





**ESTUDIO PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN  
MASA EN LA ZONA DE DISTRITO REGIONAL DE MANEJO INTEGRADO  
(DRMI) CERRO CHIMAYOY EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

**1:25000**

**Elaborado por:**

**Katherine Dayana Ordóñez Rojas**

Geóloga contratista

**Karold Yojana Ceballos Cabrera**

Geógrafa contratista

Esp. Gerencia de Proyectos

**Diany Vanessa Suárez Ahumada**

Ingeniera Agroforestal contratista

**Nicolás Santiago Jurado Mora**

Ingeniero Ambiental contratista

Esp. en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos

**Supervisor del estudio:**

**Juan Guillermo Delgado**

Profesional Especializado

Geólogo

**CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

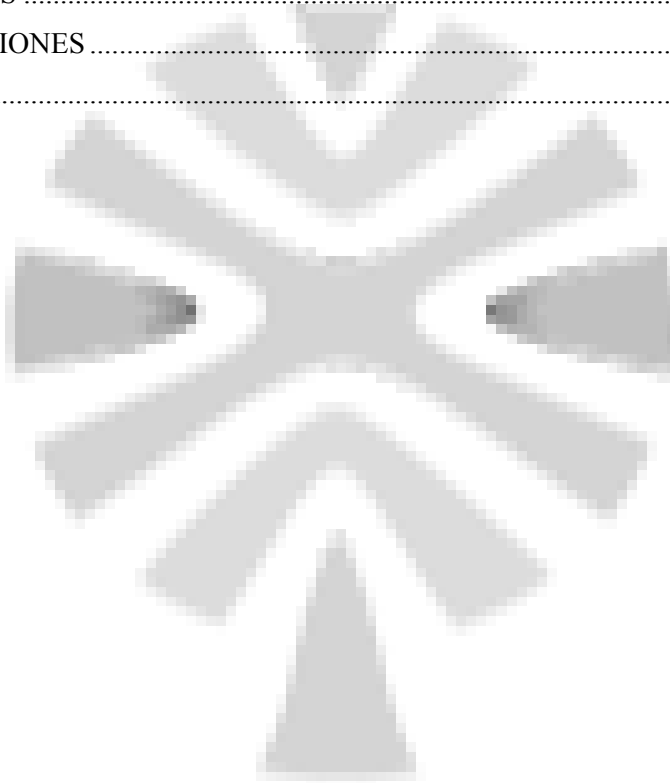
**Pasto, Nariño**

**2023**

## TABLA DE CONTENIDO

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1.     | INTRODUCCIÓN .....  | 1  |
| 2.     | OBJETIVOS .....   | 2  |
| 2.1.   | Objetivo General .....  | 2  |
| 2.2.   | Objetivos específicos.....                                    | 2  |
| 3.     | MARCO TEÓRICO .....   | 2  |
| 3.1.   | CONCEPTOS DE GESTIÓN DEL RIESGO .....                         | 2  |
| 3.2.   | MOVIMIENTOS EN MASA.....                                      | 3  |
| 3.3.   | CLASIFICACIÓN DE COBERTURAS CORINE LAND COVER .....           | 6  |
| 3.4.   | GEOMORFOLOGÍA .....   | 6  |
| 3.5.   | MORFODINÁMICA .....   | 7  |
| 3.6.   | SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA .....                      | 8  |
| 3.7.   | SENSORES REMOTOS Y TELEDETECCIÓN.....                         | 9  |
| 4.     | METODOLOGÍA .....   | 9  |
| 4.1.   | FASE APRESTAMIENTO.....                                       | 11 |
| 4.1.1. | Delimitación área de estudio .....                            | 11 |
| 4.1.2. | Información secundaria .....                                  | 11 |
| 4.1.3. | Ajuste y definición del área de estudio .....                 | 12 |
| 4.1.4. | Levantamiento de información primaria .....                   | 12 |
| 4.2.   | FASE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....         | 12 |
| 4.2.1. | Factores condicionantes .....                                 | 12 |
| 4.2.2. | Inventario de movimientos en masa.....                        | 13 |
| 4.2.3. | Detonante por precipitación .....                             | 14 |
| 4.3.   | FASE DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ..... | 15 |
| 4.3.1. | Análisis de susceptibilidad .....                             | 15 |
| 4.3.2. | Caracterización de amenaza por movimientos en masa .....      | 20 |
| 5.     | RESULTADOS .....  | 20 |
| 5.1.   | FASE APRESTAMIENTO.....                                       | 20 |
| 5.1.1. | Delimitación área de estudio .....                            | 20 |
| 5.1.2. | Información secundaria .....                                  | 21 |
| 5.1.3. | Ajuste y definición del área de estudio .....                 | 22 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 5.1.4. | Levantamiento de información primaria .....               | 23  |
| 5.2.   | FASE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....     | 24  |
| 5.2.1. | Factores condicionantes .....                             | 24  |
| 5.2.2. | Inventario de movimientos en masa .....                   | 63  |
| 5.2.3. | Detonante por precipitación .....                         | 78  |
| 5.3.   | FASE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA..... | 98  |
| 5.3.1. | Análisis de susceptibilidad .....                         | 98  |
| 5.3.2. | Caracterización de amenaza por movimientos en masa .....  | 121 |
| 6.     | CONCLUSIONES .....  | 126 |
| 7.     | RECOMENDACIONES .....                                     | 128 |
| 8.     | BIBLIOGRAFÍA.....   | 130 |



## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 Diagrama metodología zonificación por movimientos en masa .....   | 10 |
| Figura 2 Relación deslizamientos (L) y factor condicionante (w) .....  | 17 |
| Figura 3 Representación gráfica de la relación deslizamiento y factor condicionante .....  | 17 |
| Figura 4 Delimitación inicial de área de estudio .....   | 21 |
| Figura 5 Área de estudio definitiva – DRMI Cerro Chimayoy .....  | 22 |
| Figura 6 Visita de campo No.1 Fecha: 22 de junio de 2023 .....   | 23 |
| Figura 7 Mapa de UGS, DRMI Cerro Chimayoy .....  | 28 |
| Figura 8 Zona baja del perfil Roca Ígnea Blanda, PUNTO KNK002. COORDENADAS CTM12 X:<br>4545771, Y: 1728667 .....                                     | 30 |
| Figura 9 Afloramiento roca metamórfica blanda PUNTO KNK001. COORDENADAS CTM12 X:<br>4548166, Y: 1728522 .....  | 31 |
| Figura 10 Afloramiento roca metamórfica intermedia B. Muestra de mano. CONTROL<br>LITOLÓGICO .....   | 32 |
| Figura 11 Afloramiento roca sedimentaria intermedia. PUNTO KNK0028. COORDENADAS<br>CTM12 X: 4545937, Y: 1732890 .....                                | 34 |
| Figura 12. Afloramiento Formación Esmita, estratos de arenisca .....   | 35 |
| Figura 13 Materiales arenosos y limoso producto de la meteorización de la Fm. Esmita PUNTO<br>KNK009. COORDENADAS CTM12 X: 4546765, Y: 1730324 ..... | 36 |
| Figura 14 Suelo residual ígneo, regolito. PUNTO KNK002. COORDENADAS CTM12 X:<br>4545771, Y: 1728667 .....  | 37 |
| Figura 15 Suelo producto de ceniza volcánica PUNTO KNK0010. COORDENADAS CTM12 X:<br>4544813, Y: 1729589 .....  | 38 |
| Figura 16 Mapa de geomorfología del área DRMI Cerro Chimayoy .....   | 40 |
| Figura 17 Lomeríos disectados-Cerro Chimayoy .....   | 41 |
| Figura 18 Geoforma Ladera Erosiva .....  | 42 |
| Figura 19 Cerro Chimayoy .....   | 43 |
| Figura 20 Fotografía aérea, subunidades Ladera Contrapendiente- Ladera Estructural. ....   | 44 |
| Figura 21 Silleta de falla .....   | 45 |
| Figura 22 Pendiente del terreno – DRMI Cerro Chimayoy .....  | 47 |
| Figura 23 Cobertura de suelo – DRMI Cerro Chimayoy .....   | 51 |
| Figura 24 Cobertura Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales .....   | 52 |
| Figura 25 Cobertura de bosque denso .....  | 53 |
| Figura 26 Bosque de galería y ripario .....  | 54 |
| Figura 27 Unidad de cobertura Tierras desnudas y degradadas. Áreas de deslizamiento .....  | 55 |
| Figura 28 Cobertura de bosque fragmentado con pastos y vegetación secundaria .....   | 55 |
| Figura 29 Cobertura de Pastos Arbolados .....  | 56 |
| Figura 30 Unidad de cobertura Bosque abierto .....   | 57 |
| Figura 31 Cobertura de pastos enmalezados .....  | 57 |
| Figura 32 Cobertura de pastos limpios .....  | 58 |
| Figura 33 Cobertura ocupada por vegetación secundaria o en transición .....  | 59 |
| Figura 34 Cobertura de Arbustal .....  | 59 |
| Figura 35 Cobertura de cultivos permanentes arbustivos .....   | 60 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 36 Imagen de satélite Sentinel 2 .....  | 64  |
| Figura 37 Imagen satélite Google – Área DRMI Cerro Chimayoy.....                                       | 65  |
| Figura 38 Visita de campo No.2 Fecha: 13 de junio de 2023 .....  | 66  |
| Figura 39 Visita de campo No.3 Fecha: 1 de agosto de 2023 .....  | 66  |
| Figura 40 Localización movimientos en masa – SIMMA SGC.....  | 68  |
| Figura 41 Deslizamientos bajo la divisoria, sobre ladera erosiva. ESTACIÓN KNK0010, KNK0011 .....      | 69  |
| Figura 42 Deslizamiento rotacional retrogresivo. A. ESTACIÓN KNK0015 B. ESTACION KNK0025 .....         | 70  |
| Figura 43 Mapa de inventario de procesos morfodinámicos correspondiente a la Cuenca del Río Mayo. .... | 74  |
| Figura 44 Mapa de inventario de procesos morfodinámicos asociados a la cuenca río Juanambú..           | 75  |
| Figura 45 Localización estaciones pluviométricas.....  | 79  |
| Figura 46 Hidrografía área DRMI Cerro Chimayoy .....   | 80  |
| Figura 47 Precipitación mensual multianual desde 2002 – 2022 – Estación San Bernardo .....             | 82  |
| Figura 48 Precipitación mensual multianual desde 2002 – 2022 – Estación La Unión .....                 | 82  |
| Figura 49 Precipitación máxima diaria (P24h) multianual desde 2002 a 2022 – Estación San Bernardo..... | 83  |
| Figura 50 Precipitación máxima diaria (P24h) multianual desde 2002 a 2022 – Estación La Unión84        | 84  |
| Figura 51 Funciones que representan los umbrales de lluvia que detonan un movimiento en masa 90        | 90  |
| Figura 52 Umbrales de lluvia .....   | 91  |
| Figura 53 Umbral definitivo.....   | 92  |
| Figura 54 Precipitación promedio multianual del mes de noviembre, 2002 – 2022 .....                    | 97  |
| Figura 55 Mapa raster de UGS – DRMI Cerro Chimayoy.....  | 99  |
| Figura 56 Mapa raster de coberturas de suelo – DRMI Cerro Chimayoy.....                                | 100 |
| Figura 57 Mapa de inventario de procesos morfo dinámicos – Ajustado a polígonos.....                   | 101 |
| Figura 58 Pendiente clasificada.....   | 105 |
| Figura 59 Pesos de evidencia (Wf) – Factor condicionante: Unidades Geológicas Superficiales (UGS)..... | 112 |
| Figura 60 Pesos de evidencia (Wf) – Factor condicionante: pendiente del terreno .....                  | 114 |
| Figura 61 Pesos de evidencia (Wf) – Factor condicionante: Cobertura del suelo.....                     | 116 |
| Figura 62 Curva de éxito.....  | 119 |
| Figura 63 Mapa Zonificación de Susceptibilidad por Movimientos en masa tipo deslizamiento..            | 120 |
| Figura 64 Mapa de amenaza por movimientos en masa .....  | 121 |
| Figura 65 Mapa de vulnerabilidad – Área DRMI Cerro Chimayoy.....                                       | 125 |

## LISTA DE TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 1 Tipos y subtipos de procesos y sus características más importantes.....   | 4   |
| Tabla 2. Grados de meteorización.....   | 24  |
| Tabla 3. Base para estimación de índice de resistencia geológica para rocas.....  | 26  |
| Tabla 4. Caracterización de macizos a partir de estimación GSI.....   | 27  |
| Tabla 5. UGS DRMI Cerro Chimayoy.....   | 27  |
| Tabla 6. Área comprendida por las UGS (Unidades Geológicas Superficiales) en el DRMI.....   | 27  |
| Tabla 7 Rangos de pendientes.....   | 39  |
| Tabla 8 Ocupación de la cobertura de la tierra.....   | 49  |
| Tabla 9 Registro movimientos en masa tipo deslizamiento SIMMA.....  | 67  |
| Tabla 10 Esquemas y principales características de los deslizamientos, asociados a litologías sedimentarias, metamórficas y depósitos piroclásticos.....  | 72  |
| Tabla 11 Inventario de movimientos en masa.....   | 75  |
| Tabla 12 Estaciones pluviométricas cercanas al área de estudio.....   | 79  |
| Tabla 13 Movimientos en masa levantados en campo escogidos para el análisis de lluvias – umbrales y probabilidad de excedencia.....                       | 81  |
| Tabla 14 Movimientos en masa disponibles en la plataforma de SGC SIMMA escogidos para el análisis de lluvias – umbrales y probabilidad de excedencia..... | 81  |
| Tabla 15 Umbrales de lluvia.....  | 90  |
| Tabla 16 Cálculo de umbral final.....   | 91  |
| Tabla 17 Número de excedencias del umbral de lluvias al año.....  | 93  |
| Tabla 18 Clasificación del factor condicionante: UGS.....   | 102 |
| Tabla 19 Clasificación del factor condicionante: pendiente.....   | 103 |
| Tabla 20 Clasificación factor condicionante: Cobertura de suelo.....  | 105 |
| Tabla 21 Cálculo Wf – UGS.....  | 111 |
| Tabla 22 Cálculo Wf – Pendiente del terreno.....  | 113 |
| Tabla 23 Cálculo Wf – Cobertura del suelo.....  | 114 |
| Tabla 24 Rango de pesos de evidencia WF en el factor cobertura de suelo.....  | 117 |
| Tabla 25 Rango de pesos de evidencia WF en el factor UGS.....   | 117 |
| Tabla 26 Rango de pesos de evidencia WF en el factor pendiente.....   | 117 |
| Tabla 27 Clasificación WF asociada a la influencia del peso de evidencia con respecto a los movimientos en masa.....                                      | 118 |
| Tabla 28 Clasificación de susceptibilidad acorde a los resultados de la variable LSI.....   | 120 |

## 1. INTRODUCCIÓN

A nivel nacional el gobierno expidió políticas asociadas a la implementación de estrategias de gestión orientadas a proyectos de ordenamiento territorial y la incorporación de la gestión del riesgo, políticas tales como la ley 388 de 1997, ley 1523 de 2012, decreto 1640 de 2012, decreto 1807 de 2014 y decreto 1077 de 2015. A partir de lo anterior, se hace necesario implementar herramientas técnicas basadas en el conocimiento profesional adecuado en el que se tomen como pilares fundamentales las políticas mencionadas asociadas a la gestión del riesgo.

CORPONARIÑO, priorizó dentro del marco de sus funciones legales y en cumplimiento a la visión y misión de la entidad, un estudio para la zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25000 en toda el área de Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) del cerro Chimayoy, con el cual se brindarán herramientas necesarias para que los municipios adopten medidas preventivas e integren la gestión del riesgo en su ordenamiento territorial y ambiental.

Acorde al estudio técnico, ambiental, social, económico y cultural del Cerro Chimayoy de 2014 con ajustes en el año 2017, el área presenta altos niveles de transformación y el estado de fragmentación del ecosistema Bosque Andino y Altoandino por actividades antrópicas como ganadería y agricultura, y se evidencian amenazas como la remoción de materiales, entre otras.

De acuerdo a lo anterior, el presente documento presenta un análisis y zonificación del área de estudio tomando como referencia algunos aspectos metodológicos de las guías de zonificación de amenaza por movimientos en masa del Servicio Geológico Colombiano (SGC) y teniendo en cuenta la normatividad vigente y aplicable, específicamente el decreto 1077 de 2015, permitiendo establecer los escenarios de susceptibilidad y las características de la zona de interés, con la finalidad de tener como resultado la zonificación de amenaza por movimientos en masa.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Realizar la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25.000 en el área de Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) Cerro Chimayoy que lo integran los municipios de La Unión, San Bernardo, San Pedro de Cartago y Belén del departamento de Nariño.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Efectuar el proceso de aprestamiento para el estudio de zonificación de amenaza por movimientos en masa en la zona de estudio.
- Realizar el procesamiento y análisis de la información secundaria y de la información primaria levantada en campo.
- Elaborar la zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25000 en el área de Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) Cerro Chimayoy

## **3. MARCO TEÓRICO**

### **3.1. CONCEPTOS DE GESTIÓN DEL RIESGO**

Para el desarrollo del estudio es importante indagar sobre algunos conceptos fundamentales y aportes de autores, que permitan explicar y construir los temas de interés para este estudio. Se presentan algunas definiciones de riesgo y sus componentes, extraídas del libro guía metodológica para zonificación de avenidas torrenciales, guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa a escala detallada, guía para zonificación de movimientos en masa a escala 1:25000 del Servicio Geológico Colombiano, y definiciones descritas en la ley 1523 de 2012.

**Riesgo de desastres.** Daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio natural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un periodo de tiempo específico (SGC 2021).

**Amenaza.** Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para ocasionar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales (SGC 2021).

**Vulnerabilidad.** Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos. (Art.4 Ley 1523 de 2012).

**Exposición.** Se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza. (Art.4 Ley 1523 de 2012).

**Susceptibilidad.** Posibilidad que tiene un área a presentar un evento peligroso (SGC 2021).

### **3.2.MOVIMIENTOS EN MASA**

Los movimientos en masa son desplazamientos del terreno a favor de la pendiente que se generan por acción de la fuerza de gravedad, bajo la influencia de ciertos factores como son el agua, los eventos sísmicos, la aplicación de carga excesiva, las excavaciones para la adecuación de viviendas o la apertura de senderos y vías, entre otros. El SGC clasifica los

movimientos en masa conforme a la Guía para la Evaluación de Amenazas por Movimientos en Masa propuesta por el Proyecto Multinacional Andino (PMA), adoptada por Colombia (PMA: GCA, 2007), en la que movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (SGC 2017).

Según el SGC, los factores y causas de los movimientos en masa se pueden considerar como factores inherentes (estado original) y factores modificadores. Los Factores inherentes se relacionan con la naturaleza de los materiales, con el complemento de la cobertura natural y la presencia de agua: Tipo de materiales (rocas, suelos) y su origen, condición de los materiales (ejemplos, estado de fracturamiento, grado de descomposición, consistencia), actitud estructural (discontinuidades estructurales con influencia regional o local), presencia de agua (patrón de flujo y distribución), presencia de coberturas vegetales. La interacción de estos factores constituye la causa real de la inestabilidad, es decir, el conjunto de factores que definen la posibilidad de falla. Se expresan como unidades de relieve más o menos susceptibles a la falla.

De acuerdo con el Servicio Geológico Colombiano, se consideran cinco tipos de movimientos en masa de más frecuencia de ocurrencia: caídas, volcamientos, deslizamientos, flujo y reptación. Se tienen en cuenta, además, los movimientos complejos, que son resultado de la combinación cinemática de los movimientos básicos. (SGC & MINMINAS, 2017).

**Tabla 1 Tipos y subtipos de procesos y sus características más importantes**

| <b>Tipo</b> | <b>Mecanismo</b>   | <b>Material desplazado</b> | <b>Subtipo</b>   |
|-------------|--|----------------------------|--|
| Caídas,     | Desprendimiento de material que se desplaza por el aire, brinca o rueda. | Rocas, Suelos              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caída de rocas y suelos</li> <li>• Rodamiento de bloques</li> <li>• Torrentes de bloques</li> </ul> |

| <b>Tipo</b>                                   | <b>Mecanismo</b>   | <b>Material desplazado</b>             | <b>Subtipo</b>   |
|---|--|--|--|
| Volcamientos                                  | Masas que rotan en un punto sin desprenderse.  | Rocas, detritos                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Único o múltiple de conjunto de bloques de roca.</li> <li>• De bloques individuales liberados por tensión.</li> <li>• De detritos.</li> </ul>   |
| Deslizamientos                                | La masa se desplaza sobre una superficie de falla por cortante sin desintegrarse apreciablemente | Rocas, Suelos                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotacional (hundimiento)</li> <li>• Rotacional retrogresivo</li> <li>• Traslacional múltiple</li> <li>• Traslacional planar</li> <li>• Traslacional en cuna</li> <li>• Compuesto</li> </ul>   |
| Flujos, avalanchas y deslizamientos por flujo | La masa se mueve grandes distancias la mayor parte del trayecto en forma viscosa                 | Rocas, detritos, tierras, Lodos, turba | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Flujos de detritos (lahares y avenidas torrenciales)</li> <li>• Flujos de tierras, Flujos de lodo, Avalanchas de detritos, Deslizamiento por flujos de material</li> <li>• granular-licuación (Flow slide)</li> <li>• Deslizamiento por flujo de arcilla sensitiva (Clay-flow slide)</li> </ul> |
| Creep (Reptación)                             | La masa se deforma muy lentamente sin fallar.  | Rocas, suelos, talud                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Creep superficial</li> <li>• Creep profundo</li> <li>• Solifluxión y Gelifluxión (flujo)</li> </ul>   |

### **3.3. CLASIFICACIÓN DE COBERTURAS CORINE LAND COVER**

Dentro del programa CORINE (Coordination of information on the environment) promovido por la Comisión de la Comunidad Europea fue desarrollado el proyecto de cobertura de la tierra “CORINE Land Cover” 1990 (CLC 1990), el cual definió una metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la tierra, apoyando su papel como estándar 18 para la generación de información sobre dinámicas de coberturas y cambios en el uso del suelo. En el caso colombiano, desde 2005, el país ha consolidado una adaptación metodológica de este estándar europeo para fortalecer la capacidad nacional de identificar las dinámicas de las coberturas de la tierra como aporte a la planificación del territorio (IDEAM, 2010). La base de datos de CORINE Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite, para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas.

### **3.4. GEOMORFOLOGÍA**

La geomorfología es la ciencia que trata de la descripción y el estudio de la génesis, clasificación, procesos y evolución de las formas antiguas y actuales del terreno (tanto terrestres como submarinas) y su relación con las estructuras infrayacentes. Esta ciencia está enfocada al análisis de la superficie de la tierra en donde interactúan la litósfera, la hidrósfera, la atmósfera y la biosfera. Igualmente, las geoformas por definición son la expresión superficial del terreno, de la interacción dependiente de los materiales constituyentes de las mismas y su disposición estructural, de los procesos geomórficos que interactúan según el ambiente morfogenético específico donde se desarrollan, y el tiempo de duración de la acción de los mencionados procesos (Carvajal, 2012).

Los procesos geomorfológicos son dinámicos y corresponden a todos los cambios que ha sufrido la tierra desde sus comienzos, tanto aquellos originados en su interior (geodinámica interna, o procesos endogenéticos), como los generados en su superficie por la interacción con la hidrósfera, la atmósfera y la biósfera (geodinámica externa, o procesos exógenos). Los

procesos exógenos determinan los cambios de la superficie terrestre que contribuyen al remodelado y reducción de los relieves primarios por la acción aislada o combinada de la meteorización física o química de las rocas, la erosión y transporte de los materiales resultantes y de los fenómenos de remoción en masa. Estos procesos que destruyen o modifican las geoformas iniciales, son a la vez constructores de rocas, la erosión y transporte de los materiales resultantes y de los fenómenos de remoción en masa. Estos procesos que destruyen o modifican las geoformas iniciales, son a la vez constructores de nuevas formas del terreno mediante la sedimentación o depositación de los materiales transportados, estableciendo un equilibrio entre denudación - acumulación, cuya estabilidad depende de la resistencia, tipo de roca o sedimento, la acción y tiempo de duración de los agentes meteóricos propios de las condiciones climáticas prevalecientes (Carvajal, 2012).

### **3.5. MORFODINÁMICA**

Según la guía para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa a escala detallada (SGC, 2016), se debe establecer aquellos movimientos en masa que afectan o afectaron a la zona de estudio. De esta manera, se consolida el catálogo histórico municipal de procesos de inestabilidad o se hace un registro de los movimientos en masa actuales a partir de la información levantada en campo y con el uso de imágenes de sensores remotos de resolución adecuada.

De acuerdo con lo anterior, se debe determinar los procesos morfodinámicos, que corresponden a una serie de acciones sucesivas y/o simultáneas y sinérgicas a través de las cuales los agentes morfogenéticos, principalmente los externos, son capaces de modelar las formas de la superficie terrestre. Los procesos morfodinámicos están asociados a una secuencia conformada por la erosión de las rocas, el transporte de los materiales removidos y la sedimentación de dichos detritos. En consecuencia, los procesos morfodinámicos dependen de una serie de factores externos relacionados con la energía del agente morfogenético, la posición geomorfológica, así mismo, la incidencia de factores internos tales como la composición mineralógica de las rocas, su textura y grado de cohesión.

Para identificar dichos procesos morfodinámicos se lo debe hacer en términos de sus factores causales (condicionantes y detonantes), distribución espacial y frecuencia de ocurrencia, esto con base a lo establecido en la guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimiento en masa a escala 1:25.000 (SGC, 2017).

### **3.6. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

Debido a la necesidad de integrar el conocimiento técnico de manera interdisciplinaria, los Sistemas de Información Geográfica – SIG, son una herramienta idónea que permite utilizar información variada de distintas fuentes, y que, a su vez, facilita el análisis simultáneo de un mismo problema, en este sentido, los SIG suelen aplicarse a sistemas informáticos orientados a la gestión de datos espaciales, constituyéndose en una herramienta para la investigación y el trabajo profesional en Ciencias de la Tierra y Ambientales (Díaz & Mercado, 2017).

Para Olaya (2014), *“un SIG es un elemento que permite analizar, presentar e interpretar hechos relativos a la superficie terrestre”*, teniendo en cuenta lo anterior, es importante entender que los SIG han sido una herramientas que tiene como objetivo la visualización de la superficie terrestre a diferentes escalas permitiendo de esta manera la identificación de las problemáticas socio-espaciales, es la conjunción de representación del espacio geográfico, la unión de componentes de base de datos alfanuméricos y base de datos gráficas Buzai G. (2013).

Según Sarría (2006), quien menciona que los Sistemas de Información Geográfica se definen como: *“sistemas que permiten almacenar datos espaciales para su consulta, manipulación y representación de datos espaciales en el campo de estudio”*. De esta manera, se puede dar un acercamiento frente a los SIG como: la unión de información digital y herramientas informáticas que ayudan y facilitan el análisis de datos georreferenciados (incluyen ubicación y una proyección), algunas características importantes de los SIG son: Capacidad de gran almacenamiento, agilización en consultas, selecciones y la interrelación que se maneja entre diferentes disciplinas y profesionales.

### 3.7. SENSORES REMOTOS Y TELEDETECCIÓN

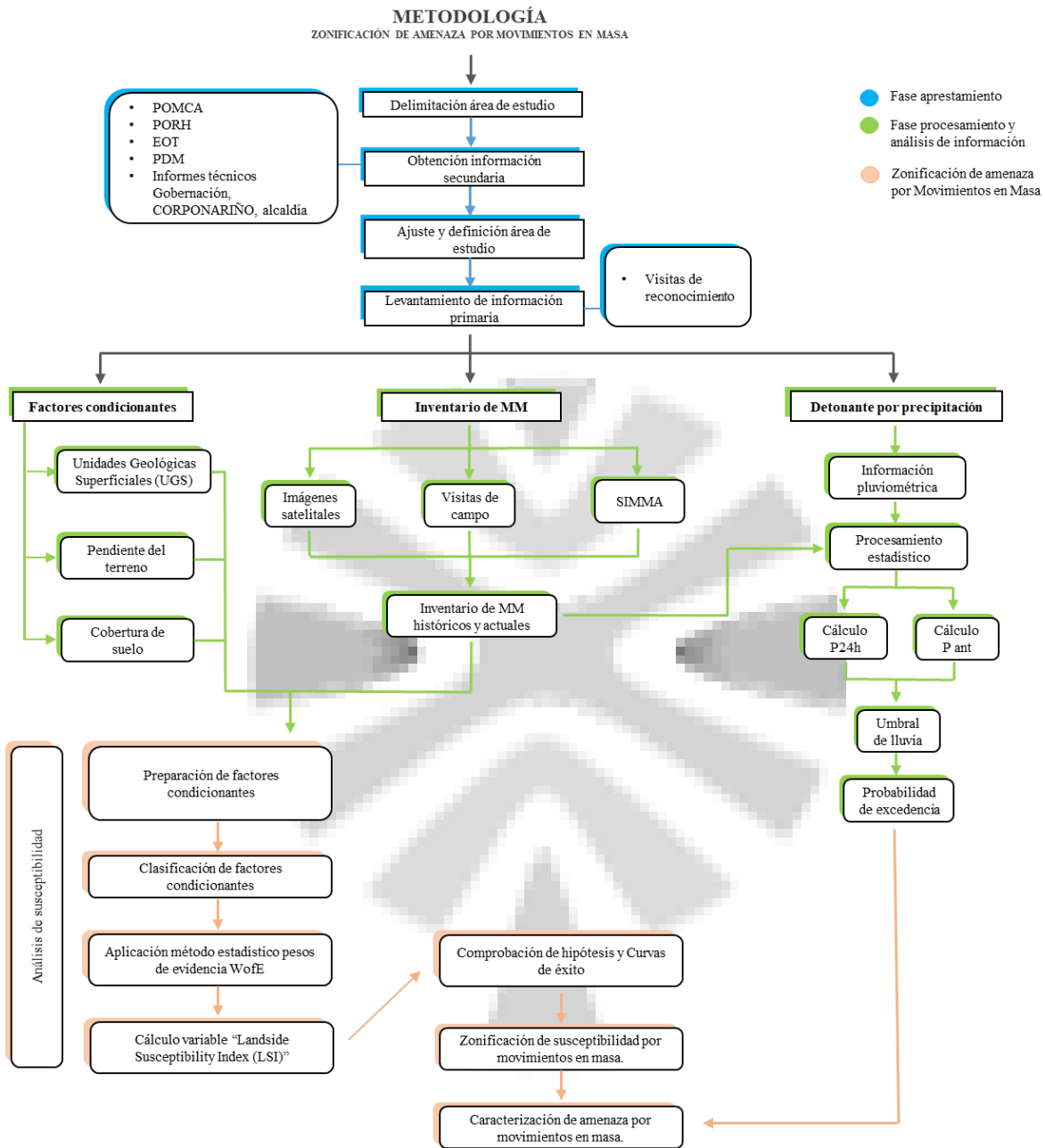
Según López (2020), en su libro Fundamentos para la teledetección, menciona que: *“La teledetección o percepción remota (‘Remote Sensing’) es una disciplina científica que integra un amplio conjunto de conocimientos y tecnologías utilizadas para la observación, el análisis y la interpretación de fenómenos terrestres y atmosféricos”*, es así como sus bases para la adquisición de información se remiten directamente a imágenes obtenidas con la ayuda de plataformas aéreas y espaciales. Por lo cual, es importante resaltar que la teledetección adquiere la información a una determinada distancia, sin que se tenga contacto directo con el objeto estudiado.

Los sensores remotos para la teledetección, particularmente aquellos ubicados sobre satélites, otorgan una percepción importante de la Tierra en un espacio y lugar determinado, capturando datos relevantes para identificar diferentes variables y componentes de ciencias como: geología y geomorfología, hidrología, coberturas de la tierra, la respectiva morfo dinámica que se presenta en el transcurso del tiempo, Siendo así, para el estudio permitir la monitorización y análisis del efecto de las actividades humanas sobre la misma como puede ser crecimiento urbano, deforestación, adquisición y demanda de recursos naturales, mapeado, topografía, entre otros.

### 4. METODOLOGÍA

La metodología que se describe a continuación se basó en las guías de zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala detallada y escala básica del Servicio Geológico Colombiano (SGC). Se presenta el diagrama metodológico, en el cual se describen los procesos desarrollados para la zonificación de amenaza por movimientos en masa en el área objeto de estudio.





**Figura 1 Diagrama metodología zonificación por movimientos en masa**

## **4.1. FASE APRESTAMIENTO**

### **4.1.1. Delimitación área de estudio**

Se delimitó el área de estudio inicial teniendo en cuenta como referente principal la delimitación hidrológica de acuerdo a movimientos en masa identificados en visitas de seguimiento que ha llevado a cabo la corporación. De igual manera, específicamente se realizará el estudio en el área de Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) del Cerro Chimayoy.

El cerro Chimayoy se localiza al norte del departamento de Nariño, cubre 20 veredas en jurisdicción de los municipios de San Pedro de Cartago, La Unión, San Bernardo y Belén, con una extensión de 3127 hectáreas y rango altitudinal entre los 1900 y 3000 msnm.

Se tuvo en cuenta el área de la cuenca de la quebrada el Salado como posible área de estudio teniendo en cuenta que en esta zona se evidenciaron varios deslizamientos en una primera visita de reconocimiento al sector.

### **4.1.2. Información secundaria**

Se recolectó información secundaria de los diferentes estudios que se hayan realizado en el área objeto de estudio como lo es principalmente el POMCA de río Juanambú y río Mayo las cuales son las dos cuencas que componen el área DRMI Cerro Chimayoy. Por otra parte, seguimientos de la corporación a movimientos en masa presentados en los municipios de San Bernardo, Belén, San Pedro de Cartago y la Unión en donde aplique. Se consultará adicionalmente información disponible en las alcaldías de los municipios descritos y la gobernación del departamento.

#### **4.1.3. Ajuste y definición del área de estudio**

El área final de estudio se definió con base en la disponibilidad de información recolectada tanto primaria como secundaria. Finalmente se ajusta el área definitiva para el análisis de zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000.

#### **4.1.4. Levantamiento de información**

Se realizaron visitas de reconocimiento en el área DRMI Cerro Chimayoy con el fin de identificar movimientos en masa, caracterización de los mismos, análisis y descripción de coberturas, identificación y localización de infraestructura existente. Se verificaron aspectos identificados en la información secundaria obtenida para el estudio.

### **4.2. FASE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

#### **4.2.1. Factores condicionantes**

Se definieron, acorde a la guía del servicio geológico para zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25.000, y la información disponible recolectada tanto primaria como secundaria, los factores condicionantes a evaluar en el análisis de susceptibilidad. Para el caso se definieron los siguientes factores condicionantes: a) Unidades Geológicas Superficiales; b) Pendiente del terreno; c) Cobertura de suelo.

##### **4.2.1.1. Unidades Geológicas Superficiales (UGS)**

En los recorridos de campo se localizaron puntos de control con los cuales se identificó litología, textura, humedad, permeabilidad, estructuras, granulometría, entre otros, con el objetivo de establecer y caracterizar las diferentes unidades geológicas superficiales (UGS) que afloran en el terreno.

#### **4.2.1.2. Pendiente del terreno**

La pendiente del terreno se determinó mediante herramientas SIG y con el insumo principal correspondiente a Modelo de Elevación Digital (DEM) con resolución de 5 metros de pixel. De igual manera, se corroboraron los resultados con lo observado en campo en las visitas realizadas al cerro Chimayoy.

#### **4.2.1.3. Cobertura de suelo**

A partir de la “Leyenda Nacional de Coberturas de la tierra, Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia escala 1: 100.000” se establecieron los criterios para levantar la capa de coberturas de la tierra a escala 1:25.000. Se utilizó información secundaria como imágenes satelitales Esri, Bing Satélite y Google Satélite. Se realizaron recorridos de campo de toda el área de estudio con el fin de ajustar la capa de coberturas. Se utilizó la aplicación Avenza maps para recolectar y georreferenciar las diferentes estructuras y coberturas que sirvieron para ajustar la capa vectorial.

Posteriormente en oficina, se trabajó con un software SIG para el procesamiento y ajuste de la capa de cobertura de la tierra utilizando la clasificación Corine Land Cover.

### **4.2.2. Inventario de movimientos en masa**

#### **4.2.2.1. Imágenes satelitales**

Uno de los insumos más importantes para el levantamiento del inventario de movimientos en masa fueron las imágenes satelitales. Para ello se investigaron varias fuentes como el portal EO Browser de Sinergise en el cual se obtienen imágenes de diferentes satélites como Sentinel, landsat, alos palsar, entre otros. Por otra parte, se obtuvieron imágenes del satélite ASTER de google Earth mediante herramientas SIG como SAS Planet. El objetivo de la actividad fue obtener imágenes actualizadas y con buena resolución sin obstáculos como

nubosidad en el área con el fin de corroborar la localización de los movimientos en masa levantados en campo.

#### **4.2.2.2. Visitas de campo**

En las visitas de campo realizadas se localizaron y georreferenciaron todos los movimientos en masa posibles en el área DRMI Cerro Chimayoy. Para ello, se utilizaron los formatos correspondientes y herramientas de georreferenciación adecuadas.

#### **4.2.2.3. Portal SIMMA**

Se obtuvo información del inventario de movimientos en masa registrados en el portal SIMMA del Servicio Geológico Colombiano en los municipios que compone el área DRMI, San Bernardo, La Unión, San Pedro de Cartago y Belén.

#### **4.2.2.4. Inventario de movimientos en masa históricos y actuales**

Finalmente, a partir de las fuentes descritas anteriormente se consolidó el inventario de movimientos en masa tanto históricos como actuales. Cabe resaltar que en algunos de los movimientos en masa levantados en campo no se logró obtener la fecha de detonación aproximada. De igual manera en cuanto a movimientos en masa de SIMMA únicamente se localizaron dentro del área DRMI tres (3) movimientos.

#### **4.2.3. Detonante por precipitación**

El detonante por precipitación se analizó acorde a la guía técnica de zonificación por movimientos en masa a escala 1:25000, para lo cual se utilizó la información del día de detonación de los movimientos en masa y datos hidrometeorológicos para establecer la precipitación antecedente.

Se determinó el umbral de lluvias característico de la zona el cual posiblemente detone movimientos en masa. Posteriormente se calculó la probabilidad de excedencia del umbral mediante el método de Poisson sugerido en la guía de zonificación del servicio geológico.

Complementariamente se elaboró un mapa de precipitación por medio de isoyetas correspondiente a la precipitación promedio multianual del mes de noviembre teniendo en cuenta que en este mes se producen los mayores picos de precipitación en la zona.

### **4.3. FASE DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA**

#### **4.3.1. Análisis de susceptibilidad**

Como primer paso para la zonificación de amenaza se realizó el análisis de susceptibilidad por movimientos en masa. El producto obtenido representado en un mapa de susceptibilidad que refleja las áreas más probables para la ocurrencia de movimientos en masa.

El método sugerido en la guía de zonificación de movimientos en masa del SGC 2017, corresponde a técnicas de mapeo directo a partir de geo formas indicativas de inestabilidad y el análisis estadístico de factores o combinación de factores condicionantes de la ocurrencia de movimientos en masa en el área de estudio.

La base del análisis de susceptibilidad se estructura en el inventario de movimientos en masa.

##### **4.3.1.1.Preparación de factores condicionantes**

Inicialmente se elaboraron los mapas y descripción de factores condicionantes. En el caso presente, se tienen: UGS, pendiente, y cobertura. La preparación de factores se refiere al ajuste cartográfico realizado, correcciones topológicas y finalmente la rasterización de vectores.

#### 4.3.1.2. Clasificación de factores condicionantes

Los factores condicionantes se clasificaron acorde a lo encontrado en campo y el criterio del equipo de trabajo.

