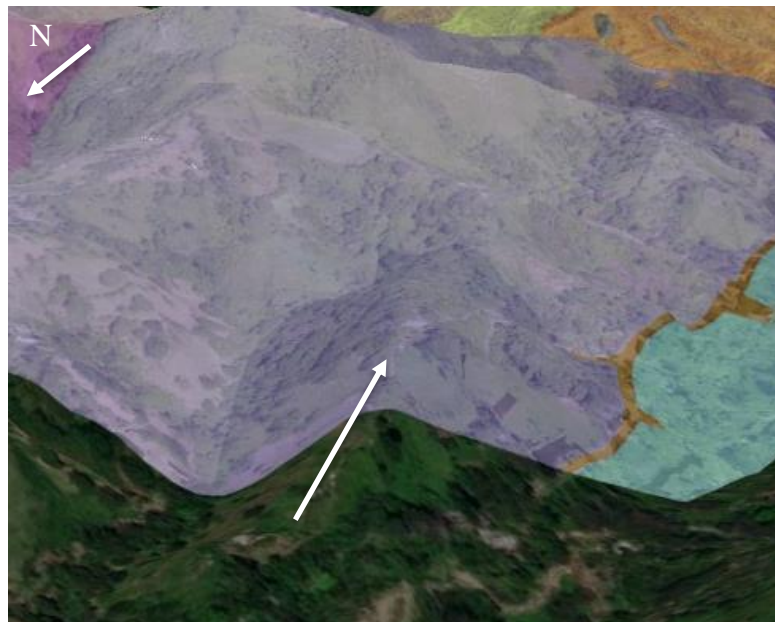
Ladera estructural de pendiente inclinada ubicada en el levantamiento A2. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.313.048,27 E:1.098.835,32.



8.3.4.8 Ladera inclinada de lomo de falla (Slilf). Elemento geomorfológico que corresponde a superficies de pendiente inclinada en salientes topográficos alomados formados por la presencia de una falla de rumbo, el trazo de la falla de Bucaramanga, que por el desplazamiento lateral y la geometría del plano de falla, da lugar a la expulsión de un bloque de terreno (SGC, 2014). Tiene un área de 0.089 km² en el levantamiento A2 y de 4.27% del área total.

Figura 52

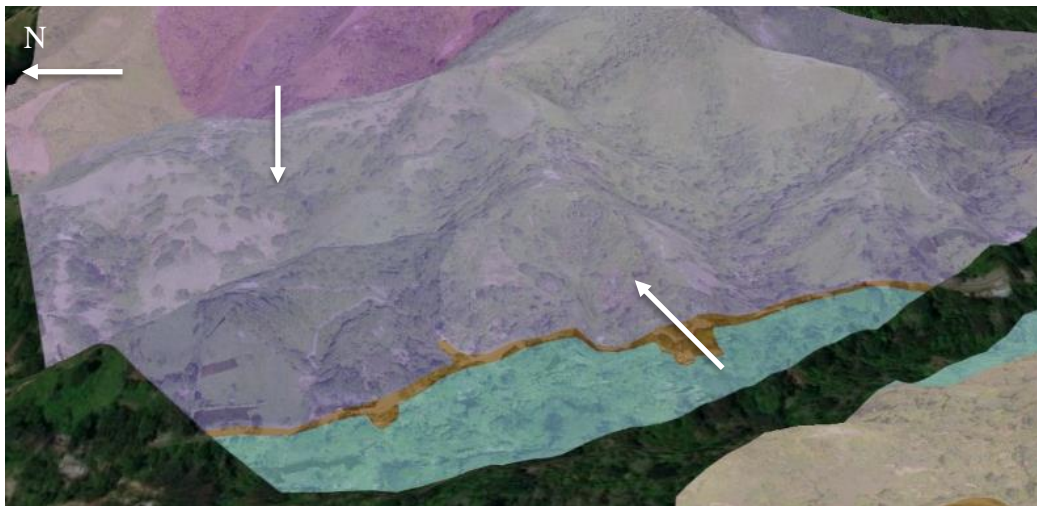
Ladera inclinada de lomo de falla ubicada en el levantamiento A2. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.313.304,86 E:1.097.917,75.



8.3.4.9 Ladera muy inclinada de lomo de falla (Slmilf). Elemento geomorfológico que corresponde a superficies de pendiente muy inclinada en salientes topográficos alomados formados por la presencia de una falla de rumbo, el trazo de la falla de Bucaramanga, que por el desplazamiento lateral y la geometría del plano de falla, da lugar a la expulsión de un bloque de terreno (SGC, 2014). Tiene un área de 0.105 km² en el levantamiento A1, 0.459 km² en el levantamiento A2 y de 4.79% del total.

Figura 53

Ladera muy inclinada de lomo de falla ubicado en el levantamiento A2. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.313.178,80 E:1.098.216,46.



8.3.4.10 Ladera muy inclinada de contrapendiente (Dlmic). Elemento geomorfológico que corresponde a laderas muy inclinadas de morfología regular, definida por planos de diaclasamiento dispuesto en sentido contrario a la inclinación natural del terreno (SGC, 2014). Tiene un área de 0.385 km² en el levantamiento A2 y de 4.14% del área total.

Figura 54

Ladera muy inclinada de contrapendiente ubicada en el levantamiento A2. Imagen obtenida de Google Earth desde las coordenadas N:1.312.814,14 E:1.099.029,02.

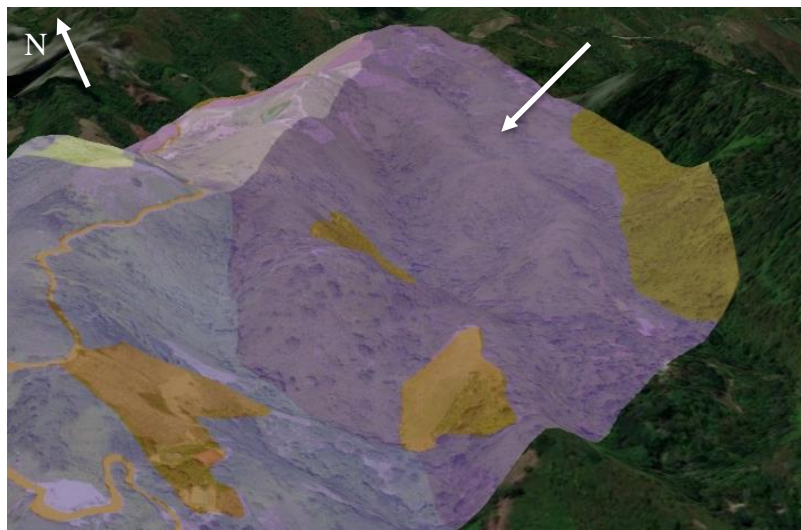


Figura 55

Mapa geomorfológico del levantamiento A1 escala 1:2500.

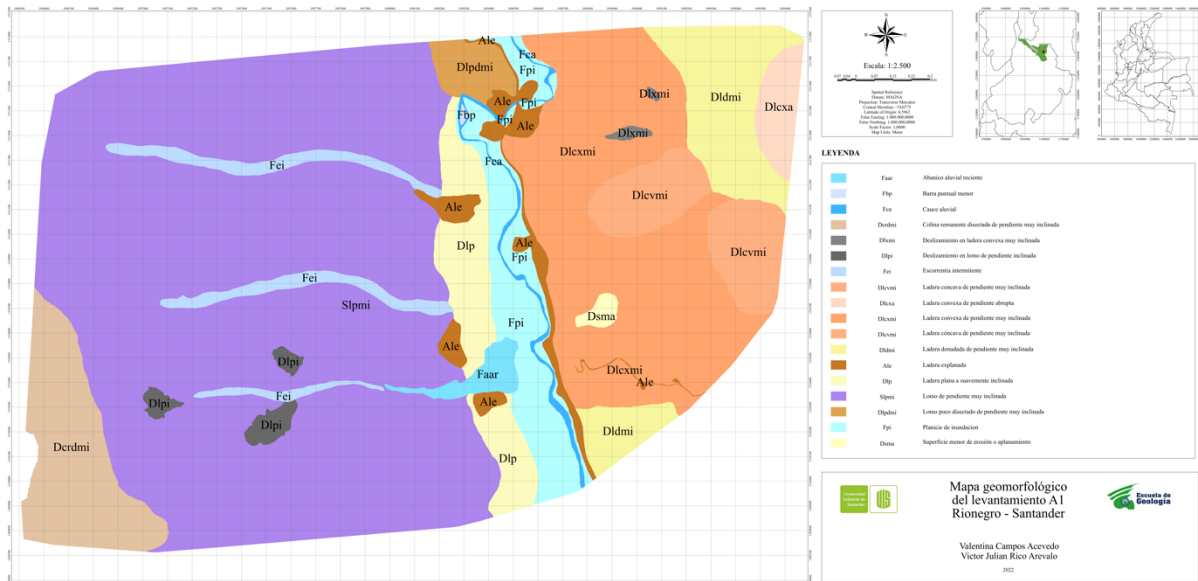


Figura 56

Mapa geomorfológico del levantamiento A2 escala 1:2500.

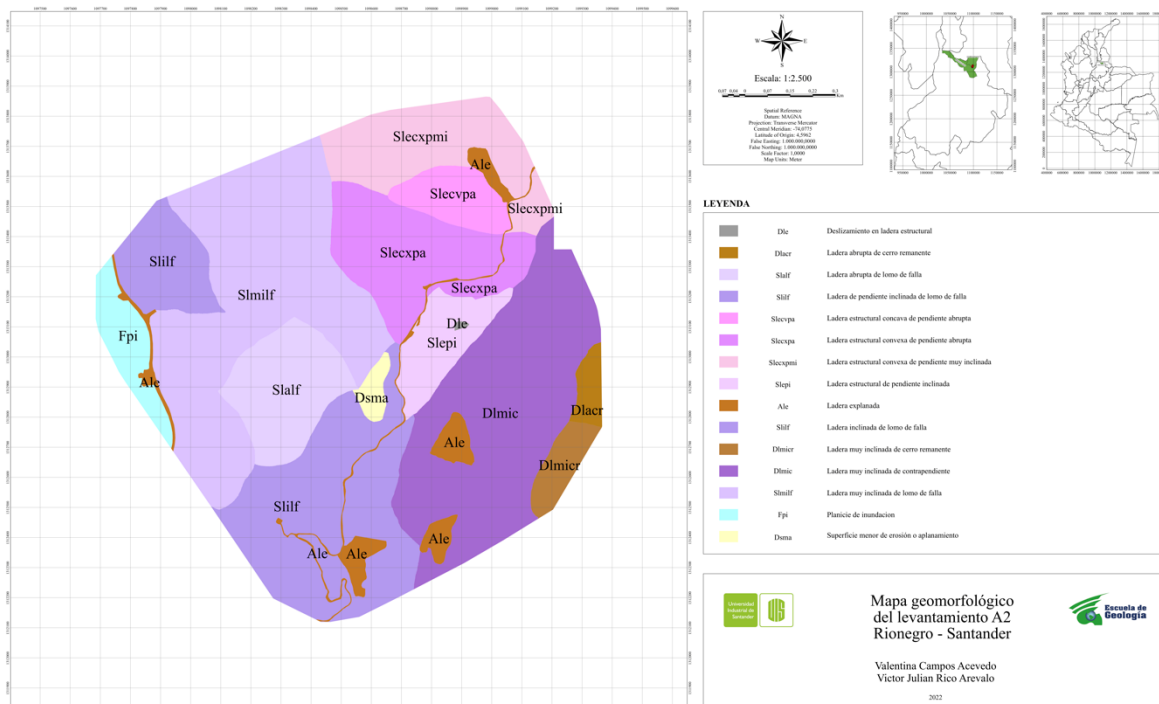
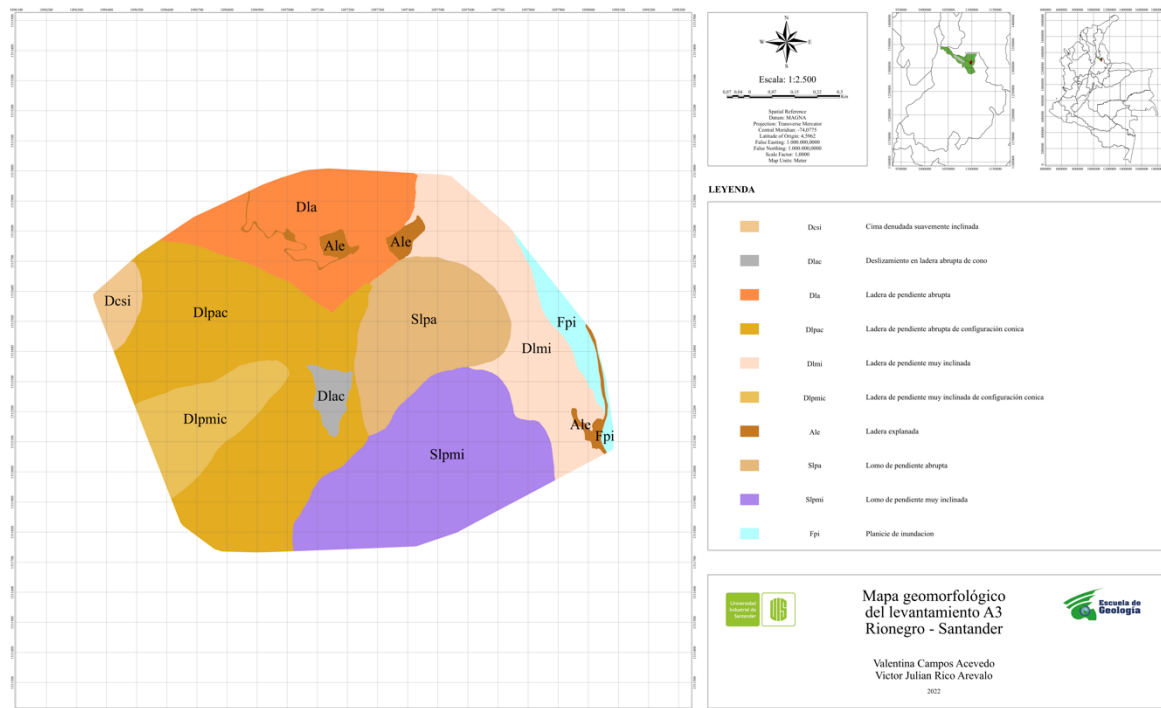


Figura 57

Mapa geomorfológico del levantamiento A3 escala 1:2500.



8.4 Mapa de Cobertura de suelos

Se generó el mapa de cobertura de suelos a partir de la clasificación Corine Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM, 2010), la cual divide las coberturas en cinco grupos principales: 1. Terrenos artificiales, 2. Terrenos agrícolas, 3. Bosques y áreas seminaturales, 4. Áreas húmedas y 5. Superficies de agua, a su vez, estos se subdividen de acuerdo con la cantidad de detalle que requiera el trabajo.

Se clasificaron 12 coberturas de suelo en la zona de trabajo las cuales se presentan en la tabla 3.

Tabla 3

Tabla de coberturas de suelo según Corine Land Cover identificadas en la zona de trabajo.

Cobertura de suelo según Corine Land Cover para Colombia					
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6
Territorios artificializados	Zonas urbanizadas	Tejido urbano discontinuo			
	Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados			
Terrenos Agrícolas	Cultivos permanentes				
	Pastos	Pastos limpios			
		Pastos arbolados			
Bosques y áreas seminaturales	Bosques	Bosque denso	Bosque denso alto de tierra firme		
			Bosque denso bajo de tierra firme		
		Bosque fragmentado			
	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva		Herbazal denso	Herbazal denso de tierra firme arbolado	
Superficies de agua	Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	Tierras desnudas y degradadas			
	Aguas continentales	Ríos			

Nota. Tomado y modificado de (IDEAM, 2010).

A continuación, se describen las unidades de coberturas identificadas:

8.4.1 Tejido urbano discontinuo

Cobertura que corresponde a espacios de suelo ocupadas por viviendas y algunas zonas verdes que están construidas dispersa y discontinuamente sobre el terreno, rodeadas de vegetación (IDEAM, 2010). Se identifica esta cobertura en los costados de la vía principal y vías no pavimentadas en los tres deslizamientos. El área de esta cobertura es de 0.055 km² en el levantamiento A1, 0,0014 km² en el levantamiento A2 y de 0.004 km² en el levantamiento A3 y de 0.6% del área total.

Figura 58

Tejido urbano discontinuo ubicado en el levantamiento A1. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.311.535,37 E:1.98.458,30. Fecha: 24 septiembre 2021.



8.4.2 Red vial

Cobertura que corresponde a espacios artificializados con infraestructuras de comunicaciones como carreteras, autopistas y vías férreas (IDEAM, 2010). Se identifica la vía

principal Bucaramanga – San Alberto que comunica a los municipios de Rionegro y El Playón y a algunas veredas. El área de esta cobertura es de 0.023 km² en el levantamiento A1, 0,0084 km² en el levantamiento A2 y de 0.0042 km² en el levantamiento A3 y 0.4% del área total.