#### 4.3.1.3. Aplicación método estadístico Bivariado - pesos de evidencia WofE

Teniendo en cuenta que los movimientos en masa a analizar corresponden a deslizamientos, se aplicará el método estadístico bivariado.

El método evalúa patrones de asociación entre los factores condicionantes (evidencias) y las áreas inestables mediante pesos. El peso de cada factor se calcula aplicando un enfoque bayesiano que considera la probabilidad incondicional y condicional de que ocurra un movimiento en masa. (SGC 2017)

Dentro del método se calcularon los pesos para los factores condicionantes mediante las siguientes ecuaciones.

$$W_i^+ = \ln \frac{p(W_i/L)}{p(W_i/L)} \quad Ec. 1$$

$$W_i^- = \ln \frac{p(\bar{W}_i/L)}{p(\bar{W}_i/L)} \quad Ec. 2$$

Donde:

W<sub>i</sub>: factor condicionante donde se tienen las clases de i=1

L: Deslizamiento

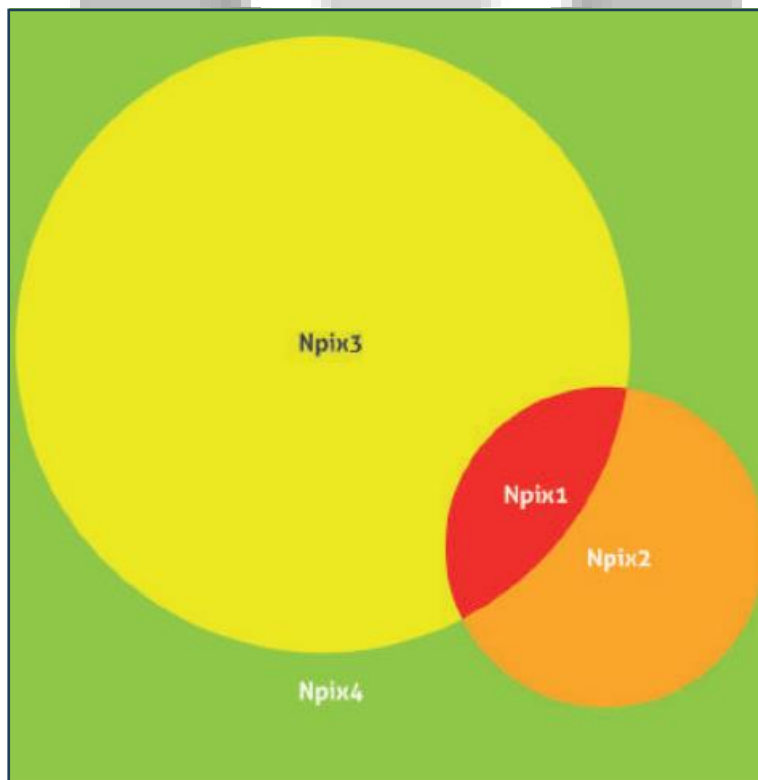
p: Recurrencia

Van Westen (1993) plantea que en términos de pixeles el área q está compuesta por un número total de pixeles  $N = N_{pix1} + N_{pix2} + N_{pix3} + N_{pix4}$ . (SGC 2017)

|                      |          | w: Factor condicionante con potencialidad de deslizamientos |                         |                         |
|----------------------|----------|---|-------------------------|-------------------------|
|                      |          | Presente  | Ausente                 |                         |
| L:<br>Deslizamientos | Presente | Npix1   | Npix2                   | Área total deslizada    |
|                      | Ausente  | Npix3   | Npix4                   | Área total no deslizada |
|                      |          | Área total con unidad w                                     | Área total sin unidad w | Área total del mapa     |

**Figura 2 Relación deslizamientos (L) y factor condicionante (w)**

*Fuente. Guía zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25000 SGC 2017*



**Figura 3 Representación gráfica de la relación deslizamiento y factor condicionante**

*Fuente. Guía zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25000 SGC 2017*



En la Figura 3 se puede observar la representación gráfica de la relación entre deslizamiento y factor condicionante, donde:

Npix1: Hay presencia de factor condicionante (Npix3) en el deslizamiento (Npix2). Lo cual representa una muy alta incidencia del factor en el deslizamiento.

Npix2: No hay presencia del factor condicionante (Npix3) en el deslizamiento (Npix2). Lo cual representa una alta incidencia del factor en el deslizamiento.

Npix3: Representa el factor condicionante. Lo cual es indicativo de una significancia media por efectos del factor que alguna vez contribuyó al deslizamiento.

Npix4: No hay deslizamiento ni factor condicionante. Lo cual es indicativo de una significancia baja.

Por lo tanto, las ecuaciones 1 y 2, en términos de pixeles se pueden expresar como:

$$W_i^+ = \ln \frac{\frac{Npix1}{Npix1 + Npix2}}{\frac{Npix3}{Npix3 + Npix4}} \quad Ec. 3$$

El peso positivo indica la importancia de la presencia del factor en el deslizamiento. Un resultado positivo indica que la presencia del factor contribuye a la presencia del deslizamiento y la magnitud indica el grado de correlación directa. Si el valor es negativo, indica que la presencia del factor contribuye a la ausencia del deslizamiento y su magnitud indica el grado de correlación inversa. Si el valor resultado es cero, indica que el factor no es relevante.

$$W_i^- = \ln \frac{\frac{Npix2}{Npix1 + Npix2}}{\frac{Npix4}{Npix3 + Npix4}} \quad Ec. 3$$

El peso negativo indica la importancia de la ausencia del factor en el deslizamiento. Un resultado positivo indica que la ausencia del factor contribuye a la presencia del deslizamiento y la magnitud indica el grado de correlación directa. Si el valor es negativo, indica que la ausencia del factor contribuye a la ausencia del deslizamiento y su magnitud indica el grado de correlación inversa. Si el valor resultado es cero, indica que el factor no es relevante.

Finalmente se aplica la siguiente ecuación para determinar el peso final:

$$W_f = W_i^+ - W_i^- \quad Ec. 4$$

#### 4.3.1.4. Cálculo variable “Landside Susceptibility Index (LSI)”

La función final de susceptibilidad se define como el cálculo de la variable LSI (Landslide Susceptibility Index) la cual se determina mediante la siguiente ecuación:

$$LSI = W_f(\text{pendiente}) + W_f(UGS) + W_f(\text{cobertura}) \quad Ec. 5$$

#### 4.3.1.5. Comprobación de hipótesis y curvas de éxito

La curva de éxito mide la bondad de ajuste de la función de susceptibilidad a los movimientos en masa inventariados (SGC 2017). La curva de éxito se construyó a partir de la variable LSI y el inventario de los movimientos en masa.

Una vez que la curva esté construida se deberá evaluar el área bajo la curva (ABC), para establecer la calidad de ajuste de los datos. Cuanto más pronunciada sea la parte inicial de la curva y mayor el ABC, mejor será la capacidad de la función para describir la distribución

de los movimientos en masa. Un porcentaje aceptable de ajuste debe ser mayor a 70%. (SGC 2017).

#### **4.3.1.6. Zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa**

Una vez validada la hipótesis y elaborado el mapa de la función LSI, se procedió a determinar los rangos de susceptibilidad acorde a los pesos obtenidos, con lo cual se elaboró el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa.

#### **4.3.2. Caracterización de amenaza por movimientos en masa**

Finalmente, la amenaza relativa consiste en el mapa final de susceptibilidad con los atributos del umbral de lluvia de detonación y con el contraste del mapa de morfo dinámica.

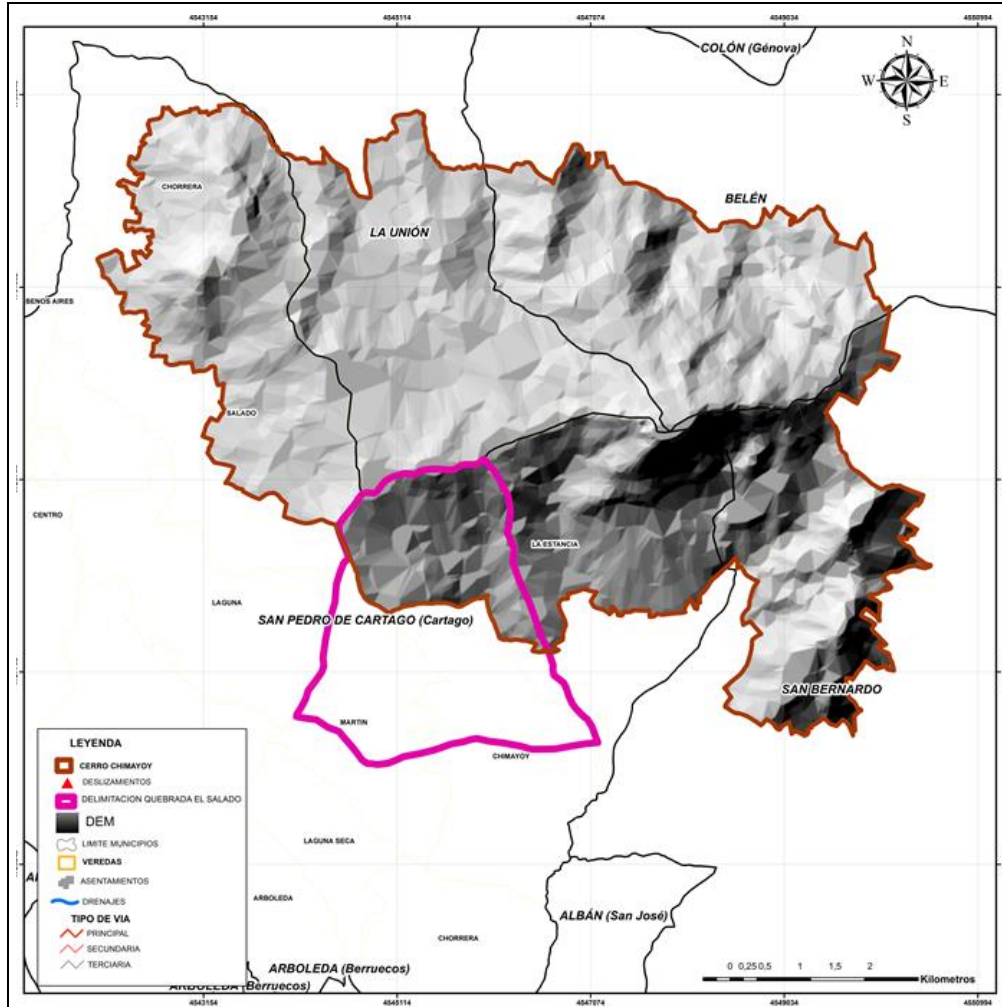
## **5. RESULTADOS**

### **5.1. FASE APRESTAMIENTO**

#### **5.1.1. Delimitación área de estudio**

En el municipio de San Pedro de Cartago y la Unión se han presentado varios deslizamientos en los últimos años los cuales han sido objeto de seguimiento por parte de la corporación. Los deslizamientos se encuentran dentro de la zona de Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) Cerro Chimayoy. En los últimos seguimientos del presente año 2023 por parte de la corporación se han evidenciado tres deslizamientos importantes ubicados en el municipio de San Pedro de Cartago y que hacen parte de la microcuenca El Salado.

Por lo anterior, se determinó como área de estudio el DRMI Cerro Chimayoy y la microcuenca el Salado.



**Figura 4 Delimitación inicial de área de estudio**

### 5.1.2. Información secundaria

Para el estudio se ha solicitado información en lo referente a actividades de gestión de riesgo en los municipios que hacen parte del área DRMI Cerro Chimayoy, sin embargo, nunca se obtuvo respuesta por parte de las entidades territoriales específicamente las alcaldías.

Como insumos principales de los cuales se obtuvo información para el presente estudio, se utilizó

### 5.1.3. Ajuste y definición del área de estudio

Finalmente, acorde a la información disponible y las visitas de campo, se definió el área total DRMI Cerro Chimayoy como el área de estudio final.

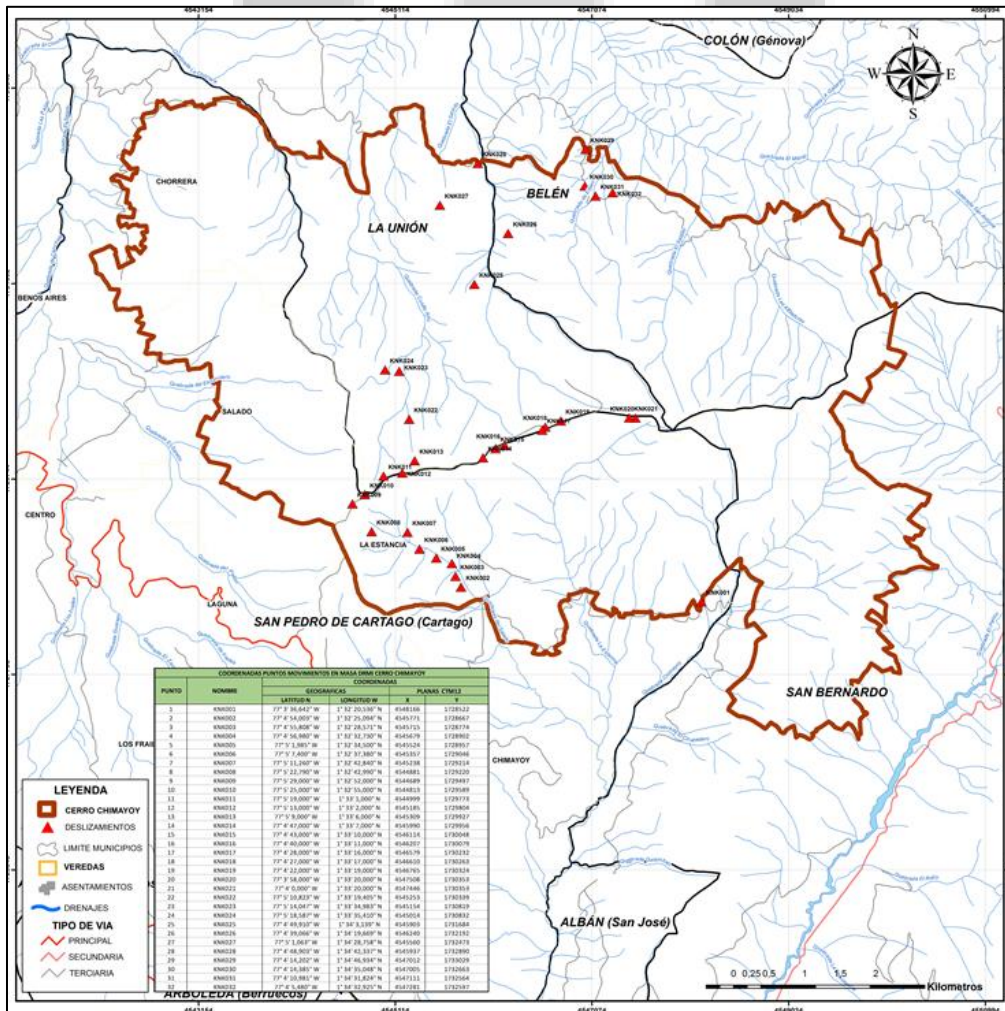
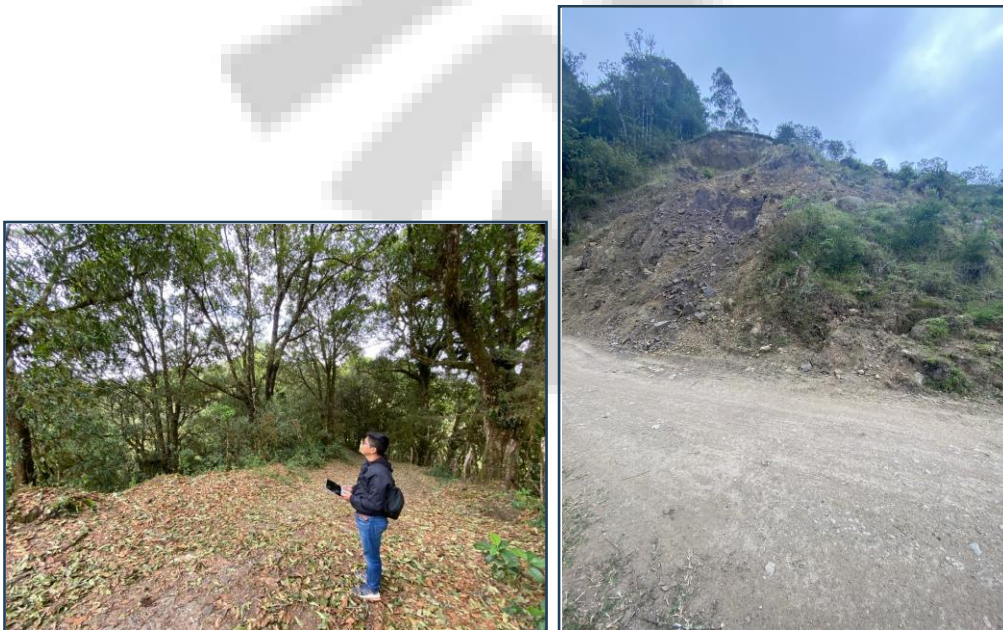


Figura 5 Área de estudio definitiva – DRMI Cerro Chimayoy

#### 5.1.4. Levantamiento de información primaria

Se realizó una visita de reconocimiento al área DRMI Cerro Chimayoy en la cual se identificaron movimientos en masa en su gran mayoría de tipo deslizamientos. Por otra parte, se observaron y analizaron coberturas y usos de suelo, geomorfología, litología, fuentes hídricas.

La actividad se llevó a cabo el día jueves 22 de junio. En la visita se realizó el sobrevuelo con dron proporcionado por la alcaldía de San Pedro de Cartago, para levantamiento de aerofotografías lo cual servirá para la identificación de coberturas, infraestructura existente y movimientos en masa. Se realizó un recorrido a gran parte del área con el fin de caracterizar los movimientos en masa y obtener información clave para el estudio como fecha de detonación y coordenadas de localización del mismo.



**Figura 6 Visita de campo No.1 Fecha: 22 de junio de 2023**

## 5.2. FASE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

### 5.2.1. Factores condicionantes

#### 5.2.1.1. Unidades Geológicas Superficiales (UGS)

Definidas mediante los estudios y determinaciones formuladas en campo, corresponden al material expuesto en superficie del terreno estudiado; estas unidades están asociadas y tienen su origen producto de las condiciones de interperismo a las que ha sido sometida la geología local aflorante; para la clasificación de las rocas se tuvo en cuenta su origen, composición mineralógica, grado de meteorización o alteración, dureza, resistencia e Índice de Resistencia Geológica (GSI), el cual fue Fuente Hoek y Marinos, 2000. Para la caracterización de los suelos se definió, además, estructura, propiedades del suelo, empaquetamiento, selección, color, condición de humedad y permeabilidad. Los conceptos puntuales y caracterización se basaron en los cuadros de clasificación Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4. La Unidades Superficiales de Suelo se determinaron con el fin de reconocer sus condiciones geotécnicas y sus pesos según valores de susceptibilidad para el área estudiada.

Se determinaron ocho unidades, las que comprenden orígenes asociados a rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, diferentes grados de meteorización.

**Tabla 2. Grados de meteorización**

| <b>Grado de meteorización</b> | <b>Tipo</b> | <b>Descripción meteorización</b>  |
|-------------------------------|-------------|---|
| I                             | Roca sana   | No se observan signos visibles de meteorización en la roca. Quizás una decoloración leve sobre las superficies de las mayores discontinuidades. |

|     |                           |   |
|-----|---------------------------|---|
| II  | Levemente meteorizada     | Se presenta decoloración en la roca y en las superficies de discontinuidad. La roca puede estar decolorada totalmente por la meteorización y puede estar externamente algo más débil que en su condición sana.        |
| III | Moderadamente meteorizada | Menos de la mitad de la roca esta descompuesta y/o desintegrada a suelo. La roca sana o decolorada se puede presentar como capas o testigos continuos.  |
| IV  | Muy meteorizada           | Más de la mitad de la roca esta descompuesta y/o desintegrada a suelo. La roca sana o decolorada se puede presentar como capas testigos discontinuos.   |
| V   | Completamente meteorizada | Toda la roca esta descompuesta y/o desintegrada a suelo. La estructura original del macizo rocoso aún se mantiene en gran parte intacta.  |
| VI  | Suelo residual            | Toda la roca está convertida a suelo. La estructura del macizo rocoso y la fábrica del material están destruidas. Existe un gran cambio de volumen, sin embargo, el suelo no ha sido transportado significativamente. |

Fuente: Grado de meteorización según la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM), 1981.



**Tabla 3. Base para estimación de índice de resistencia geológica para rocas**

| INDICE DE ESFUERZO GEOLOGICO PARA ROCAS UNIDAS<br>(HOEK & MARINOS, 2000)   |  | CONDICIONES DE SUPERFICIE                        |   |   |  |  |
|--|--|--|---|---|--|--|
| <p>Desde la litología, estructura y condiciones de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio del GSI. No intentar ser muy preciso. Un rango de 33 a 37 es mas real que tomar un GSI de 35. Note que la tabla no aplica a fallas controladas estructuralmente. Donde planos estructurales debiles estan presentes en una direccion desfavorable con respecto a la excavacion, estos dominaran el comportamiento del macizo rocoso. Las zonas de falla son propensas a la alteracion como resultado de cambios de humedad que puede reducirse cuando el agua esta presente. Cuando trabajamos en roca regular o mala calidad cambian las condiciones por el cambio de humedad. La presion del agua es tratada por analisis de esfuerzos efectivos.</p> |  | MUY BUENA  | BUENA   | REGULAR   | POBRE  | MUY POBRE  |
|  |  | Superficie muy rugosas, no meteorizadas, frescas | Superficies rugosas, ligeramente meteorizadas, manchadas con hierro | Superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alteradas | Superficie con espejos de falla, alto grado de meteorizacion y rellenos compactos. | Superficie con espejos de falla, alto grado de meteorizacion y rellenos de arcillas suave. |
| ESTRUCTURA   |  | DECRECE LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE →            |   |   |  |  |
|  | INTACTA O MASIVA<br>Rocas intactas o masivas in-situ, rocas con discontinuidades amplias y espaciadas  | 90   |   |   | N/A  | N/A  |
|  | FRACTURADA<br>Macizo rocos con bloques enclavados, bloques cubicos formados tres intersecciones de sistemas de dicontinuidades   | 80   | 70  |   |  |  |
|  | MUY FRACTURADA<br>Macizo perturbado con bloques entrelazados y angulares formados por la interseccion de 4 o mas sistemas  |  | 60  | 50  |  |  |
|  | FRACTURADA/PERTURBADA/SORDIDA<br>Macizo plegado formado por bloques angulares productos de la interseccion de varios sistemas de discontinuidades. Persistencia de los planos de estratificacion |  |   | 40  | 30   |  |
|  | DISGREGADO<br>Pobremente enclavado, macizo altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados   |  |   |   | 20   |  |
|  | LAMINADA/FOLIADA<br>Se carece de bloques debido al debil material en los planos de esquistocidad y cizalla   | N/A  | N/A   |   |  | 10   |
|  |  | ← DECRECE EL ENCLAVAMIENTO DE LOS BLOQUES        |   |   |  |  |

Fuente: Hoek y Marinos, 2000.

La evaluación del índice GSI se hace por comparación del caso que interesa con las condiciones típicas que se muestran en la Figura 2.1.1 y este índice puede variar de 0 a 100, lo que permite definir 5 clases de macizos rocosos (Karzulovic, 2006):

**Tabla 4. Caracterización de macizos a partir de estimación GSI**

| CARACTERIZACIÓN              | VALOR GSI      |
|------------------------------|----------------|
| Macizos de calidad Muy Mala  | (0 <GSI <20)   |
| Macizos de calidad Mala      | (20 <GSI <40)  |
| Macizos de calidad Regular   | (40 <GSI <60)  |
| Macizos de calidad Buena     | (60 <GSI <80)  |
| Macizos de calidad Muy Buena | (80 <GSI <100) |

Fuente: Karzulovic, 2006

**Tabla 5. UGS DRMI Cerro Chimayoy**

| Origen UGS         | Tipo UGS                                   |
|--------------------|--|
| Roca ígnea         | Roca ígnea blanda <b>Rib</b>               |
| Roca metamórfica   | Roca metamórfica blanda <b>Rmb</b>         |
|                    | Roca metamórfica intermedia <b>Rmi</b>     |
| Roca sedimentaria  | Roca sedimentaria intermedia <b>Rsi</b>    |
|                    | Roca sedimentaria dura <b>Rsd</b>          |
| Suelo residual     | Suelo residual sedimentario <b>Srs</b>     |
|                    | Suelo residual ígneo (regolito) <b>Sri</b> |
| Suelo transportado | Suelo transportado volcánico <b>Stv</b>    |

**Tabla 6. Área comprendida por las UGS (Unidades Geológicas Superficiales) en el DRMI.**

| NOMBRE     | AREA<br>(Has) | PORCENTAJE |
|------------|---------------|------------|
| <b>Rsd</b> | 198,08        | 6,31%      |
| <b>Srs</b> | 169,5         | 5,40%      |
| <b>Rsi</b> | 831,62        | 26,50%     |
| <b>Srs</b> | 256,37        | 8,17%      |
| <b>Stv</b> | 1287,54       | 41,03%     |
| <b>Rmi</b> | 54,34         | 1,73%      |
| <b>Sri</b> | 7,64          | 0,24%      |

| NOMBRE        | AREA (Has) | PORCENTAJE |
|---------------|------------|------------|
| <b>Rib</b>    | 25,24      | 0,80%      |
| <b>Rmb</b>    | 297,19     | 9,47%      |
| <b>Rmi</b>    | 10,16      | 0,32%      |
| <b>TOTAL:</b> | 3137,68    | 100,00%    |

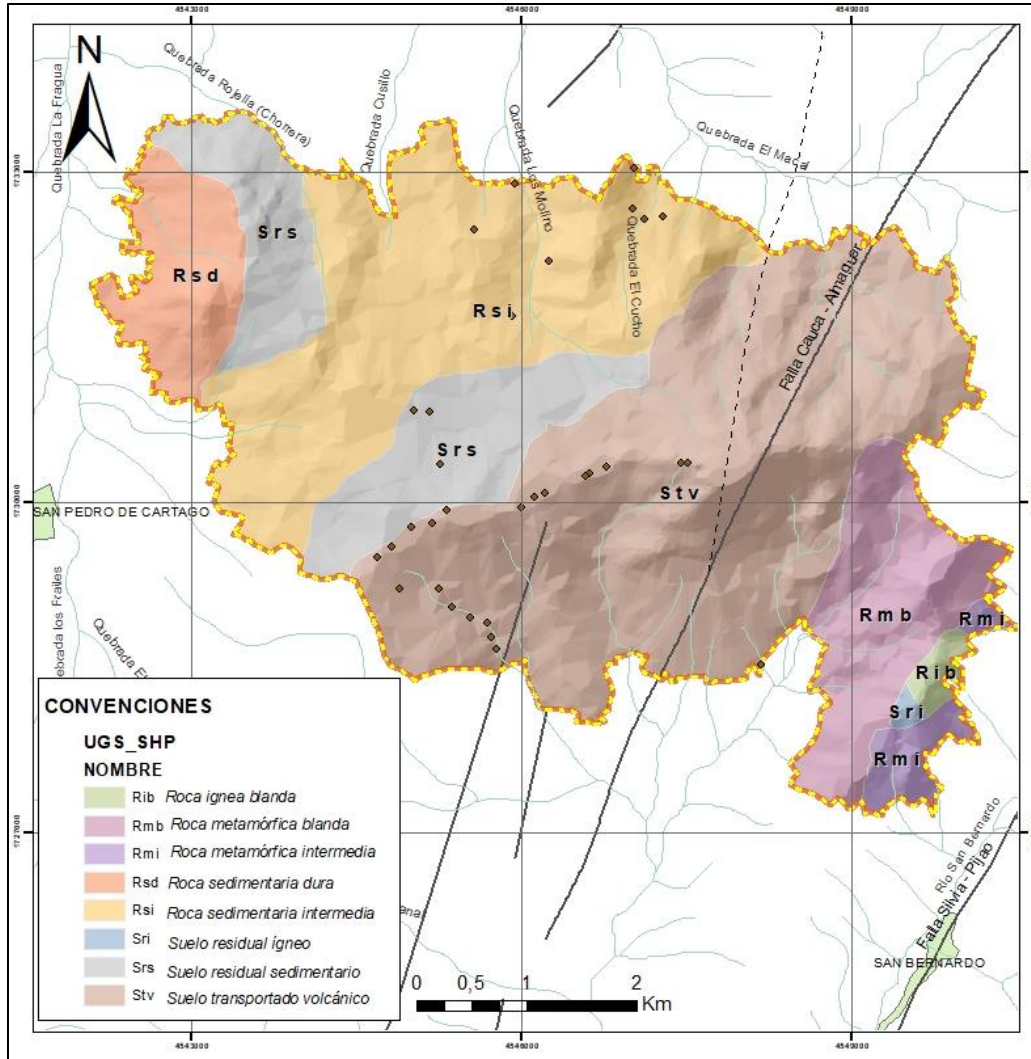


Figura 7 Mapa de UGS, DRMI Cerro Chimayoy

## ROCA ÍGNEA

- **Roca ígnea hipoabisal blanda Rib:** Esta unidad se encuentra en la zona sur este del DRMI Cerro Chimayoy, litológicamente comprendida por rocas ígneas hipoabisales de composición dacítica (Npda), las cuales se encuentran emplazados como stocks intruyendo las unidades litológicas aflorantes en el sector, a excepción de los depósitos cuaternarios, composicionalmente está constituida por fenocristales de plagioclasa, la cual presenta zonificación, cuarzo, minerales máficos como horblenda, biotita y ocasionalmente se reconoce pirita. Según Murcia y Cepeda (1991a), dentro del mismo cuerpo se encuentran variaciones de andesítica a dacita; a esta unidad se le adjudican edades comprendidas entre el Mioceno medio y tardío. Los afloramientos cartografiados aún conservan rasgos texturales, que se definen como holocristalina porfirítica. Estas rocas intruyen los Esquistos de Buesaco y la Formación Esmita.

Se presenta levemente alterada, conservando su comportamiento geomecánico hasta algunas decenas de metros bajo superficie, se evidencia remplazamiento de arcillas en la plagioclasa (pseudomorfismo). La roca es altamente fracturada con familias de diaclasas orientadas en sentido NW, el macizo presenta meteorización física por descompresión y química por hidratación; clasificada como moderada (grado III, según ISRM 1981) la meteorización es más marcada en la parte superior (cerca los horizontes del suelo) debido a la lixiviación. De acuerdo al Índice de Resistencia Geológica (GSI), el macizo rocoso se encuentra en la clasificación “fracturada” entre un rango de 55 y 75.



Figura 8 Zona baja del perfil Roca Ígnea Blanda, PUNTO KNK002. COORDENADAS CTM12 X: 4545771, Y: 1728667

## ROCA METAMÓRFICA

- **Roca metamórfica blanda, Rmb:** Ubicada en la zona sur este del DRMI, conformada por esquistos verdes y localmente grafitosos, litológicamente están constituidos por cuarzo, biotita, tremolita, sericita (alteración), presentan foliación y microplegamiento, con planos de estratificación paralelos al sentido de la pendiente, textura lepidoblástica; pertenecientes a los Esquistos de Buesaco (PZbue), unidad geológica caracterizada por tener rocas metamórficas de grado bajo, asociada a metamorfismo regional de edad Ordovícica; está limitada por fallas pertenecientes al sistema Romeral, exhumadas por actividad tectónica, lo cual provee condiciones para el fracturamiento y alteración de la roca. Los afloramientos de esta unidad superficial se caracterizan por su alto grado de fracturamiento debido al régimen frágil en superficie, que genera cataclasis y según el GSI se encuentra en rangos entre los 0-15 con definición “se carece de bloques debido al débil material en los planos de

esquistosidad y cizalla” y condiciones de superficie “pobre”, según determinaciones de campo. Presentan un avanzado estado de meteorización catalogada como grado III generada por descompresión e hidratación que da origen a suelos arcillosos de color pardo amarillento el cual es producto de la alteración de algunos minerales por hidratación. Debido a las sus características estructurales y carácter permeable, esta unidad es altamente susceptible a generar movimientos en masa tipo caída y deslizamiento. Localmente los afloramientos se encuentran en zonas con altas pendientes, las cuales oscilan entre los 30-45°.



**Figura 9 Afloramiento roca metamórfica blanda PUNTO KNK001. COORDENADAS CTM12 X: 4548166, Y: 1728522**

- **Roca metamórfica intermedia, Rmi:** Unidad conformada por esquistos verdes, litológicamente constituidos por cuarzo, biotita, tremolita y sericita; estructura foliada, y con textura nematoblástica y lepidoblástica; pertenecientes a los denominados Esquistos de Buesaco (PZbue) (Royo y Gómez, 1942c), unidad

geológica caracterizada por tener rocas metamórficas de grado bajo, asociada a metamorfismo regional de edad Ordovícica; está limitada por fallas pertenecientes al sistema Romeral, según el área del estudio afloran en el sur este del DRMI en jurisdicción del municipio de San Bernardo. Presenta fracturamiento que de acuerdo al GSI (Hoek y Marinos, 2000) se encuentra entre 10-15 y condiciones de superficie “regular”, su grado de meteorización es II, levemente meteorizada, los minerales no evidencian alteración en muestra de mano y afloramiento, y la roca aún conserva competencia metros debajo de la capa vegetal. Los planos de foliación son paralelos al sentido de la pendiente de la ladera y se evidencia microplegamiento.



**Figura 10 Afloramiento roca metamórfica intermedia B. Muestra de mano. CONTROL LITOLÓGICO.**

## **ROCA SEDIMENTARIA**

- **Roca sedimentaria intermedia Rsi:** Unidad superficial ubicada en la zona centro occidental del DRMI, la cual está compuesta por afloramientos de la Formación Esmite (TMe) que fue descrita por León et al. (1973), litológicamente se diferencian

de base a techo en, arcillolitas con intercalaciones de areniscas, areniscas que gradan a areniscas conglomeráticas, algunas intercalaciones de lodolitas y en la parte superior conformada por bancos de conglomerados poligenéticos matriz soportados y lodolitas. La edad asignada mediante métodos radiométricos y paleontológicos es Oligoceno tardío- Mioceno medio (Murcia y Cepeda, 1991 a y b); correlacionable con la formación Cartago (Rodríguez y Velandia, 1980) y con la formación Amagá (González, 1976).

Las areniscas encontradas en la zona presentan un color gris, tienen un buen empaquetamiento, moderadamente seleccionadas y subredondeadas; están compuestas por cuarzo, plagioclasa, calcita, limonita, epidota y fragmentos líticos de composición similar a los conglomerados suprayacentes, donde se incluyen detritos de basaltos, diabasas, limolitas silíceas, chert, tonalitas, pórfidos dacítico-andesíticos y esquistos micáceos; éstos infrayacen depósitos piroclásticos.

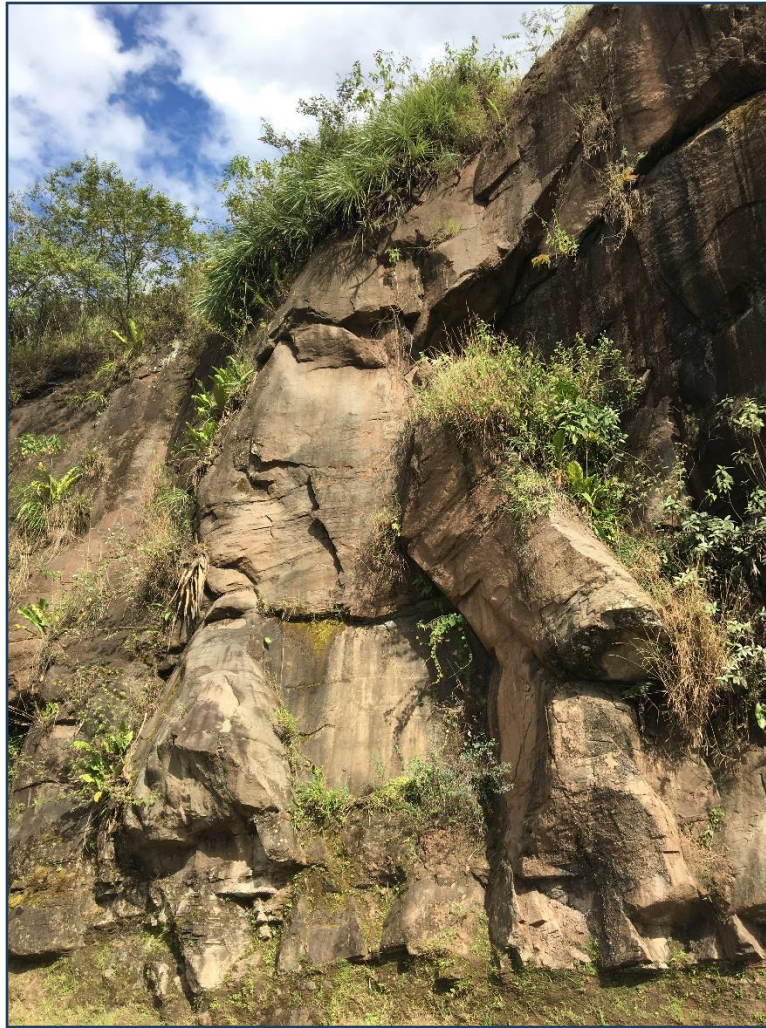
Localmente hacia la parte superior de la columna visitada en campo encontramos conglomerados, de clastos con composiciones similares a los descritos anteriormente, matriz soportados en una matriz arenosa, la cual se presenta alteración leve y cambios en su empaquetamiento producto de la erosión; se le adjudica un grado de meteorización II.





**Figura 11 Afloramiento roca sedimentaria intermedia. PUNTO KNK0028. COORDENADAS CTM12 X: 4545937, Y: 1732890.**

- **Roca sedimentaria dura Rsd:** Se encuentra ubicada en la zona occidental del área de estudio, la cual está comprendida por la Formación Esmita, descrita anteriormente. Se evidencia buen empaquetamiento y selección de granos correspondientes a la arenisca, los granos son redondeados y no se evidencia meteorización considerable, ni alteración de los materiales; se evidencia erosión baja. La inestabilidad generada en esta área puede ser producto de condicionantes como la pendiente y cobertura. Presenta fracturamiento espaciado y se determina planos de estratificación con orientación paralela a la pendiente.



**Figura 12. Afloramiento Formación Esmita, estratos de arenisca.**

## **SUELO RESIDUAL**

- **Suelo residual sedimentario Srs:** Los materiales se presentan en la zona centro-occidental del DRMI, en los municipios de San Pedro de Cartago y La Unión, el suelo es producto de la meteorización y erosión de los materiales constituyentes de la Formación Esmita. Se observan materiales arenosos y limos.

De acuerdo a los afloramientos encontrados en la zona, se observa suelos de un color rojo violáceo, que indica contenido de óxidos de hierro y manganeso, y tamaño de grano arcilla; una clasificación de acuerdo a su textura como arcillo-limoso, el cual

se encuentra saturado en agua, con alta cantidad de fluidos en poros que le permite adquirir un comportamiento plástico. Estructuralmente se define como aglomerado, ya que, el horizonte visible de suelo aparece cementado en una gran masa.



**Figura 13 Materiales arenosos y limoso producto de la meteorización de la Fm. Esmita  
PUNTO KNK009. COORDENADAS CTM12 X: 4546765, Y: 1730324.**

- **Suelo residual ígneo (regolito) Sri:** Unidad de suelo producto de la meteorización de rocas ígneas de composición andesítica, que corresponden a pórfidos emplazados como stocks (Npda), litológicamente se destaca la presencia de arcillas como caolinita remplazando a plagioclasa, también se reconoce la presencia de cuarzo, horblenda, biotita. Se le adjudica un grado de meteorización alta IV “muy meteorizada”, más de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo; aún hay vestigios de la textura original de la roca hipoabisal, pero el comportamiento del material es dúctil y tiene resistencia baja.