Figura 59

Carretera principal Bucaramanga – Aguachica ubicada en el levantamiento A1. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.311.698,20 E:1.098.477,89. Fecha: 24 septiembre 2021.



8.4.3 Cultivos permanentes

Cobertura que corresponde a territorios dedicados a cultivos cuyo ciclo vegetativo es mayor a un año, produciendo varias cosechas sin necesidad de volverse a plantar (IDEAM, 2010). Se observan cultivos de café, cacao, plátano, entre otros. El área de esta cobertura es de 0.152 km² en el levantamiento A1, 0,051 km² en el levantamiento A2 y de 0.029 km² en el levantamiento A3 y 2.5% del área total.

Figura 60

Cultivos permanentes ubicados en el levantamiento A1. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.311.056,10 E:1.097.394,49. Fecha: 24 septiembre 2021.

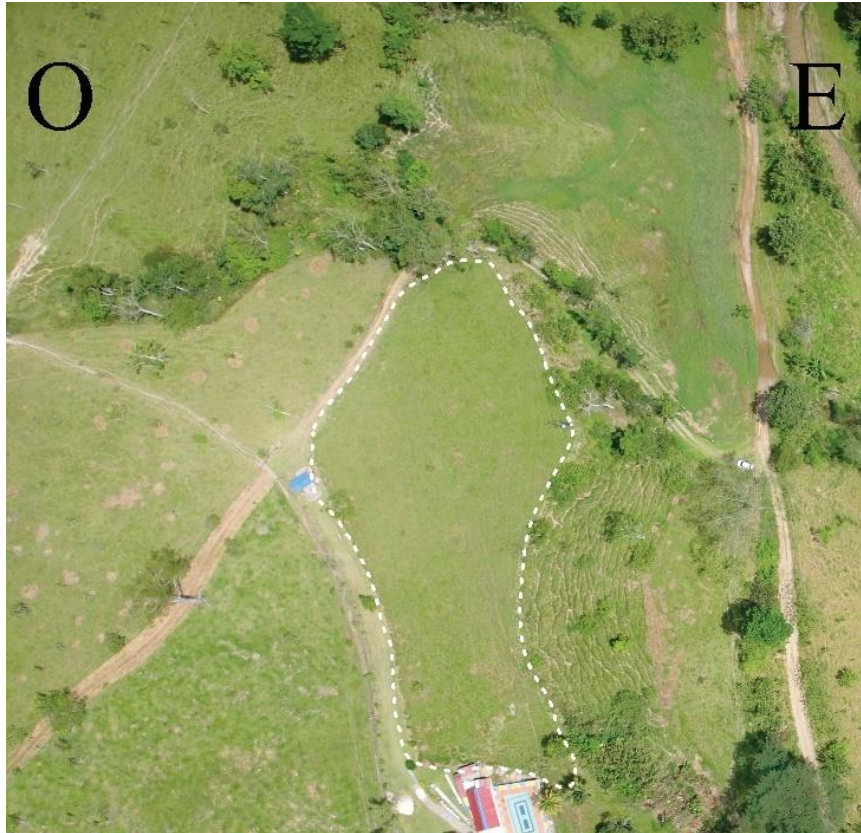


8.4.4 Pastos limpios

Cobertura que corresponde a las tierras ocupadas por pastos limpios donde no hay presencia de otra vegetación como arbustos o herbazales, igualmente donde se puede observar que se realizan prácticas de manejo (limpieza, fertilización, etc.) y de cuidado de la tierra (IDEAM, 2010). Se identifican principalmente en zonas cercanas a las viviendas. El área de esta cobertura es de 0.122 km² en el levantamiento A1 y de 0.022 km² en el levantamiento A3 y 1.6% del área total.

Figura 61

Pastos limpios ubicados en el levantamiento A1. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N: 1.310.831,99 E: 1.098.356,00. Fecha: 24 septiembre 2021.



8.4.5 Pasto arbolado

Cobertura que corresponde a tierras cubiertas con pastos y árboles, estos ocupados de forma dispersa en el terreno y en varios casos se han ocupado los árboles como división de terrenos, con altura de 5 m (IDEAM, 2010). Se identifica principalmente en zonas cercanas a la quebrada y a algunos cultivos. El área de esta cobertura es de 0.972 km² en el levantamiento A1, 0.179 km² en el levantamiento A2 y de 0.087 km² en el levantamiento A3 y 13.3% del área total.

Figura 62

Pastos arbolados ubicados en el levantamiento A1. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.310.622,13 E:1.098.460,09. Fecha: 24 septiembre 2021.



8.4.6 Pasto enmalezados

Cobertura que corresponde a pastos y malezas conformando asociaciones de vegetación secundaria, debido principalmente a las pocas prácticas de manejo o se encuentra el terreno en abandono. La altura de la vegetación secundaria es menor a 1.5 m (IDEAM, 2010). Se encuentra principalmente relacionado al bosque fragmentado y pastos arbolados. El área de esta cobertura es de 0.544 km² en el levantamiento A1, 0. 229 km² en el levantamiento A2 y de 0.144 km² en el levantamiento A3 y 9.9% del área total del levantamiento.

Figura 63

Pastos enmalezados ubicados en el levantamiento A3. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N: 1.312.136,44 E: 1.097.317,66. Fecha: 22 julio 2022.



8.4.7 Bosque denso alto de tierra firme

Cobertura que corresponde a las áreas con vegetación de tipo arbóreo, más o menos continuo y denso, que presentan una altura próxima a 15 m y que se encuentra localizada en zonas que no presentan procesos de inundación periódicos (IDEAM, 2010). Se encuentra ubicado principalmente en las partes más altas de la montaña. El área de esta cobertura es de

0.865 km² en el levantamiento A1, 0.576 km² en el levantamiento A2 y de 0.344 km² en el levantamiento A3 y 19.2% del área total.

Figura 64

Bosque denso alto de tierra firme ubicado en el levantamiento A1. *Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.310.315,77 E:1.097.310,09. Fecha: 22 julio 2022.*



8.4.8 Bosque denso bajo de tierra firme

Cobertura que corresponde a las áreas con vegetación arbóreo más o menos continuo y denso, que presentan una altura de entre 5 y 15 m, y que se encuentra localizada en zonas que no presentan procesos de inundación periódicos (IDEAM, 2010). Se encuentra principalmente relacionado con el bosque denso alto y al herbazal denso de tierra firme arbolado. El área de esta cobertura es de 0.449 km² en el levantamiento A1, 0.156 km² en el levantamiento A2 y de 0.351 km² en el levantamiento A3 y 10.3% del área total.

Figura 65

Bosque denso bajo de tierra firme ubicado en el levantamiento A1. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.310.075,55 E: 1.097.604,56. Fecha: 22 julio 2022.



8.4.9 Bosque fragmentado

Cobertura que comprende a los terrenos cubiertos por bosques naturales densos o abiertos que se ven interrumpidos por la inclusión de otros tipos de coberturas como pastos, cultivos u otra vegetación (IDEAM, 2010). Se genera principalmente por la interrupción de su crecimiento debido a zonas con pastos enmalezados y herbazales densos. El área de esta cobertura es de 0.855 km² en el levantamiento A1, 0.254 km² en el levantamiento A2 y de 0.255 km² en el levantamiento A3 y 14.7% del área total.

Figura 66

Bosque fragmentado ubicado en el levantamiento A1. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.310.903,88 E: 1.099.198,34. Fecha: 24 septiembre 2021.



8.4.10 Herbazal denso de tierra firme arbolado

Cobertura que corresponde a terrenos dominadas por vegetación herbácea con presencia de alguna vegetación arbóreas y/o arbustiva dispersos (IDEAM, 2010). El área de esta cobertura es de 1.202 km² en el levantamiento A1, 0.424 km² en el levantamiento A2 y de 0.302 km² en el levantamiento A3 y 20.7% del área total.

Figura 67

Herbazal denso de tierra firme arbolado ubicado en el levantamiento A3. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.312.084,66 E:1.097.250,18. Fecha: 24 septiembre 2021.



8.4.11 Tierras desnudas y degradadas

Cobertura que corresponde a superficies abandonadas, desprotegidas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, que han sido afectadas por procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema y/o condiciones climáticas extremas (IDEAM, 2010). Se incluyen también los caminos o trochas realizadas para la movilidad de los habitantes de la zona y terrenos deforestados para cultivos. El área de esta cobertura es de 0.346 km² en el levantamiento A1, 0.168 km² en el levantamiento A2 y de 0.107 km² en el levantamiento A3 y 6.7% del área total.

Figura 68

Tierras desnudas y degradadas ubicadas en el levantamiento A2. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.311.475,53 E:1.097.430,89. Fecha: 24 septiembre 2021.



8.4.12 Quebrada*

Según el IDEAM (s.f) es una cobertura que corresponde a un curso natural de agua normalmente pequeño y poco profundo, por lo general de flujo permanente, en cierto modo turbulento y tributario de un río y/o mar. La Quebrada Silgará, la cual atraviesa varias veredas en el municipio de Rionegro, presenta un ancho variable a lo largo de su recorrido pero se aprecia en la zona de estudio un ancho aproximado de 8 m, también presenta un poco de sinuosidad y se puede observar la presencia de barras puntuales a lo largo de su recorrido . El área de esta cobertura es de 0.019 km² en el levantamiento A1, y 0.2% del área total.

*Se nombró quebrada debido a que la leyenda nacional de cobertura de suelos CLC no tiene el nivel de detalle requerido para esta cobertura.

Figura 69

Curso de la quebrada silgará a lo largo del levantamiento A1. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.311.435,92 E:1.098.282,59. Fecha: 24 septiembre 2021.

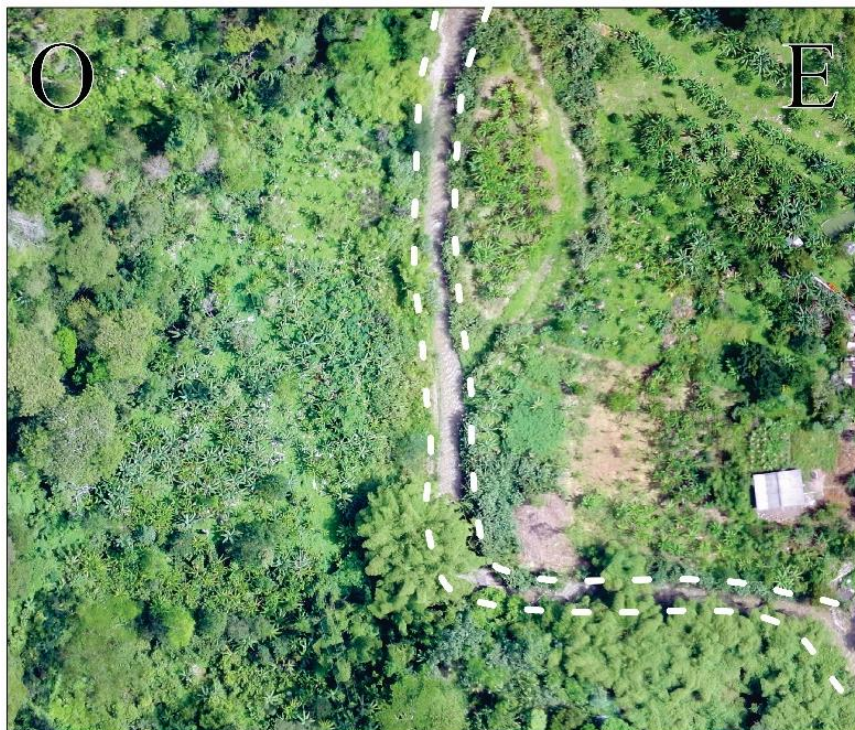


Figura 70

Mapa de cobertura de suelo del levantamiento A1 escala 1:2500.

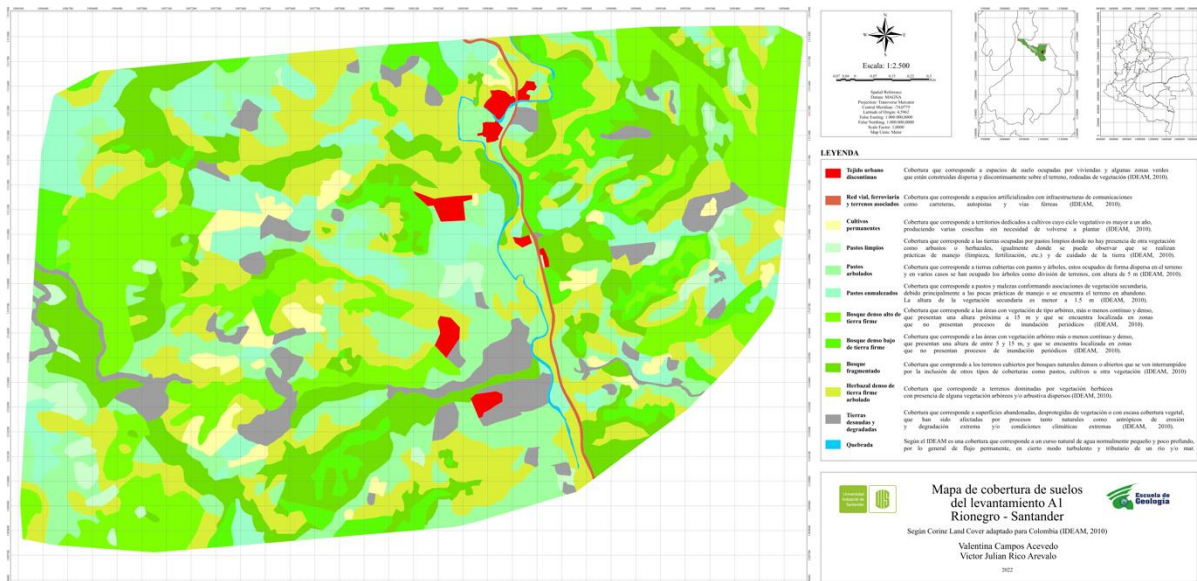


Figura 71

Mapa de cobertura de suelo del levantamiento A2 escala 1:2500.

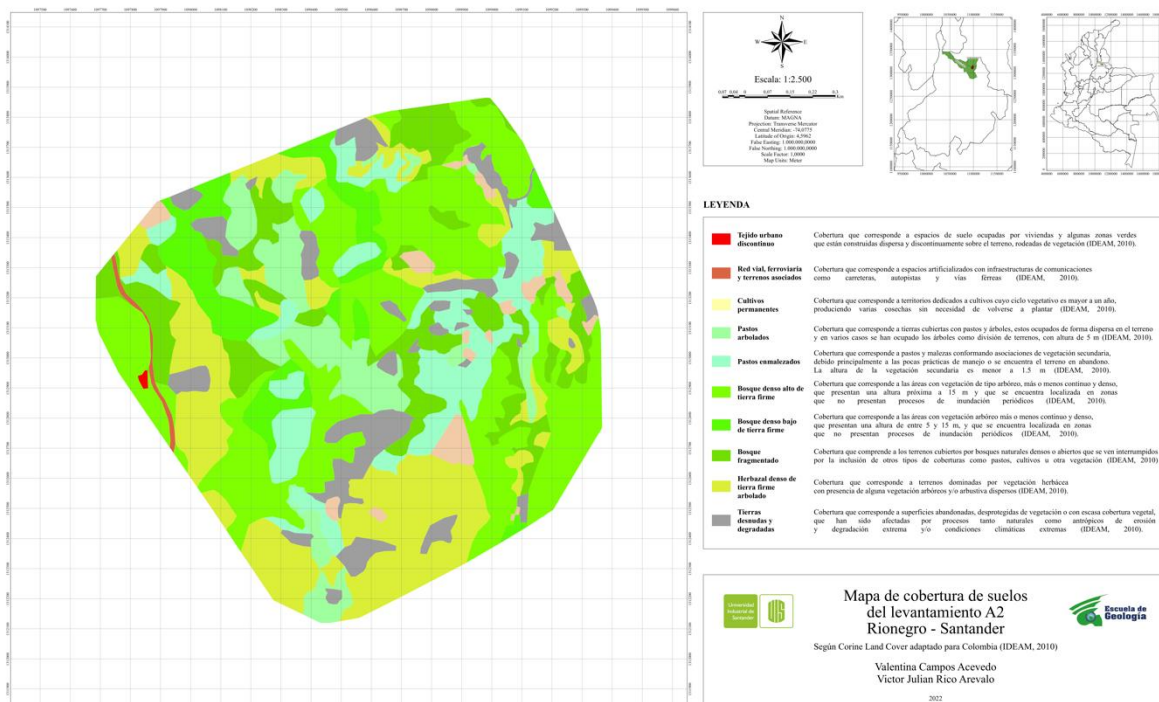
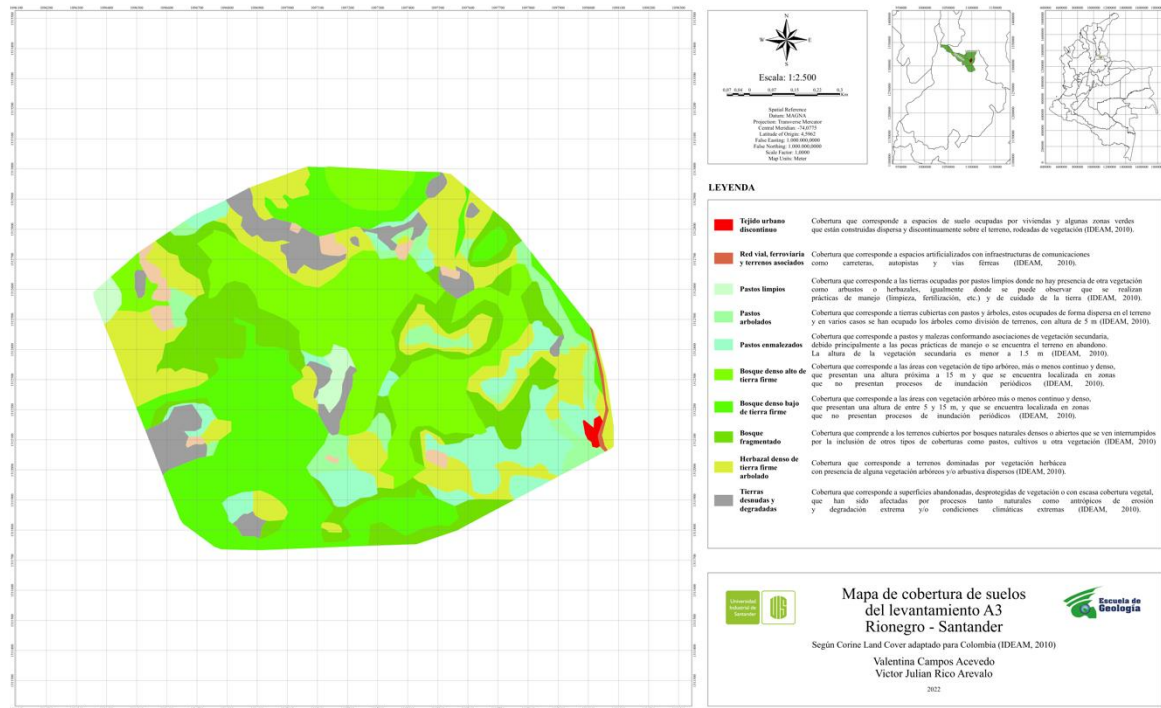


Figura 72

Mapa de cobertura de suelo del levantamiento A3 escala 1:2500.