**Figura 14 Suelo residual ígneo, regolito. PUNTO KNK002. COORDENADAS CTM12 X: 4545771, Y: 1728667**

## **SUELO TRANSPORTADO**

- **Suelo transportado volcánico Stv:** Corresponde a los depósitos de ceniza volcánica que comprende la zona central del DRMI en grandes espesores y que tiene influencia en toda el área comprendida por el cerro en espesores centimétricos. Estos depósitos cubren los materiales preexistentes y suavizan los relieves. El suelo es producto de la acumulación de materiales piroclásticos de caída de tamaño ceniza, que estratigráficamente se definen como Lavas y Piroclastos (NQlp).

Los piroclastos se clasifican en cenizas, con abundantes fragmentos de pómez angulares a redondeados de tamaño variable entre ceniza y bomba; se encuentran líticos oxidados de

composición dacítica. Dentro de las cenizas se reconocen interlaminaciones de flujos hiperconcentrados, dispuestos en láminas planas paralelas y flujos piroclásticos compuestos por dacitas, riolitas y pumitas.

Debido a sus características de depositación, el suelo presenta un bajo empaquetamiento y resistencia, estructura granular que está compuesta por partículas individuales de tamaño arena y limo, lo que caracteriza unas condiciones de alta permeabilidad y alto flujo de fluidos en los poros; presenta meteorización baja.



**Figura 15 Suelo producto de ceniza volcánica PUNTO KNK0010. COORDENADAS CTM12  
X: 4544813, Y: 1729589.**

### 5.2.1.2. Geomorfología

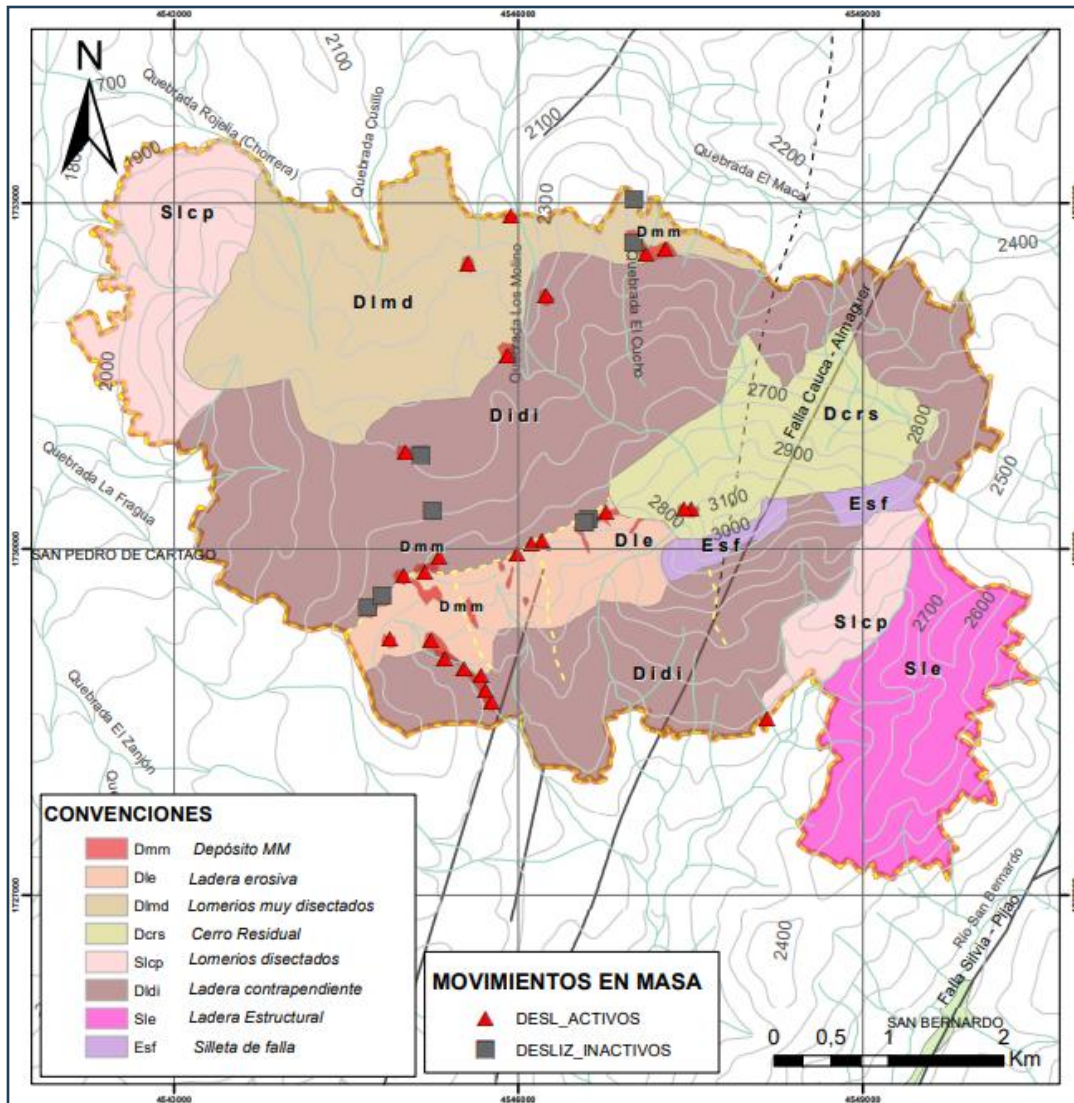
Considerado con un factor importante para la determinación de susceptibilidad de la zona a la ocurrencia de movimientos en masa, la geomorfología permite deducir la evolución del territorio de acuerdo al contexto local y regional. Esta define las formas del terreno, los materiales que lo constituyen y los procesos superficiales que los afectan (Carvajal, 2012). En el desarrollo del estudio de zonificación de amenaza se determinaron ocho subunidades geomorfológicas, asociadas a orígenes denudacionales y estructurales.

Para la determinación de los rangos de pendiente asociados a la descripción de las subunidades, se tomaron los siguientes rangos (Tabla 7).

**Tabla 7 Rangos de pendientes.**

| DESCRIPCIÓN             | GRADOS DE INCLINACIÓN |
|-------------------------|-----------------------|
| Ligeramente plana       | 1-3°                  |
| Ligeramente inclinada   | 3-7°                  |
| Moderadamente inclinada | 7-12°                 |
| Fuertemente inclinada   | 12-25°                |
| Ligeramente escarpada   | 25-50°                |
| Moderadamente escarpada | 50-75°                |
| Fuertemente escarpada   | 75-100°               |

Fuente: Adaptación SGC, 2004.



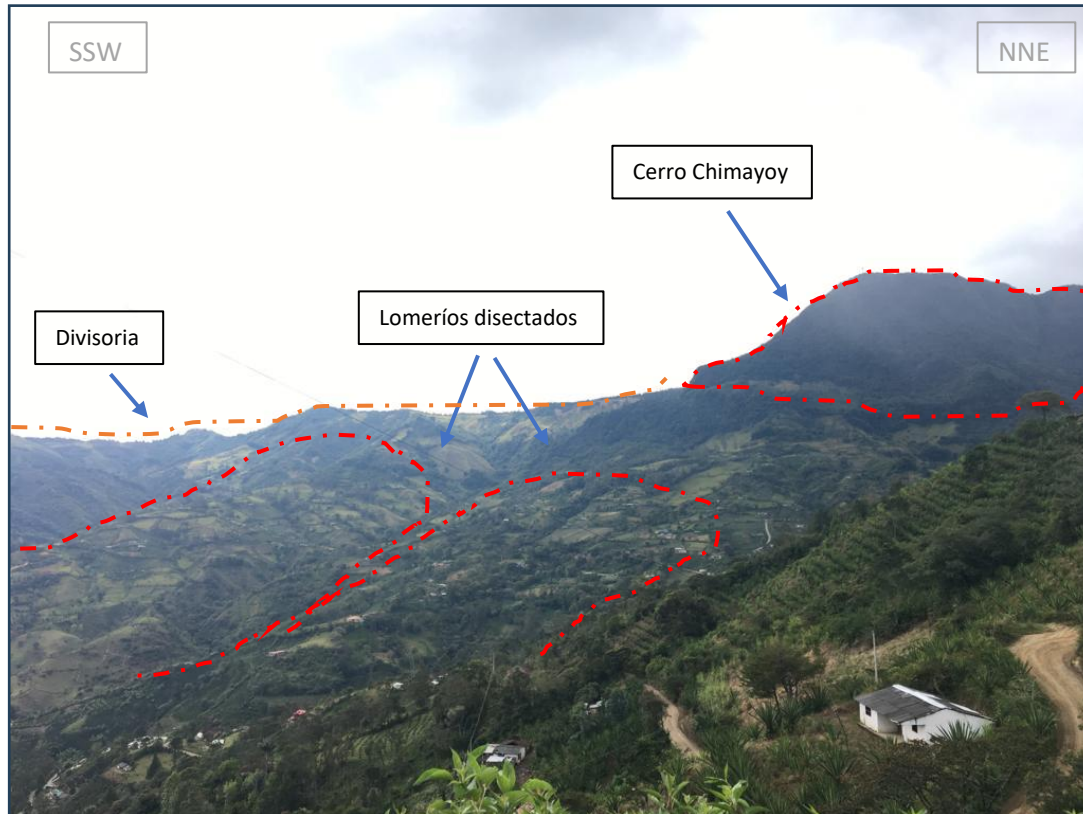
**Figura 16 Mapa de geomorfología del área DRMI Cerro Chimayoy**

**ORIGEN DENUDACIONAL:**

- **LOMERIOS DISECTADOS (Dldi):**

Se define como prominencias topográficas de morfología alomada caracterizada por la repetición de lomas de variada forma con cimas planas a redondeadas limitadas por laderas cortas y largas (50 – 500 m), de formas cóncavas y convexas, con pendientes que varían de fuertemente inclinadas (12°- 25°) a ligeramente escarpadas (25°- 50°). Esta geoforma es

originada sobre una litología sedimentaria (Fm Esmita) cubierta por depósitos piroclásticos. Se evidencian procesos denudacionales intensos y se determinaron doce movimientos en masa de tipo deslizamiento rotacional.

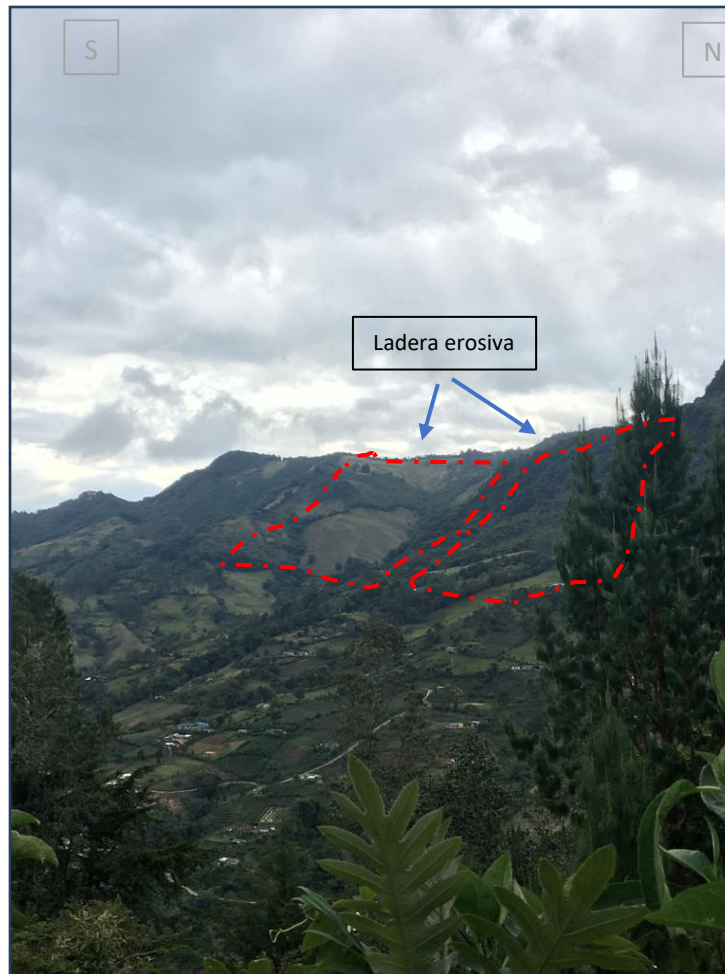


**Figura 17 Lomeríos disectados-Cerro Chimayoy**

- **LADERA EROSIVA (Dle):**

Esta geoforma se caracteriza por presentar superficies del terreno de pendientes muy inclinadas a escarpadas con un ángulo que va de los 20° y pasa de los 45°, de longitudes moderadas a extremadamente largas, de formas cóncavas y convexas, patrón de drenaje típico dendrítico a subparalelo. Presenta procesos erosivos intensos que propician la ocurrencia de movimientos en masa generados en materiales de suelo o roca. Estas laderas no necesariamente están asociadas a una geoforma mayor o una estructura. Se encuentra ubicada en el flanco oriental de la divisoria de aguas que enmarca el Cerro Chimayoy.





**Figura 18 Geoforma Ladera Erosiva**

- **LOMERIOS MUY DISECTADOS (Dlmd):**

Estas geoformas son originadas por procesos denudacionales, se desarrolla sobre rocas sedimentarias de la Formación Esmita (TMe), caracterizada por prominencias topográficas que corresponden a una morfología alomada con repetición de lomas de forma variada con cimas planas a redondeadas limitadas por laderas cortas (50 – 250 m), de forma convexa y cóncava con pendientes que varían entre moderadamente inclinada (7-12°) a fuertemente inclinadas (12°- 25°). Esta unidad se encuentra ubicada en la zona norte del DRMI.

- **CERRO RESIDUAL (Dcrs):**

Prominencia topográfica sobresaliente, aislada, que contrasta en una morfología homogénea y separada por la red de drenajes que conforman la cuenca hidrográfica del río Mayo y río Juanambú, cuya morfología es alomada y colinada, posee cimas redondeadas limitadas por laderas largas (500 – 1.000 m) de forma cóncava y convexa. La pendiente varía entre moderadamente escarpada ( $50^{\circ}$ - $75^{\circ}$ ) a fuertemente escarpada ( $> 75^{\circ}$ ). Se inventariaron tres movimientos en masa de tipo flujo. La parte más alta del Cerro Chimayoy se encuentra a 3.100 m.s.n.m.



**Figura 19 Cerro Chimayoy**

Fuente: Google Earth.

## **ORIGEN ESTRUCTURAL**

### **LADERA CONTRAPENDIENTE (Slcp):**

Unidad geomorfológica presente al oriente de la zona de estudio, donde afloran los Esquistos de Buesaco (PZbue), la cual tiene una pendiente que oscila entre los  $25^{\circ}$  a  $50^{\circ}$  (ligeramente

escarpada). La unidad se caracteriza por una morfología irregular, definida por planos preferentes (esquistosidad) dispuestos en sentido contrario a la inclinación del terreno (Figura 20).

- **LADERA ESTRUCTURAL (Sle):**

Se caracteriza por las laderas de cuevas estructurales generalmente denudadas, con estratos dispuestos en favor de la pendiente del terreno ( $25^\circ$ ), de longitud larga, de forma recta y en ocasiones irregulares, con pendientes inclinadas. Se constituye de esquistos verdes, correspondientes a los Esquistos de Buesaco (PZbue); presentan procesos locales de reptación y desarrollo de drenaje subparalelo espaciado (Figura 20).



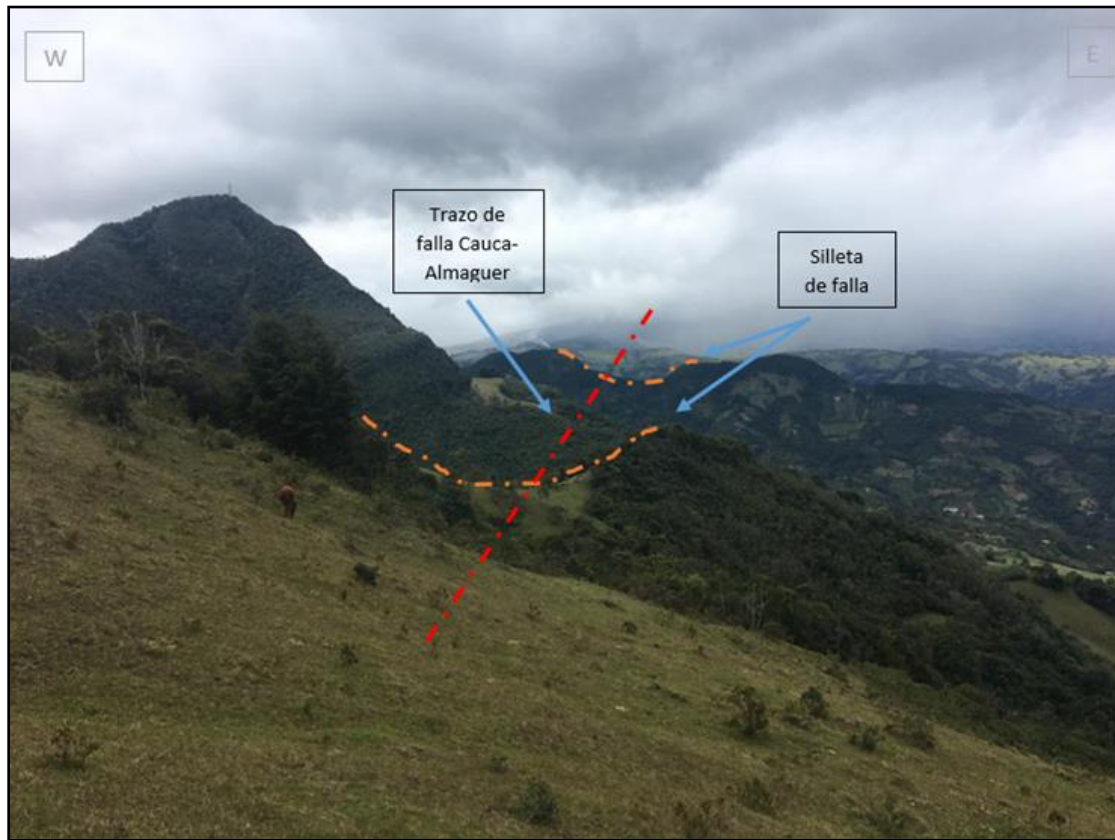
**Figura 20 Fotografía aérea, subunidades Ladera Contrapendiente- Ladera Estructural.**

Fuente: Google Earth.

- **SILLETA DE FALLA (Esf):**

Expresión geomorfológica de una zona de falla, la cual evidencia el desplazamiento en el terreno y genera una forma convexa. Por lo general varias silletas de falla se encuentran

alineadas según el trazo de la falla. En la zona de estudio se encuentran al borde oriental del Cerro Chimayoy.



**Figura 21 Silleta de falla**

## **GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

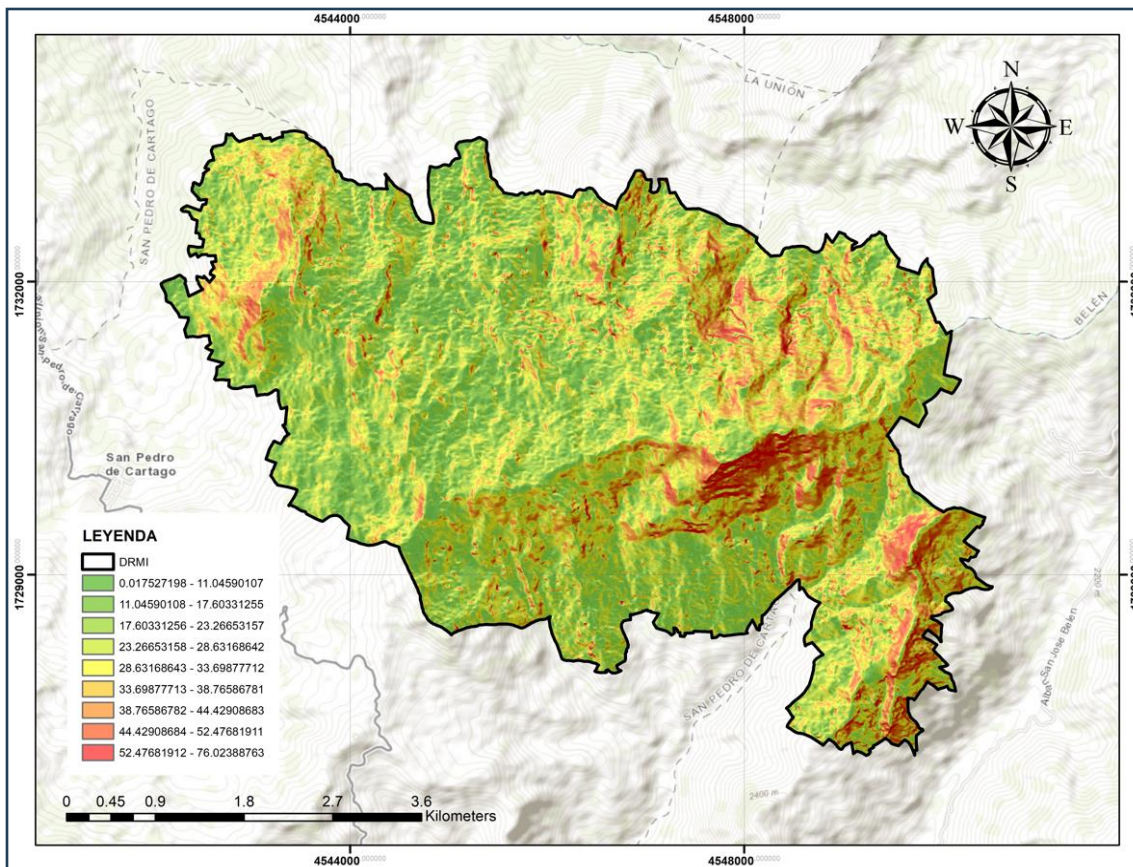
Junto a la geología regional y geomorfología, la geología estructural determina las condiciones estructurales y tectónicas que dan lugar a plegamientos, fallamientos y fracturamiento en las unidades litológicas; las cuales en la zona se ven representadas con silletas y hombreras de falla a escala regional. El fallamiento se presenta en una dirección preferencial, la cual tiene una orientación NNE-SSW, asociada a la falla Cauca-Almaguer, perteneciente al Sistema de Fallas Romeral. Este lineamiento se presenta claramente en el sector, justo bajo el flanco este del Cerro Chimayoy.

La actividad tectónica y su evolución, son un factor importante que atribuyen a la zona condiciones de inestabilidad definidas como deformación, fracturamiento y generación superficies de deslizamiento. También se le adjudica la detonación de deslizamiento por actividad sísmica (no aplicado para el actual estudio), cuando se libera la energía albergada en las fallas por su desplazamiento.

### **5.2.1.3. Pendiente del terreno**

La pendiente se define como el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal, cuyo valor se expresa en grados de 0 a 90 (SGC 2017).

Se consideró la pendiente como uno de los factores condicionantes teniendo en cuenta que tiene influencia en la ocurrencia de movimientos en masa en la medida en que se relaciona directamente con las tensiones de corte tangenciales y normales en los materiales superficiales, e influye también en la distribución de agua en la ladera (SANTACANA 2001). La pendiente se obtuvo a partir del modelo de elevación digital (DEM) de 5 metros de resolución de pixel.



**Figura 22 Pendiente del terreno – DRMI Cerro Chimayoy**

#### 5.2.1.4. Cobertura de suelo

La cobertura vegetal es el resultado de la asociación espacio-temporal de los elementos biológicos característicos, los cuales conforman unidades estructurales y funcionales. En general, la cobertura vegetal tiene el propósito de proteger el suelo contra la erosión, regular el escurrimiento de agua, mantener y restituir la fertilidad de los suelos, ya que aportan materia orgánica y reciclan nutrientes que son una fuente de alta diversidad y aportan con productos útiles, descontaminan el aire y embellecen el paisaje. Son varias las causas a las cuales se atribuye el cambio de cobertura vegetal, pero la mayoría coincide con el crecimiento exponencial que experimentó la población humana a nivel mundial en las últimas décadas, la demanda de recursos naturales para satisfacer las necesidades de supervivencia de esa población y las formas y mecanismos de apropiación de los recursos, con frecuencia ligados

a fuerzas sociales, económicas y políticas, las cuales han presentado implicaciones estructurales y funcionales sobre los ecosistemas. (Chen y Yang, 2008).

Dentro del programa CORINE (Coordination of information on the environment) promovido por la Comisión de la Comunidad Europea fue desarrollado el proyecto de cobertura de la tierra “CORINE Land Cover” 1990 (CLC 1990), el cual definió una metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la tierra, apoyando su papel como estándar 18 para la generación de información sobre dinámicas de coberturas y cambios en el uso del suelo. En el caso colombiano, desde 2005 (IDEAM et al, 2007, 2008) el país ha consolidado una adaptación metodológica de este estándar europeo para fortalecer la capacidad nacional de identificar las dinámicas de las coberturas de la tierra como aporte a la planificación del territorio. La base de datos de CORINE Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite, para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas.

La teledetección o percepción remota es la principal metodología que se utilizó para la evaluación de coberturas, para su identificación se utilizó métodos e insumos que hacen parte de los Sistemas de Información Geográfica SIG, como: imágenes satelitales, cartografía.

Lo anterior sumado a la percepción y conocimiento de la Geógrafa y la Ingeniera Agroforestal, brindando un acercamiento en la identificación de las coberturas de la tierra en la zona de estudio del DRMI Cerro Chimayoy, además de comprender la relación y las dinámicas que se desarrollan en esta área de estudio. Con lo antepuesto se debe resaltar que la investigación tuvo bases de información primaria, por medio de trabajo de campo y un sobrevuelo de Drone, los cuales se hicieron con el objetivo de constatar y establecer las coberturas actuales.

Con apoyo de imágenes satelitales gratuitas de alta resolución se identificaron trece (13) tipos de coberturas diferentes, las cuales se agrupan en: áreas agrícolas, zonas artificializadas, áreas naturales y seminaturales, entre otros. En adelante a fin de obtener los insumos cartográficos

con la información detallada de las coberturas, se procesa la información con apoyo del software ARC-GIS.

Para la identificación de coberturas en primera instancia se procede a la creación de una base de datos geográficos (geodatabase) entendido este como un formato vectorial de almacenamiento digital donde se guarda la localización de los elementos geográficos. A continuación, se utilizó el shapefile de puntos de control por cada tipo de cobertura identificada en la imagen de satélite.

En este sentido y de acuerdo con la metodología descrita anteriormente se identificaron las siguientes coberturas de la tierra como se muestra en la Tabla 8, posteriormente se describen las características de cada una con sus respectivos porcentajes de área. Para la identificación y clasificación de la cobertura y uso actual del suelo, se utilizó la metodología Corine Land Cover, la cual permitió establecer y categorizar la cobertura de la zona del DRMI Cerro Chimayoy, que se encuentra ubicado en los Municipios de Cartago La Unión, San Bernardo, Belén. Estas se muestran a continuación y se clasificaron en un nivel de 1 a 3 según la metodología asimilada.

**Tabla 8 Ocupación de la cobertura de la tierra**

| <b>FID</b> | <b>NIVEL_3</b>                                   | <b>AREA/HA</b> | <b>%</b> |
|------------|--|----------------|----------|
| 1          | MOSAICO DE CULTIVOS, PASTOS Y ESPACIOS NATURALES | 1509,5048      | 48,27    |
| 2          | BOSQUE DENSO                                     | 843,5937       | 26,98    |
| 3          | BOSQUE DE GALERIA Y/O RIPARIO                    | 276,5896       | 8,85     |
| 4          | TIERRAS DESNUDAS Y DEGRADADAS                    | 206,8542       | 6,62     |
| 5          | BOSQUE FRAGMENTADO                               | 104,1349       | 3,33     |
| 6          | PASTOS ARBOLADOS                                 | 41,2095        | 1,32     |
| 7          | BOSQUE ABIERTO                                   | 40,0956        | 1,28     |
| 8          | PASTOS LIMPIOS                                   | 24,6627        | 0,79     |
| 9          | VEGETACIÓN SECUNDARIA O EN TRANSICIÓN            | 18,953         | 0,61     |
| 10         | ARBUSTAL   | 16,0692        | 0,51     |



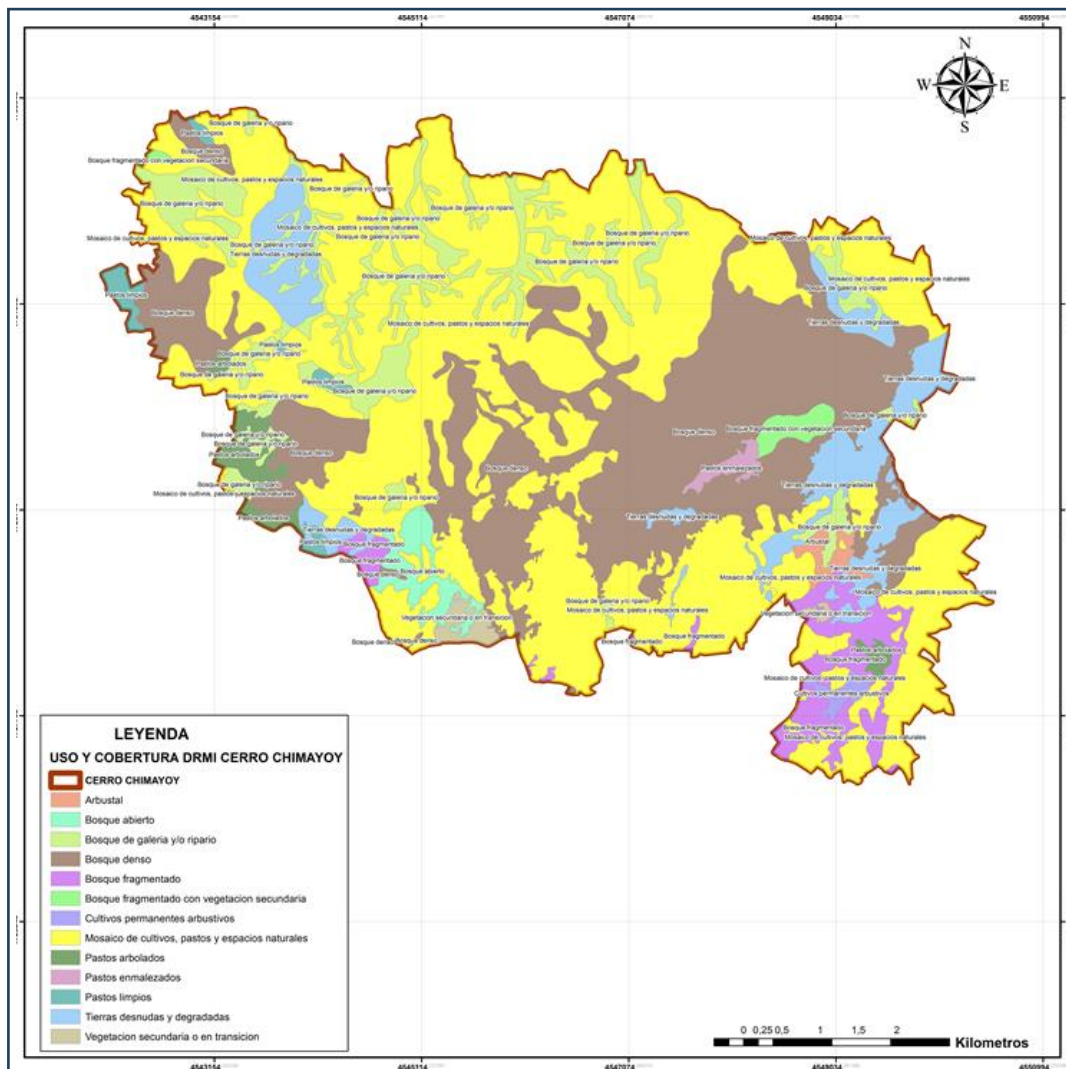
| FID | NIVEL_3                                      | AREA/HA   | %    |
|-----|--|-----------|------|
| 11  | BOSQUE FRAGMENTADO CON VEGETACIÓN SECUNDARIA | 20,895    | 0,67 |
| 12  | PASTOS ENMALEZADOS                           | 12,7214   | 0,41 |
| 13  | CULTIVOS PERMANENTES ARBUSTIVOS              | 11,4363   | 0,37 |
|     | TOTAL  | 3126,7199 | 100  |

Entre las herramientas que se utilizaron para el levantamiento de la información de coberturas de la tierra se destacan la aplicación Avenza map, donde maneja las capacidades GPS integradas de un dispositivo móvil para seguir el movimiento y la ubicación actual, sin la necesidad de una conexión a una red celular. De igual manera se utilizaron GPS, Garmin monterra, para la identificación de áreas.

#### **Diagnóstico y simulación Análisis de coberturas del suelo.**

Cobertura de la tierra y clasificación Corine Land Cover

Como se indica en la Figura 23, se observa la representación de la cobertura actual basada en el Nivel tres (3) de la clasificación Corine Land cover, a continuación, se describe la clasificación de los diferentes niveles de coberturas.



**Figura 23 Cobertura de suelo – DRMI Cerro Chimayoy**

***Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales.***

Comprende las superficies del territorio ocupadas principalmente por coberturas de cultivos y pastos en combinación con espacios naturales. Los espacios naturales están conformados por las áreas ocupadas por relictos de bosque natural, arbustales, bosque de galería o riparios, vegetación secundaria o en transición, pantanos y otras áreas no intervenidas o poco transformadas, que debido a limitaciones de uso por sus características biofísicas permanecen en estado natural o casi natural.

Durante el presente estudio se identificó esta cobertura en un área de 1.509 has, correspondiente al 48,27 %, del total de la zona de estudio (Imagen 1)



**Figura 24 Cobertura Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales**

### **Bosque denso**

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva, y no ha alterado su estructura original y las características funcionales (IGAC, 1999).

En el área de estudio a pesar del avance permanente de la frontera agrícola, aún se evidencia cobertura vegetal de bosques primarios localizados en la parte alta del cerro y grandes áreas con vegetación secundaria en proceso de sucesión natural, constituida por pequeños relictos de bosque arbóreo y arbustivo, aledaños a las áreas con territorios agrícolas. Esta cobertura abarca un área de 843,59 has, equivalente al 27% del total. (Figura 25).



**Figura 25 Cobertura de bosque denso**

### **Bosque de Galería y ripario**

Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Este tipo de cobertura está limitada por su amplitud, ya que bordea los cursos de agua y los drenajes naturales. Cuando la presencia de estas franjas de bosques ocurre en regiones de sabanas se conoce como bosque de galería o cañadas, las otras franjas de bosque en cursos de agua de zonas andinas son conocidas como bosque ripario.

Se evidencia esta clase de cobertura con vegetación de tipo boscoso y arbustivo, localizada en la zona de influencia de la microcuenca quebrada El Salado, en un área de 276,5 has, equivalente al 8,85 % de la totalidad del área de estudio, donde predominan gran variedad de especies forestales del orden graminales como guadua (*Guadua angustifolia*), arbustivas y herbáceas como mayo (*Sophora macrocarpa*), chilca (*Bacharis sp*), y herbáceas vasculares como helecho (*Pteridium aquilinum*) (Figura 26).



**Figura 26 Bosque de galería y ripario**

### **Tierras desnudas y degradadas**

Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema y/o condiciones climáticas extremas.

Durante el recorrido de la zona de estudio, se identificó este tipo de vegetación en las áreas de deslizamiento, donde se evidencia esta unidad de cobertura de tierras desnudas y degradadas, ocasionado por diferentes movimientos en masa ocurridos en la zona, con pendiente mayor al 50%. Dicha área se encuentra desprovista de vegetación, con características edafológicas propias de este tipo de cobertura como su poca consolidación por el tamaño del grano (ceniza) el cual por lixiviación presentada en los primeros metros del perfil de suelo genera materiales arcillosos. Abarca un área de 206,85 has con un porcentaje de 4,86,5% del total de la zona de estudio. (Figura 27).

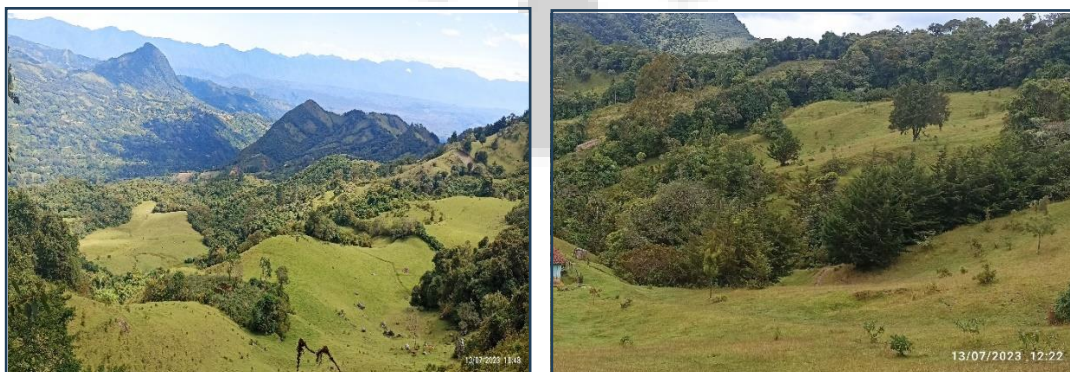


**Figura 27 Unidad de cobertura Tierras desnudas y degradadas. Áreas de deslizamiento**

### **Bosque Fragmentado (Pastos y vegetación secundaria)**

Dicha cobertura comprende los territorios cubiertos por bosques naturales que han sido intervenidos por acción antrópica. Las áreas de intervención están representadas en zonas de pastos y cultivos, las cuales se observan como parches de variadas formas y distribución irregular dentro de la matriz del bosque.

En este caso se evidencia cobertura vegetal de bosques naturales abiertos, que han sido intervenidos por pastos y vegetación secundaria. Este tipo de vegetación abarca un área de 104,13 has, equivalente al 3,33 %. (Figura 28).



**Figura 28 Cobertura de bosque fragmentado con pastos y vegetación secundaria**

### **Pastos arbolados**

Cobertura que incluye las tierras cubiertas con pastos, en las cuales se han estructurado potreros con presencia de árboles de altura superior a cinco metros, distribuidos en forma dispersa. Esta cobertura presente en la zona de estudio, abarca una extensión de 41,2 has, correspondiente al 1,32 % de la totalidad del área de estudio, se caracteriza por la presencia de pastos en asocio con árboles forestales entre los más destacados se encuentran urapán (*Fraxinus chinensis*), nogal cafetero (*Cordia alliodora*), distribuidos en grandes distancias, que son producto de la regeneración natural. Cabe resaltar que la conformación de este tipo de cobertura principalmente se debe al cambio de uso de la tierra, se tala el bosque y se convierte en pastos para ganadería. (Figura 29).



**Figura 29 Cobertura de Pastos Arbolados**

### **Bosque abierto**

Esta cobertura está constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos regularmente distribuidos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) discontinuo, con altura del dosel superior a cinco metros. Se identificó en la zona un área de 41 has con un porcentaje del 1,42 % de ocupación. Se diferencia del bosque denso en que el bosque abierto se caracteriza por árboles lo suficientemente pequeños o muy espaciados lo cual permite que la luz sea lo suficiente para llegar al suelo y apoyar una capa ininterrumpida herbácea compuesta por gramíneas (Figura 30).



**Figura 30 Unidad de cobertura Bosque abierto**

### **Pastos enmalezados**

Este tipo de cobertura está conformada por tierras con pastos y malezas conformando asociaciones de vegetación secundaria, debido principalmente a la realización de escasas prácticas de manejo o la ocurrencia de procesos de abandono.