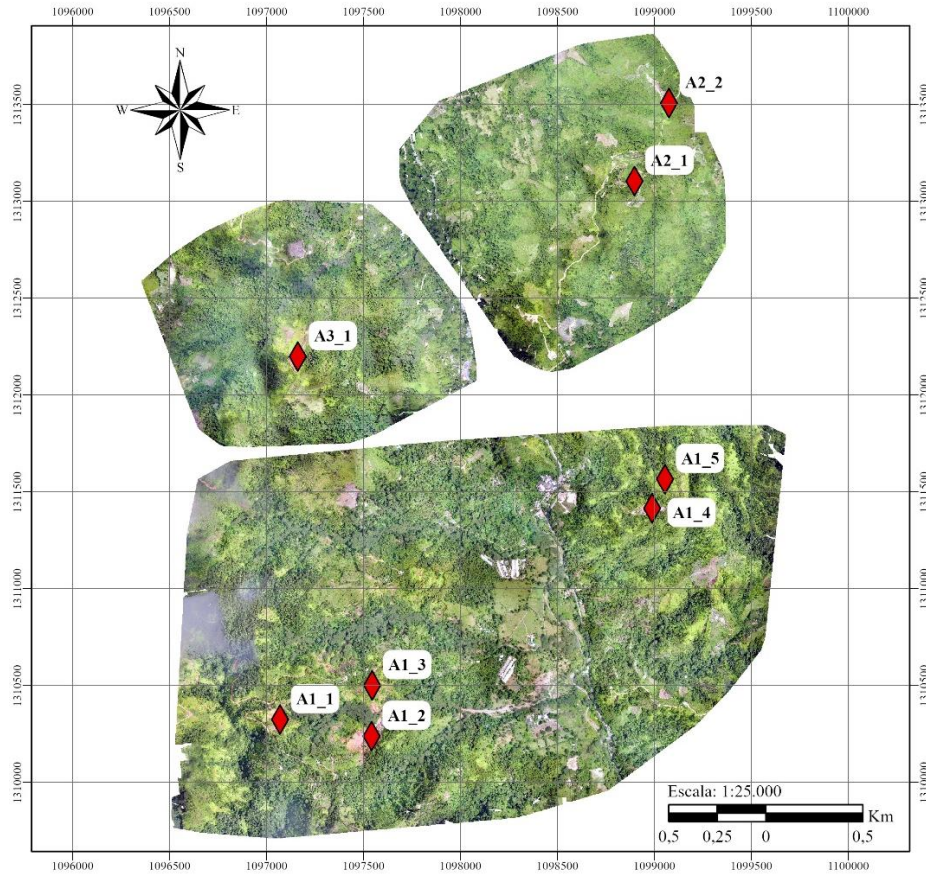
8.5 Análisis morfodinámico

8.5.1 Movimientos en masa

Los movimientos en masa seleccionados por los grupos de investigación se presentan en la figura 73:

Figura 73

Mapa localización de los movimientos en masa.



Nota. En la imagen se presentan la ubicación de los movimientos en masa a estudiar, cada uno se presenta con su respectivo código con el que se identifican en el presente informe.

En la zona de trabajo se encuentran ocho movimientos en masa repartidos entre los tres levantamientos, registrados de la siguiente manera:

Tabla 4

Eventos de movimientos en masa registrados en la zona de trabajo.

ZONA DE TRABAJO	
Inventario Geomorfológico	
Tipo	Cantidad de eventos
Deslizamiento	8
Flujo	0
Caída	0
Reptación	0
Total eventos	8

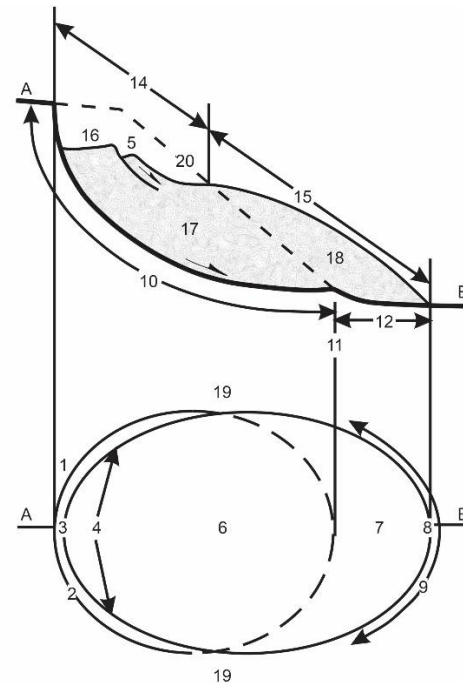
A partir de los datos obtenidos, se establece que los movimientos en masa estudiados pertenecientes a los municipios de Rionegro y El Playón corresponden todos a deslizamientos, sin embargo, se considera que contienen subtipos de movimientos, ninguno de los movimientos estudiados corresponden a eventos de flujos, caída y reptación.

Para las mediciones de las variables se utilizaron ortomosaicos generados en el programa Pix4Dmapper a partir de las fotografías tomadas por el dron a los respectivos levantamientos. En la figura 74 se presenta el diagrama idealizado de las diferentes variables a medir en un movimiento en masa, sin embargo, no se realizaron todas las mediciones debido a que los ortomosaicos generados presentan una distorsión geométrica por el ángulo en que fueron tomadas las fotografías, a pesar de esto, con las medidas realizadas se puede llevar a cabo una caracterización de estos eventos.

Figura 74

Diagrama idealizado de los atributos morfológicos de un movimiento de ladera y su descripción.

	WP/WLI (Inglés)	WP/WLI (Español)	COROMINAS Y GARCÍA (1997)	PROPUESTA
1	Crown	Corona	Coronación	Corona
2	Main scarp	Escarpe principal	Escarpe principal	Escarpe principal
3	Top	Cima	Extremo superior	Margen superior
4	Head	Cabeza	Cabecera	Cabecera
5	Minor scarp	Escarpe menor	Escarpe secundario	Escarpe secundario
6	Main body	Cuerpo principal	Cuerpo principal	Cuerpo principal
7	Foot	Pata	Pie	Pie o pedestal
8	Tip	Punta	Extremo inferior	Margen inferior
9	Toe	Puntera	Arco o lóbulo inferior	Lóbulo frontal
10	Surface of rupture	Superficie de falla	Superficie de rotura	Superficie de rotura
11	Toe of surface of rupture	Punta de la superficie de falla	Extremo inferior de la superficie de rotura	Extremo inferior de la superficie de rotura
12	Surface of separation	Superficie de separación	Superficie de separación	Superficie de separación
13	Displaced material	Material desplazado	Material desplazado	Material desplazado
14	Zone of depletion	Zona de reducción	Zona de hundimiento	Zona de hundimiento
15	Zone of accumulation	Zona de acumulación	Zona de acumulación	Zona de acumulación o depósito
16	Depletion	Reducción	Hundimiento	Hundimiento
17	Depleted mass	Masa reducida	Masa hundida o deprimida	Masa hundida o disminuida
18	Accumulation	Acumulación	Acumulación	Acumulación o depósito
19	Flank	Flanco	Flanco	Flanco
20	Original ground surface	Superficie original del terreno	Superficie original del terreno	Superficie original del terreno



Nota. Tomado y modificado de Alcántara (2000). Se tomaron las medidas que se pudieron realizar teniendo en cuenta el movimiento en masa y el programa Pix4DMapper.

A continuación se presentan los movimientos en masa caracterizados en la zona de trabajo.

8.5.1.1 Movimiento A1_1

Figura 75

Movimiento en masa A1_1. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.310.315,64 E:1.097.066,00. Fecha: 22 julio 2022.



Movimiento en masa ubicado en la parte SW del levantamiento A1, litológicamente compuesto de rocas sedimentarias de tipo areniscas, shales, limolitas de grano fino, con alta meteorización en la que se ha desarrollado un suelo arenoso limoso de grano muy fino, húmedo y de plasticidad baja. Se clasifica según Cruden & Varnes (1996) como un deslizamiento rotacional de detritos de estilo complejo, ya que dentro del deslizamiento se pueden observar varias coronas de menor tamaño por lo que se puede inferir que presenta una distribución retrogresiva y ensanchada. Actualmente el deslizamiento se encuentra en un estado interrumpido, no obstante, sobre la corona se encuentra una vía no pavimentada que con el

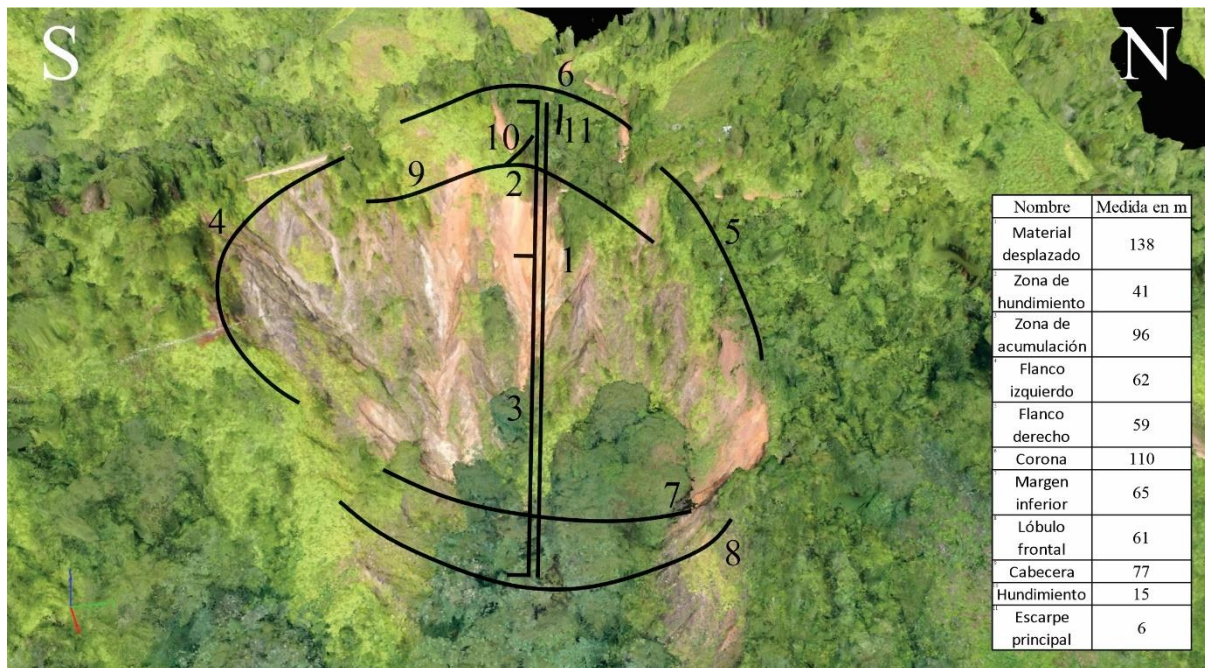
flujo vehicular y las constantes lluvias pueden reactivar el deslizamiento, a su vez se estableció que es un deslizamiento con una velocidad lenta a muy lenta.

Adicionalmente, como contribuyente del deslizamiento se estableció la presencia de vegetación de tipo pasto arbolado, que junto con la erosión pluvial generada por las lluvias y la pendiente de la ladera, propician las condiciones para iniciar el movimiento.

En la figura 76 se presenta el resultado de las mediciones del deslizamiento

Figura 76

Resultado de las mediciones realizadas en el deslizamiento A1_1.



8.5.1.2 Movimiento A1_2

Figura 77

Movimiento en masa A1_2. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.310.228,22 E:1.097.520,12. Fecha: 22 julio 2022.



Movimiento en masa ubicado en la parte SW del levantamiento A1, litológicamente compuesto de rocas sedimentarias de tipo areniscas, shales, limolitas de grano fino, con alta meteorización en la que se ha desarrollado un suelo arenoso limoso de grano muy fino, húmedo y de plasticidad baja. Se clasifica según Cruden & Varnes (1996) como un deslizamiento rotacional de detritos de estilo complejo, ya que dentro del deslizamiento se pueden observar varias coronas de menor tamaño por lo que se puede inferir que presenta una distribución retrogresiva. Actualmente el deslizamiento se encuentra en un estado interrumpido, sin embargo, próximo a la corona se realizan labores de cultivo que junto a las constantes lluvias

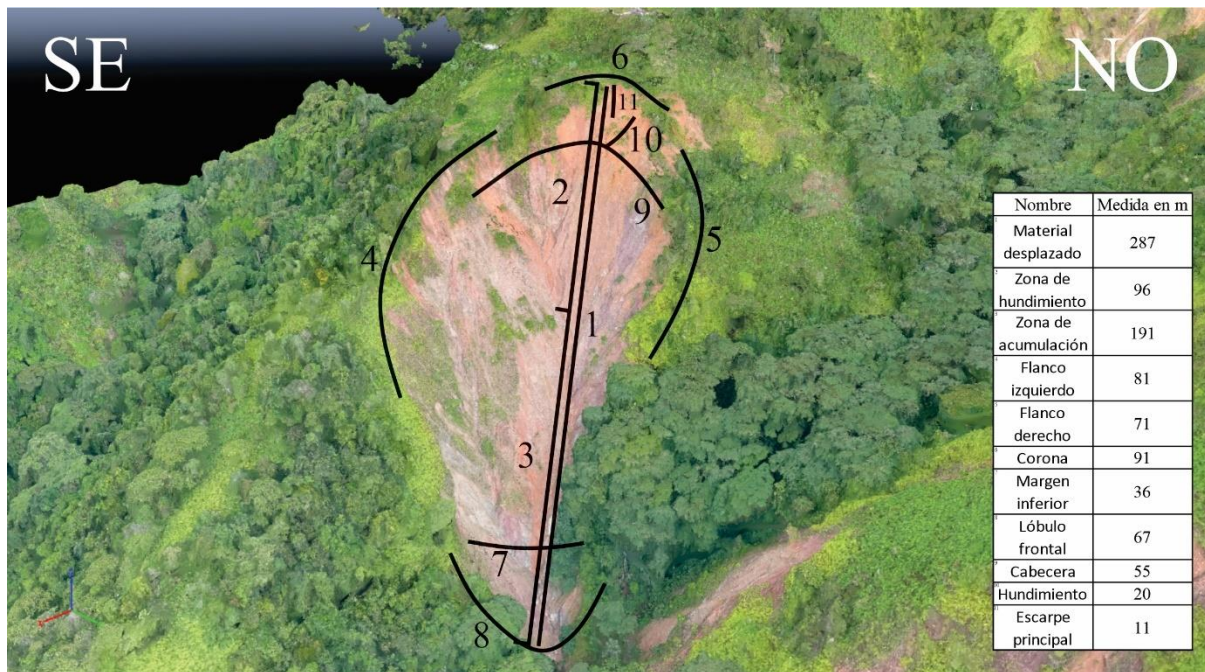
pueden reactivar el deslizamiento, a su vez se estableció que es un deslizamiento con una velocidad lenta a muy lenta.