Se evidencia este tipo de cobertura, que conforman asociaciones de vegetación secundaria, malezas del orden graminales como carrizo y vegetación arbustiva de hasta 1m de altura, e individuos de helecho (Polypodiophyta). La presencia de esta cobertura es producto de una marcada intervención antrópica. Esta vegetación representa un total de 1,33 has y equivale al 1,17 % del área de estudio. (Figura 31).



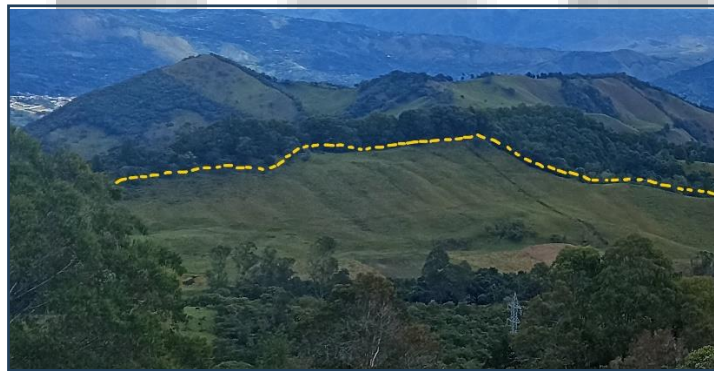
**Figura 31 Cobertura de pastos enmalezados**



## Pastos limpios

La cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70%; la realización de prácticas de manejo (limpieza, encalamiento y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas.

En el área de influencia del estudio se identificaron pastos limpios en un área de 24,66 has, correspondiente al 0,79 %, la cual está ocupada por pastos mejorados para pastoreo o ganadería, donde cabe resaltar que las prácticas de manejo realizadas y el nivel tecnológico para establecer este cultivo, limitan el desarrollo o establecimiento de otras especies arbóreas o arbustivas para recuperación de suelos en la zona de estudio. (Figura 32).



**Figura 32 Cobertura de pastos limpios**

## Vegetación secundaria o en transición

Comprende aquella cobertura vegetal originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural que se presenta luego de la intervención o por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original. Se desarrolla en zonas desmontadas para diferentes usos, en áreas agrícolas abandonadas y en zonas donde por la ocurrencia de eventos naturales la vegetación natural fue destruida.

Se evidencio en la zona de influencia áreas de bosque secundario y espacios naturales abiertos, distribuidas de manera irregular y en espacios de variadas formas con vegetación secundaria alta y baja, e individuos con alturas de hasta de 30 m, donde se resaltan especies forestales, nativas y de sucesión natural, arbustos, herbazales y enredaderas. Dicha área de estudio tiene una extensión de 18,95 has que equivale al 0,61 % del total. (Figura 33).



**Figura 33 Cobertura ocupada por vegetación secundaria o en transición**

### **Arbustal**

Comprende los territorios cubiertos por vegetación arbustiva desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos. En el área se evidenciaron parches de arbustales con especies como chilca blanca (*Bacharis* sp), chaquilulo (*Macleania rupestris*) y cujaca (*Solanun ovalifolium*) entre los más destacados. (Figura 34)



**Figura 34 Cobertura de Arbustal**

### **Cultivos permanentes arbustivos (café)**

Un arbusto es una planta perenne, con estructura de tallo leñoso, y altura entre 0,5 y 5 m, fuertemente ramificado en la base y sin una copa definida (FAO, 2001). Coberturas permanentes ocupadas principalmente por cultivos de hábito arbustivo como café y cacao.

En el área de influencia del estudio predomina el cultivo de café y cultivos transitorios siendo el principal renglón productivo de la economía de la región, donde se evidencio que el proceso productivo es tecnificado especialmente como monocultivo más que en asocio con especies para sombrío. Estos cultivos se caracterizan por su ciclo vegetativo anual, pertenece a la familia rubiaceae y crece como arbusto hasta los 4 m y hasta 10 m como árbol, de clima templado húmedo, se desarrolla entre los 800 y 2000 m.s.n.m. La ocupación de la cobertura comprende un área de 11,43 has, equivale al 0,37 % del total del área en estudio. (Figura 35)



**Figura 35 Cobertura de cultivos permanentes arbustivos**

### **Análisis de coberturas de la tierra**

Posterior al trabajo elaborado en campo, una vez realizada la caracterización de las coberturas vegetales de la zona de estudio, DRMI Cerro Chimayoy, con base a la Metodología de Corine Land Cover, se realizó el análisis correspondiente de la situación encontrada, con el fin de conocer el estado actual de las diferentes categorías presentes en dicho territorio.

Para la zona de estudio en total se identificaron trece (13) coberturas, que ocupan un área total de 3.126,71 has, identificadas hasta nivel 3, donde en primer lugar se destaca la unidad de Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales que por su amplia extensión representa una con extensión de 1.509,5 has, con el 48,97% del total del área de estudio. En segundo lugar, se identifica la cobertura de bosque denso en un área extensa de 843,6 has y el 26,48 %, que ocupa gran extensión de tierra con presencia de árboles forestales con más de 10 m de altura.

Sigue en su orden de importancia en la cobertura de bosques y áreas seminaturales, con el 8,5 % del área de estudio, presencia de vegetación de galería o ripario, en zonas de influencia de diferentes afluentes hídricos, con gran variedad de especies arbóreas y arbustivas, donde dicha zona debe ser considerada área de preservación teniendo en cuenta su importancia en el abastecimiento del recurso hídrico. Según lo anterior se recomienda identificar áreas para implementar acciones de restauración ecológica activa y pasiva en la zona, ya que la disponibilidad de este recurso hídrico a largo plazo depende directamente de las coberturas vegetales existentes o que se han conservado.

En cuarto orden en un área de 206,8542 has, se identificó la zona de deslizamiento, conformada por cobertura de tierras desnudas o degradadas, que abarca el 6,62 %, debido a procesos de erosión natural y/o antrópica, donde el suelo se encuentra desprovisto de vegetación. Posteriormente se evidenció la cobertura de bosque fragmentado que presentó un área 104,13 has, con un porcentaje de 3,3 %, donde se localizan pequeñas zonas de pastos destinados al pastoreo, asociado con vegetación secundaria.

Sigue en su orden de importancia la cobertura de bosque abierto con el 1,28 % del área de estudio, donde se evidencio vegetación con gran variedad de especies arbóreas y arbustivas, de igual manera no se observa intervención antrópica, el cual debe ser conservado en la totalidad del área.

En la misma categoría se encuentra la unidad de pastos limpios o mejorados para pastoreo o ganadería, cabe resaltar que las prácticas de manejo realizadas y el nivel tecnológico para establecer este cultivo, limitan el desarrollo o establecimiento de otras especies arbóreas o arbustivas para recuperación de suelos en la zona de estudio.

Seguidamente se ubica en quinto lugar, la cobertura de vegetación secundaria o en transición con un área 4,9 has que equivale al 4.3 % del total, en la que se deben implementar acciones de conservación como restauración ecológica activa y pasiva.

En la unidad de cobertura de arbustal se localiza un área de 16 has, con el 0,61% de ocupación, donde se identificaron especies arbustivas, entre las más representativas como (*Bacharis* sp), chaquilulo (*Macleania rupestris*) y cujaca (*Solanun ovalifolium*).

Con un área de 20, 89 has, que representa el 0,67 % del total del área de estudio, se ubica la cobertura de bosque fragmentado con vegetación secundaria, vegetación que se encuentra dispersa y con bajo nivel de conservación debido a las diferentes presiones antrópicas, especialmente por extensión de la frontera agrícola y ganadera.

Posteriormente se identificó la cobertura mosaica de cultivos, que ocupa en un área de 2,178 Has, conformada por diversidad de cultivos anuales de tipo herbáceo y arbustivo. Posteriormente en su nivel de importancia se evidencia en 1,58 has, la presencia de pastos limpios o de pastoreo, establecidos con un tipo de manejo adecuado para ganadería.

Se localiza dentro del nivel de bosques y áreas seminaturales, la cobertura de bosque denso que ocupa un área de 0,82 has, con un porcentaje de 0,72 % del total del área de estudio, dicha vegetación está conformada por especies arbóreas, arbustivas y herbáceas.

Seguido en su orden de importancia en la categoría de áreas seminaturales con un porcentaje de ocupación del 14,9 %, se encuentra localizada la cobertura de pastos arbolados en un área de 6,74 has, cabe resaltar que las especies arbóreas contribuyen a la conectividad biológica

y procesos de sucesión natural, siempre y cuando no sean intervenidas por actividades agrícolas y de ganadería.

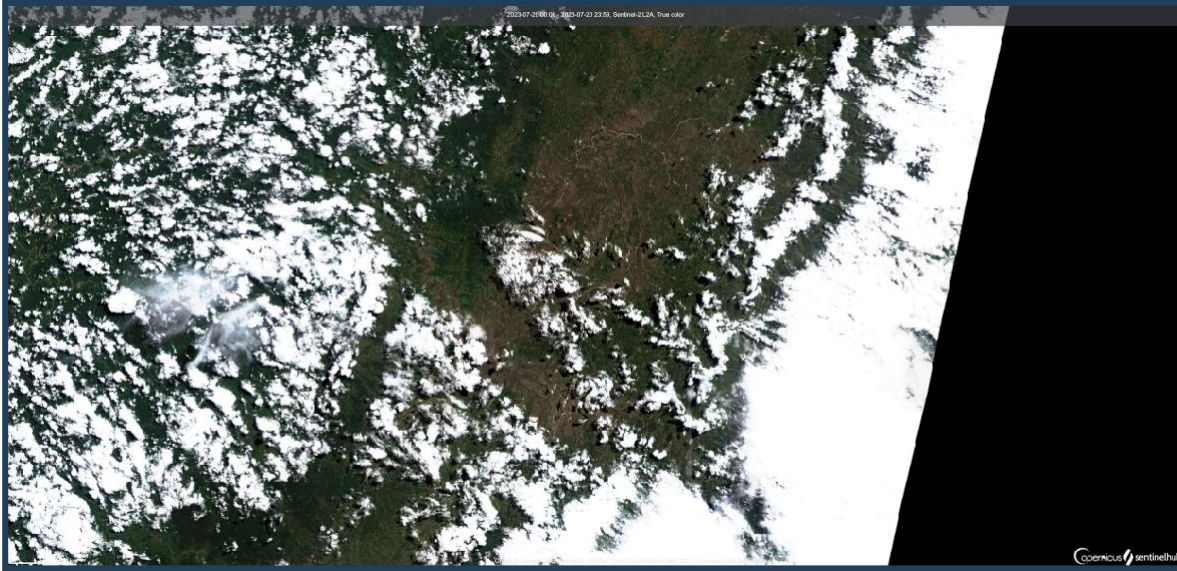
En el penúltimo lugar de importancia se ubica la cobertura de pastos enmalezados en un área de 12,72 has, con un porcentaje de 0,41 % de ocupación, donde sobresalen especies diversas de malezas, y vegetación proceso de sucesión natural, las cuales representan un grado altamente significativo en asocio con vegetación secundaria en proceso de sucesión natural.

Finalmente, en el menor porcentaje de ocupación, se evidencio la cobertura de cultivos permanentes arbustivos como el café, en un área de 11,23 has, con el 0,37% de ocupación del total de área de estudio. Se recomienda fortalecer este sistema productivo, estableciendo cercas vivas al contorno de las parcelas, que cumple funciones de cortinas rompevientos con especies arbóreas de alto crecimiento que sirven de alimento de los animales y protección de los cultivos, además de contribuir a la conectividad biológica.

## **5.2.2. Inventario de movimientos en masa**

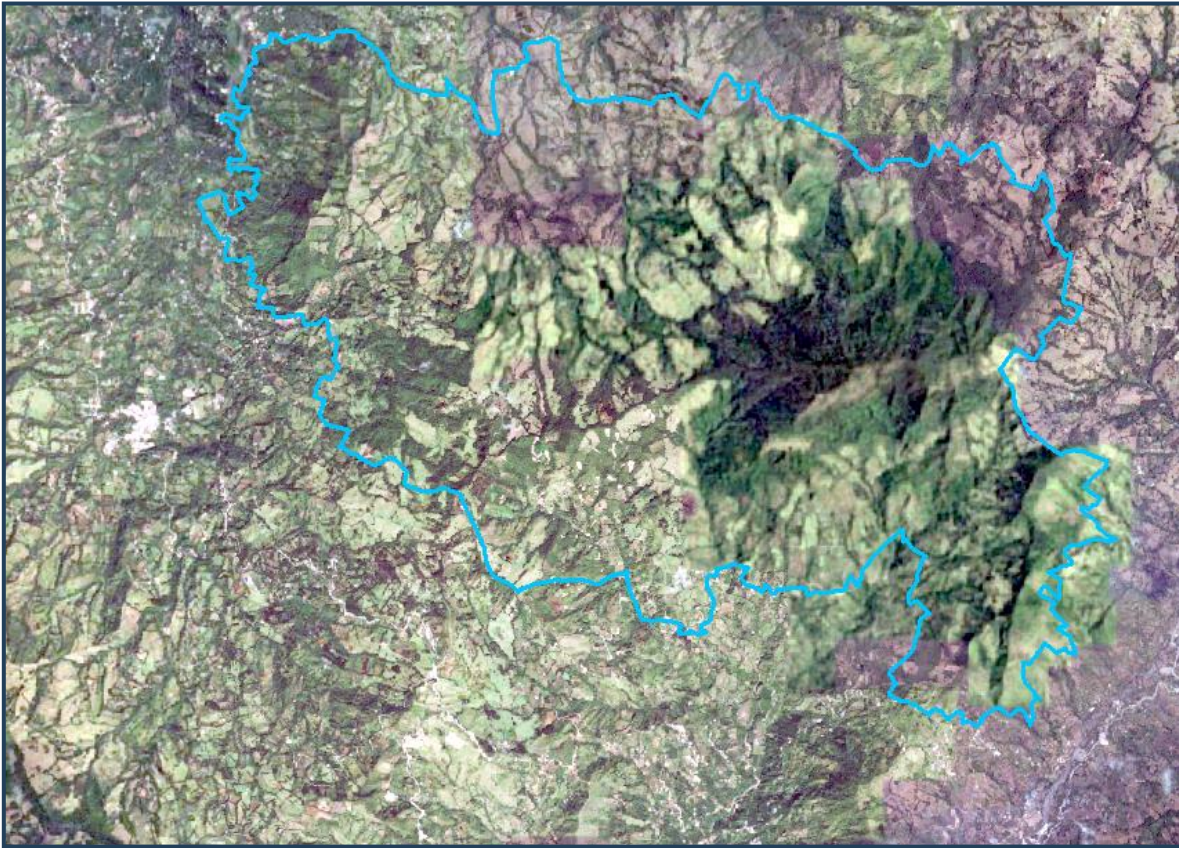
### **5.2.2.1. Imágenes satelitales**

Inicialmente se obtuvo imágenes de satélite provenientes de sentinel 2 con disponibilidad de corrección atmosférica del 60%.



**Figura 36 Imagen de satélite Sentinel 2**

Sin embargo, la nubosidad en la imagen disponible no permitió analizar completamente el área de estudio DRMI. Por lo cual se procedió a la obtención de imágenes de fuentes alternativas como las de satélite de google. Se obtuvo una imagen en alta resolución con corrección atmosférica del 100%.



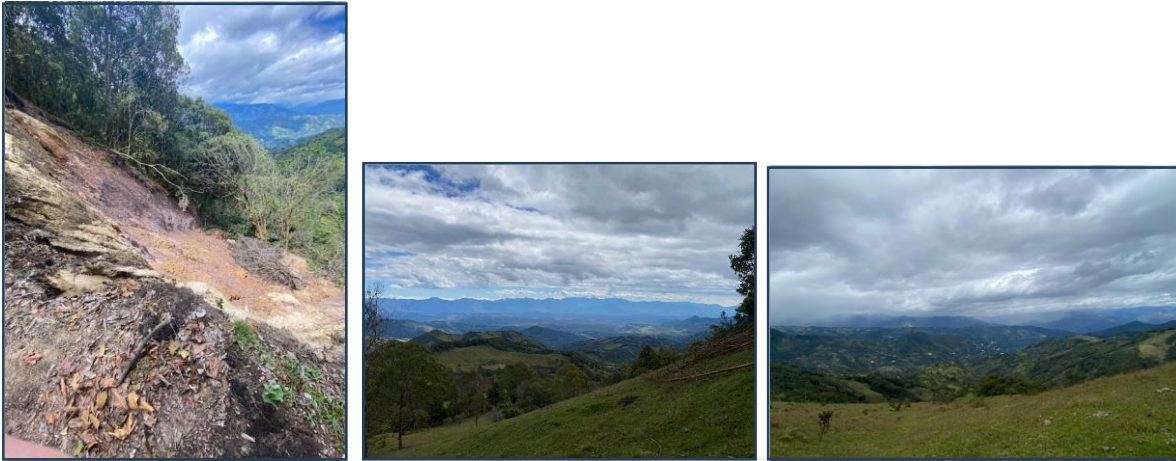
**Figura 37 Imagen satélite Google – Área DRMI Cerro Chimayoy**

#### **5.2.2.2. Visitas de campo**

Para el levantamiento de información primaria, se realizó una visita al área DRMI cerro Chimayoy el día 13 de julio en el cual se inventariaron los movimientos en masa, se analizó la infraestructura existente, las coberturas de suelo, las fuentes hídricas presentes.

El recorrido se realizó en gran parte del área DRMI en los municipios de la Unión, Belén y San Pedro de Cartago.





**Figura 38 Visita de campo No.2 Fecha: 13 de junio de 2023**

Complementariamente al trabajo realizado, se llevó a cabo una visita al área el día 1 de agosto, en el cual se recorrió el área DRMI en el municipio de San Bernardo con el fin de levantar información en cuanto a movimientos en masa principalmente, coberturas de suelo, infraestructura existente.



**Figura 39 Visita de campo No.3 Fecha: 1 de agosto de 2023**

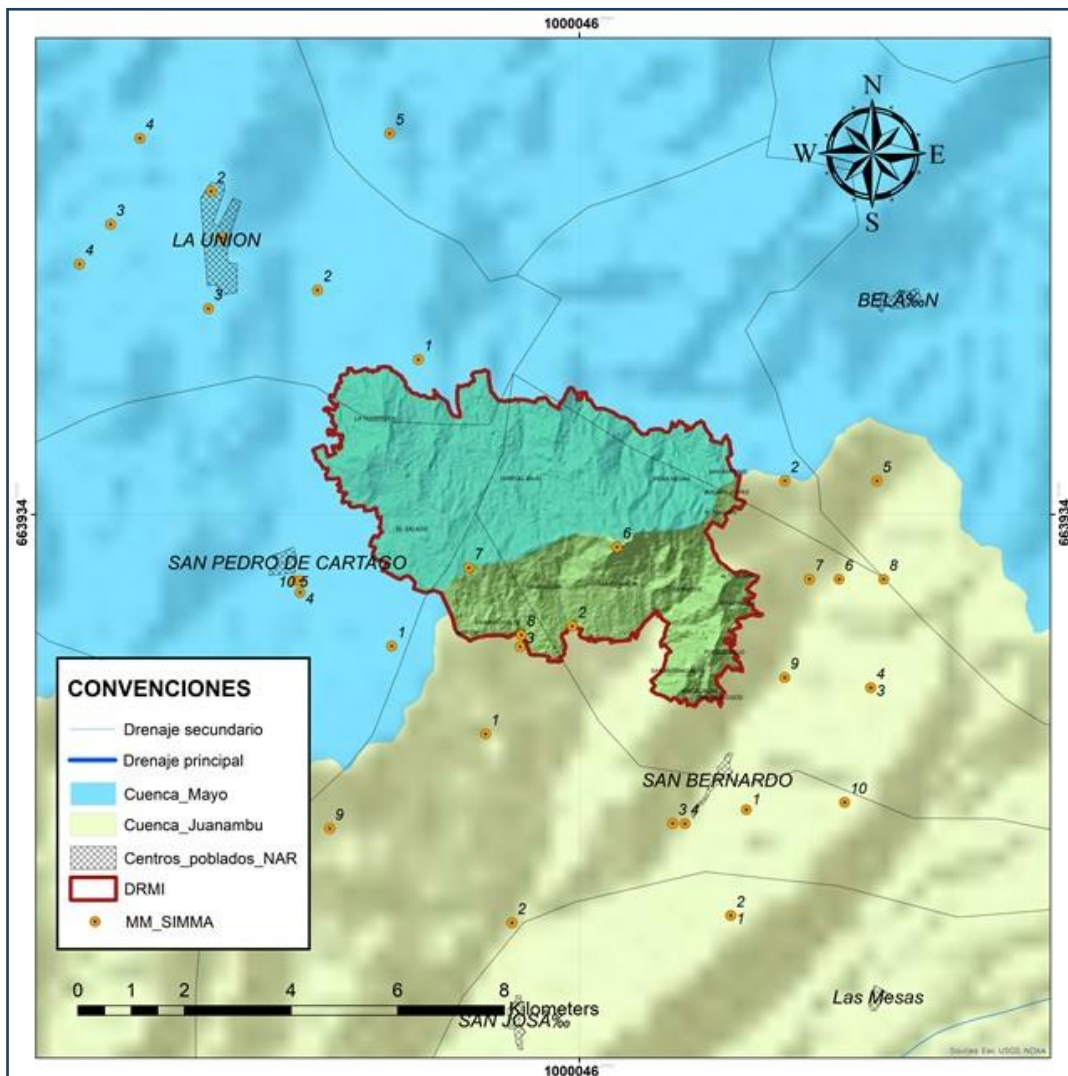
### **5.2.2.3. Portal SIMMA**

De acuerdo con la información disponible en el SIMMA del Servicio Geológico Colombiano (SGC) se obtuvieron los registros históricos de movimientos en masa que se han presentado

en los municipios de San Pedro de Cartago, San Bernardo, La Unión y Belén del departamento de Nariño.

**Tabla 9 Registro movimientos en masa tipo deslizamiento SIMMA**

| ID | MUNICIPIO    | FUENTE | TIPO          | REGISTRO   | LONG   | LAT  | H    | X           | Y          | FECHA<br>(MM/DD/AAAA) |
|----|--------------|--------|---------------|------------|--------|------|------|-------------|------------|-----------------------|
| 1  | La Unión     | SIMMA  | Deslizamiento | Inventario | -77.13 | 1.61 | 1738 | 994135.965  | 669364.849 | 8/22/2002             |
| 2  | La Unión     | SIMMA  | Deslizamiento | Inventario | -77.11 | 1.60 | 1607 | 995934.948  | 668384.893 | 8/22/2002             |
| 3  | La Unión     | SIMMA  | Deslizamiento | Inventario | -77.13 | 1.59 | 1836 | 993885.892  | 668037.953 | 8/22/2002             |
| 1  | San Bernardo | SIMMA  | Deslizamiento | Inventario | -77.04 | 1.51 | 2287 | 1003980.740 | 658644.772 | 9/2/2002              |
| 4  | La Unión     | SIMMA  | Deslizamiento | Inventario | -77.15 | 1.60 | -    | 991469.659  | 668871.326 | 6/6/2010              |
| 1  | Cartago      | SIMMA  | Deslizamiento | Inventario | -77.09 | 1.52 | 2369 | 999085.599  | 660064.414 | 10/17/2010            |
| 2  | San Bernardo | SIMMA  | Deslizamiento | Inventario | -77.04 | 1.56 | 2438 | 1004701.497 | 664806.914 | 4/1/2011              |
| 3  | San Bernardo | SIMMA  | Deslizamiento | Inventario | -77.05 | 1.51 | 1886 | 1002597.407 | 658386.450 | 4/1/2011              |
| 4  | San Bernardo | SIMMA  | Deslizamiento | Inventario | -77.05 | 1.51 | 1953 | 1002828.649 | 658381.919 | 4/1/2011              |
| 5  | San Bernardo | SIMMA  | Deslizamiento | Inventario | -77.02 | 1.56 | 2491 | 1006430.317 | 664806.955 | 4/3/2011              |
| 6  | San Bernardo | SIMMA  | Deslizamiento | Inventario | -77.03 | 1.55 | 2156 | 1005719.405 | 662963.981 | 4/7/2011              |
| 7  | San Bernardo | SIMMA  | Deslizamiento | Inventario | -77.03 | 1.55 | 2156 | 1005163.009 | 662963.968 | 4/21/2011             |
| 8  | San Bernardo | SIMMA  | Deslizamiento | Inventario | -77.02 | 1.55 | -    | 1006556.113 | 662964.003 | 4/21/2011             |
| 2  | Cartago      | SIMMA  | Deslizamiento | Inventario | -77.08 | 1.49 | 2150 | 999582.905  | 656523.579 | 4/21/2011             |
| 9  | San Bernardo | SIMMA  | Deslizamiento | Inventario | -77.04 | 1.53 | 2015 | 1004701.571 | 661121.114 | 5/23/2011             |
| 1  | San Bernardo | SIMMA  | Deslizamiento | Catálogo   | -77.04 | 1.49 | -    | 1003687.321 | 656659.171 | 4/10/2012             |
| 2  | San Bernardo | SIMMA  | Deslizamiento | Catálogo   | -77.04 | 1.49 | -    | 1003687.321 | 656659.171 | 4/10/2012             |
| 1  | La Unión     | SIMMA  | Deslizamiento | Catálogo   | -77.10 | 1.59 | 1800 | 997827.527  | 667081.960 | 10/15/2012            |
| 3  | San Bernardo | SIMMA  | Deslizamiento | Catálogo   | -77.02 | 1.53 | 2259 | 1006314.914 | 660931.957 | 4/8/2017              |
| 4  | San Bernardo | SIMMA  | Deslizamiento | Catálogo   | -77.02 | 1.53 | 2259 | 1006314.914 | 660931.957 | 5/11/2017             |
| 1  | Cartago      | SIMMA  | Deslizamiento | Catálogo   | -77.10 | 1.54 | 2320 | 997326.607  | 661708.236 | 6/12/2017             |
| 2  | Cartago      | SIMMA  | Deslizamiento | Catálogo   | -77.07 | 1.54 | 2280 | 1000714.962 | 662079.976 | 1/18/2018             |
| 10 | San Bernardo | SIMMA  | Deslizamiento | Inventario | -77.03 | 1.51 | 2498 | 1005824.332 | 658780.927 | 5/13/2018             |
| 3  | Cartago      | SIMMA  | Deslizamiento | Catálogo   | -77.08 | 1.54 | 2289 | 999735.256  | 661699.154 | 11/15/2018            |
| 5  | La Unión     | SIMMA  | Deslizamiento | Inventario | -77.10 | 1.62 | 1970 | 997290.442  | 671319.206 | 12/17/2019            |
| 4  | Cartago      | SIMMA  | Deslizamiento | Catálogo   | -77.12 | 1.55 | 2315 | 995605.684  | 662715.822 | 1/5/2021              |
| 2  | La Unión     | SIMMA  | Deslizamiento | Catálogo   | -77.13 | 1.61 | 1171 | 993935.914  | 670234.971 | 4/28/2021             |
| 3  | La Unión     | SIMMA  | Deslizamiento | Catálogo   | -77.15 | 1.61 | 1770 | 992049.546  | 669616.471 | 7/14/2021             |
| 4  | La Unión     | SIMMA  | Deslizamiento | Catálogo   | -77.14 | 1.62 | 1912 | 992601.417  | 671230.188 | 7/17/2021             |
| 5  | Cartago      | SIMMA  | Deslizamiento | Catálogo   | -77.12 | 1.55 | 2171 | 995494.521  | 662936.974 | 1/17/2022             |
| 6  | Cartago      | SIMMA  | Deslizamiento | Catálogo   | -77.06 | 1.55 | 3161 | 1001552.887 | 663566.551 | 4/7/2022              |
| 7  | Cartago      | SIMMA  | Deslizamiento | Catálogo   | -77.09 | 1.55 | 2692 | 998773.362  | 663179.647 | 4/7/2022              |
| 8  | Cartago      | SIMMA  | Deslizamiento | Catálogo   | -77.08 | 1.54 | 2276 | 999756.400  | 661920.304 | 8/30/2022             |
| 10 | Cartago      | SIMMA  | Deslizamiento | Catálogo   | -77.12 | 1.55 | 2200 | 995605.689  | 662936.972 | 10/26/2022            |
| 9  | Cartago      | SIMMA  | Deslizamiento | Catálogo   | -77.11 | 1.51 | 1898 | 996161.676  | 658292.809 | 12/18/2022            |



**Figura 40 Localización movimientos en masa – SIMMA SGC**

**5.2.2.4. Inventario de movimientos en masa**

Se establece como la primera etapa del proceso de caracterización geoambiental, con el fin de definir la información sobre la ubicación de los procesos, tipos, factores causales, frecuencia de ocurrencia, volúmenes y los daños causados.

Para el levantamiento de la información en campo se usó el formato de campo de la Publicación Geológica Multinacional PMA:GCA (Proyecto Multinacional Andino:

Geociencia para las Comunidades Andinas), sugerido por la “Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25.000, SGC), el cual incluye lineamientos en cuanto a las características más relevantes para la consolidación del inventario; dentro de los cuales se incluyen, el registro histórico y fecha de ocurrencia del fenómeno, estado del deslizamiento, estilo y distribución. También se asocian los datos litológicos y estructurales de unidades aflorantes en la zona, con el fin de definir sus características geomecánicas; el tipo de movimiento junto a las características del depósito, la morfometría como factor importante para el monitoreo de los movimientos en masa y por último los factores detonantes del evento. (Ver Tabla 11)



**Figura 41 Deslizamientos bajo la divisoria, sobre ladera erosiva. ESTACIÓN KNK0010, KNK0011**



**Figura 42 Deslizamiento rotacional retrogresivo. A. ESTACIÓN KNK0015 B. ESTACION KNK0025**


Se establecieron generalidades en las características de los movimientos en masa cartografiados, identificados en su mayoría como deslizamientos rotacionales, de distribución retrogresiva, su estado se encuentra definido en el Mapa de Inventario de Procesos Morfodinámicos (Figura 43 y Figura 44) cualitativamente como “activo” e “inactivo”, de estilo único, distribuidos entre litologías sedimentarias y metamórficas, mayormente sobre suelo transportado volcánico, el cual, manifiesta condiciones medias de plasticidad y humedad. La clasificación de los MM (Movimientos en masa) se desarrolló según los cuadros de Varnes, 1978, entre las partes definidas en campo se encuentra el escarpe (e), depósito (d); los cuales determinan la ondulación del terreno. Cabe destacar que en la Estación KNK009, se presenta escalonamiento a lo largo del material desplazado generando escarpes secundarios, este es el deslizamiento de mayor magnitud con una corona de 100 metros, escarpe principal de 15 metros y una longitud aproximada de 60 metros. En la zona se reconocieron tres flujos superficiales.

Se observó procesos de reptación en las laderas aledañas al Cerro Chimayoy (margen izquierda y derecha de la divisoria de aguas), los cuales indican movimientos lentos del material denudado, este proceso se encuentra acompañado por agrietamientos, que indican zonas altamente propensas a generar movimientos en masa de tipo deslizamiento.

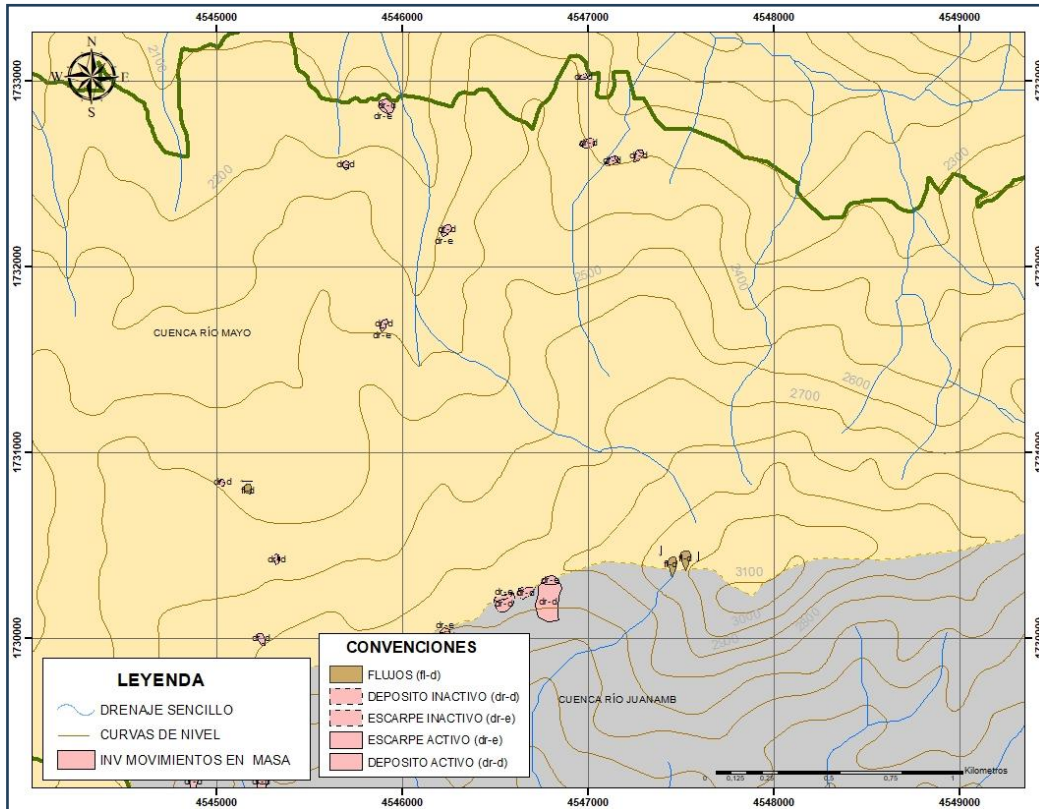
Las causas de los movimientos que se definieron en campo, son inherentes al contexto regional de la zona, corresponden a un material sensible, meteorizado química y físicamente, contrastes de permeabilidad para los suelos originados a partir de rocas sedimentarias (Formación Esmita) y los suelos transportados volcánicos (TQvpm); para las unidades geológicas superficiales asociadas a rocas metamórficas (PZbue), se considera un material colapsable.