Adicionalmente, como contribuyente del deslizamiento se estableció la presencia de vegetación de tipo pasto arbolado, que, junto con la erosión pluvial generada por las lluvias la cual se evidencia mediante los surcos presentes sobre el deslizamiento y la pendiente de la ladera, propician las condiciones para iniciar el movimiento.

En la figura 78 se presenta el resultado de las mediciones del deslizamiento

Figura 78

Resultado de las mediciones realizadas en el movimiento en masa A1_2.



8.5.1.3 Movimiento A1_3

Figura 79

Movimiento en masa A1_3. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.310.489,58 E:1.97.586,18. Fecha: 22 julio 2022.



Movimiento en masa ubicado en la parte SW del levantamiento A1, litológicamente compuesto de rocas sedimentarias de tipo areniscas, shales, limolitas de grano fino, con alta meteorización en la que se ha desarrollado un suelo arenoso limoso de grano muy fino, húmedo y de plasticidad baja. Se clasifica según Cruden & Varnes (1996) como un deslizamiento rotacional de detritos de estilo complejo, ya que dentro del deslizamiento se pueden observar varias coronas de menor tamaño por lo que se puede inferir que presenta una distribución retrogresiva y ensanchada. Actualmente, el deslizamiento se encuentra en un estado abandonado, ya que a lo largo del material desplazado se aprecia nueva vegetación que por su tonalidad distinta, en comparación a vegetación próxima, se intuye que es joven; no obstante,

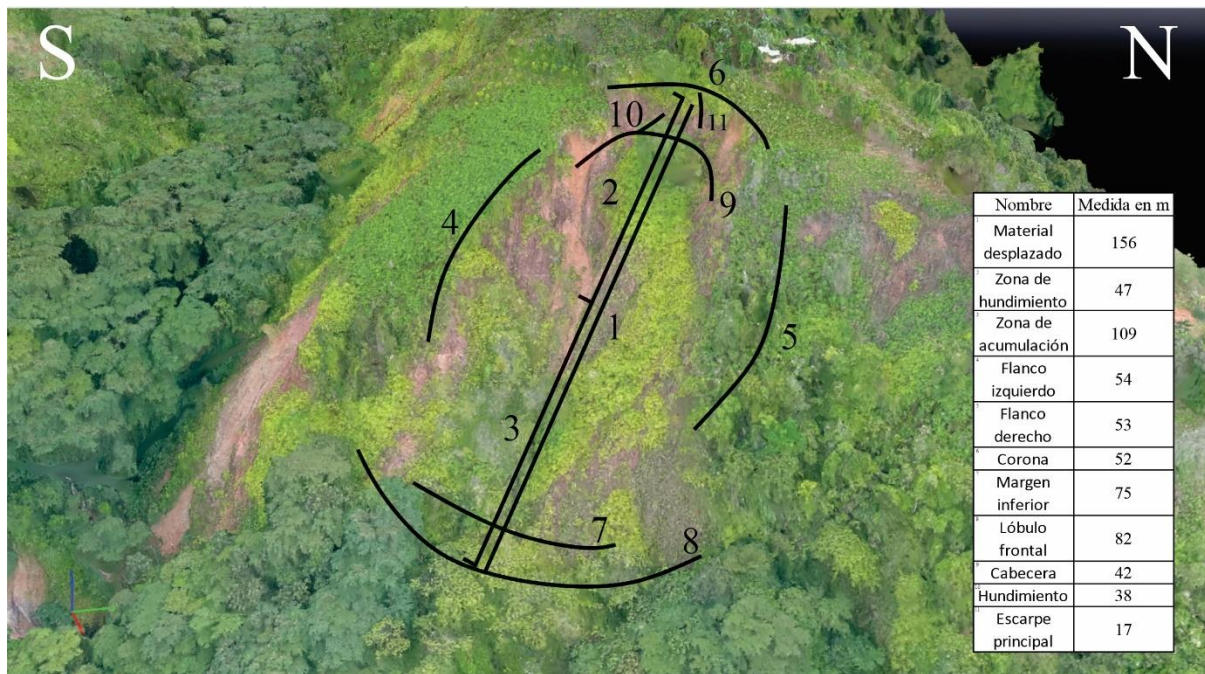
próximo a la corona se realizan labores de cultivo que junto a las constantes lluvias pueden reactivar el deslizamiento. A su vez se estableció que es un deslizamiento con una velocidad lenta a muy lenta.

Adicionalmente, como contribuyente del deslizamiento se estableció la presencia de vegetación de tipo pasto arbolado, que, junto con la erosión pluvial generada por las lluvias la cual se evidencia mediante pequeños surcos presentes sobre el deslizamiento y la pendiente de la ladera, propician las condiciones para iniciar el movimiento.

En la figura 80 se presenta el resultado de las mediciones del deslizamiento

Figura 80

Resultado de las mediciones realizadas en el movimiento en masa A1_3.



8.5.1.4 Movimiento A1_4

Figura 81

Movimiento en masa A1_4. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.311.407,86 E:1.098.970,74. Fecha: 22 julio 2022.



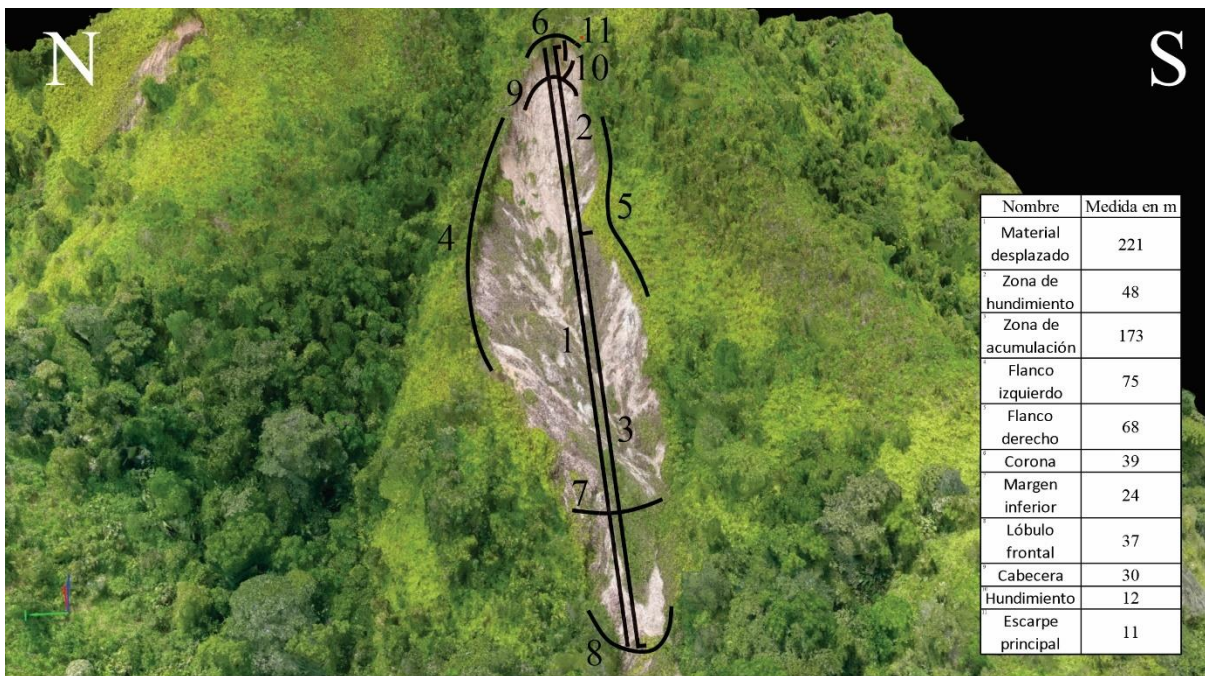
Movimiento en masa ubicado en la parte NE del levantamiento A1, litológicamente compuesto de rocas ígneas de tipo cuarzomonzonita, con alta meteorización, con un suelo arenoso-limoso de grano fino a muy fino; se clasifica según Cruden & Varnes (1996) como un deslizamiento rotacional de detritos de estilo complejo con un componente compuesto, debido a que se trata de un deslizamiento rotacional con procesos de retrogresión, los cuales, favorecidos por la concentración de humedad y la alta pendiente generaron un flujo de detritos el cual finaliza en una zona contigua al caserío la ceiba, a su vez se estableció una velocidad rápida del movimiento.

Adicionalmente las constantes lluvias junto la espesa vegetación generó un mal drenaje lo cual llevó a la desestabilización del terreno generando el deslizamiento.

En la figura 82 se presenta el resultado de las mediciones del deslizamiento

Figura 82

Resultado de las mediciones realizadas en el movimiento en masa A1_4.



8.5.1.5 Movimiento A1_5

Figura 83

Movimiento en masa A1_5. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.311.557,13 E:1.099.064,49. Fecha: 22 julio 2022.

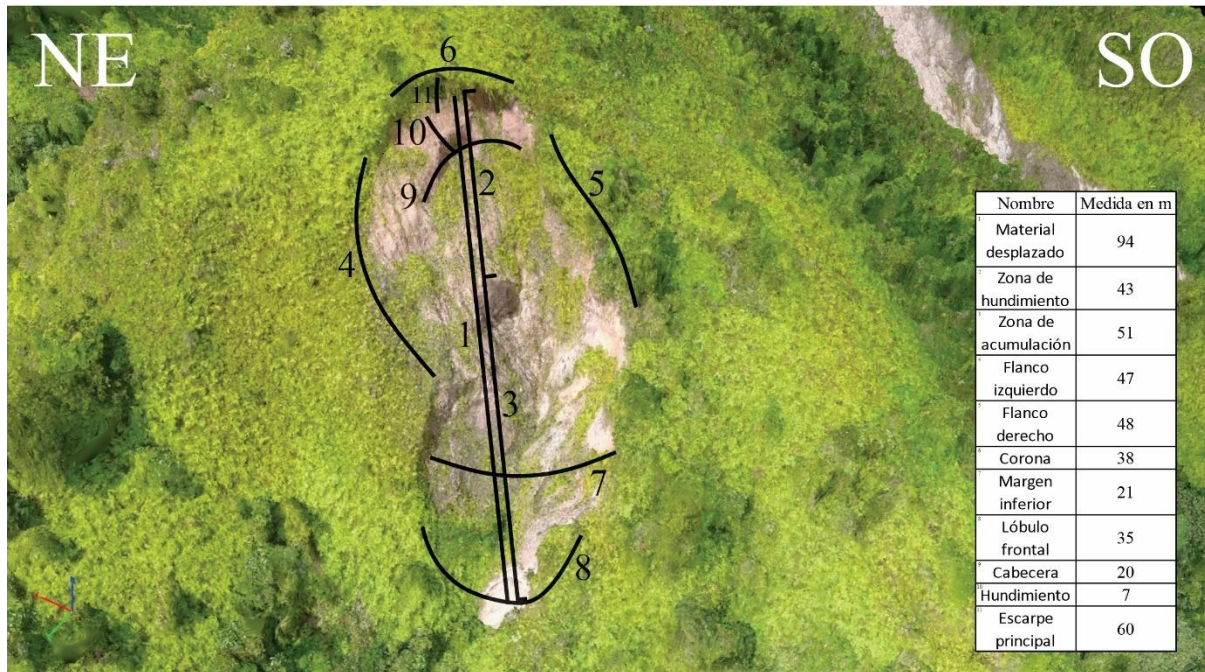


Movimiento en masa ubicado en la parte NE del levantamiento A1, litológicamente compuesto de rocas ígneas de tipo cuarzomonzonita, con alta meteorización, con un suelo arenoso-limoso de grano fino a muy fino; se clasifica según Cruden & Varnes (1996) como un deslizamiento rotacional de detritos de estilo complejo con una distribución retrogresiva con un componente de ensanchado menor. Actualmente el deslizamiento se encuentra en un estado interrumpido, sin embargo, los flancos del movimiento presentan taludes con ángulos de inclinación que junto a las constantes lluvias y la inestabilidad del terreno podrían reactivar el movimiento, a su vez se estableció que es un deslizamiento con una velocidad lenta a muy lenta.

En la figura 84 se presenta el resultado de las mediciones del deslizamiento

Figura 84

Resultado de las mediciones realizadas en el movimiento en masa A1_5.



8.5.1.6 Movimiento A2_1

Figura 85

Movimiento en masa A2_1. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.313.104,83 E:1.098.897,22. Fecha: 22 julio 2022.



Movimiento en masa ubicado en la parte E del levantamiento A2, litológicamente compuesto de rocas ígneas de tipo cuarzomonzonita, con alta meteorización, con un suelo arenoso-limoso de grano fino a muy fino; se clasifica según Cruden & Varnes (1996) como un deslizamiento rotacional de detritos de estilo complejo con una distribución retrogresiva, este proceso de retrogresión no se extiende en dirección opuesta a la del movimiento inicial, sino que migra hacia el flanco izquierdo iniciando un proceso de ensanchamiento.

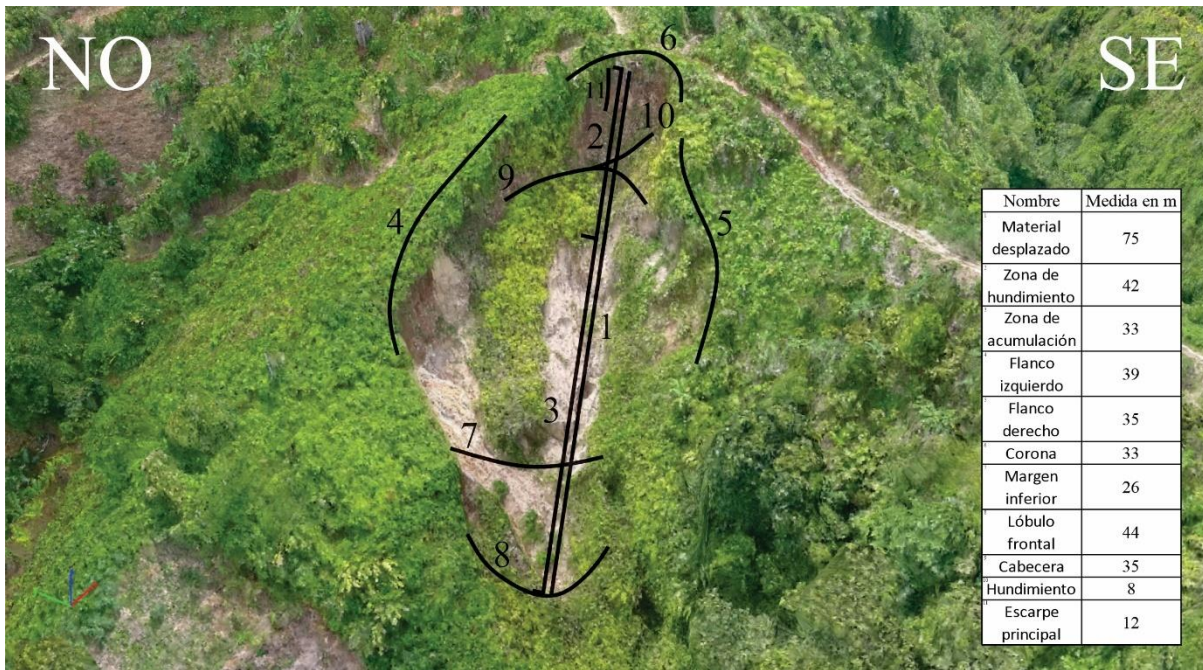
Actualmente el deslizamiento se encuentra en un estado interrumpido, sin embargo, los flancos del movimiento presentan taludes con ángulos de inclinación que junto a las constantes lluvias y la inestabilidad del terreno podrían reactivar el movimiento, además de los procesos

de agricultura que se llevan a cabo en zonas próximas al deslizamiento, a su vez se estableció que es un deslizamiento con una velocidad lenta a muy lenta.

En la figura 86 se presenta el resultado de las mediciones del deslizamiento

Figura 86

Resultado de las mediciones realizadas en el movimiento en masa A2_1.



8.5.1.7 Movimiento A2_2

Figura 87

Movimiento en masa A2_2. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.313.505,29 E:1.099.076,66. Fecha: 22 julio 2022.