**Tabla 10 Esquemas y principales características de los deslizamientos, asociados a litologías sedimentarias, metamórficas y depósitos piroclásticos**

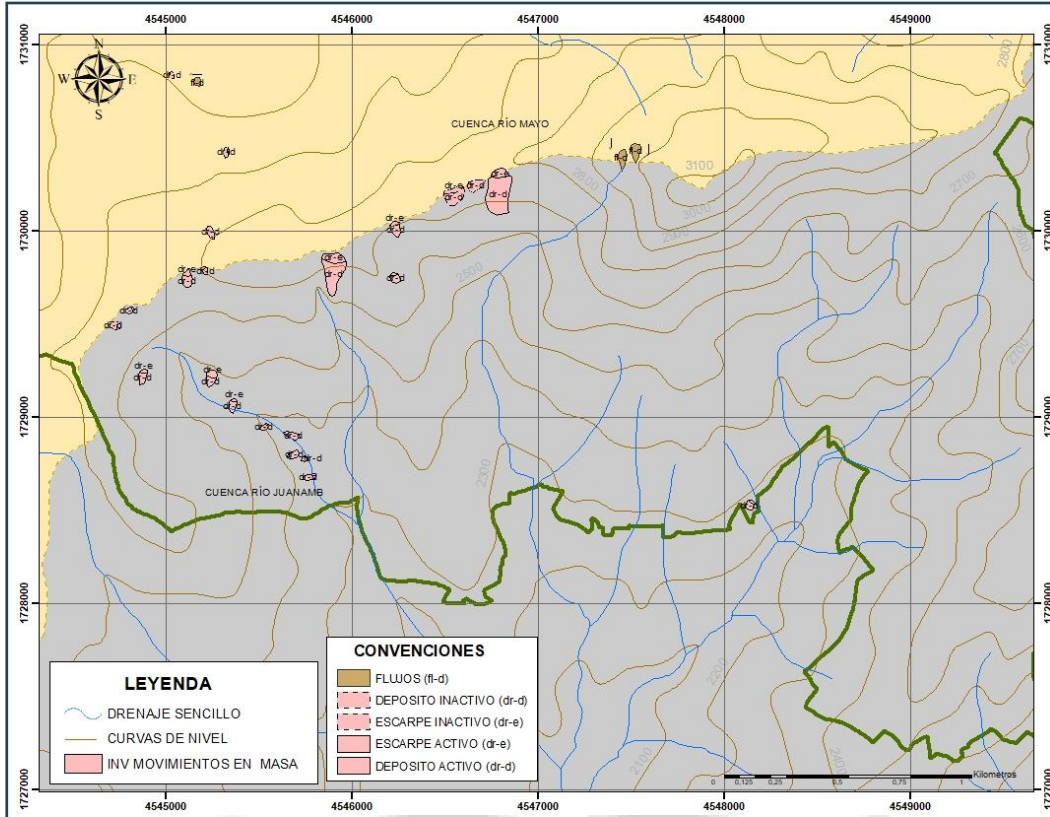
| ESTACIÓN KNK009 | CARACTERISTICAS  |
|-----------------|--|
|                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrollado a partir de suelo transportado volcánico de tamaño ceniza.</li> <li>- Deslizamiento rotacional retrogresivo.</li> <li>- Escarpe principal: 15 metros.</li> <li>- Corona del deslizamiento: 100 metros.</li> <li>- Longitud depósito: 60 metros.</li> <li>- Localizado entre la vereda Yanangona y La Estancia.</li> <li>- Se presentan escarpes secundarios.</li> <li>- Se determinó en campo el estado activo del deslizamiento y cambio de inclinación de la cobertura vegetal.</li> </ul> |
| ESTACIÓN KNK001 | CARACTERISTICAS  |
|                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrollado en rocas metamórficas que corresponden a los Esquistos de Buesaco (PZbue).</li> <li>- Deslizamiento rotacional retrogresivo.</li> <li>- Escarpe principal: 3 metros.</li> <li>- Corona del deslizamiento: 15 metros.</li> <li>- Longitud depósito: 20 metros.</li> <li>- Localizado entre la vereda La Estancia.</li> <li>- Se determinó en campo el estado activo del deslizamiento.</li> </ul>   |

| ESTACIÓN KNK025  | CARACTERÍSTICAS  |
|--|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrollado en rocas sedimentarias que corresponden la Formación Esmita (TMe).</li> <li>- Deslizamiento rotacional retrogresivo. Subtipo: Caída.</li> <li>- Escarpe principal: 1 metro.</li> <li>- Corona del deslizamiento: 8 metros.</li> <li>- Longitud depósito: 15 metros.</li> <li>- Localizado en el municipio de La Unión.</li> <li>- Se determinó en campo el estado activo del deslizamiento.</li> </ul> |





**Figura 43 Mapa de inventario de procesos morfodinámicos correspondiente a la Cuenca del Río Mayo.**



**Figura 44 Mapa de inventario de procesos morfodinámicos asociados a la cuenca río Juanambú.**

**Tabla 11 Inventario de movimientos en masa**

| NÚMERO | ENCUESTA | ID. MOV. | COD. SI MMA | FECHA REP. | FECHA MOV. | DPTO   | PLANCHAS    | MUNICIPIO            | REF. GEOGR.    | VEREDA             |
|--------|----------|----------|-------------|------------|------------|--------|-------------|----------------------|----------------|--------------------|
| 1      | KNK      | KNK 001  | X           | 8/1/2023   | X          | NARIÑO | 411 LA CRUZ | SAN PEDRO DE CARTAGO | CERRO CHIMAYOY | VEREDA LA ESTANCIA |
| 2      | KNK      | KNK 002  | X           | 8/1/2023   | X          | NARIÑO | 411 LA CRUZ | SAN PEDRO DE CARTAGO | CERRO CHIMAYOY | CHIMAYOY ALTO      |
| 3      | KNK      | KNK 003  | X           | 8/1/2023   | X          | NARIÑO | 411 LA CRUZ | SAN PEDRO DE CARTAGO | CERRO CHIMAYOY | CHIMAYOY ALTO      |
| 4      | KNK      | KNK 004  | X           | 8/1/2023   | 11/14/2022 | NARIÑO | 411 LA CRUZ | SAN PEDRO DE CARTAGO | CERRO CHIMAYOY | CHIMAYOY ALTO      |
| 5      | KNK      | KNK 005  | X           | 8/1/2023   | 11/14/2022 | NARIÑO | 411 LA CRUZ | SAN PEDRO DE CARTAGO | CERRO CHIMAYOY | CHIMAYOY ALTO      |
| 6      | KNK      | KNK 006  | X           | 8/1/2023   | 11/14/2022 | NARIÑO | 411 LA CRUZ | SAN PEDRO DE CARTAGO | CERRO CHIMAYOY | CHIMAYOY ALTO      |
| 7      | KNK      | KNK 007  | X           | 8/1/2023   | 11/14/2022 | NARIÑO | 411 LA CRUZ | SAN PEDRO DE CARTAGO | CERRO CHIMAYOY | CHIMAYOY ALTO      |
| 8      | KNK      | KNK 008  | X           | 8/1/2023   | 11/14/2022 | NARIÑO | 411 LA CRUZ | SAN PEDRO DE CARTAGO | CERRO CHIMAYOY | CHIMAYOY ALTO      |
| 9      | KNK      | KNK 009  | X           | 6/22/2023  | 11/14/2022 | NARIÑO | 411 LA CRUZ | SAN PEDRO DE CARTAGO | CERRO CHIMAYOY | CHIMAYOY ALTO      |
| 10     | KNK      | KNK 010  | 63470       | 6/22/2023  | X          | NARIÑO | 411 LA CRUZ | SAN PEDRO DE CARTAGO | CERRO CHIMAYOY | EL SALADO          |
| 11     | KNK      | KNK 011  | X           | 6/22/2023  | X          | NARIÑO | 411 LA CRUZ | SAN PEDRO DE CARTAGO | CERRO CHIMAYOY | EL SALADO          |
| 12     | KNK      | KNK 012  | X           | 6/22/2023  | X          | NARIÑO | 411 LA CRUZ | LA UNIÓN             | CERRO CHIMAYOY | EL SALADO          |

| NÚMERO | ENCUESTA | ID_MOV | COD_SIMMA | FECHA REP | FECHA MOV  | DPTO   | PLANCHAS    | MUNICIPIO            | REF_GEOGRF     | VEREDA       |
|--------|----------|--------|-----------|-----------|------------|--------|-------------|----------------------|----------------|--------------|
| 13     | KNK      | KNK013 | X         | 6/22/2023 | X          | NARIÑO | 411 LA CRUZ | LA UNIÓN             | CERRO CHIMAYOY | EL SALADO    |
| 14     | KNK      | KNK014 | X         | 6/22/2023 | X          | NARIÑO | 411 LA CRUZ | SAN PEDRO DE CARTAGO | CERRO CHIMAYOY | YANANGONA    |
| 15     | KNK      | KNK015 | X         | 6/22/2023 | X          | NARIÑO | 411 LA CRUZ | SAN PEDRO DE CARTAGO | CERRO CHIMAYOY | YANANGONA    |
| 16     | KNK      | KNK016 | X         | 6/22/2023 | X          | NARIÑO | 411 LA CRUZ | SAN PEDRO DE CARTAGO | CERRO CHIMAYOY | YANANGONA    |
| 17     | KNK      | KNK017 | X         | 6/22/2023 | X          | NARIÑO | 411 LA CRUZ | SAN PEDRO DE CARTAGO | CERRO CHIMAYOY | YANANGONA    |
| 18     | KNK      | KNK018 | X         | 6/22/2023 | X          | NARIÑO | 411 LA CRUZ | SAN PEDRO DE CARTAGO | CERRO CHIMAYOY | YANANGONA    |
| 19     | KNK      | KNK019 | X         | 7/13/2023 | X          | NARIÑO | 411 LA CRUZ | SAN PEDRO DE CARTAGO | CERRO CHIMAYOY | YANANGONA    |
| 20     | KNK      | KNK020 | X         | 7/13/2023 | X          | NARIÑO | 411 LA CRUZ | SAN PEDRO DE CARTAGO | CERRO CHIMAYOY | YANANGONA    |
| 21     | KNK      | KNK021 | 63480     | 7/13/2023 | X          | NARIÑO | 411 LA CRUZ | SAN PEDRO DE CARTAGO | CERRO CHIMAYOY | YANANGONA    |
| 22     | KNK      | KNK022 | X         | 7/13/2023 | X          | NARIÑO | 411 LA CRUZ | LA UNIÓN             | CERRO CHIMAYOY | CHIRCAL BAJO |
| 23     | KNK      | KNK023 | X         | 6/22/2023 | X          | NARIÑO | 411 LA CRUZ | LA UNIÓN             | CERRO CHIMAYOY | CHIRCAL BAJO |
| 24     | KNK      | KNK024 | X         | 6/22/2023 | 11/27/2018 | NARIÑO | 411 LA CRUZ | LA UNIÓN             | CERRO CHIMAYOY | CHIRCAL BAJO |
| 25     | KNK      | KNK025 | X         | 6/22/2023 | 11/27/2018 | NARIÑO | 411 LA CRUZ | LA UNIÓN             | CERRO CHIMAYOY | CHIRCAL BAJO |
| 26     | KNK      | KNK026 | X         | 6/22/2023 | 11/27/2018 | NARIÑO | 411 LA CRUZ | BELÉN                | CERRO CHIMAYOY | CHIRCAL BAJO |
| 27     | KNK      | KNK027 | X         | 6/22/2023 | X          | NARIÑO | 411 LA CRUZ | LA UNIÓN             | CERRO CHIMAYOY | CHIRCAL BAJO |
| 28     | KNK      | KNK028 | X         | 6/22/2023 | X          | NARIÑO | 411 LA CRUZ | LA UNIÓN             | CERRO CHIMAYOY | CHIRCAL BAJO |
| 29     | KNK      | KNK029 | X         | 6/22/2023 | 11/15/2022 | NARIÑO | 411 LA CRUZ | BELÉN                | CERRO CHIMAYOY | CHIRCAL BAJO |
| 30     | KNK      | KNK030 | X         | 6/22/2023 | 11/16/2022 | NARIÑO | 411 LA CRUZ | BELÉN                | CERRO CHIMAYOY | CHIRCAL BAJO |
| 31     | KNK      | KNK031 | X         | 6/22/2023 | 11/17/2022 | NARIÑO | 411 LA CRUZ | BELÉN                | CERRO CHIMAYOY | CHIRCAL BAJO |

| NÚMERO | ENCUESTA | ID_MOV | PARTE | ID_PARTE          | ETIQUETA( Ver Figura 44) | ESTE    | NORTE   | TIPO_MOV1  | TIPO_MOV2  | SUBTIPO_1 |
|--------|----------|--------|-------|-------------------|--------------------------|---------|---------|------------|------------|-----------|
| 1      | KNK      | KNK001 | eyd   | KNK001-1,KNK002-2 | drs-e/drs-d              | 4548166 | 1728522 | Rotacional | Retrogreso | X         |
| 2      | KNK      | KNK002 | eyd   | KNK002-1,KNK002-2 | drs-e/drs-d              | 4545771 | 1728667 | Rotacional | Retrogreso | X         |
| 3      | KNK      | KNK003 | eyd   | KNK003-1,KNK003-2 | drs-e/drs-d              | 4545715 | 1728774 | Rotacional | Retrogreso | X         |
| 4      | KNK      | KNK004 | eyd   | KNK004-1,KNK004-2 | drs-e/drs-d              | 4545679 | 1728902 | Rotacional | Retrogreso | X         |
| 5      | KNK      | KNK005 | eyd   | KNK005-1,KNK005-2 | drs-e/drs-d              | 4545524 | 1728957 | Rotacional | Retrogreso | X         |
| 6      | KNK      | KNK006 | eyd   | KNK006-1,KNK006-2 | drs-e/drs-d              | 4545357 | 1729046 | Rotacional | Retrogreso | X         |
| 7      | KNK      | KNK007 | eyd   | KNK007-1,KNK007-2 | drs-e/drs-d              | 4545238 | 1729214 | Rotacional | Retrogreso | X         |
| 8      | KNK      | KNK008 | eyd   | KNK008-1,KNK008-2 | drs-e/drs-d              | 4544881 | 1729220 | Rotacional | Retrogreso | X         |
| 9      | KNK      | KNK009 | eyd   | KNK009-1,KNK009-2 | drs-e/drs-d              | 4544689 | 1729497 | Rotacional | Retrogreso | X         |
| 10     | KNK      | KNK010 | eyd   | KNK010-1,KNK010-2 | drs-e/drs-d              | 4544813 | 1729589 | Rotacional | Retrogreso | X         |

| NÚMERO | ENCUESTA | ID_M OV | PARTE | ID_PARTE          | ETIQUETA( Ver Figura 44) | ESTE    | NORTE   | TIPO_MOV1  | TIPO_MOV2     | SUBTIPO_1 |
|--------|----------|---------|-------|-------------------|--------------------------|---------|---------|------------|---------------|-----------|
| 11     | KNK      | KNK011  | eyd   | KNK011-1,KNK011-2 | drs-e/drs-d              | 4544999 | 1729773 | Rotacional | Retrogre sivo | X         |
| 12     | KNK      | KNK012  | eyd   | KNK012-1,KNK012-2 | drs-e/drs-d              | 4545185 | 1729804 | Rotacional | Retrogre sivo | X         |
| 13     | KNK      | KNK013  | eyd   | KNK013-1,KNK013-2 | drs-e/drs-d              | 4545309 | 1729927 | Rotacional | Retrogre sivo | X         |
| 14     | KNK      | KNK014  | eyd   | KNK014-1,KNK014-2 | drs-e/drs-d              | 4545990 | 1729956 | Rotacional | Retrogre sivo | X         |
| 15     | KNK      | KNK015  | eyd   | KNK015-1,KNK015-2 | drs-e/drs-d              | 4546114 | 1730048 | Rotacional | Retrogre sivo | X         |
| 16     | KNK      | KNK016  | eyd   | KNK016-1,KNK016-2 | drs-e/drs-d              | 4546207 | 1730079 | Rotacional | Retrogre sivo | X         |
| 17     | KNK      | KNK017  | eyd   | KNK017-1,KNK017-2 | drs-e/drs-d              | 4546579 | 1730232 | Rotacional | Retrogre sivo | X         |
| 18     | KNK      | KNK018  | eyd   | KNK018-1,KNK018-2 | drs-e/drs-d              | 4546610 | 1730263 | Rotacional | Retrogre sivo | X         |
| 19     | KNK      | KNK019  | eyd   | KNK019-1,KNK019-2 | drs-e/drs-d              | 4546765 | 1730324 | Rotacional | Retrogre sivo | X         |
| 20     | KNK      | KNK020  | eyd   | KNK020-1,KNK020-2 | drs-e/drs-d              | 4547508 | 1730353 | Rotacional | Retrogre sivo | X         |
| 21     | KNK      | KNK021  | eyd   | KNK021-1,KNK021-2 | drs-e/drs-d              | 4547446 | 1730353 | Rotacional | Retrogre sivo | X         |
| 22     | KNK      | KNK022  | eyd   | KNK022-1,KNK022-2 | drs-e/drs-d              | 4545253 | 1730339 | Rotacional | Retrogre sivo | X         |
| 23     | KNK      | KNK023  | eyd   | KNK023-1,KNK023-2 | drs-e/drs-d              | 4545154 | 1730819 | Rotacional | Retrogre sivo | X         |
| 24     | KNK      | KNK024  | eyd   | KNK024-1,KNK024-2 | drs-e/drs-d              | 4545014 | 1730832 | Rotacional | Retrogre sivo | X         |
| 25     | KNK      | KNK025  | eyd   | KNK025-1,KNK025-2 | drs-e/drs-d              | 4545903 | 1731684 | Rotacional | Retrogre sivo | Caída     |
| 26     | KNK      | KNK026  | eyd   | KNK026-1,KNK026-2 | drs-e/drs-d              | 4546240 | 1732192 | Rotacional | Retrogre sivo | X         |
| 27     | KNK      | KNK027  | eyd   | KNK027-1,KNK027-2 | drs-e/drs-d              | 4545560 | 1732473 | Rotacional | Retrogre sivo | X         |
| 28     | KNK      | KNK028  | eyd   | KNK028-1,KNK028-2 | drs-e/drs-d              | 4545937 | 1732890 | Rotacional | Retrogre sivo | X         |
| 29     | KNK      | KNK029  | eyd   | KNK029-1,KNK029-2 | drs-e/drs-d              | 4547012 | 1733029 | Rotacional | Retrogre sivo | X         |
| 30     | KNK      | KNK030  | eyd   | KNK030-1,KNK030-2 | drs-e/drs-d              | 4547005 | 1732663 | Rotacional | Retrogre sivo | X         |
| 31     | KNK      | KNK031  | eyd   | KNK031-1,KNK031-2 | drs-e/drs-d              | 4547111 | 1732564 | Rotacional | Retrogre sivo | X         |

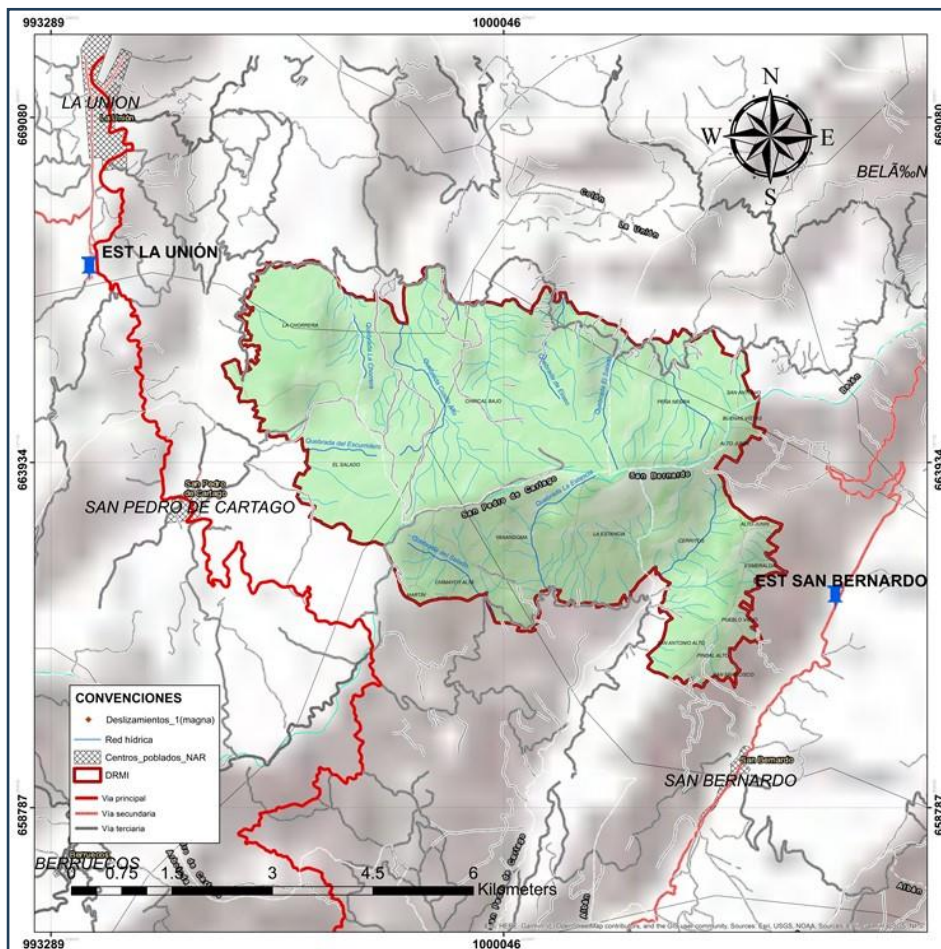
### **5.2.3. Detonante por precipitación**

En el presente estudio se ha considerado la lluvia como el principal detonante para que se produzca un movimiento en masa. Para ello se ha estructurado una metodología adoptando criterios establecidos en la guía de zonificación de amenaza por movimientos en masa del servicio geológico colombiano a escala 1:25000.

Para el análisis de detonante por precipitación se requirió el inventario de movimientos en masa elaborado y presentado anteriormente. Sin embargo, es necesario conocer las fechas aproximadas en las cuales ocurrieron los movimientos. De los movimientos en masa levantados en campo, cinco (5) de ellos se registraron el 27 de noviembre de 2018. Se cuenta con fechas de tres (3) deslizamientos en el año 2021 y cuatro (4) en el año 2022. Del resto de movimientos no se logró obtener la fecha de detonación correspondiente, por lo tanto, para el análisis de detonante por precipitación se utilizaron los datos con los cuales se cuenta con registro de la fecha y por otra parte los datos de SIMMA.

#### **5.2.3.1. Estaciones pluviométricas**

Inicialmente, se realizó la búsqueda de estaciones pluviométricas con información disponible en la zona de estudio. Se obtuvieron dos (2) estaciones con información provenientes del IDEAM. a) Estación San Bernardo; b) Estación La Unión.



**Figura 45 Localización estaciones pluviométricas**

**Tabla 12 Estaciones pluviométricas cercanas al área de estudio**

| ESTACIÓN     | CÓDIGO   | X         | Y         |
|--------------|----------|-----------|-----------|
| San Bernardo | 52045030 | 1004996.1 | 661911.09 |
| La Unión     | 52030030 | 993862.08 | 666813.28 |

De acuerdo con la guía del SGC, la distancia de la estación a utilizar para el análisis hidrológico no debe superar los 11 km desde el área de interés. Para el caso, las dos estaciones se encuentran a menos de esta distancia aproximadamente 4.9 km para estación San Bernardo y 7.3 km para estación La Unión con respecto al centro del área DRMI.

### 5.2.3.2. Hidrografía del área DRMI Cerro Chimayoy

El área DRMI hace parte de dos cuencas principales, la cuenca del río Juanambú, y la cuenca del río Mayo. En la zona de la cuenca río Juanambú se encuentran las microcuencas de las quebradas el Salado, la Estancia y Chimayoy. Por el lado de la cuenca río Mayo se encuentran las microcuencas de las quebradas el Escurridero, la Chorrera, Cusiyo Alto, Eliseo, el Salado y las Afiladoras.

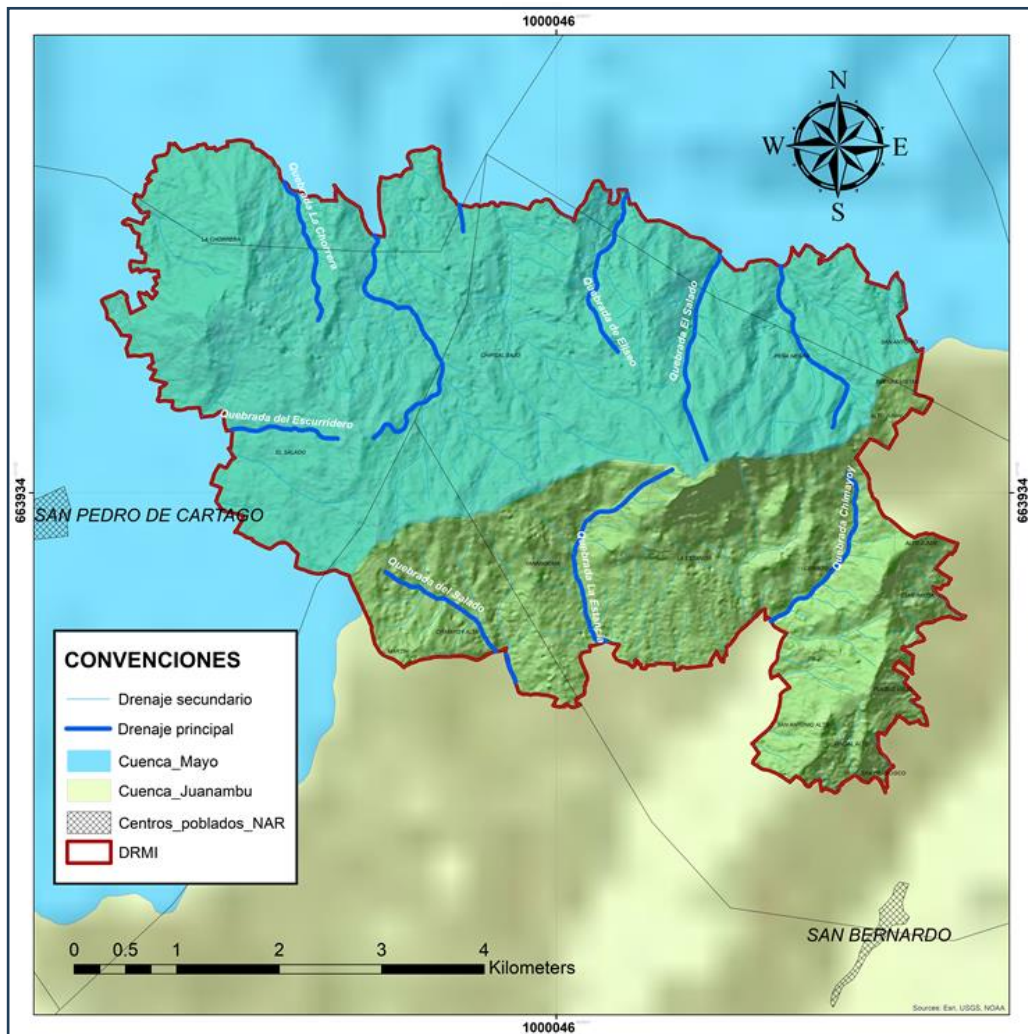


Figura 46 Hidrografía área DRMI Cerro Chimayoy

### 5.2.3.3. Registro temporal y espacial de movimientos en masa

A continuación, se presentan los movimientos en masa que fueron utilizados en el análisis de umbral de lluvias y cálculo de probabilidad de excedencia del mismo.

**Tabla 13 Movimientos en masa levantados en campo escogidos para el análisis de lluvias – umbrales y probabilidad de excedencia**

| MOV | LAT         | LONG         | FECHA     | X           | Y           |
|-----|-------------|--------------|-----------|-------------|-------------|
| 1   | 1.550239177 | -77.08859443 | 27-Nov-18 | 998766.3041 | 663184.5319 |
| 2   | 1.550250494 | -77.08833313 | 27-Nov-18 | 998795.3812 | 663185.7831 |
| 3   | 1.550463715 | -77.08749732 | 27-Nov-18 | 998888.3896 | 663209.3596 |
| 4   | 1.555390316 | -77.08633978 | 27-Nov-18 | 999017.2015 | 663754.1184 |
| 5   | 1.559717398 | -77.08723534 | 27-Nov-18 | 998917.5469 | 664232.5864 |
| 6   | 1.57970394  | -77.07061159 | 14-Mar-21 | 1000767.406 | 666442.5992 |
| 7   | 1.576402281 | -77.07066239 | 15-Nov-21 | 1000761.754 | 666077.5178 |
| 8   | 1.567538514 | -77.08053052 | 15-Nov-22 | 999663.6505 | 665097.4048 |

Como se observa, cinco (5) de los movimientos en masa se registran en la misma fecha, por lo cual se tomará como un solo evento.

En cuanto a movimientos en masa escogidos para el análisis del registro en SIMMA se presentan los siguientes:

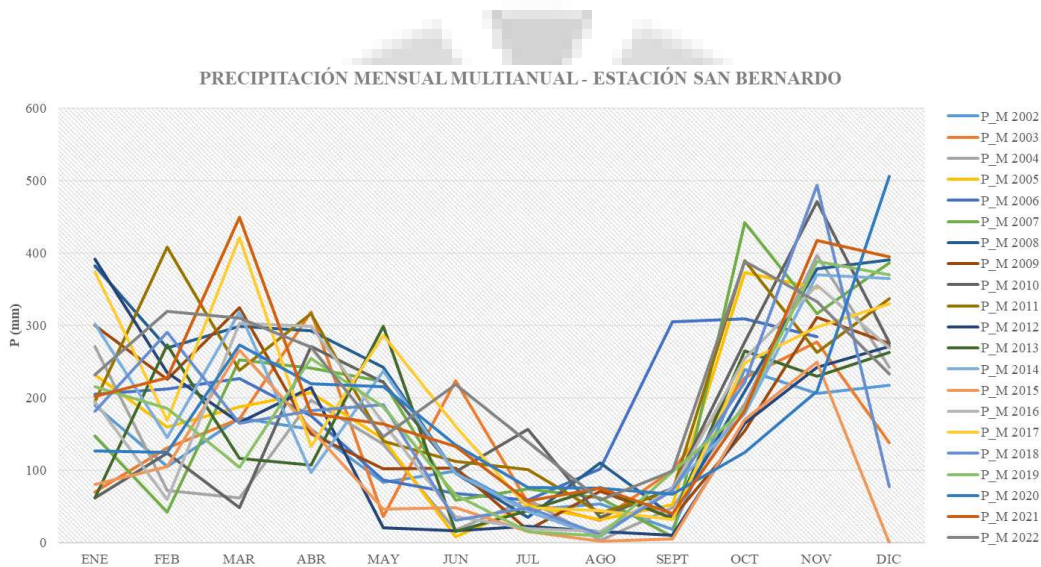
**Tabla 14 Movimientos en masa disponibles en la plataforma de SGC SIMMA escogidos para el análisis de lluvias – umbrales y probabilidad de excedencia**

| MOV | LONG   | LAT  | FECHA<br>(MM/DD/AAAA) | X           | Y          |
|-----|--------|------|-----------------------|-------------|------------|
| 1   | -77.04 | 1.51 | 9/2/2002              | 1003980.740 | 658644.772 |
| 2   | -77.09 | 1.52 | 10/17/2010            | 999085.599  | 660064.414 |
| 3   | -77.03 | 1.55 | 4/21/2011             | 1005163.009 | 662963.968 |
| 4   | -77.04 | 1.49 | 4/10/2012             | 1003687.321 | 656659.171 |
| 5   | -77.02 | 1.53 | 4/8/2017              | 1006314.914 | 660931.957 |
| 6   | -77.02 | 1.53 | 5/11/2017             | 1006314.914 | 660931.957 |
| 7   | -77.08 | 1.54 | 11/15/2018            | 999735.256  | 661699.154 |
| 8   | -77.10 | 1.62 | 12/17/2019            | 997290.442  | 671319.206 |
| 9   | -77.13 | 1.61 | 4/28/2021             | 993935.914  | 670234.971 |
| 10  | -77.06 | 1.55 | 4/7/2022              | 1001552.887 | 663566.551 |
| 11  | -77.12 | 1.55 | 10/26/2022            | 995605.689  | 662936.972 |

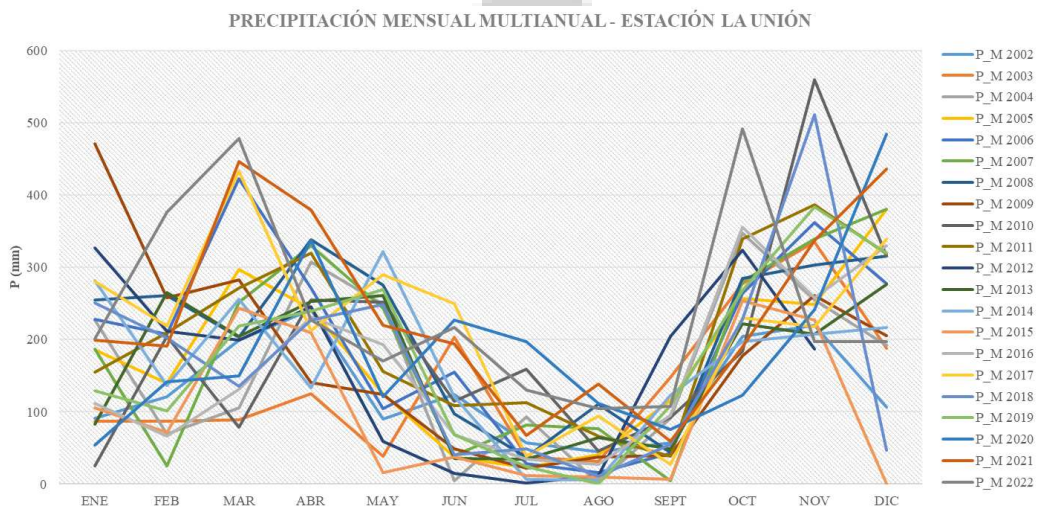


### 5.2.3.4. Régimen hidrológico

El comportamiento de las precipitaciones en la zona de estudio es de tipo bimodal, presentando las precipitaciones promedio mensuales multianuales más altas en los meses marzo y noviembre. Los picos más bajos se dan en los meses de febrero y en julio. El análisis se realizó para las dos estaciones disponibles, teniendo en cuenta que la estación de La Unión se encuentra en la cuenca del Río Mayo y la estación San Bernardo en la cuenca del Río Juanambú.



**Figura 47 Precipitación mensual multianual desde 2002 – 2022 – Estación San Bernardo**



**Figura 48 Precipitación mensual multianual desde 2002 – 2022 – Estación La Unión**

Se evaluó la precipitación máxima diaria desde el año 2002 a 2022 evidenciando días más lluviosos en la cuenca del río mayo con un valor máximo de 112.9 mm en el año 2020, mientras en la cuenca del río Juanambú se observa un valor de 79.1 mm para el mismo año. El día más lluvioso en la cuenca de Juanambú se presentó en el año 2006 con 99.4 mm.



**Figura 49 Precipitación máxima diaria (P24h) multianual desde 2002 a 2022 – Estación San Bernardo**

PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 HORAS DESDE 2002-2022  
Estación La Unión

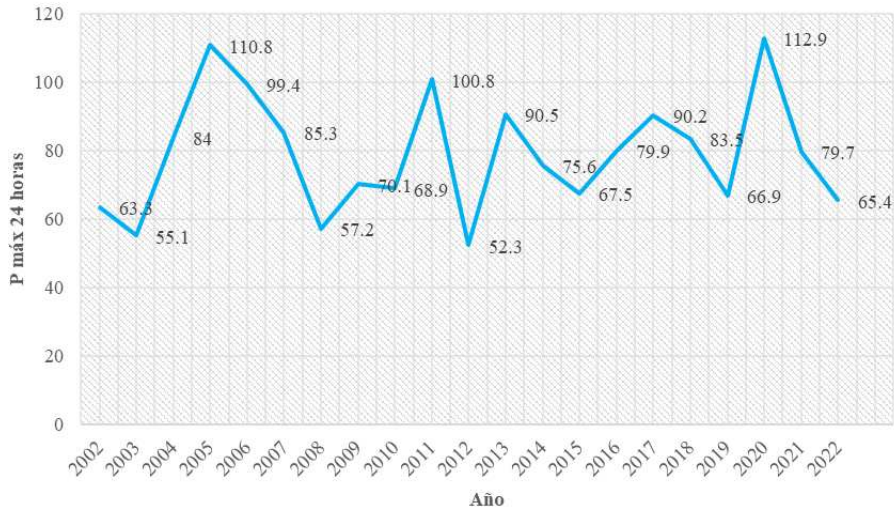


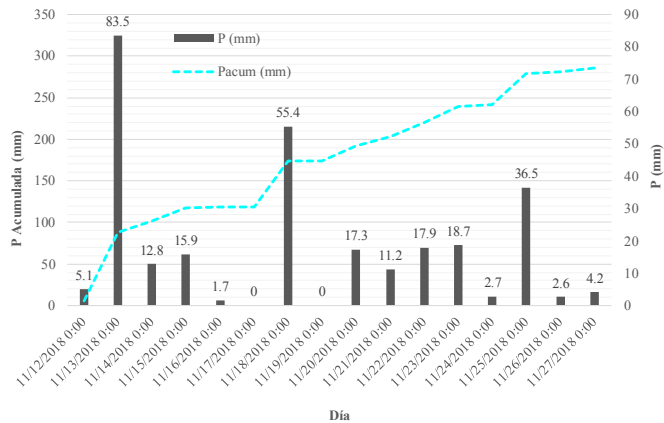
Figura 50 Precipitación máxima diaria (P24h) multianual desde 2002 a 2022 – Estación La Unión

### 5.2.3.5. Precipitación máxima diaria y precipitación antecedente

Una vez inventariado el registro de movimientos en masa con fecha y localización conocida, y obtenida la información de precipitación diaria para las dos estaciones disponibles, se procedió a calcular la precipitación máxima diaria (P24h) y la precipitación antecedente (Pant). Para el caso y teniendo en cuenta la guía de zonificación de amenaza del SGC, se ha elegido quince (15) días antecedentes al evento sin contar el día del mismo. A continuación, se presentan los resultados obtenidos del cálculo de las dos variables:

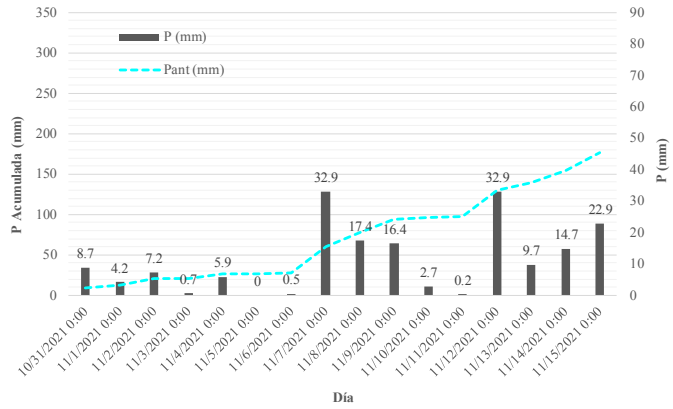
1 Evento del día 27 de noviembre de 2018 (Levantado en campo)  
Estación: La Unión

|    | FECHA           | P (mm) | P Ant |
|----|-----------------|--------|-------|
| 15 | 11/12/2018 0:00 | 5.1    | 5.1   |
| 14 | 11/13/2018 0:00 | 83.5   | 88.6  |
| 13 | 11/14/2018 0:00 | 12.8   | 101.4 |
| 12 | 11/15/2018 0:00 | 15.9   | 117.3 |
| 11 | 11/16/2018 0:00 | 1.7    | 119   |
| 10 | 11/17/2018 0:00 | 0      | 119   |
| 9  | 11/18/2018 0:00 | 55.4   | 174.4 |
| 8  | 11/19/2018 0:00 | 0      | 174.4 |
| 7  | 11/20/2018 0:00 | 17.3   | 191.7 |
| 6  | 11/21/2018 0:00 | 11.2   | 202.9 |
| 5  | 11/22/2018 0:00 | 17.9   | 220.8 |
| 4  | 11/23/2018 0:00 | 18.7   | 239.5 |
| 3  | 11/24/2018 0:00 | 2.7    | 242.2 |
| 2  | 11/25/2018 0:00 | 36.5   | 278.7 |
| 1  | 11/26/2018 0:00 | 2.6    | 281.3 |
| 0  | 11/27/2018 0:00 | 4.2    | 285.5 |
|    | P24h =          | 83.5   |       |



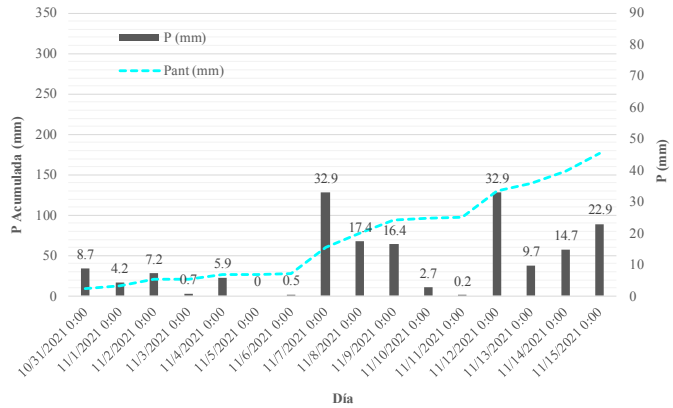
**2 Evento del día 15 de noviembre de 2021 (Levantado en campo)**  
Estación: La Unión

|        | FECHA           | P (mm) | P Ant |
|--------|-----------------|--------|-------|
| 15     | 10/31/2021 0:00 | 8.7    | 8.7   |
| 14     | 11/1/2021 0:00  | 4.2    | 12.9  |
| 13     | 11/2/2021 0:00  | 7.2    | 20.1  |
| 12     | 11/3/2021 0:00  | 0.7    | 20.8  |
| 11     | 11/4/2021 0:00  | 5.9    | 26.7  |
| 10     | 11/5/2021 0:00  | 0      | 26.7  |
| 9      | 11/6/2021 0:00  | 0.5    | 27.2  |
| 8      | 11/7/2021 0:00  | 32.9   | 60.1  |
| 7      | 11/8/2021 0:00  | 17.4   | 77.5  |
| 6      | 11/9/2021 0:00  | 16.4   | 93.9  |
| 5      | 11/10/2021 0:00 | 2.7    | 96.6  |
| 4      | 11/11/2021 0:00 | 0.2    | 96.8  |
| 3      | 11/12/2021 0:00 | 32.9   | 129.7 |
| 2      | 11/13/2021 0:00 | 9.7    | 139.4 |
| 1      | 11/14/2021 0:00 | 14.7   | 154.1 |
| 0      | 11/15/2021 0:00 | 22.9   | 177   |
| P24h = |                 | 32.9   |       |



**3 Evento del día 15 de noviembre de 2021 (Levantado en campo)**  
Estación: La Unión

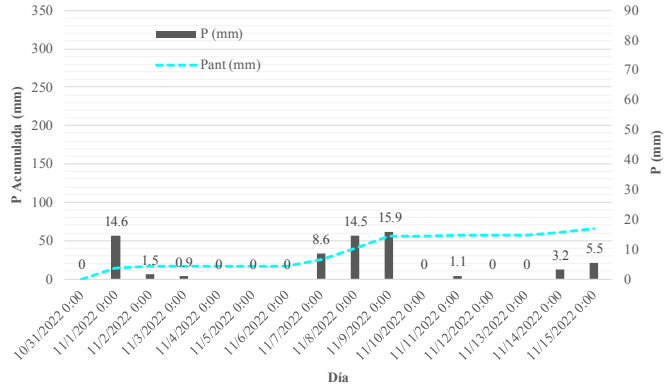
|        | FECHA           | P (mm) | P Ant |
|--------|-----------------|--------|-------|
| 15     | 10/31/2021 0:00 | 8.7    | 8.7   |
| 14     | 11/1/2021 0:00  | 4.2    | 12.9  |
| 13     | 11/2/2021 0:00  | 7.2    | 20.1  |
| 12     | 11/3/2021 0:00  | 0.7    | 20.8  |
| 11     | 11/4/2021 0:00  | 5.9    | 26.7  |
| 10     | 11/5/2021 0:00  | 0      | 26.7  |
| 9      | 11/6/2021 0:00  | 0.5    | 27.2  |
| 8      | 11/7/2021 0:00  | 32.9   | 60.1  |
| 7      | 11/8/2021 0:00  | 17.4   | 77.5  |
| 6      | 11/9/2021 0:00  | 16.4   | 93.9  |
| 5      | 11/10/2021 0:00 | 2.7    | 96.6  |
| 4      | 11/11/2021 0:00 | 0.2    | 96.8  |
| 3      | 11/12/2021 0:00 | 32.9   | 129.7 |
| 2      | 11/13/2021 0:00 | 9.7    | 139.4 |
| 1      | 11/14/2021 0:00 | 14.7   | 154.1 |
| 0      | 11/15/2021 0:00 | 22.9   | 177   |
| P24h = |                 | 32.9   |       |