Movimiento en masa ubicado en la parte NE del levantamiento A2, litológicamente compuesto de rocas ígneas de tipo cuarzomonzonita, con alta meteorización, con un suelo arenoso-limoso de grano fino a muy fino; se clasifica según Cruden & Varnes (1996) como un deslizamiento rotacional de detritos de estilo único. Actualmente el deslizamiento se encuentra en un estado interrumpido, sin embargo, el escarpe principal presenta altos grados de inclinación lo cual en conjunto con las constantes lluvias y la inestabilidad del terreno podrían

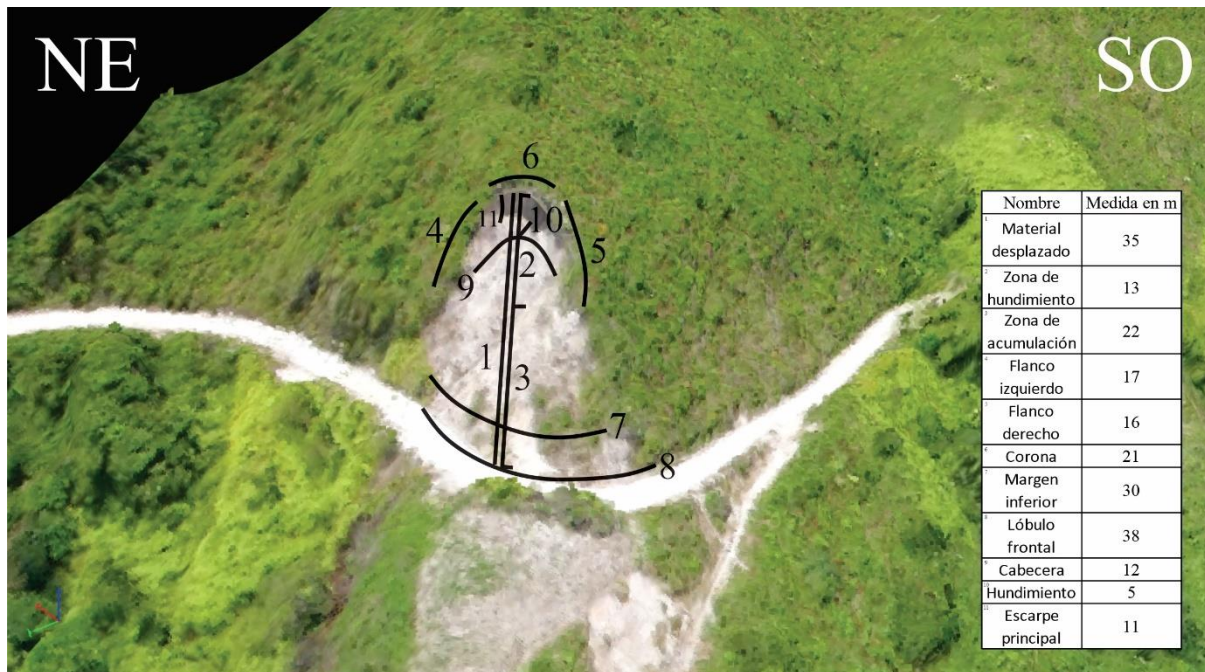
reactivar el movimiento con una probable distribución retrogresiva, a su vez se estableció que es un deslizamiento con una velocidad lenta a muy lenta.

Adicionalmente, como contribuyente del deslizamiento se estableció la presencia de vegetación de tipo pasto enmalezado, que, junto con las constantes lluvias se generó un mal drenaje lo cual llevó a la desestabilización del terreno generando el deslizamiento.

En la figura 88 se presenta el resultado de las mediciones del deslizamiento

Figura 88

Resultado de las mediciones realizadas en el movimiento en masa A2_2.



8.5.1.8 Movimiento A3_1

Figura 89

Movimiento en masa A3_1. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N:1.312.253,05 E:1.097.145,73. Fecha: 22 julio 2022.



Movimiento en masa ubicado en la parte central del levantamiento A3, litológicamente compuesto de rocas sedimentarias de tipo areniscas, shales, limolitas de grano fino, con alta meteorización, con un suelo arenoso limoso de grano muy fino; se clasifica según Cruden & Varnes (1996) como un deslizamiento rotacional de detritos de estilo complejo, ya que dentro del deslizamiento se pueden observar coronas de menor tamaño que por su ubicación y distribución se puede inferir que presenta una distribución retrogresiva, además de que en la zona de acumulación se está generando un proceso de ensanchado. Actualmente el deslizamiento se encuentra en un estado interrumpido, no obstante, las constantes lluvias

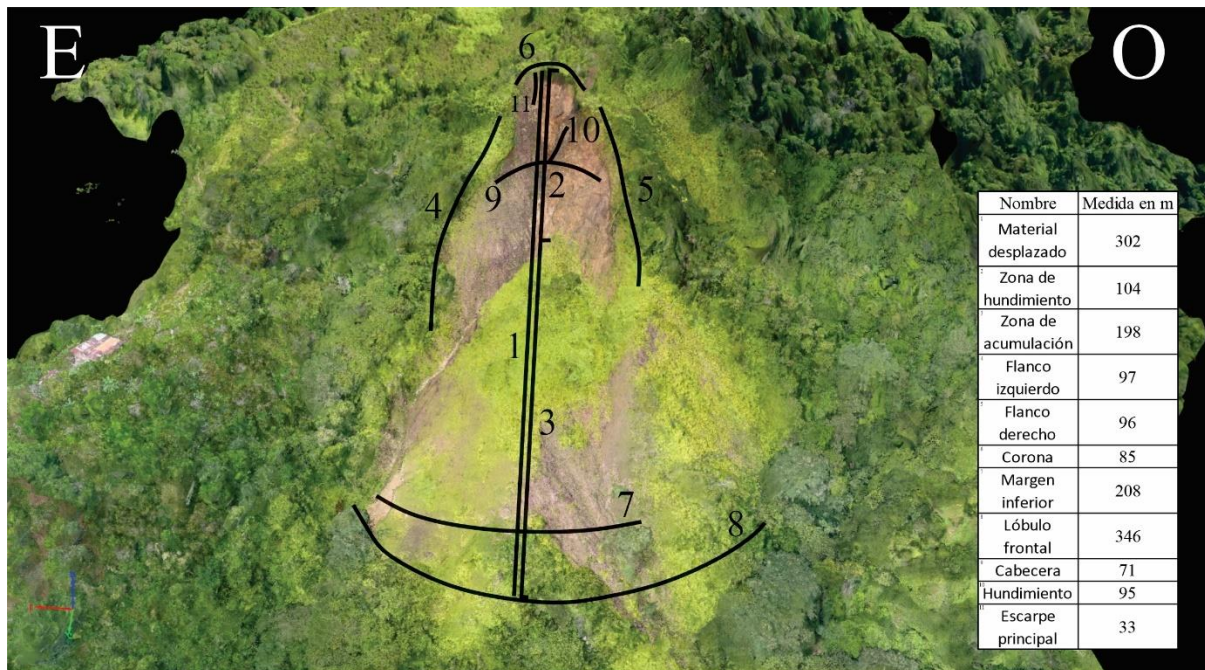
pueden reactivar el deslizamiento, a su vez se estableció que es un deslizamiento con una velocidad lenta a muy lenta.

Adicionalmente, como contribuyente del deslizamiento se estableció la presencia de vegetación de tipo pasto arbolado, que, junto con la erosión pluvial generada por las lluvias y la pendiente de la ladera, propician las condiciones para iniciar el movimiento.

En la figura 90 se presenta el resultado de las mediciones del deslizamiento

Figura 90

Resultado de las mediciones realizadas en el movimiento en masa A3_1.



8.5.2 Puntos críticos

Un punto crítico se denomina a una zona donde convergen varios eventos de movimientos en masa, a partir de la información suministrada y registrada se consideró como un punto crítico la parte SW del levantamiento A1, donde se presentan tres movimientos en masa de tipo deslizamiento, los cuales están separados por algunos metros de distancia. A su alrededor se observa la presencia de caminos y algunas viviendas. Litológicamente en esta zona

afloran rocas sedimentarias de la Formación Bocas, que corresponden a areniscas, shales, limolitas, que debido a su grado de meteorización y la presencia de un suelo más arcilloso que corresponde a un suelo de grano fino con poca resistencia, deleznable, son un factor importante para la formación de estos eventos. Adicionalmente, este punto crítico está ubicado en el elemento geomorfológico de lomo de pendiente muy inclinada el cual favorece a estos eventos.

Desde el punto de vista a su posible afectación a terceros, en este punto crítico se encuentra una vía no pavimentada de varios km de distancia que comunica a varias veredas y a varias viviendas que se encuentran por su recorrido, por lo que es un medio de comunicación importante para estas personas, por su flujo vehicular, de motos y de carga; adicionalmente, cercanos a los deslizamientos estudiados se puede observar la presencia de viviendas y cultivos que ante cualquier reactivación o factor que detone nuevamente el movimiento en masa se verán afectadas estas comunidades.

En la figura 91 se puede observar el punto crítico establecido en la parte SW del levantamiento A1.

Figura 91

Punto crítico por la presencia de varios movimientos en masa ubicados en la parte SW del levantamiento A1 de la zona de trabajo. Imagen obtenida con dron desde las coordenadas N: 1.310.340,73 E:1.097.294,97. Fecha: 22 julio 2022.



8.5.3 Factores detonantes

Los factores detonantes son agentes externos como las precipitaciones, un evento sísmico, una erupción volcánica, factores antrópicos, las propias condiciones del terreno, etc... que pueden generar un movimiento en masa inmediato. En el presente estudio se han considerado como factores detonantes la lluvia, un sismo y la alta pendiente del terreno, por ser los más comunes geográficamente y por las condiciones físicas del terreno.

8.5.3.1 Detonante lluvia. La lluvia es el factor desencadenante principal que promueve la ocurrencia de movimientos en masa en ambientes tropicales y terrenos montañosos como los Andes colombianos (Sánchez et al, 2017). Las altas precipitaciones reportadas para estos municipios son el principal causante de estos eventos, las intensas y prolongadas lluvias pueden actuar de diferentes formas sobre la ladera y generan que el terreno permanezca húmedo, favoreciendo a los procesos de meteorización.

8.5.3.2 Detonante sismo. Cuando se presenta un evento sísmico este induce el movimiento del terreno que puede causar fallas en las laderas de las montañas que generan el desprendimiento de estas y pueden ocasionar daños que logran ser mínimos o catastróficos. Teniendo uno de los tres nidos sísmicos en el mundo tan cerca, la posibilidad de que un sismo ocurra es elevada por lo que es un detonante que no se puede predecir.

8.5.3.3 Detonante pendiente. Como se presenta en los mapas geomorfológicos y de pendientes, las laderas son de muy inclinadas a abruptas principalmente, lo cual hace favorable ante cualquier factor la posibilidad de generar un evento de movimiento en masa.

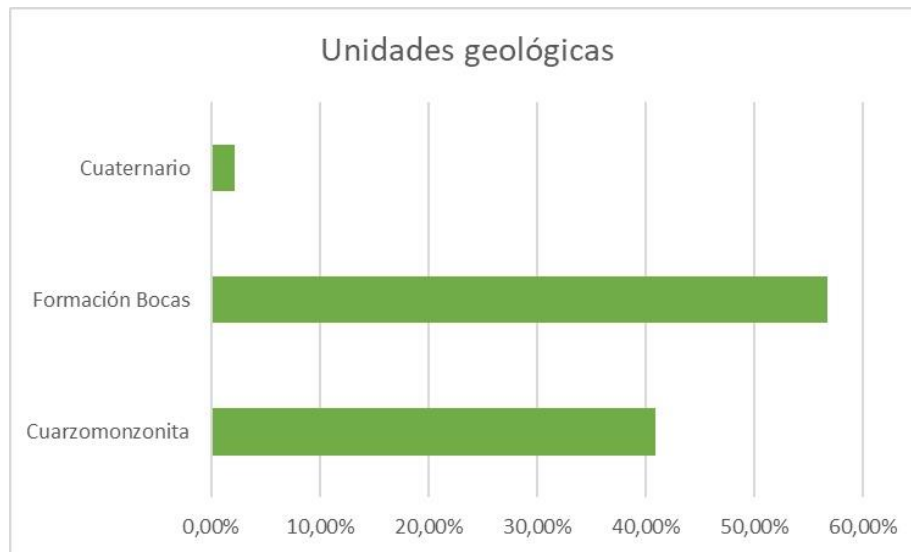
9 Análisis final y discusión de resultados

9.1 Mapa Geológico

Se realizó el mapa geológico a escala 1:2500 para la zona de trabajo, se identificaron tres unidades: Cuarzomonzonita, Formación Bocas y Depósitos aluviales repartidos como se muestra en la figura 92, siendo La Formación Bocas la unidad de mayor porcentaje de área en la zona.

Figura 92

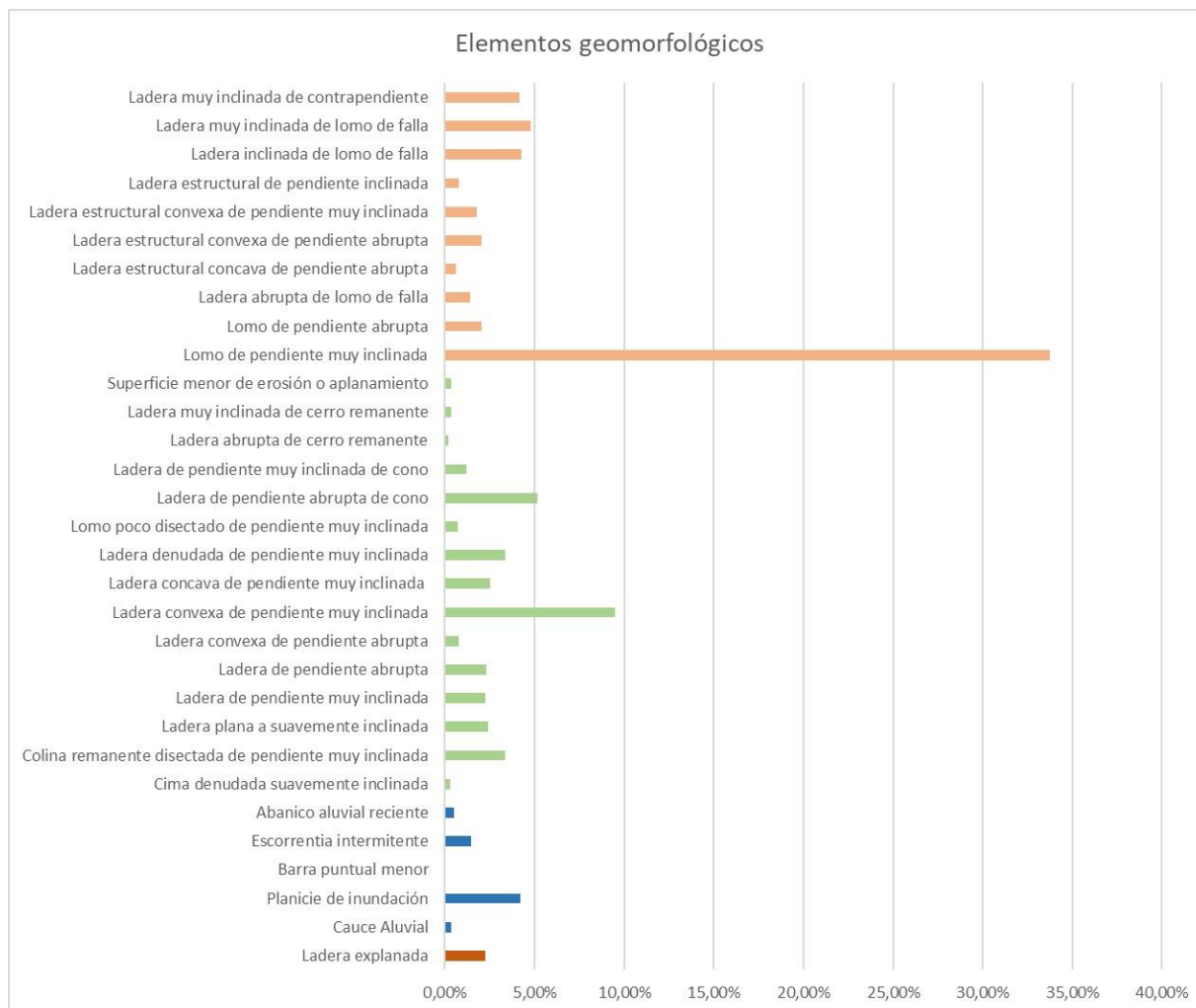
Unidades geológicas identificadas para la zona de trabajo.

**9.2 Mapa Geomorfológico**

Se realizó el mapa geomorfológico a escala 1:2500 para la zona de trabajo, se identificaron cuatro ambientes geomorfológicos: ambiente antrópico, ambiente fluvial, ambiente denudacional y ambiente morfoestructural y se delimitaron 31 elementos geomorfológicos como se muestra en la figura 93. Por lo que se puede observar, el elemento geomorfológico de tipo morfoestructural lomo de pendiente muy inclinada corresponde el elemento de mayor porcentaje de área en la zona.

Figura 93

Elementos geomorfológicos identificados para la zona de trabajo



Nota. En color naranja se presentan los elementos geomorfológicos del ambiente morfoestructural, en color verde los elementos del ambiente denudacional, en color azul los del ambiente fluvial y en marrón el elemento geomorfológico perteneciente al ambiente de origen antrópico.

9.3 Mapa de cobertura de suelo

Se realizó el mapa de cobertura de suelos según CLC (IDEAM, 2010) a escala 1:2500 para la zona de trabajo, se identificaron doce coberturas de suelo: tejido urbano discontinuo, red vial, cultivos permanentes, pastos limpios, pastos arbolados, pastos enmalezados, bosque denso alto de tierra firme arbolado, bosque denso bajo de tierra firme, bosque fragmentado,

herbazal denso de tierra firme arbolado, tierras desnudas y degradadas y quebrada como se muestra en la figura 94. A partir de este, se observa que la cobertura herbazal denso de tierra firme arbolado es la que mayor porcentaje de área posee en la zona.

Figura 94

Coberturas de suelo identificadas para la zona de trabajo



9.4 Análisis morfodinámico

Se caracterizaron ocho movimientos en masa en la zona de trabajo, distribuidos en tres levantamientos, cinco en el levantamiento A1, dos en el levantamiento A2 y uno en el levantamiento A3; por su proximidad, los deslizamientos estudiados presentan características muy similares en estado, distribución y estilo. Tomando en cuenta la geología de la zona, los deslizamientos A1_1, A1_2, A1_3 y A3_1 se encuentran ubicados en la Formación Bocas y los deslizamientos A1_4, A1_5, A2_1 y A2_2 están ubicados en la cuarzomonzonita, ambas unidades presentes han desarrollado un suelo producto de la meteorización generada por las constantes lluvias y el mal drenaje causado por la alta densidad de cobertura vegetal.

Al mismo tiempo, los deslizamientos A1_1, A1_2 y A1_3 están ubicados en el elemento geomorfológico lomo de pendiente muy inclinada, los deslizamientos A1_4 y A1_5 en una ladera convexa de pendiente muy inclinada, el deslizamiento A2_1 está ubicado en una ladera estructural de pendiente inclinada, y el A2_2 está en una ladera estructural convexa de pendiente muy inclinada, y finalmente, el deslizamiento A3_1 está en una ladera de pendiente abrupta de cono, primeramente se indica que los deslizamientos están ubicados en pendientes desde muy inclinadas a abruptas que según la tabla 2, corresponde a tendencia media a alta para desarrollar estos eventos, además, estos elementos según (SGC, 2014) se ven afectados continuamente por procesos denudativos.

En cuanto a la cobertura de suelo que presentan los deslizamientos, se distribuyen en pastos arbolado los deslizamientos A1_1, A1_5 y A3_1, pastos enmalezados los deslizamientos A1_2, A1_3, A2_1 y A2_2 y el deslizamiento A1_4 en bosque fragmentado, por lo que se puede observar una predominancia en la cobertura tipo pastos, los cuales son muy densos y acumulan la humedad lo que genera un mal drenaje de las aguas.

En la tabla 5 se presenta un compilado de la información geológica, geomorfológica y de cobertura de suelo que presenta cada movimiento en masa en la zona de estudio.

Tabla 5

Tabla a modo de resumen de las características geológicas, geomorfológicas y de cobertura de suelo que presenta cada movimiento en masa en la zona de estudio.

Movimiento en masa								
	A1_1	A1_2	A1_3	A1_4	A1_5	A2_1	A2_2	A3_1
Geología	Formación Bocas	Formación Bocas	Formación Bocas	Cuarzo monzonita	Cuarzo monzonita	Cuarzo monzonita	Cuarzo monzonita	Formación Bocas
Elemento geomorfológico	Lomo de pendiente muy inclinada	Lomo de pendiente muy inclinada	Lomo de pendiente muy inclinada	Ladera convexa de pendiente muy inclinada	Ladera convexa de pendiente muy inclinada	Ladera estructural pendiente inclinada	Ladera estructural convexa pendiente muy inclinada	Pendiente abrupta de cono
Cobertura de suelo	Pastos arbolados	Pastos enmalezado	Pastos enmalezado	Bosque fragmentado	Pasto arbolado	Pasto enmalezado	Pasto enmalezado	Pasto arbolado

Finalmente, tal como se muestra en la figura 73, algunos deslizamientos se encuentran próximos entre ellos, por lo que estos tienen bastantes similitudes, y por la tabla 5, se observa que se desarrollan bajo las mismas condiciones por lo que comparten características morfodinámicas.

10 Conclusiones

Los resultados obtenidos a lo largo de esta pasantía permiten interpretar que los factores condicionantes y detonantes para la ocurrencia de los movimientos en masa son las lluvias, los eventos sísmicos, el suelo, y la pendiente. En el trabajo de campo realizado en la zona se evidenció que las laderas han sido afectadas por una meteorización intensa y prolongada en la que se puede observar un suelo arenoso-limoso, húmedo, frágil y deleznable al tacto a lo largo de los diferentes levantamientos trabajados, sin embargo, se observa roca que aún no ha sido meteorizada. En cuanto a la geomorfología de la zona, predominan geoformas de ambiente denudacional y morfoestructural, las cuales presentan laderas principalmente de pendientes muy inclinadas a abruptas las cuales están dominadas por procesos erosivos y en las cuales son donde se desarrollan los movimientos en masa estudiados. En cuanto a la cobertura de suelo, se tiene que los bosques, herbazales y pastos son las coberturas que dominan en la zona de trabajo, a partir del mapa realizado, los deslizamientos ocurren principalmente en zonas de pastos. Es importante mencionar que durante el trabajo de campo realizado, se observaron otros movimientos en masa que no fueron escogidos en este proyecto y que en la fase de fotointerpretación no estaban presentes, lo que indica que son eventos recientes, por lo que evidencia también lo propicio que es esta zona a la ocurrencia de estos eventos.

En relación con el análisis morfodinámico realizado de los movimientos en masa se indica que los ocho eventos estudiados corresponden a deslizamientos, de los cuales solo uno evento presenta un subtipo de movimiento de flujo de detritos hacia su base. Estos eventos son de edades recientes (aproximadamente de 10 a 30 años), son complejos, en estado interrumpido y con una distribución retrogresiva, y que presentan como detonante principal la lluvia. A su vez son de gran tamaño, entre 30 a 300 metros, y están ubicados cerca de vías, cultivos y viviendas. Por lo que es importante tener a la comunidad aledaña en alerta, porque son deslizamientos de cientos de metros que pueden reactivarse y generar desastres a la población.

Finalmente, la adquisición de datos e imágenes de dron son una herramienta útil, eficiente y práctica, sin embargo, se debe tener en cuenta ciertos factores a la hora de realizar la toma de datos, ya que el clima, el relieve y el plan de vuelo, pueden generar ruido en los datos y afectar su procesamiento.

11 Recomendaciones

Se recomienda realizar más estudios y proyectos sobre la geomorfología a un nivel de detalle de elementos geomorfológicos, es decir, escalas <1:10.000, debido a que no existe un glosario de estos o una jerarquía de cómo se deben nombrar.

También es importante resaltar que el análisis realizado a los deslizamientos contenidos en este informe fueron desde ortomosaicos debido a las limitaciones presentadas durante el trabajo de campo, por lo que se recomienda que los resultados sean puestos a verificación por estudios posteriores.

Referencias Bibliográficas

- Alcántara, I. (2000). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.
- Galvis, M., Velandia, F., Villamizar, N. (2014). CARTOGRAFÍA MORFOESTRUCTURAL DE LA FALLA DE BUCARAMANGA: GEOMETRIA LENTICULAR A LO LARGO DEL VALLE DEL RÍO CHICAMOCHA EN SANTANDER – COLOMBIA. Universidad Industrial de Santander. XVII Congreso Peruano de Geología. Perú.
- IDEAM, (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p.
- IDEAM. (s.f). Glosario. Bogotá. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/glosario>
- INGEOMINAS. (1977). Geología de la Plancha 109 de Rionegro. Escala 1:100000. Bogotá.
- Moreno-Sánchez, G. (2019). Mapa geológico del cañón del río Sogamoso, en el sector Villanueva, Zapatocha, Betulia, departamento de Santander. En *Estudios geológicos y paleontológicos sobre el Cretácico en la región del embalse del río Sogamoso, Valle Medio del Magdalena, dirección científica y edición de Fernando Etayo-Serna*. (págs. 393-423). Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- Ospina, M. (2018). Zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa. comparación de resultados a partir de cartografía base del IGAC y cartografía base obtenida mediante vehículos tripulados remotamente (RPAS). Caso de estudio: cabecera municipal de Cisneros, Antioquia. Proyecto de grado para optar al título de Geólogo. Universidad EAFIT. Medellín.

- Sánchez, O., Aristizábal, E. (2017). Análisis de los impactos por movimientos en masa en Colombia. *XVI Congreso Colombiano de Geología*, Santa Marta, Colombia.
- SGC (2012). Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Colección Guías y Manuales. Bogotá.
- SGC (2012). ANEXO A. Glosario de Unidades y Subunidades Geomorfológicas. Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa. Escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano, Bogotá.
- SGC. (2014). Memoria explicativa del mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa escala 1:100.000 plancha 109 Rionegro. Servicio Geológico Colombiano en convenio con la Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
- SGC. (2015). Anexo B – Susceptibilidad por geomorfología en convenio con la Universidad Industrial de Santander (UIS). Bogotá.
- SGC. (2017). Clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia. Publicaciones especiales geológicas. Bogotá.
- Semana. (2022, 12 septiembre). Lanzan alerta por segunda temporada de lluvias en Santander. Disponible en: <https://www.semana.com/nacion/bucaramanga/articulo/lanzan-alerta-por-segunda-temporada-de-lluvias-en-santander/202247/>
- SIMMA. (s.f). Sistema de Información de Movimientos en Masa. Servicio Geológico Colombiano. Disponible en: <http://simma.sgc.gov.co/#/public/basic/>
- Torres, J.M., Clavijo, J., Lizarazo, J. (2021). Caracterización estratigráfica del miembro Tambor (Grupo Girón, Cordillera Oriental de Colombia). Sociedad Colombiana de Geología. Bogotá. Disponible en: <https://sociedadcolombianadegeologia.org/caracterizacion-estratigrafica-del-miembro-tambor-grupo-giron-cordillera-oriental-de-colombia/>

Toro-Toro, L.M., Cardona-Ríos, J.J., Moreno-Sánchez, M., Gómez-Cruz, A. de J. (2021).

Petrografía y geoquímica de las rocas piroclásticas y efusivas de la Formación Bocas (Triásico Superior-Jurásico Inferior) y efusivas de la Formación Nogontova (Macizo de Santander, Colombia). *Boletín de Geología*, 43(1), 53-75.
<https://doi.org/10.18273/revbol.v43nl-2021003>.

UNGRD. (2020). Riesgo por movimientos en masa en Colombia. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. Bogotá.

Vargas Cuervo, G. (2000). Criterios para la clasificación y descripción de movimientos en masa. *Boletín De Geología*, 22(37), 39–67. Recuperado a partir de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/3965>.

Ward, D.; Goldsmith, R.; Cruz, J.; Restrepo, H. (1973). Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, departamento de Santander. *Boletín Geológico*, 21(1-3), 1-134.

Apéndices

Apéndice C. Formato de inventario de movimiento en masa.