**4 Evento del día 15 de noviembre de 2022 (Levantado en campo)**

Estación: La Unión

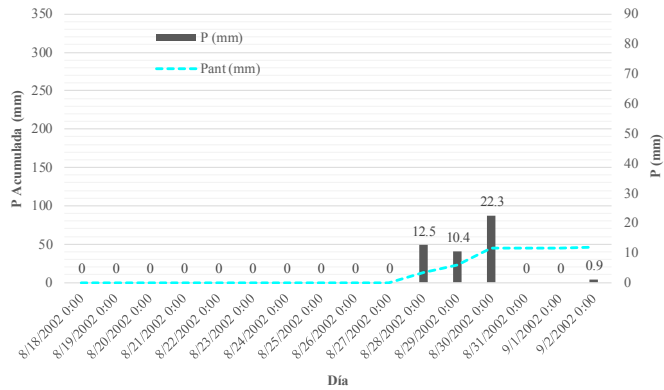
|        | FECHA           | P (mm) | P Ant |
|--------|-----------------|--------|-------|
| 15     | 10/31/2022 0:00 | 0      | 0     |
| 14     | 11/1/2022 0:00  | 14.6   | 14.6  |
| 13     | 11/2/2022 0:00  | 1.5    | 16.1  |
| 12     | 11/3/2022 0:00  | 0.9    | 17    |
| 11     | 11/4/2022 0:00  | 0      | 17    |
| 10     | 11/5/2022 0:00  | 0      | 17    |
| 9      | 11/6/2022 0:00  | 0      | 17    |
| 8      | 11/7/2022 0:00  | 8.6    | 25.6  |
| 7      | 11/8/2022 0:00  | 14.5   | 40.1  |
| 6      | 11/9/2022 0:00  | 15.9   | 56    |
| 5      | 11/10/2022 0:00 | 0      | 56    |
| 4      | 11/11/2022 0:00 | 1.1    | 57.1  |
| 3      | 11/12/2022 0:00 | 0      | 57.1  |
| 2      | 11/13/2022 0:00 | 0      | 57.1  |
| 1      | 11/14/2022 0:00 | 3.2    | 60.3  |
| 0      | 11/15/2022 0:00 | 5.5    | 65.8  |
| P24h = |                 | 15.9   |       |



**5 Evento del día 2 de septiembre de 2002 (Registro de SIMMA)**

Estación: La Unión

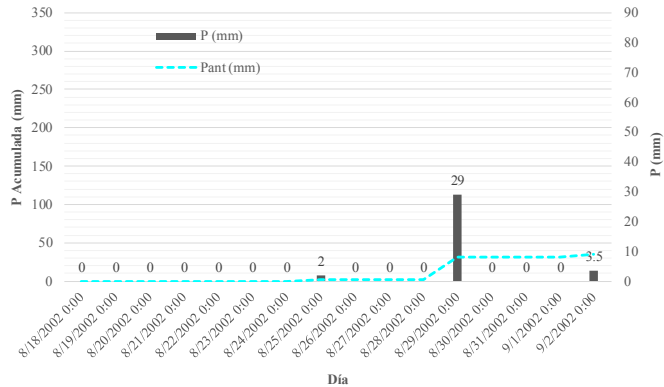
|        | FECHA          | P (mm) | P Ant |
|--------|----------------|--------|-------|
| 15     | 8/18/2002 0:00 | 0      | 0     |
| 14     | 8/19/2002 0:00 | 0      | 0     |
| 13     | 8/20/2002 0:00 | 0      | 0     |
| 12     | 8/21/2002 0:00 | 0      | 0     |
| 11     | 8/22/2002 0:00 | 0      | 0     |
| 10     | 8/23/2002 0:00 | 0      | 0     |
| 9      | 8/24/2002 0:00 | 0      | 0     |
| 8      | 8/25/2002 0:00 | 0      | 0     |
| 7      | 8/26/2002 0:00 | 0      | 0     |
| 6      | 8/27/2002 0:00 | 0      | 0     |
| 5      | 8/28/2002 0:00 | 12.5   | 12.5  |
| 4      | 8/29/2002 0:00 | 10.4   | 22.9  |
| 3      | 8/30/2002 0:00 | 22.3   | 45.2  |
| 2      | 8/31/2002 0:00 | 0      | 45.2  |
| 1      | 9/1/2002 0:00  | 0      | 45.2  |
| 0      | 9/2/2002 0:00  | 0.9    | 46.1  |
| P24h = |                | 22.3   |       |



**6 Evento del día 2 de septiembre de 2002 (Registro de SIMMA)**

Estación: San Bernardo

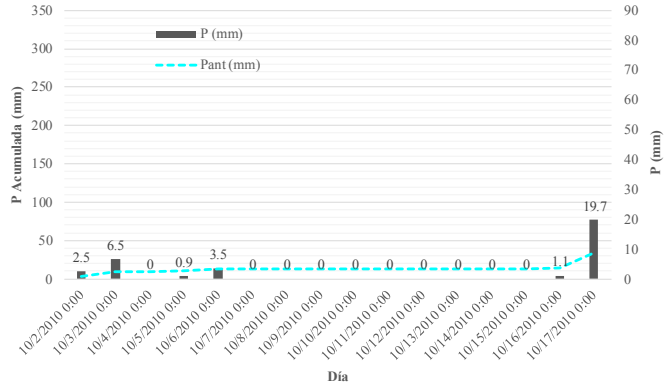
|        | FECHA          | P (mm) | P Ant |
|--------|----------------|--------|-------|
| 15     | 8/18/2002 0:00 | 0      | 0     |
| 14     | 8/19/2002 0:00 | 0      | 0     |
| 13     | 8/20/2002 0:00 | 0      | 0     |
| 12     | 8/21/2002 0:00 | 0      | 0     |
| 11     | 8/22/2002 0:00 | 0      | 0     |
| 10     | 8/23/2002 0:00 | 0      | 0     |
| 9      | 8/24/2002 0:00 | 0      | 0     |
| 8      | 8/25/2002 0:00 | 2      | 2     |
| 7      | 8/26/2002 0:00 | 0      | 2     |
| 6      | 8/27/2002 0:00 | 0      | 2     |
| 5      | 8/28/2002 0:00 | 0      | 2     |
| 4      | 8/29/2002 0:00 | 29     | 31    |
| 3      | 8/30/2002 0:00 | 0      | 31    |
| 2      | 8/31/2002 0:00 | 0      | 31    |
| 1      | 9/1/2002 0:00  | 0      | 31    |
| 0      | 9/2/2002 0:00  | 3.5    | 34.5  |
| P24h = |                | 29     |       |



**7 Evento del día 17 de octubre de 2010 (Registro de SIMMA)**

Estación: La Unión

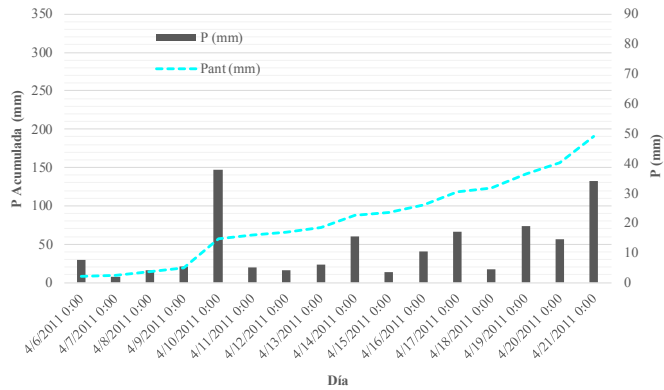
|        | FECHA           | P (mm) | P Ant |
|--------|-----------------|--------|-------|
| 15     | 10/2/2010 0:00  | 2.5    | 2.5   |
| 14     | 10/3/2010 0:00  | 6.5    | 9     |
| 13     | 10/4/2010 0:00  | 0      | 9     |
| 12     | 10/5/2010 0:00  | 0.9    | 9.9   |
| 11     | 10/6/2010 0:00  | 3.5    | 13.4  |
| 10     | 10/7/2010 0:00  | 0      | 13.4  |
| 9      | 10/8/2010 0:00  | 0      | 13.4  |
| 8      | 10/9/2010 0:00  | 0      | 13.4  |
| 7      | 10/10/2010 0:00 | 0      | 13.4  |
| 6      | 10/11/2010 0:00 | 0      | 13.4  |
| 5      | 10/12/2010 0:00 | 0      | 13.4  |
| 4      | 10/13/2010 0:00 | 0      | 13.4  |
| 3      | 10/14/2010 0:00 | 0      | 13.4  |
| 2      | 10/15/2010 0:00 | 0      | 13.4  |
| 1      | 10/16/2010 0:00 | 1.1    | 14.5  |
| 0      | 10/17/2010 0:00 | 19.7   | 34.2  |
| P24h = |                 | 19.7   |       |



**8 Evento del día 21 de marzo de 2011 (Registro de SIMMA)**

Estación: San Bernardo

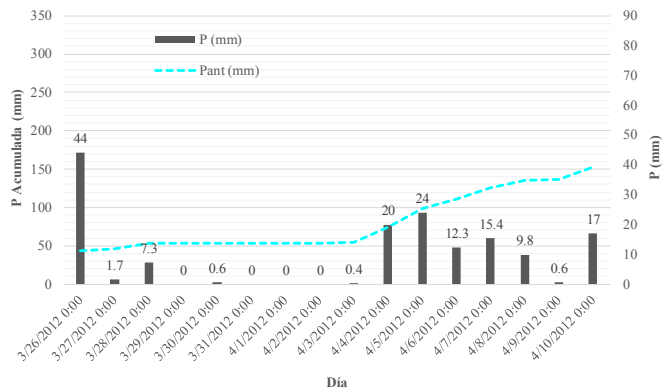
|        | FECHA          | P (mm) | P Ant |
|--------|----------------|--------|-------|
| 15     | 4/6/2011 0:00  | 7.6    | 7.6   |
| 14     | 4/7/2011 0:00  | 2      | 9.6   |
| 13     | 4/8/2011 0:00  | 4.1    | 13.7  |
| 12     | 4/9/2011 0:00  | 5.2    | 18.9  |
| 11     | 4/10/2011 0:00 | 37.8   | 56.7  |
| 10     | 4/11/2011 0:00 | 5      | 61.7  |
| 9      | 4/12/2011 0:00 | 4.1    | 65.8  |
| 8      | 4/13/2011 0:00 | 5.9    | 71.7  |
| 7      | 4/14/2011 0:00 | 15.5   | 87.2  |
| 6      | 4/15/2011 0:00 | 3.5    | 90.7  |
| 5      | 4/16/2011 0:00 | 10.5   | 101.2 |
| 4      | 4/17/2011 0:00 | 17     | 118.2 |
| 3      | 4/18/2011 0:00 | 4.3    | 122.5 |
| 2      | 4/19/2011 0:00 | 19     | 141.5 |
| 1      | 4/20/2011 0:00 | 14.6   | 156.1 |
| 0      | 4/21/2011 0:00 | 34.1   | 190.2 |
| P24h = |                | 37.8   |       |



**9 Evento del día 10 de marzo de 2012 (Registro de SIMMA)**

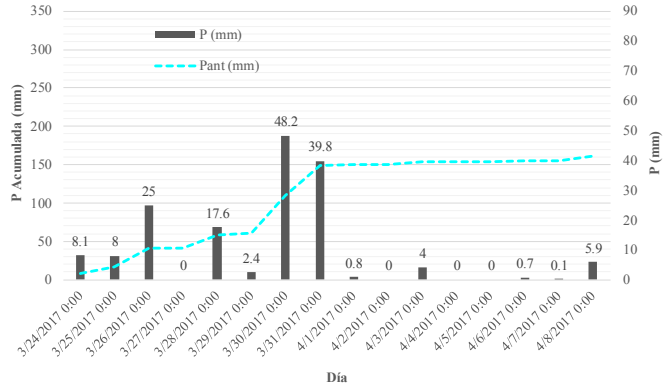
Estación: San Bernardo

|        | FECHA          | P (mm) | P Ant |
|--------|----------------|--------|-------|
| 15     | 3/26/2012 0:00 | 44     | 44    |
| 14     | 3/27/2012 0:00 | 1.7    | 45.7  |
| 13     | 3/28/2012 0:00 | 7.3    | 53    |
| 12     | 3/29/2012 0:00 | 0      | 53    |
| 11     | 3/30/2012 0:00 | 0.6    | 53.6  |
| 10     | 3/31/2012 0:00 | 0      | 53.6  |
| 9      | 4/1/2012 0:00  | 0      | 53.6  |
| 8      | 4/2/2012 0:00  | 0      | 53.6  |
| 7      | 4/3/2012 0:00  | 0.4    | 54    |
| 6      | 4/4/2012 0:00  | 20     | 74    |
| 5      | 4/5/2012 0:00  | 24     | 98    |
| 4      | 4/6/2012 0:00  | 12.3   | 110.3 |
| 3      | 4/7/2012 0:00  | 15.4   | 125.7 |
| 2      | 4/8/2012 0:00  | 9.8    | 135.5 |
| 1      | 4/9/2012 0:00  | 0.6    | 136.1 |
| 0      | 4/10/2012 0:00 | 17     | 153.1 |
| P24h = |                | 44     |       |



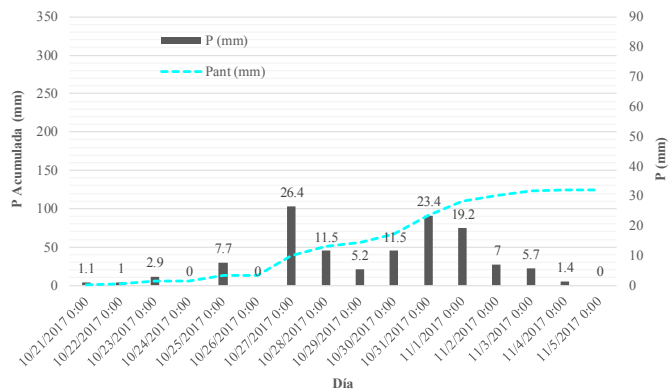
**10 Evento del día 8 de marzo de 2017 (Registro de SIMMA)**  
Estación: San Bernardo

|        | FECHA          | P (mm) | P Ant |
|--------|----------------|--------|-------|
| 15     | 3/24/2017 0:00 | 8.1    | 8.1   |
| 14     | 3/25/2017 0:00 | 8      | 16.1  |
| 13     | 3/26/2017 0:00 | 25     | 41.1  |
| 12     | 3/27/2017 0:00 | 0      | 41.1  |
| 11     | 3/28/2017 0:00 | 17.6   | 58.7  |
| 10     | 3/29/2017 0:00 | 2.4    | 61.1  |
| 9      | 3/30/2017 0:00 | 48.2   | 109.3 |
| 8      | 3/31/2017 0:00 | 39.8   | 149.1 |
| 7      | 4/1/2017 0:00  | 0.8    | 149.9 |
| 6      | 4/2/2017 0:00  | 0      | 149.9 |
| 5      | 4/3/2017 0:00  | 4      | 153.9 |
| 4      | 4/4/2017 0:00  | 0      | 153.9 |
| 3      | 4/5/2017 0:00  | 0      | 153.9 |
| 2      | 4/6/2017 0:00  | 0.7    | 154.6 |
| 1      | 4/7/2017 0:00  | 0.1    | 154.7 |
| 0      | 4/8/2017 0:00  | 5.9    | 160.6 |
| P24h = |                | 48.2   |       |



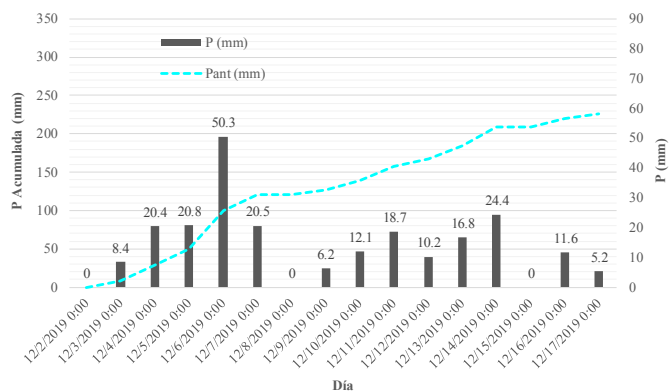
**11 Evento del día 5 de noviembre de 2017 (Registro de SIMMA)**  
Estación: San Bernardo

|        | FECHA           | P (mm) | P Ant |
|--------|-----------------|--------|-------|
| 15     | 10/21/2017 0:00 | 1.1    | 1.1   |
| 14     | 10/22/2017 0:00 | 1      | 2.1   |
| 13     | 10/23/2017 0:00 | 2.9    | 5     |
| 12     | 10/24/2017 0:00 | 0      | 5     |
| 11     | 10/25/2017 0:00 | 7.7    | 12.7  |
| 10     | 10/26/2017 0:00 | 0      | 12.7  |
| 9      | 10/27/2017 0:00 | 26.4   | 39.1  |
| 8      | 10/28/2017 0:00 | 11.5   | 50.6  |
| 7      | 10/29/2017 0:00 | 5.2    | 55.8  |
| 6      | 10/30/2017 0:00 | 11.5   | 67.3  |
| 5      | 10/31/2017 0:00 | 23.4   | 90.7  |
| 4      | 11/1/2017 0:00  | 19.2   | 109.9 |
| 3      | 11/2/2017 0:00  | 7      | 116.9 |
| 2      | 11/3/2017 0:00  | 5.7    | 122.6 |
| 1      | 11/4/2017 0:00  | 1.4    | 124   |
| 0      | 11/5/2017 0:00  | 0      | 124   |
| P24h = |                 | 26.4   |       |



**12 Evento del día 17 de diciembre de 2019 (Registro de SIMMA)**  
Estación: La Unión

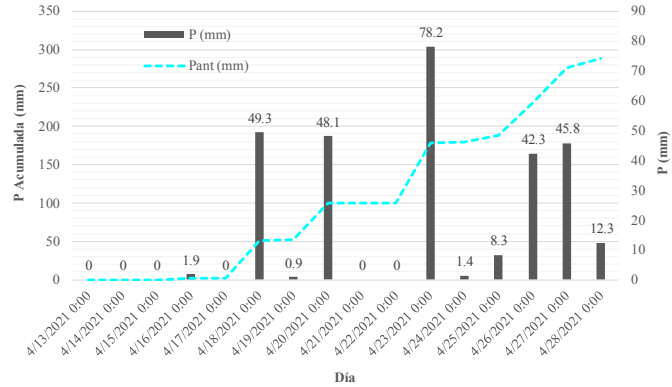
|        | FECHA           | P (mm) | P Ant |
|--------|-----------------|--------|-------|
| 15     | 12/2/2019 0:00  | 0      | 0     |
| 14     | 12/3/2019 0:00  | 8.4    | 8.4   |
| 13     | 12/4/2019 0:00  | 20.4   | 28.8  |
| 12     | 12/5/2019 0:00  | 20.8   | 49.6  |
| 11     | 12/6/2019 0:00  | 50.3   | 99.9  |
| 10     | 12/7/2019 0:00  | 20.5   | 120.4 |
| 9      | 12/8/2019 0:00  | 0      | 120.4 |
| 8      | 12/9/2019 0:00  | 6.2    | 126.6 |
| 7      | 12/10/2019 0:00 | 12.1   | 138.7 |
| 6      | 12/11/2019 0:00 | 18.7   | 157.4 |
| 5      | 12/12/2019 0:00 | 10.2   | 167.6 |
| 4      | 12/13/2019 0:00 | 16.8   | 184.4 |
| 3      | 12/14/2019 0:00 | 24.4   | 208.8 |
| 2      | 12/15/2019 0:00 | 0      | 208.8 |
| 1      | 12/16/2019 0:00 | 11.6   | 220.4 |
| 0      | 12/17/2019 0:00 | 5.2    | 225.6 |
| P24h = |                 | 50.3   |       |



**13 Evento del día 28 de abril de 2021 (Registro de SIMMA)**

Estación: La Unión

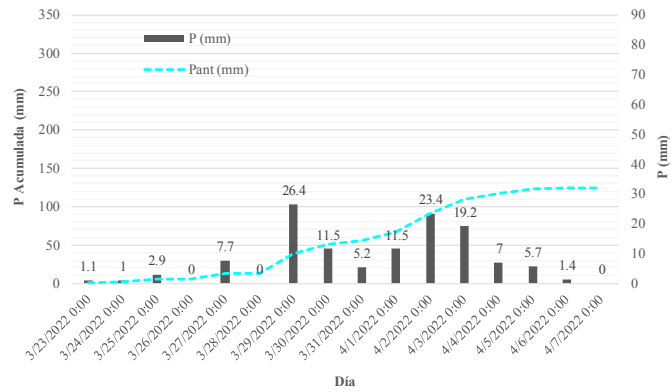
|        | FECHA          | P (mm) | P Ant |
|--------|----------------|--------|-------|
| 15     | 4/13/2021 0:00 | 0      | 0     |
| 14     | 4/14/2021 0:00 | 0      | 0     |
| 13     | 4/15/2021 0:00 | 0      | 0     |
| 12     | 4/16/2021 0:00 | 1.9    | 1.9   |
| 11     | 4/17/2021 0:00 | 0      | 1.9   |
| 10     | 4/18/2021 0:00 | 49.3   | 51.2  |
| 9      | 4/19/2021 0:00 | 0.9    | 52.1  |
| 8      | 4/20/2021 0:00 | 48.1   | 100.2 |
| 7      | 4/21/2021 0:00 | 0      | 100.2 |
| 6      | 4/22/2021 0:00 | 0      | 100.2 |
| 5      | 4/23/2021 0:00 | 78.2   | 178.4 |
| 4      | 4/24/2021 0:00 | 1.4    | 179.8 |
| 3      | 4/25/2021 0:00 | 8.3    | 188.1 |
| 2      | 4/26/2021 0:00 | 42.3   | 230.4 |
| 1      | 4/27/2021 0:00 | 45.8   | 276.2 |
| 0      | 4/28/2021 0:00 | 12.3   | 288.5 |
| P24h = |                | 78.2   |       |



**14 Evento del día 7 de marzo de 2022 (Registro de SIMMA)**

Estación: La Unión

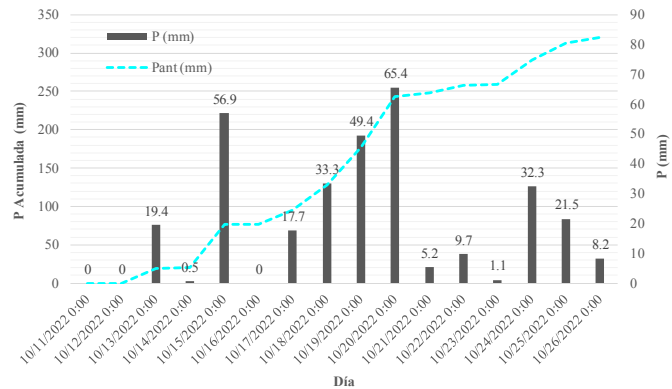
|        | FECHA          | P (mm) | P Ant |
|--------|----------------|--------|-------|
| 15     | 3/23/2022 0:00 | 1.1    | 1.1   |
| 14     | 3/24/2022 0:00 | 1      | 2.1   |
| 13     | 3/25/2022 0:00 | 2.9    | 5     |
| 12     | 3/26/2022 0:00 | 0      | 5     |
| 11     | 3/27/2022 0:00 | 7.7    | 12.7  |
| 10     | 3/28/2022 0:00 | 0      | 12.7  |
| 9      | 3/29/2022 0:00 | 26.4   | 39.1  |
| 8      | 3/30/2022 0:00 | 11.5   | 50.6  |
| 7      | 3/31/2022 0:00 | 5.2    | 55.8  |
| 6      | 4/1/2022 0:00  | 11.5   | 67.3  |
| 5      | 4/2/2022 0:00  | 23.4   | 90.7  |
| 4      | 4/3/2022 0:00  | 19.2   | 109.9 |
| 3      | 4/4/2022 0:00  | 7      | 116.9 |
| 2      | 4/5/2022 0:00  | 5.7    | 122.6 |
| 1      | 4/6/2022 0:00  | 1.4    | 124   |
| 0      | 4/7/2022 0:00  | 0      | 124   |
| P24h = |                | 26.4   |       |



**15 Evento del día 26 de octubre de 2022 (Registro de SIMMA)**

Estación: La Unión

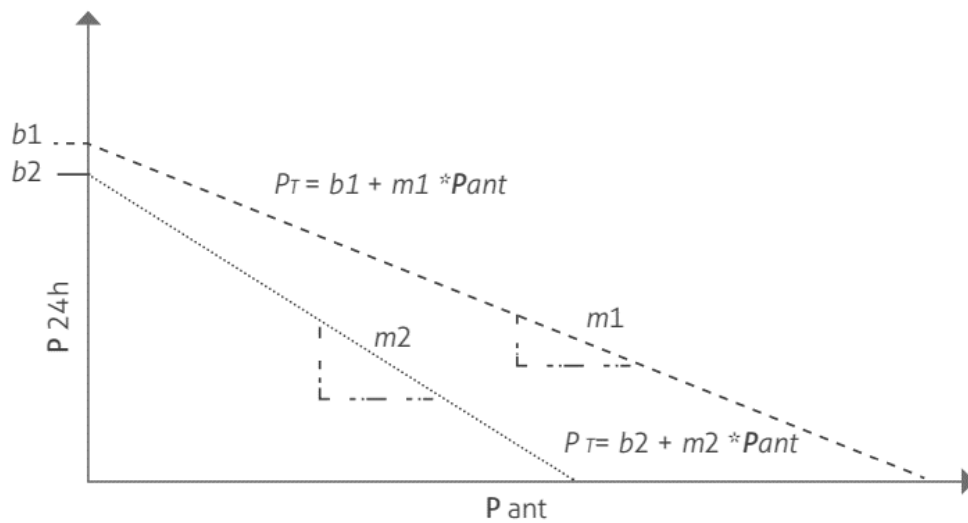
|        | FECHA           | P (mm) | P Ant |
|--------|-----------------|--------|-------|
| 15     | 10/11/2022 0:00 | 0      | 0     |
| 14     | 10/12/2022 0:00 | 0      | 0     |
| 13     | 10/13/2022 0:00 | 19.4   | 19.4  |
| 12     | 10/14/2022 0:00 | 0.5    | 19.9  |
| 11     | 10/15/2022 0:00 | 56.9   | 76.8  |
| 10     | 10/16/2022 0:00 | 0      | 76.8  |
| 9      | 10/17/2022 0:00 | 17.7   | 94.5  |
| 8      | 10/18/2022 0:00 | 33.3   | 127.8 |
| 7      | 10/19/2022 0:00 | 49.4   | 177.2 |
| 6      | 10/20/2022 0:00 | 65.4   | 242.6 |
| 5      | 10/21/2022 0:00 | 5.2    | 247.8 |
| 4      | 10/22/2022 0:00 | 9.7    | 257.5 |
| 3      | 10/23/2022 0:00 | 1.1    | 258.6 |
| 2      | 10/24/2022 0:00 | 32.3   | 290.9 |
| 1      | 10/25/2022 0:00 | 21.5   | 312.4 |
| 0      | 10/26/2022 0:00 | 8.2    | 320.6 |
| P24h = |                 | 65.4   |       |





### 5.2.3.6. Umbrales de lluvia

A partir del inventario de movimientos en masa y el cálculo de P24h y P15ant, se determinaron los umbrales de lluvia correspondientes. El umbral se construye a partir de una función de tipo lineal ( $PT=b+m*P15ant$ ) entre la P24h y P15ant de cada evento, en el eje de abscisas se representa la lluvia de los 15 días antecedentes y en el eje de las ordenadas la precipitación máxima en 24 horas.



**Figura 51 Funciones que representan los umbrales de lluvia que detonan un movimiento en masa**

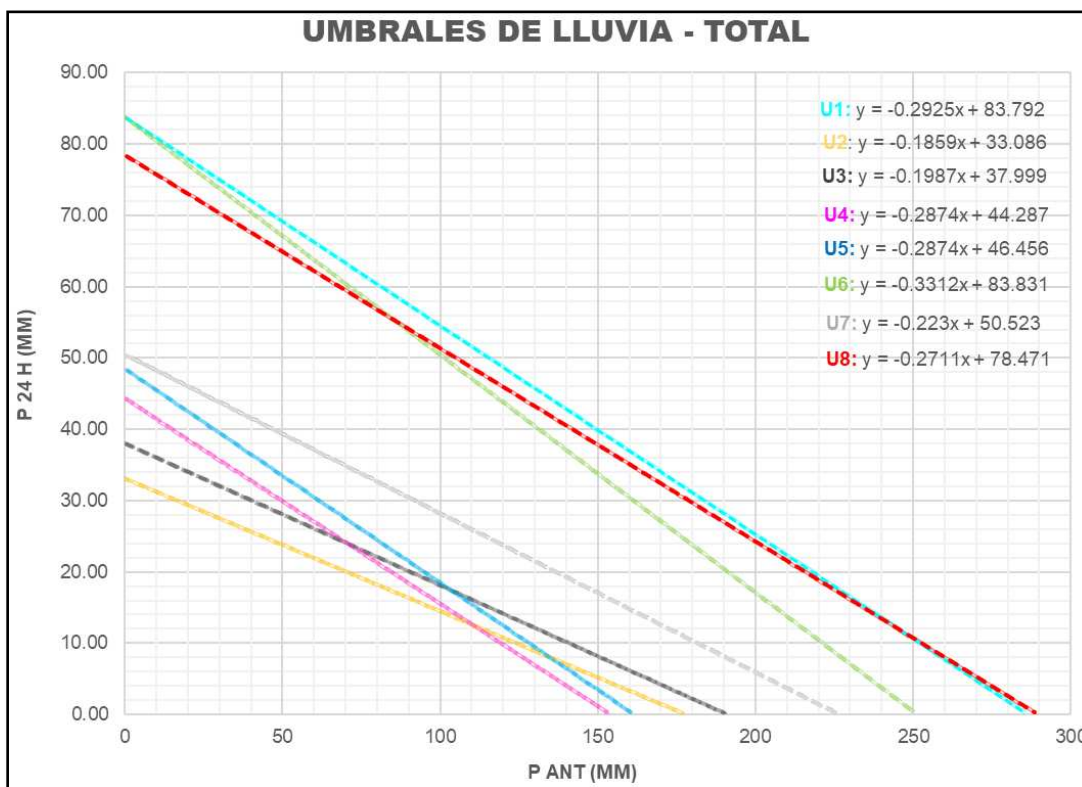
*Fuente. Guía de zonificación de amenaza por movimientos en masa SGC - 2017*

Los umbrales no se calcularon para todos los eventos presentados anteriormente, ya que a simple vista se observa que las lluvias en los días antecedentes eran muy bajas o de cero (0) milímetros, por lo cual, los movimientos en masa pudieron ocasionarse por factores de tipo condicionante y otros detonantes. Los umbrales calculados se presentan en la tabla y gráfica a continuación.

**Tabla 15 Umbrales de lluvia**

| UMBRAL | FECHA MM        | P(ant) | P24h | FUENTE | CUENCA       |
|--------|-----------------|--------|------|--------|--------------|
| 1      | 11/27/2018 0:00 | 285.5  | 83.5 | Campo  | Río mayo     |
| 2      | 11/15/2021 0:00 | 177    | 32.9 | Campo  | Rio mayo     |
| 3      | 4/21/2011 0:00  | 190.2  | 37.8 | SIMMA  | Río Juanambú |

|   |                 |       |      |       |              |
|---|-----------------|-------|------|-------|--------------|
| 4 | 4/10/2012 0:00  | 153.1 | 44   | SIMMA | Río Juanambú |
| 5 | 4/8/2017 0:00   | 160.6 | 48.2 | SIMMA | Río Juanambú |
| 6 | 11/15/2018 0:00 | 250.4 | 83.5 | SIMMA | Río Juanambú |
| 7 | 12/16/2019 0:00 | 225.6 | 50.3 | SIMMA | Río Mayo     |
| 8 | 4/28/2021 0:00  | 288.5 | 78.2 | SIMMA | Río Juanambú |



**Figura 52 Umbrales de lluvia**

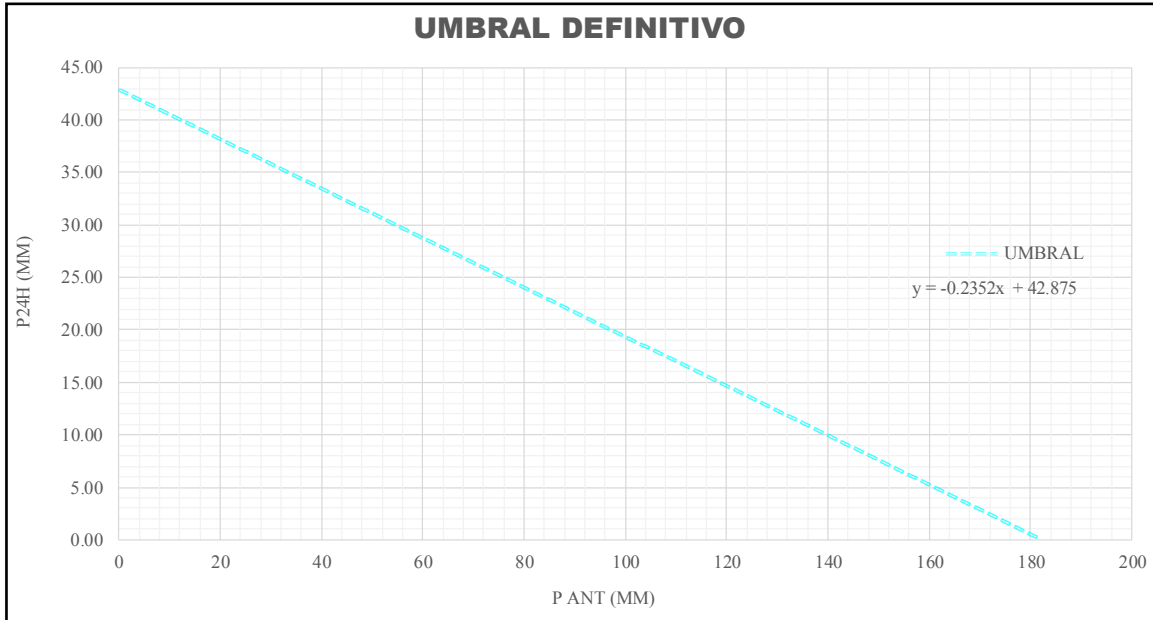
Como se observa, los umbrales 1, 6 y 8 se encuentran en un nivel mayor que el resto. Los demás umbrales confluyen en un área cercanos entre sí, intersectándose en un punto, por lo cual se definió el umbral final a partir del promedio de los umbrales 2, 3, 4, 5 y 7.

**Tabla 16 Cálculo de umbral final**

| UMBRAL | FECHA MM        | P(ant) | P24h |
|--------|-----------------|--------|------|
| 2      | 11/15/2021 0:00 | 177    | 32.9 |
| 3      | 4/21/2011 0:00  | 190.2  | 37.8 |
| 4      | 4/10/2012 0:00  | 153.1  | 44   |

|   |                 |       |      |
|---|-----------------|-------|------|
| 5 | 4/8/2017 0:00   | 160.6 | 48.2 |
| 7 | 12/16/2019 0:00 | 225.6 | 50.3 |

**PROMEDIO = 181.3 42.64**



**Figura 53 Umbral definitivo**

### 5.2.3.7. Probabilidad de excedencia anual del umbral

La probabilidad anual de excedencia se estima como la probabilidad de que un evento exceda una o más veces el umbral de lluvia en un periodo de retorno (SGC 2017).

La probabilidad anual de excedencia se determina usando un modelo de probabilidad de Poisson (SGC 2017).

La probabilidad de excedencia del umbral de lluvias se puede calcular con base en la distribución de probabilidad de Poisson a partir de registros históricos y se representa mediante la siguiente ecuación:

$$P(N \geq 1; t) = 1 - \exp(-t/\mu) \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

$N$  = Número de excedencias que ocurren en el tiempo  $t$

$\mu$  = Promedio de excedencia del umbral en el tiempo  $t$

$t$  = tiempo

En primer lugar, se determinaron el número de excedencias de umbral de lluvias con base a la precipitación máxima diaria desde el año 2002 a 2022. Para ello, se utilizó la serie de registros diarios de precipitación frecuente en la cual se identificaron los valores que superan el umbral de lluvias. Posteriormente se determinó la precipitación acumulada antecedente de 15 días y se verificó si se excede o no el umbral para las dos variables. El cálculo se realizó para las dos estaciones disponibles.

- Estación La Unión

Del ejercicio descrito se obtuvieron los siguientes resultados. Cabe resaltar que para el año 2002 no se observó que se supere el umbral de lluvias.