✓ Movimiento en masa A1_1

FORMATO MODIFICADO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA Vs 2012												
Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas								IMPORTANCIA* Alta <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/>				
DATOS DE REGISTRO												
ENCUESTADOR*		FECHA EVENTO*		FECHA REPORTE*		INSTITUCIÓN*		COD. GRUPO		COD. SIMMA		
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA												
POR DIVISIÓN POLÍTICA		COORDENADAS GEOGRÁFICAS			REFERENTES GEOGRÁFICOS			DOCUMENTACIÓN		FOTOGRAFÍAS AERIAS		
Departamento* Santander		Sitio* Lat (GMS)* 1.097.049.94E Long (GMS)* 1.310.339.23N						PLANCHAS AÑO ESCALA EDITOR		Nro Vuelo Nro Foto Año Escala Editor		
Municipio* Rionegro		Vereda*										
ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO												
EDAD		ESTADIO		DISTRIBUCIÓN		DESCRIPCIÓN		LITOLOGÍA Y ESTRUCTURA		ESTRUCTURA		
<1 año <input type="checkbox"/> 1-5 años <input type="checkbox"/> 6-10 años <input type="checkbox"/> 11-15 años <input type="checkbox"/> 16-20 años <input type="checkbox"/>		21-30 años <input checked="" type="checkbox"/> 31-40 años <input type="checkbox"/> 41-60 años <input type="checkbox"/> 61-80 años <input type="checkbox"/> > 80 años <input type="checkbox"/>		Activo <input type="checkbox"/> Reactivado <input type="checkbox"/> Suspendido <input type="checkbox"/> INACTIVO <input type="checkbox"/> Latente <input type="checkbox"/> Abandonado <input type="checkbox"/> Estabilizado <input type="checkbox"/> Relicto <input type="checkbox"/>		Complejo <input checked="" type="checkbox"/> Compuesto <input type="checkbox"/> Múltiple <input type="checkbox"/> Sucesivo <input type="checkbox"/> Único <input type="checkbox"/>		Retrogresivo <input checked="" type="checkbox"/> Avanzado <input type="checkbox"/> Ensanchado <input type="checkbox"/> Confinado <input type="checkbox"/> Creciente <input type="checkbox"/> Decreciente <input type="checkbox"/> Móvil <input type="checkbox"/>		ESTRUCTURA Planos de Estratificación <input type="checkbox"/> Foliación <input type="checkbox"/> Diaclasas <input type="checkbox"/> Falla <input type="checkbox"/> Discordancia <input type="checkbox"/> Esquistosidad <input type="checkbox"/>		ORIENTACIÓN DR BZ >2 2-0.6 0.6-0.2 0.2-0.06 <0.06
CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO												
TIPO MOVIMIENTO		ESTADIO		DISTRIBUCIÓN		DESCRIPCIÓN		LITOLOGÍA Y ESTRUCTURA		ESTRUCTURA		
Caída <input type="checkbox"/> Volcamiento <input type="checkbox"/> Deslizamiento <input checked="" type="checkbox"/> Flujio <input type="checkbox"/> Proyección lateral <input type="checkbox"/> Rotación <input type="checkbox"/> Deform. Gravít. Profundas <input type="checkbox"/>		1* 2 Caída de roca <input type="checkbox"/> Caída de detritos <input type="checkbox"/> Caída de tierras <input type="checkbox"/> Volcam. flexural de roca <input type="checkbox"/> Volcam. de roca <input type="checkbox"/> Volcam. macizo rocoso <input type="checkbox"/> Desliz. rotacional <input type="checkbox"/>		1* 2 Desliz. traslacional <input type="checkbox"/> Desliz. en cuña <input type="checkbox"/> Desliz. traslacional en cuña <input type="checkbox"/> Desliz. traslacional planar <input type="checkbox"/> Avalancha de rocas <input type="checkbox"/> Flujo de detritos <input type="checkbox"/> Flujo de lodo <input type="checkbox"/>		1* 2 Desliz. por flujo <input type="checkbox"/> Avalancha de detritos <input type="checkbox"/> Flujo de tierra <input type="checkbox"/> Crecida de detritos <input type="checkbox"/> Flujo de turba <input type="checkbox"/> Flujo de arena <input type="checkbox"/> Desliz. licuación de limo <input type="checkbox"/>		1* 2 Desliz. licuación de detritos <input type="checkbox"/> Desliz. licuación roca fracturada <input type="checkbox"/> Propae. lateral lenta <input type="checkbox"/> Propae. lateral licuación <input type="checkbox"/> Rectación de suelos <input type="checkbox"/> Soliflujión <input type="checkbox"/> Geliflujión (en permafrost) <input type="checkbox"/>		TIPO MATERIAL Roca <input type="checkbox"/> Detritos <input checked="" type="checkbox"/> Tierra <input type="checkbox"/> Lodos <input type="checkbox"/> Turba <input type="checkbox"/>		HUMEDAD Mojado <input type="checkbox"/> Muy húmedo <input type="checkbox"/> Húmedo <input checked="" type="checkbox"/> Liger. húmedo <input type="checkbox"/> Seco <input type="checkbox"/>
ORIGEN SUELO												
Residual <input type="checkbox"/> Sedimentario <input checked="" type="checkbox"/>		Coluvial <input type="checkbox"/> Volcánico <input type="checkbox"/>		Aluvial <input type="checkbox"/> Eólico <input type="checkbox"/> Glacial <input type="checkbox"/>		Lacustre <input type="checkbox"/> Marino <input type="checkbox"/>		Extr. rápido (>5 m/s) <input type="checkbox"/> Muy rápido (>3 m/min) <input type="checkbox"/> Rápido (>1.8 m/hr) <input type="checkbox"/>		Moderado (>13 m/mes) <input type="checkbox"/> Lento (>1.6 m/año) <input type="checkbox"/> Muy lento (>16 mm/año) <input type="checkbox"/> Extr. Lento (<16 mm/año) <input type="checkbox"/>		
MORFOMETRÍA												
GENERAL		DIMENSIONES DEL TERRENO		DEFORMACIÓN TERRENO		MODO		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN*				
Diferencia de altura corona a punta (m) 87 Longitud horizontal corona a punta (m) 112 Fahrböschung (grados) _____ Pendiente de ladera en Post-falla (grados) _____ Pendiente de ladera en Pre-falla (grados) _____ Dirección del movimiento (grados) 76 Azimut del talud (grados) _____		Ancho de la masa desplazada Wd (m) _____ Ancho de la superficie de ruptura Wr (m) _____ Longitud de la masa desplazada Ld (m) _____ Longitud de superficie de ruptura Lr (m) _____ Espesor de la masa desplazada Dd (m) _____ Profundidad de superficie de ruptura Dr (m) _____ Longitud total L (m) _____		Volumen inicial (m3) _____ Volumen desplazado (m3) _____ Área inicial (Km2) _____ Área total afectada (Km2) _____ Run up (m) _____ Distancia de viaje (Km) _____		Ondulación <input type="checkbox"/> Escalonamiento <input type="checkbox"/> SEVERIDAD Leve <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Severa <input type="checkbox"/>		Hutchinson, 1988 <input type="checkbox"/> Cruden y Varnes, 1996 <input checked="" type="checkbox"/> Varnes, 1978 <input type="checkbox"/> Hunar et al., 2001 <input type="checkbox"/>				
CAUSAS DEL MOVIMIENTO												
INHERENTES		CONTRIBUYENTES - DETONANTES		C, D		C, D		C, D				
Material elástico débil <input type="checkbox"/> Material fisurado y arrietado <input type="checkbox"/> Material sensible <input type="checkbox"/> Material colapsible <input type="checkbox"/> Material meteor. físicamente <input type="checkbox"/> Material meteor. químicamente <input type="checkbox"/> Material fallado por corte <input type="checkbox"/>		Movimiento tectónico <input type="checkbox"/> Sismo M _____ E _____ Dc _____ P _____ Erupción volcánica <input type="checkbox"/> Lluvias (mm) 24h _____ 48h _____ 72h Mes 236 Viento <input type="checkbox"/> Deshielo <input type="checkbox"/> Avance/Retroceso de glaciares <input type="checkbox"/> Rompimiento de talos en cráteres <input type="checkbox"/> Rompimiento de presas <input type="checkbox"/>		Desembalse rápido de presas <input type="checkbox"/> Erosión cata del talud por alacrires <input type="checkbox"/> Socavación pata del talud por corriente agua <input type="checkbox"/> Socavación cata del talud por oleaje <input type="checkbox"/> Socavación de margenes de rios <input type="checkbox"/> Erosión Pluvial <input type="checkbox"/> Caída en la corona del talud <input type="checkbox"/> Erosión subteranea (disolución, tubificación) <input type="checkbox"/> Irrigación <input type="checkbox"/>		Mantenimiento deficiente sistema de drenaje <input type="checkbox"/> Escapes de agua de tuberías <input type="checkbox"/> Deforestación o ausencia de vegetación <input type="checkbox"/> Minería <input type="checkbox"/> Disposición deficiente de estériles/escorbos <input type="checkbox"/> Vibración artificial (trafico, explosiones, hincado pilotes) <input type="checkbox"/> Erosión fluvial <input type="checkbox"/>		NOTAS: C: Condicionante, D: Detonante, I: Inherente 24h(mm): Lluvia acumulada antes del movimiento - M.				
TIPO DE EROSIÓN												
SUPERFICIAL		SUBSUPERFICIAL		ESTADO		FLUVIAL		COLICA				
Tierras malas <input type="checkbox"/> Surcos <input checked="" type="checkbox"/> Hondonadas <input type="checkbox"/> Laminar <input type="checkbox"/> Cavernas <input type="checkbox"/> Tubificación <input type="checkbox"/>		Antilea <input type="checkbox"/> Reciente <input checked="" type="checkbox"/>		Baja <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Severa <input checked="" type="checkbox"/>		Socav. fondo <input type="checkbox"/> Socav. lateral <input type="checkbox"/>		Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
EFECTOS SECUNDARIOS												
TIPO (Costa & Schuster, 1986)		MORFOMETRÍA DE LA PRESA		MORFOMETRÍA DEL EMBALSE		CONDICIONES DE LA PRESA		OTROS EFECTOS				
I <input type="checkbox"/> II <input type="checkbox"/> III <input type="checkbox"/> IV <input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> VI <input type="checkbox"/>		Longitud (m) _____ Volumen (m ³) _____ Altura (m) _____ Talud arriba (°) _____ Ancho (m) _____ Talud abajo (°) _____		Longitud (m) _____ Área cuenca (m ²) _____ Área (m ²) _____ Caudal entrada _____ Volumen (m ³) _____ Caudal salida _____ Nivel agua bajo corona (m) _____ Tasa de llenado _____		Obstrucción parcial <input type="checkbox"/> Moderadamente socavada <input type="checkbox"/> Erosión de la asta <input type="checkbox"/> Fuertemente socavada <input type="checkbox"/> Estabilización artificial <input type="checkbox"/> Parcialmente fallada <input type="checkbox"/> Ligeramente socavada <input type="checkbox"/> Fallada <input type="checkbox"/>		Tsunami (ola) <input type="checkbox"/> Inundación <input type="checkbox"/> Emplastada <input type="checkbox"/> Sedimentación <input type="checkbox"/> Sismo <input type="checkbox"/>				
POBLACIÓN AFECTADA												
Heridos _____ Vidas _____ Desaparecidos _____ Personas _____ Familias _____		TIPO DE DAÑO: Infraestructura, edificios, carreteras, inst. educativa, puentes, servicios publicos, vía ferrea, torre conducción eléctrica, obras lineales, planta eléctrica, torre de energía, capa asfáltica, galpones, tanque almacenamiento, espollones, distrito riego, puentes peatonales, puentes veredales, acueducto, Económicos: agricultura, ganadería, cultivos, semovientes, transporte pasajeros y carga. Ambientales: parques, bosques, planta tratamiento de agua.		TIPO DAÑO TIPO DAÑO CANTIDAD UNIDAD VALOR (US\$)		DL DM DS DT NC DL DM DS DT NC DL DM DS DT NC DL DM DS DT NC DL DM DS DT NC DL DM DS DT NC		NOTA: I: Infraestructura, E: Económicos, A: Ambientales, DL: Daño leve, DM: Daño moderado, DS: Daño severo, DT: Daño total, NC: No cuantificable				
NOTAS												
APRECIACIÓN DEL RIESGO		FECHA		FOTOGRAFIA		ANEXO FOTOGRAFICO		OBSERVACIONES				
ESQUEMA DEL MOVIMIENTO												
PLANTA					PERFIL							
FECHA OBSERVACIONES					FECHA OBSERVACIONES							

ANÁLISIS MORFODINÁMICO DE MOVIMIENTOS EN MASA EN RIONEGRO Y EL PLAYÓN, SANTANDER

140

✓ Movimiento en masa A1_3

FORMATO MODIFICADO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA Vs 2012															
Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas															
DATOS DE REGISTRO															
ENCUESTADOR*		FECHA EVENTO*		FECHA REPORTE*		INSTITUCIÓN*		COD. GRUPO							
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA					DOCUMENTACIÓN										
POR DIVISION POLITICA		COORDENADAS GEOGRÁFICAS			REFERENTES GEOGRÁFICOS		PLANCHAS		FOTOGRAFÍAS AERIAS						
Departamento* Santander		Sitio* Lat (GMS)* 1.097.577,41E Long (GMS)* 1.310.490,92N Altura* Proyeccion: Magna *					PLANCHAS AÑO ESCALA EDITOR		Nro Vuelo Nro Foto Año Escala Editor						
Municipio* Rionegro															
Vereda*															
ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO					LITOLÓGIA Y ESTRUCTURA										
EDAD	ESTADO	ESTILO	DISTRIBUCIÓN	DESCRIPCIÓN	ESTRUCTURA		ORIENTACIÓN		ESPACIAMIENTO (m)						
<1 año 1-5 años 6-10 años 11-15 años 16-20 años	<input checked="" type="checkbox"/> Activo <input type="checkbox"/> Reactivado <input type="checkbox"/> Suspendido <input type="checkbox"/> INACTIVO <input type="checkbox"/> Latente <input type="checkbox"/> Abandonado <input type="checkbox"/> Estabilizado <input type="checkbox"/> Relicto	<input type="checkbox"/> Simple <input checked="" type="checkbox"/> Compuesto <input type="checkbox"/> Múltiple <input type="checkbox"/> Sucesivo <input type="checkbox"/> Unico	<input checked="" type="checkbox"/> Retroactivo <input type="checkbox"/> Avanzado <input type="checkbox"/> Ensanchado <input type="checkbox"/> Confinado <input type="checkbox"/> Creciente <input type="checkbox"/> Móvil		ESTRUCTURA Estratificación Foliación Diaclasas Falla Discordancia Esquistosidad	DR	BZ	>2	2-0.6	0.6-0.2	0.2-0.06	<0.06			
Nota: Incluir mínimo origen de la roca, (LM 6 S) Edad, Fm, Litología y estratigrafía, suelos					Nota: DR: Dirección de buzamiento, BZ: Buzamiento										
CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO															
TIPO MOVIMIENTO		CAUSA DEL MOVIMIENTO		SURTIPPO MOVIMIENTO		TIPO MATERIAL		HUMEDAD		PLASTICIDAD					
<input checked="" type="checkbox"/> Caída <input type="checkbox"/> Volcamiento <input checked="" type="checkbox"/> Deslizamiento <input type="checkbox"/> Flujio <input type="checkbox"/> Proyección lateral <input type="checkbox"/> Rotación <input type="checkbox"/> Deform. Gravit. Profundas	Caída de roca Caída de detritos Caída de tierras Voicam. flexural de roca Voicam. de roca Voicam. macizo rocoso Desliz. rotacional	<input type="checkbox"/> Desliz. traslacional <input type="checkbox"/> Desliz. en cuña <input type="checkbox"/> Desliz. traslacional en cuña <input type="checkbox"/> Desliz. flexural de roca <input type="checkbox"/> Avalancha de rocas <input type="checkbox"/> Flujio de detritos <input checked="" type="checkbox"/> Flujio de lodo	<input type="checkbox"/> Desliz. por flujo <input type="checkbox"/> Avalancha de detritos <input type="checkbox"/> Flujio de tierra <input type="checkbox"/> Crecida de detritos <input type="checkbox"/> Flujio de turba <input type="checkbox"/> Desliz. licuación de arena <input type="checkbox"/> Desliz. licuación de limo	<input type="checkbox"/> Desliz. licuación detritos <input type="checkbox"/> Desliz. licuación roca fracturada <input type="checkbox"/> Propae. lateral lenta <input type="checkbox"/> Propae. lateral licuación <input type="checkbox"/> Reacción de suelos <input type="checkbox"/> Soliflujión <input type="checkbox"/> Geliflujión (en permafrost)	<input type="checkbox"/> Roca <input checked="" type="checkbox"/> Detritos <input type="checkbox"/> Tierra <input type="checkbox"/> Lodos <input type="checkbox"/> Turba	<input type="checkbox"/> Muy húmedo <input checked="" type="checkbox"/> Húmedo <input type="checkbox"/> Liger. húmedo <input type="checkbox"/> Seco	<input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/> No plástico	Nota: 1: Primer movimiento, 2: Segundo movimiento							
ORIGEN SUELO		TIPO DEPÓSITO (origen suelo secundario)		VELOCIDAD		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN*									
<input type="checkbox"/> Residual <input checked="" type="checkbox"/> Sedimentario	<input type="checkbox"/> Coluvial <input checked="" type="checkbox"/> Volcánico	<input type="checkbox"/> Aluvial <input type="checkbox"/> Eólico <input type="checkbox"/> Glacial	<input type="checkbox"/> Lacustre <input type="checkbox"/> Marino	<input type="checkbox"/> Extr. rápido (>5 m/s) <input type="checkbox"/> Muy rápido (>3 m/min) <input type="checkbox"/> Rápido (>1.8 m/hr)	<input type="checkbox"/> Moderado (>12 m/mes) <input type="checkbox"/> Lento (>1.6 m/año) <input type="checkbox"/> Muy lento (>16 mm/año)	<input type="checkbox"/> Extr. Lento (<16 mm/año)	Hutchinson, 1988 Varnes, 1978	<input type="checkbox"/> Cruden y Varnes, 1996 <input type="checkbox"/> Hunzr et al., 2001							
MORFOMETRÍA															
GENERAL				DIMENSIONES DEL TERRENO				DEFORMACIÓN TERRENO		GEOFORMA					
Diferencia de altura corona a punta (m) 175		Ancho de la masa desplazada Wd (m)		Volumen inicial (m3)		MODO		Ondulación		Escalonamiento					
Longitud horizontal corona a punta (m) 126		Ancho de la superficie de ruptura Wr (m)		Volumen desplazado (m3)		Severidad		Leve		Media					
Fahrböschung (grados)		Longitud de la masa desplazada Ld (m)		Área inicial (Km2)		Severa									
Pendiente de ladera en Post-falla (grados)		Longitud de superficie de ruptura Lr (m)		Área total afectada (Km2)											
Pendiente de ladera en Pre-falla (grados)		Espesor de la masa desplazada Dd (m)		Run up (m)											
Dirección del movimiento (grados) 110		Profundidad de superficie de ruptura Dr (m)		Distancia de viaje (Km)											
Azimut del talud (grados)		Longitud total L (m)													
CAUSAS DEL MOVIMIENTO															
INHERENTES				CONTRIBUYENTES - DETONANTES											
<input type="checkbox"/> Material plástico débil <input type="checkbox"/> Material sensible <input type="checkbox"/> Material colapsible <input type="checkbox"/> Material meteor. físicamente <input type="checkbox"/> Material meteor. químicamente <input type="checkbox"/> Material fallado por corte				<input type="checkbox"/> Movimiento tectónico <input type="checkbox"/> Sismo M ___ E ___ Dc ___ P ___ <input type="checkbox"/> Erupción volcánica <input type="checkbox"/> Lluvias (mm) 24h ___ 48h ___ 72h Mes 236 <input type="checkbox"/> Viento <input type="checkbox"/> Deshielo <input type="checkbox"/> Avance/Retroceso de glaciares <input type="checkbox"/> Rompimiento de lazos en cráteres <input type="checkbox"/> Rompimiento de presas				<input type="checkbox"/> Desembalse rápido de presas <input checked="" type="checkbox"/> Erosión cata del talud por alaciars <input checked="" type="checkbox"/> Socavación cata del talud por corriente agua <input type="checkbox"/> Socavación cata del talud por oleaje <input type="checkbox"/> Socavación de márgenes de ríos <input type="checkbox"/> Erosión Pluvial <input checked="" type="checkbox"/> Carra en la corona del talud <input type="checkbox"/> Erosión subterránea (disolución, tubificación) <input type="checkbox"/> Irrigación				<input type="checkbox"/> Mantenimiento deficiente sistema de drenaje <input type="checkbox"/> Escapes de agua de tuberías <input type="checkbox"/> Deforestación o ausencia de vegetación <input type="checkbox"/> Minería <input type="checkbox"/> Disposición deficiente de estériles/escombros <input type="checkbox"/> Vibración artificial (trafico, explosiones, hincado pilotes) <input type="checkbox"/> Erosión Fluvial NOTAS: C: Condicionante, D: Detonante, t: Inherente 24h(mm): Lluvia acumulada antes del movimiento - M.			
SUPERFICIAL			SUBSUPERFICIAL			TIPO DE EROSIÓN		ESTADO		FLUVIAL		FOLICA			
<input type="checkbox"/> Tierras malas <input type="checkbox"/> Carcavas	<input type="checkbox"/> Surcos <input checked="" type="checkbox"/> Hondonadas	<input type="checkbox"/> Laminar	<input type="checkbox"/> Cavernas <input type="checkbox"/> Tubificación	<input type="checkbox"/> Antigua <input checked="" type="checkbox"/> Reciente	<input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/> Moderada	<input type="checkbox"/> Severo	<input checked="" type="checkbox"/> Socav. fondo <input type="checkbox"/> Socav. lateral	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No							
COBERTURA Y USO DEL SUELO				EFECTOS SECUNDARIOS											
VEG. Herbácea ___% Cultivos ___% Bosque/Selva ___% Matorrales ___% Cuerpo de agua ___%				USO DEL SUELO: Ganadería ___% Área protegida ___% Agricultura ___% Vías ___% Recreación ___% Zona arqueológica ___% Vivienda ___% Zona Industrial ___% Minería ___% Sin uso ___%				AUTOR AÑO REFERENCIAS TITULO EDITOR CIUDAD PAISINAS							
EFFECTOS SECUNDARIOS															
TIPO (Cosis & Schuster, 1988)		MORFOMETRÍA DE LA PRESA		REPERCUSSIONES DEL EMBALSE		CONDICIONES DE LA PRESA		OTROS EFECTOS							
I ___ II ___ III ___	IV ___ V ___ VI ___	Longitud (m) ___ Altura (m) ___ Ancho (m) ___	Volumen (m³) ___ Talud arriba (°) ___ Talud abajo (°) ___	Longitud (m) ___ Área (m²) ___ Volumen (m³) ___ Nivel agua bajo corona (m) ___	Área cuenca (m²) ___ Caudal entrada ___ Caudal salida ___ Tasa de llenado ___	Obstrucción parcial ___ Erosión de la pata ___ Estabilización artificial ___ Ligeramente socavada ___	Moderadamente socavada ___ Fuertemente socavada ___ Parcialmente fallada ___ Fallada ___	Tsunami (o/o) ___ Inundación ___ Empalme ___ Sedimentación ___ Sismo ___							
POBLACION AFECTADA				DANOS											
Heridos ___ Vidas ___ Desaparecidos ___ Personas ___ Familias ___				TIPO INFRAESTRUCTURA, ACTIVIDADES ECONÓMICAS, DANOS AMBIENTALES				CANTIDAD		UNIDAD		TIPO DAÑO VALOR (US\$)			
				[] [E] [A]								[DL] [DM] [DS] [DT] [NC]			
				[] [E] [A]								[DL] [DM] [DS] [DT] [NC]			
				[] [E] [A]								[DL] [DM] [DS] [DT] [NC]			
				[] [E] [A]								[DL] [DM] [DS] [DT] [NC]			
				[] [E] [A]								[DL] [DM] [DS] [DT] [NC]			
				[] [E] [A]								[DL] [DM] [DS] [DT] [NC]			
TIPO DE DAÑO: Infraestructura: edificios, carreteras, inst. educativa, puentes, servicios públicos, vía ferrea, torre conducción eléctrica, obras lineales, planta eléctrica, torre de energía, casa asfáltica, palpones, tanque almacenamiento, espolones, distrito riego, puentes peatonales, puentes veredales, acueducto. Económicos: agricultura, ganadería, cultivos, semovientes, transporte pasajeros y carga. Ambientales: parques, bosques, planta tratamiento de agua.															
				NOTA: I: Infraestructura, E: Económicos, A: Ambientales, DL: Daño leve, DM: Daño moderado, DS: Daño severo, DT: Daño total, NC: No cuantificable											
NOTAS															
APRECIACIÓN DEL REGISTRO				ANEXO FOTOGRAFICO											
				FECHA FOTOGRAFIA AUTOR/DERECHOS OBSERVACIONES											
ESQUEMA DEL MOVIMIENTO															
PLANTA						PERFIL									
FECHA OBSERVACIONES						FECHA OBSERVACIONES									

LOS CAMPOS MARCADOS CON ASTERISCO (*) SON OBLIGATORIOS

ANÁLISIS MORFODINÁMICO DE MOVIMIENTOS EN MASA EN RIONEGRO Y EL PLAYÓN, SANTANDER

141

✓ Movimiento en masa A1_4

FORMATO MODIFICADO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA Vs 2012																	
Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas																	
DATOS DE REGISTRO																	
ENCUESTADOR*		FECHA EVENTO*		FECHA REPORTE*		INSTITUCIÓN*		COD. GRUPO									
		DD	MM	AA	DD	MM	AA	COD. SIMMA									
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA					DOCUMENTACIÓN												
POR DIVISION POLITICA		COORDENADAS GEOGRÁFICAS			REFERENTES GEOGRÁFICOS		PLANCHAS		FOTOGRAFÍAS AERIAS								
Departamento* Santander		Sitio* Lat (GMS)* 1.098.972.75E Long (GMS)* 1.311.405.79N Altura* Proyeccion: Magna *					PLANCHAS AÑO ESCALA EDITOR		Nro Vuelo Nro Foto Año Escala Editor								
Municipio* Rionegro																	
Vereda*																	
ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO			LITOLÓGIA Y ESTRUCTURA														
EDAD	ESTADO	ESTILO	DISTRIBUCIÓN	DESCRIPCIÓN	ESTRUCTURA	ORIENTACIÓN	ESPACIAMIENTO (m)										
<1 años 1-5 años 6-10 años 11-15 años 16-20 años	<input type="checkbox"/> 21-30 años <input type="checkbox"/> 31-40 años <input type="checkbox"/> 41-60 años <input type="checkbox"/> 61-80 años <input type="checkbox"/> > 80 años	<input type="checkbox"/> Activo <input type="checkbox"/> Reactivado <input checked="" type="checkbox"/> Suspendido <input type="checkbox"/> INACTIVO <input type="checkbox"/> Latente <input type="checkbox"/> Abandonado <input type="checkbox"/> Estabilizado <input type="checkbox"/> Relicto	<input type="checkbox"/> Compleso <input checked="" type="checkbox"/> Múltiple <input type="checkbox"/> Sucesivo <input type="checkbox"/> Unico	<input type="checkbox"/> Retroactivo <input checked="" type="checkbox"/> Avanzado <input type="checkbox"/> Enanchado <input type="checkbox"/> Confinado <input type="checkbox"/> Creciente <input type="checkbox"/> Móvil		<input type="checkbox"/> Estratificación <input type="checkbox"/> Foliación <input type="checkbox"/> Diaclasas <input type="checkbox"/> Falla <input type="checkbox"/> Discordancia <input type="checkbox"/> Esquistosidad	DR BZ	>2	2-0.6	0.6-0.2	0.2-0.06	<0.06					
Nota: Incluir mínimo origen de la roca, (LM 6 S) Edad, Fm, Litología y estratigrafía, suelos																	
CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO																	
TIPO MOVIMIENTO	SUBTIPO MOVIMIENTO			VELOCIDAD		TIPO MATERIAL	HUMEDAD	PLASTICIDAD									
<input type="checkbox"/> 1 <input checked="" type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 11 <input type="checkbox"/> 12	<input type="checkbox"/> Caída de roca <input checked="" type="checkbox"/> Volcanismo <input checked="" type="checkbox"/> Deslizamiento <input type="checkbox"/> Flujos <input type="checkbox"/> Proyección lateral <input type="checkbox"/> Rotación <input type="checkbox"/> Deform. Gravit. Profundas	<input type="checkbox"/> Desliz. traslacional <input type="checkbox"/> Desliz. en cuña <input type="checkbox"/> Desliz. traslacional en cuña <input type="checkbox"/> Desliz. flexural de roca <input type="checkbox"/> Volcam. de roca <input type="checkbox"/> Volcam. macizo rocoso <input type="checkbox"/> Desliz. rotacional	<input type="checkbox"/> Desliz. por flujo <input type="checkbox"/> Avalancha de detritos <input type="checkbox"/> Flujo de tierra <input type="checkbox"/> Crecida de detritos <input type="checkbox"/> Flujo de turba <input checked="" type="checkbox"/> Desliz. licuación de arena <input type="checkbox"/> Desliz. licuación de limo	<input type="checkbox"/> Desliz. licuación detritos <input type="checkbox"/> Desliz. licuación roca fracturada <input type="checkbox"/> Proap. lateral lenta <input type="checkbox"/> Proap. lateral licuación <input type="checkbox"/> Reacción de suelos <input type="checkbox"/> Solifluxión <input type="checkbox"/> Gelifluxión (en permafrost)	<input type="checkbox"/> Extr. rápido (>5 m/s) <input type="checkbox"/> Muy rápido (>5 m/min) <input type="checkbox"/> Rápido (>1.8 m/hr)	<input type="checkbox"/> Moderado (>12 m/mes) <input type="checkbox"/> Lento (>1.6 m/año) <input type="checkbox"/> Muy lento (>16 mm/año)	<input type="checkbox"/> Roca <input checked="" type="checkbox"/> Detritos <input type="checkbox"/> Tierra <input type="checkbox"/> Lodos <input type="checkbox"/> Turba	<input type="checkbox"/> Muy húmedo <input type="checkbox"/> Húmedo <input type="checkbox"/> Liger. húmedo <input type="checkbox"/> Seco	<input type="checkbox"/> Alta <input checked="" type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/> No plástico								
Nota: 1: Primer movimiento, 2: Segundo movimiento																	
SISTEMA DE CLASIFICACIÓN*																	
Residual Sedimentario		<input type="checkbox"/> Coluvial <input checked="" type="checkbox"/> Volcánico	<input type="checkbox"/> Aluvial <input type="checkbox"/> Eólico <input type="checkbox"/> Glacial	<input type="checkbox"/> Lacustro <input type="checkbox"/> Marino	<input type="checkbox"/> Extr. rápido (>5 m/s) <input type="checkbox"/> Muy rápido (>5 m/min) <input type="checkbox"/> Rápido (>1.8 m/hr)	<input type="checkbox"/> Moderado (>12 m/mes) <input type="checkbox"/> Lento (>1.6 m/año) <input type="checkbox"/> Muy lento (>16 mm/año)	<input type="checkbox"/> Extr. Lento (<16 mm/año)	<input type="checkbox"/> Hutchinson, 1988 <input type="checkbox"/> Varnes, 1978	<input type="checkbox"/> Cruden y Varnes, 1996 <input type="checkbox"/> Hunzr et al., 2001								
MORFOMETRÍA																	
GENERAL			DIMENSIONES DEL TERRENO			DEFORMACIÓN TERRENO			GEOFORMA								
Diferencia de altura corona a punta (m) 105			Ancho de la masa desplazada Wd (m)			Volumen inicial (m3)			MODO								
Longitud horizontal corona a punta (m) 191			Ancho de la superficie de ruptura Wr (m)			Volumen desplazado (m3)			Ondulación								
Fahrböschung (grados)			Longitud de la masa desplazada Ld (m)			Área inicial (Km2)			Escalonamiento								
Pendiente de ladera en Post-falla (grados)			Longitud de superficie de ruptura Lr (m)			Área total afectada (Km2)			SEVERIDAD								
Pendiente de ladera en Pre-falla (grados)			Espesor de la masa desplazada Dd (m)			Run up (m)			Leve								
Dirección del movimiento (grados) 266			Profundidad de superficie de ruptura Dr (m)			Distancia de viaje (Km)			Media								
Azimut del talud (grados)			Longitud total L (m)						Severa								
CAUSAS DEL MOVIMIENTO																	
INHERENTES				CONTRIBUYENTES - DETONANTES													
<input type="checkbox"/> Material plástico débil <input type="checkbox"/> Material sensible <input type="checkbox"/> Material colapsible <input type="checkbox"/> Material meteor. físicamente <input type="checkbox"/> Material meteor. químicamente <input type="checkbox"/> Material fallado por corte				<input type="checkbox"/> Movimiento tectónico <input type="checkbox"/> Sismo M ___ E ___ Dc ___ P ___ <input type="checkbox"/> Erupción volcánica <input type="checkbox"/> Lluvias (mm) 24h ___ 48h ___ 72h Mes 236 <input type="checkbox"/> Viento <input type="checkbox"/> Deshielo <input type="checkbox"/> Avance/Retroceso de glaciares <input type="checkbox"/> Rompimiento de lazos en cráteres <input type="checkbox"/> Rompimiento de presas				<input type="checkbox"/> Desembalse rápido de presas <input checked="" type="checkbox"/> Erosión en la parte superior del talud por alacías <input checked="" type="checkbox"/> Socavación en la parte superior del talud por corriente de agua <input type="checkbox"/> Socavación en la parte superior del talud por oleaje <input type="checkbox"/> Socavación de márgenes de ríos <input type="checkbox"/> Erosión Pluvial <input checked="" type="checkbox"/> Carrizos en la corona del talud <input type="checkbox"/> Erosión subterránea (disolución, tubificación) <input type="checkbox"/> Irrigación									
<input type="checkbox"/> Mantenimiento deficiente sistema de drenaje <input type="checkbox"/> Escapes de agua de tuberías <input type="checkbox"/> Deforestación o ausencia de vegetación <input type="checkbox"/> Minería <input type="checkbox"/> Disposición deficiente de estériles/escombros <input type="checkbox"/> Vibración artificial (trafico, explosiones, hincado pilotes) <input type="checkbox"/> Erosión Fluvial NOTAS: C: Condicionante, D: Detonante, I: Inherente 24h(mm); Lluvia acumulada antes del movimiento - M.																	
TIPO DE EROSIÓN																	
SUPERFICIAL			SUBSUPERFICIAL			ESTADO			FLUJOS								
Tierras malas Carcavas			Surcos Hondonadas			Laminar			Cavernas Tubificación								
<input type="checkbox"/> Reciente			<input type="checkbox"/> Reciente			<input type="checkbox"/> Reciente			<input type="checkbox"/> Reciente								
<input type="checkbox"/> Moderada			<input type="checkbox"/> Moderada			<input type="checkbox"/> Moderada			<input type="checkbox"/> Moderada								
<input type="checkbox"/> Severa			<input type="checkbox"/> Severa			<input type="checkbox"/> Severa			<input type="checkbox"/> Severa								
<input type="checkbox"/> Socav. fondo			<input type="checkbox"/> Socav. lateral			<input type="checkbox"/> Socav. fondo			<input type="checkbox"/> Socav. lateral								
<input type="checkbox"/> Si			<input type="checkbox"/> Si			<input type="checkbox"/> Si			<input type="checkbox"/> Si								
<input type="checkbox"/> No			<input type="checkbox"/> No			<input type="checkbox"/> No			<input type="checkbox"/> No								
COBERTURA Y USO DEL SUELO																	
COBERTURA DEL SUELO				USO DEL SUELO				REFERENCIAS									
Veg. Herbácea ___ % Bosque/Selva ___ % Matorrales ___ % Cuerpo de agua ___ %				Cultivos ___ % Construcciones ___ % Pastos ___ % Sin cobertura ___ %				Ganadería ___ % Agrícola ___ % Recreación ___ % Vivienda ___ % Minería ___ % Sin uso ___ %				AUTOR AÑO TÍTULO EDITOR CIUDAD PAISINAS					
EFFECTOS SECUNDARIOS																	
TIPO (Cosis & Schuster, 1988)			MORFOMETRÍA DE LA PRESA			REPERCUSSIONES DEL EMBALSE			CONDICIONES DE LA PRESA			OTROS EFECTOS					
I ___ IV ___ II ___ V ___ III ___ VI ___			Longitud (m) ___ Altura (m) ___ Ancho (m) ___			Longitud (m) ___ Área (m²) ___ Volumen (m³) ___ Nivel agua bajo corona (m) ___			Área cuenca (m²) ___ Caudal entrada ___ Caudal salida ___ Tasa de llenado ___			Obstrucción parcial ___ Erosión de la pata ___ Estabilización artificial ___ Ligeramente socavada ___			Moderadamente socavada ___ Fuertemente socavada ___ Parcialmente fallada ___ Fallada ___		
<input type="checkbox"/> Inundación			<input type="checkbox"/> Inundación			<input type="checkbox"/> Inundación			<input type="checkbox"/> Inundación			<input type="checkbox"/> Inundación					
<input type="checkbox"/> Empalme			<input type="checkbox"/> Empalme			<input type="checkbox"/> Empalme			<input type="checkbox"/> Empalme			<input type="checkbox"/> Empalme					
<input type="checkbox"/> Sedimentación			<input type="checkbox"/> Sedimentación			<input type="checkbox"/> Sedimentación			<input type="checkbox"/> Sedimentación			<input type="checkbox"/> Sedimentación					
<input type="checkbox"/> Sismo			<input type="checkbox"/> Sismo			<input type="checkbox"/> Sismo			<input type="checkbox"/> Sismo			<input type="checkbox"/> Sismo					
POBLACION AFECTADA																	
DAÑOS				INFRAESTRUCTURA, ACTIVIDADES ECONÓMICAS, DAÑOS AMBIENTALES													
Heridos Vidas Desaparecidos Personas Familias				TIPO CANTIDAD UNIDAD TIPO DAÑO VALOR (US\$)													
I E A				DL DM DS DT NC													
I E A				DL DM DS DT NC													
I E A				DL DM DS DT NC													
I E A				DL DM DS DT NC													
I E A				DL DM DS DT NC													
I E A				DL DM DS DT NC													
I E A				DL DM DS DT NC													
TIPO DE DAÑO: Infraestructura: edificios, carreteras, inst. educativa, puentes, servicios públicos, vía ferrea, torre conducción eléctrica, obras lineales, planta eléctrica, torre de energía, casa asfáltica, pilones, tanque almacenamiento, espolones, distrito riego, puentes peatonales, puentes veredales, acueducto. Económicos: agricultura, ganadería, cultivos, semovientes, transporte pasajeros y carga. Ambientales: parques, bosques, planta tratamiento de agua.																	
NOTA: I: Infraestructura, E: Económicos, A: Ambientales, DL: Daño leve, DM: Daño moderado, DS: Daño severo, DT: Daño total, NC: No cuantificable																	
NOTAS																	
APRECIACIÓN DEL REGISTRO				ANEXO FOTOGRÁFICO													
				FECHA		FOTOGRAFIA		AUTOR/DERECHOS		OBSERVACIONES							
ESQUEMA DEL MOVIMIENTO																	
PLANTA						PERFIL											
FECHA OBSERVACIONES						FECHA OBSERVACIONES											

LOS CAMPOS MARCADOS CON ASTERISCO (*) SON OBLIGATORIOS