**Tabla 17 Número de excedencias del umbral de lluvias al año**

| <b>AÑO</b> | <b># DE EXEDENCIAS DE UMBRAL POR AÑO</b> |
|------------|--|
| 2003       | 2  |
| 2004       | 5  |
| 2005       | 2  |
| 2006       | 3  |
| 2007       | 3  |
| 2008       | 5  |
| 2009       | 2  |
| 2010       | 3  |

| AÑO                                  | # DE EXEDENCIAS DE UMBRAL POR AÑO |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 2011                                 | 2                                 |
| 2012                                 | 2                                 |
| 2013                                 | 3                                 |
| 2014                                 | 2                                 |
| 2015                                 | 1                                 |
| 2016                                 | 2                                 |
| 2017                                 | 5                                 |
| 2018                                 | 2                                 |
| 2019                                 | 4                                 |
| 2020                                 | 3                                 |
| 2021                                 | 4                                 |
| 2022                                 | 2                                 |
| <b>PROMEDIO (<math>\mu</math>) =</b> | <b>2.85</b>                       |

Por lo anterior las variables de entrada al modelo de Poisson serán:

$$\mu = 2.85$$

$$t = 1 \text{ año}$$

De acuerdo con lo anterior, la probabilidad de que se exceda anualmente el umbral de lluvias para la estación La Unión es:

$$P(R > RT) = 1 - \exp(-1/2.85)$$

$$P(R > RT) = 0.296 \rightarrow 29.6 \%$$

- Estación San Bernardo

| AÑO                                  | # DE EXEDENCIAS DE UMBRAL POR AÑO |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 2002                                 | 1                                 |
| 2003                                 | 3                                 |
| 2004                                 | 2                                 |
| 2005                                 | 3                                 |
| 2006                                 | 4                                 |
| 2007                                 | 2                                 |
| 2008                                 | 2                                 |
| 2009                                 | 2                                 |
| 2010                                 | 2                                 |
| 2011                                 | 3                                 |
| 2012                                 | 2                                 |
| 2013                                 | 3                                 |
| 2014                                 | 4                                 |
| 2015                                 | 2                                 |
| 2016                                 | 3                                 |
| 2017                                 | 5                                 |
| 2018                                 | 4                                 |
| 2019                                 | 3                                 |
| 2020                                 | 2                                 |
| 2021                                 | 4                                 |
| 2022                                 | 4                                 |
| <b>PROMEDIO (<math>\mu</math>) =</b> | <b>2.86</b>                       |

Por lo anterior las variables de entrada al modelo de Poisson serán:

$$\mu = 2.86$$

$$t = 1 \text{ año}$$

De acuerdo con lo anterior, la probabilidad de que se exceda anualmente el umbral de lluvias para la estación San Bernardo es:

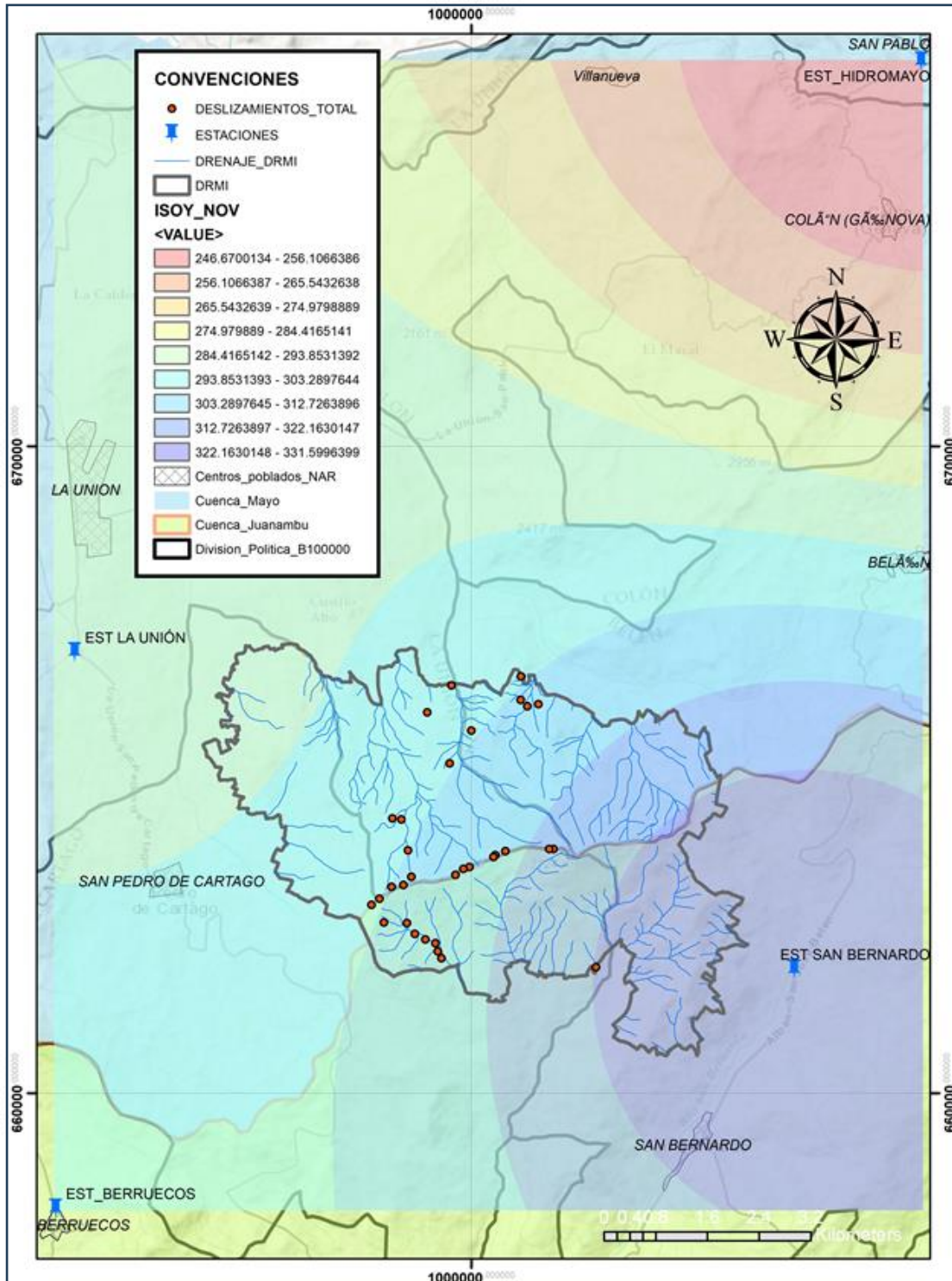
$$P(R > RT) = 1 - \exp(-1/2.86)$$

$$P(R > RT) = 0.295 \rightarrow 29.6 \%$$

#### **5.2.3.8. Precipitación máxima**

El área DRMI Cerro Chimayoy se compone de dos cuencas, como se ha venido mencionando anteriormente, por lo cual se ha analizado en cual zona se generan mayores picos de precipitación. Para ello, se realizó un cálculo del promedio de lluvias del mes de noviembre en la serie de registros desde 2002 a 2022. Se escogió el mes de noviembre debido a que corresponde al periodo donde se genera el pico de lluvias máximo en el año acorde a lo presentado en el numeral 5.2.3.4 del presente estudio.

Para la elaboración de isoyetas se vio la necesidad de complementar información, en lo referente a estaciones pluviométricas ya que con las dos disponibles hasta el momento no era posible. Por lo tanto, se obtuvo información de lluvia mensual de la estación Berruecos y la estación hidromayo.



**Figura 54** Precipitación promedio multianual del mes de noviembre, 2002 – 2022



Como se observa en la Figura 54 las precipitaciones disminuyen desde la cuenca de río Juanambú hacia la cuenca del río Mayo, desde San Bernardo hacia Sam Pedro de Cartago. En el municipio de San Bernardo, se observa claramente la delimitación de precipitaciones máximas en un rango de 322.16 mm a 331.59 mm . Por otro lado, el municipio de San Pedro de Cartago hace parte de las dos cuencas, río Mayo y río Juanambú, por lo cual, las precipitaciones máximas varían en un amplio rango de 284.42 mm a 322.16 mm, siendo las mayores precipitaciones en la cuenca del río Juanambú.

Como se observó anteriormente, la mayoría de deslizamientos se ubican en la franja de precipitaciones máximas de 303.29 mm a 312.73 mm.

### **5.3. FASE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA**

La zonificación de amenaza por movimientos en masa se llevó a cabo a partir de la metodología propuesta en la guía de servicio geológico de 2017, descrita en el numeral 4.3 del presente documento.

#### **5.3.1. Análisis de susceptibilidad**

##### **5.3.1.1. Preparación de factores condicionantes**

La pendiente, las unidades geomorfológicas superficiales (UGS) y la cobertura del suelo, son los factores condicionantes que se analizaron para la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa tipo deslizamiento en el presente estudio.

Se elaboró el trabajo cartográfico correspondiente para cada factor condicionante teniendo en cuenta la información secundaria y el trabajo realizado en campo. El procedimiento consistió en el ajuste o corrección topológica de los mapas tipo shapefile descritos en el numeral 5.2.1 del presente documento. Posteriormente se llevó a cabo la rasterización de los

mismos con el fin de realizar los procesamientos algebraicos correspondientes. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

- Unidades Geológicas Superficiales (UGS)

Se ajustó topológicamente el mapa de levantamiento de UGS y posteriormente se llevó a cabo la rasterización del mismo.

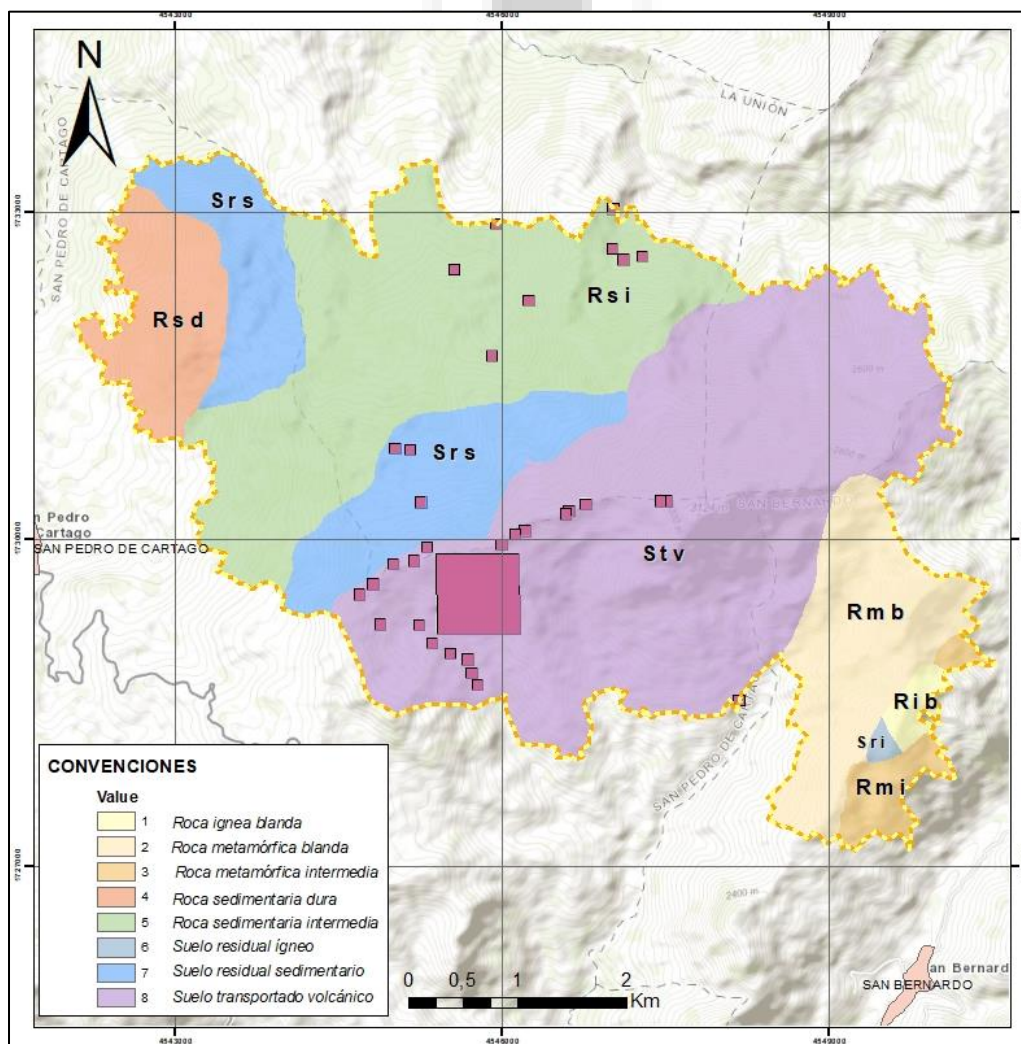


Figura 55 Mapa raster de UGS – DRMI Cerro Chimayoy

- Pendiente

En cuanto a la pendiente no hubo necesidad de rasterizar ya que para la obtención del mapa se utilizó el modelo de elevación digital obteniendo así un producto tipo raster con tamaño de celdas de pixel igual al del DEM (5 metros). El mapa se presenta en la Figura 22 del numeral 5.2.1.3 en el presente documento.

- Cobertura de suelo

Se ajustó topológicamente el mapa de cobertura de suelo y posteriormente se llevó a cabo la rasterización del mismo.

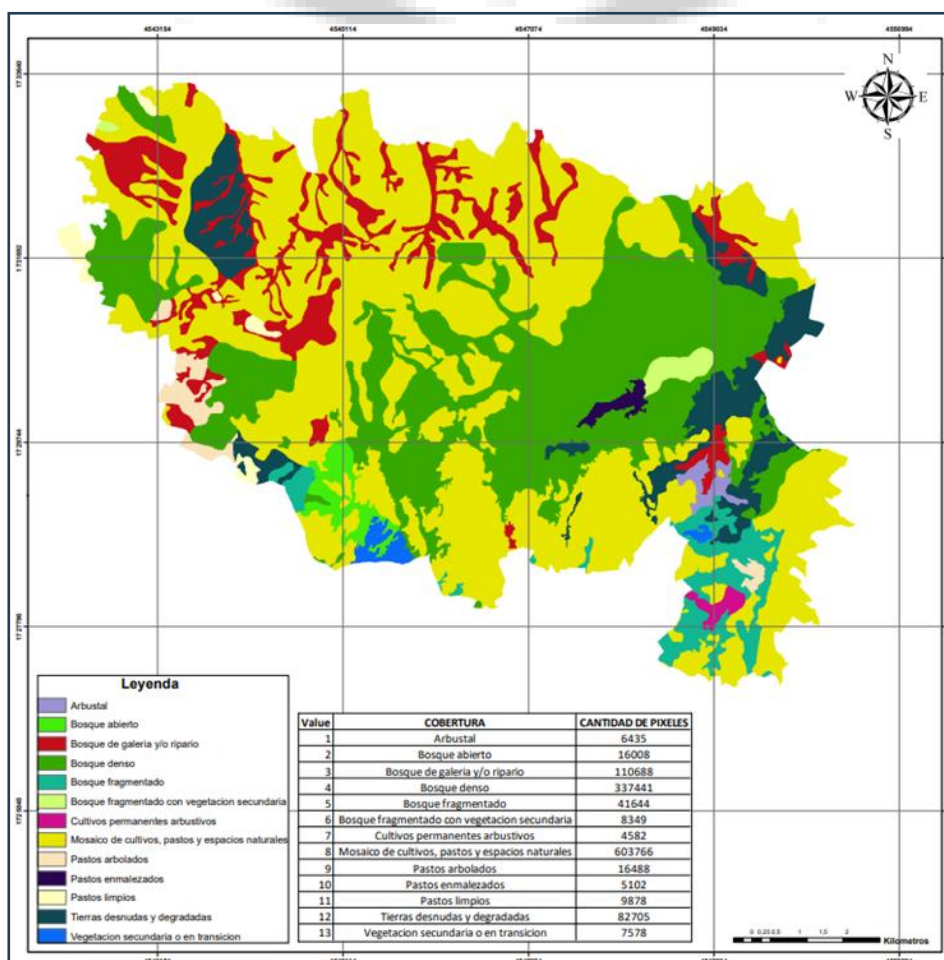


Figura 56 Mapa ráster de coberturas de suelo – DRMI Cerro Chimayoy

- Inventario de procesos morfo dinámicos

Teniendo en cuenta la escala de trabajo a 1:25000 los polígonos de movimientos en masa deberán ajustarse debido a que el área de los mismos deberá tener como mínimo 1,56 hectáreas. Acorde a lo evidenciado, los deslizamientos no tienen más de 1 hectárea por lo cual se tomará dicha área como el área mínima.

Por otra parte, con ayuda de la imagen satelital se logró evidenciar en una zona, un “enjambre” de deslizamientos localizada en San Pedro de Cartago. El mapa de inventario de procesos morfo dinámicos se presenta a continuación.

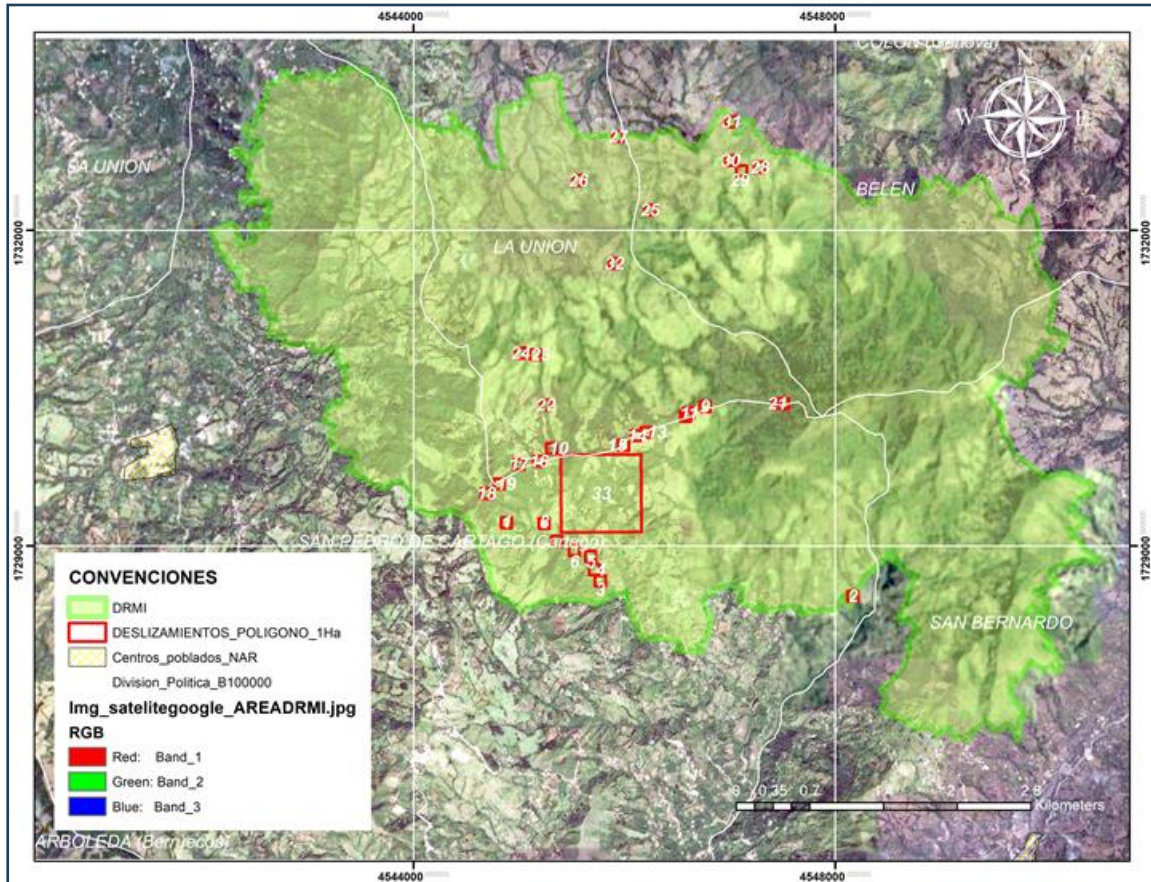


Figura 57 Mapa de inventario de procesos morfo dinámicos – Ajustado a polígonos

### 5.3.1.2. Clasificación de factores condicionantes

- **Clasificación UGS**

Estudiado como factor condicionante, las UGS determinan las unidades superficiales que están comprendidas por suelo y rocas expuestas a diferentes grados de meteorización y erosión, determinando condiciones para la ocurrencia de movimientos en masa. Las características de las UGS son descritas en el numeral 5.2.1.1. (Factores condicionantes – Unidades Geológicas Superficiales) a las que se le adjudicaron valores cuantitativos mediante rasterización.

**Tabla 18 Clasificación del factor condicionante: UGS**

| Origen UGS         | ID | Tipo UGS                                   |
|--------------------|----|--|
| Roca ígnea         | 1  | Roca ígnea blanda <b>Rib</b>               |
| Roca metamórfica   | 2  | Roca metamórfica blanda <b>Rmb</b>         |
|                    | 3  | Roca metamórfica intermedia <b>Rmi</b>     |
| Roca sedimentaria  | 5  | Roca sedimentaria intermedia <b>Rsi</b>    |
|                    | 4  | Roca sedimentaria dura <b>Rsd</b>          |
| Suelo residual     | 7  | Suelo residual sedimentario <b>Srs</b>     |
|                    | 6  | Suelo residual ígneo (regolito) <b>Sri</b> |
| Suelo transportado | 8  | Suelo transportado volcánico <b>Stv</b>    |

- **Clasificación pendiente**

La pendiente es uno de los factores más importantes a la hora de analizar la estabilidad del terreno y puede clasificarse acorde a su grado de inclinación. En el presente estudio se ha calculado la pendiente a partir del modelo de elevación digital (DEM) obteniendo pendientes que van desde los 0.017° hasta los 76.02°. Con el fin de clasificar los rangos o clases para el análisis estadístico, se evaluaron los puntos en los cuales se ubican los deslizamientos,

procurando establecer rangos o clases equitativos con los que se pueda realizar un análisis adecuado.

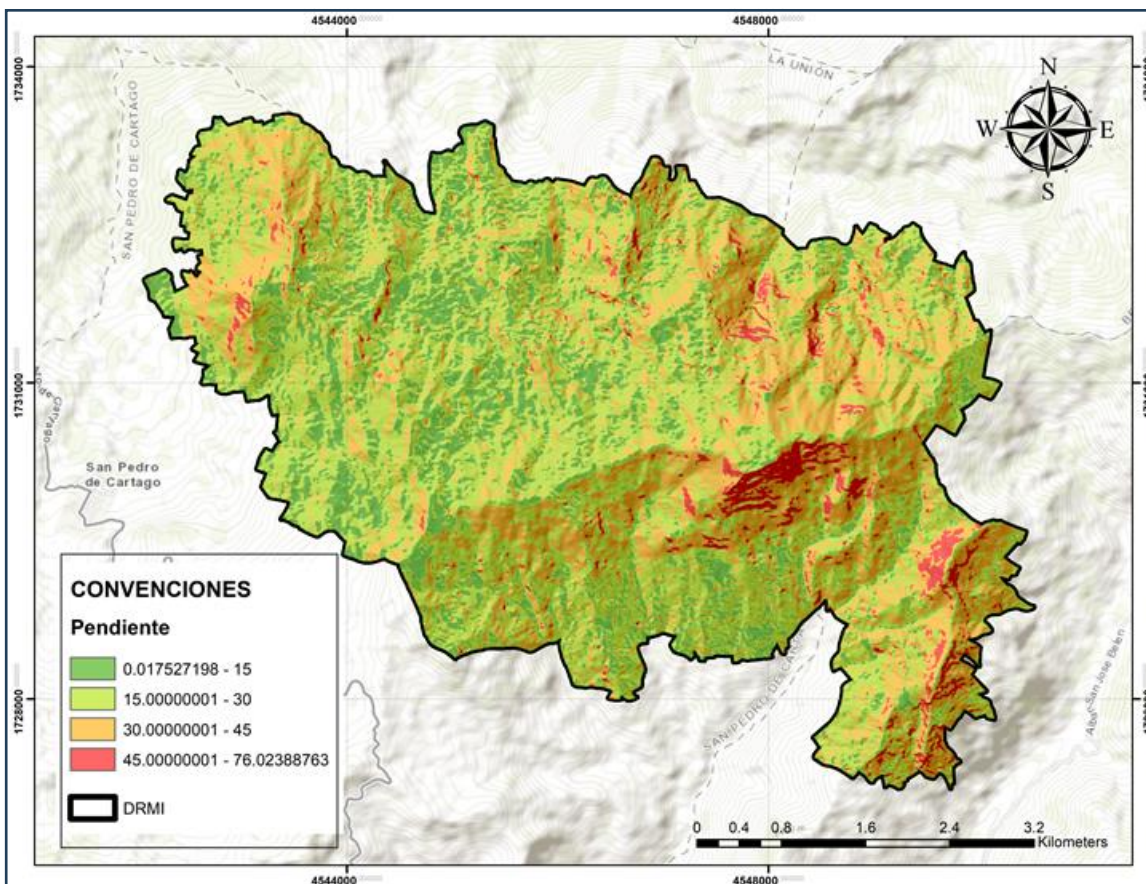
En el texto base para el presente estudio correspondiente a la guía de zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25000 del servicio geológico 2017 se sugieren los rangos de pendiente a utilizar para el procesamiento de zonificación, sin embargo, acorde a lo evidenciado en campo, las condiciones geomorfológicas y el criterio profesional a partir del análisis de las pendientes obtenidas, se ha agrupado los rangos, obteniendo la siguiente clasificación.

**Tabla 19 Clasificación del factor condicionante: pendiente**

| CLASE     | CARACTERISTICAS               | CONDICIONES DEL TERRENO ÁREA DRMI   |
|-----------|-------------------------------|---|
| 0° - 15°  | Plano a moderadamente abrupto | En estas pendientes se pueden observar que no hay denudación apreciable en bajas pendientes, a medida que se inclina el terreno se puede observar movimientos en masa de baja velocidad y procesos erosivos. Para las pendientes más altas en este rango se observan movimientos en masa de tipo deslizamiento, en la zona estudiada. |
| 15° - 30° | Abrupto                       | En este rango se observan procesos denudacionales   |

| CLASE     | CARACTERISTICAS        | CONDICIONES DEL TERRENO ÁREA DRMI   |
|-----------|------------------------|---|
|           |                        | intensos como erosión y deslizamientos.   |
| 30° - 45° | Muy abrupto            | En el rango se pueden observar afloramientos rocosos y procesos denudacionales intensos.  |
| > 45°     | Extremadamente abrupto | En este rango se pueden observar afloramientos rocosos. Procesos denudacionales muy fuertes, especialmente “denudación de escarpe”, susceptible a deslizamientos. También se presentan movimientos en masa de tipo reptación a lo largo de las laderas. |

A continuación, se presenta el mapa de pendientes clasificado en los rangos anteriormente descritos.



**Figura 58 Pendiente clasificada**

- **Clasificación cobertura del terreno**

Las coberturas encontradas en el área DRMI se describen en el numeral 5.2.1.4 del presente documento y se clasifican acorde a la Tabla 20 Clasificación factor condicionante: Cobertura de suelo presentada a continuación.

**Tabla 20 Clasificación factor condicionante: Cobertura de suelo**

| Nivel 1               | Nivel 2                      | Nivel 3                     | Descripción                                       |
|-----------------------|------------------------------|-----------------------------|---|
| Territorios Agrícolas | Áreas agrícolas Heterogéneas | Mosaico de cultivos, pastos | Comprende las superficies del territorio ocupadas |



| Nivel 1                       | Nivel 2                                   | Nivel 3                               | Descripción  |
|-------------------------------|---|---------------------------------------|--|
|                               |   | y espacios naturales                  | principalmente por coberturas de cultivos y pastos en combinación con espacios naturales. En esta unidad, el patrón de distribución de las coberturas no puede ser representado individualmente, como parcelas con tamaño mayor a 25 hectáreas. Las áreas de cultivos y pastos ocupan entre 30% y 70% de la superficie total de la unidad. |
| Bosques y áreas seminaturales | Áreas con vegetación herbácea o arbustiva | Vegetación secundaria o en transición | Comprende aquella cobertura vegetal originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural que se presenta luego de la intervención o por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado   |

| Nivel 1                              | Nivel 2   | Nivel 3                              | Descripción  |
|--------------------------------------|---|--------------------------------------|--|
|                                      |   |                                      | <p>original. Se desarrolla en zonas desmontadas para diferentes usos, en áreas agrícolas abandonadas. No se presentan elementos intencionalmente introducidos por el hombre</p>  |
| <p>Bosques y áreas seminaturales</p> | <p>Áreas abiertas sin o con poca vegetación</p> | <p>Tierras desnudas y degradadas</p> | <p>Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema y/o condiciones climáticas extremas.</p> <p>En este caso corresponde a la zona de deslizamiento identificada la zona de estudio.</p> |

| Nivel 1                       | Nivel 2              | Nivel 3                         | Descripción   |
|-------------------------------|----------------------|---------------------------------|---|
| Territorios agrícolas         | Cultivos permanentes | Cultivos permanentes herbáceos  | Cobertura compuesta principalmente por cultivos permanentes de hábito herbáceo como caña de azúcar y panelera, plátano, banano y tabaco. Las herbáceas son plantas que no presentan órganos leñosos, son verdes y con ciclo de vida vegetativo anual.                                     |
| Territorios agrícolas         | Cultivos permanentes | Cultivos permanentes arbustivos | Coberturas permanentes ocupadas principalmente por cultivos de hábito arbustivo como café, cacao, coca y viñedos. Un arbusto es una planta perenne, con estructura de tallo leñoso, con una altura entre 0,5 y 5 m, fuertemente ramificado en la base y sin una copa definida (FAO, 2001) |
| Bosques y áreas seminaturales | Bosques              | Bosque fragmentado              | Comprende los territorios cubiertos   |

| Nivel 1               | Nivel 2 | Nivel 3          | Descripción   |
|-----------------------|---------|------------------|---|
|                       |         |                  | <p>por bosques naturales donde se presentó intervención humana y recuperación del bosque, de tal manera que el bosque mantiene su estructura original. Las áreas de intervención están representadas en zonas de vegetación secundaria, las cuales se observan como parches de variadas formas que se distribuyen de forma irregular en la matriz de bosque. Su origen es debido al abandono de áreas de pastos y cultivos, donde ocurre un proceso de regeneración natural del bosque en los primeros estados de sucesión vegetal.</p> |
| Territorios agrícolas | Pastos  | Pastos arbolados | Cobertura que incluye las tierras cubiertas con pastos, en las  |

| Nivel 1               | Nivel 2 | Nivel 3            | Descripción  |
|-----------------------|---------|--------------------|--|
|                       |         |                    | <p>cuales se han estructurado potreros con presencia de árboles de altura superior a cinco metros, distribuidos en forma dispersa.</p>   |
| Territorios agrícolas | Pastos  | Pastos enmalezados | <p>Son las coberturas representadas por tierras con pastos y malezas conformando asociaciones de vegetación secundaria, debido principalmente a la realización de escasas prácticas de manejo o la ocurrencia de procesos de abandono.</p> |
| Territorios agrícolas | Pastos  | Pastos limpios     | <p>Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70%; la realización de prácticas de manejo (limpieza, enclamiento y/o</p>   |

| Nivel 1 | Nivel 2 | Nivel 3 | Descripción   |
|---------|---------|---------|---|
|         |         |         | fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas |

### 5.3.1.3. Aplicación método estadístico Bivariado – Pesos de evidencia WofE

Aplicando la metodología descrita en el numeral 4.3.1.3 del presente documento, se llevó a cabo procesamiento estadístico para la zonificación de susceptibilidad de los movimientos en masa en el área DRMI Cerro Chimayoy.

Se calcularon los pesos (Wf) para todas las clases de cada factor condicionante aplicando las ecuaciones correspondientes y con ayuda de software SIG como ArcGis. Los resultados se presentan a continuación.

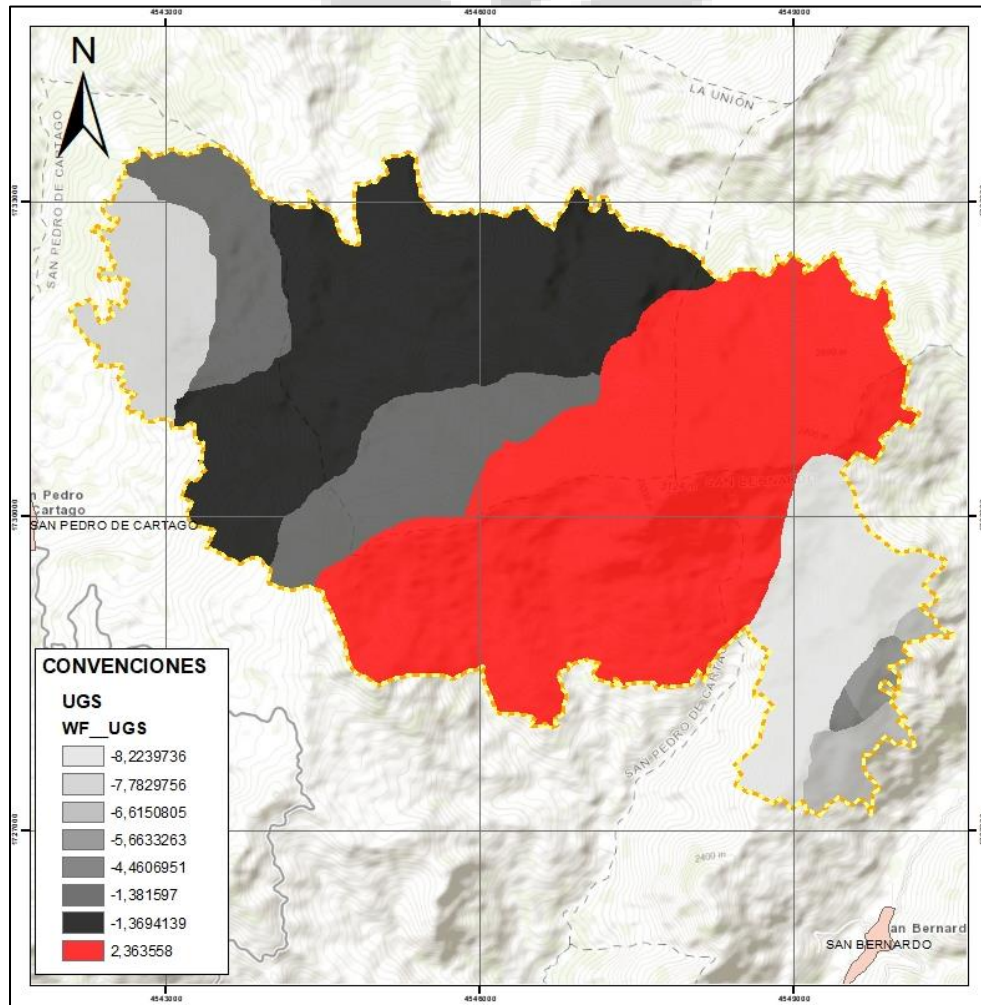
- **Pesos de evidencia para factor condicionante UGS**

**Tabla 21 Cálculo Wf – UGS**

| CATEGORÍA | MOV (Npix1) | %MOV  | CLASE (Npix3) | (Npix4) | % CLASE | wi+    | wi-    | wf     |
|-----------|-------------|-------|---------------|---------|---------|--------|--------|--------|
| Rib       | 1           | 0.0%  | 10091         | 1210407 | 0.827%  | -5.655 | 0.008  | -5.663 |
| Rmb       | 1           | 0.0%  | 118880        | 1101618 | 9.740%  | -8.122 | 0.102  | -8.224 |
| Rmi       | 1           | 0.0%  | 25799         | 1194699 | 2.114%  | -6.594 | 0.021  | -6.615 |
| Rsd       | 1           | 0.0%  | 79239         | 1141259 | 6.492%  | -7.716 | 0.067  | -7.783 |
| Rsi       | 2972        | 8.6%  | 329661        | 890837  | 27.010% | -1.144 | 0.225  | -1.369 |
| Sri       | 1           | 0.0%  | 3049          | 1217449 | 0.250%  | -4.458 | 0.002  | -4.461 |
| Srs       | 1341        | 3.9%  | 168999        | 1051499 | 13.847% | -1.272 | 0.109  | -1.382 |
| Stv       | 30241       | 87.5% | 484780        | 735718  | 39.720% | 0.790  | -1.574 | 2.364  |

De acuerdo a la información recopilada en campo procesada para la determinación de los factores más relevantes que desencadenaron los movimientos en masa en el DRMI Cerro Chimayoy, se determinó que dentro de las UGS (Figura 59) existe una ocurrencia de

deslizamientos mayor en la unidad correspondiente al Suelo Transportado Volcánico (Stv), lo cual, según el resultado del procesamiento del mapa ráster es validado cuantitativamente con un wf resultante de 2,363, el único valor positivo generado, representando la importancia del factor condicionante de la clase (Stv) dentro del estudio, con una correlación alta, teniendo en cuenta las características descritas en el numeral 24, con 21 deslizamientos generados. El segundo valor de wf que adquiere relevancia por los deslizamientos cartografiados es el correspondiente a Roca Sedimentaria Intermedia, con un valor de -1,369, con un total de 7 deslizamientos.



**Figura 59 Pesos de evidencia (Wf) – Factor condicionante: Unidades Geológicas Superficiales (UGS)**

- **Pesos de evidencia para factor condicionante Pendiente del terreno**

**Tabla 22 Cálculo Wf – Pendiente del terreno**

| CATEGORÍA | MOV (Npix1) | %MOV     | CLASE (Npix3) | (Npix4) | % CLASE | wi+       | wi-       | wf         |
|-----------|-------------|----------|---------------|---------|---------|-----------|-----------|------------|
| 0°-15°    | 4192        | 12.1627% | 217002        | 999244  | 17.842% | -0.383178 | 0.066841  | -0.4500189 |
| 15°-30°   | 16720       | 48.5116% | 596324        | 619922  | 49.030% | -0.010628 | 0.010117  | -0.0207450 |
| 30°-45°   | 13347       | 38.7251% | 356444        | 859802  | 29.307% | 0.278666  | -0.142978 | 0.4216435  |
| 45°-60°   | 207         | 0.6006%  | 46476         | 1169770 | 3.821%  | -1.850422 | 0.032938  | -1.883359  |

En la Columba MOV se presentan el número de pixeles de la respectiva clase de pendiente con las zonas inestables. En la columna CLASE, se observan el número total de pixeles de cada categoría o clase. Por otro lado, en las tres últimas columnas se calculan los pesos respectivos. Como se observa, en el peso positivo (W+) arrojaron valores negativos en todos los rangos excepto en la clase de 30°-45° con un valor de 0.27866, lo cual indica que estas pendientes contribuyen a la presencia de deslizamientos, sin embargo, no tiene mucha correlación ya que el valor se aleja de 1. En el peso negativo (W-) todos los valores son positivos excepto en la clase de 30°-45° lo cual indica que la ausencia del factor contribuye a la ausencia de deslizamientos. En el cálculo de contraste Wf se observan todos los valores negativos excepto en la clase de 30°-45° con un valor de 0.4216 por lo cual, se concluye que en este rango de pendientes el factor contribuye a la ocurrencia del movimiento en masa con una correlación media.



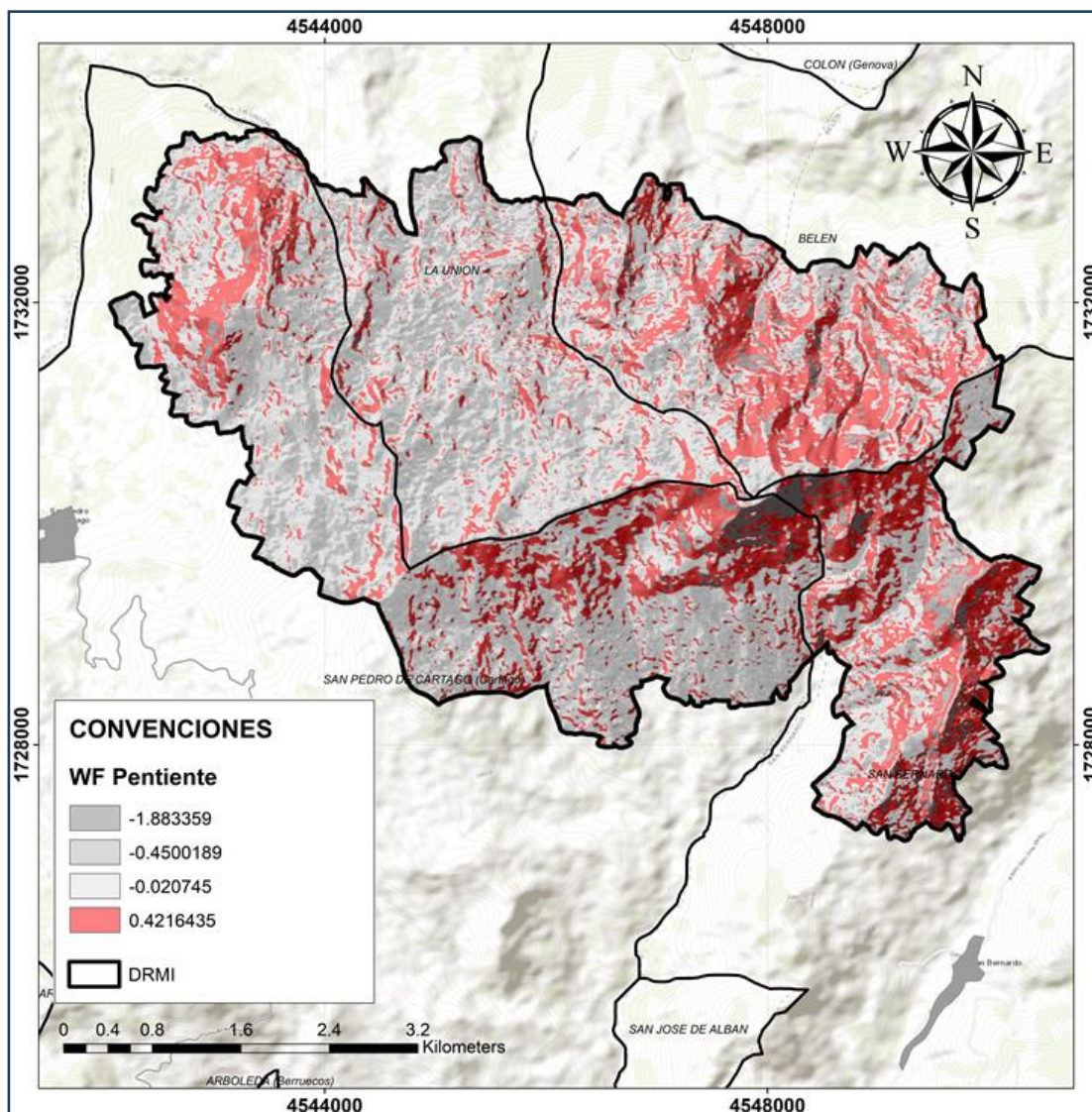


Figura 60 Pesos de evidencia (Wf) – Factor condicionante: pendiente del terreno

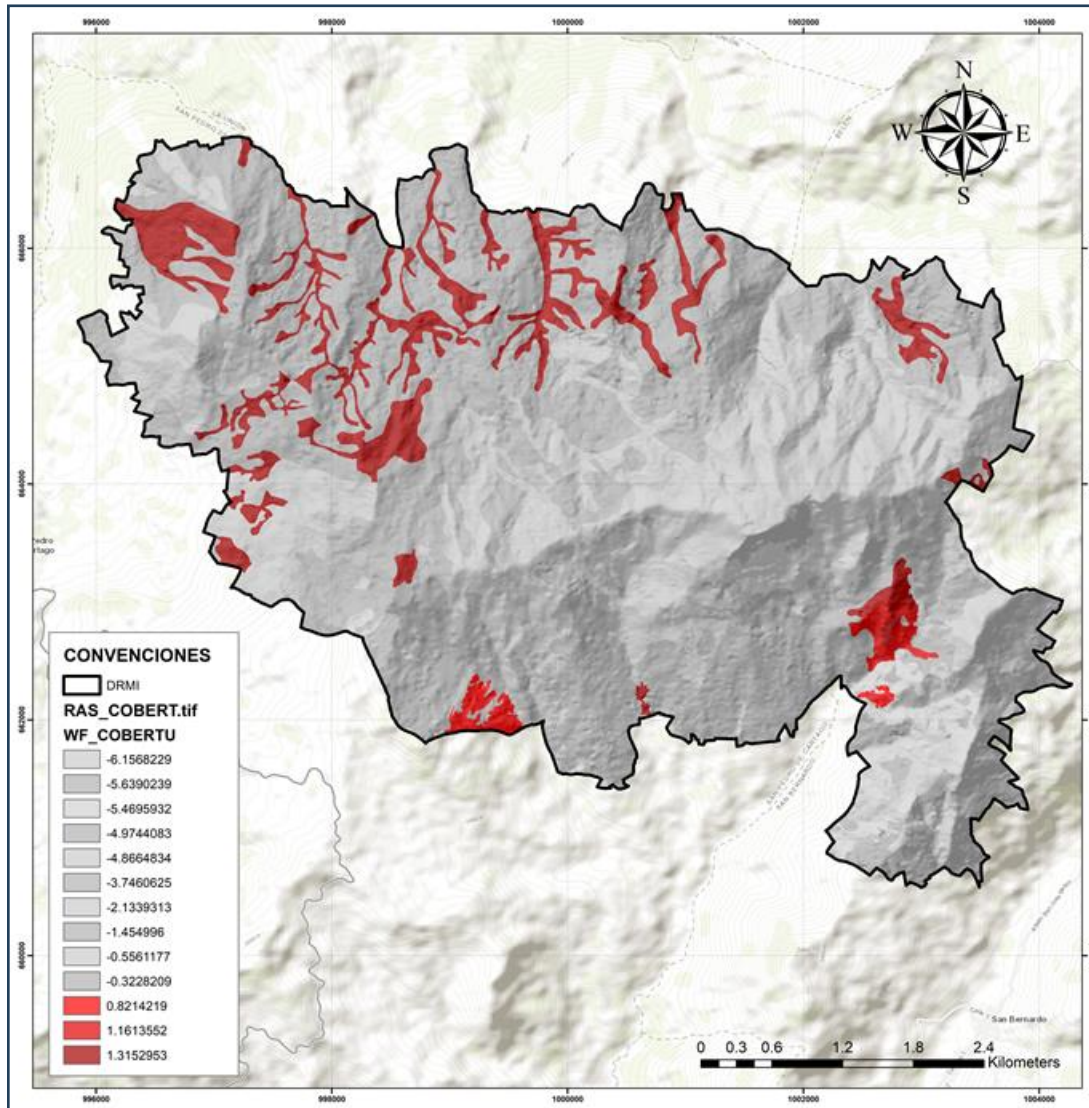
- Pesos de evidencia para factor condicionante Cobertura del suelo

Tabla 23 Cálculo Wf – Cobertura del suelo

| CATEGORÍA                                    | MOV (Npix1) | %MOV | CLASE (Npix3) | (Npix4) | % CLASE | wi+     | wi-     | wf       |
|--|-------------|------|---------------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Arbustal                                     | 1           | 0%   | 6435          | 1213795 | 0.527%  | -5.2024 | 0.0053  | -5.20763 |
| Bosque abierto                               | 1293        | 4%   | 14715         | 1205515 | 1.206%  | 1.1352  | -0.0261 | 1.16136  |
| Bosque de galería y/o ripario                | 784         | 2%   | 110688        | 1109542 | 9.071%  | -1.3829 | 0.0721  | -1.45500 |
| Bosque denso                                 | 19556       | 57%  | 317885        | 902345  | 26.051% | 0.7787  | -0.5366 | 1.31530  |
| Bosque fragmentado                           | 143         | 0%   | 41501         | 1178729 | 3.401%  | -2.1035 | 0.0304  | -2.13393 |
| Bosque fragmentado con vegetación secundaria | 1           | 0%   | 8349          | 1211881 | 0.684%  | -5.4628 | 0.0068  | -5.46959 |
| Cultivos permanentes arbustivos              | 1           | 0%   | 4582          | 1215648 | 0.376%  | -4.8628 | 0.0037  | -4.86648 |

| CATEGORÍA  | MOV (Npix1) | %MOV | CLASE (Npix3) | (Npix4) | % CLASE | wi+     | wi-     | wf       |
|--|-------------|------|---------------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | 12160       | 35%  | 594837        | 625393  | 48.748% | -0.3230 | 0.2331  | -0.55612 |
| Pastos arbolados                                 | 1           | 0%   | 16488         | 1203742 | 1.351%  | -6.1432 | 0.0136  | -6.15682 |
| Pastos enmalezados                               | 1           | 0%   | 5102          | 1215128 | 0.418%  | -4.9702 | 0.0042  | -4.97441 |
| Pastos limpios                                   | 1           | 0%   | 9878          | 1210352 | 0.810%  | -5.6309 | 0.0081  | -5.63902 |
| Tierras desnudas y degradadas                    | 59          | 0%   | 82646         | 1137584 | 6.773%  | -3.6776 | 0.0684  | -3.74606 |
| Vegetación secundaria o en transición            | 454         | 1%   | 7124          | 1213106 | 0.584%  | 0.8140  | -0.0074 | 0.82142  |

En la Columba MOV se presentan el número de pixeles de la respectiva clase de cobertura con las zonas inestables asociadas a deslizamientos. En la columna CLASE, se observan el número total de pixeles de cada categoría o clase. Por otro lado, en las tres últimas columnas se calculan los pesos respectivos. Como se observa, en el peso positivo (W+) arrojaron valores negativos en todos los rangos excepto en las clases de cobertura de bosque abierto, bosque denso y vegetación secundaria o en transición, lo cual indica que estas coberturas contribuyen a la presencia de deslizamientos, siendo la cobertura más relevante el bosque abierto. En el cálculo de contraste Wf de igual manera se conservan relevantes las coberturas mencionadas anteriormente.



**Figura 61 Pesos de evidencia (Wf) – Factor condicionante: Cobertura del suelo**

#### 5.3.1.4. Cálculo variable “Landside Susceptibility Index (LSI)”

Una vez obtenidos los pesos totales para cada clase de cada factor condicionante, se calculó la variable LSI a partir de un procesamiento cartográfico por álgebra de mapas. Aplicando la ecuación 5 se obtuvo el mapa de LSI correspondiente.

Preliminarmente se hizo necesario la clasificación de valores de WF acorde a los resultados obtenidos anteriormente. Para ello se ha establecido el rango de WF a partir de los resultados para cada factor:

**Tabla 24 Rango de pesos de evidencia WF en el factor cobertura de suelo**

| <b>PESO</b> | <b>VALOR</b> |
|-------------|--------------|
| WF Mínimo   | -6.16        |
| WF Máximo   | 1.32         |

**Tabla 25 Rango de pesos de evidencia WF en el factor UGS**

| <b>PESO</b> | <b>VALOR</b> |
|-------------|--------------|
| WF Mínimo   | -8.22        |
| WF Máximo   | 2.36         |

**Tabla 26 Rango de pesos de evidencia WF en el factor pendiente**

| <b>PESO</b> | <b>VALOR</b> |
|-------------|--------------|
| WF Mínimo   | -1.88        |
| WF Máximo   | 0.42         |

En las tablas anteriores se puede evidenciar en primera instancia que la mayor influencia para la ocurrencia de un deslizamiento se encuentra en las condiciones de las unidades geológicas superficiales. Seguidamente por las condiciones de la cobertura del suelo y finalmente por la pendiente del terreno.

La clasificación de WF se estableció en cuatro rangos asociados al grado de influencia que tienen los factores acordes al peso WF.

**Tabla 27 Clasificación WF asociada a la influencia del peso de evidencia con respecto a los movimientos en masa**

| WF    | RANGO ESTABLECIDO | CLASIFICACIÓN | INFLUENCIA |
|-------|-------------------|---------------|------------|
| -8.22 | -8.22 - 0         | 1             | Baja       |
| -6.16 |                   |               |            |
| -1.88 |                   |               |            |
| 0.42  | 0 - 1             | 2             | Media      |
| 1.32  | 1 - 2             | 3             | Alta       |
| 2.36  | > 2               | 4             | Muy alta   |

Acorde a la clasificación de WF se asignaron los valores a cada factor condicionante. Posteriormente se realizó el cálculo de LSI teniendo en cuenta el valor de WF clasificado para cada condicionante. El resultado se presenta a continuación como mapa LSI.

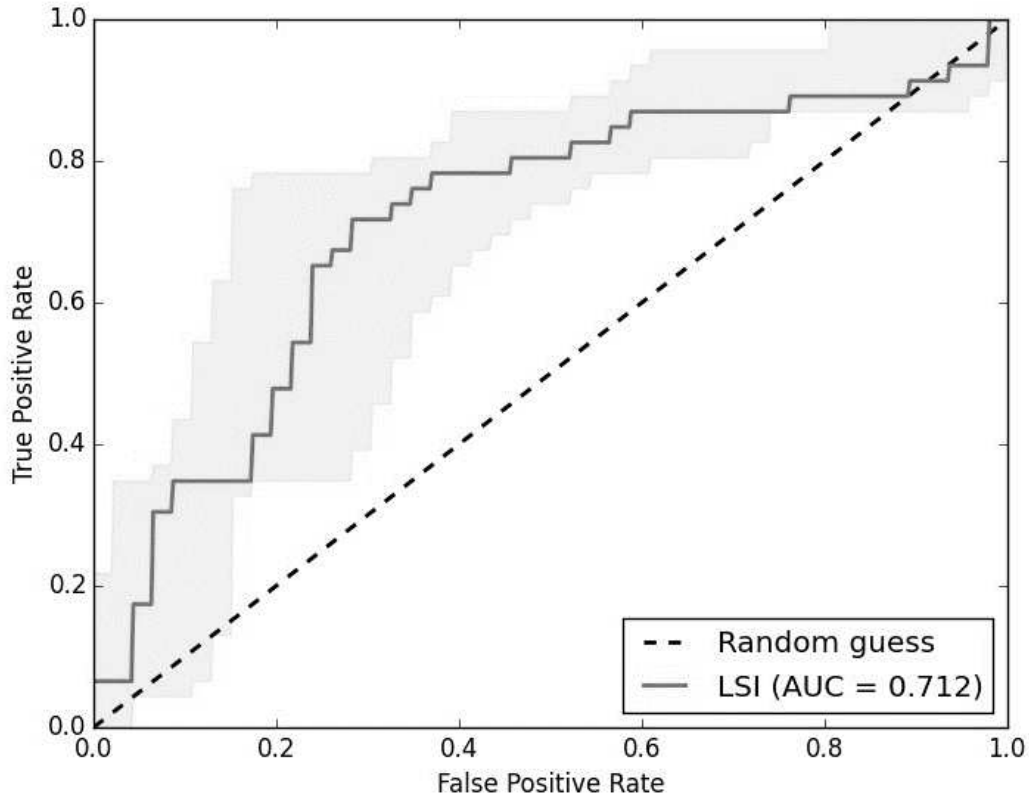
En los resultados obtenidos se observan valores de LSI desde 3 a 9 siendo este último el de mayor relevancia para la ocurrencia de movimientos en masa tipo deslizamiento.

#### **5.3.1.5. Comprobación de hipótesis y curva de éxito**

La hipótesis inicial se basa en que las áreas más susceptibles a presentar movimientos en masa corresponden a las áreas donde la geología está conformada por suelo transportado volcánico y pendientes entre los 30° a 45°. En cuando a cobertura se consideró inicialmente que la influencia de las zonas degradadas e intervenidas por las actividades agrícolas era mayor, sin embargo, en los resultados analizados se observa que los mayores pesos de evidencia se presentan en coberturas de arbustos, bosques de galería y en vegetación en transición.

Se validaron los resultados a partir de la curva de éxito con la cual se mide la bondad de ajuste de la función de susceptibilidad a los movimientos en masa. Para ello se utilizó la

variable de agrupamiento que en este caso corresponde al inventario de movimientos en masa y a la variable LSI. Para la muestra se utilizaron todos los datos del inventario.



**Figura 62 Curva de éxito**

Como se observa en la gráfica de curva de éxito se ha evaluado el área bajo la curva AUC con la cual se determina la calidad de ajuste de los datos. El porcentaje aceptable de ajuste debe ser mayor al 70% acorde a la guía del SGC 2017, por lo cual para el presente estudio se ha obtenido un porcentaje del 71.2 tal como se observa en la Figura 62 lo cual indica que la capacidad de la función para describir la distribución de los movimientos en masa es aceptable.

### **5.3.1.6. Zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa**

Con el fin de clasificar la susceptibilidad, se han establecido tres rangos acordes a los valores de LSI teniendo en cuenta la guía de zonificación de amenaza del SGC 2017.

Tabla 28 Clasificación de susceptibilidad acorde a los resultados de la variable LSI

| RANGO LSI | GRADO SUSCEPTIBILIDAD |
|-----------|-----------------------|
| 3 – 4     | Baja                  |
| 5 – 6     | Media                 |
| 7 – 8     | Alta                  |
| 9         | Muy alta              |

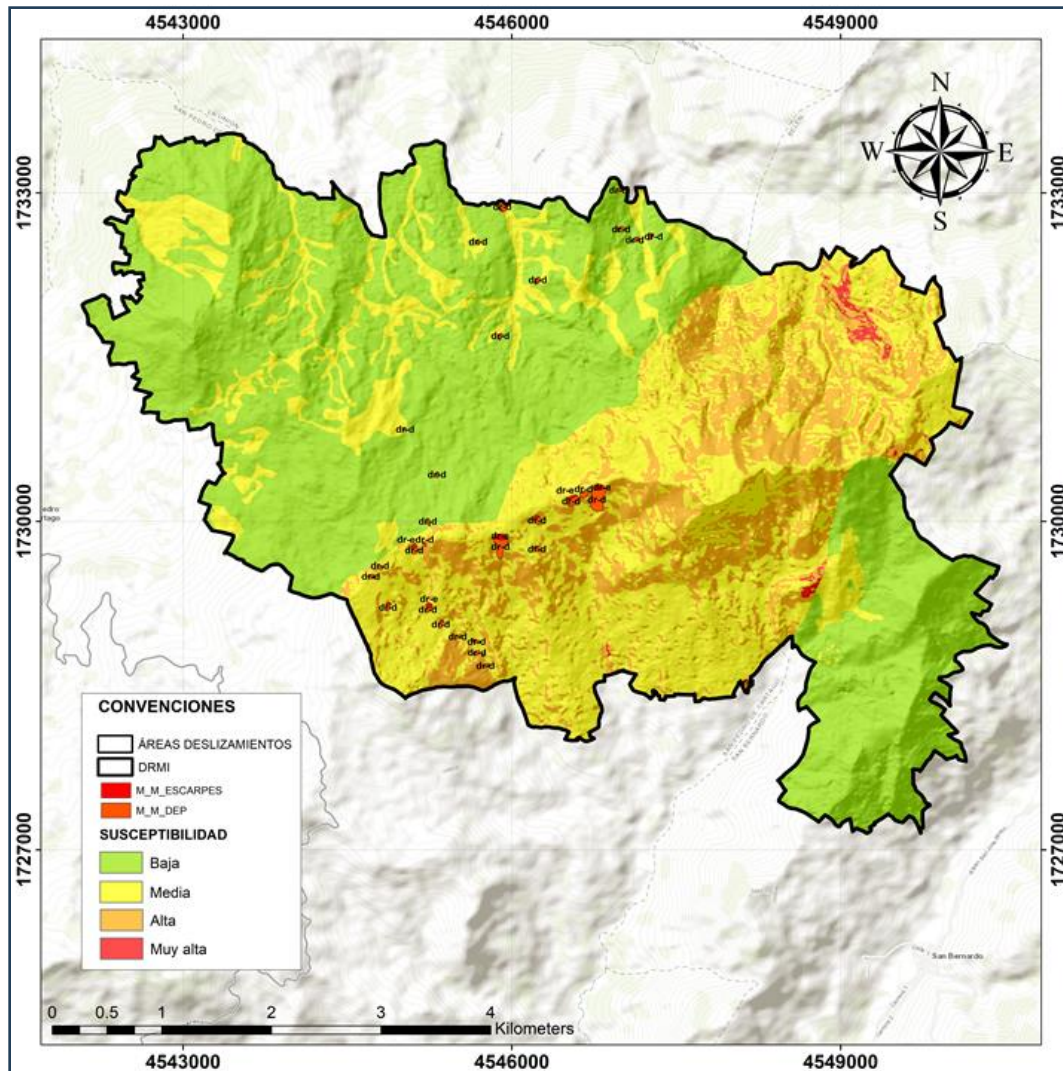


Figura 63 Mapa Zonificación de Susceptibilidad por Movimientos en masa tipo deslizamiento

### 5.3.2. Caracterización de amenaza por movimientos en masa

A partir de los resultados obtenidos en la fase de zonificación de susceptibilidad a los movimientos en masa en base a los factores condicionantes correspondientes a unidades geológicas superficiales (UGS), coberturas de suelo y pendientes, y tomando la precipitación como principal detonante, se procedió con la elaboración de la zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25000.

A modo de ejercicio se realizó una superposición de mapa de susceptibilidad y precipitación máxima, en el cual se observa que las mayores precipitaciones asociadas a periodos lluvioso (noviembre) se concentran en el área de la cuenca del río Juanambú.

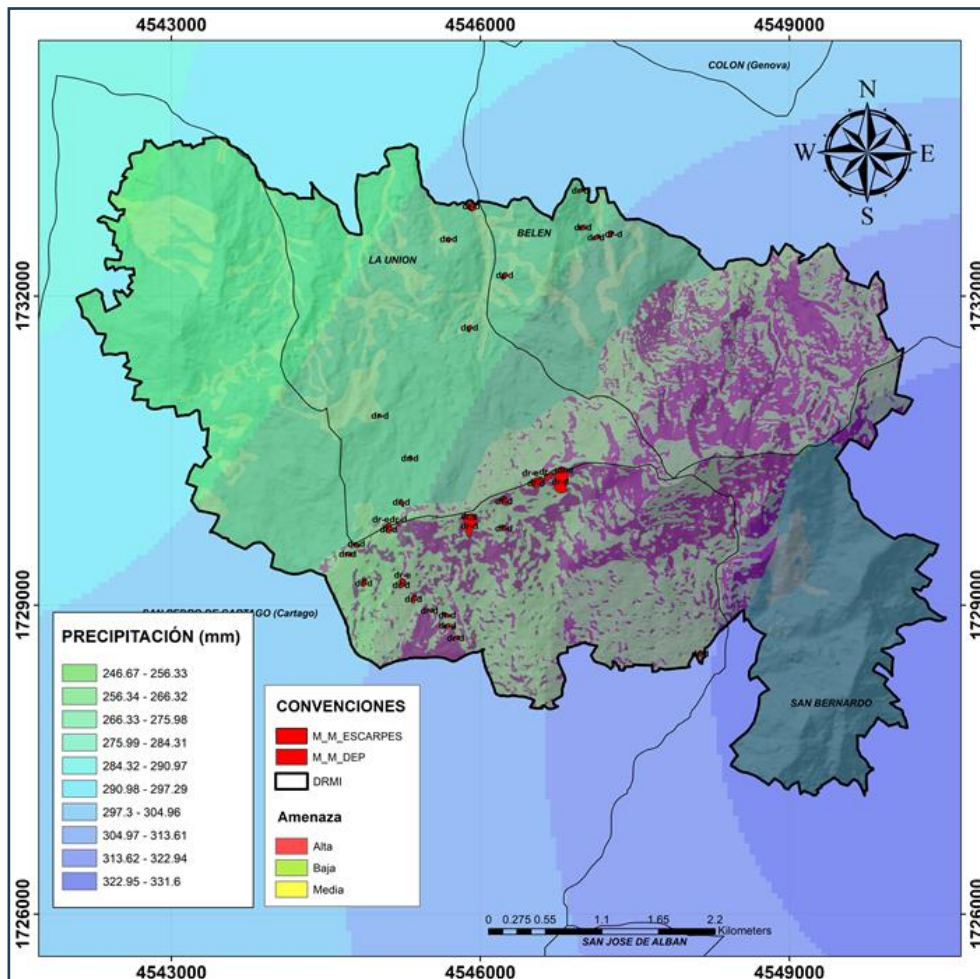


Figura 64 Mapa de amenaza por movimientos en masa



Como se observó anteriormente en el análisis de detonante por lluvias, se definió el umbral de lluvia a partir de los umbrales determinados para ocho (8) de los deslizamientos disponibles en el inventario de procesos morfo dinámicos teniendo en cuenta que se dispone de información en cuanto a las fechas de ocurrencia de los mismos. Es decir, que para toda el área DRMI se ha definido un solo umbral con el cual se pueden detonar movimientos en masa a partir de una lluvia acumulada antecedente de 181.3 mm y una precipitación máxima diaria de 42.64 mm, con lo cual se podrán generar alertas tempranas con base en los registros diarios de las estaciones pluviométricas San Bernardo y La Unión. Cabe resaltar que el hecho de que se supere el umbral de lluvias definido no siempre estará asociado a la ocurrencia de un movimiento en masa, por ende, se establece como una probabilidad condicional de ocurrencia influenciada por determinadas condiciones.

Acorde a los resultados obtenidos en el análisis de detonante por lluvia, se concluyó que la probabilidad anual de que se exceda el umbral de lluvias es del 29.6 %.

#### **5.3.2.1. Zona de amenaza alta**

Esta zona se caracteriza por su alta susceptibilidad ante la ocurrencia de movimientos en masa, con una probabilidad del 29% que dichos eventos se generen por lluvias críticas iguales o superiores al umbral definido.

La zona de amenaza alta cubre un área aproximada de 470.85 ha, que corresponde al 15.02% del área total de la zona de estudio, dicho sector se caracteriza por presentar laderas de longitudes moderadas a extremadamente largas, con pendientes abruptas de 30° a 45°. Los materiales presentes en estas zonas corresponden principalmente a suelos volcánicos transportados los cuales ocupan un 41.03% del área total con coberturas asociadas a bosque ripario, zonas intervenidas por actividad agrícola y ganadera y vegetación secundaria o en transición equivalentes a un 57.73% del área total.

La zona de amenaza alta se concentra en la cuenca del río Juanambú, y como se pudo observar, las mayores precipitaciones asociadas a lluvias máximas se intensifican en esta zona en particular con valores desde los 304.95 mm hasta los 322.94 mm.

### **5.3.2.2. Zona de amenaza media**

Esta zona se caracteriza por una moderada susceptibilidad ante la ocurrencia de movimientos en masa, por lo cual es probable que se generen dichos eventos dentro del área de estudio detonados por lluvias críticas iguales o superiores al umbral.

La zona de amenaza media cubre un área aproximada de 1084.49 ha, que corresponde al 34.60% del área total de la zona de estudio, dicho sector se caracteriza por estar comprendido por rocas sedimentarias intermedias (Rsi) con un 26.5% del área con respecto al área total de estudio. De igual manera se observan suelos volcánicos transportados cubriendo una mayor área de la zona de amenaza media con respecto a los suelos asociados a rocas sedimentarias. Se presentan pendientes abruptas y muy abruptas de 15° a 45°.

Según la geomorfología del área de estudio en la zona centro occidental se evidencian procesos denudativos desarrollados sobre rocas sedimentarias los cuales debido a la longitud y forma de sus laderas propician la ocurrencia de movimientos en masa; la subunidad geomorfológica está definida como glomerios muy disectados (Dlmd).

Para la parte comprendida por depósitos volcánicos se encuentra como factor relevante la rugosidad de la ladera definida como pendientes complejas (cóncavo/convexo), patrón de drenaje dendrítico a sub paralelo, que junto a la litología asociada aceleran los procesos de remoción en masa.

En la zona de amenaza media se destaca la presencia de áreas intervenidas por expansión agrícola y ganadera con lo cual se pueden intensificar los procesos erosivos de suelo y la degradación del mismo incrementando la susceptibilidad a movimientos en masa.

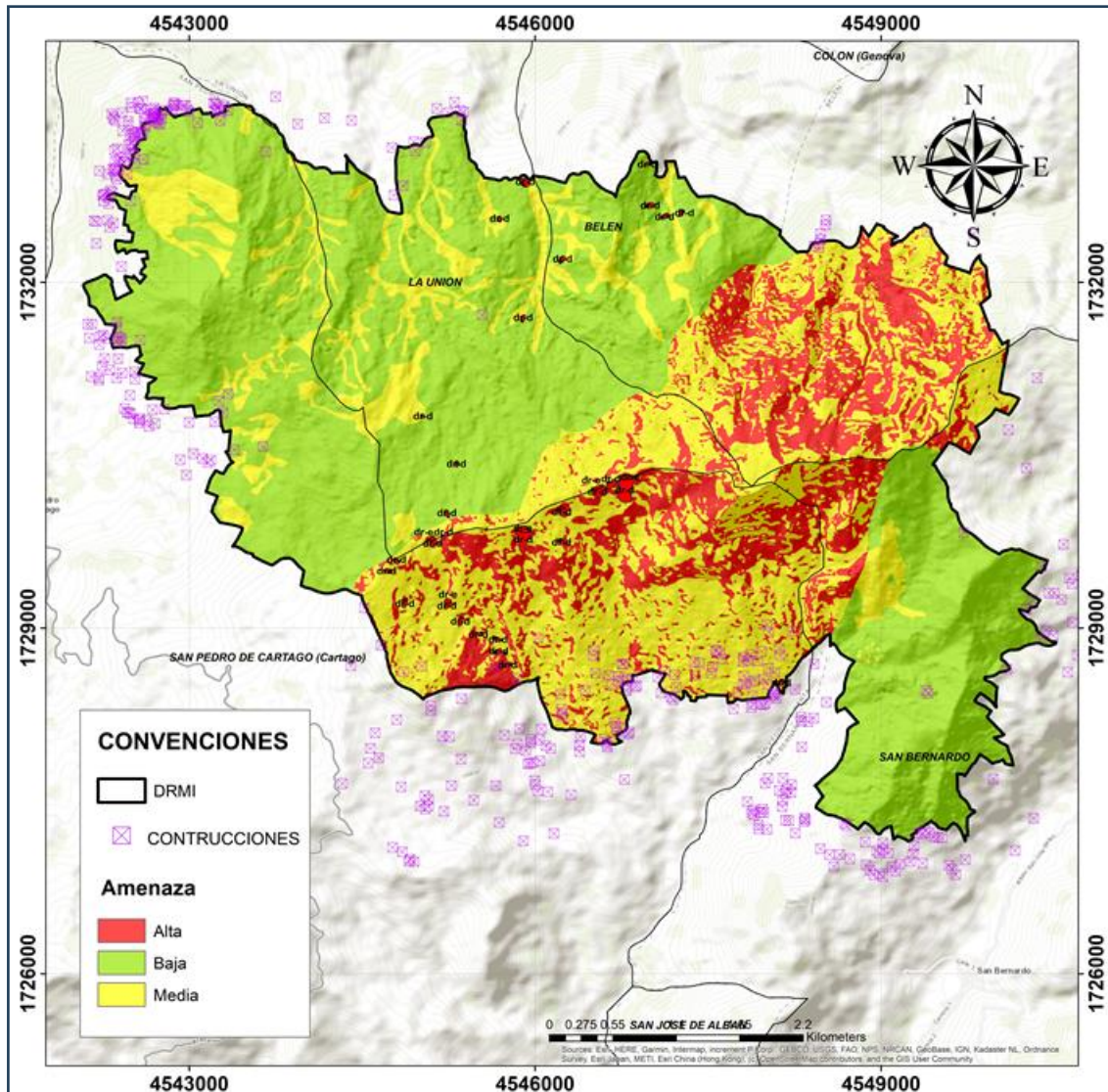
### **5.3.2.3. Zona de amenaza baja**

Esta zona se caracteriza por una baja susceptibilidad ante la ocurrencia de movimientos en masa, cubre un área aproximada de 1578.64 ha, que corresponde al 50.37% del total del área de estudio. En la zona predominan pendientes bajas inferiores a los 15°.

A continuación, se presenta el mapa resultante de la delimitación y zonificación de amenaza por movimientos en masa en el área DRMI Cerro Chimayoy a escala 1:25000.

### **5.3.2.4. Infraestructura expuesta**

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la delimitación y zonificación de amenaza por movimientos en masa y de manera complementaria al presente estudio, se identificó la infraestructura expuesta a la amenaza para identificar las áreas en condición de riesgo en la zona de estudio.



**Figura 65** Mapa de vulnerabilidad – Área DRMI Cerro Chimayoy

Como se observa en el mapa, en la zona de amenaza media se ubican algunas viviendas que hacen parte del municipio de San Pedro de Cartago, en las microcuencas de la quebrada El Salado y la quebrada La Estancia.

## 6. CONCLUSIONES

Las zonas asociadas a amenaza media y alta a la ocurrencia de movimientos en masa tipo deslizamientos se concentran principalmente en el municipio de San Pedro de Cartago y el municipio de Belén dentro del área DRMI Cerro Chimayoy. De igual manera, estas zonas se concentran en el área que hace parte de la cuenca del río Juanambú.

El factor condicionante que representa la mayor influencia para la ocurrencia de movimientos en masa tipo deslizamiento corresponde a las unidades geológicas superficiales en específico a los suelos transportados volcánicos que conforman parte de la cuenca del río Juanambú. Este tipo de suelos conformados principalmente por piroclastos de tamaño ceniza, material inconsolidado en las primeras decenas de metros bajo la superficie lo cual permite que se produzca un mayor flujo de agua proveniente de la infiltración y por consiguiente la saturación del suelo desestabilizando los taludes, influenciados por las pendientes abruptas entre 30° y 45° principalmente.

La precipitación se considera como el factor detonante principal, y puede influir en la ocurrencia de los movimientos en masa cuando se supere el umbral de lluvias calculado en términos de precipitación máxima diaria (42.64mm) y precipitación acumulada antecedente (181.3mm).

La zona de amenaza alta y media para la ocurrencia de movimientos en masa tipo deslizamiento conforman las zonas de nacimiento y recarga hídrica de las quebradas El Salado, La Estancia y Chimayoy, por lo cual, se genera un aporte significativo de sedimentos a las fuentes hídricas aumentando la probabilidad de amenaza para la formación de movimientos en masa tipo flujo o denominados avalancha o avenida torrencial. Lo anterior representa una alta amenaza para la infraestructura que se encuentra aguas abajo de la microcuenca El Salado en especial la central eléctrica en la vereda San Martín del municipio de San Pedro de Cartago.

En el área de estudio localizada en el DRMI Cerro Chimayoy, la cobertura vegetal que ocupa la mayor área del territorio corresponde a mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, donde es importante implementar actividades de conservación de suelos a través de rotación de cultivos, establecimiento de barreras vivas con especies forestales de alto crecimiento para la recuperación de suelos degradados y evitar la desertificación. Lo anterior teniendo en cuenta que en la zona se evidencia sobreuso del suelo (uso intensivo), debido a que, por sus características morfológicas, edáficas de baja fertilidad y poca profundidad son suelos intervenidos para establecimiento de cultivos, ocasionando a futuro posibles deslizamientos.

En cuanto a las condiciones de la zona de estudio, se evidencia constante susceptibilidad a erosión ocasionando deslizamientos de alta densidad. Se determina que estos fenómenos asociados a remoción en masa, con respecto a la cobertura de la tierra, se deben a la ausencia de cobertura boscosa, la cual está relacionada con el establecimiento de cultivos agrícolas y técnicas inadecuadas de manejo para conservación de suelos, y a la influencia de la pendiente en zonas abarcadas por bosque denso.

Actividades antrópicas como deforestación y ampliación de la frontera agrícola y ganadera han generado condiciones edáficas o de suelo que favorecen nuevos movimientos en masa, ya que la vocación del suelo en el sector de estudio es forestal para la conservación de bosques primarios y secundarios. Por lo tanto, es necesario implementar prácticas de restauración ecológica activa, con el fin de contribuir a la mitigación del riesgo a deslizamiento.

## 7. RECOMENDACIONES

Debido a lo evidenciado en campo y a las características definidas en cuanto a la geomorfología y coberturas de suelo se recomienda incrementar la revegetación con especies nativas, en lo posible de bajo peso para evitar la sobrecarga que agiliza los procesos de remoción en masa.

Siguiendo los lineamientos del acuerdo 015 por el cual se declara como Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) el Cerro Chimayoy, en el área se deberán conservar las políticas de conservación y manejo adecuado de los recursos naturales de tal forma que se limiten las actividades de intervención de tipo antrópica como la tala de bosque principalmente.

En áreas que presentan amenaza alta a eventos de remoción en masa se recomienda evacuar las zonas inestables en las cuales se han identificado elementos expuestos localizados específicamente en la microcuenca de la quebrada El Salado. De igual manera se recomienda condicionar el uso de suelo para la construcción de obras civiles; para estos casos se recomienda realizar estudios geotécnicos correspondientes.

Se recomienda tomar medidas de reducción del riesgo prioritarias sobre la corona de los deslizamientos de mayor magnitud y las laderas de los mismos, las cuales deberán estar enfocadas en el manejo de aguas de escorrentía.

Se recomienda la implementación de los SAT (Sistemas de Alertas Tempranas) de la unidad de gestión de riesgo de desastres con el fin de realizar seguimiento constante a los deslizamientos y prevenir posibles pérdidas humanas y a la infraestructura expuesta a este tipo de fenómenos naturales.

Los municipios involucrados que hacen parte del área DRMI (San Bernardo, Belén, San Pedro de Cartago y La Unión) deberán realizar los estudios básicos y detallados de gestión de riesgo con base en lo dispuesto en el decreto 1077 de 2015 Titulo 2, Sección 3:



“Incorporación de la gestión del riesgo de desastres en los planes de ordenamiento territorial”.





## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Consorcio POMCA Quindío (2018). PLAN DE ORDENAMIENTO Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO LA VIEJA. Quindío
- Zarza, F (2023). Caracterización de unidades geológicas superficiales, geomorfológica y geotécnicos preliminares a escala 1:7000 para un área de 94 hectáreas. Bucaramanga
- INGEOMINAS (2002). Geología de la plancha 4-11 La Cruz.
- Böhner, J., & Selige, T. (2006). Spatial prediction of soil attributes using terrain analysis and climate regionalisation. *SAGA - Analyses and Modelling Applications*, 115(January 2002), 13–28.
- Carvajal, J. (2012). *Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia*. Bogotá, Colombia: Servicio Geológico Colombiano.
- CVC, CRQ, MINAMBIENTE, & MINHACIENDA. (2016). Geología De La Cuenca Del Río La Vieja. *Plan De Ordenación Y Manejo De La Cuenca Del Río La Vieja*, pp. 1–100. Cali, Colombia: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.
- Díaz, Á., & Mercado, T. (2017). Determinación del número de curva en la subcuenca de Betanci (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG Determination of curve number in Betanci subwatershed ( Córdoba , Colombia ) through remote sensing and GIS. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(2), 452–470. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/852/85252030011.pdf>
- Geler, T., Penteadó, A., & Perez, A. (2017). LS-Factor analysis in different prediction models of water soil erosion. *Observatorio Geográfico America Latina*, 5, 226–233. Retrieved from <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal15/Nuevastecnologias/Sig/18.pdf>
- IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Retrieved from [http://siatac.co/c/document\\_library/get\\_file?uuid=a64629ad-2dbe-4e1e-a561fc16b8037522&groupId=762](http://siatac.co/c/document_library/get_file?uuid=a64629ad-2dbe-4e1e-a561fc16b8037522&groupId=762)
- IPCC. (2014). *Cambio Climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad- Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. (C. . Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, ... L. L. White, Eds.). Retrieved from [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5\\_wgII\\_spm\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_es.pdf)
- Lince, L., Castro, A., Castaño, W., & Torres, F. (2017). *Zonificación de la susceptibilidad por Movimientos en Masa de suelo en la Región Cafetera de Caldas*. 68(1), 73–82.

- López, C. (2020). Fundamentos Básicos para la Teledetección Ambiental. *Universidad Católica Del Norte*, p. 49. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20684.44161>
- MADS. (2014). *Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de cuencas Hidrográficas POMCAS. Aneo B. Gestión del Riesgo* (Vol. 1, p. 54). Vol. 1, p. 54. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Marchi, L., & Dalla Fontana, G. (2005). GIS morphometric indicators for the analysis of sediment dynamics in mountain basins. *Environmental Geology*, 48(2), 218–228. <https://doi.org/10.1007/s00254-0051292-4>
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*.
- Rengifo, O., & Jennifer, S. N. (2012). Modelling potential debris flows from SRTM data in the upper Chama river watershed, northwestern Venezuela. *Revista Geografica venezolana*, 53(1), 93–108.
- Sarría, F. (2006). *Sistemas de Información Geográfica*. Universidad de Murcia, departamento de Geografía. *Sistemas de Información Geográfica*, p. 239. Retrieved from <https://bit.ly/3sPPZ11>
- SGC. (2013). Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por Movimientos en Masa. Escala detallada. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). Bogotá, D.C.: Servicio Geológico Colombiano.
- SGC. (2015a). *Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000*. (p. 41). p. 41. Bogotá, Colombia: Servicio Geológico Colombiano.
- SGC. (2015b). *Zonificación Geomecánica y de Amenaza por Movimientos en masa del Municipio de Popayán- Cauca* (p. 801). p. 801. Popayán, Cauca: Servicio Geológico Colombiano.
- SGC. (2017). *Guía Metodológica para la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa Escala 1:25000* (p. 218). p. 218. <https://doi.org/10.1002/chem.201301917>
- SGC, & MINMINAS. (2017). Clasificación de movimiento en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia. In *Clasificación de movimiento en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia*. <https://doi.org/10.32685/9789585978218>
- Zafra, Y. (2018). Manual Para El Postproceso De Imágenes Obtenidas a Partir De Una Aeronave Tripulada Remotamente (Drone) En Los Software Agisoft Photoscan Y Pix4D. *Invias – Universidad Distrital Francisco José De Caldas*, p. 96. Retrieved from <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/14055>
- INGEOMINAS (1991). Geología de la Plancha 429 Pasto, escala 1:100.000
- INGEOMINAS (1991). Memoria Explicativa Geología de la Plancha 429 Pasto, escala 1:100.000

CORPONARIÑO (2022). Estudio básico para la zonificación de amenaza por movimientos en masa en la microcuenca de la quebrada Santa Rosa ubicada en el municipio de Colón Génova – Nariño, escala 1:25.000.

SGC (2019). Zonificación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo físico por movimientos en masa escala 1:2000. Zona 11-12- Tejares – Loma El Pastel – Túnel (Oriental y Occidental) municipio de Popayán.

SGC (2020). Zonificación de amenaza por movimientos en masa en el municipio de Rosas – Cauca escala 1:25.000

